

KAJI KELAYAKAN NILAI FLUIDITAS SEBAGAI INDIKATOR KUALITAS INGOT PADUAN ALUMINIUM DI INDUSTRI

Sri Harjanto dan Bambang Suharno

Departemen Metalurgi dan Material, FT - UI

Kampus Baru UI, Depok 16424

ABSTRAK

KAJI KELAYAKAN NILAI FLUIDITAS SEBAGAI INDIKATOR KUALITAS INGOT PADUAN ALUMINIUM DI INDUSTRI. Salah satu upaya pengurangan kegagalan (*reject*) dalam proses produksi pengecoran cetak tekan (*die casting*) logam aluminium paduan adalah dengan menjaga kualitas bahan baku ingot aluminium dari pengotor. Pengotor logam aluminium paduan yang berupa oksida, karbida, garam atau senyawa lainnya dapat menyebabkan terbentuknya cacat inklusi dan porositas pada produk pengecoran. Pengotor tersebut diyakini mempengaruhi fluiditas (sifat mampu alir) aluminium cair. Dengan kata lain, makin bersih logam aluminium cair fluiditas akan makin tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini ditujukan untuk menjadikan nilai fluiditas logam paduan aluminium silikon 12% (ADC 12) sebagai indikator kualitas bahan baku proses pengecoran cetak tekan. Nilai fluiditas paduan aluminium silikon dari beberapa pemasok diamati dengan menggunakan alat uji vakum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai fluiditas pada suhu pengujian 640 °C sampai dengan 700 °C untuk ingot jenis Al-A = 100-125 mm ± 10 mm dan Al-B = 100-175 mm ± 51 mm dan Al-C = 100-175 ± 24 mm, berturut-turut. Dengan demikian, kualitas ingot Al-C relatif lebih baik dibanding Al-A dan Al-B ditinjau dari sifat mampu alir yang ditunjukkan oleh nilai fluiditas dan konsistensi pemrosesan yang ditunjukkan oleh simpangannya. Pengamatan strukturmikro menunjukkan bahwa populasi porositas Al-C (1,37%) relatif lebih rendah dibanding jenis Al-A (2,35%) dan Al-B (1,82%).

Kata kunci : Pengecoran cetak tekan, ADC-12, Pengujian fluiditas vakum, Inklusi, Porositas

ABSTRACT

FEASIBILITY STUDIES OF THE FLUIDITY INDEX APPLICATION AS AN ALUMINIUM ALLOY QUALITY INDICATOR IN INDUSTRY. The cleanness of aluminium ingots from the impurities is an important factor to produce high quality die casting products. The impurities which come from oxides, carbide, salts or other compounds may form inclusion and porosity in the casting products. They affects to the fluidity of the molten metal. In other words, cleaner molten metals will increase the fluidity index. Therefore, this study aims to evaluate the application of fluidity index as a quality indicator of the raw materials of the die casting process, especially for Al-7% Si alloys (ADC 12). The fluidity index was tested and observed by using vacuum testing method. The results show that the fluidity index in the temperature range of 640-700 °C of Al-A ingots = 100-125 mm ± 10 mm and Al-B ingots = 100-175 mm ± 51 mm and Al-C ingots = 100-175 ± 24 mm, respectively. It means also that the quality of Al-C ingots is relatively better than Al-A and Al-B ingots in terms of their flowability and their processing quality. The microstructure observations show that the porosity population of Al-C ingot (1,37%) is lesser than Al-A ingots (2.35%) and Al-B ingots (1.82%).

