

***SPLIT PLOT DESIGN: DESAIN EKSPERIMEN UNTUK MENGATASI
KETERBATASAN RANDOMISASI***

(STUDI KASUS DI SEBUAH PERUSAHAAN LOGAM)

Debora Anne Yang Aysia

Program Studi Teknik Industri, Universitas Kristen Petra

Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

Abstrak

Desain eksperimen adalah percobaan yang dilakukan dengan tujuan untuk menentukan faktor yang berpengaruh terhadap respon, sehingga respon mendekati nilai yang diharapkan. *Split Plot Design* merupakan metode desain eksperimen yang dapat digunakan ketika terjadi keterbatasan dalam melakukan randomisasi pelaksanaan eksperimen. PT XYZ merupakan perusahaan yang memproduksi produk besi dan baja cor. Hampir semua produk hasil cetakan mengalami perbedaan spesifikasi dari standar yang ditentukan sehingga harus dikerjakan ulang. Hal ini disebabkan cetakan pasir memiliki kecenderungan untuk mengalami deformasi pada saat logam cair dituangkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan kekuatan pasir cetak dengan metode *split plot design*. Hasil eksperimen menunjukkan kombinasi terbaik untuk meningkatkan kekuatan pasir cetak adalah komposisi *bentonite* sebesar 0.5%, *coal dust* sebesar 0.05%, dan kandungan air sebesar 4%; serta lama penyimpanan pasir cetak antara 0.5 sampai 3 jam sebelum digunakan.

Kata kunci: kekuatan, pasir cetak, metode *split plot*

Abstract

Design experiment is a series of tests in order to find controllable factors which are influent response significantly. Split plot design is one of experiment design method, which can be used when we may be unable to completely randomize the order of the runs. PT XYZ produces many products from iron and steel. Most of their product must be reworked because their sand castings run into deformation process. The purpose of this research is to increase the strength of the sand casting through split plot design method. The experimental result shows the best composition is 4% water, 0.5% bentonite and 0.05% coal dust; with the storage duration is between 0.5 until 3 hours before it is used.

Keywords: strength, sand casting, split plot method

1. PENDAHULUAN

Desain eksperimen adalah suatu percobaan yang dilakukan dengan mengubah-ubah variabel *input* dalam suatu proses sehingga perubahan yang terjadi pada variabel *output* dapat dilihat dan diidentifikasi (Montgomery, 2009). Tujuan eksperimen adalah

menentukan faktor yang berpengaruh terhadap respon, sehingga respon mendekati nilai yang diharapkan dan meminimalkan variabilitas. Salah satu prinsip pelaksanaan desain eksperimen adalah mengacak urutan pelaksanaan eksperimen (randomisasi). Namun ada kalanya pelaksanaan sebuah eksperimen mengalami keterbatasan untuk melakukan randomisasi. Misalnya saja adanya faktor yang sulit untuk diubah levelnya ataupun perubahan level dari faktor tersebut membutuhkan biaya yang cukup besar dan waktu yang lama. *Split plot design* merupakan metode desain eksperimen yang diterapkan ketika urutan pelaksanaan eksperimen tidak dapat diacak sepenuhnya. Potoner (2004) mengatakan bahwa eksperimen yang mengalami keterbatasan randomisasi dapat dilakukan dengan metode *split plot design*. Menurut Montgomery (2009), *split plot design* digunakan ketika adanya level dari suatu faktor yang sulit untuk diubah selama eksperimen berlangsung dibandingkan dengan faktor lainnya. Cook (2007) mengatakan bahwa metode *split plot design* dapat digunakan untuk penghematan biaya dan waktu jika pada suatu eksperimen terdapat faktor yang sulit untuk diubah, memiliki biaya yang besar untuk mengubahnya, atau lama untuk mengubahnya. Dalam *split plot design*, dikenal dua istilah yang berbeda yaitu *whole plot* dan *subplot*. *Whole plot* merupakan faktor dengan level yang sulit untuk diubah, sedangkan *subplot* merupakan faktor dengan level yang lebih mudah untuk diubah (Montgomery, 2009). Bentuk linear model dari *split plot design* adalah sebagai berikut (Montgomery, 2009):

