

# Rekayasa Mutu Produksi Gate Valve di P.T. Barindo Anggun Industri\*

**Didik Wahjudi**

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin–Universitas Kristen Petra

**Amelia**

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin–Universitas Kristen Petra

## Abstrak

Proses pengecoran di P.T. Barindo Anggun Industri menghasilkan banyak produk yang cacat. Keadaan ini akan diperbaiki dengan mengendalikan beberapa faktor, yaitu temperatur penuangan, waktu tuang dan ketinggian cawan tuang. Dari penelitian ketiganya memberikan pengaruh signifikan. Jumlah cacat minimum didapatkan bila temperatur tuang 1200°C, waktu tuang 10 detik, dan ketinggian penuangan 10 cm.

Kata kunci : desain eksperimen, rekayasa mutu

## Abstract

Casting process in P.T. Barindo Anggun Industri produces many rejected products. This condition will be improved by controlling factors, such as pouring temperature, pouring time, and pouring height. The research shows that those three factors give significant effect and minimum number of rejected products is obtained when pouring temperature is set at 1200°C, pouring time at 10 seconds, and pouring height at 10 centimeters.

Keywords : design of experiment, quality engineering

## 1. Pendahuluan

Banyak industri memilih proses pengecoran untuk memproduksi suatu benda, salah satunya *gate valve* yang terbuat dari kuningan. *Gate valve* yang dihasilkan banyak mengalami kecacatan. Untuk itu kemudian akan dicari dan dipelajarinya penyebab kecacatan tersebut. Cacat yang sering timbul yaitu cacat kempot, cacat keropos dan sisa di tepi (jembret). Untuk itu akan dianalisa seberapa besar pengaruh faktor temperatur peleburan, waktu tuang serta ketinggian cawan tuang pada proses pengecoran terhadap hasil produksi dalam hubungannya dengan proses produksi tersebut.

## 2. Dasar Teori

Metode desain eksperimen yang akan digunakan dalam penelitian ini untuk memperbaiki

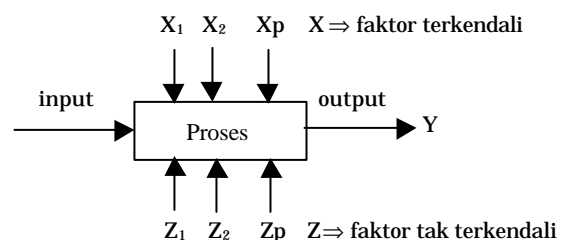
**Catatan** : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Agustus 1999. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 1 Nomor 2 Oktober 1999.

\*Penelitian ini dilakukan bersama Felix Anthonylo, Alumnus Jurusan Teknik Mesin, UK Petra

kinerja dari proses manufaktur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh gambaran pengaruh kombinasi dari faktor-faktor tersebut terhadap hasil produksi, mengetahui pengaruh setiap level terhadap respon/hasil, serta mencari titik yang akan mendekati terhadap target yang diharapkan.

### 2.1. Rancangan Percobaan

Pada setiap proses produksi yang ada selalu dimulai dengan input yang akan diolah ke dalam suatu proses menjadi keluaran yang diharapkan. Proses yang berjalan akan dipengaruhi oleh faktor terkendali dan faktor tak terkendali, seperti skema berikut ini,



Gambar 1. Model Dari Sistem Proses

Berdasarkan aliran sistem proses, maka dilakukan :

- Menentukan variabel mana yang selalu berpengaruh pada output, Y
- Menentukan dimana X yang berpengaruh harus diset agar Y hampir selalu dekat harga nominal yang diinginkan.
- Menentukan dimana X yang berpengaruh harus diset agar variabilitas pada Y kecil.
- Menentukan dimana X yang berpengaruh harus diset supaya efek dari variabel tak terkendali Z adalah minimum.

**2.1.1. Rancangan Faktorial**

Digunakan untuk mempelajari secara serentak pengaruh dua atau lebih faktor. Dengan sebuah percobaan faktorial kita maksudkan bahwa dalam setiap percobaan lengkap atau pengulangan sebuah percobaan yang mungkin dikombinasikan dengan tingkat faktor yang diselidiki.

