

## **The Fluidity Characteristics of Liquid Duralumin by Piece Test Methode on Permanent Mold in Low Pressure**

**Wahyono Suprpto**

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jl. MT. Haryono 167 Malang 65165, Indonesia

[E-mail: wahyos\\_metftub@yahoo.com](mailto:wahyos_metftub@yahoo.com)

### **Abstract**

*The shrinkage and porosity is the casting failures which is often found in the casting products especially aluminum alloys. That failure is happen because the liquid metals cooling processes is not uniform or there is pit-fall gasses. The shrinkage and porosity signification could reduce material mechanics characteristic significantly. The controlling parameters of the vibration the metals solidifications is implicated to the improvement of aluminum alloys casting products qualities. The objective of this experiment research is to compare the properties on castability, formability, and sub-surface defect on a piece duralumin cast of permanent mold casting. Low pressure mold cavity is an independent variable and fluidity, ductility, porosity are dependent variables, and pouring temperature is a control parameter which is plant in this research design. The research conclusion is while the pressure decrease on cavity would increase castability, ductility, and could reduced the sub-surface defect on duralumin casting.*

**Keywords:** fluidity, liquid duralumin, low pressure, solidification, sub-surface defect

### **PENDAHULUAN**

Duralumin merupakan sistem paduan aluminium-tembaga diperkaya dengan silikon, magnesium dan bersifat *heat treatable* khususnya akibat *natural and artificial aging*. Pada suhu atmosfer, duralumin mempunyai *strength-to-weight ratio* yang lebih tinggi dari *steel*. Duralumin tempa mempunyai kekuatan yang tinggi, umumnya digunakan untuk *heavy-duty forging, aircraft fitting and truck frame*. Konduktivitas duralumin yang tinggi direkomendasikan untuk memproduksi pengecoran *in line system* dengan cetakan permanen sampai cetakan tekan. Kualitas pengecoran pada umumnya ditentukan dari diskontinuitas *subsurface* seperti porositas dan struktur metalurgi akhir [1]. Porositas internal pada *subsurface* merupakan masalah yang serius dalam pengecoran dengan cetakan permanen. Banyak insiden robeknya *pressure vessel* diawali dengan adanya *pore and porosity*. Dalam teknologi pengecoran modern untuk mengurangi terjadinya porositas, penuangan logam cair kedalam cetakan dilakukan pada tekanan rendah.

Paduan aluminium (duralumin) banyak digunakan dalam industri *aerospace, automotive*, khususnya untuk komponen

*power plant reaktor nuclear*, dan sebagai bahan dasar pembuatan tanki *cryogenic* setelah *rolling* atau *forging (weldalite)* [2]. Pengecoran kualitas tinggi diharuskan bebas cacat-cacat *pore and porosity, shrinkage, inclusion*, dan *microsegregation* yang akan berpengaruh pada sifat-sifat mekanik dan fisik. Pada kondisi pengecoran atmosfer sering produk coran aluminium mengalami *reject* sampai *premature failure*. Gas-gas hidrogen, oksigen, dan nitrogen sering terlarut dalam pengecoran aluminium dan paduannya karena fenomena difusi. Variasi kelarutan gas tersebut secara langsung dipengaruhi oleh temperatur dan akar kwadrat tekanan dalam *liquidus* dan *solidus*. Cacat aluminium bertambah dengan meningkat kelarutan gas dalam *liquidus* dari peleburan sampai solidifikasi. Kontrol dalam kondisi lebur dan perlakuan lebur dapat mengurangi tingkat kelarutan gas [3, 4].

Dalam pengecoran, penuangan logam cair dalam rongga cetakan sampai solidifikasi laju pendinginannya tergantung pada jenis cetakannya. Laju pendinginan ini sangat penting untuk menentukan kualitas produk coran. Proses solidifikasi dalam pengecoran merupakan peristiwa kompetisi keluarnya gas yang terlarut

dalam logam cair dengan meningkatnya masa jenis logam akibat pendinginan. Jika gas keluar lebih lambat maka dalam logam akan terjadi *pore and porosity, shrinkage, inclusion*, dan *microsegregation*. Dengan demikian dapat dikatakan solidifikasi merupakan kondisi kritis untuk menghasilkan logam coran dengan kualitas tinggi. Implementasi mampu tuang dalam industri pengecoran kualitas tinggi secara langsung ditentukan pada temperatur penuangan dan komposisi kimia bahan bakunya. Penurunan perpindahan panas antara dinding cetakan dan temperatur logam cair pada solidifikasi cepat dapat dikontrol secara efisien untuk menghasilkan *uniformly fine, globular grains* [5].

