

24779/H/06



# TESIS

## OPTIMASI PROSES INJECTION MOULDING (Studi Kasus: Produk Barrel Rexona Stick 20 GR di PT "X")

Oleh:

RATNA AUGUSTINY TJAHYONO

NRP. 9103.201.602

RTMT  
519.86  
Tja  
0-1  
2006



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	16-2-06
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	724077

PROGRAM STUDI MAGISTER MANAJEMEN TEKNOLOGI  
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN INDUSTRI  
PROGRAM PASCASARJANA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2006

# OPTIMASI PROSES INJECTION MOULDING (Studi Kasus: Produk Barrel Rexona Stick 20 GR Di PT "X")

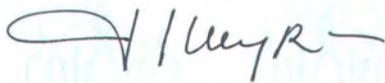
Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Manajemen Teknologi (M.MT)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

RATNA AUGUSTINY TJAHYONO  
NRP. 9103.201.602

Disetujui oleh Tim Penguji Tesis:

Tanggal Ujian : 17 Januari 2006  
Periode Wisuda: Maret 2006



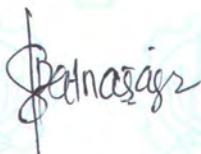
1. Drs. Haryono, MSIE. (Pembimbing)



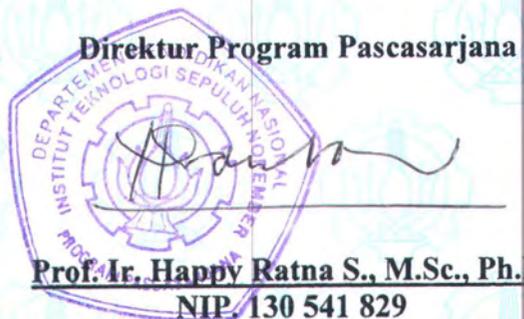
2. Dr. Ir. Udisubakti C., M.Eng.Sc. (Pembahas)



3. Dr. Ir. Moses L. S., M.Reg.Sc. (Pembahas)



4. Vita Ratnasari, S.Si., M.Si. (Pembahas)

Direktur Program Pascasarjana  
  
Prof. Ir. Happy Ratna S., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 130 541 829



ABSTRAK

# OPTIMASI PROSES INJECTION MOULDING (Studi Kasus : Produk *Barrel Rexona Stick* 20 gram di PT.'X' )

Nama : Ratna Augustiny Tjahyono, ST  
Pembimbing : Drs. Haryono, MSIE

## ABSTRAK

PT 'X' adalah salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang kemasan plastik , yaitu *Barrel Rexona stick* 20 gr. *Barrel* ini dibuat dengan menggunakan mesin *injection moulding*, yaitu dengan cara memasukkan atau menginjeksikan material ke dalam cetakan dengan *setting* tekanan dan kecepatan tertentu oleh sebuah mesin. Meski *setting* mesin sudah dirancang sedemikian rupa dan dirasakan sudah optimal, namun variabilitas proses masih saja ada dan kapabilitas prosesnya masih cukup jauh dari batas spesifikasi yang telah ditentukan terutama untuk ukuran kualitas diameter mulut dan berat bersih *barrel*. Apabila produk yang dihasilkan jauh dari batas spesifikasi terutama untuk variabel respon berat bersih, maka akan dibutuhkan biaya lebih. Biaya tersebut digunakan untuk proses ulang, penambahan material, biaya mesin, biaya sumber daya manusia dimana biaya-biaya tersebut akan menambah *cost of production* dan biaya tersebut akan dibebankan ke *customer* secara tidak langsung. Oleh karena itu, dengan metode *Taguchi Combined Array* akan dicari kombinasi faktor / taraf paling optimal untuk berat bersih dan diameter mulut. Banyak faktor yang diduga berpengaruh terhadap kualitas *barrel* diantaranya adalah *Injection Pressure* (A), *Injection Speed* (B), *Holding Pressure* (C) dan *Holding Time* (D).

Langkah awal dari metodologi penelitian ini adalah merumuskan masalah dari obyek dan variabel respon apa yang akan dioptimalkan, kemudian menentukan faktor dan level apa saja yang berpengaruh terhadap variabel respon dan menetapkan rancangan *orthogonal array* yang sesuai. Langkah selanjutnya adalah memasukkan parameter-parameter yang ada ke dalam kolom-kolom yang tersedia dan melakukan eksperimen. Setelah data penelitian diperoleh, maka dilakukan perhitungan rasio S/N, analisis varians (ANOVA), persen kontribusi, serta menentukan model *combined array* yang sesuai dan melakukan uji kesesuaian model. Apabila model yang ditentukan telah sesuai maka dilakukan prosedur TOPSIS untuk mengoptimalkan kombinasi level faktor dari variabel respon yang ada, kemudian dilakukan eksperimen konfirmasi dan menghitung persen perbaikan yang telah dilakukan. Langkah yang terakhir adalah menarik kesimpulan dari hasil yang diperoleh pada pengolahan data yang dilakukan.

Kombinasi level faktor yang mengoptimalkan variabel respon berat bersih dan diameter mulut *barrel*  $A_1B_1C_1D_1$  adalah *Injection Pressure* pada tekanan 800 bar, *Injection Speed* pada kecepatan 80 ccm/s, *Holding Pressure* pada tekanan 325 bar dan *Holding Time* selama 1.5 detik. Hasil dari eksperimen konfirmasi dengan menggunakan kombinasi level untuk mengoptimalkan kedua respon menunjukkan peningkatan rasio S/N yang berarti pengurangan variasi dan pergeseran nilai rata-rata ke target yang telah ditentukan dengan kedekatan dengan nilai target yang ditetapkan untuk respon berat bersih sebesar 62.17 % dan untuk respon diameter mulut sebesar 44.63 %.

Kata kunci : *Taguchi method, Multiresponse, Combined Array, TOPSIS*



ABSTRACT

**OPTIMATION PROCESS INJECTION MOULDING**  
**(Case Study : Product Barrel Rexona Stick 20 grams at PT. 'X')**

Name : Ratna Augustiny Tjahyono, ST  
Tutor : Drs. Haryono, MSIE

**ABSTRACT**

*PT.'X' was one of the company that works in the bussiness of plastic packaging which is barrel rexona stick 20 grams was one of its product. This barrel is made by using injection moulding machine where the materials injected into the clamping unit with setting pressure and speed. Even though the setting of the machine has been designed that ways and felt already working optimally but the variability and capability process is still far from target especially for quality measurements like netto weight (BB) and mouth diameter (DM). If products that comes out from injection moulding is far from specifications that will caused extra money for new materials, machines and also human resources. All of those cost will increase cost of production that indirectly will be charged to customer. With Taguchi Combined Array we will get optimum level for all of those factors like injection pressure (A), injection speed (B), holding pressure (C) and holding time (D) that influenced variable response significantly.*

*First, we create what kind of problems from object that we want to optimize then mentioned which factors and levels that effect variable responses. Orthogonal array that Taguchi used must appropriate for those factors when we put those factors into the colums of orthogonal array. Ratio signal to noise and analysis of variance described after we find the suited models for regressions. Percentage of contribution, TOPSIS procedure, experiments confirmation and the decreasement of variation and the shift of average grade to the fixed target was fina! step for data analysis. From those data analysis we can make a conclusions and do continuous improvement for the process and good quality products.*

*Combination optimum that we get from TOPSIS approach is  $A_1B_1C_1D_1$  where injection pressure at 800 bar, injection speed at 80 ccm s, holding pressure at 325 bar and holding time at 1.5 s. The results of experient confirmation using leveled combination to optimized both respoñse indicates the increasement of S N ratio which leads to the decreasement of variation and the shift of average grade to the fixed target with 62.17% increasement of quality for netto weight response and 44.63% for mouth diameter response.*

*Keywords : Taguchi method, Multiresponse, Combined Array, TOPSIS*



**KATA PENGANTAR**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas segala limpahan rahmat dan kesempatan yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul :

### **“ OPTIMASI PROSES INJECTION MOULDING “**

**(Studi Kasus Produk Barrel Rexona Stick 20 Gram di PT “X”)**

Keberhasilan penulis dalam penyusunan tesis ini tentunya tidak lepas dari keterlibatan, dorongan, bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, baik yang terlibat langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Drs. Haryono, MSIE selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis.
2. Bapak Ir. Adji Sutrisno, MM selaku Direktur Manufaktur PT ‘X’ Surabaya yang telah memberikan waktu dan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian dalam rangka penyusunan TESIS.
3. Para Pembimbing di lapangan : Bapak Arief Witjaksono (Produksi), Bapak Robert dan Bapak Sukardi (QA), Bapak Sigit dan Bapak Soleh (PE), terima kasih atas waktu dan masukan ilmu selama di lapangan.
4. Bapak dan Ibu Dosen serta karyawan MMT ITS atas bekal ilmu dan pelayanan yang diberikan kepada penulis.
5. Orang tua, adik dan juga Hanafi Lisian yang telah banyak memberikan dukungan doa dan semangat kepada penulis sehingga berhasil menyelesaikan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa Laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mohon maaf apabila terdapat kesalahan. Saran dan kritik kepada penulis akan sangat berharga untuk penyusunan laporan yang akan datang.  
Akhirnya penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2006

Penulis



DAFTAR ISI

## DAFTAR ISI

Lembar Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	ii
Abstrak.....	iii
Kata Pengantar.....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Tabel.....	xi
Daftar Gambar.....	xii
Daftar Lampiran.....	xiii
Bab I. Pendahuluan	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Penelitian.....	4
Bab II. Tinjauan Pustaka	
2.1 Pengendalian Kualitas Statistik.....	5
2.2 Metode Taguchi.....	7
2.2.1 Rasio <i>Signal to Noise</i> .....	8
2.2.2 <i>Orthogonal Array</i> .....	9
2.2.3 <i>Linier Graph</i> dan Interaksi.....	10

