

PENGARUH VARIASI KECEPATAN PUTAR, TEMPERATUR CETAKAN DAN TEMPERATUR TUANG TERHADAP FLUIDITAS PENGECORAN ALUMINIUM KALENG MINUMAN MENGGUNAKAN METODE QUDONG

Andry Sutanto^[1], Warman Fatra^[2], Zuchra Helwani^[3]

Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya km.12,5 Simpang Baru, Pekanbaru 28293

^[1]andridanandre@gmail.com, ^[2]warman_fatra@yahoo.com, ^[3]zuchrahelwani@yahoo.com

Abstract

Castability is a measur of the ability of an alloy to be formed according to the desired shape using a casting process, which is limited by fluidity. Qudong method 1999, used in this research with varying pouring temperature; 650°C, 700°C, 750°C, mold temperature; 100°C, 200°C, 300°C and cavity thickness; 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm, 3.5 mm, 4.0 mm. As an effort to increasing castability, this research giving a rotation to look the effect of variation mold temperature, pouring temperature and rotation. Fluidity increased with the increasing pouring temperature, mold temperatur and rotation. Fluidity increases with cavity thickness, maximum fluidity achieved at pouring temperature 750°C, mold temperature 300°C and rotation 1500rpm at 2.0-4.0 mm with a length of 120 mm and minimum fluidity can be filled with molten metal is at 0.5 mm with a length of 15.5 mm.

Keywords : *fluidity, molten aluminum cans, pour temperature, mold temperature, rotation.*

1. Pendahuluan

Castability adalah ukuran kemampuan sebuah paduan untuk dibentuk sesuai bentuk yang diinginkan dengan suatu proses pengecoran logam. Yang mana hasil dari sebuah pengecoran logam itu dituntut untuk dapat menghasilkan bentuk yang lebih kompleks dengan toleransi tinggi, permukaan produk yang halus, bebas cacat, waktu produksi yang singkat dan dapat diproduksi secara massal menjadi suatu keharusan dalam fabrikasi [15].

Castability dari sebuah paduan logam dibatasi oleh fluiditas dari paduan logam itu sendiri. Dimana fluiditas adalah kemampuan alir logam cair pada temperatur dan dalam cetakan tertentu sebelum berhenti akibat pembekuan, fluiditas biasanya diukur dalam milimeter atau meter [6]. Metode pengujian mampu alir logam cair ada beberapa metode seperti *Spiral-Mould Test*, *Vacuum fluidity tests*, *University of Birmingham UK*, *Qudong et, Al*, *Ragone test*, *Sabatino test* dengan hanya memvariasikan ketebalan dinding rongga cetakan, atau memvariasikan temperatur pengecoran.

Penelitian ini menggunakan metode Qudong yang memiliki beberapa variasi ketebalan dinding rongga cetakan serta memiliki nilai eror yang kecil [1] tetapi dengan hanya memanfaatkan gaya gravitasi yang ada, lalu penelitian ini dikembangkan dengan cara melakukan pengecoran *centrifugal* atau memberikan putaran pada proses pengecoran diharapkan dapat meningkatkan nilai fluiditas dari logam cair serta untuk

mengembangkan metode pengujian fluiditas dari logam cair

Pengecoran sentrifugal adalah suatu metode pengecoran dimana cetakan diputar dan logam cair dituangkan ke dalamnya, sehingga logam cair tertekan oleh gaya sentrifugal dan kemudian membeku [25]. Dengan menggunakan teknik sentrifugal vertikal untuk produksi komponen struktural yang dibandingkan dengan pengecoran gravitasi tradisional dapat meningkatkan sifat mekanik akibat gaya sentrifugal yaitu kekuatan sebelum patah sebesar 35%, dan tegangan patah sekitar 160%, Modulus young 18% [10]. Sejauh ini belum ada penelitian yang untuk melihat pengaruh variasi kecepatan putar terhadap nilai fluiditas dari material. Metode pengecoran sentrifugal yang digunakan adalah metode *centrifuge casting*, dimana bentuk cetakan untuk metode ini berupa runner atau rongga cetakan dengan *mold* dari spesimen berada diujung dari runner sehingga menyerupai dari *mold* yang digunakan pada pengujian fluiditas menggunakan metode Qudong.

Untuk meningkatkan *castability* suatu bahan yang dibatasi oleh fluiditas, maka penelitian ini dilakukan dengan mengkaji ulang tentang pengaruh kondisi pengecoran yaitu temperatur cetakan, temperatur tuang dan dengan memberikan putaran pada saat proses pengecoran sehingga diketahui perubahan fluiditas logam cair dari bahan aluminium kaleng minuman.

2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu, studi literatur fluiditas, *centrifuge casting*, aluminium, *Response Surface Methode*, persiapan alat dan bahan, pengujian pengaruh putaran terhadap fluiditas pengecoran aluminium, hasil pengujian, analisis dan pembahasan.

2.1 Persiapan Alat dan Bahan

a. Alat

Persiapan alat meliputi pemeriksaan kelayakan peralatan-peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini seperti : Tungku Peleburan (*Crucible Furnace*), Termokopel, Kowi, Jangka Sorong, Cetakan logam metode Qudong [1], Meja Pengecoran *Centrifugal Casting*, *Tachometer*, *Blower*, Peralatan *safety*, dan peralatan bantu.

b. Bahan

Bahan yang digunakan merupakan aluminium kaleng minuman *CocaCola*, *Fanta*, *Sprite* yang merupakan satu pabrikan *CocaCola Company*, tempurung kelapa sebagai bahan bakar, dan LPG 3kg.