Pengaruh sebuah faktor didefinisikan sebagai perubahan dalam respon yang dihasilkan oleh sebuah perubahan dalam tingkat faktor tersebut. Dalam beberapa percobaan, perbedaan dalam respon antara tingkat satu faktor tidak sama pada semua tingkat faktor lainnya. Jika ini terjadi maka akan terdapat sebuah interaksi antara faktor-faktor tersebut.

**2.1.2. Analisa Varian**

Analisa varian merupakan analisa suatu tabel yang digunakan untuk menyelidiki pengaruh dari beberapa parameter yang telah ditentukan terhadap suatu respon tertentu dan untuk menganalisa data-data yang diperoleh dari beberapa parameter yang telah ditentukan. Tujuan analisa varian adalah untuk mengetahui apakah suatu efek dari parameter ukur

tersebut dapat berdiri sendiri ataukah berkombinasi dengan parameter lainnya.

Nantinya, nilai kuadrat rata-rata (*mean square*) diperoleh dari jumlah kuadrat dibagi dengan derajat kebebasannya. Harga  $f_0$  diperoleh dengan membagi harga kuadrat rata-rata tiap perlakuan dengan harga kuadrat rata-rata kesalahan (*mean square error*). Harga  $f_0$  ini kemudian dibandingkan dengan harga  $f$  dari tabel.

Bila  $f_0 > f$  tabel maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan tersebut mempunyai pengaruh terhadap variabel respon yang diselidiki. Tetapi, bila  $f_0 < f$  tabel, bisa disimpulkan bahwa perlakuan tidak atau sedikit memberikan pengaruh pada variabel respon dengan  $\alpha$  yang telah ditentukan.

**2.2. Pengecoran**

**2.2.1. Sifat Logam Cair Dan Pembekuan Coran**

Aliran logam cair terutama dipengaruhi oleh kekentalan logam cair dan kekerasan permukaan cetakan/ logam cari yang mengalir melalui rongga sebuah cetakan tidak mengikuti keadaan cair sempurna. Kekentalan yang tinggi menyebabkan logam sukar mengalir atau kehilangan sifat mampu alir. Tabel 1 menunjukkan harga-harga dari kekentalan logam yang cair sempurna dibandingkan dengan harga kekentalan air.

Bila temperatur logam jauh di atas titik cair, lapisan beku tidak akan cepat tumbuh pada permukaan dinding cetakan. Sedangkan bila temperatur logam mendekati titik cairnya, cetakan mudah mengambil panas dari cairan logam. Lapisan beku akan cepat tumbuh pada permukaan dinding dan jalan aliran lebih

**Tabel 1 Koefisien Kekentalan dan Tegangan Permukaan Dari Logam**

Bahan	Titik cair (°C)	Berat jenis (g/cm <sup>3</sup> )	Koefisien kekentalan (g/cm. detik)	Koefisien kekentalan kinematik (cm <sup>2</sup> /detik)	Tegangan permukaan (dine/cm)	Tegangan permukaan berat jenis (cm <sup>3</sup> /detik <sup>2</sup> )
Air	0	0,9982(20°C)	0,010046(20°C)	0,010064	72(20°C)	72
Air raksa	-38,9	13,56 (20)	0,01547 (20)	0,00114	465(20)	34,5
Tin	232	5,52 (232)	0,01100 (250)	0,00199	540(247)	97,8
Timbal	327	10,55 (440)	0,01650 (400)	0,00156	450(330)	42,6
Seng	420	6,21 (420)	0,03160 (420)	0,00508	750(500)	120
Aluminium	660	2,35 (760)	0,0055 (760)	0,00234	520(750)	220
Tembaga	1.083	7,84 (1.200)	0,0310 (1.200)	0,00395	581(1.200)	74
Besi	1.537	7,13 (1.600)	0,000 (1.600)	0,00560	970(1.600)	136
Besi cor	1.170	6,9 (1.300)	0,016 (1.300)	0,0023	1.150(1.300)	167

sempit sehingga kemampuan alir akan menurun bahkan kadang berhenti. Kristal-kristal tersebut tumbuh dari inti asal mengarah kebagian dalam coran. Laju pertumbuhan lapisan beku dari suatu coran lebih cepat pada kulit dan lambat di bagian dalam, sedangkan jika menggunakan inti hal itu akan berubah.