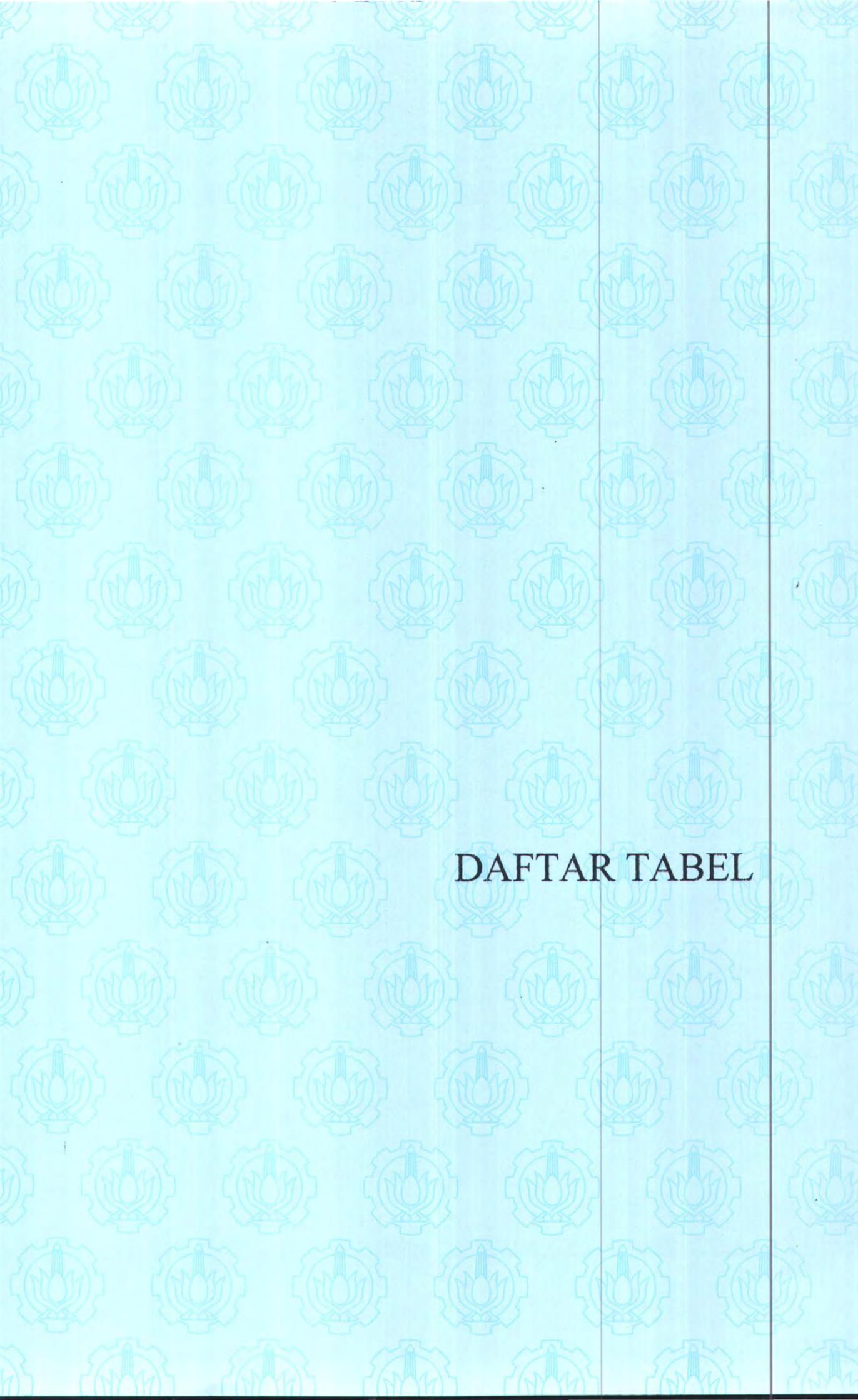
2.2.4 Pemilihan dan Penggunaan <i>Orthogonal Array</i> .....	11
2.3 Analysis of Variance (ANOVA).....	12
2.3.1 ANOVA Dua Arah.....	12
2.3.2 ANOVA Regresi.....	14
2.4 <i>Combined Array</i> .....	15
2.4.1 Pendekatan <i>Combined Array</i> untuk Model Orde Satu.....	16
2.4.2 Pendekatan <i>Combined Array</i> untuk Model Orde Dua.....	16
2.5 Pengujian Kesesuaian Model.....	17
2.6 Pengujian Parameter Regresi secara Serentak.....	18
2.7 Persen Kontribusi.....	19
2.8 Pendekatan TOPSIS.....	20
2.9 Eksperimen Konfirmasi.....	21
2.10 Selang Kepercayaan.....	22
2.11 Perbaikan Setelah Optimasi.....	25
2.12 Bahan Material dan Fasilitas Mesin.....	25
2.13 Mesin dan Proses <i>Injection Moulding</i> .....	27
 Bab III. Metodologi Penelitian	
3.1 Bahan dan Alat Penelitian.....	30
3.2 Variabel Penelitian.....	30
3.3 Rancangan Percobaan.....	32
3.3.1 Taraf / Level Faktor.....	32
3.3.2 Penentuan Derajat Bebas.....	33
3.3.3 Pemilihan <i>Orthogonal Array</i> .....	33

3.4 Langkah-langkah Penelitian.....	33
3.4.1 Tahap Persiapan.....	34
3.4.2 Tahap Eksperimen dan Analisa Data.....	34
Bab IV. Analisa dan Pembahasan	
4.1 Penetapan Model.....	39
4.1.1 Penetapan Model <i>Combined Array</i> .....	39
4.1.1.1 Penetapan Model Orde Pertama untuk Respon Berat Bersih.....	39
4.1.1.2 Penetapan Model Orde Kedua untuk Respon Berat Bersih.....	40
4.1.2 Penetapan Model untuk Variabel Respon Diameter Mulut.....	41
4.1.2.1 Penetapan Model Orde Pertama untuk Respon Diameter Mulut.....	41
4.1.2.2 Penetapan Model Orde Kedua untuk Respon Diameter Mulut.....	42
4.2 Penentuan Taksiran Optimum Respon.....	44
4.2.1 Penentuan Taksiran Optimum Respon Berat Bersih <i>Barrel</i> .....	44
4.2.2 Penentuan Taksiran Optimum Respon Diameter Mulut <i>Barrel</i> .....	45
4.2.3 Persen Kontribusi.....	45
4.2.4 Optimasi Respon Secara Serentak.....	47
4.2.5 Penentuan Selang Kepercayaan.....	51
4.2.6 Eksperimen Konfirmasi.....	52
4.2.7 Persen Perbaikan.....	53



Bab V. Kesimpulan dan Saran

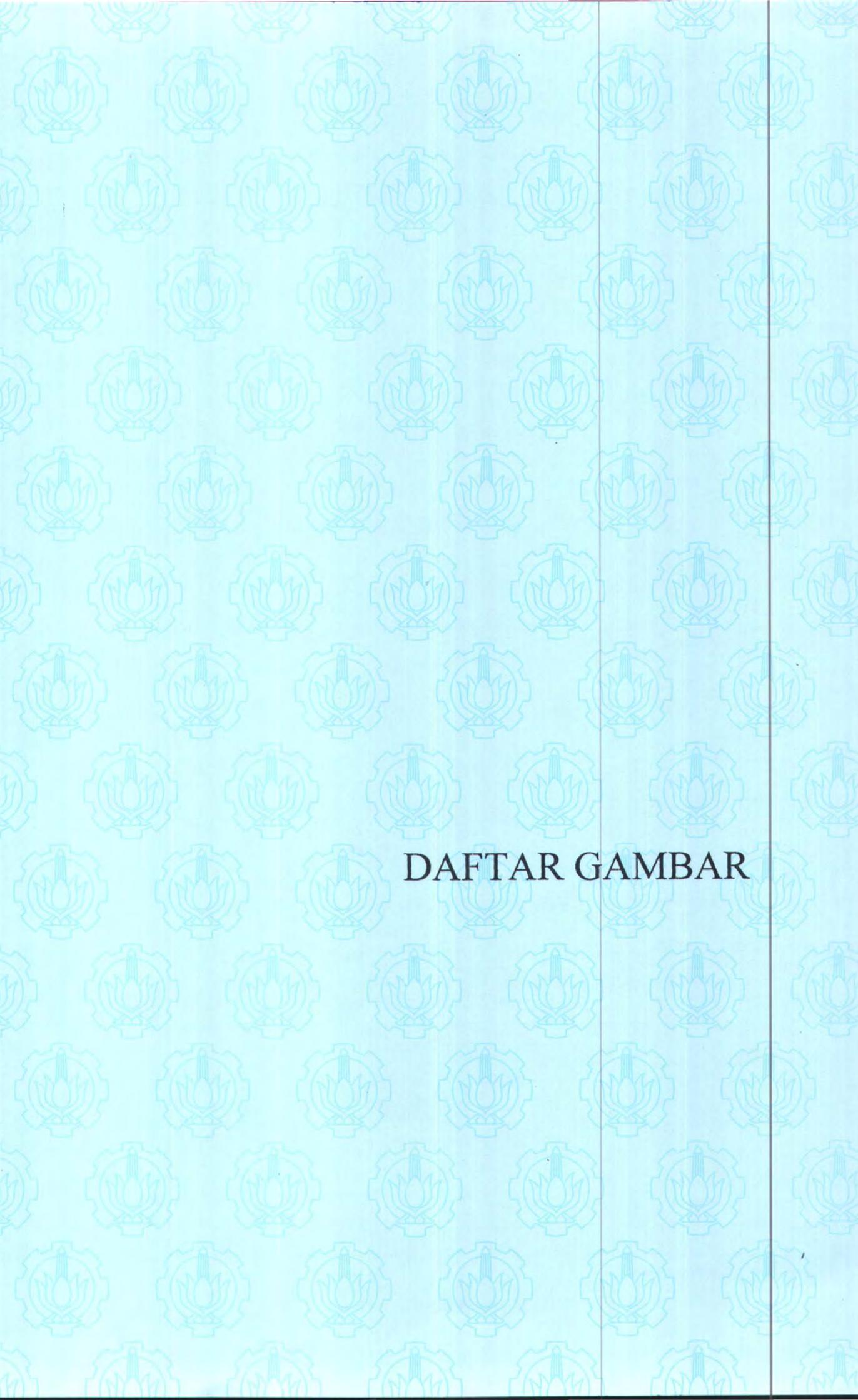
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	55
Daftar Pustaka.....	56



DAFTAR TABEL

## DAFTAR TABEL

Tabel	Nama	Hal
2.1	<i>Orthogonal Array</i> Standar dari Taguchi.....	10
2.2	Desain Eksperimen $L_8$ Beserta Penempatan Faktornya.....	11
2.3	ANOVA Dua Arah.....	12
2.4	ANOVA Regresi.....	14
3.1	Penentuan Level Faktor.....	32
3.2	Jumlah Derajat Bebas.....	32
4.1	ANOVA Model Orde Pertama untuk Respon Berat Bersih.....	39
4.2	ANOVA Model Orde Kedua untuk Respon Berat Bersih.....	40
4.3	ANOVA Model Orde Pertama untuk Respon Diameter Mulut.....	42
4.4	ANOVA Model Orde Kedua untuk Respon Diameter Mulut.....	43
4.5	Analisis Variansi untuk Respon Berat Bersih.....	46
4.6	Analisis Variansi untuk Respon Diameter Mulut.....	47
4.7	<i>Setting</i> Parameter yang Menghasilkan Taksiran Optimum untuk Masing-masing Respon.....	47
4.8	Nilai TOPSIS untuk Tiap Level dan Tiap Variabel Prediktor.....	50
4.9	Data Hasil Eksperimen Konfirmasi.....	52
4.10	Hasil Eksperimen Konfirmasi untuk Kedua Variabel Respon.....	53



DAFTAR GAMBAR

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Nama	Hal
2.1	<i>Linier Graph Orthogonal Array L<sub>8</sub></i> .....	10
2.2	Mesin <i>Injection Molding Arburg</i> .....	28
2.3	<i>Injection Unit</i> .....	29
2.4	<i>Clamping Unit</i> .....	29
3.1	Bagan Langkah-langkah Penelitian.....	38



DAFTAR LAMPIRAN

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Nama	Hal
1	Hasil Percobaan.....	58
2	Analisis Regresi.....	59
3	ANOVA Hasil Analisis Regresi.....	71
4	Perhitungan Nilai TOPSIS.....	72
5	ANOVA Perhitungan Selang Kepercayaan.....	73
6	Tabel Istilah Linguistik dan Konversi <i>Crisp Score</i> .....	75
7	Data Awal Penelitian.....	76
8	Gambar <i>Barrel</i> Rexona dan Spesifikasinya.....	79



BAB I  
PENDAHULUAN

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kemasan plastik banyak digunakan untuk berbagai kemasan produk, karena mempunyai banyak kelebihan diantaranya murah, ringan, tahan korosi, dapat diwarnai dan dapat didaur ulang kembali. PT 'X' di Surabaya adalah salah satu industri yang bergerak di bidang produksi kemasan plastik yang berdasarkan sistem pesanan dimana kualitas merupakan hal utama yang harus diperhatikan oleh produsen dalam menghasilkan suatu produk. Kualitas sebuah produk dikatakan bagus apabila memenuhi kriteria-kriteria yang telah ditetapkan oleh konsumen. Dalam suatu proses produksi, adalah hal yang wajar jika menghasilkan produk yang bervariasi. Untuk menjaga dan mempertahankan kualitas dari suatu proses produksi, dapat dilakukan dengan meminimumkan variabilitas proses. Adanya kualitas yang sangat bagus tentunya didukung oleh peranan manusia, material, mesin, metode dan lingkungan kerja yang mendukung. Namun bagaimanapun hati-hatinya dalam merancang proses produksi tersebut, masih terdapat juga gangguan didalamnya.

Salah satu kemasan produk plastik yang dihasilkan oleh PT 'X' ini adalah kemasan (*barrel*) Rexona Stick dimana tiap-tiap komponennya diproses dengan cara injeksi (*injection process*). Pembuatan *barrel* Rexona Stick diproses dengan memasukkan / menginjeksi material ke dalam cetakan dengan tekanan dan kecepatan tertentu oleh suatu mesin yang disebut mesin *injection moulding*. Optimasi dilakukan dengan melakukan kombinasi terbaik dari setiap level faktor yang berpengaruh terhadap kualitas berat bersih dan diameter mulut *barrel*. Apabila produk yang

dihasilkan jauh dari batas spesifikasi terutama untuk variabel respon berat bersih, maka akan dibutuhkan biaya lebih. Biaya tersebut digunakan untuk proses ulang, penambahan material, biaya mesin, biaya sumber daya manusia dimana biaya-biaya tersebut akan menambah *cost of production* dan biaya tersebut akan dibebankan ke *customer* secara tidak langsung.

