

Pengaruh Komposisi Paduan Al-Si Terhadap Kerentanan Hot Tearing

Akhyar¹ dan Suyitno²

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf, No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111

² Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2 Kompleks UGM Yogyakarta 55281

Abstract

Hot tearing and hot cracking is a metal alloy casting product defects caused by several factors such as alloy composition, casting temperature, mold temperature, mold shape and even casting system itself. The study has been developed to find the phenomenon of the hot tearing by varying the alloy composition, techniques and methods. Increasing Si alloy composition can improve hot-tear, mold modification CRCM (constrained Rod Casting Modified) Horizontal method can be used to analyze the hot tearing. The material used is aluminum with Si composition is 0.24pwt as base and material ADC12 as additive with Si composition is 10.56pwt to increase Si composition. Hot-tearing sensibility value obtained by using the equation then showing into the chart HTS footprint. HTS values for Si alloy with a composition of 0.24pwt is 12 and the HTS value for alloys with compositions 1.05pwt Si is 18. Cracks formed in the product starting with the smooth (hairline cracks) category to the complete (specimen broken) category. The higher Si content can increase the cracked in product castings, so that the higher Si composition more tendency to tear.

Keywords: Hot tearing, hot cracking, Composition, CRCM, HTS.

1. Latar belakang

Hot tearing merupakan salah satu cacat yang umum dan serius yang sering dijumpai pada produk pengecoran logam. *Hot tearing* adalah cacat retak pada produk pengecoran baik retak pada permukaan maupun retak di dalam produk pengecoran.^[1] *Hot tearing* adalah retak yang terbentuk pada saat pembekuan logam cair yang terjadi karena penyusutan dan terjadi kontraksi akibat tertahannya paduan logam yang membeku serta kekurangan *feeding*. *Hot tearing* mulai terbentuk pada daerah *musy zone*.^[2] Ada juga yang mendefinisikan perbedaan antara *hot tearing* dengan *hot cracking*. *Hot tearing* adalah retak yang terjadi selama pembekuan dan pada produk masih terdapat cairan logam (*liquid*), sedangkan *hot cracking* merupakan retak (*fracture*) yang terjadi dibawah temperatur solidus dimana logam sudah sepenuhnya membeku.^[3]

Teori^[5,6] *hot tearing* antara lain *brittleness theory* yang dikemukakan oleh Vero yaitu tentang proses terjadi *hot tearing*, kemudian ditambahkan oleh Pumphrey dan Jennings yaitu hubungan antara rentang penyusutan getas dan sensitivitas *hot tearing*. Konsep *liquid film* diperkenalkan oleh Pellini,^[7] sedangkan Flinn^[8] mengklasifikasikan lima tahap pembekuan. Sedangkan Saveiko^[9] mengemukakan teori tentang *hot tearing* berdasarkan konsep *liquid-film* interdendritik. Untuk pengaruh kuantitas dan distribusi *liquid film* terhadap kerentanan *hot tearing* dijelaskan oleh Borland.^[10]

Faktor yang mempengaruhi *hot tearing* antara lain adalah komposisi paduan. Vero^[5] melakukan

penelitian pada paduan Al-Si, hasilnya kerentanan *hot tearing* meningkat seiring dengan meningkatnya Si. Awal tahun 1940-an Pumphrey, dkk.,^[6] melakukan penelitian terhadap paduan Al-Si, Al-Cu, Al-Mg, Al-Fe, Al-Mn, dan Al-Zn, hasil yang diperoleh yaitu dengan penambahan elemen pepadunya menyebabkan retak meningkat, sampai penambahan elemen pepadunya mencapai *super-purity* paduan Al, kemudian retak menurun seiring penambahan elemen pepadunya. Rosenberg, dkk.,^[11] melakukan penelitian pada paduan Al-Mg, Al-Sn, Al-Cu, Mg-Al, dan Mg-Sn.