Pengecoran tekan (*die casting*) telah dilakukan untuk mengurangi cacat coran akibat *pore and porosity, shrinkage, inclusion*, dan *microsegregation* pada proses pengecoran. Akan tetapi teknologi pengecoran tersebut masih mempunyai beberapa kelemahan, diantaranya; investasi tinggi, ketebalan terbatas, dan kebutuhan energinya tinggi. Akhir-akhir ini teknologi pengecoran vacuum (*melting and pouring*) digunakan untuk memproduksi material baru yang mempunyai sensitivitas tinggi karena *pore and porosity, shrinkage, inclusion*, dan *microsegregation* relatif tidak terjadi seperti pada Nitinol, gear-gear mikro, pelapisan infiltrasi, dan lain-lain. Kelebihan teknologi pengecoran vacuum dapat dilakukan pada berbagai jenis cetakan yang ditempatkan pada ruangan tekanan rendah. Motivasi riset karakteristik fluiditas duralumin untuk meningkatkan produktivitas proses manufaktur logam. Target riset penuangan tekanan rendah ini untuk membandingkan sifat-sifat; mekanik, duktilitas, mampu tuang, cacat lapisan dalam.

Penelitian metode numerik dan eksperimental untuk memprediksi dan melihat karakteristik fluiditas paduan aluminium pada kondisi *vacuum* sudah banyak dilakukan [6, 7, 8, 9, 10]. Akan tetapi penelitian karakteristik fluiditas duralumin dalam kondisi *vacuum* masih jarang dilakukan oleh *Researcher* [11]. Oleh karena itu penelitian eksperimen ini perlu dikembangkan sebagai bentuk

pencarian (epistemologi) dan pertanggungjawaban (aksiologi).

## MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Bahan baku dalam penelitian ini adalah hasil daur ulang (*secondary*) aluminium berupa plat dan batangan yang di lebur dalam tungku induksi listrik. Plat dan batangan aluminium dipotong-potong sesuai dengan ukuran dan dimasukkan dalam tungku listrik, biarkan bahan tersebut melebur dalam tungku, selanjutnya aluminium cair dicetak menjadi ingot *as-cast* dengan cara menuang kedalam cetakan permanen. Setelah membeku ingot *as-cast* dikeluarkan dari cetakan dan dipersiapkan untuk peleburan berikutnya yaitu membuat paduan Al-Cu (duralumin). Potongan pipa tembaga dipakai sebagai bahan paduan yang akan dimasukkan kedalam *as-cast* cair sehingga menghasilkan duralumin. Penimbangan bahan baku dilakukan dengan timbangan *digital electric* pada ketelitian centigram. Hasil akhir pengecoran ini berupa batangan strip duralumin dengan panjang 25 cm, lebar 2 cm dan tebal, 0,5 cm. Selanjutnya *as-cast* diuji komposisi kimianya dengan metode *atomic absorption spectrometry* (AAS).

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Pengecoran Logam, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya dengan tahapan sebagai berikut :

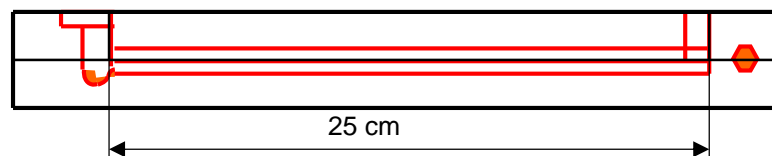
1. Estimasi unsur kimia dalam duralumin dikontrol dengan kesetimbangan masa, yaitu *as-cast* ( 3,5% Mg; 2,7% Si; % 0,7 Cu, dan Al penyeimbang). Untuk menjadi duralumin (paduan aluminium serie 2XXX dengan unsur utama 8,0% Cu), dari 2000,00 gram *as-cast* mengandung 93,1% Al (1862 gram) untuk mendapatkan seri tersebut ditambah potongan pipa tembaga 162 gram.
2. Memasukan *as-cast* ke dalam ladle alumina dan dilebur dalam tungku listrik sampai suhu 700 °C, bersamaan dengan itu panaskan potongan tembaga pada tungku yang sama.
3. Setelah *as-cast* melebur masukan potongan tembaga dalam ladle dan