### 2.2.2. Pola

Untuk produk berukuran kecil dan produksi massal yang paling cocok adalah pola pelat pasangan. Pola pelat pasangan merupakan pelat yang pada kedua belah pelatnya ditemplei pola beserta saluran turun, pengalir, saluran masuk dan penambahnya. Bahan yang digunakan adalah logam atau plastik. Dalam pembuatan pola, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan: pola harus mudah dikeluarkan dari cetakan, saluran harus dibuat sempurna untuk mengalirkan logam yang secara optimum.

Ketinggian cawan yang menentukan pula ketinggian penuangan harus juga direncanakan karena berpengaruh langsung pada kecepatan pengeluaran logam cair dari cawan tuang. Ketinggian penuangan diartikan sebagai tinggi yang diukur antara cawan tuang tepat pada keluaran logam cair dengan cetakan. Semakin tinggi cawan tuang maka kecepatan logam cair juga menjadi semakin cepat, sesuai rumus kecepatan:

$$v = \sqrt{2gh}$$

Jika kecepatan tuang tinggi akan menyebabkan terjadinya erosi pasir cetak dan berdampak pada hasil cetakan (cacat hasil pengecoran).

### 2.2.3. Cetakan

Cetakan yang biasa digunakan adalah cetakan pasir. Pasir cetak yang digunakan dapat dari pasir silika alam. Bentuk dan ukuran pasir terlebih dahulu dibuat merata. Pasir yang mempunyai daya ikat kecil nantinya harus ditambah dengan lempung dan pengikat lain.

Untuk membuat inti dari cetakan dapat menggunakan pasir silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang dipanaskan sampai suhu  $\pm 180^\circ\text{C}$  dengan menggunakan *blower*, kemudian ditambahkan resin sebagai pengikat dan perekat butiran pasir tersebut.

### 2.2.4. Peleburan Paduan Kuningan Cor

Temperatur penuangan penting untuk diketahui guna memperlancar jalannya proses penuangan itu sendiri, seperti pada suhu berapa sebaiknya penuangan dilakukan. agar unsur logam yang dilebur telah menjadi cair

dan nantinya selama perjalanan menuju cetakan tidak terjadi pembekuan dini.

Aliran logam cair terutama dipengaruhi oleh kekentalan logam cair dan kekasaran permukaan cetakan. Logam cair yang mengalir melalui rongga sebuah cetakan tidak mengikuti keadaan cair sempurna. Kekentalan yang tinggi menyebabkan logam sukar mengalir atau kehilangan sifat mampu alir.

Temperatur cairan yang terlalu tinggi juga menyebabkan kehilangan seng karena penguapan, sedangkan bila terlalu rendah akan terjadi penghilangan gas yang tidak cukup. Titik cair standar dari paduan kuningan cor adalah sebagai berikut:

Bahan	Titik Cair
85% CU-15% ZN	1.150-1.200°C
70% CU-30% ZN	1.080-1.130°C
60% CU-40% ZN	1.030-1.080°C

Ketinggian cawan tuang yang menentukan pula ketinggian penuangan harus juga direncanakan karena berpengaruh langsung pada kecepatan pengeluaran logam cair dari cawan tuang. Ketinggian penuangan diartikan sebagai tinggi yang diukur antara cawan tuang tepat pada keluaran logam cair dengan cetakan. Semakin tinggi cawan tuang maka kecepatan logam cair juga menjadi semakin cepat. Jika kecepatan tuang tinggi, akan menyebabkan terjadinya erosi pasir cetak dan berdampak pada hasil cetakan (cacat hasil pengecoran).