2.2 Peleburan Material

Bahan pengujian aluminium kaleng minuman dilebur menggunakan Tungku Peleburan (*Crucible Furnace*), yang terlebih dahulu material yang akan dilebur dipotong-potong menjadi potongan-potongan kecil dan dibersihkan, sehingga diharapkan tidak ada kotoran yang menempel pada saat material mencair. *crucible* dipanaskan terlebih dahulu, sehingga diharapkan dinding dari *crucible* mendapatkan pemanasan yang merata terlebih dahulu sebelum digunakan untuk melebur kaleng, setelah *crucible* dipanaskan lalu kowi dimasukkan ke dalam *crucible* kemudian bahan bakar ditambahkan di sekeliling kowi dengan tujuan mendapatkan pemanasan yang merata pada dinding kowi.

2.3 Pengujian Pengaruh Putaran Terhadap Fluiditas

Setelah logam mencair di dalam *crucible* kemudian diukur temperatur logam cair tersebut dengan menggunakan termokopel, jika temperatur yang diinginkan sesuai variabel dari rancangan percobaan atau pengujian sudah tercapai maka logam cair siap untuk dituang ke dalam cetakan yang telah dipanaskan terlebih dahulu dengan menggunakan *LPG burner* hingga temperatur cetakan yang diinginkan sesuai variabel dari rancangan percobaan atau pengujian.

Kemudian *casing* meja *centrifugal casting* dipasang untuk menutup cetakan agar pada saat proses penuangan *splash* dari logam cair akibat proses pengecoran sentrifugal tidak membahayakan saat proses penuangan logam cair. Motor listrik meja mesin sentrifugal casting dihidupkan dengan kecepatan putaran pengecoran sesuai dengan

rancangan percobaan, yang mana terlebih dahulu dilakukan *setting* alat dan pengukuran kecepatan putar menggunakan *tachometer*. Setelah kecepatan putar meja dipastikan sesuai logam cair dituangkan kedalam cetakan melalui corong tuang yang ada ditengah-tengah casing meja *centrifugal casting*, kemudian logam cair yang telah dituangkan kedalam cetakan didiamkan beberapa saat untuk proses pemadatan logam cair dan pendinginan.

Setelah logam cair memadat, kemudian coran dibongkar dan dipisahkan. Hasil coran yang didapat dari proses pengecoran logam dibersihkan dari material-material pengotor yang melekat pada hasil coran.

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan pengecoran logam, hasil pengecoran logam yang telah dilakukan pada variasi temperatur tuang, temperatur cetakan dan putaran sesuai dengan rancangan percobaan, spesimen dibongkar dari cetakan logam kemudian dibersihkan dan diukur berdasarkan ketebalan rongga, panjang fluiditas masing-masing dengan menggunakan jangka sorong

Pengolahan data dan analisis pengaruh putaran terhadap nilai fluiditas material dilakukan dengan menggunakan RSM. Data statistik nilai fluiditas dari hasil pengecoran material dengan *centrifuge casting* diolah menggunakan software *Design – Expert 7.0.0 – Trial Version* dengan prosedur sebagai berikut :

1) Variabel kondisi proses yaitu, temperatur tuang (X_1), temperatur cetakan (X_2) dan putaran (X_3) dimasukkan kedalam rancangan percobaan CCD, dengan variabel respon yang diteliti rongga 0,5 mm (Y_1), 1 mm (Y_2), 1,5 mm (Y_3), 2 mm (Y_4), 2,5 mm (Y_5), 3 mm (Y_6), 3,5 mm (Y_7), dan 4 mm (Y_8). Hasil nilai fluiditas dapat dilihat pada Tabel 1.

2) Data hasil pengujian untuk setiap variabel respon (Y_i) . Menghasilkan model polinomial orde kedua yang kemudian diuji kesesuaiannya menggunakan *Analysis Of Variance (ANOVA)*. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kesesuaian model terhadap data hasil percobaan yang dilihat dari nilai R^2 dan hasil uji simultan (*F-test*) untuk menentukan tingkat signifikan dari variabel kondisi proses (X_i) terhadap model menggunakan tingkat probabilitas $\alpha = 1\%$. Model Persamaan orde 1 (satu) digunakan terlebih dahulu untuk menentukan nilai *curvature* dari data yang diperoleh. *Curvature analysis*/uji kelengkungan diperlukan untuk melanjutkan apakah data yang akan diolah perlu menggunakan persamaan orde 2 (dua) atau cukup dengan menggunakan persamaan orde 1. Untuk menggunakan persamaan orde 2, *p-value curvature* harus dibawah nilai α yang digunakan yaitu 5% atau 0,05 yang artinya terdapat kecenderungan pada data percobaan untuk membentuk kelengkungan.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Nilai Respon Fluiditas Rancangan Percobaan

Run	Natural Variables			Coded Variables			Response							
	ξ_1 (°C)	ξ_2 (°C)	ξ_3 (rpm)	X_1	X_2	X_3	Y_1 (mm)	Y_2 (mm)	Y_3 (mm)	Y_4 (mm)	Y_5 (mm)	Y_6 (mm)	Y_7 (mm)	Y_8 (mm)
1	200	615.91	1000	0	-1.68	0	0	0	0	81.54	69.8	60.45	0	120
2	300	750	1500	1	1	1	15.5	41.5	82.95	120	120	120	120	0
3	200	700	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0
4	100	650	500	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	100	650	1500	-1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	300	750	500	1	1	-1	0	0	0	0	0	0	120	0
7	200	700	159.10	0	0	-1.68	0	0	0	0	0	0	0	0
8	31.82	700	1000	-1.68	0	0	0	0	0	0	0	32.50	120	120
9	300	650	1500	1	-1	1	10.85	24.80	106.25	73.6	120	120	120	120
10	200	700	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120
11	300	650	500	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	57.3	63
12	200	700	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0
13	200	700	1840.90	0	0	1.68	19.80	64.85	120	120	120	120	120	120
14	100	750	1500	-1	1	1	0	0	51.60	98.05	0	82.3	82.4	120
15	100	750	500	-1	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	200	784.09	1000	0	1.68	0	0	0	0	0	0	0	0	120
17	200	700	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120
18	200	700	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0
19	368.18	700	1000	1.68	0	0	0	0	94.1	120	120	120	120	120
20	200	700	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120