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \gamma_k + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, r \\ j = 1, 2, \dots, a \\ k = 1, 2, \dots, b \end{cases} \quad (1)$$

dimana:

- i = replikasi
- a = banyaknya level dari *whole plot*
- b = banyaknya level dari *subplot*
- μ = *grand mean*
- τ_i = *blocks* atau *replicates*
- β_j = *whole plot*
- $(\tau\beta)_{ij}$ = *whole plot error*
- γ_k = *subplot*
- $(\tau\gamma)_{ik}$ = *blocks* atau *replicates* \times *subplot*
- $(\beta\gamma)_{jk}$ = *whole plot* \times *subplot*

$(\tau\beta\gamma)_{ijk} = \text{subplot error}$

Bentuk perumusan ANOVA untuk metode *split plot design* dapat dilihat pada Tabel 1. Analisa *main effects* dan *interaction effect* dilakukan terhadap setiap faktor, baik *whole plot* maupun *subplot*.

Tabel 1 ANOVA untuk Metode *Split Plot Design* (Sumber: Montgomery, 2009)

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀
Replicates (or blocks)	SS _r	r-1	MS _r	
Whole plot (A)	SS _A	a-1	MS _A	F ₀
Whole plot error	SS _{A×r}	(r-1) × (a-1)	MS _{A×r}	
Subplot (B)	SS _B	b-1	MS _B	F ₀
Replicates (or blocks) × subplot	SS _{B×r}	(r-1) × (b-1)	MS _{B×r}	
Whole plot (A) × subplot (B)	SS _{A×B}	(a-1) × (b-1)	MS _{A×B}	F ₀
Subplot error	SS _{A×B×r}	(r-1) × (a-1) × (b-1)	MS _{A×B×r}	
Total	Sum of all	Sum of all		

Keterangan:

$$SS_r = \frac{1}{ab} \sum_{i=1}^r Y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abr} \quad (2)$$

$$SS_A = \frac{1}{br} \sum_{j=1}^a Y_{.j.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abr} \quad (3)$$

$$SS_{A \times r} = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^a Y_{ij.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abr} - SS_r - SS_A \quad (4)$$

$$SS_B = \frac{1}{ar} \sum_{k=1}^b Y_{..k}^2 - \frac{y_{...}^2}{abr} \quad (5)$$

$$SS_{B \times r} = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^r \sum_{k=1}^b Y_{i.k}^2 - \frac{y_{...}^2}{abr} - SS_r - SS_B \quad (6)$$

$$SS_{A \times B} = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^a \sum_{k=1}^b Y_{.jk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abr} - SS_A - SS_B \quad (7)$$

$$SS_{A \times B \times r} = \sum_{i=1}^r \sum_j^a \sum_{k=1}^b Y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abr} - SS_A - SS_B - SS_r - SS_{A \times r} - SS_{B \times r} - SS_{A \times B} \quad (8)$$

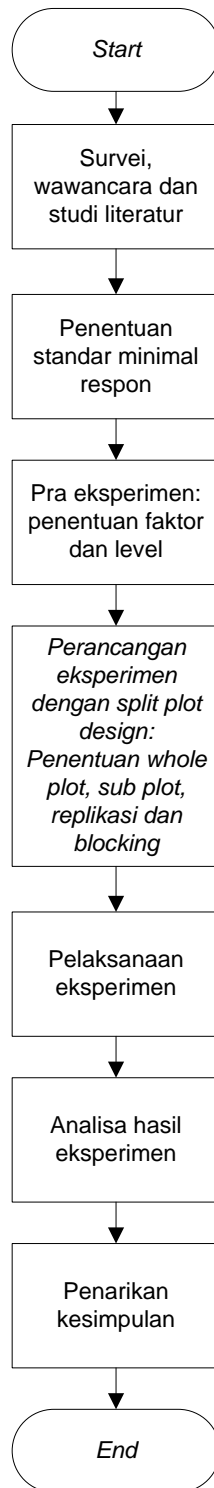
Permasalahan terjadi di sebuah perusahaan yang memproduksi berbagai macam jenis produk baja dan *ductile iron*. Sebagian besar produk harus dikerjakan ulang, karena tidak memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Penyebabnya adalah cetakan pasir yang mengalami deformasi pada saat mendapatkan tekanan dari logam cair. Cetakan pasir yang baik mempunyai sifat mampu bentuk dan kuat, sehingga dapat menahan tekanan logam cair. Tekanan dari logam dapat berupa desakan logam saat dituangkan ke cetakan dan desakan saat logam masih memuai. Upaya peningkatan kekuatan pasir