- biarkan selama 15 menit sehingga seluruh tembaga melebur dan tercampur dengan aluminium. Selanjutnya duralumin cair dituang kedalam cetakan (tekanan rendah) dalam bentuk batangan (Gambar 1).
4. Sebelum duralumin cair dituang maka terlebih dahulu cetakan permanen dipanasi sampai suhu 250 °C dan tekanan disekeliling cetakan diturunkan sampai - 0,2; - 0,4; - 0,6; - 0,8; dan - 1,0 bar. Biarkan duralumin dalam cetakan membeku, selanjutnya batangan duralumin dikeluarkan dari cetakan.
  5. Amati panjang dan cacat coran yang terjadi (mampu tuang), dan uji sifat mekanik (kekuatan tarik dan luluh), duktilitas. Pengujian cacat lapisan dalam dilakukan dengan mengamati potongan batang duralumin dengan mikroskop optik pada arah *cross-section* dan *longitudinal-section* (data

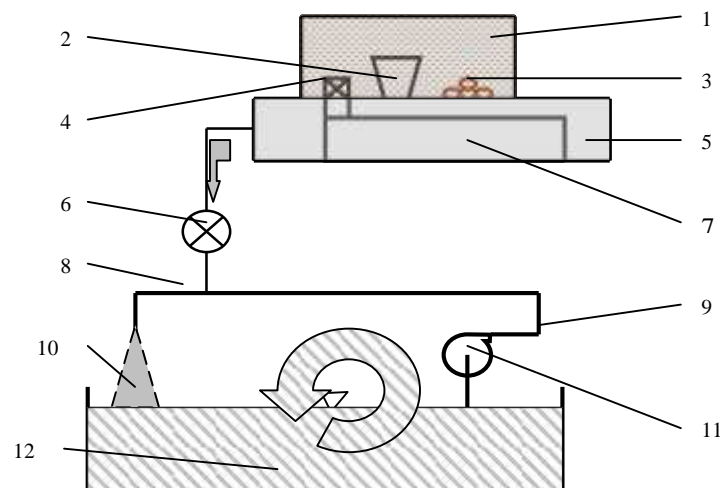
dan pembahasan tidak diikutsertakan dalam artikel).

6. Buat grafik hasil pengamatan dan pengujian (lihat Gambar 3 dan Gambar 4).
7. Substansi diskusikan hasil percobaan.

Penurunan tekanan terjadi karena adanya saluran pipa udara dari ruang tuang yang ujungnya dihubungkan dengan daerah cekikan *nozzle* seperti Gambar 2. Aliran air yang dipompakan ke *nozzle* menyebabkan tekanan daerah cekikan *nozzle* turun akibatnya pipa udara yang dihubungkan ke ruang tuang menghisap udara di ruang tersebut. Penghisapan udara pada ruang tuang yang terisolasi akhirnya menurunkan tekanan ruang tuang tersebut. Pada saat tekanan ruang tuang menjadi rendah selanjutnya logam cair dituangkan kedalam *sprue* yang bisa di buka-tutup sehingga logam cair masuk dalam *gating system* dan mengisi rongga cetakan.