Keterangan :

- ξ_1 : Td Temperatur Cetakan (°C)
- ξ_2 : Tp Temperatur Pengecoran (°C)
- ξ_3 : Putaran Pengecoran (rpm)
- Y_1 : Rongga Cetakan 0,5 mm
- Y_2 : Rongga Cetakan 1 mm
- Y_3 : Rongga Cetakan 1,5 mm
- Y_4 : Rongga Cetakan 2 mm
- Y_5 : Rongga Cetakan 2,5 mm
- Y_6 : Rongga Cetakan 3 mm
- Y_7 : Rongga Cetakan 3,5 mm
- Y_8 : Rongga Cetakan 4 mm.

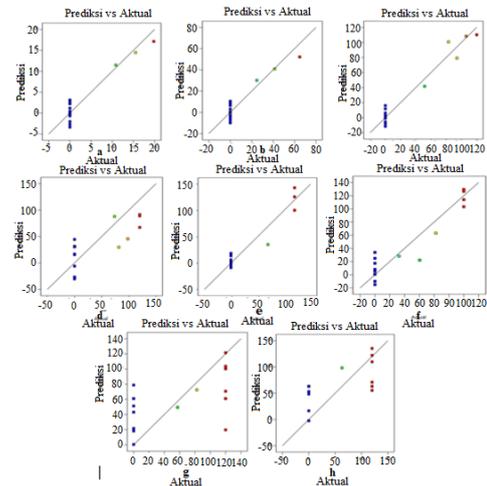
Percobaan pengujian nilai kelengkungan dari rancangan percobaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Salah satu keunggulan CCD adalah dasar perancangannya merupakan desain faktorial sehingga dapat diperuntukkan untuk orde 1 maupun orde 2 [15].

Tabel 2. Rangkuman Hasil Uji Kelengkungan

Respon	<i>p-value model</i>	<i>p-value curvature</i>
Rongga 0,5mm	0,0354	0,1324
Rongga 1mm	0,0870	0,1888
Rongga 1,5mm	0,0011	0,0078
Rongga 2mm	0,0102	0,0103
Rongga 2,5mm	0,0001	0,0015
Rongga 3mm	0,0009	0,0016
Rongga 3,5mm	0,6286	0,9644
Rongga 4mm	0,4455	0,8822

Nilai *p-value* model pada masing-masing respon tidak semua memenuhi syarat uji regresi *p-value* < $\alpha = 0,05$. Hanya pada respon 1, 3, 4, 5 dan 6 yang memenuhi syarat uji regresi *p-value*. *P-value* adalah suatu nilai yang digunakan untuk menguji komponen terhadap tingkat probabilitas (α) tertentu. Untuk respon nilai fluiditas pada masing-masing rongga cetakan, *p-value curvature* tidak signifikan yang artinya variabel respon masing-masing rongga cetakan menggunakan persamaan orde 1 dan jika *p-value curvature* signifikan maka artinya variabel respon menggunakan persamaan orde 2.

Pada Gambar 1 dapat dilihat model regresi prediksi versus aktual, dari rancangan pengujian. Dalam penelitian ini memiliki beberapa presisi yang baik yaitu respon 1, 2, 3, 5 dan 6, dimana data yang di peroleh tidak memiliki sebaran yang jauh. Dan dalam penelitian ini juga didapat beberapa presisi yang tidak baik yaitu respon 4, 7 dan 8.



Gambar 1. Model Regresi Prediksi Versus Aktual
a) Respon 1 b) Respon 2 c) Respon 3 d) Respon 4
e) Respon 5 f) Respon 6 g) Respon 7 h) Respon 8

Uji simultan dilakukan untuk melihat pengaruh setiap sumber varian terhadap respon berdasarkan *p-value*. Rangkuman *p-value* untuk setiap sumber varian Tabel 3-10.

Tabel 3. Rangkuman *p-value* Untuk Respon 1

Sumber Varian	<i>p-value</i> Respon 1 (Y_1)	Keterangan
Model	0,0005	Signifikan
A – Td	0,0170	Signifikan
B – Tp	0,6248	Tidak Signifikan
C – n	<0,0001	Signifikan
AB	0,5246	Tidak Signifikan
AC	0,0039	Signifikan
BC	0,5246	Tidak Signifikan

A ²	0.9484	Signifikan Tidak Signifikan
B ²	0.9484	Tidak Signifikan
C ²	0.0004	Signifikan

Tabel 4. Rangkuman *p-value* Untuk Respon 2

Sumber Varian	<i>p-value</i> Respon 2 (Yi)	Keterangan
Model	0,0018	Signifikan
A – Td	0,0590	Tidak Signifikan
B – Tp	0.6034	Tidak Signifikan
C – n	0,0002	Signifikan
AB	0.4993	Tidak Signifikan
AC	0.0194	Signifikan
BC	0.4993	Tidak Signifikan
A ²	0.7688	Tidak Signifikan
B ²	0.7688	Tidak Signifikan
C ²	0.0007	Signifikan