cetak dilakukan melalui desain eksperimen. Pelaksanaan eksperimen dengan pengacakan urutan pelaksanaan eksperimen sepenuhnya sulit dilakukan di PT XYZ. Kapasitas mesin *mixing* PT XYZ adalah sebesar 500 kg untuk satu kali pengadukan, sedangkan satu kali eksperimen membutuhkan pasir kurang dari 500 kg. Pelaksanaan eksperimen dalam jumlah banyak (untuk memenuhi syarat randomisasi) dapat merugikan perusahaan. Oleh karena itu eksperimen dilakukan dengan metode *split plot design*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan kekuatan pasir cetak melalui desain eksperimen dengan metode *split plot design*, sehingga produk yang dihasilkan dapat memenuhi standar spesifikasi yang telah ditentukan.

2. METODE PENELITIAN

Flowchart langkah-langkah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Pengamatan lapangan dan wawancara dengan pihak perusahaan serta studi literatur dilakukan pada tahap awal penelitian. Respon yang akan diperbaiki adalah kekuatan pasir cetak (*strength*). Karakteristik respon *strength* adalah *higher the better*. Nilai minimal respon *strength* yang diharapkan adalah 5. Tahap selanjutnya adalah tahap pengumpulan data. Level pada faktor ditentukan melalui tahap pra eksperimen, dengan tetap memperhatikan batasan yang diberikan oleh pihak perusahaan. Tahap berikutnya adalah merancang eksperimen dengan metode *split plot design*. Perancangan dilakukan dengan menentukan faktor apa yang menjadi faktor *whole plot* dan faktor *sub plot* beserta penentuan level tiap faktor, penentuan jumlah replikasi, adanya *blocking*, cara melaksanakan percobaan, dan asumsi yang dipakai selama eksperimen. Pelaksanaan eksperimen dilakukan dengan mengambil sampel material pasir yang telah diproduksi dalam kondisi eksperimen. Menurut Surdia (1976), pasir yang paling lazim digunakan sebagai bahan pembuat pasir cetak adalah pasir gunung, pasir pantai, pasir sungai, dan pasir silika yang disediakan alam. Material pendukung yang digunakan untuk menyusun pasir cetak adalah tanah lempung, bahan pengikat, dan beberapa bahan tambahan lain seperti bubuk arang, tepung ter, jelaga kokas dan tepung grafit. Campuran yang digunakan untuk membuat pasir cetak pada penelitian ini adalah pasir silika, *bentonite*, *coal dust* dan *air*. Hasil eksperimen diuji di laboratorium perusahaan. Analisa hasil eksperimen bertujuan untuk mengetahui faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon *strength*, serta menentukan kombinasi terbaik untuk menghasilkan pasir

cetak yang sesuai dengan standar yang diinginkan. Analisa dilakukan dengan ANOVA, *main effect plot* dan *interaction plot* untuk mendapatkan kombinasi level terbaik pada tiap faktor.