Parameter proses yang mempengaruhi kerentanan *hot tearing* adalah temperatur cetakan. Pengontrolan laju pendinginan dilakukan pada suhu cetakan, pernyataan tersebut dikemukakan oleh Spittle dan Cushway,^[12] dan Clyne, dkk.^[13] Bichler, dkk.,^[14] mempelajari temperatur cetakan pada 140, 180, 220, 260, 300, 340, dan 380°C, hasil yang diperoleh adalah temperatur cetakan signifikan mempengaruhi *hot tearing*. Zhen, dkk.,^[15] mempelajari pengaruh temperatur cetakan dengan rentang temperatur antara 250°C sampai dengan 500°C, hasilnya dengan meningkatnya temperatur cetakan maka dapat menurunkan kerentanan *hot tearing*. Limmaneevichitr, dkk.,^[16] mempelajari pengaruh temperatur cetakan antara 220°C dan 250°C, dalam penelitian tersebut didapat *hot tearing* banyak terjadi pada temperatur 220°C.

Tabel 1. Komposisi kimia ADC12 dan Al murni (PT.Pinjay Logam)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Cr	Pb	Sn	Ti	Be	Ca	Na	Sb	Sr	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
ADC12	10.561	0.78	1.70	0.155	0.235	0.83	0.050	0.029	0,054	0.019	0.029	<0.001	0.004	<0.001	0.001	<0.000	85.547
Al murni	0.24	0.5286	0.131	0.0705	0.0081	16542	0.0072	0.0043	0.0754	0.0109	0.0104	-	-	-	-	-	97.26

Masalah *hot tearing* telah dipelajari dengan berbagai teknik dan metode, baik secara visual, mekanikal, fisikal, pemodelan matematika atau pemodelan komputasi.^[3] Fenomena perpindahan panas, aliran fluida dan aliran massa, komposisi paduan dan sifat cetakan, desain pengecoran, dan parameter proses lainnya merupakan faktor yang dapat mempengaruhi pembentukan *hot tearing*.^[4] Berbagai metode pengujian *hot tearing* yang telah dilakukan yaitu pengujian menggunakan teknik visual antara lain menggunakan *ring casting* dilakukan oleh Gowri dan Bouchard,^[17] *flanged bar* dilakukan oleh Singer dan Jennings,^[18] *ball-bar* oleh Couture dan Edwards,^[19] *I-beam casting* oleh Oya, dkk.,^[20] *cold finger* oleh Warrington dan McCartney,^[21] metode “U” *casting* oleh Gamber,^[22] *Backbone* oleh Novikov,^[23] N-Tech oleh Li,^[24] *horizontal bar* oleh Pokorny, dkk.,^[25] dan metode pengujian *Constrain Rod Casting* (CRC) dilakukan oleh Lin, dkk.^[3] Selain itu banyak teknik dan metode lain untuk menganalisis kerentanan *hot-tearing* seperti teknik pengujian mekanika (tegangan dan regangan), dan fisika (*restibility* elektrik dan emisi akustik).

Banyak faktor yang mempengaruhi *hot-tearing sensitivity* (HTS) serta kerumitan dalam pengukurannya, sehingga dikembangkan persamaan HTS oleh M’Hamdi^[26] untuk komposisi paduan yang kompleks. Banyak juga faktor dan kriteria *hot tearing* yang berkembang.

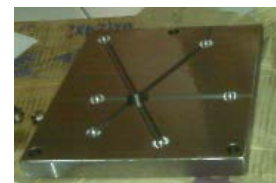
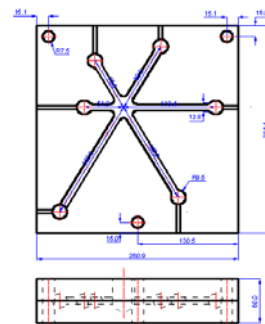
2. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini antara lain yaitu menganalisis kerentanan *hot tearing* terhadap variasi komposisi paduan Al-Si, menggunakan persamaan HTS. Modifikasi cetakan CRCM diharapkan dapat menganalisis kerentanan *hot tear*.