**Gambar 1.** Cavity spesimen dalam cetakan permanen



**Gambar 2.** Sistem pengecoran *vacuum*

**Keterangan:**

- |                                   |                               |                        |
|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| 1. Tungku listrik induksi         | 5. Ruang tuang tekanan rendah | 9. Pipa saluran air    |
| 2. Mangkok alumina                | 6. Katup udara                | 10. Pancaran air-udara |
| 3. Potongan pipa copper           | 7. Cetakan permanen           | 11. Pompa air          |
| 4. Saluran tuang ( <i>sprue</i> ) | 8. <i>Nozzle</i>              | 12. Reservoir air      |

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Fluiditas logam menggambarkan kemampuan alir logam cair dalam cetakan sampai akhirnya berhenti karena terjadi solidifikasi, terutama pada bagian-bagian tipis dan logam cair mengikuti bentuk dari cetakan. Suatu aliran logam cair dapat berhenti mengalir akibat terjadinya proses solidifikasi dendrit yang tebal pada bagian ujung aliran dan menghambat aliran logam dibelakangnya [12]. Biasanya *fluidity* dinyatakan dengan satuan panjang (fluiditas spiral) atau dengan bilangan faktor komposisi unsur kimia dalam logam cair tersebut. *Fluidity* erat kaitannya terhadap sifat mampu cor (*castability*) dari suatu logam.

Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan semakin rendah tekanan penuangan maka batang duralumin semakin panjang ini menyatakan bahwa fluiditas semakin tinggi atau viskositasnya semakin rendah. Hal ini terjadi karena dua peristiwa, pertama tekanan cetakan yang rendah akan mempercepat aliran logam cair mengisi rongga cetakan, artinya logam cair ditarik masuk kedalam cetakan. Kedua, tekanan sekeliling logam cair dalam cetakan lebih rendah dari tekanan parsial gas-gas terlarut (hidrogen, oksigen, dan nitrogen) sehingga gas-gas tersebut akan keluar dari logam cair akibatnya pembentukan segragasi (senyawa oksida) dapat dikurangi. Segregasi dapat menurunkan fluiditas logam cair karena logam akan mengalami solidifikasi pada temperatur tinggi sehingga waktu alirnya menjadi singkat.

Nilai fluiditas logam cair dipengaruhi oleh temperatur, komposisi, kebersihan logam cair, viskositas dan tegangan permukaan. Bertambahnya derajat kevakuman mengakibatkan gaya logam cair meningkat, sehingga ketebalan homogenitas permukaan lapisan infiltrasi meningkat [13]. Dalam proses pengecoran,

logam cair dalam ladle yang bergerak dalam lokasi penuangan harus tetap cair sebelum dituang kedalam cetakan. Oleh karena itu perlu diketahui waktu yang diperlukan untuk mempertahankan duralumin tetap cair dalam *tube*. Peningkatan temperatur akan menurunkan viskositas logam cair sehingga logam cair akan mudah mengalir dalam saluran atau cavity yang berarti nilai fluiditas logam cair tersebut akan semakin tinggi. Tetapi harus diperhatikan bahwa peningkatan temperatur tuang dapat menimbulkan cacat coran, seperti; porositas dan *shrinkage* sehingga sifat mekaniknya akan menurun. Cacat salah alir ini terjadi ketika logam cair tidak mampu untuk mengisi penuh rongga cetakan dan meninggalkan rongga pada rongga cetakan. Pada umumnya hal ini terjadi karena rendahnya sifat mampu alir dari logam cair atau karena ketebalan rongga cetakan yang terlalu tipis. Hal ini dapat diatasi dengan menaikkan temperatur penuangan atau memperbaiki desain cetakan.