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan meningkatkan kekuatan (*strength*) pasir cetak. Faktor-faktor yang digunakan merupakan variabel bebas yang memiliki kemungkinan besar mempengaruhi daya tahan pasir terhadap tekanan logam cair, yaitu komposisi pasir, lama penyimpanan pasir, dan lama proses pencampuran (*mixing*). Perusahaan telah melakukan eksperimen terhadap faktor lama proses pencampuran (*mixing*), sehingga faktor ini tidak digunakan lagi dalam eksperimen. Lama proses pencampuran adalah 15 menit untuk setiap kali pengadukan. Komposisi pasir merupakan faktor yang sulit diubah levelnya, dimana untuk 1 kali pengadukan pada mesin *mixer* diperlukan kuantitas minimal 500 kg. Hal ini tentunya akan merugikan perusahaan apabila prinsip randomisasi tetap dijalankan, mengingat 1 kali eksperimen membutuhkan kuantitas kurang dari 500 kg. Oleh karena itu faktor komposisi pasir menjadi *whole plot factor*. Komposisi yang akan diubah adalah kombinasi komposisi *bentonite*, *coal dust*, dan air. Komposisi pasir cetak lama dan pasir silika dibuat tetap. Kombinasi komposisi *bentonite*, *coal dust*, dan air yang saat ini digunakan oleh perusahaan adalah *bentonite* 0.67%, *coal dust* 0.042%, dan air 3.92%. Jumlah pasir silika yang digunakan adalah sebanyak 10%. Rata-rata nilai *strength* pasir cetak saat ini adalah sebesar 4.8. Faktor yang dipilih menjadi *subplot factor* adalah faktor lama penyimpanan pasir. Faktor ini lebih mudah untuk diubah, karena hanya bergantung pada waktu penyimpanan saja. Selama ini maksimal lama penyimpanan pasir adalah 4 jam. Penentuan level untuk eksperimen dilakukan melalui tahap pra eksperimen, dengan terlebih dahulu melakukan *benchmarking* terhadap perusahaan sejenis. Dari hasil pra eksperimen didapatkan level untuk faktor komposisi dapat dilihat pada Tabel 2. Sedangkan level untuk faktor lama penyimpanan adalah 30 menit, 120 menit, 240 menit.

Tabel 2. Deskripsi Level Komposisi Pasir

No. Komposisi	<i>Bentonite</i>	<i>Coal dust</i>	Kadar Air
Komposisi 1	0.500%	0.050%	4.000%
Komposisi 2	0.300%	0.025%	3.500%
Komposisi 3	0.400%	0.039%	3.750%

Eksperimen dilakukan untuk 3 kali replikasi. Rancangan eksperimen dilakukan dengan membagi 3 replikasi pada hari yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan dalam 1 hari hanya bisa dilakukan maksimal 9 kali eksperimen. Perusahaan hanya melakukan proses pencampuran pasir selama 2 sampai 3 kali saja dalam 1 hari. Hasil eksperimen dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil pengujian ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3 Hasil Eksperimen

<i>Whole plot</i> <i>Sub plot</i>	Replicate/Block 1			Replicate/Block 2			Replicate/Block 3		
	K1	K 2	K 3	K1	K 2	K 3	K1	K 2	K 3
0.5 jam	6	5.1	5.2	6.5	5.2	4.6	5.3	5.2	5
2 jam	4.8	5.2	5	5.4	4.7	4.9	5.1	5.3	4.8
4 jam	4.9	4.8	4.7	5.1	4.8	4.6	5.3	4.2	4.5
Keterangan: K1, K2, K3 adalah singkatan komposisi 1, komposisi 2, dan komposisi 3									

Tabel 4. Hasil Pengujian ANOVA pada *Split Plot Design*

<i>Source of Variation</i>	SS	DF	MS	F0	P	α: 0.05
Replicates	0.082	2	0.041			
A (<i>Whole plot</i> : Komposisi)	1.58	2	0.79	7.11	0.048	Tolak H0
<i>Whole plot Error</i> (<i>replicate X A</i>)	0.444	4	0.111			
B (<i>Subplot</i> : Lama penyimpanan)	1.509	2	0.754	26.115	0.005	Tolak H0
<i>Replicates X B</i>	0.116	4	0.029			
AB	0.631	4	0.158	1.232	0.37	Gagal Tolak H0
<i>Subplot Error</i> (<i>replicate X AB</i>)	1.024	8	0.129			
<i>Total</i>	5.387	26				