3. Prosedur penelitian

Penelitian ini memodifikasi bentuk cetakan CRC menjadi cetakan CRCM horizotal. Panjang batang divariasikan menjadi enam variasi panjang, penampang batang berbentuk silinder dan cairan logam dituang melalui *sprue*. *Hot spot* diharapkan akan terjadi pada persimpangan antara *sprue* dengan batang dan pada ujung setiap batang terdapat *riser flens* berbentuk bola. *Riser* pada setiap ujung berbentuk bola akan menahan kontraksi pada batang

selama dan setelah pembekuan. Dimana batang yang paling panjang terjadi kontraksi dan regangan yang lebih besar dibandingkan dengan yang paling pendek. Panjang *hot tear* atau *crack* setiap batang dapat dievaluasi dengan menggunakan laju kerentanan *hot tearing* pada paduan.



Gambar 1. Cetakan CRCM Horizontal.

Cetakan yang digunakan adalah cetakan logam baja karbon EMS/17330. Material yang digunakan dalam penelitian ini antara lain material aluminium murni sebagai *base* dan ADC12 untuk meningkatkan Si dari 0.24 menjadi 1.05%.

Penelitian ini menggunakan cetakan CRCM Horizontal seperti terlihat pada gambar 1. Cetakan dengan enam variasi panjang batang (*cavity*) yaitu 51.00, 73.80, 96.60, 119.40, 142.20, dan 165.00 cm dengan diameter keseluruhan batang 9.5 mm. Pada setiap ujung batang diberi angkor berbentuk bola dengan diameter 9.50 mm.

Dua perbedaan penilaian *hot-tearing severity* antara lain adalah berdasarkan tipe dan lokasi retak pada pengecoran (tabel 2). Setiap enam batang panjang diberi nilai dari 1 sampai 6. Batang terpendek mempunyai nilai tertinggi sedangkan batang terpanjang diberi nilai terendah. Hal ini dikarenakan semakin pendek batang spesimen kemungkinan terjadi *hot tearing* semakin kecil. *Hot tearing* diklasifikasi dengan lima kategori (tabel 3). Keseluruhan *hot tearing* yang terbentuk dapat dianalisis dengan menggunakan formula HTS dibawah ini.

$$HTS = \sum[(L_i) \times (C_i)] \quad [26]$$

dimana,

- HTS = kerentanan *hot-tear* pada keseluruhan paduan coran.
 L_i = nilai terhadap panjang batang dimana terjadi *hot-tear*.
 C_i = nilai terhadap tipe retak yang terbentuk.

Perhitungan kerentanan *hot tearing*

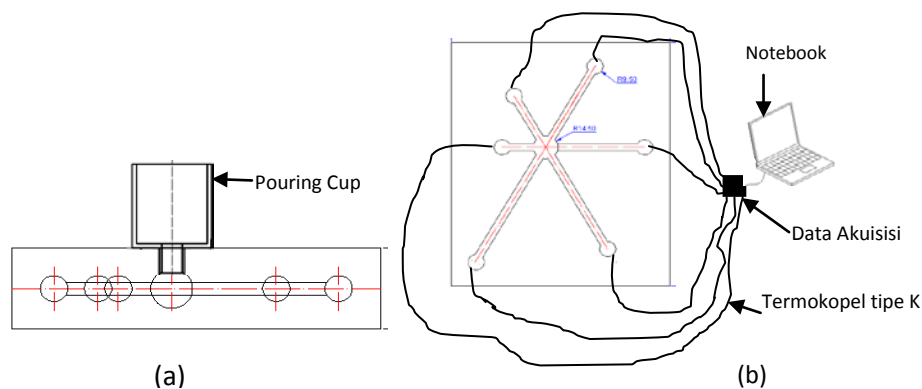
Tabel 2. Penilaian HTS.^[3]