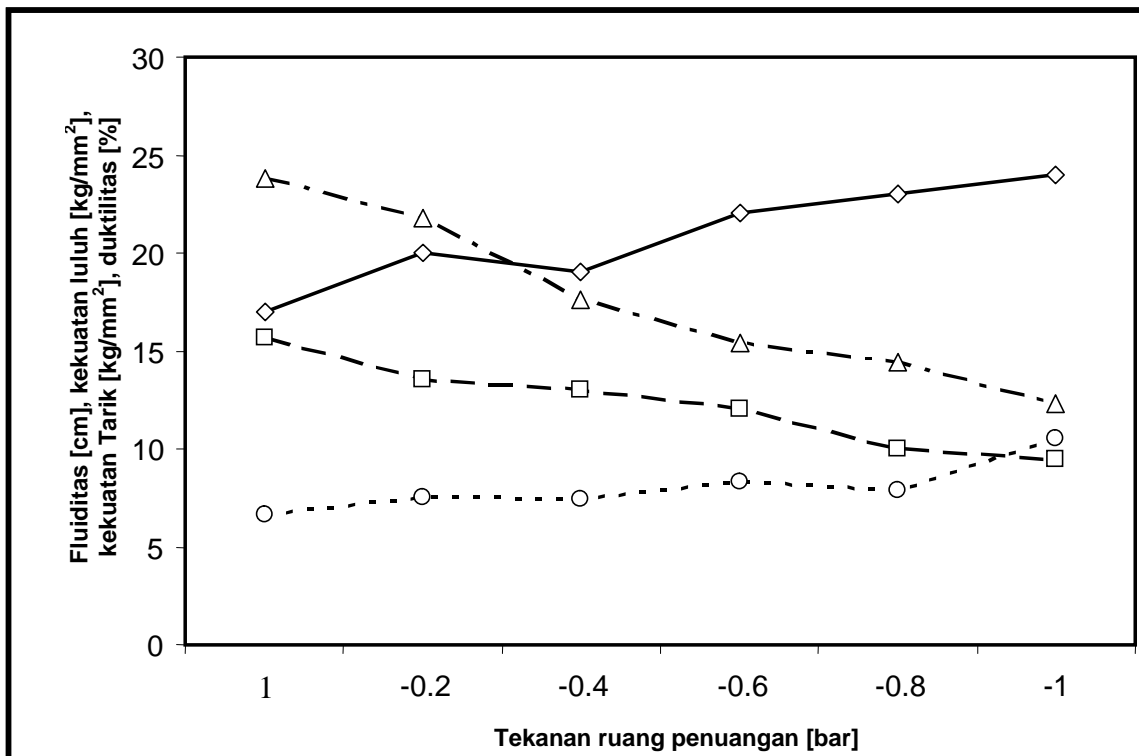
Aluminium paduan ADC 12 (Al-12% Si) merupakan salah satu jenis aluminium dengan kemampuan alir yang baik sehingga tepat dipakai dalam proses *high pressure die casting*. Tingginya *reject* akibat cacat muncul karena sifat mampu alir yang rendah menyebabkan gas hidrogen terlarut. Pengurangan kelarutan gas dapat dilakukan dengan metode vakum, sehingga aluminium cair lebih lama membeku. Analisa penyebab kenaikan fluiditas terjadi karena penambahan waktu *degassing* pada suhu 680 dan 700 °C sehingga hidrogen terlarut dalam logam semakin berkurang dan porositas dalam aluminium padat semakin kecil [14]. Rongga udara ini dapat ditimbulkan oleh gas yang berasal dari cetakan maupun dari logam cair sehingga pada waktu pembekuan terdapat udara yang terjebak dalam logam akibatnya timbul rongga udara

dalam coran. Cacat ini dapat dicegah dengan berbagai cara seperti menjaga temperatur penuangan agar tidak terlalu rendah, permeabilitas cetakan pasir, dan menjaga tinggi penuangan logam cair untuk mengontrol tekanan logam cair agar tidak lebih rendah dari tekanan udara.