Penelitian ini akan menyelesaikan permasalahan kualitas tersebut dengan menggunakan metode Taguchi *Combined Array* yang merupakan salah satu *improvement tool* dalam masalah kualitas. Dari metode ini didapatkan kombinasi (*setting*) yang tepat antara variabel-variabel yang berpengaruh untuk mengoptimalkan kapabilitas proses dan memperkecil variabilitas sehingga perusahaan dapat meminimalkan biaya produksi secara tidak langsung.

## 1.2 Perumusan Masalah

Banyak faktor yang diduga berpengaruh terhadap kualitas *barrel* diantaranya adalah temperatur material, tekanan injeksi, kecepatan injeksi, *holding time* dan sebagainya. Kombinasi level faktor yang sedang dijalankan perusahaan saat ini adalah 900 bar untuk tekanan injeksi, 90 ccm / detik untuk kecepatan injeksi, 350 bar untuk *holding pressure* dan 2.5 detik untuk *holding time*. Meski kombinasi level sudah dirancang sedemikian rupa dan dirasa sudah optimal, namun variabilitas proses masih saja ada dan proses masih belum memenuhi spesifikasi yang diinginkan (presisi dan akurasi rendah) terutama untuk variabel kualitas berat bersih (*netto weight*) dan diameter mulut *barrel*. Kedua variabel tersebut merupakan variabel kualitas yang paling kritis diantara variabel yang lain dan dalam penelitian ini digunakan sebagai variabel respon.

Dari uraian di atas, maka permasalahan yang dapat diambil adalah :

1. Variabel bebas atau faktor apa sajakah yang berpengaruh secara signifikan terhadap berat bersih dan diameter mulut *barrel* Rexona.
2. Bagaimanakah kombinasi level faktor-faktor berpengaruh yang mengoptimalkan berat bersih dan diameter mulut *barrel* Rexona baik secara individu maupun bersamaan.
3. Berapa persen perbaikan yang telah dilakukan oleh kombinasi level yang dapat mendekatkan variabel respon berat bersih dan diameter mulut secara bersamaan ke nilai target yang ditetapkan.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan permasalahan yang didapat maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui variabel bebas atau faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon berat bersih dan diameter mulut *barrel* Rexona.
2. Mendapatkan kombinasi level faktor yang mengoptimalkan berat bersih dan diameter mulut baik secara individu maupun bersamaan
3. Mengetahui perbaikan yang telah dilakukan oleh kombinasi level yang dapat mendekatkan variabel respon berat bersih dan diameter mulut *barrel* ke nilai target yang ditetapkan.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Perusahaan mendapatkan masukan mengenai faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel kualitas berat bersih dan diameter mulut serta mendapatkan kombinasi antar faktor yang dapat mengoptimalkan kedua variabel respon tersebut baik secara individu maupun bersamaan.
2. Perusahaan mendapatkan masukan cara mendapatkan kombinasi level faktor optimal sehingga dapat melakukan perbaikan secara kontinyu dengan metode Taguchi.
3. Menambah pengalaman mahasiswa dalam pengaplikasian ilmu, menganalisa dan menyikapi masalah yang muncul di realita dunia kerja khususnya bidang industri.

### 1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada ruang lingkup PT "X" dengan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Material yang digunakan adalah material *thermoplastic* jenis *Polypropylene* (PP) *Trilene* HI 10 HO.
2. Mesin yang digunakan adalah *injection moulding* merek *Arburg* 100 dengan *4 cavity*.
3. Variabel kualitas yang diukur adalah berat bersih dan diameter mulut *barrel*.
4. Faktor-faktor yang diteliti adalah *injection pressure*, *injection speed*, *holding pressure* dan *holding time*.
5. Material yang digunakan adalah material murni dan material campuran dimana kedua material tersebut sebagai variabel *noise*.



BAB II  
TINJAUAN PUSTAKA

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA



#### 2.1 Pengendalian Kualitas Statistik

Definisi tentang kualitas menurut Montgomery (1996) adalah kualitas yang berarti kecocokan penggunaannya. Sebuah produk dikatakan berkualitas tinggi apabila mempunyai variasi kecil, dihasilkan dari proses produksi yang terkendali dan mempunyai kriteria sesuai dengan yang diinginkan oleh konsumen.

Pengendalian kualitas secara statistik merupakan metode untuk memeriksa dan menjaga tingkat kualitas yang diinginkan dalam suatu produk / proses tertentu. Hasil pengendalian kualitas dipakai sebagai standar, apakah kualitas produk / proses sudah memenuhi standar yang ditetapkan

Percobaan yang dirancang merupakan pendekatan perubahan secara sistematis faktor masukan terkendali dan tidak terkendali serta pengamatan pengaruh faktor-faktor ini pada parameter produk hasilnya. Percobaan yang dirancang secara statistik sangat berguna dalam mengurangi variabilitas ciri-ciri kualitas dan menentukan tingkat variabel kontrol yang mengoptimalkan penampilan proses (Montgomery, 1996).

Teknik pengendalian kualitas dapat dibagi menjadi dua kategori :

##### 1. *On-line Quality Control*

Pengendalian kualitas secara *on-line* merupakan suatu teknik untuk memonitor produksi, mengukur kualitas secara terus-menerus, menyediakan tanda pada masalah yang potensial dan tindakan korektif secara langsung.

Informasi tersebut harus dianalisa untuk menentukan apakah *setting* proses telah diatur dengan baik.

## 2. *Off-line Quality Control*

Pengendalian kualitas secara *off-line* bertujuan untuk mengoptimalkan produk dan desain untuk mendukung *on-line quality control*. Desain eksperimen merupakan alat dasar dari kontrol kualitas. Teknik eksperimen memainkan peran penting yaitu mengidentifikasi sumber variasi dan penentuan optimasi desain dan proses, yaitu :

### 1. *System Design*

Merupakan fase dimana konsep baru, ide, dan metode dimunculkan untuk membuat produk baru atau memperbaiki yang sudah ada. Konsep tersebut dapat didasarkan atas pengalaman masa lalu, pengetahuan *engineering*, penemuan baru atau kombinasi dari ketiganya.

### 2. *Parameter Design*

Bertujuan untuk memilih level optimal untuk parameter sistem yang dapat dikontrol sehingga produk tersebut fungsional dan memiliki tingkat performa yang tinggi dalam berbagai kondisi dan *robust* (kokoh) dalam melawan faktor-faktor yang tidak terkontrol atau faktor-faktor yang terlalu mahal jika dilakukan pengontrolan (*noise factor*) yang menyebabkan variabilitas.

Alat untuk mencapai tujuan parameter adalah desain eksperimen.

### 3. *Tolerance Design*

Tujuan dari desain toleransi adalah untuk menentukan range variabilitas yang dapat diterima sesuai dengan *setting* normal yang telah ditentukan dalam desain

parameter. Pada fase ini, kualitas diperbaiki dengan cara memperketat toleransi pada parameter produk atau proses untuk mengurangi variabilitas. (Peace, 1993)

## 2.2 Metode Taguchi

Desain eksperimen merupakan langkah yang perlu diambil sebelum eksperimen dilakukan supaya data yang diperlukan dapat memberikan hasil analisa yang obyektif dan memberikan pemecahan pada masalah yang dibahas.

Metode Taguchi adalah salah satu metode peningkatan kualitas yang bertujuan untuk mengidentifikasi parameter-parameter kunci yang memiliki kontribusi terbesar dalam hal variasi dan memastikan yang menghasilkan variabilitas minimum. Metode ini mengadaptasi penggunaan *orthogonal array* sebagai alat desain eksperimen yang efektif untuk mereduksi jumlah eksperimen namun tetap berusaha untuk mencapai perbaikan desain produk dan produktivitas proses. Metode Taguchi memiliki kelebihan, yaitu :

1. Rancangan percobaan efisien, karena memungkinkan untuk melaksanakan percobaan yang melibatkan banyak faktor tetapi unit percobaan yang diperlukan relatif kecil.
2. Rancangan percobaan Taguchi memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk lebih konsisten dan *robust* terhadap variabilitas yang disebabkan oleh faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan (*noise*).

Pada rancangan klasik *full factorial*, jumlah unit eksperimen yang dilakukan relatif banyak dan hanya sampai batas informasi adanya pengaruh atau tidak pada variabel respon yang diukur. (Peace, 1993)

Pengaplikasian metode Taguchi ini hanya pada optimasi respon tunggal, sedang untuk kasus multirespon sangat terbatas. Untuk mengatasi permasalahan kasus multirespon tersebut Lee pada tahun 1997 memperkenalkan pendekatan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions* (TOPSIS). Dengan pendekatan TOPSIS, didapatkan kombinasi level faktor yang dapat mengoptimalkan dua atau lebih variabel respon.

### 2.2.1 Rasio Signal to Noise

S/N rasio didefinisikan sebagai logaritma dari rata-rata kuadrat simpangan dari nilai target sebagai berikut :

$$S/N = -10 \log MSD \quad (2.1)$$

Beberapa jenis rasio S/N :

a. *Smaller the better*

Karakteristik kualitas ini meliputi pengukuran dimana semakin rendah nilainya (mendekati nol), maka kualitasnya akan lebih baik. Misalnya residu, waktu respon, akibat kerusakan, kebisingan, dan sebagainya. Nilai S/N untuk jenis karakteristik kualitas ini adalah :

$$MSD = \left[ \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right] \quad (2.2)$$

dimana : r = jumlah percobaan

b. *Nominal the best*

Pada karakteristik kualitas ini biasanya ditetapkan suatu nilai nominal tertentu, dan semakin mendekati nilai nominal tersebut maka kualitas semakin baik. Contohnya adalah kadar air biji kopi, ukuran ubin, ketebalan, dan sebagainya.

Nilai S/N untuk jenis karakteristik kualitas ini adalah :

$$\text{MSD} = \left[ \frac{Y_i - m}{r} \right]^2 \quad (2.3)$$

dimana :  $m$  = nilai target eksperimen

c. *Larger the better*

Karakteristik kualitas ini meliputi pengukuran dimana semakin besar nilainya maka kualitasnya akan lebih baik. Misalnya kekuatan, titik lebur, daya dorong, efisiensi, dan sebagainya. Nilai S/N untuk jenis karakteristik kualitas ini adalah :

$$\text{MSD} = \left[ \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right] \quad (2.4)$$

Level-level faktor yang memberikan hasil optimum pada eksperimen tentunya yang memberikan nilai S/N tertinggi.

### 2.2.2 Orthogonal Array

Taguchi telah mengembangkan suatu keluarga matrix eksperimen fraksional faktorial yang berguna dalam mereduksi banyaknya percobaan dari jumlah semestinya. Rancangan tersebut mengambil fraksi eksperimen yang dibentuk dalam kolom-kolom *orthogonal* yang disebut *Orthogonal Array* (OA). Jadi OA merupakan desain faktorial sebagian dan simetris. Kolom OA digunakan untuk mengestimasi semua efek faktor utama dan beberapa (tidak semua) efek interaksi.

*Orthogonal Array* dapat ditemukan dari cara menamakannya, misalkan untuk OA yang dinotasikan sebagai  $L_8(2^7)$ , *Orthogonal Array*  $L_8(2^7)$  berarti : *orthogonal array* yang menggunakan 7 faktor dengan 2 level yang dilakukan dalam 8 eksperimen (trial). Untuk penempatan faktor utama dan beberapa interaksi antara dua

faktor pada *orthogonal array* memanfaatkan aturan tabel segitiga interaksi (*triangular table of interaction*) yang dikembangkan dengan kaidah *linier graph*.