Sistem penilaian HTS			
Nilai panjang batang, L_i		Nilai <i>Hot-Tear Severity</i> , C_i	
Panjang batang (cm)	L_i	Tipe <i>Hot-Tear</i> *	C_i
51.00	6	Retak rambut	1
73.80	5	Retak ringan	2
96.60	4	Retak sedang	3
119.40	3	Retak komplit	4
142.20	2		
165.00	1		

* Jika tidak terbentuk retak, maka nilai yang diberikan adalah nol

Peleburan aluminium dilakukan dengan menggunakan dapur induksi dengan temperatur awal cetakan dipanaskan pada suhu 220 °C. Perubahan temperatur dipantau dengan menggunakan termokopel tipe-K (*chromel-alumel*) yang dihubungkan dengan komputer melalui data akuisisi selama pengecoran. Setelah itu paduan aluminium dicor kedalam cetakan semua data temperatur direkam. Hasil pengecoran dilihat dan diberi penilaian dengan merujuk perhitungan HTS seperti yang telah dibahas diatas.

Gambar 2a menjelaskan tempat penempatan *pouring cup*, sedangkan pada gambar 2b menjelaskan bagaimana *setup* perekaman data temperatur cetakan dan temperatur tuang cairan logam dengan menggunakan data akuisisi kedalam komputer. Gambar 5 dan 6 memperlihatkan retak yang terbentuk pada produk hasil coran. Morfologi permukaan retak dilihat dengan foto makro.



Gambar 2 (a). Penempatan *pouring cup* pada CRCM, (b). *Sett up* pengujian.

Tabel 3. Lima kategori *hot tear*.^[3]

a.	Tidak retak	:	Spesimen hasil coran tidak terlihat retak
b.	Retak rambut (<i>hairline crack</i>)	:	Retak rambut terlihat halus, tipis kira-kira panjangnya setengah dari lingkaran batang spesimen.
c.	Retak ringan (<i>light crack</i>)	:	Retak ringan terlihat lebih jelas dari retak-retak rambut dan hampir memenuhi seluruh permukaan batang spesimen.
d.	Retak sedang (<i>severe crack</i>)	:	Retak terlihat jelas memenuhi keseluruhan lingkaran akan tetapi tidak sampai membuat spesimen putus.
e.	Retak komplit (<i>complete crack</i>)	:	Retak jelas terlihat dan pada batang spesimen putus terpisah.

4. Hasil dan diskusi

Hot tearing pada spesimen 1 dengan komposisi Si 0.24 % terlihat pada batang E dan F, sedangkan pada batang A, B, C, dan D tidak terlihat adanya indikasi retak. Batang E terlihat retak dengan tipe retak komplit ($C_i=4$) dan pada batang F retak terlihat

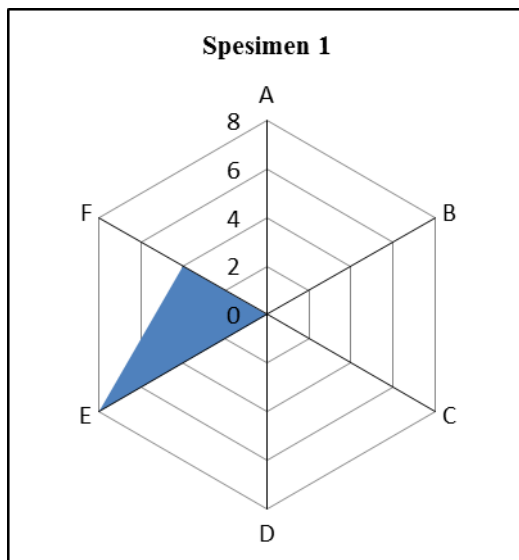
retak terjadi di pangkal awal saluran masuk serta pada tengah batang, sehingga tipe retak dapat dikategorikan retak komplit ($C_i=4$).