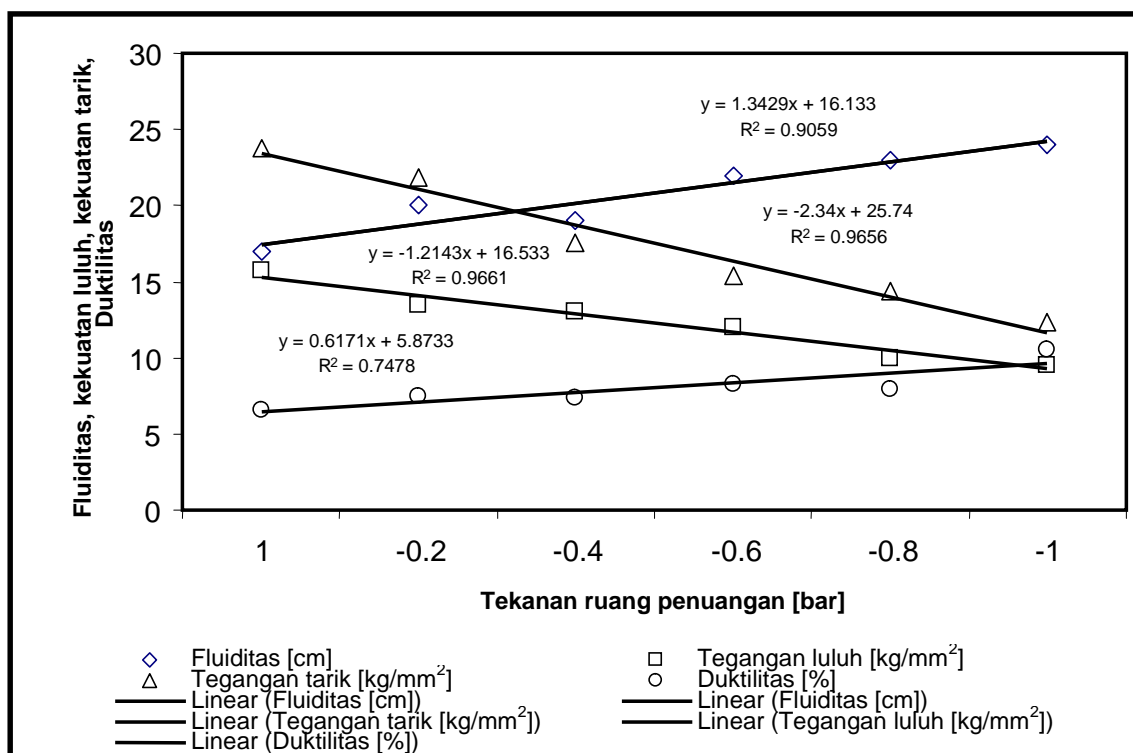
Secara *metallurgical* karakteristik logam salah satunya ditentukan dari bentuk, ukuran, jumlah dan distribusi teksturnya. Mikrostruktur dalam logam cor diklasifikasikan atas tiga jenis yaitu; 1. regular, 2. reguler kompleks dan 3. irregular. Mikrostruktur reguler berisi lamellar atau fibrous dengan cabang-cabangnya yang berada dalam matrik sehingga sangat tepat digunakan sebagai komposit. Dalam mikrostruktur reguler kompleks merupakan suatu pengulangan dari bentuk reguler yang terjadi secara acak. Sedangkan mikrostruktur irregular seperti regular kompleks dengan orientasi acak dua phase. Selama proses solidifikasi, dendrit tersusun semakin bertambah baik dalam jumlah maupun susunan barisnya. Terbentuknya dendrit dalam cairan akan membuang/mendorong larutan kedalam cairan interdendritik. Jumlah penolakan mikro ditentukan dalam fraksi volume fasa keduanya. Akibatnya temperatur cairan ujung dendrit mendekati temperatur eutektik (temperatur campuran). Analisa struktur pengecoran logam didasarkan pada struktur ingot, dimana logam mulai mengalami pembekuan pada dinding cetakan dan interface solid-liquidnya berupa dendrit. Secara skematik jenis struktur dendrit dalam ingot dibedakan atas

tiga daerah, yaitu daerah dinding cetakan (*chill*), daerah antara dinding-inti cetakan (*columnar*) dan daerah inti cetakan (*equiaxed*).

Dalam pengecoran logam diusahakan untuk mendapatkan ukuran butiran yang kecil karena akan memperbaiki sifat mekanik. Ukuran butir kecil, distribusi homogen dan mempercepat laju nuklasi dapat diperoleh dengan menambahkan inoculen kedalam logam cair. Bentuk inti padat dalam transformasi pendinginan logam merupakan pertumbuhan inti yang utuh dari pada pengintiannya itu sendiri. Kualitas sifat mekanik pengecoran dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu; sistem komposisi (paduan) dan kecepatan pendinginan. Artinya dengan adanya penambahan unsur paduan dan kecepatan pendinginan tertentu sifat mekanik coran tersebut akan meningkat. Gas-gas yang terbentuk tersebut akan bergerak kepermukaan dan ini menyebabkan porositas sehingga kekuatan permukaan menjadi berkurang. Dengan semakin lamanya waktu solidifikasi akan meningkatkan pembentukan gas-gas dalam logam cair. Pada akhirnya gas-gas yang terbentuk dan/atau berada dalam logam cair akan membentuk porositas logam cor. Adanya porositas dalam aluminium cor yang dipakai dalam sistem struktur akan menimbulkan berbagai permasalahan baru, seperti; *stress corrosion cracking* meningkat, *segregation* bertambah, *micro crack* pada permukaan meningkat, *fatigue resistance* menurun, *density* menurun dan lain sebagainya.