Tabel 5. Rangkuman *p-value* Untuk Respon 3

Sumber Varian	<i>p-value</i> Respon 3 (Yi)	Keterangan
Model	<0,0001	Signifikan
A – Td	<0,0001	Signifikan
B – Tp	0.5352	Tidak Signifikan
C – n	<0,0001	Signifikan
AB	0.0507	Tidak Signifikan
AC	0.0022	Signifikan
BC	0.4211	Tidak Signifikan
A ²	0.0008	Signifikan
B ²	0.6141	Tidak Signifikan
C ²	<0.0001	Signifikan

Tabel 6. Rangkuman *p-value* Untuk Respon 4

Sumber Varian	<i>p-value</i> Respon 4 (Yi)	Keterangan
Model	0,0063	Signifikan
A – Td	0,0444	Tidak Signifikan
B – Tp	0.9579	Tidak Signifikan
C – n	0,0023	Signifikan

Tabel 7. Rangkuman *p-value* Untuk Respon 5

Sumber Varian	<i>p-value</i> Respon 5 (Yi)	Keterangan
Model	0,0002	Signifikan
A – Td	<0,0001	Signifikan
B – Tp	0.1250	Tidak Signifikan
C – n	<0,0001	Signifikan
AB	1.0000	Tidak Signifikan
AC	0.0012	Signifikan
BC	1.0000	Tidak Signifikan
A ²	0.0095	Signifikan
B ²	0.1815	Tidak Signifikan
C ²	0.0095	Signifikan

Tabel 8. Rangkuman *p-value* Untuk Respon 6

Sumber Varian	<i>p-value</i> Respon 6 (Yi)	Keterangan
Model	0,0007	Signifikan
A – Td	0,0037	Signifikan
B – Tp	0.8157	Tidak Signifikan
C – n	<0,0001	Signifikan
AB	0,2135	Tidak Signifikan
AC	0.0291	Signifikan
BC	0,2135	Tidak Signifikan
A ²	0.0025	Signifikan
B ²	0.2680	Tidak Signifikan
C ²	0.0134	Signifikan

Tabel 9. Rangkuman *p-value* Untuk Respon 7

Sumber Varian	<i>p-value</i> Respon 7 (Yi)	Keterangan
Model	0,1379	Tidak Signifikan
A – Td	0,1130	Tidak Signifikan
B – Tp	0.4780	Tidak Signifikan
C – n	0,1016	Tidak Signifikan

Tabel 10. Rangkuman *p-value* Untuk Respon 8

Sumber Varian	<i>p-value</i> Respon 8 (Yi)	Keterangan
Model	0,3918	Tidak Signifikan
A – Td	0,7757	Tidak Signifikan

B – Tp	0.7757	Tidak Signifikan
C – n	0,1038	Tidak Signifikan
AB	0,0906	Tidak Signifikan
AC	0.7100	Tidak Signifikan
BC	0,7100	Tidak Signifikan

Setiap respon menjelaskan bahwa sumber varian yang memiliki pengaruh terhadap variabel respon (Yi). Tingkat probabilitas yang digunakan adalah $\alpha = 0,05$ maka sumber varian yang memiliki $P\text{-value} < 0,05$ merupakan variabel yang memberikan pengaruh signifikan terhadap model. Sedangkan $P\text{-value}$ yang memiliki nilai lebih besar terhadap α merupakan variabel yang tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap model.

Kemudian dari hasil analisis statistik akan didapat nilai koefisi determinasi (R^2). R^2 merupakan jumlah variabilitas dalam data yang diperoleh atau dihitung berdasarkan model regresi. Nilai R^2 berada pada interval 0 hingga 1. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan derajat korelasi yang tinggi antara data observasi terhadap model yang dihasilkan Tabel [15]. Nilai *lack of fit* juga dapat digunakan untuk menentukan tingkat kesesuaian antara data observasi terhadap model. $P\text{-value lack of fit}$ merupakan nilai yang menunjukkan tingkat ketidaktepatan data observasi anata *centre point* akibat adanya *error* selama melakukan percobaan Tabel 11[15].

Tabel 11. Rangkuman Nilai R^2 dan *Lack of Fit*

Respon	R^2	Keterangan	P-Value Lack of Fit	Keterangan
1	0,9034	Signifikan	0,1953	Tidak Signifikan
2	0,8751	Signifikan	0,1604	Tidak Signifikan
3	0,9578	Signifikan		
4	0,5276	Tidak Signifikan		
5	0,9240	Signifikan		
6	0,8993	Signifikan		
7	0,2844	Tidak Signifikan	0,8243	Tidak Signifikan
8	0,3454	Tidak Signifikan	0,7095	Tidak Signifikan

Nilai R^2 dari setiap respon mendekati 1, artinya terdapat hubungan yang tinggi antara hasil observasi (respon) terhadap model. Nilai *lack of fit* tidak sigifikan berarti data observasi antara *centre point* telah cukup akurat atau error yang kecil.