Nilai *hot-tearing susceptibility* keseluruhan untuk spesimen 1 adalah 12 hts. Nilai HTS untuk spesimen 1 dapat dilihat pada tabel 4, grafik *footprint*nya dapat dilihat pada gambar 3 dan foto spesimen yang retak dapat dilihat pada gambar 5.

Tabel 4. Niali HTS Spesiemen 1

	Ci	Li	HTS
Batang A	0	6	0
Batang B	0	5	0
Batang C	0	4	0
Batang D	0	3	0
Batang E	4	2	8
Batang F	4	1	4
$HTS = \sum [(L_i) \times (C_i)]$			12

Hot tearing pada spesimen 2 dengan komposisi Si 1.05% terlihat mulai pada batang D, batang E, dan batang F. Sedangkan pada batang A, B, dan C tidak terlihat adanya indikasi retak. Retak pada batang D dikategorikan retak sedang ($C_i=3$). Pada batang E retak menyebabkan batang spesimen putus, retak tersebut dikategorikan retak komplit ($C_i=4$) dan retak juga terlihat pada batang terpanjang yaitu batang F, dengan kategori retak yaitu retak rambut ($C_i=4$). Nilai *hot-tearing susceptibility* untuk keseluruhan spesimen 2 adalah 18 hts.

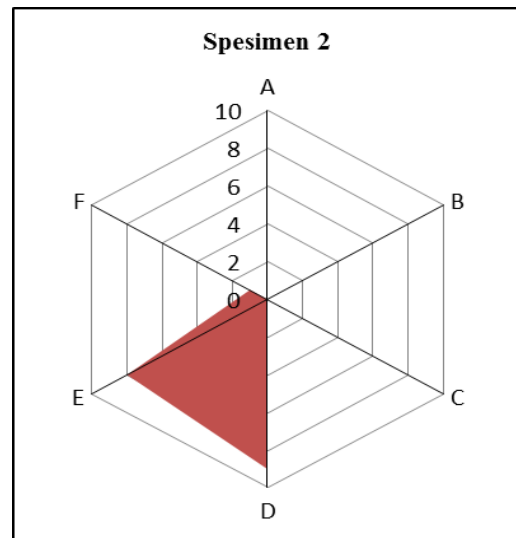


Gambar 3. Paduan Al-0.24%Si

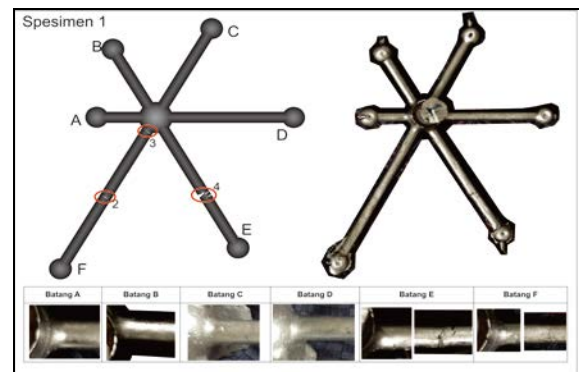
Tabel 5. Niali HTS Spesiemen 2

	Ci	Li	HTS
Batang A	0	6	0
Batang B	0	5	0
Batang C	0	4	0
Batang D	3	3	9
Batang E	4	2	8
Batang F	1	1	1
$HTS = \sum [(L_i) \times (C_i)]$			18

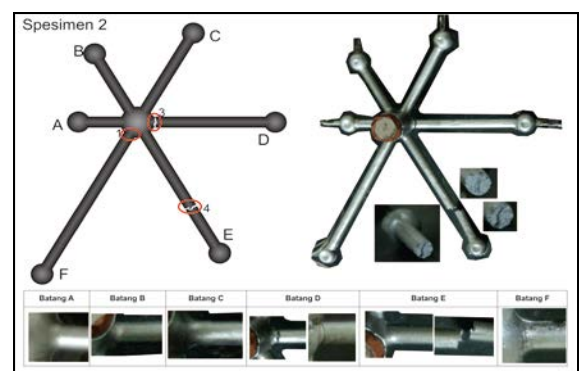
Nilai HTS untuk spesimen 2 dapat dilihat pada tabel 5, grafik footprintnya dapat dilihat pada gambar 4, dan foto retak spesimennya dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 4. Paduan Al-1.05%Si



Gambar 5. Foto retak pada spesimen Al-0,24%Si.