## 3. Langkah-Langkah Percobaan

Pada proses pengecoran terdapat banyak faktor penting yang terkendali dan tak terkendali yang berpengaruh terhadap hasil produksi, yaitu:

1. Faktor terkendali meliputi:
  - a. Temperatur pada saat penuangan dilakukan.
  - b. Waktu penuangan  
Waktu yang digunakan oleh operator untuk berjalan dan mengambil logam cair hingga melakukan penuangan tersebut dapat berpengaruh terhadap laju pendinginan logam cair, sehingga akan dianalisa berapa waktu yang masih dapat ditoleransi.
  - c. Ketinggian penuangan
2. Faktor tak terkendali meliputi:
 

Kondisi lapangan, fisik pekerja, keahlian pekerja, cetakan.  
Langkah-langkah percobaan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kondisi pengecoran yang akan dilaksanakan, meliputi:
  - Persiapan 10 buah cetakan yang siap dituang logam cair, dimana sebuah cetakan terisi oleh 10 buah jenis *Gate Valve* ukuran  $\frac{3}{4}$  ".
2. Menentukan urutan percobaan, data diambil berdasarkan:
  - Temperatur pada saat penuangan diseting pada posisi tetap
    - 1000 °C
    - 1100 °C
    - 1200 °C
  - Waktu penuangan
    - 10 detik (10 – 12.5 detik)
    - 15 detik (12.5 detik – 17.5 detik)
    - 20 detik (17.5 – 20 detik)
  - Ketinggian penuangan cawan tuang diberi batasan setinggi 17.5 cm pada tiap cetakan
    - 10 cm
    - 17.5 cm
    - 25 cm
3. Pembongkaran dilakukan 30 menit sesudah penuangan.
4. Analisa jenis kecacatan yang ada dilakukan baik secara visual terhadap bentuknya maupun dengan memeriksa dimensinya dan kemudian menghitung jumlah kecacatan tersebut.
5. Replikasi/pengulangan pengambilan data dilaksanakan sebanyak 4 kali untuk tiap data dalam kurun waktu 10 minggu selama masa aktif pengamatan.

**4. Analisa Data dan Pembahasan**

Data berikut adalah jumlah produksi yang cacat dalam tiap pengambilan sample berjumlah 100 unit hasil proses pengecoran.

**Tabel 2 Data Jumlah Cacat (unit)**

Temp. Lebur (A)	Waktu Tuang (B)								
	10 dt			15 dt			20 dt		
	Ketinggian (C)								
	10 cm	17.5 cm	25 cm	10 cm	17.5 cm	25 cm	10 cm	17.5 cm	25 cm
1000 C	19	23	21	20	20	20	23	29	35
	16	20	28	18	23	26	22	31	31
	20	23	22	21	20	23	29	28	37
	22	19	24	22	21	23	25	29	41
1100 C	20	22	21	19	18	20	21	30	36
	18	21	26	20	21	24	19	27	35
	17	20	23	18	23	20	20	25	30
	18	18	22	21	21	23	18	26	33
1200 C	14	17	26	15	19	18	17	24	21
	18	15	23	19	18	19	21	20	30
	11	18	25	16	18	21	19	23	25
	17	19	31	20	20	19	16	25	26

**Analysis of Variance (Balanced Designs)**

Factor	Type	Level	Values		
Temp	fixed	3	-1	0	1
Waktu	fixed	3	-1	0	1
Tinggi	fixed	3	-1	0	1

**Analysis of Variance for Rejected Products**

Source	DF	SS	MS	F	P
Temp	2	321.130	160.565	29.28	0.000*
Waktu	2	857.407	428.704	78.17	0.000*
Tinggi	2	797.241	398.620	72.68	0.000*
Temp*Waktu	4	118.704	29.676	5.41	0.001*
Temp*Tinggi	4	5.037	1.259	0.23	0.921

Waktu*Tinggi	4	231.926	57.981	10.57	0.000*
Temp*Waktu*Tinggi	8	125.963	15.745	2.87	0.007*
Error	81	444.250	5.485		
Total	107	2901.657			

\* signifikan pada  $\alpha = 5\%$  ( $F_{0.05,8,81} = 2.07$ )