Key words : Die casting, ADC-12, Vacuum fluidity test, Inclusion, Porosity

PENDAHULUAN

Dalam teknik pengecoran logam dewasa ini, khususnya di dunia otomotif, dibutuhkan logam cair yang memiliki sifat mampu cor yang sangat baik. Logam yang umum dipakai di dunia otomotif umumnya adalah aluminium yang dicor-cetak dengan tekanan tinggi (*high pressure die casting*). Sifat mampu cor yang baik sangat efektif dalam mengurangi cacat-cacat produksi, khususnya pada ketebalan produk cor yang relatif tipis

dan dengan bentuk yang rumit. Tambah lagi, untuk kasus di Indonesia, biasanya ingot aluminium untuk industri otomotif dipasok dari cadangan sekunder hasil daur ulang. Di satu sisi, penggunaan cadangan sekunder akan memberikan nilai ekonomis yang memadai, sedangkan di sisi lain penggunaan bahan baku daur ulang baik dalam bentuk ingot maupun daur ulang saluran cor akan meningkatkan resiko pembentukan cacat jika tidak

ditangani dengan benar. Salah satu resiko terbesar penggunaan bahan baku hasil daur ulang adalah akumulasi pengotor dalam logam cair yang mendorong pada pembentukan cacat benda cor [1].

Meskipun banyak faktor yang menentukan kualitas produk benda cor, sifat mampu alir logam cair atau fluiditas merupakan salah satu faktor terpenting. Fluiditas logam cair menunjukkan kemampuan logam cair tersebut untuk mengisi rongga-rongga cetakan. Sifat ini sangat dipengaruhi oleh komposisi paduan, material cetakan, suhu *superheat*, viskositas, bahan aditif dan yang terpenting adalah kebersihan logam cair dari pengotor [2,3]. Kurang baiknya sifat ini dapat mengakibatkan cacat cor diantaranya berupa *misrun* (pembekuan tak sempurna), porositas, inklusi atau permukaan benda cor yang tidak rata.

Pengujian dan pengamatan fluiditas dilakukan dengan berbagai metode, seperti spiral, k-test, vakum dan pengujian lainnya [2, 4-7]. Pada metode spiral, nilai fluiditas diukur dengan panjang spiral yang terbentuk pada cetakan. Pengujian ini masih memiliki kelemahan yaitu dalam hal konsistensi kondisi aliran logam cair yang sesungguhnya. Meskipun permasalahan di atas bisa diatasi dengan memodifikasi desain sistem aliran dan peralatan penuangan agar diperoleh kondisi yang seragam pada setiap pengujian. Jenis pengujian dan pengamatan fluiditas lainnya dilakukan dengan menggunakan sampel batang dengan ketebalan berbeda.

Dari pengujian ini selain diperoleh data panjang benda cor yang dapat dicapai, juga dapat diamati kemampuan logam cair mengisi ruang yang berbeda ketebalannya tanpa cacat. Salah satu cara untuk meningkatkan homogenitas data yang dihasilkan, telah dilakukan modifikasi pengujian fluiditas dengan menggunakan mekanisme pemvakuman. Logam cair dihisap melalui sebuah tabung logam seperti baja tahan karat, tembaga atau *quartz* menggunakan pompa vakum. Teknik ini merupakan idealisasi dari teknik pengujian sebelumnya, dalam pengurangan variabel cetakan, ketepatan suhu, dan tanpa waktu tunggu saat penuangan. Pengembangan teknik ini juga telah dilakukan dan hasil rancang bangunnya telah dipublikasikan pada laporan sebelumnya [8].

Pengujian tentang fluiditas pada umumnya banyak dilakukan khususnya pada aplikasi pengecoran cetak pada tekanan tinggi (*high pressure die casting*) untuk aluminium. Nilai fluiditas digunakan untuk mendapatkan sebuah gambaran umum untuk memperoleh hasil cor cetak setipis mungkin yang bebas cacat. Permasalahan yang muncul dalam pengecoran aluminium adalah adanya pengotor, diantaranya yang dihasilkan dari kehadiran unsur Fe atau senyawa lainnya [9]. Peningkatan kadar Fe ini secara signifikan menurunkan nilai fluiditas aluminium cair. Dari sini dapat pula ditarik hubungan yang lebih luas lagi, bahwa pengotor yang berupa inklusi juga akan menurunkan nilai fluiditas.