Gambar 6. Foto retak pada spesimen Al-1,05%Si.

Kedua spesimen diatas menunjukkan retak banyak terjadi pada tiga batang terpanjang, sedangkan pada tiga batang pendek tidak terlihat adanya retak. Hal ini disebabkan oleh faktor perpindahan panas dari material cetakan ke lingkungan melalui cetakan logam. Desain cetakan dengan *sprue* pada pangkal batang serta *flens* berbentuk bola pada ujung setiap batang dengan diameter lebih besar dari diameter batang membuat daerah tersebut menyimpan panas lebih lama sehingga cairan logam pada daerah tersebut akan membeku terakhir. Cairan logam yang ada pada

sprue dan *flens* bola tersebut sebelum membeku berfungsi sebagai *feeding* material untuk setiap batang. Daerah *hot spot* atau daerah yang menjadi acuan pengukuran dan analisis kerentanan *hot tear* adalah sepanjang batang, dimulai dari *sprue* sampai dengan *flens* bola untuk setiap batang. Desain cetakan CRCM Horizontal ini merujuk pada metode analisis kerentanan *hot tearing* secara visual.

Inisiasi retak terjadi pada daerah sedikit diatas temperatur solidus yang disebut dengan *hot tearing* dan dibawah temperatur solidus sampai material membeku sepenuhnya yang disebut dengan *hot cracking*.^[3]

5. Kesimpulan

Hasil dan pembahasan diatas, dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan paduan ADC12 pada paduan Al murni maka dapat meningkatkan komposisi Si (silikon) dari 0.24% menjadi 1.05 % Si. Dengan meningkatnya kandungan Si maka nilai HTS juga meningkat, sehingga kandungan Si yang tinggi cenderung rentan terhadap *hot tearing*. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Vero.^[5]

Cetakan CRCM Horizontal yang merupakan hasil modifikasi dari cetakan CRC^[3] dan dapat digunakan untuk menganalisis *hot cracking* serta *hot tearing* yang terjadi. Metode cetakan ini merujuk kepada teknik atau metode analisis *hot-tearing sensitivity* secara visual.