**Response Surface Regression Step 1**

Estimated Regression Coefficients for Reject

Term	Coef	StDev	T	P
Constant	20.213	0.7158	28.237	0.000
Temp	-2.097	0.3314	-6.329	0.000
Waktu	2.917	0.3314	8.802	0.000
Tinggi	3.319	0.3314	10.017	0.000
Temp*Temp	-0.431	0.5739	-0.750	<u>0.455</u>
Waktu*Waktu	3.194	0.5739	5.566	0.000
Tinggi*Tinggi	0.403	0.5739	0.702	<u>0.484</u>
Temp*Waktu	-1.458	0.4058	-3.593	0.001
Temp*Tinggi	0.146	0.4058	0.359	<u>0.720</u>
Waktu*Tinggi	1.000	0.4058	2.464	0.015

S = 2.812    R-Sq = 73.3%    R-Sq(adj) = 70.8%

**Analysis of Variance for Reject Products**

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	2126.9	2126.9	236.320	29.89	0.000
Linear	3	1722.5	1722.5	574.176	72.63	0.000
Square	3	253.3	253.3	84.417	10.68	0.000
Interaction	3	151.1	151.1	50.368	6.37	0.001
Residual Error	98	774.8	774.8	7.906		
Lack-of-Fit	17	330.5	330.5	19.443	3.54	0.000
Pure Error	81	444.2	444.2	5.485		
Total	107	2901.7				

**Response Surface Regression Step 2**

Estimated Regression Coefficients for Reject

Term	Coef	StDev	T	P
Constant	20.194	0.4644	43.486	0.000
Temp	-2.097	0.3284	-6.387	0.000
Waktu	2.917	0.3284	8.882	0.000
Tinggi	3.319	0.3284	10.109	0.000
Waktu*Waktu	3.194	0.5688	5.616	0.000
Temp*Waktu	-1.458	0.4022	-3.626	0.000
Waktu*Tinggi	1.000	0.4022	2.486	0.015

S = 2.786    R-Sq = 73.0%    R-Sq(adj) = 71.4%

**Analysis of Variance for Reject Products**

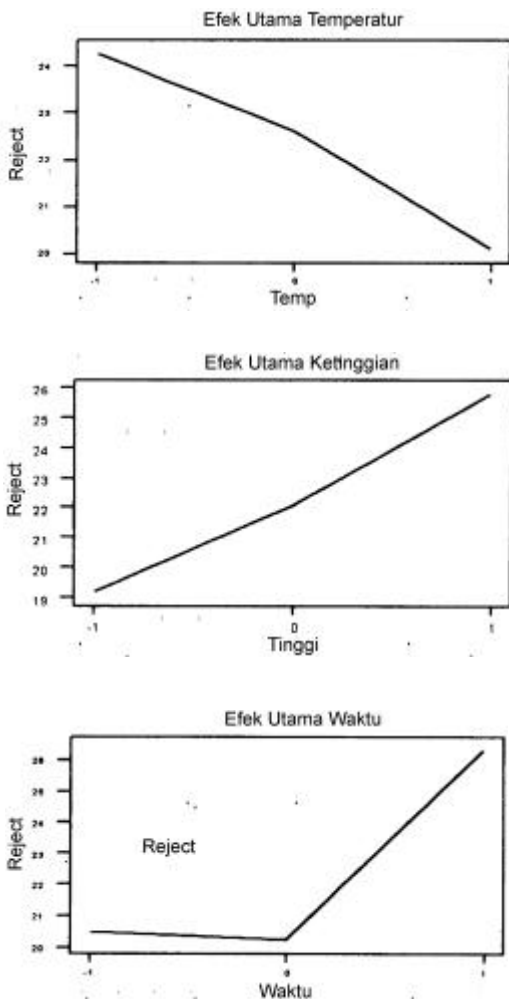
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	2117.5	2117.5	352.920	45.46	0.000
Linear	3	1722.5	1722.5	574.176	73.96	0.000
Square	1	244.9	244.9	244.907	31.54	0.000
Interactio	2	150.1	150.1	75.042	9.67	0.000
Residual Error	101	784.1	784.1	7.764		
Lack-of-Fit	20	339.9	339.9	16.994	3.10	0.000
Pure Error	81	444.2	444.2	5.485		
Total	107	2901.7				

Pemodelan lebih baik diperoleh dari *respon surface regresion* langkah ke dua, dengan meningkatnya nilai R-Sq (adj) menjadi 71.4 %, yang berarti bahwa 71.4 % variabilitas dalam data dapat dijelaskan oleh model tersebut.