Dengan menimbang hasil penelitian dan konsep yang diusulkan pada publikasi sebelumnya [11], penelitian ini ditujukan untuk mengkaji penggunaan nilai fluiditas sebagai indikator kualitas aluminium ingot yang akan dipasok pada industri manufaktur otomotif berbasis proses pengecoran cetak tekan (*die casting*). Indikator utama yang menjadi target penelitian ini adalah tingkat kebersihan dari bahan baku, sehingga diharapkan dapat mengurangi cacat produk pada proses pengecoran aluminium paduan yang dilakukan.

METODE PERCOBAAN

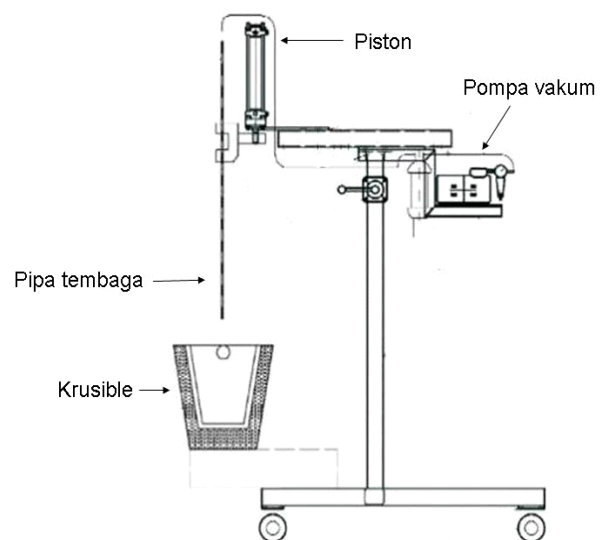
Bahan

Aluminium paduan silikon (Al-12% Si atau ADC-12) yang merupakan bahan baku utama dalam studi ini, dipasok dari tiga perusahaan berbeda ditandai dengan kode Al-A, Al-B dan Al-C. Masing-masing ingot aluminium paduan itu, dicuplik dari penuangan bagian awal, tengah dan akhir pada saat pembuatannya. Pencuplikan berdasarkan waktu tuang ini bertujuan untuk melihat konsistensi kualitas proses pembuatan ingot aluminium paduan yang dipasok. Untuk ketiga kondisi penuangan tersebut dibutuhkan minimal 2 buah aluminium ingot untuk penelitian ini.

Alat

Peleburan paduan aluminium yang diteliti dilakukan dengan menggunakan dapur *crucible* berbahan bakar briket batu bara. Suhu aluminium cair diukur menggunakan termokopel digital.

Alat pengujian fluiditas vakum yang dikembangkan sendiri, digunakan pada penelitian ini (Gambar 1 (a) dan Gambar 1 (b)) [8]. Tabung saluran logam cair yang digunakan pada alat uji fluiditas metode vakum menggunakan tabung tembaga.



Gambar 1. Alat uji fluiditas vakum.

Analisis strukturmikro dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Sedangkan pengukuran jumlah pori pada logam aluminium dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Piscara*.