Perumusan hipotesa untuk hasil eksperimen di atas adalah sebagai berikut:

- Perumusan hipotesa *whole plot factor*
 H_0 : Komposisi tidak memberi pengaruh signifikan pada respon *strength*
 H_1 : Komposisi memberi pengaruh signifikan pada respon *strength*
- Perumusan hipotesa *subplot factor*
 H_0 : Lama penyimpanan tidak memberi pengaruh signifikan pada respon *strength*

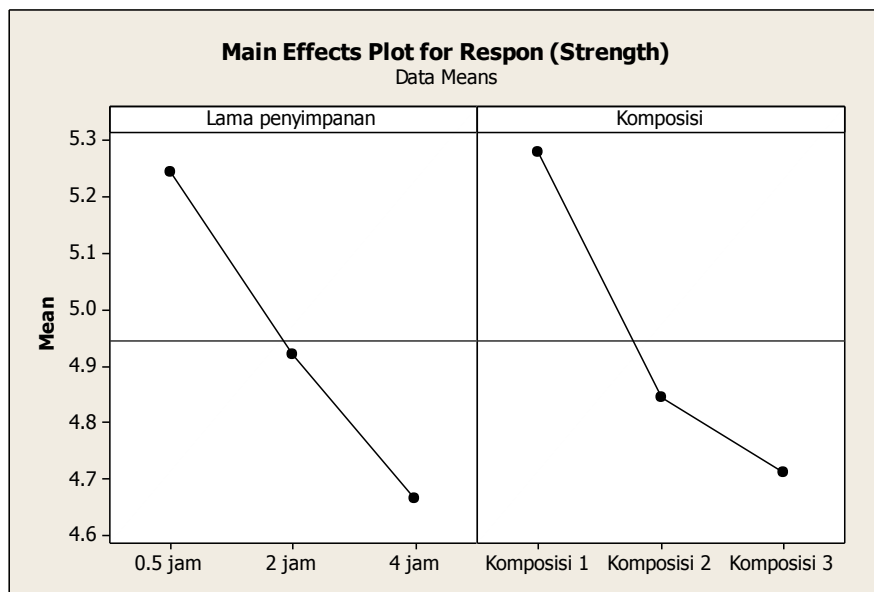
H₁: Lama penyimpanan tidak memberi pengaruh signifikan pada respon *strength*

- Perumusan hipotesa interaksi

H₀: Interaksi komposisi dan lama penyimpanan tidak memberi pengaruh signifikan pada respon *strength*

H₁: Interaksi komposisi dan lama penyimpanan memberi pengaruh signifikan pada respon *strength*

Pengujian hipotesa dilakukan pada tingkat signifikansi 5%. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa dengan α sebesar 5% faktor komposisi dan lama penyimpanan memberikan pengaruh signifikan terhadap *strength*. Sedangkan interaksi antara komposisi dan lama penyimpanan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap *strength*. *Main effect plot* faktor komposisi dan lama penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 *Main Effect Plot*