Persamaan regresi nilai *rejected products*:  

$$Y = 20.194 - 2.097 X_1 + 2.917 X_2 + 3.319 X_3 + 3.194 X_2X_2 - 1.458 X_1X_2 + X_2X_3$$

Tabel Anova di atas adalah untuk penelitian nilai *rejected products*. Tampak bahwa faktor Temperatur, Waktu, Ketinggian, interaksi Temperatur dan Waktu, Waktu dan Ketinggian, serta interaksi Temperatur, Waktu dan Ketinggian signifikan pada tingkat keyakinan 95% ( $\alpha = 0.05$ ) yang berarti memberikan pengaruh nyata pada kelangsungan proses.



Gambar 2 Efek Utama Temperatur, Waktu Tuang, Ketinggian

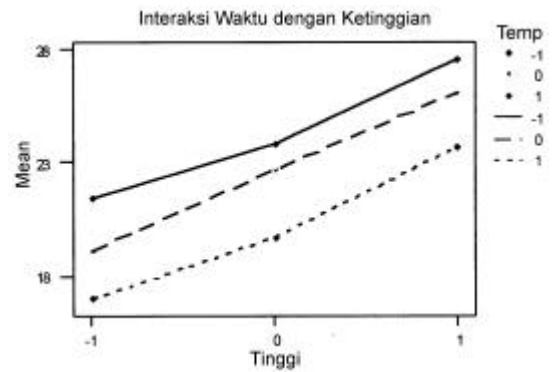
Pada Gambar 3, menunjukkan bahwa dengan naiknya temperatur menjadi 1200°C akan mengurangi nilai *rejected products* pada semua waktu penuangan.

Pada Gambar 4, dapat dilihat bahwa dengan semakin rendahnya letak cawan tuang nilai

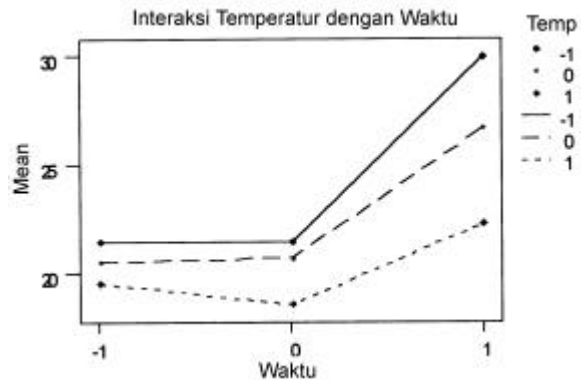
*rejected products* menurun pada semua temperatur penuangan.

Pada gambar 5, dapat dilihat bahwa dengan semakin rendahnya letak cawan tuang nilai *rejected products* menurun pada semua waktu penuangan.

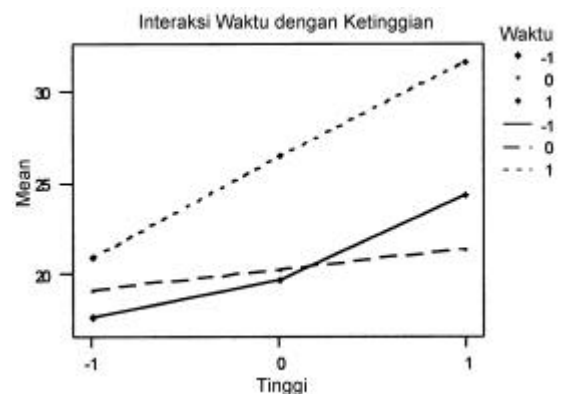
Pada gambar di atas terlihat bahwa residual-residual terletak di sekitar garis lurus maka dapat dikatakan bahwa residual mempunyai distribusi normal.