Pengujian hipotesis pada uji simultan dilakukan dengan menghitung F_0 (F_{hitung}) untuk setiap variabel respon. Nilai F_0 dapat ditentukan menggunakan perbandingan *mean square* regresi terhadap *mean square error*, dimana jika perbandingan $F_{hitung} > F_{(\alpha, dof, df2)}$ maka H_0 ditolak. Hipotesis yang berlaku untuk pengujian :

- $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k$ (Tidak terdapat kesesuaian model)
 $H_1 : ($ Tidak semua H_0 terdapat kesesuaian model)

Nilai F_{tabel} merupakan $F_{(\alpha, df1, df2)}$ dengan tingkat probabilitas yang digunakan adalah $\alpha = 0,05$, dimana df adalah derajat kebebasan. Tabel distribusi untuk berbagai sebaran. Nilai F_0 untuk setiap respon nilai fluiditas rongga cetakan dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Rangkuman Nilai F_0 untuk Setiap Variabel Respon (Yi)

Respon	Sumber	SS	DoF	MS	F_0	F_{tabel}
1	Regresi	581,34	9	64,59		
	Error	62,19	10	6,22	10,38	3,04
	Total	643,52	19			
2	Regresi	4973,26	9	552,58		
	Error	709,53	10	70,95	7,78	3,01
	Total	5682,80	19			
3	Regresi	32318,16	9	3590,91		
	Error	1422,28	10	142,23	25,247	3,01
	Total	33740,43	19			
4	Regresi	24309,21	3	8103,07		
	Error	21770,22	16	1360,64	5,955	3,24
	Total	46079,44	19			
5	Regresi	43758,72	9	4862,08		
	Error	3599,32	10	359,93	13,508	3,01
	Total	47358,04	19			
6	Regresi	42819,73	9	4757,75		
	Error	4796,39	10	479,64	9,919	3,01
	Total	47616,11	19			
7	Regresi	18566,66	3	6188,89		
	Error	46722,99	16	2920,19	2,1193	3,24
	Total	65289,65	19			
8	Regresi	23557,23	6	3926,21		
	Error	44653,32	13	3434,87	1,143	2,92
	Total	68210,55	19			

Nilai F_{tabel} untuk sebaran pada $F(0,05, 9, 10)$ adalah 3,04, sebaran pada $F(0,05, 3, 16)$ adalah (Lampiran 4). Maka jika hasil $F_0 > F_{(\alpha, dof, df2)}$ maka hipotesis H_0 ditolak.

1) Model yang telah memenuhi syarat kemudian dinyatakan dalam persamaan kuadrat baik berdasarkan kode variabel maupun nilai aktualnya untuk setiap variabel respon (Yi).

$$Y1 = 33,48468 - 0,126213A - 0,015296B - 0,048367C + 0,000116AB + 0,000066AC + 0,000023BC - 4,3561E - 06A^2 - 0,000017B^2 + 0,000014C^2 \dots (1)$$

$$Y2 = 6,75441 - 0,382640A + 0,232831B - 0,152268C + 0,000418AB + 0,000166AC + 0,000083BC - 0,000067A^2 - 0,000268B^2 + 0,000043C^2 \dots (2)$$

$$Y3 = -413,35427 + 0,583398A + 1,19004B - 0,759656C - 0,001872AB + 0,000344AC + 0,000142B + 0,001500A^2 - 0,000654B^2 + 0,000078C^2 \dots (3)$$

$$Y4 = -92,65536 + 0,217741 + 0,010715B + 0,072266C \dots (4)$$

$$Y5 = -0,915973A - 4,15514 - 0,183195C - 2,75078E - 17AB + 0,000600AC - 6,30015E - 18BC + 0,001599A^2 \dots (5)$$

$$Y6 = 0,347640A - 3,81809B - 0,428501C - 0,002058AB + 0,000394AC + 0,000411BC + 0,002304A^2 + 0,002707B^2 + 0,00069C^2 \dots (6)$$

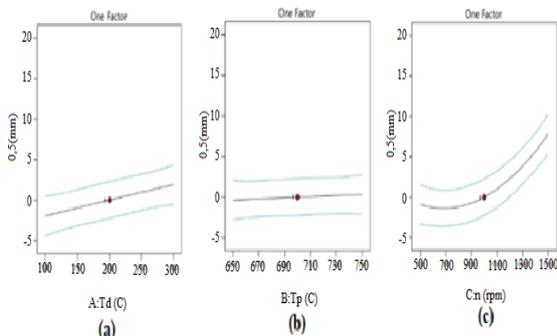
$$Y7 = 0,245225A + 0,212494B + 0,050805C \dots (7)$$

$$Y8 = 5,50613A + 1,10774B - 0,133524C - 0,007595AB - 0,000157AC + 0,000315BC \dots (8)$$

Keterangan :

- $Y_1 - Y_8$ = Nilai Fluiditas Rongga Cetakan (mm)
- A = Temperatur Cetakan (°C)
- B = Temperatur Tuang (°C)
- C = Putaran (rpm)

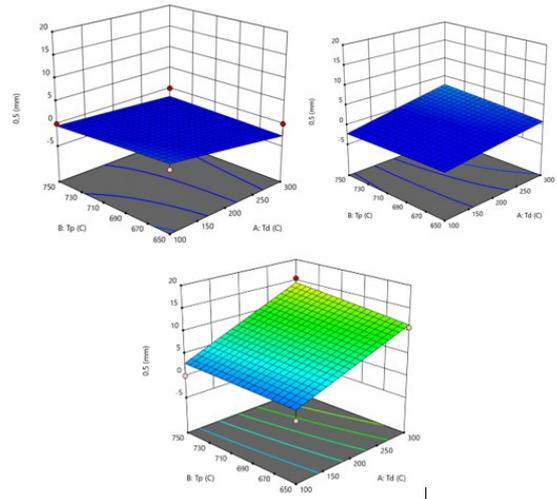
Pengaruh kondisi proses terhadap nilai fluiditas dapat dianalisis menggunakan RSM. Hasil dari analisis berupa persamaan linear ataupun kuadratik untuk respon nilai fluiditas. Kondisi proses pada nilai fluiditas antara lain temperatur cetakan (X1), temperatur tuang (X2) dan putaran (X3) pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Kondisi Proses Terhadap Nilai Respon 1mm (a)Temperatur cetakan (b)Temperatur tuang (c) Putaran

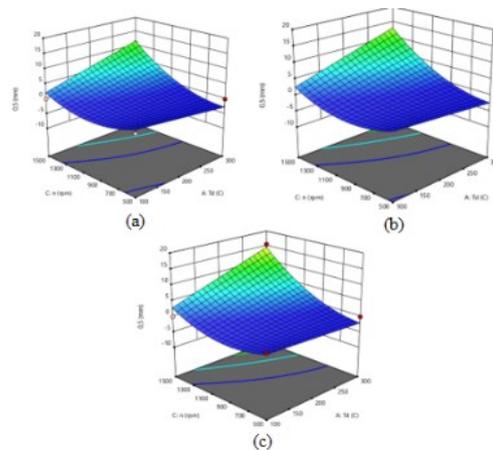
Untuk grafik respon 2-8 juga menunjukkan temperatur cetakan dan putaran yang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai fluiditas.