Cara Kerja

Pengujian Fluiditas

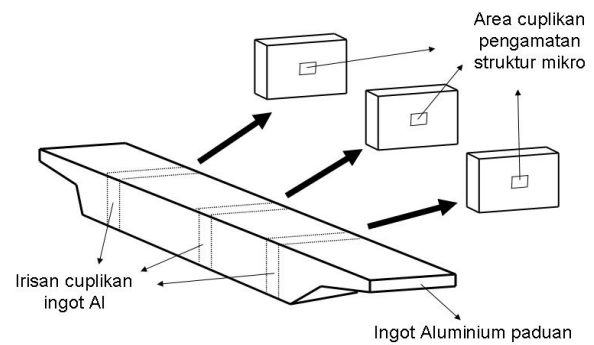
Aluminium ingot yang akan diuji, dilebur ulang dalam dapur *crusible*. Suhu peleburan untuk mengamati nilai fluiditas ditentukan pada suhu 640 °C, 660 °C, 680°C, dan 700°C. Variasi temperatur ini digunakan untuk melihat pengaruh nilai fluiditas terhadap suhu. Pada masing-masing suhu yang telah ditentukan tersebut, aluminium cair dihisap oleh alat pengujian fluiditas vakum dengan tekanan ± 27 kPa melalui tabung tembaga yang berdimensi panjang 80 cm, diameter luar 6,35 mm dan tebal 0,56 mm. Ketinggian logam didalam tabung tembaga mewakili nilai fluiditas dari ingot aluminium tersebut. Pengukuran ketinggian logam aluminium paduan dilakukan setelah aluminium cair membeku di dalam tabung tembaga. Pengujian ini diulangi untuk beberapa cuplikan ingot aluminium sesuai dengan kronologis penuangan dalam proses pembuatannya, yaitu awal, tengah dan akhir.

Analisis Pendahuluan

Data-data nilai fluiditas pada penelitian pendahuluan dianalisis untuk mengamati hubungan antara kebersihan ingot aluminium dengan nilai fluiditas. Al daur ulang dari proses pengecoran produk dalam pabrik dicampur dengan ingot Al dari pemasok dengan jumlah yang berbeda-beda yaitu, 45%, 60%, 70% dan 100% ingot Al bersih. Sebagian hasil dari penelitian pendahuluan ini telah dipublikasikan [12]. Penggunaan campuran logam Al hasil daur ulang itu mensimulasikan kondisi adanya pengotor pada bahan baku ingot Al. Nilai fluiditas dari masing-masing campuran itu kemudian diukur dan diamati. Hubungan ini akan menjadi dasar pemikiran dalam membuktikan bahwa keberadaan inklusi dan porositas dapat menurunkan nilai fluiditas ingot aluminium.

Pemeriksaan Inklusi dan Porositas

Pengujian selanjutnya dilakukan untuk validasi hasil uji fluiditas (metode vakum) dengan target pengamatan berupa inklusi dan porositas menggunakan *SEM*. Pemeriksaan ini diharapkan bisa menyajikan data kuantitatif terhadap populasi inklusi dan porositas. Cuplikan pemeriksaan inklusi dan porositas diambil 3 bagian penampang tengah dari setiap ingot hasil penuangan awal, tengah dan akhir, yaitu bagian ujung kanan, tengah dan ujung kiri (lihat Gambar 2). Cuplikan



Gambar 2. Skema pengambilan daerah cuplikan untuk pengamatan strukturmikro ingot aluminium.

yang diamati dipotong pada bagian tengah penampang ingot dengan ukuran 20 mm x 12,5 mm (= 250 mm²). Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa di bagian tengah ini adalah bagian yang paling akhir membeku sehingga menjadi bagian yang diperkirakan memiliki populasi cacat yang paling besar dibanding bagian lainnya (tepi ingot)

Perbesaran (magnifikasi) *SEM* dilakukan pada perbesaran 100x. Dari perbesaran ini diperoleh bukaan bidang gambar seluas 1,5 mm² pada cuplikan. Lalu pengamatan cacat dilakukan dengan memperhatikan kondisi cacatnya untuk membedakan antara inklusi, porositas berisi inklusi dengan porositas biasa. Total cacat pengotor (inklusi dan poroisitas berisi inklusi) yang ditemukan dihitung secara manual. Penghitungan manual ini dilanjutkan dengan penghitungan menggunakan software *Piscara*. Daerah yang mengandung cacat paling banyak diamati dengan cara mengambil gambar pada perbesaran 50x. Pada layar monitor, porositas, porositas mengandung inklusi dan inklusi nampak sebagai daerah yang berwarna gelap. Persentase porositas dan atau inklusi dihitung dengan menggunakan perangkat lunak (*Piscara*®), yang bekerja dengan membandingkan luasan daerah berwarna gelap dan terang.