Gambar 3 Plot Interaksi Temperatur Dengan Waktu



Gambar 4 Plot interaksi temperatur dengan ketinggian

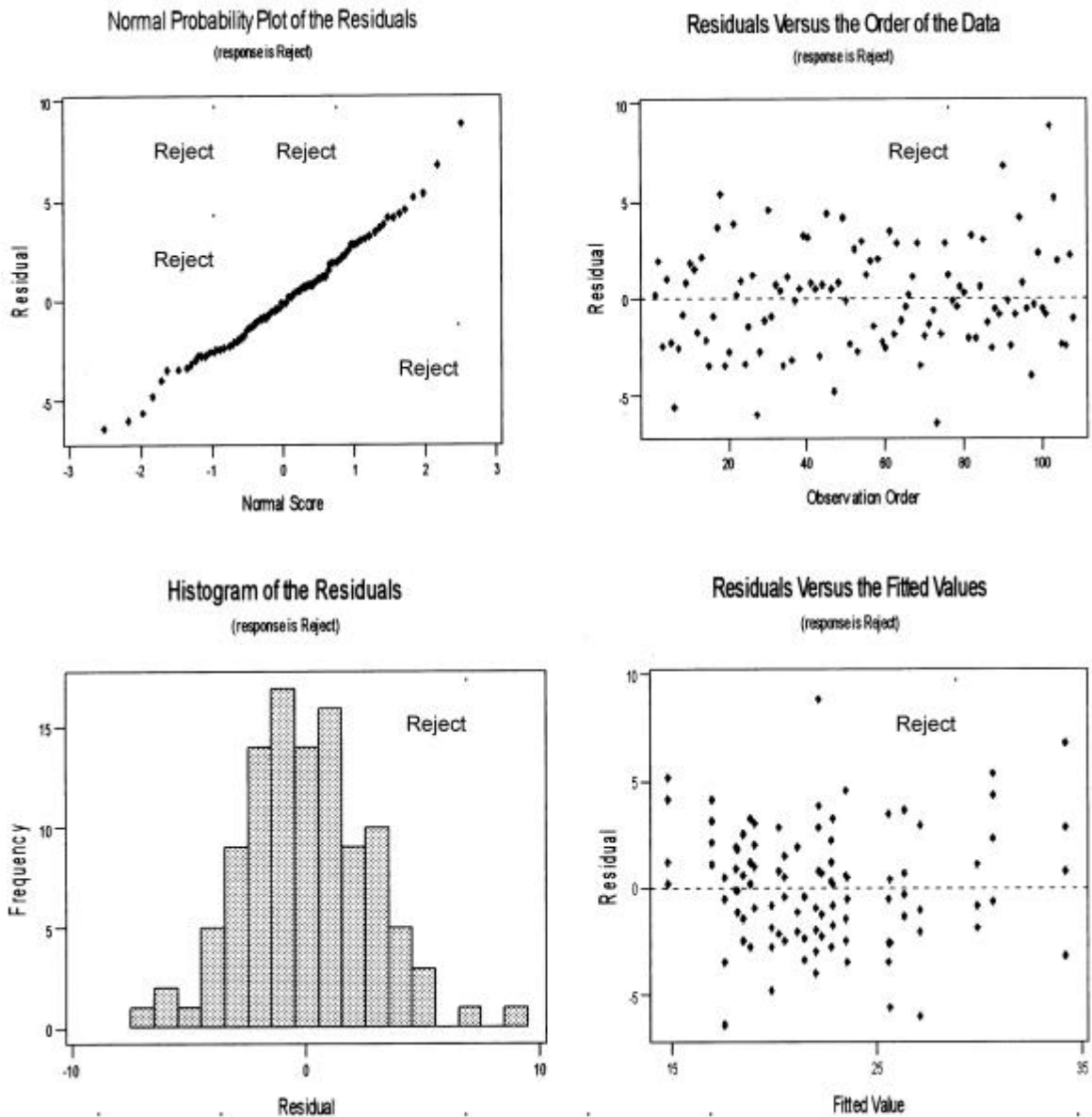


Gambar 5 Plot Interaksi Waktu Dengan Ketinggian

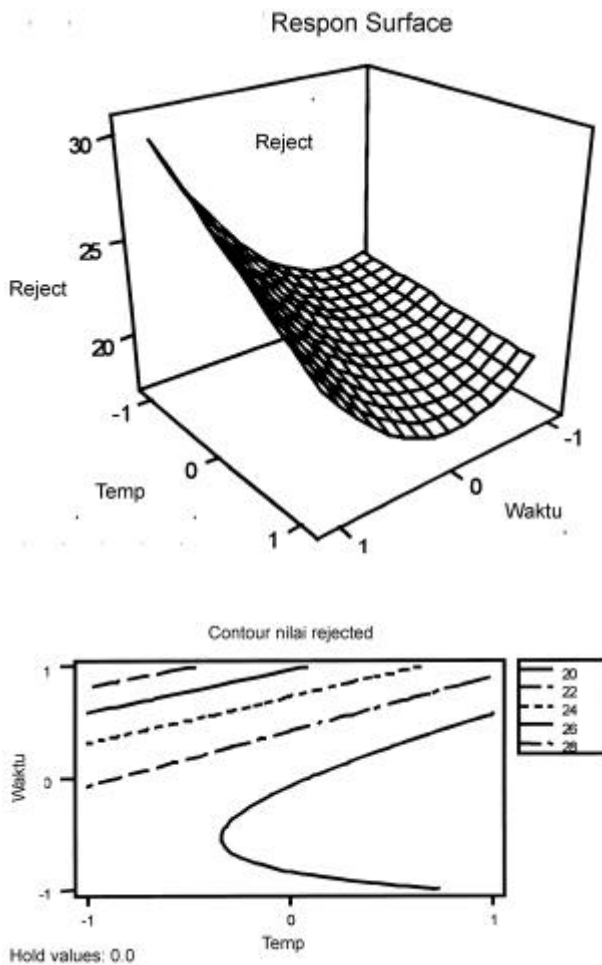
Grafik contour berikut diset pada tinggi 10 cm ( titik 0.0), karena memiliki nilai *rejected products* terendah pada semua level Temperatur dan Waktu Tuang. (Gambar 2 sampai Gambar 6).

Dari grafik *respon surface* dan *contour* pada Gambar 7, dapat dilihat bahwa nilai *rejected products* minimum dicapai bila temperatur le-

bih besar dari 1000°C, dan dapat ditentukan bahwa temperatur 1100°C dan 1200°C memenuhi syarat, tetapi pada temperatur 1200°C memiliki lebih banyak variasi waktu tuang yang dapat disesuaikan dengan kondisi lapangan, sehingga temperatur 1200°C dapat mengoptimalkan tujuan terhadap minimum nilai *rejected products*.



Gambar 6 Residual Pada Probabilitas Normal



Gambar 7. Grafik Respon Surface dan Contour