Grafik respon permukaan yang menunjukkan interaksi antar variabel temperatur cetakan (A), temperatur tuang (B), dan putaran (C) terhadap nilai fluiditas pada rongga 0,5mm dapat dilihat pada Gambar 3-5. Interaksi variabel temperatur cetakan (A) dan temperatur tuang (B) di tampilkan sebagai AB, interaksi variabel temperatur cetakan (A) dan putaran ditampilkan sebagai AC, dan interaksi variabel temperatur tuang (B) dan putaran (C) ditampilkan sebagai BC.



Gambar 3. Grafik Respon Permukaan Pengaruh Temperatur Tuang dan Temperatur Cetakan Terhadap Putaran (a) 500rpm (b) 1000rpm (c) 1500rpm

Nilai fluiditas pengaruh temperatur tuang dan temperatur cetakan pada putaran 500rpm tidak menghasilkan nilai fluiditas, dimana dapat dilihat hasil actual pengujian pada rongga 0,5mm nilai fluiditas yang dihasilkan 0 (no), begitu pula pada putaran 1000rpm. Sedangkan pada putaran 1500rpm nilai fluiditas tertinggi yaitu 15,5mm, didapat pada proses pengecoran dengan temperatur tuang 750oC temperatur cetakan 300oC dan nilai fluiditas pada putaran 1500rpm menurun menjadi 10,85mm pada temperatur tuang 650oC temperatur cetakan 300oC. Hal ini menunjukkan bahwa putaran memiliki pengaruh terhadap nilai fluiditas pada kondisi pengecoran, dimana nilai fluiditas meningkat atau menurun dengan diikuti dengan penurunan putaran, temperatur cetakan dan temperatur tuang, dapat dilihat pada Gambar 3.

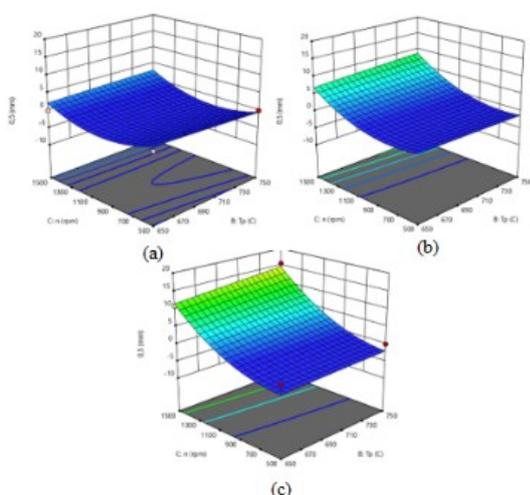


Gambar 4. Grafik Respon Permukaan Pengaruh Putaran dan Temperatur Cetakan Terhadap Temperatur Tuang (a) 650°C (b) 700°C (c) 750°C

Pada Gambar 4 temperatur tuang 650°C nilai fluiditas tertinggi yaitu 10,85mm dengan kondisi pengecoran temperatur cetakan 300°C dan putaran 1500rpm. Pada temperatur tuang 700°C tidak didapatkan hasil fluiditas. Sedangkan pada temperatur tuang 750°C nilai fluiditas tertinggi sebesar 15,5mm pada kondisi pengecoran temperatur 300°C putaran 1500rpm dan nilai fluiditas menurun diikuti dengan penurunan kondisi pengecoran yaitu putaran dan temperatur cetakan.

Pengaruh putaran dan temperatur tuang dapat dilihat bahwa pada temperatur cetakan 100°C dan 200°C tidak memiliki nilai fluiditas 0 (nol) walaupun temperatur tuang dan putaran ditingkatkan. Sedangkan pada temperatur cetakan 300°C nilai fluiditas tertinggi yaitu 15,5mm pada putaran 1500rpm dan temperatur tuang 750°C, dan nilai fluiditas terendah yaitu 0mm pada temperatur dan putaran kondisi proses terkecil. Hal ini dapat disimpulkan bahwa nilai fluiditas meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur cetakan Gambar 5.

Respon temperatur tuang dan putaran terhadap temperatur tuang, nilai fluiditas meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur tuang. Pada temperatur tuang 650°C ketebalan rongga 0,5mm didapatkan nilai fluiditas sebesar 10,85mm dengan temperatur cetakan 300 °C putaran 1500rpm dan terendah 0 (nol) mm pada temperatur cetakan 100 °C putaran 500 dan 1500rpm serta temperatur cetakan 300 °C putaran 500rpm, dan nilai fluiditas pada temperatur tuang 750 °C adalah 15,5mm dengan temperatur cetakan 300 °C putaran 1500rpm, nilai fluiditas terendah 0 (nol)mm pada temperatur cetakan 100 dan 300 °C pada putaran 500rpm. Dengan kata lain nilai fluiditas meningkat sebesar 100%. Hal serupa juga terjadi pada ketebalan rongga yang 1-4mm.