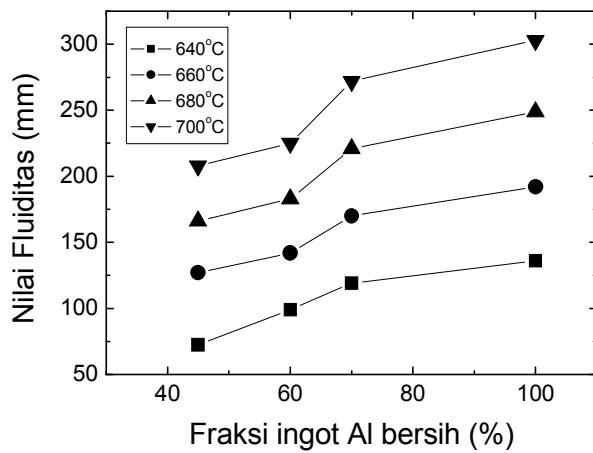
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebersihan Ingot dan Fluiditas

Simulasi kondisi aluminium cair yang mengandung pengotor sehingga mendorong terjadinya inklusi atau porositas, dilakukan dengan melebur ingot Al bersih dengan logam Al daur ulang proses pengecoran dengan berbagai komposisi. Dalam hal ini, logam Al hasil daur ulang itu diperoleh dari sisa saluran tuang, saluran tiup dan sejenisnya dari produk pengecoran di pabrik. Penggunaan logam Al hasil daur ulang mendorong pada kontribusi pengotor pada logam aluminium cair yang akan menjadi bahan baku proses pengecoran. Pengotor itu umumnya berasal dari sisa-sisa jelaga, minyak, pasir cetak pada Al daur ulang, yang tidak terjangkau dalam proses pembersihan sebelum peleburan. Meskipun demikian logam Al daur ulang itu

memiliki komposisi yang relatif seragam dengan ingot Al bersih.

Gambar 3 di atas memperlihatkan hubungan antara fraksi campuran ingot Al bersih dan logam Al daur ulang dengan nilai fluiditas. Makin banyak fraksi ingot Al bersih dan makin sedikit penggunaan Al daur ulang, maka diperkirakan akan makin berkurang jumlah pengotor yang ada di dalam aluminium cair. Dengan dasar ini, dapat pula diduga bahwa meningkatnya nilai fluiditas aluminium cair sejalan dengan makin banyaknya ingot Al bersih yang digunakan. Selain itu, nilai fluiditas cenderung meningkat dengan meningkatnya suhu pengukuran fluiditas.