## 5. Kesimpulan

Faktor Temperatur, Waktu Tuang, Ketinggian Cawan Tuang, interaksi Temperatur dan Waktu, interaksi Waktu dan Ketinggian serta interaksi ketiganya secara nyata memberikan arti pengaruh terhadap respon yaitu nilai *rejected* produk. Untuk minimum nilai *rejected*, temperatur 1200°C menjadi pilihan dibandingkan temperatur 1100° C dengan pertimbangan variasi waktu tuang yang lebih banyak (10 detik dan 15 detik). Ketinggian cawan tuang yang membuat nilai *rejected* minimum adalah bila semakin rendah.

## Daftar Pustaka

- 1 Montgomery, Douglas C. *Design and Analysis Of Experiment. 3rd edition.* Wiley, New York, 1976.
- 2 Cochran, W.G. and G. M. Cox. *Experimental Design. 2nd edition.* Wiley, New York, 1957.

- 3 Kempthorne, Oscar. *Design and Analysis of Experiment.* Robert E. Krieger, Malabar, Florida, 1952.
- 4 Scheffe, H. *The Analysis of Variance.* Wiley, New York, 1959.
5. Tata Surdia dan Kenji Chijiwa. *Teknik Pengecoran Logam*, edisi kedua, Pradnya Paramita, Bandung, 1986.