Gambar 5. Grafik Respon Permukaan Pengaruh Putaran dan Temperatur Tuang Terhadap Temperatur Cetakan (a) 100°C (b) 200°C (c) 300°C

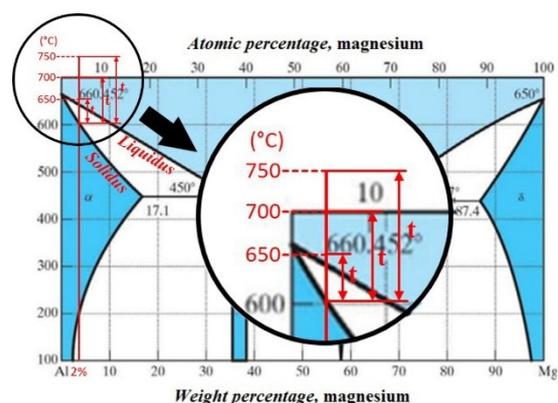
Respon temperatur tuang dan putaran terhadap temperatur cetakan, dari hasil yang didapat saat proses pengecoran nilai fluiditas tertinggi selalu pada temperatur cetakan 300°C, dengan kata lain nilai fluiditas meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur cetakan. Dari ketiga tabel respon permukaan variabel kondisi pengecoran, variabel memiliki pengaruh terhadap nilai fluiditas pada masing-masing rongga cetakan, dimana nilai fluiditas meningkat seiring dengan meningkatnya variabel kondisi pengecoran.

2) Pengaruh Temperatur Cetakan Terhadap Fluiditas

Fluiditas semakin tinggi seiring dengan meningkatnya temperatur cetakan, hal ini dapat disebabkan karena temperatur cetakan yang lebih tinggi mengakibatkan perpindahan panas dari aluminium cair ke cetakan lebih lambat. Perpindahan energi panas selalu dari media bertemperatur lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah, perpindahan panas berhenti ketika dua media mencapai temperatur yang sama [9].

3) Pengaruh Temperatur Tuang Terhadap Fluiditas

Fluiditas adalah kemampuan logam cair untuk terus mengalir hingga temperturnya berkurang dan membeku dalam proses pengecoran [8]. Fluiditas dinyatakan sebagai hasil kali kecepatan pengisian dan waktu pembekuan. Logam cair memiliki viskositas dan tegangan permukaan sehingga dengan meningkatnya temperatur tuang maka viskositas dan tegangan permukaan akan berkurang sehingga bertambahnya kecepatan pengisian. Hal ini dapat dilihat pada rangkuman respon permukaan temperatur cetakan dan putaran terhadap temperatur penuang yang menunjukkan peningkatan nilai dari fluiditas seiring meningkatnya temperatur tuang.



Gambar 6. Diagram fasa Al-Mg

menunjukkan digram fasa Al-Mg, logam cair akan mulai membeku ketika temperatur logam cair turun melewati garis *solidus*. Temperatur tuang yang tinggi akan menambah waktu pembekuan (*t*), semakin lama waktu pembekuan maka semakin besar kemampuan logam cair untuk mengalir di

dalam cetakan begitu juga sebaliknya, pada temperatur tuang yang rendah waktu pembekuan akan semakin cepat sehingga kemampuan logam cair untuk mengalir semakin kecil. Pengaruh fluiditas terhadap temperatur tuang dengan interval peningkatan 50°C mengalami peningkatan yang berbeda, hal ini disebabkan karena peningkatan nilai dari fluiditas yang tidak linier. S. Lun Sin, 2004 menyatakan hubungan fluiditas dengan temperatur tuang yang mendekati linier disebabkan meningkatnya entalpi logam cair seiring meningkatnya temperatur tuang. Logam cair pada temperatur tuang yang tinggi tetap cair untuk jangka waktu yang lebih lama dibandingkan temperatur tuang yang rendah sehingga kesempatan logam cair untuk mengalir lebih panjang.

4) Pengaruh Putaran Terhadap Fluiditas

Sedangkan kecepatan putaran pada pengecoran sentrifugal memanfaatkan gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh putaran motor penggerak, dimana gaya sentrifugal menekan cairan logam masuk kedalam rongga cetakan. Fluiditas pada paduan TiAl meningkat seiring dengan peningkatan temperatur awal cetakan dan gaya sentrifugal serta fluiditas material Ti-6Al-4V pada pengecoran sentrifugal adalah yang paling baik dibandingkan dengan Ti100 [27]. Semakin tinggi kecepatan putaran akan semakin besar gaya sentrifugal. Sehingga meningkatnya putaran mengakibatkan gaya sentrifugal yang mendorong laju aliran aluminium cair masuk kedalam rongga cetakan yang meningkatkan nilai fluiditas.

Dimana besarnya gaya sentrifugal dapat dihitung dengan persamaan 9.

$$F = m \times r \times \omega^2 \quad \dots \dots \dots (9)$$

Dimana :

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times N_2}{60} \quad \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan :

- F = Gaya sentrifugal (N)
- m = Massa total cetakan dan dudukan (kg)
- r = Radius cetakan (mm)
- = Kecepatan angular cetakan dan dudukan (rpm)

4. Simpulan

Temperatur cetakan dan putaran memiliki pengaruh yang lebih signifikan terhadap respon nilai fluiditas pada masing-masing ketebalan rongga cetakan dibandingkan dengan temperatur tuang.

Fluiditas meningkat seiring meningkatnya temperatur cetakan, temperatur tuang dan putaran.