Tabel 2.1 *Orthogonal Array* Standar dari Taguchi

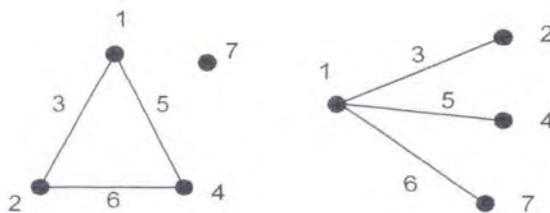
2 level	3 level	4 level	5 level	level gabungan
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^3)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^1 \times 3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$		$L_{32}(2^1 \times 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$			$L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$				$L_{36}(2^3 \times 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$				$L_{54}(2^1 \times 3^{25})$
$L_{54}(2^{53})$				$L_{50}(2^1 \times 5^{11})$

Sumber : Belavendram, 1995

### 2.2.3 Linier Graph dan Interaksi

Interaksi digunakan untuk menguraikan sebuah kondisi dimana pengaruh satu faktor atas respon atau hasil pengamatan bergantung dengan kondisi faktor yang lain (Fowlkes, 1995). Apabila suatu eksperimen melibatkan pengaruh interaksi antara dua faktor yang terpilih (tidak semua) maka digunakan teknik *linier graph* sebagai pedoman penempatan interaksi pada kolom-kolom *Orthogonal Array*.

*Linier graph* adalah representasi grafik dan informasi interaksi dalam suatu matriks eksperimen yang terdiri dari titik dan garis. Setiap titik pada *linier graph* mewakili suatu faktor utama dan garis yang menghubungkan dua titik menggambarkan interaksi antar dua faktor utama yang bersangkutan. Gambar di bawah ini merupakan salah satu *linier graphs* standar dari *orthogonal array*  $L_8$ .



Gambar 2.1 *Linier Graph Orthogonal Array*  $L_8$

Gambar 2.1 diatas terdiri dari empat titik yang melukiskan kolom 1,2,4 dan 7 dan garis yang melukiskan kolom 3,5 dan 6. Empat titik tersebut mewakili faktor utama dan garis mewakili interaksi antar faktor utama. Secara umum *linear graphs* tidak memperlihatkan keseluruhan interaksi diantara setiap pasangan kolom OA.

### 2.2.4 Pemilihan dan Penggunaan Orthogonal Array

Pemilihan *Orthogonal Array* untuk sebuah eksperimen bergantung pada :

- a. Banyaknya faktor utama dan atau interaksi antar faktor utama yang diamati.
- b. Banyaknya level / taraf / faktor yang diamati.

Kedua hal tersebut akan mempengaruhi total jumlah derajat bebas yang berguna untuk menentukan jenis OA yang dipilih. Tabel OA yang dipilih harus mempunyai jumlah baris minimum yang tidak boleh kurang dari jumlah derajat bebas totalnya. Misal terdapat 4 faktor utama (A,B,C dan D) dan 2 faktor interaksi (AxB dan BxC) masing-masing dengan 2 level maka *orthogonal array* yang sesuai adalah  $L_8(2^7)$  didapatkan dengan melihat jumlah derajat bebas totalnya. Maka desain eksperimennya berdasarkan OA terpilih dan *linear graphs* dapat dilihat pada tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Desain eksperimen  $L_8$  beserta penempatan faktornya

No Eksperimen	Faktor						
	A	B	AXB	C	E	BXC	D
	No Kolom						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Sumber : Belavendram, 1995

Dari tabel diatas terdapat kolom  $e$  dimana kolom ini tidak mempengaruhi hasil pengamatan dan tetap terjaga *orthogonalitas*-nya.

### 2.3 Analysis of Variance (ANOVA)

Variasi adalah masalah yang paling besar dalam menentukan kualitas produk atau proses (Fowlkes, 1995). Kinerja karakteristik kualitas selanjutnya diukur dari variansinya. Eksperimen dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi dan mengendalikan variasi produk atau proses, kemudian keputusan yang dihasilkan harus dibuat dengan mempertimbangkan parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap kinerja produk atau proses atau dengan kata lain faktor yang mempengaruhi rata-rata dan variasi karakteristik kinerja produk atau proses. Dalam eksperimen ini analisa variansi digunakan untuk mengetahui faktor- faktor yang signifikan dalam taraf signifikansi  $\alpha = 5\%$ .

#### 2.3.1 ANOVA Dua Arah

Tabel ANOVA yang terdiri dari dua faktor yang diamati disebut ANOVA dua arah, ANOVA ini agak rumit karena menyertakan hitungan untuk mengamati efek faktor interaksi yang ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 2.3. ANOVA dua arah

Sumber Variasi	Derajad Bebas	Sum of Square (SS)	Mean of Square (MS)	F hitung
Faktor A	$k_A - 1$	$SS_A$	$MS_A$	$MS_A/MS_e$
Faktor B	$k_B - 1$	$SS_B$	$MS_B$	$MS_B/MS_e$
Interaksi AxB	$(k_A - 1)(k_B - 1)$	$SS_{AXB}$	$MS_{AXB}$	$MS_{AXB}/MS_e$
Residual	$N - k_A k_B$	$SS_e$	$MS_e$	
Mean	1	$SS_m$		
<b>Total</b>	<b>N-1</b>	<b><math>SS_T</math></b>		

Sumber : Belavendram, 1995

Keterangan :

$$SS_A = \frac{(totalA_1)^2}{n_1} + \frac{(totalA_2)^2}{n_2} + \frac{(totalA_3)^2}{n_3} - \frac{(totalA)^2}{n_1 + n_2 + n_3} \quad (2.5)$$

$$SS_B = \frac{(totalB_1)^2}{n_1} + \frac{(totalB_2)^2}{n_2} + \frac{(totalB_3)^2}{n_3} - \frac{(totalB)^2}{n_1 + n_2 + n_3} \quad (2.6)$$

$SS_{A \times B}$  = jumlah kuadrat interaksi faktor A dan B

$$= \frac{(totalAxB_1)^2}{n_1} + \frac{(totalAxB_2)^2}{n_2} + \frac{(totalAxB_3)^2}{n_3} - \frac{(totalAxB)^2}{n_1 + n_2 + n_3} \quad (2.7)$$

$$SS_T = \text{jumlah kuadrat total} = \sum_{i=1}^N y_i^2 \quad (2.8)$$

$$SS_m = \text{jumlah kuadrat rata-rata} = N \times \bar{y}^2 \quad (2.9)$$

$$SS_e = \text{jumlah kuadrat residual} = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{A \times B} - SS_m \quad (2.10)$$

$$T = \text{jumlah keseluruhan pengamatan} = \sum_{i=1}^N y_i \quad (2.11)$$

$$\bar{y} = y \text{ rata-rata} = \frac{T}{N} \quad (2.12)$$

$$MS_A = \text{rata-rata jumlah kuadrat faktor A} = SS_A / V_A \quad (2.13)$$

$$MS_B = \text{rata-rata jumlah kuadrat faktor B} = SS_B / V_B \quad (2.14)$$

$$MS_{A \times B} = \text{rata-rata jumlah kuadrat interaksi faktor A dan B} = SS_{A \times B} / V_{A \times B} \quad (2.15)$$

$$MS_e = \text{rata-rata jumlah kuadrat faktor B} = SS_e / V_e \quad (2.16)$$

dimana : y = pengamatan

$SS_A$  = jumlah kuadrat faktor A

$SS_B$  = jumlah kuadrat faktor B

N = jumlah total eksperimen

Model persamaan yang mewakili pengamatan di atas :

$$Y_{ijr} = \mu + \tau_i + \beta_j + \tau\beta_{ij} + \varepsilon_{ijr} \quad (2.17)$$

dimana :  $\mu$  = rata-rata keseluruhan

$\tau_i$  = efek faktor A taraf ke-i

$\beta_j$  = efek faktor B taraf ke-j

$\tau\beta_{ij}$  = efek interaksi faktor A dan B pada taraf ke-i dan taraf ke-j

$\varepsilon_{ijr} \sim \text{IIDN}(0, \sigma^2)$

Dari tabel ANOVA di atas dapat dilakukan pengujian terhadap perbedaan pengaruh level dengan hipotesis (sebagai contoh adalah faktor A) :

$H_0 : \tau_i = 0$  (tidak ada perbedaan pengaruh level faktor A)

$H_1 : \text{minimal ada satu } \tau_i \neq 0$  (terdapat perbedaan pengaruh level ke-i faktor A)

Statistik uji :  $F_{\text{hit}}$  faktor A =  $MS_A / Mse$

Daerah penolakan : tolak  $H_0$ , bila  $F$  hitung  $> F_{(\sigma, V_A, V_e)}$

Pengujian untuk faktor yang lain mengacu pada pengujian diatas.

### 2.3.2 ANOVA Regresi

Di dalam metode regresi, model yang diperoleh harus memenuhi asumsi regresi klasik. Pengujian terhadap model dilakukan seperti pada tabel ANOVA regresi berikut ini. Adapun tabel ANOVA terdiri dari perhitungan derajat bebas, jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat dan  $F$  ratio yang ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 2.4 ANOVA Regresi

Sumber Variasi	Derajat Bebas	Sum of Square (SS)	Mean of Square (MS)	F hitung
Regresi	K	$SS_r$	$SS_r / k$	$MS_r / MS_e$
Residual	$N-k-1$	$SS_e$	$SS_e / (N-k-1)$	
<i>Lack of Fit</i>	$N-k-1-n_e$	$SS_{lof}$	$SS_{lof} / (N-k-1-n_e)$	$MS_{lof} / MS_{pe}$
<i>Pure Error</i>	$n_e$	$SS_{pe}$	$SS_{pe} / n_e$	
<b>Total</b>	<b>N-1</b>	<b><math>SS_t</math></b>		

Sumber : Montgomery (2001)

dimana :

$$SS_r = \text{jumlah kuadrat regresi} = \sum_{i=1}^m (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (2.18)$$

$$SS_e = \text{jumlah kuadrat residual} = \sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.19)$$

$$SS_{lof} = \text{jumlah kuadrat } lack \text{ of fit} = \sum_{i=1}^m n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2 \quad (2.20)$$

$$SS_{pe} = \text{jumlah kuadrat } pure \text{ error} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (2.21)$$

$y_i$  = hasil pengamatan

$\hat{y}$  = hasil dari model regresi yang diperoleh

$\bar{y}$  = rata-rata hasil pengamatan

## 2.4 Combined Array

Suatu *cross product array* mempunyai kelemahan yaitu banyaknya jumlah percobaan yang diperlukan, karena merupakan perkalian silang antara *inner array* dan *outer array*. Apabila percobaan untuk *inner array* sebanyak sembilan kali, dan *outer array* sebanyak sembilan kali, maka diperlukan delapan puluh satu kali percobaan untuk *cross product array*. Untuk mereduksi banyaknya jumlah percobaan yang diperlukan dalam suatu *cross product array*, ide untuk mengkombinasikan faktor kontrol dan faktor *noise* ke dalam satu matrik diperkenalkan, dan dinamakan *combined array* (Park, 1995).

Pendekatan *combined array* tidak sesederhana *cross product array*, karena merupakan gabungan dari analisa regresi dan *response surface* secara bersama-sama.

### 2.4.1 Pendekatan *Combined Array* untuk Model Orde Satu

Misal faktor kontrol dinotasikan  $x' = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  dan faktor pengganggu (*noise*) dinotasikan  $z' = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ , model orde pertamanya adalah :

$$y(x,z) = \beta_0 + x'\beta + z'\gamma + z'Dx + \varepsilon \quad (2.22)$$

dimana  $\beta$  berukuran  $p \times 1$ ,  $\gamma$  berukuran  $q \times 1$  dan  $D$  berukuran  $p \times q$ .

Model empirik orde pertama dari persamaan diatas adalah sebagai berikut :

$$y(x,z) = b_0 + x'b + z'r + z'Dx \quad (2.23)$$

Menurut Park (1995), persamaan (2.23) dapat dicari nilai taksiran mean dan varian dari respon sebagai berikut :

$$\begin{aligned} m(x) &= k \int_{Rz} y(x,z) dz \\ &= b_0 + x'b \end{aligned} \quad (2.24)$$

$$\begin{aligned} v(x) &= k \int_{Rz} [y(x,z) - m(x)]^2 dz \\ &= \frac{1}{3} (r + Dx)' (r + Dx) \end{aligned} \quad (2.25)$$

$$\text{dimana } k^{-1} = \int_{Rz} dz \quad (2.26)$$

### 2.4.2 Pendekatan *Combined Array* untuk Model Orde Dua

Apabila variabel  $x$  dan  $z$  mempunyai tiga level atau lebih, dapat digunakan model regresi polinomial orde kedua, yaitu sebagai berikut :

$$y(x,z) = \beta_0 + x'\beta + x'Bx + z'Rz + z'\gamma + z'Dx + \varepsilon \quad (2.27)$$

dimana  $B$  dan  $R$  merupakan matrik koefisien regresi.