Gambar 3. Grafik aktual hubungan variabel bebas dan terikat



Gambar 4. Grafik regresi variabel bebas dan terikat

Temperatur dan tekanan solidifikasi merupakan dua parameter termodinamika yang sangat penting untuk mengontrol porositas dan sifat mekanik produk coran aluminium paduan. Dengan dua parameter termodinamika tersebut struktur butir logam akan menempati kedudukan dan jarak yang lebih pendek sehingga gas-gas yang terdapat dalam logam panas akan dipaksa keluar. Disamping itu adanya kontrol temperatur dan tekanan solidifikasi akan membantu pembentukan tekstur aluminium paduan tersebut. Karena dalam proses solidifikasi logam; pembentukan gas, boiling dan pembekuan terjadi secara simultan yang kesemuanya berpacu dengan waktu. Proses tekan cair akhir-akhir ini banyak digunakan untuk meningkatkan percepatan kepadatan molekul atau atom sehingga rongga antar molekul berkurang secara drastis. Retak-retak kerut karena laju pendinginan yang tidak sama dalam pengecoran sebagai dua penyebab utama terjadinya porositas. Pertama, evolusi gas-gas selama pembekuan, dan kedua, kelarutan volume solidifikasi. Gas-gas yang terlarut dalam logam tergantung pada tekanan. Beberapa logam kontak dengan unsur diatomik  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$  yang kelarutannya rendah dapat menyebabkan porous. Jika kelarutan maksimumnya rendah, biasanya dinyatakan dengan konsentrasi keseimbangan gas dalam logam pada tekanan gas yang konstan. Kelarutan *hydrogen* dalam aluminium padat dan cair cukup besar, kasus kelarutan hydrogen dalam aluminium dapat menyebabkan terjadinya kerapuhan dan kejadian ini sangat membahayakan. Dalam proses pengecoran dan pengelasan logam kelarutan tersebut dikenal dengan hydrogen embrittlement. Dilaporkan gas-gas lain akan terlarut bila nonmetalik dalam reaksi peleburan dengan lingkungan. Aluminium cair bereaksi secara cepat dengan *carbon monoxide* dan *carbon dioxide* dan juga bereaksi dengan uap air dalam lingkungan atmosfer, menyerap air, adanya air seperti lapisan hidrasi oksida pada *scrap* dan air yang terserap atau kombinasi dalam refraktori. Aluminium padat juga bereaksi dengan moisture dalam lingkungan *furnace* sehingga terbentuk

*oxide* dan *hydrogen*. Seperti reaksi sumber *hydrogen* dalam material padat disebabkan oleh difusi dari permukaan. Jumlah *hydrogen* dalam aluminium cair lebih besar dari pada kesetimbangan jumlah kelarutan, karena dipicu reaksi *metal-moisture*. Jumlah yang terdapat dalam aluminium padat dapat lebih besar dari jumlah kelarutan padat karena selama pembekuan ada jumlah kelebihan atau karena reaksi pada kandungan air *furnace* pada permukaan logam dan dilanjutkan difusi *hydrogen* masuk masuk pada padatan.