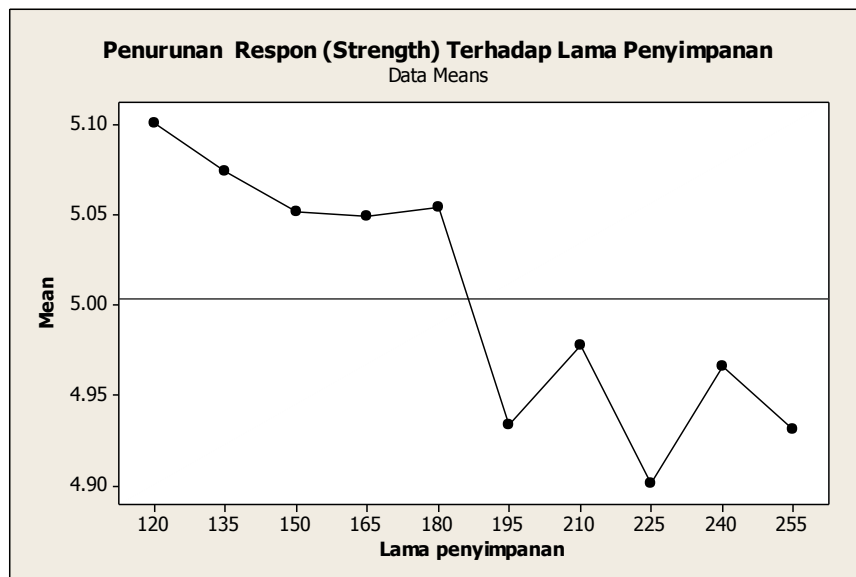
Karakteristik respon *strength* adalah *higher the better*. Nilai *strength* berada pada posisi tertinggi saat faktor komposisi dengan level 1 (*bentonite* 0.5%, *coaldust* 0.05%, dan air 4%), dan lama penyimpanan 0.5 jam. Nilai *strength* cetakan pasir dengan menerapkan level-level terbaik adalah sebesar 5.38.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin lama disimpan, maka kekuatan pasir cetak akan semakin menurun. Oleh karena itu, pengujian lebih lanjut dilakukan untuk

mengetahui maksimal lama penyimpanan pasir cetak sebelum digunakan oleh perusahaan. Penentuan level dimulai antara rentang 2 sampai 4 jam dengan perubahan level selama 15 menit. Pengujian dilakukan dengan menggunakan pasir cetak dengan komposisi terbaik yang didapatkan dari eksperimen terdahulu. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 6.

Tabel 5. Pengujian Lama Penyimpanan Cetakan Pasir

<i>Komposisi: penambahan air 4%, bentonite 0.5%, coaldust 0.05%, pasir silika 10%</i>			
Lama penyimpanan (menit)	<i>Strength</i> (Replikasi 1)	<i>Strength</i> (Replikasi 2)	<i>Average</i>
120	5.097	5.103	5.1
135	5.068	5.080	5.074
150	5.044	5.058	5.051
165	5.013	5.086	5.049
180	5.036	5.071	5.054
195	4.875	4.992	4.933
210	4.94	5.016	4.978
225	4.826	4.976	4.901
240	4.946	4.985	4.966



Gambar 2. Pengeplotan Penurunan *Strength* terhadap Lama Penyimpanan

Penurunan nilai *strength* mulai terjadi pada saat lama penyimpanan di atas 180 menit. Hal ini berarti perusahaan masih dapat menyimpan pasir cetak selama tidak melebihi 180 menit.

4. KESIMPULAN

Split Plot Design merupakan metode desain eksperimen yang dapat digunakan ketika terjadi keterbatasan dalam melakukan randomisasi pelaksanaan eksperimen, karena akan memakan waktu dan biaya yang besar. Upaya peningkatan kekuatan pasir cetak PT XYZ dilakukan desain eksperimen dengan metode *split plot design*, mengingat adanya keterbatasan dalam pengacakan urutan pelaksanaan eksperimen sepenuhnya. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa komposisi pasir dan lama penyimpanan pasir berpengaruh signifikan terhadap peningkatan *strength*. Komposisi pasir cetak yang terbaik adalah *bentonite* sebesar 0.5%, *coal dust* sebesar 0.05%, dan kandungan air sebesar 4%. Lama penyimpanan pasir cetak yang terbaik antara 0.5 sampai 3 jam sebelum digunakan. Respon yang didapatkan dengan menerapkan kombinasi terbaik hasil eksperimen telah melebihi target perusahaan yaitu sebesar 5.38.

4. DAFTAR PUSTAKA

- i. Anderson-Cook, C.M. (2007). When Should You Consider A split Plot Design. *Quality Progress*.
- ii. Montgomery, D.C. (2009). *Design and Analysis of Experiments* 7thed. John Wiley & Sons, Inc.
- iii. Potoner, K.J. and Kowalski, S.M. (2004). How to Analyze A Split-Plot Experiment. *Quality Progress* 37, 67-74.
- iv. Surdia, Tata. (1976). *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.