Model empirik dari persamaan diatas adalah sebagai berikut :

$$y(x, z) = b_0 + x'b + x' B x + z'R z + z'r + z' D x \quad (2.28)$$

Menurut Park (1995), persamaan (2.28) dapat dicari nilai mean dan varians dari respon sebagai berikut :

$$\begin{aligned} m(x) &= k \int_{Rz} y(x, z) dz \\ &= b_0 + x'b + x' B x + \frac{1}{3} tr R \end{aligned} \quad (2.29)$$

$$\begin{aligned} v(x) &= k \int \left[ y(x, z) - m(x) \right]^2 dz \\ &= (r + D x)' (r + D x) + A \end{aligned} \quad (2.30)$$

dimana  $k^{-1} = \int_{Rz} dz$

$tr R$  adalah trace dari matrik  $R$

$$A = \frac{1}{45} \left[ 4 \sum_{j=1}^m r_{jj}^2 + 5 \sum_{j=1}^{m-1} \sum_{k=j+1}^m r_{jk}^2 \right] \quad (2.31)$$

$r_{jk}$  adalah elemen dari baris ke  $j$  dan kolom ke  $k$  dari matrik  $R$

## 2.5 Pengujian Kesesuaian Model (*Lack of Fit*)

Seperti yang diketahui, model yang telah diperoleh tidak dapat langsung diterima akan tetapi model tersebut diterima sebagai model sementara sebelum ada pembuktian lebih lanjut bahwa model tersebut tidak sesuai (Draper dan Smith, 1992). Dalam kasus regresi garis lurus dengan jumlah respon tunggal, ketidaksesuaian model dapat dideteksi dari plot residualnya. Namun untuk model yang lebih rumit dan melibatkan banyak variabel, maka untuk mengetahui apakah model yang

digunakan sudah sesuai atau tidak dapat dilakukan uji hipotesis. Hipotesanya sebagai berikut :

$H_0$  : *lack of fit* tidak signifikan (model sesuai)

$H_1$  : *lack of fit* signifikan (model tidak sesuai)

$$\text{Statistik ujinya : } F = \frac{MS_{\text{lackoffit}}}{MS_{\text{pureerror}}} \quad (2.32)$$

$H_0$  ditolak apabila  $F_{\text{hit}} > F_{\alpha; N-k-1; n-k}$

Bila diperoleh keputusan menolak  $H_0$  menunjukkan bahwa model yang terbentuk tidak memadai dan harus diperbaiki.

## 2.6 Pengujian Parameter Regresi secara Serentak

Untuk mengetahui apakah koefisien-koefisien yang ada dalam model secara serentak mempunyai pengaruh yang nyata atau tidak, dapat dilakukan uji F dengan hipotesis sebagai berikut :

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$

$H_1$  : sekurang-kurangnya ada satu  $\beta_j \neq 0$  dimana  $j = 1, 2, 3, \dots, k$

$$\text{Statistik uji : } F = \frac{MS_{\text{regresi}}}{MS_{\text{residual}}} \quad (2.33)$$

Jika  $F_{\text{hit}} > F_{(\alpha, k, N-k-1)}$  maka  $H_0$  ditolak, yang artinya pada tingkat signifikansi  $\alpha$  secara statistik variabel-variabel  $x_j$  dalam model memberikan sumbangan yang cukup berarti.

## 2.7 Persen Kontribusi

Total variasi yang diamati pada eksperimen dari masing-masing faktor yang signifikan pada metode Taguchi dinyatakan dalam persen kontribusi. Persen kontribusi menandakan kekuatan relatif dari suatu faktor atau interaksi untuk mereduksi variasi. Apabila level faktor dan interaksi dikendalikan dengan cermat, maka total variasi akan berkurang sejumlah yang diindikasikan pada persen kontribusi.

Variansi pada faktor atau interaksi mengandung sejumlah variansi terhadap error. Persamaan berikut menyatakan variansi dari faktor A :

$$MS_A = MS'_A + MS_e \text{ atau } MS'_A = MS_A - MS_e$$

Berdasarkan persamaan (2.13) maka

$$MS'_A = SS'_A / V_A$$

$$SS'_A / V_A = SS_A / V_A - MS_e$$

$$SS'_A = SS_A - (MS_e \times V_A) \quad (2.34)$$

$SS'_A$  adalah jumlah kuadrat yang diharapkan dari faktor A, dan persen kontribusi terhadap total variasi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100 \% \quad (2.35)$$

Perhitungan persen kontribusi untuk faktor yang lain mengacu pada perhitungan diatas.

## 2.8 Pendekatan TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*)

Metode TOPSIS dikembangkan secara sistematis melalui aplikasi teori *fuzzy set* terhadap MADM (*Multiple Attribute Decision Making*). Hasil dari prosedur ini adalah suatu nilai jarak kedekatan relatif yang dihitung sebagai ukuran indeks performansi. Indeks tersebut dapat digunakan untuk menentukan kondisi optimum pada tahap desain parameter untuk masalah multirespon.

MADM berhubungan dengan situasi dimana keharusan untuk memilih satu diantara berbagai alternatif, masing-masing mempunyai banyak (lebih dari satu) kriteria yang biasanya saling bertentangan. Tingkat kepentingan relatif dari masing-masing kriteria tersebut dinyatakan melalui bobotnya. Sedangkan teori *fuzzy set* digunakan untuk mentransformasikan tingkat kepentingan relatif masing-masing respon tersebut ke dalam bentuk *fuzzy*. Metode ini dapat mereduksi ketidakpastian dalam penentuan pembobot masing-masing respon.

Dalam TOPSIS, pemilihan alternatif didasarkan pada jarak yang terdekat dari solusi ideal (*ideal solution*) dan jarak terjauh dari solusi ideal negatif yang dinyatakan dengan nilai kedekatan relatif. Nilai kedekatan relatif ini kemudian digunakan untuk menghitung indeks performansi untuk setiap kondisi perlakuan dan disebut sebagai nilai TOPSIS. Nilai TOPSIS yang semakin besar menunjukkan kualitas produk yang semakin baik.

Langkah-langkah pada prosedur TOPSIS sebagai berikut:

- a. Menentukan prioritas pada respon yang akan diteliti kemudian diterjemahkan ke dalam istilah linguistik.
- b. Mentransformasikan istilah linguistik tersebut ke dalam *crisp score*.

c. Menghitung *loss-function* (fungsi kerugian) berdasarkan tipe karakteristik kualitas masing-masing respon.

Untuk respon *smaller the better*:

$$\bullet \quad L_{ij} = k \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r Y_{ijk}^2 \quad (2.36)$$

Untuk respon *larger the better*:

$$\bullet \quad L_{ij} = k \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r \frac{1}{Y_{ijk}^2} \quad (2.37)$$

Untuk respon *nominal the best*:

$$\bullet \quad L_{ij} = k \left[ \frac{S_{ij}}{\bar{Y}_{ij}} \right]^2 \quad (2.38)$$

$$\text{Dimana : } \bar{Y}_{ij} = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r Y_{ijk} \quad (2.39)$$

$$S_{ij}^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{k=1}^r (Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij})^2 \quad (2.40)$$

keterangan :

$L_{ij}$  = fungsi kerugian untuk respon ke-j dan kombinasi perlakuan ke-i

$Y_{ij}$  = data pengamatan dari respon ke-j, kombinasi perlakuan ke-i dan pengulangan ke-k

k = koefisien fungsi kerugian

r = banyaknya pengulangan

i = 1,2,..., m ; j = 1,2,...,n ; k = 1,2,...,s

d. Menghitung nilai TOPSIS tiap kombinasi level perlakuan

Menghitung 
$$r_{ij} = \frac{L_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m L_{ij}}} \quad (2.41)$$

$$v_{ij} = w_{ij} \cdot r_{ij} \quad (2.42)$$

Menghitung kedekatan relatif dari masing-masing kombinasi perlakuan yaitu

Solusi ideal

$$A^* = \{(\max v_{ij} | j \in J), (\min v_{ij}' | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\}$$

$$A^* = \{V_1^*, V_2^*, \dots, V_j^*, \dots, V_n^- * \} \quad (2.43)$$

Solusi ideal negatif

$$A^- = \{(\max v_{ij} | j \in J), (\min v_{ij}' | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\}$$

$$A^- = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^- \} \quad (2.44)$$

Dimana :  $j = \{(j = 1, 2, \dots, n), j \text{ diasosiasikan dengan kriteria keuntungan}\}$  dan  $j' = \{(j = 1, 2, \dots, n), j \text{ diasosiasikan dengan kriteria biaya}\}$

Ukuran pemisahan dari solusi ideal

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - V_j^*)^2} \quad , i = 1, 2, \dots, m \quad (2.45)$$

Ukuran pemisahan dari solusi ideal negatif

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - V_j^-)^2} \quad , i = 1, 2, \dots, m \quad (2.46)$$

Untuk menghitung nilai TOPSIS :

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad , i = 1, 2, \dots, m \quad (2.47)$$

e. Menentukan kombinasi level optimum

- Menghitung pengaruh level faktor terhadap nilai TOPSIS

- Menentukan kombinasi level faktor kendali yang optimum dengan cara memilih level faktor yang memberikan nilai TOPSIS terbesar
- f. Melaksanakan eksperimen konfirmasi
- Eksperimen konfirmasi dilaksanakan untuk membuktikan bahwa kondisi optimum yang telah diperoleh benar-benar memberikan peningkatan kualitas.

## 2.9 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan tahap akhir dari metode Taguchi yang bertujuan untuk membuktikan apakah faktor dan level optimum yang diperoleh dari percobaan dapat mengoptimalkan respon yang diteliti.

## 2.10 Selang Kepercayaan

Untuk menguji apakah hasil yang didapat sesuai dengan yang diharapkan, maka harus diuji dengan interval keyakinan. Hasil yang didapat harus berada pada interval keyakinan yang ditentukan. Interval keyakinan sendiri ada tiga jenis yaitu:

### a. Untuk level faktor

Misal untuk faktor A

$$CI = \bar{A}_i \pm \sqrt{F_{\alpha, v_1, v_2} \cdot MS_e \cdot \frac{1}{n}} \quad (2.48)$$

dimana :  $F_{\alpha, v_1, v_2}$  = nilai dari  $F_{\text{tabel}}$

$v_1$  = derajat kebebasan untuk pembilang yang berhubungan dengan suatu rata-rata dan selalu sama dengan 1 untuk suatu interval kepercayaan

$v_2$  = derajat kebebasan untuk penyebut yang berhubungan dengan

derajat kebebasan dan variansi error

MSe = variansi error

n = jumlah pengamatan.

**b. Untuk perkiraan rata-rata**

$$CI = \mu_{prediksi} \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \cdot MS_e \cdot \frac{1}{n_{eff}}} \quad (2.49)$$

Dengan :  $n_{eff}$  = jumlah pengamatan efektif

$$n_{eff} = \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{\text{Jumlah derajat kebebasan dalam perkiraan rata - rata}} \quad (2.50)$$

$n_{eff}$  tergantung pada jumlah derajat kebebasan yang digunakan untuk menghitung perkiraan rata-rata yang optimum dan tidak tergantung pada level faktor mana yang terpilih. Jadi semua faktor dan interaksi yang digunakan dalam menghitung perkiraan rata-rata harus dimasukkan dalam derajat kebebasan untuk menghitung  $n_{eff}$ .

**c. Interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi**

Eksperimen konfirmasi digunakan untuk membuktikan bahwa perkiraan rata-rata untuk faktor dan level yang dipilih dari eksperimen sebelumnya sudah valid. Apabila sampel yang diambil terlalu sedikit, akan sulit untuk membuktikan validitas perkiraan rata-rata. Sehingga rumus yang dipakai dalam menentukan interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut:

$$CI = \mu_{konfirmasi} \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \cdot V_e \cdot \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r}} \quad (2.51)$$

Dimana r adalah ukuran sampel yang digunakan (jumlah replikasi), dimana  $r \neq 0$ .

Hasil yang diperoleh dianggap sudah akurat dan dapat diterima bila interval kepercayaannya berhimpit dengan interval kepercayaan untuk perkiraan rata-rata.