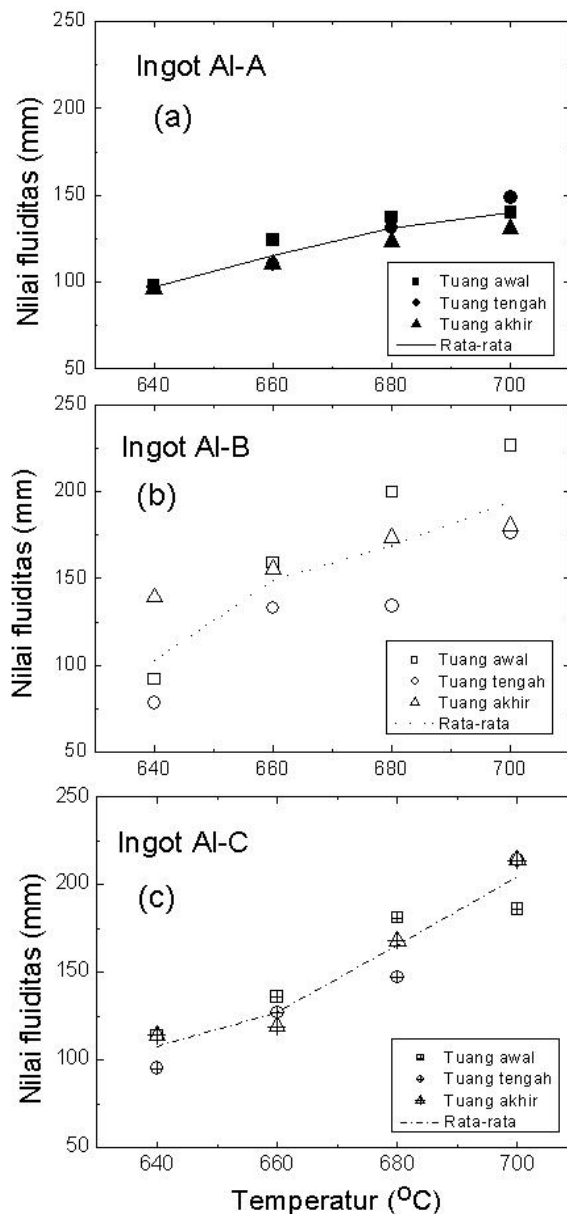


Gambar 3. Hubungan antara nilai fluiditas dengan variasi campuran bahan baku peleburan Al cor.

Nilai Fluiditas Ingot Al

Gambar 4 (a) memperlihatkan hasil pengujian fluiditas dari ingot Al-A. Pada rentang suhu pengujian 640 °C hingga 700 °C, nilai fluiditas meningkat pada kisaran 100 mm hingga 125 mm (simpangan rata-rata ± 10 mm). Konsistensi kualitas Al cair relatif baik dari berbagai periode penuangan (awal, tengah dan akhir) dengan dekatnya nilai-nilai fluiditas pada masing-masing suhu. Gambar 4 (b) memperlihatkan hasil pengujian fluiditas dari ingot Al-B. Rentang suhu pengujian dibuat sama, yaitu antara 640 °C sampai dengan 700 °C. Nilai fluiditas meningkat dengan meningkatnya suhu pengujian pada kisaran rata-rata 100 mm hingga 175 mm (simpangan rata-rata ± 51 mm). Akan tetapi, nampak simpangan kualitas yang nyata (relatif besar) dari nilai fluiditas menurut periode penuangan di setiap suhu.

Sedangkan Gambar 4 (c) memperlihatkan hasil pengujian fluiditas dari ingot Al-C. Kecenderungan peningkatan nilai fluiditas terlihat pada pengujian dalam rentang temperatur 640 °C sampai dengan 700 °C pada kisaran nilai 100 mm sampai dengan 175 mm (simpangan rata-rata ± 24 mm). Simpangan kualitas ingot Al-C dan Al-A pada setiap periode penuangan (awal, tengah atau akhir) relatif lebih kecil (konsisten) dibanding ingot Al-B.

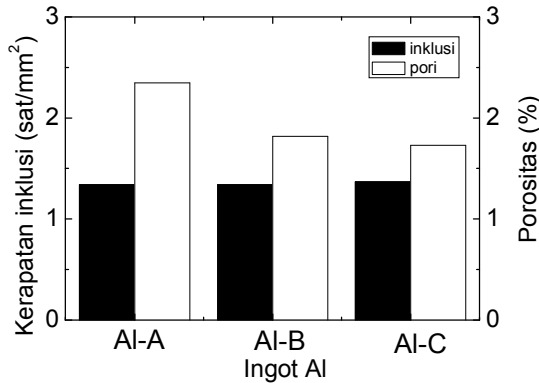


Gambar 4. Pengaruh suhu terhadap nilai fluiditas dari berbagai ingot, (a) Al-A, (b) Al-B dan (c) Al-C.