## KESIMPULAN

Berkurangnya derajat penurunan tekanan di ruang tuang menyebabkan fluiditas duralumin cair bertambah dari 12 sampai 25[cm], kekuatan luluh dan kekuatan tarik berkurang masing-masing sebesar 16 sampai 10[kg/mm<sup>2</sup>] dan 24 sampai 13[kg/mm<sup>2</sup>], dan duktilitas batangan strip duralumin bertambah 7 sampai 11[%]. Secara statistik, penuangan duralumin cair kedalam cetakan tekanan rendah memberikan pengaruh linier positif terhadap fluiditas dan duktilitas, dan pengaruh linier negatif terhadap kekuatan luluh dan kekuatan tarik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Suresh Palasinamy, *Ultrasonic Inspection of Sub-Surface Defects on Aluminum Die-Casting*, Established under the Australian Government's Cooperative Research Centres Scheme.
- [2]. Niraj Nayan, Govind, K. Suseelan Nair, M.C. Mittal, K.N. Sudhakaran, 2007, *Studies on Al-Cu-Li-Mg-Ag-Zr alloy processed through vacuum induction melting (VIM) technique*, Materials Science and Engineering A 454-455, Elsevier.
- [3]. Anonim, *the Influence and Control of Porosity and Inclusions in Aluminum Casting*, ASM International, Materials Park, Ohio, USA.
- [4]. Kent D. Carison, Zhiping Lin, Christoph Beckermann, George Mazurkevich, and Mare C. Schneider,

- 2006, *Modeling of Porosity Formation in Aluminum Alloys*, Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes-XI, TMS (The Minerals, Metals & Materials Society).
- [5]. Zhifeng ZHANG, Jun XUN, Likai SHI, 2006, *Study on Multiple Electromagnetic Continous Casting on Aluminium Alloy*, J. Mater.Sci.Technol.,Vol 22 No. 4.
- [6]. LA. Dobrzanski, R. Maniara, J.H. Sokolowski, 2006, *The Effect of Cast Al-Si-Cu Alloy Solidification Rate on Alloy Thermal Characteristics*, Jurnal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 17 Issue 1-2, July-August 2006.
- [7]. Soon Ho Kim, Seok Swoo Cho, and Jung-Hyen Park, 2002, *Prediction of Fatigue Life in 2024-T3 Aluminum Using X-ray Half-Value Breadth*, International Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol 3, No. 2, April 2002.
- [8]. R. Monroe, 2005, Paper 05-245(04).pdf, *Porosity in Casting*, page 12-14 of 28 AFS Transaction , Schaumburg, IL USA
- [9]. B. Ravi, 2003, *Troubleshooting and Optimization of Aluminum Alloy Casting: Myths and Bottlenecks*, Technical Presentation at National Conference on Aluminum Casting, ALUCAST Pune, December 4-6, 2003.
- [10]. Kent D. Carlson, Zhiping Lin, and Christoph Bekermann , 2007, *Modeling the Effect of Finite-Rate Hydrogen Diffusion on Porosity Formation in Aluminum Alloys*, The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International 2007, Metallurgical and Materials Transactions B, Volume 38B, August 2007.
- [11]. Bokhyun KANG, Yongsun KIM, Kiyoung KIM, Gueserb CHO, Kyeonghwan CHOE, and Kyongwhoan LEE, 2007, Density and Mechanical Properties of Aluminum Lost Foam Casting by Pressurization during Solidification, J. Mater. Sci. Technol., Vol.23 No.6, 2007.
- [12]. Wahyono Suprpto, 2007, Estimasi Sifat Fisik, Mekanik, dan Metalografi Produk Coran Getar Paduan Al-Si, Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik, Universitas Brawijaya.
- [13]. Gui-rong Yang, Yuan Hao, Wen-ming Song, Yin Ma, 2006, *Effects of Some Parameters on Formation and Structure of Infiltrated (surface) Layer Prepared by Vacuum Infiltration Casting Technique*, Journal of Surface and Coating Technology, Elsevier.
- [14]. Bambang Suharno, H. Is Prima Nanda, Adek Tasri, 2006, *Pengaruh Temperatur Tuang Material Pipa dan Tekanan terhadap Fluiditas Aluminium ADC 12 dengan Metode Vacuum Suction Test*, Prosiding Seminar Nasional Ilmu dan Teknologi Material 2006, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada yth;

1. Ketua Badan Pertimbangan Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, FTUB.
2. Ketua Lab. Pengecoran Logam, FTUB.
3. Ketua Laboratorium Uji Material, Jurusan Teknik Mesin, FTUB.