Daftar Pustaka

- [1] Monroe, C., dan Beckermann C., 2005, Development of a Hot Tear Indicator for Steel Casting, *Materials Science and Engineering A*, vol. 413-414.
- [2] Suyitno, Kool, W.H., dan Katgerman, L., 2005, Integrated Approach for Prediction of Hot Tearing, *Metallurgical and Material Transactions A*, vol. 36A, pp1537-1537.
- [3] Lin, S., Aliravci, C., dan Pekguleryuz, M.O., 2007, Hot-Tear Susceptibility of Aluminum Wrought Alloys and the Effect of Grain Refining, *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 38A, pp. 1056-1068.
- [4] Eskin, D.G., Suyitno, dan Katgerman, L., 2004, Mechanical Properties in the Semi-solid State and Hot Tearing of Aluminium Alloys, *Progress in Material Science*, vol.49, pp.629-711.
- [5] Verö, J., 1936, The Hot-Shortness of Aluminum Alloys, *The Metals Industry*, vol. 48, pp. 431-434.
- [6] Pumphrey, W.I., dan Jennings, P.H., 1948, A Consideration of the Nature of Brittleness at Temperatures above the Solidus in Castings and Welds in Aluminum Alloys, *J. Inst. Metals*, vol. 75, pp. 235-235.
- [7] Pellini, W.S., 1952, Strain Theory of Hot Tearing, *Foundry*, vol. 80, pp. 125-199.
- [8] Flinn, R.A., 1963, Fundamentals of Metal Casting, *Addison-Wesley*, pp. 103-111.
- [9] Saveiko, V.N., 1961, Theory of Hot Tearing, *Russian Casting Production*, vol. 11, pp. 453-453.
- [10] Borland, J.C., 1960, Generalized Theory of Super-Solidus Cracking in Welds and Casting, *British Welding Journal*, vol. 7, no. 8, pp. 508-512.
- [11] Rosenberg, R.A., Flemings, M.C., dan Taylor, H.F., 1960, Nonferrous Binary Alloys Hot Tearing, *AFS Trans*, vol. 69, pp. 518-528.
- [12] Spittle, J.A., dan Cushway, A.A., 1983, Influence of Superheat and Grain Structure on Hot-Tearing Susceptibilities of Al-Cu Alloy Castings, *Metals Technology*, vol. 10(1), pp. 6-13.
- [13] Clyne, T.W., dan Davies, G.J., 1975, A Quantitative Solidification Test for Casting and An Evaluation of Cracking in Aluminium-Magnesium Alloys, *The British Foundryman*, vol. 68, no. 9, pp. 238-238.
- [14] Bichler, L., Elsayed, A., dan Lee, K., 2008, Influence of Mold and Pouring Temperatures on Hot Tearing Susceptibility of AZ91D Magnesium Alloy, *International Journal of Metal Casting*, vol. 2(1), pp. 43-54.
- [15] Zhen, Z., Hort, N., dan Utke, O., 2009, Investigations on Hot Tearing of mg-Al Binary Alloys by using a New Quantitative Method, *Magnesium Technology* pp. 126-126.
- [16] Limmaneevichitr, C., Saisiang, A., dan Chanpum, S., 2002, The Role of Grain Refinement on Hot Crack Susceptibility of Aluminum Alloy Permanent Mold Castings, *Proceedings of the 65th World Foundry Congress*, pp. 157-157.
- [17] Gowri, S., dan Bouchard, M., 1994, Hot Cracking in Aluminium Alloys—Part 1. Literature Survey, *Research Report*, Université du Québec à Chicoutimi.
- [18] Singer, A.RE., dan Jennings, P.H., 1946, "Hot-Shortness of The Aluminium-1043 Silicon Alloys of Commercial Purity", *J. Inst. Metals*, vol. 72, pp.197-211.
- [19] Couture, A., dan Edwards, J.O., 1966, The Hot-Tearing of Copper-Base Casting Alloys, *AFS Trans*, vol. 74, pp. 709-721.
- [20] Oya, S., Honma, U., Fujii, T., dan Othaki, M., 1984, Evaluation of Hot Tearing in Binary Al-Si Alloy Castings, *Aluminium*, vol. 60, no. 20, pp.777-777.
- [21] Warrington, D., dan McCartney, D.G., 1991, Hot-Cracking in Aluminum Alloys 7050 and 7010 – a Comparative Study, *Cast Metals*, vol. 3(4), pp. 202-208.

- [22] Gamber, E.J., 1959, Hot Cracking Test for Light Metal Casting Alloys, *Trans. AFS*, vol. 67, pp. 237-237.
- [23] Novikov II. , 1966, Goryachelomkost tsvetnykh metallov i splavov (Hot shortness of non-ferrous metals and alloys), Moscow, Nauka, pp. 299-299.
- [24] Li, S., 2010, Hot Tearing in Cast Aluminum Alloys: Measures and Effects of Process Variables, Worcester Polytechnic Institute pp. 24-24.
- [25] Pokorny, M.G., Monroe, C.A., & Beckermann, C, 2009, Prediction Of Deformation and Hot Tear Formation Using A Viscoplastic Model With Damage, *The Minerals, Metal and Materials Society*, pp.198-198.
- [26] M'Hamdi M., dan Mo, A., 2005, TearSim: A Two-phase Model Addressing Hot Tearing Formation During Aluminum Direct Chill Casting, *Material Science Engineering A*, Vol. 413-414, pp. 105-108.