## 2.11 Perbaikan Setelah Optimasi

Setelah mendapatkan hasil dari percobaan konfirmasi maka dapat diketahui berapa persen perbaikan yang telah dilakukan dengan proses optimasi tersebut dengan persamaan :

$$\xi = kMSD_{existing} \times \left[ 1 - 0.5^{\left( \frac{\eta_{optimum} - \eta_{existing}}{3} \right)} \right] \quad (2.52)$$

dimana  $\xi$  :  $\xi$  = perbaikan

$MSD_{existing}$  = MSD sebelum optimasi

$\eta_{existing}$  = S/N sebelum optimasi

$\eta_{optimasi}$  = S/N setelah optimasi

## 2.12 Bahan Material dan Fasilitas Mesin

Plastik adalah material sintetis yang mempunyai sifat unik dan luar biasa. Berbagai jenis plastik didapat melalui manipulasi molekul dan merubah kombinasi susunan kimianya. Terdapat dua jenis material plastik antara lain :

### 1. *Thermosetting*

Ikatan kimia dari jenis *thermosetting* ini mampu menyerap energi panas yang lebih sebelum rantai karbon itu terputus. Ini menyebabkan *thermoset* mampu dipakai pada temperatur yang tinggi dan oleh karena itu desainer produksi plastik mampu menghasilkan produk yang mempunyai ketahan elektrik dan kimia yang baik. Proses pembentukan material *thermoset* ini adalah *irreversible*, sekali

dibentuk tidak dapat dikembalikan ke bentuk semula. Plastik *thermoset* dapat dibentuk melalui proses pencetakan, transfer, pengecoran dan laminasi

## 2. *Thermoplastic*

Berbeda dengan *thermosetting*, *thermoplastic* tidak ada ikatan kimia antara molekul yang panjang, tetapi posisi antara molekul *thermoplastic* itu sendiri dan gaya-gaya intermolekuler yang mempengaruhi sifat dan klasifikasi dari *thermoplastic* itu sendiri. Bahan ini tidak mengalami perubahan susunan kimia waktu dicetak dan tidak akan menjadi keras meskipun ditekan dan dipanaskan. Jenis plastik ini tetap lunak pada suhu tinggi dan mengeras ketika didinginkan. Selain itu *thermoplastic* dapat dicairkan kembali berulang-ulang dengan pemanasan kembali. Bahan *thermoplastic* dibentuk dengan cara pencetakan injeksi (*injection*) atau tiup (*blow*), ekstrusi pembentukan thermal dan penggilingan.

Untuk memproduksi berbagai kemasan plastik, PT 'X' menggunakan berbagai macam jenis material berupa *thermoplastic* disesuaikan dengan isi dari kemasan dan permintaan konsumen. Jenis-jenis yang dipakai antara lain :

- PVC (*Poly Vinyl Chloride*)
- PE (*Poly Ethylene*)
- PP (*Poly Propylene*)
- PS (*Poly Styrene*)
- PET (*Poly Ethylene Terephthalat*)

Sedangkan fasilitas mesin-mesin yang disediakan sebagai berikut :

- Blow moulding machine : Bekum dan B & W
- Injection moulding machine : Arburg dan Krauss Maffei

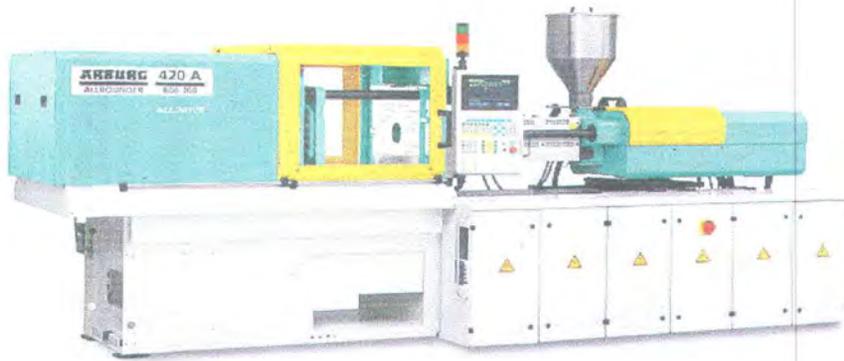
- Injection blow moulding machine : Bekum dan Jomar
- Injection stretch blow moulding machine : AOKI dan Nissei
- Extrusion plastic tube machine : MAC & Breyer
- Offset printing machine : MOSS & CALF
- Screen printing machine : Kamman
- Hot stamping machine : Autoprint & Moss
- Mold making facilities : CNC Deckel Maho, Agie, EDM, dll
- CAD CAM system : Pro Engineering, Master Cam

Proses injeksi yang dilakukan oleh PT 'X' terdiri dari :

- *Incoming inspection* : inspeksi dilakukan pada material yang datang
- *Inprocess inspection* : inspeksi dilakukan pada tiap-tiap proses produksi
- *Final inspection* : inspeksi dilakukan pada saat produk akan dikemas setelah proses

### 2.13 Mesin dan Proses Injection Moulding

Proses *injection moulding* adalah suatu proses dengan cara memanaskan material pada temperature tertentu berdasarkan jenis materialnya sampai material tersebut berbentuk seperti cairan yang sangat kental dan kemudian memasukkan / menginjeksi material tersebut ke dalam cetakan dengan *setting* tekanan dan kecepatan tertentu. Material yang tercetak tidak langsung dilepaskan tetapi didiamkan beberapa saat dan diberi suhu yang lebih rendah atau didinginkan baru kemudian cetakan terbuka untuk mengeluarkan produk.



Gambar 2.2 Mesin *injection moulding* Arburg

Secara umum mesin *injection moulding* dibagi menjadi 2 bagian besar yaitu :

a. *Injection unit*

Bertugas untuk melumerkan material plastik dan mendorong menuju ruang dalam *mould / cavity* dengan tekanan / kecepatan tertentu. Adapun proses yang terjadi pada *injection unit* adalah material masuk di *hoper* melalui alur *screw* bergerak ke depan, karena aliran *screw* menimbulkan tekanan tertentu yang menyebabkan *screw* bergerak ke belakang. Material dikompresi dan gesekan yang menyebabkan panas dan meleleh. Di luar *barrel* terdapat *heater band* yang berfungsi sebagai stabilisator panas. Di dalam *barrel* terdapat *screw* yang bertugas memutar material yang pada akhirnya menimbulkan gesekan antara material dan *barrel* sehingga material melumer. *Screw* dibagi menjadi 3 bagian yaitu : di bagian pangkal, tengah dan ujung. Di ujung *screw* terdapat ring yang berfungsi sebagai *valve seat plastisizing*. Ring bergerak maju ke depan sehingga ada celah yang memungkinkan material masuk dan mengalir ke depan *screw*. Pada saat *injection*, ring bergerak mundur sehingga tidak ada celah yang

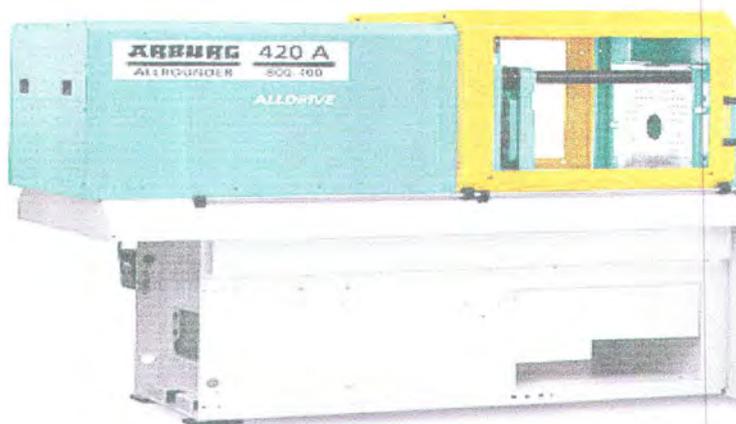
memungkinkan material masuk. Bagian injeksi tersebut dapat dilihat pada gambar 2.3



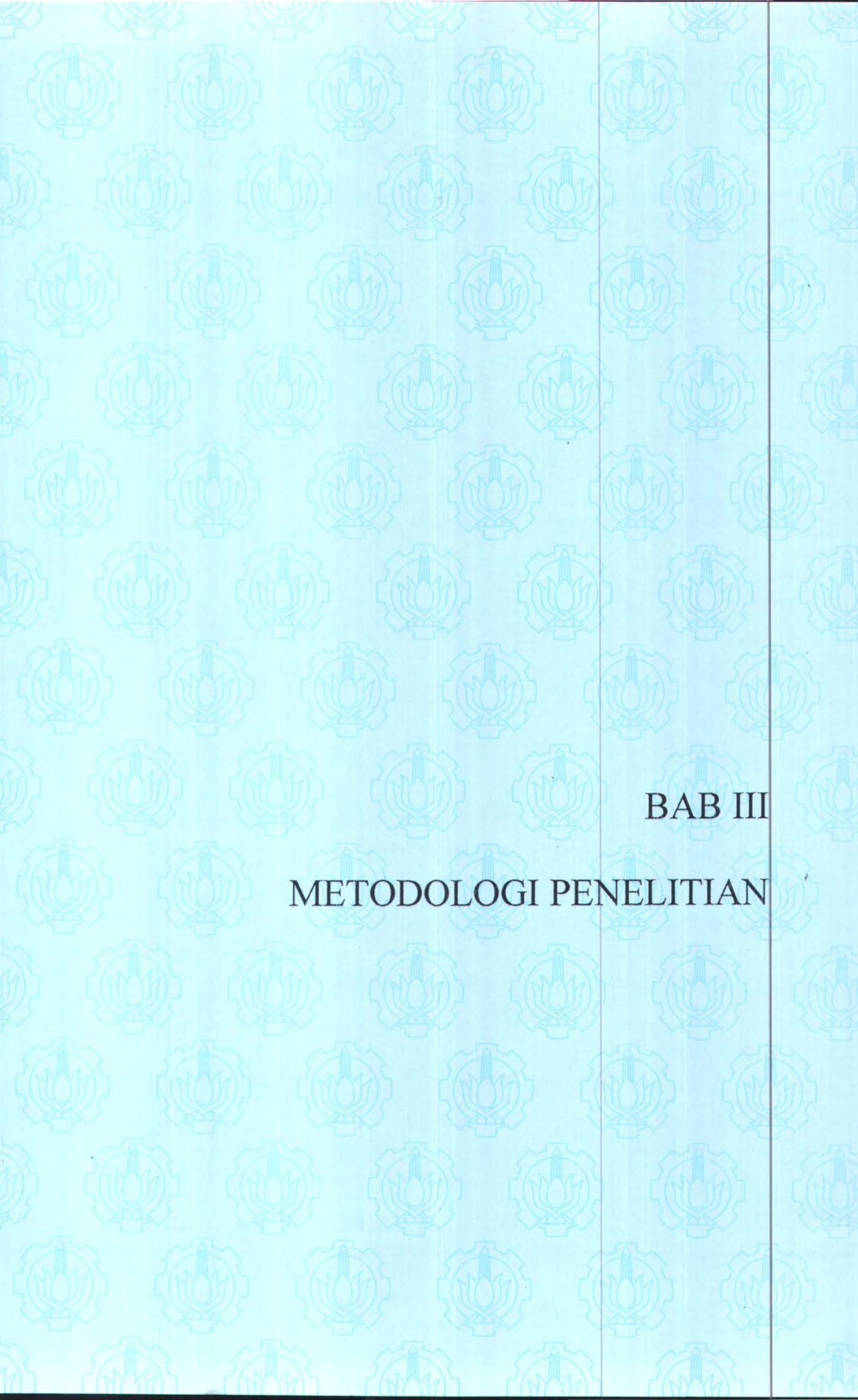
Gambar 2.3 *Injection Unit*

b. *Clamping unit*

Berfungsi menjaga cetakan agar tetap rapat saat *injection* dan membuka cetakan untuk pengeluaran produk. Proses yang terjadi disini adalah *cooling time* yaitu material yang telah tercetak ditahan sebentar dengan tekanan tertentu (*holding pressure*) pada waktu tertentu (*holding time*) dan diberi pendingin dalam waktu tertentu agar material terbentuk dengan baik. Gambar *clamping unit* dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4 *Clamping Unit*