Porositas dan Inklusi

Perhitungan porositas dan inklusi dilakukan dengan menggunakan pengamatan gambar strukturmikro SEM pada perbesaran 100 x. Porositas dihitung dengan membandingkan luas permukaan pori yang berwarna gelap dengan permukaan seluruh struktur mikro. Sedangkan, inklusi dihitung secara manual dari gambar SEM. Metode penghitungan, baik porositas maupun inklusi mengandung kelemahan, karena merupakan pendekatan kuantitatif obyek 3 dimensi yang dihitung dalam Gambar 2 dimensi. Untuk keperluan penggunaan di industri dilakukan kategorisasi jumlah porositas. Jika persentase porositas dibawah 1% terhadap luas permukaan sampel uji maka porositas tersebut dianggap rendah. Untuk porositas sedang,

persentasenya antara 1% hingga 3%, sedangkan porositas tinggi persentasenya diatas 3%. Pada kenyataannya, pengamatan cacat, baik berupa porositas, porositas berisi inklusi atau inklusi cukup sulit dilakukan secara manual.



Gambar 5. Kerapatan inklusi dan porositas dari berbagai ingot Al.

Gambar 5 memperlihatkan jumlah rata-rata kerapatan inklusi (satuan/mm²) yang dihitung secara manual dan porositas (%) (termasuk porositas berisi inklusi dan inklusi) dari tiap-tiap ingot Al yang dihitung dengan bantuan perangkat lunak. Nilai kerapatan inklusi untuk ketiga jenis ingot Al (Al-A, Al-B dan Al-C) masing-masing secara berurutan adalah 1,34 satuan/mm², 1,34 satuan/mm² dan 1,37 satuan/mm². Sedangkan nilai porositas masing-masing ingot Al (Al-A, Al-B dan Al-C) adalah 2,35 %, 1,82 % dan 1,73 %. Idealnya adalah jumlah inklusi yang menjadi indikator kualitas ingot, tetapi metode yang dilakukan pada pengujian ini mengandung kelemahan, seperti yang disebut di atas. Oleh karena itu nilai fluiditas menjadi pilihan indikator kualitas, karena memiliki hubungan langsung dengan adanya pengotor dalam logam cair.

Secara umum, semua ingot Al memiliki porositas dalam kisaran 1 % hingga 3 % (sedang). Pada batas tertentu kehadiran porositas tidak perlu dikhawatirkan karena ingot-ingot tersebut nantinya akan dileburkan lagi. Akan tetapi yang juga perlu diperhatikan adalah biasanya porositas tidak hanya terbentuk akibat gas yang terjebak saja, tetapi juga menjadi tempat-tempat dimana inklusi bisa berada. Perbedaan bentuk porositas itu

sendiri yang membedakan antara porositas gas atau porositas yang mengandung inklusi. Gambar 6.a memperlihatkan struktur mikro cacat akibat porositas, sedangkan Gambar 6.b akibat porositas yang mengandung inklusi. Hal ini juga menunjukkan bahwa pengujian fluiditas bisa mengatasi permasalahan yang dihadapi dalam pengamatan cacat yang diamati dari strukturmikronya.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pengamatan atas verifikasi nilai fluiditas diperoleh hasil yang dapat disimpulkan sebagai berikut:

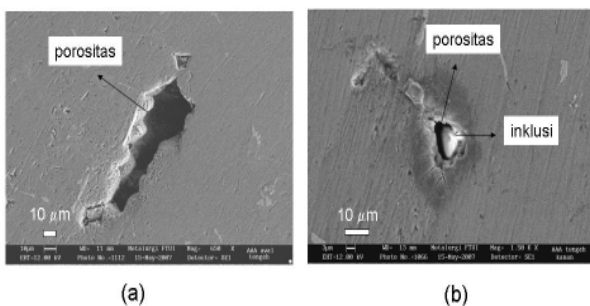
1. Diperoleh nilai fluiditas dan konsistensi kualitas saat penuangan (awal, tengah dan akhir) pada suhu pengujian 640 °C hingga 700 °C, untuk ingot Al-A=100-125 mm±10 mm, Al-B=100-175 mm±51 mm dan Al-C = 100-175 ± 24 mm.
2. Nilai inklusi dan porositas yang dihitung secara dua dimensi dari pengujian ini masing-masing untuk ingot Al-A = 1,34 satuan/mm² dan 2,35%; ingot Al-B = 1,34 satuan/mm² dan 1,82%; ingot Al-C = 1,37 satuan/mm² dan 1,37%.
3. Nilai fluiditas dipengaruhi oleh suhu pengujian (640 °C sampai dengan 700 °C), makin tinggi temperatur nilai fluiditas cenderung meningkat.
4. Nilai fluiditas layak digunakan sebagai indikator kualitas logam cair bahan baku proses pengecoran karena nilai tersebut berhubungan secara signifikan dengan cacat dan/atau pengotor yang terkandung di dalamnya. Makin bersih logam cair, makin tinggi nilai fluiditas yang bisa dicapai.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terimakasih kepada PT. Astra Daihatsu Motor atas pengadaan bahan pengujian dalam riset ini. Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada Ahmad Ashari dan Zulkifli, ST yang membantu pengujian fluiditas dan pengamatan strukturmikro.

DAFTARACUAN

- [1]. B. SUHARNO, B. ARIFIN dan E. PRASETIAWAN, Cacat Produk Proses Aluminium Gravity Casting untuk Componen Otomotif (Penyebab dan Penanggulangannya), *Pros. Seminar Nasional Teknik Mesin, Univ. Kristen Petra, Surabaya* (2006)
- [2]. J. CAMPBELL and R.A. HARDING, *The Fluidity of Molten Metals, European Aluminium Assoc., Birmingham* (1994) 2-3, 6-7
- [3]. S. KALPAKJIAN, *Manufacturing Engineering and Technology*, Prentice Hall, New York (2001)
- [4]. P.R. BEELEY, *Foundry Technology*, Butter Worth, London (1972) 13-20



Gambar 6. Strukturmikro tipikal dari (a) porositas dan (b) porositas yang mengandung inklusi.

- [5]. Q. HAN AND H. XU, *Scripta Materialia*, **53**(1) (2005) 7-10
- [6]. M. Di SABATINO, F. SYVERTSEN, L. ARNBERG AND A. NORDMARK, *Int. Journal of Casting Metals Research*, **18**(1) (2005) 591
- [7]. N. EISUKE, A. KOICHI, F. TAKUYA, H. SADATO, *J. of Mat. Proc. Tech.*, **63** (1997) 779-783
- [8]. I. P. NANDA, B. SUHARNO, A. TASRI, Perancangan dan Pembuatan Alat Uji Fluiditas Paduan Aluminium Cair Metode Vacuum Suction Test, *Pros. Seminar Nasional Ilmu dan Teknologi Material*, Surabaya (2006) 50-59
- [9]. C. M. DINNIS, J.A. TAYLOR and A.K. DAHLE, *Scripta Materialia*, **53**(8) (2005) 955-958
- [10]. C. M. DINNIS, J.A. TAYLOR and A.K. DAHLE, *Material Science and Eng., A*, **425**(1-2) (2006) 286-296
- [11]. S. HARJANTO, B. SUHARNO dan B. ARIFIN, Model Interaksi ABG di Industri Pengecoran Logam Indonesia Melalui Standardisasi Kualitas, *Pros. Seminar Nasional Ilmu dan Teknologi Material*, Surabaya (2006) 104-110
- [12]. B. SUHARNO, S. HARJANTO DAN R. JAMARIS, Pengukuran tingkat Kebersihan (cleanness) Cairan Paduan Aluminium Luang Melalui Pengujian Fluiditas, *Pros. Seminar Nasional V: Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Indonesia*, Bandung (2006) TBMK 1-5