Nilai fluiditas terbaik yaitu pada ketebalan rongga 4mm-1,5mm dengan nilai fluiditas cenderung 120mm pada berbagai kondisi

pengecoran. Sedangkan nilai fluiditas terendah yaitu pada ketebalan rongga 0,5mm (respon 1) dengan nilai fluiditas tertinggi 15,5mm dengan kondisi temperatur cetakan 300°C temperatur tuang 7500°C putaran 1500rpm.

Fluiditas tertinggi diperoleh pada temperatur cetakan, temperatur tuang dan putaran tertinggi, dan fluiditas terendah terdapat pada temperatur cetakan, temperatur tuang dan putaran yang rendah.

Fluiditas juga cenderung mengalami peningkatan seiring meningkatnya ketebalan rongga cetakan. Fluiditas tertinggi selalu terdapat pada rongga 4mm dan fluiditas terendah selalu terdapat pada rongga 0,5mm.

Daftar Pustaka

- [1] Andri dan Masnur, D. 2015. Studi Fluiditas Aluminium Kaleng Cair dengan Variasi Temperatur Temperatur Tuang, Temperatur Cetakan dan Ketebalan Rongga. Skripsi. Program Sarjana Teknik Mesin Universitas Riau, Pekanbaru.
- [2] ASM Handbook. 1988. Metals Handbook Ninth Edition Volume 15 Casting. ASM International, USA.
- [3] ASM Handbook. 1992. Alloy Phase Diagrams Volume 3. ASM International, USA.
- [4] Badini, C., Bonollo, F., Cavatorta, M. P., La Vecchia, G. M., Panvini, A., Pola, A., Nicodemi, W. dan Vedani, M. 2002. Process Simulation of Microstructure and Relationship with Mechanical Properties in Diecastings. Materials Science and Technology, Vol : 20 No :2
- [5] Brown, R. J. 1999. Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook, 11th Ed., Butterworth-Heimann Ltd, UK.
- [6] Campbell, J. 1991. The New Metalurgi of Coast Metal Casting, Second Edition., Butterworth-Heimann Ltd, UK.
- [7] Campbell, J. dan Harding, R. A. 1994. The Fluidity of Molten Metals. TALAT, 3205. The University of Brimingham. UK.
- [8] Campbell, J. 2003. *Casting, 2nd Ed.* Butterworth-Heimann Ltd
- [9] Cengel, Yunus A. 2003. *Heat Transfer A Practical Approach*, Second Edition. McGraw-Hill Companies. Inc Campbell, J. 1991. *The New Metalurgi of Coast Metal Casting, Second Edition.*, Butterworth-Heimann Ltd, UK.
- [10] Chirita, G., Soares, D., dan Silva, F. S. 2006. Advantages of the Centrifugal Casting Technique for The Production of Structural Components with Al-Si Alloys. Journal of Materials and Design, 29: 20-27.
- [11] Flemings, M. C. 1974. Solidification Processing. Mc. Graw-Hill Book Company, USA.

- [12] Han, Q. dan Xu, H. 2005. Fluidity of Alloys Under High Pressure Die Casting Conditions. *Scripta Materialia*, Vol : 53 Hal : 7-10.
- [13] Kolsgaard, A. dan Brusethaug, S. 1993. Fluidity of Aluminium Alloy AlSi7Mg-SiC Particulate Composite Melts. *Materials Science and Technology*, Hal : 545-551.
- [14] Loper Jr, C. R. 1992. Fluidity of Aluminium-Silicon Castings Alloys. *AFS Trans*, Hal : 533-538.
- [15] Masnur, D. 2008. Analisa Cacat Coran pada High Pressure Die Casting (HPDC) dengan Bahan ADC12. Tesis. Teknik Mesin, Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [16] Montgomery, D. C. 1991. *Design And Analysis of Experiment*, 3rd ed. Jhon Wiley and Sons, USA.
- [17] Montgomery, D. C. 2013. *Design and Analysis of Experiments 8th Edition*. John Wiley & Sons, Inc. New York
- [18] Nuryanti dan Salimy, D. H. 2008. Metode Permukaan Respon dan Aplikasinya pada Optimasi Eksperimen Kimia. *Risalah Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir*, 373-391.
- [19] Qudong, W., Yizhen, L., Xiaoqin, Z., Wenjiang, D., Yanping, Z., Qinghua, L., Jie, L. 1999. Study on the Fluidity of AZ91 + xRE Magnesium Alloy. *Materials Science and Engineering*, Vol : 271 hal : 109-115.
- [20] Sabatino, M. D. 2005. Fluidity of Aluminium Foundry Alloys. Thesis. Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Norwegia.
- [21] Sabatino, M. D. 2008. Progres on The Understanding of Fluidity of Aluminium Foundry Alloys. *International Journal of Metalcasting*, Vol : 2.
- [22] Sin S. Lun. 2004. *Influence of process parameters on fluidity of investment-cast AZ91D magnesium alloy*. Université Laval. Canada
- [23] Sudjana. 2008. *Teknik Pengecoran Logam Jilid 1 untuk SMK*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [24] Suprayitno. 2009. Analisis Hasil Pengecoran Aluminium Dengan Variasi Media Pendinginan. *JANATEKNIKA* Vol : 11 No : 2. Universitas Janabadra Yogyakarta.
- [25] Surdia, T. dan Saito, S. 1992. *Teknik Pengetahuan Bahan*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [26] Surdia, T. dan Kenji, C. 1986. *Teknik Pengecoran Logam, Edisi Kedua*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta. Sutyoko, 2013.
- [27] Sutyoko, 2013. Pengecoran Sentrifugal Sebagai Alternatif Untuk Meningkatkan Kualitas Hasil Cor (Review). *Jurnal Foundry* Vol : 3 No : 1. ISSN : 2087-2259