BAB III  
METODOLOGI PENELITIAN

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bahan yang digunakan adalah material *thermoplastic* jenis *Polypropylene* (PP) *Trilene* HI 10 HO.
2. Alat yang digunakan antara lain :

Mesin : *Injection Moulding Arburg* 100 dengan 4 *cavity*

Alat ukur : timbangan digital untuk mengukur berat bersih dan *digimatic calliper* untuk mengukur diameter mulut dalam *barrel Rexona*

#### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Variabel respon terdiri dari :
  - a. Berat bersih (gram) *barrel Rexona* Stick dengan batas spesifikasi  $10 \pm 0.5$  gram
  - b. Diameter mulut dalam (mm) *barrel Rexona* Stick dengan batas spesifikasi  $49.9 \pm 0.15$  mm
2. Variabel bebas atau faktor yang diduga mempengaruhi variabel respon antara lain:
  - a. Tekanan (*pressure injection*) (bar)

Adalah besarnya tekanan yang diberikan pada saat injeksi. Jika tekanan yang diberikan terlalu besar mengakibatkan permukaan dinding produk tipis begitu juga sebaliknya yang akan merubah berat dan diameter mulut produk.

b. *Injection speed* (ccm / detik)

Kecepatan injeksi juga mempengaruhi kualitas produk, jika *speed* terlalu cepat maka material yang masuk tidak cukup sempurna yang mengakibatkan tebal dinding produk tidak merata sehingga berpengaruh terhadap berat dan dimensi produk.

c. *Holding pressure* (bar)

Pada saat material sudah masuk dalam cetakan maka harus diberi tekanan sedikit sampai terbentuk produk. Jadi setelah injeksi, unit penginjeksi tidak langsung lepas tetapi harus ditahan beberapa saat, hal ini menghindari *flash* pada ujung produk.

d. *Holding time* (detik)

Waktu pada saat *holding* juga perlu diperhatikan, jika waktu yang diberikan terlalu cepat dapat menyebabkan kelebihan material pada ujung produk sehingga mempengaruhi bentuk produk.

e. Interaksi antara *injection pressure* dan *injection speed*

Pada saat material diberi tekanan juga diikuti oleh kecepatan tertentu, interaksi antara tekanan dan kecepatan ini diduga mempengaruhi berat bersih dan dimensi produk.

f. Interaksi antara *injection pressure* dan *holding pressure*

Pada saat injeksi, material diberi tekanan tertentu dan cetakan tidak langsung dibuka tetapi ditahan terlebih dahulu dengan tekanan tertentu pula agar tidak terjadi kebocoran material pada *clamping unit*. Interaksi antara tekanan injeksi dan tekanan pada saat ditahan diduga mempengaruhi dimensi produk terutama pada mulut produk.

g. Interaksi antara *injection pressure* dan *holding time*

*Holding time* dihitung pada saat material diinjeksikan dan ditahan dengan tekanan tertentu. Jadi *injection time* termasuk ke dalam *holding time*, sehingga interaksi tekanan injeksi dan *holding time* diduga berpengaruh terhadap berat dan dimensi produk.

3. Faktor *noise* adalah faktor yang tidak dapat dikendalikan, dalam penelitian ini yang digunakan adalah material murni dan material campuran sehingga kombinasi level optimal yang didapatkan nanti akan *robust* terhadap material murni maupun campuran.

### 3.3 Rancangan Percobaan

Dalam metode Taguchi, tidak semua kombinasi faktor digunakan dalam percobaan. Rancangan percobaan dengan metode Taguchi dibuat berdasarkan jumlah taraf / level faktor yang digunakan yang kemudian dilakukan perhitungan derajat bebas total dan terakhir adalah penetapan *orthogonal array* yang sesuai.

#### 3.3.1 Taraf / Level Faktor

Dalam penelitian ini digunakan tiga level pada masing-masing faktor, pemilihan level-levelnya mengacu pada level yang digunakan dalam perusahaan saat ini, yaitu *injection pressure* pada tekanan 900 bar, *injection speed* pada kecepatan 90 ccm/s, *holding pressure* pada tekanan 350 bar dan *holding time* selama 2.5 detik. Level faktor yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut ini :

Tabel 3.1 Penentuan Level Faktor

NO	FAKTOR	NOTASI	LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3
1	<i>Injection Presurre</i>	A	800	900	1000
2	<i>Injection Speed</i>	B	80	90	100
3	<i>Holding Pressure</i>	C	325	350	375
4	<i>Holding Time</i>	D	1.5	2.5	3.5

### 3.3.2 Penentuan Derajat Bebas

Dalam menentukan *orthogonal array* yang tepat, maka perlu terlebih dahulu menentukan jumlah derajat bebas total dimana jumlah derajat bebas total ini dicari dengan derajat bebas setiap faktor. Derajat bebas merupakan banyaknya perbandingan yang harus dilakukan antar level faktor (efek utama) atau interaksi yang digunakan untuk menentukan jumlah percobaan minimal yang dilakukan. Jumlah derajat bebas setiap faktor dirumuskan dengan jumlah level ( $n$ ) dikurangi dengan satu atau dapat ditulis  $db = n - 1$ . Jumlah derajat bebas dari penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Jumlah derajat bebas

NO	FAKTOR	NOTASI	DERAJAD BEBAS
1	Injection Pressure	A	2
2	Injection Speed	B	2
3	Holding Pressure	C	2
4	Holding Time	D	2
5	Interaksi Injection Pressure dan Injection Speed	A x B	4
6	Interaksi Injection Pressure dan Holding Pressure	A x C	4
7	Interaksi Injection Pressure dan Holding Time	A x D	4
<b>Jumlah total derajat bebas</b>			<b>20</b>

### 3.3.3 Pemilihan Orthogonal Array

Tabel *orthogonal array* yang dipilih harus mempunyai jumlah baris minimum yang tidak boleh kurang dari jumlah derajat bebas totalnya. Jumlah derajat bebas total dalam penelitian ini adalah 20 sehingga *orthogonal array* yang digunakan adalah  $L_{27}(3^{13})$ .

### 3.4 Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini dibagi menjadi dua tahap yaitu :

### 3.4.1 Tahap Persiapan

Tahap ini merupakan tahap awal dari penelitian, mencakup identifikasi masalah, penentuan tujuan penelitian dan pengumpulan informasi awal yang berguna bagi penelitian, terdiri dari studi pustaka dan studi pendahuluan perusahaan serta penentuan obyek penelitian dan identifikasi variabel respon yang ingin dioptimalkan.

### 3.4.2 Tahap Eksperimen dan Analisa Data

Tahap ini adalah tahap pengimplementasian metode Taguchi meliputi :

#### a. *Pre Design Experiment*

Sebelum melakukan eksperimen, ada beberapa tahapan yang harus dilakukan yaitu sebagai berikut :

- Penentuan faktor-faktor dominan

Pada tahap ini ditentukan faktor-faktor dominan yang diduga berpengaruh secara signifikan terhadap karakteristik kualitas produk. Penentuan faktor-faktor tersebut berdasarkan hasil wawancara dengan pihak perusahaan dan dari peninjauan proses produksi secara langsung.

- Penetapan level-level faktor

Dari masing-masing faktor dominan tersebut ditentukan beberapa level faktor yang mungkin dilakukan dalam percobaan. Penetapan level dari masing-masing faktor mengacu pada setting mesin dan kondisi yang masih dapat diterima mesin.

- Pemilihan *orthogonal array*

Berdasarkan penentuan faktor-faktor dan level yang berpengaruh terhadap variabel respon, maka dapat ditentukan banyaknya percobaan yang harus dilakukan dengan menggunakan *orthogonal array*. Untuk pemilihan *orthogonal array* ini harus memperhatikan banyaknya faktor, banyaknya level dan jumlah eksperimen pada *orthogonal array* harus lebih besar dari jumlah derajat kebebasan faktor.

b. Pelaksanaan Eksperimen

Berdasarkan *orthogonal array* yang telah dipilih sebelumnya, selanjutnya dilakukan pelaksanaan eksperimen.

c. Pengolahan Data

Setelah dilakukan percobaan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat sebelumnya, dilakukan pengolahan data eksperimen sesuai dengan tahap-tahap sebagai berikut :

- Menghitung S/N rasio

Data hasil eksperimen ditransformasikan ke dalam bentuk rasio *signal to noise* (rasio S/N).

- ANOVA

Digunakan untuk menguji hipotesis terhadap perbedaan level tiap-tiap faktor sehingga diperoleh hasil yang menunjukkan faktor-faktor dominan apa saja yang berpengaruh terhadap variabel respon tersebut.

- *Combined Array*

Ditetapkan model eksperimen yang sesuai untuk masing-masing variabel respon berdasarkan level faktor-faktor yang telah ditetapkan sehingga dapat diketahui kombinasi level faktor-faktor yang dapat mengoptimalkan masing-masing variabel respon.

- Pengujian Kesesuaian Model

Dilakukan pengujian kesesuaian model untuk mengetahui apakah model yang digunakan sudah sesuai atau tidak maka dilakukan uji hipotesis.

- Pengujian Parameter

Untuk mengetahui apakah koefisien-koefisien yang ada dalam model secara serentak mempunyai pengaruh yang nyata atau tidak, maka dilakukan uji F.

- Persen Kontribusi

Perhitungan persen kontribusi dilakukan untuk kekuatan relatif dari suatu faktor untuk mereduksi variansi. Semakin besar persen kontribusi maka semakin besar faktor tersebut mereduksi variansi.

- Prosedur TOPSIS

Prosedur ini dilakukan apabila hasil kombinasi optimal kedua variabel respon tidak sama, hasil kombinasi optimal untuk variabel respon satu belum tentu optimal untuk variabel respon lainnya sehingga perlu dilakukan prosedur pencarian kombinasi level yang mengoptimalkan kedua variabel respon.

- Interval Kepercayaan

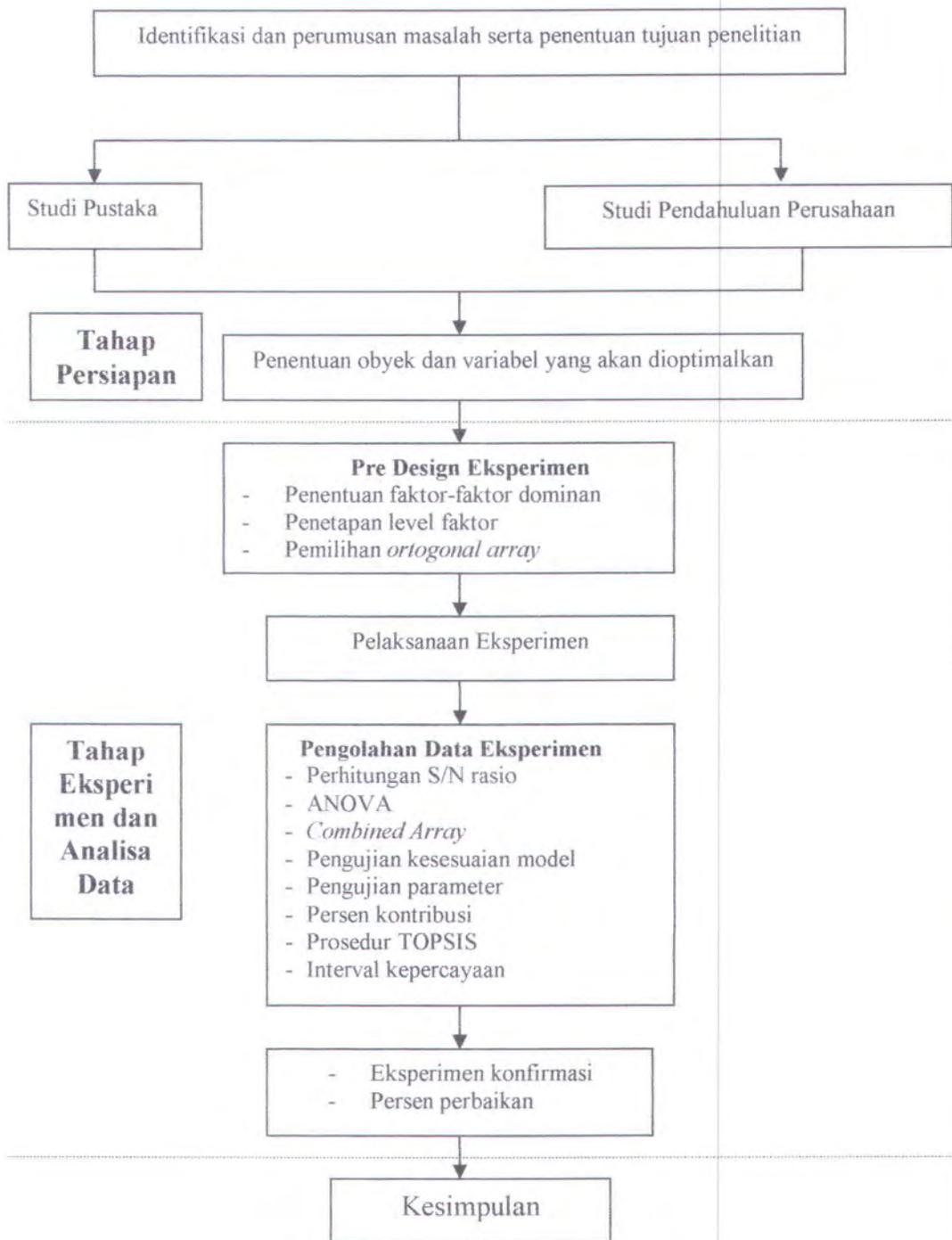
Interval kepercayaan menunjukkan nilai maksimum dan minimum dari rata-rata sebenarnya berada pada suatu tingkat kepercayaan tertentu.

d. Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk membuktikan apakah penetapan kombinasi faktor dan level pada eksperimen awal adalah akurat dan valid. Eksperimen konfirmasi bertujuan untuk mengetahui apakah hasil yang didapatkan dari eksperimen awal (kombinasi faktor dan level) akan memberikan hasil yang tidak berbeda dengan hasil dari eksperimen konfirmasi.

e. Perhitungan Perbaikan yang telah dilakukan

Berikut ini adalah bagan dari langkah-langkah penelitian :



Gambar 3.1 Bagan langkah-langkah penelitian



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Penetapan Model

##### 4.1.1 Penetapan Model Combined Array

##### 4.1.1.1 Penetapan Model Orde Pertama untuk Respon Berat Bersih

Model yang dibentuk merupakan suatu model yang terdiri dari semua prediktor, karena variabel-variabel tersebut diduga berpengaruh terhadap berat bersih *barrel*. Model orde pertama yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Berat Bersih} = & 10.2742 - 0.0078 A + 0.0362 B + 0.0439 C + 0.0994 D - 0.0135 N \\ & + 0.0046 AxN - 0.0019 BxN - 0.0071 CxN + 0.0108 DxN \end{aligned}$$

dimana  $R^2$  dan  $R^2_{adj}$  masing-masing sebesar 74,7 % dan 72,4 %.

Untuk mengetahui apakah model yang diduga telah sesuai atau tidak, maka dilakukan uji kesesuaian model dengan hipotesa sebagai berikut :

Ho : tidak ada *lack of fit* (model sesuai)

H1 : ada *lack of fit* (model tidak sesuai)

Ho ditolak apabila  $F_{hitung} \text{ lack of fit}$  lebih besar dari  $F_{(5\%, 2, 18)} = 2.001$

Tabel 4.1 Tabel ANOVA Model Orde Pertama Untuk Respon Berat Bersih

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	9	1.20512	0.13390	32.19	0.00
Residual Error	98	0.40768	0.00416		
Lack of Fit	17	0.14228	0.00837	2.55	0.003
Pure Error	81	0.26540	0.00328		
Total	107	1.61280			

Pada tabel 4.1 diatas dapat dilihat bahwa nilai  $F_{hitung} \text{ lack of fit}$  sebesar 2.55.

Karena nilai  $F_{hitung} \text{ lack of fit}$  lebih besar dari 2.001 maka Ho ditolak. Dengan

demikian dapat dikatakan bahwa model yang diperoleh diatas kurang sesuai dan perlu dilanjutkan ke model orde kedua. Keterangan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 3.

#### 4.1.1.2 Penetapan Model Orde Kedua untuk Respon Berat Bersih

Model orde kedua yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Berat Bersih} = & 5.3984 + 0.0339 A + 0.9294 B + 0.9208 C + 0.9409 D - 0.0083 A^2 \\ & - 0.0145 B^2 - 0.0398 C^2 - 0.0290 D^2 + 0.0069 AxB + 0.0056 AxC - \\ & 0.0106 AxD + 4.5535 N - 0.0015 AxN - 0.0797 BxN - 0.7529 CxN \\ & - 0.7287 DxN \end{aligned}$$

dimana  $R^2$  dan  $R^2_{adj}$  masing-masing sebesar 82.2 % dan 79.1 %.

Untuk mengetahui apakah model yang diduga telah sesuai atau tidak, maka dilakukan uji kesesuaian model sebagai berikut :

##### a. Uji Kesesuaian Model

Untuk mengetahui apakah model yang terbentuk sudah sesuai atau tidak, maka dilakukan uji kesesuaian model dengan hipotesa sebagai berikut :

$H_0$  : tidak ada *lack of fit* (model sesuai)

$H_1$  : ada *lack of fit* (model tidak sesuai)

$H_0$  ditolak apabila  $F_{hitung} \text{ lack of fit}$  lebih besar dari  $F_{(5\%, 2, 18)} = 1.73$

Tabel 4.2 Tabel ANOVA Model Orde Kedua Untuk Respon Berat Bersih

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	16	1.325685	0.082855	26.26	0.000
Residual Error	91	0.287115	0.003155		
Lack of Fit	10	0.021715	0.002171	0.66	0.755
Pure Error	81	0.265400	0.003277		
Total	107	1.612800			

Pada tabel 4.2 diatas dapat dilihat bahwa nilai  $F_{hitung}$  *lack of fit* sebesar 0.66. Karena nilai  $F_{hitung}$  *lack of fit* lebih kecil dari 1.73 maka  $H_0$  diterima. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa model yang diperoleh diatas telah sesuai. Keterangan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 3.

#### **b. Uji Serentak**

Untuk mengetahui apakah koefisien regresi yang ada dalam model secara serentak signifikan atau tidak, dilakukan uji parameter secara serentak melalui uji F. Hipotesisnya adalah sebagai berikut :

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_{16} = 0$$

$$H_1 : \text{sekurang-kurangnya ada satu } \beta_j \neq 0 \quad \text{dimana } j = 1, 2, 3, \dots, 16$$

$H_0$  ditolak jika  $F_{hitung}$  regresi lebih besar dari  $F_{(5\%, 2, 18)} = 1.73$ .

Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai  $F_{hitung}$  regresi sebesar 26.26; jauh lebih besar dari 1.73 sehingga  $H_0$  ditolak. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa parameter signifikan secara statistik.

### **4.1.2 Penetapan Model untuk Variabel Respon Diameter Mulut**

#### **4.1.2.1 Penetapan Model Orde Pertama untuk Respon Diameter Mulut**

Model orde pertama yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Diameter Mulut} = & 50.6637 + 0.0399 A + 0.0067 B + 0.0097 C + 0.0194 D + \\ & 0.0279 N - 0.0077 AxN - 0.0077 BxN + 0.0046 CxN + \\ & 0.0181 DxN \end{aligned}$$

dimana  $R^2$  dan  $R^2_{adj}$  masing-masing sebesar 27.9 % dan 21.3 %.

Untuk mengetahui apakah model yang diduga telah sesuai atau tidak, maka dilakukan uji kesesuaian model dengan hipotesa sebagai berikut :

Ho : tidak ada *lack of fit* (model sesuai)

H1 : ada *lack of fit* (model tidak sesuai)

Ho ditolak apabila  $F_{hitung} \text{ lack of fit}$  lebih besar dari  $F_{(5\%, 2, 18)} = 1.835$

Tabel 4.3 Tabel ANOVA Model Orde Pertama Untuk Respon Diameter Mulut

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	9	0.332840	0.036982	4.22	0.000
Residual Error	98	0.858593	0.008761		
Lack of Fit	17	0.129218	0.007601	0.84	0.639
Pure Error	81	0.729375	0.009005		
Total	107	1.191432			

Pada tabel 4.3 diatas dapat dilihat bahwa nilai  $F_{hitung} \text{ lack of fit}$  sebesar 0.84. Karena nilai  $F_{hitung} \text{ lack of fit}$  lebih kecil dari 1.835 maka Ho diterima. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa model yang diperoleh diatas telah sesuai. Keterangan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 3.

#### 4.1.2.2 Penetapan Model Orde Kedua untuk Respon Diameter Mulut

Model orde kedua yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Diameter Mulut} = & 27.1956 + 0.0356 A + 3.9437 B + 3.9553 C + 3.9695 D - \\ & 0.0136 A^2 - 0.0058 B^2 - 0.0420 C^2 + 0.0003 D^2 + 0.0212 Ax B - \\ & 0.0010 Ax C - 0.0052 Ax D + 23.2769 N + 0.0067 Ax N - \\ & 3.9171 Bx N - 3.8351 Cx N - 3.8904 Dx N \end{aligned}$$

dimana  $R^2$  dan  $R^2_{adj}$  masing-masing sebesar 35.6 % dan 24.3 %.

Untuk mengetahui apakah model yang diduga telah sesuai atau tidak, maka dilakukan uji kesesuaian model sebagai berikut :

### c. Uji Kesesuaian Model

Untuk mengetahui apakah model yang terbentuk sudah sesuai atau tidak, maka dilakukan uji kesesuaian model dengan hipotesa sebagai berikut :

Ho : tidak ada *lack of fit* (model sesuai)

H1 : ada *lack of fit* (model tidak sesuai)

Ho ditolak apabila  $F_{hitung} \text{ lack of fit}$  lebih besar dari  $F_{(5\%,2,18)} = 1.70$

Tabel 4.4 Tabel ANOVA Model Orde Kedua Untuk Respon Diameter Mulut

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	16	0.423894	0.026493	3.14	0.000
Residual Error	91	0.767538	0.008434		
Lack of Fit	10	0.038163	0.003816	0.42	0.931
Pure Error	81	0.729375	0.009005		
Total	107	1.191432			

Pada tabel 4.4 diatas dapat dilihat bahwa nilai  $F_{hitung} \text{ lack of fit}$  sebesar 0.42. Karena nilai  $F_{hitung} \text{ lack of fit}$  lebih kecil dari 1.70 maka Ho diterima. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa model yang diperoleh diatas lebih sesuai karena nilai  $R^2$  dan  $R^2_{adj}$  masing-masing lebih besar daripada model pada orde pertama. Keterangan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 3.

### d. Uji Serentak

Untuk mengetahui apakah koefisien regresi yang ada dalam model secara serentak signifikan atau tidak, dilakukan uji parameter secara serentak melalui uji F.

Hipotesisnya adalah sebagai berikut :

Ho :  $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_{16} = 0$

H1 : sekurang-kurangnya ada satu  $\beta_j \neq 0$  dimana  $j = 1, 2, 3, \dots, 16$

Ho ditolak jika  $F_{hitung} \text{ regresi}$  lebih besar dari  $F_{(5\%,2,18)} = 1.70$ .

Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai  $F_{hitung}$  regresi sebesar 3.14; lebih besar dari 1.70 sehingga  $H_0$  ditolak. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa parameter signifikan secara statistik.

## 4.2 Penentuan Taksiran Optimum Respon

### 4.2.1 Penentuan Taksiran Optimum Respon Berat Bersih *Barrel*

Variabel respon berat bersih mempunyai karakteristik *nominal the best*, dengan nilai target sebesar 10,00 gram. Model variabel respon berat bersih *barrel* yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Berat Bersih} = & 9.9190 + 0.0256 A + 0.1700 B + 0.0827 C + 0.3340 D - 0.0083 A^2 \\ & - 0.0267 B^2 - 0.0058 C^2 - 0.0508 D^2 - 0.0211 AxB - 0.0177 AxC - \\ & 0.0103 AxD + 0.0603 N + 0.0046 AxN - 0.0152 BxN - 0.0148 CxN \\ & - 0.0050 DxN \end{aligned}$$

Dari model diatas, diperoleh Mean dan Varians sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Mean (Berat Bersih)} = & 9.9190 + 0.0256A + 0.1700B + 0.0827C + 0.3340D - \\ & 0.0083A^2 - 0.0267B^2 - 0.0058C^2 - 0.0508D^2 - 0.0211AxB \\ & - 0.0177AxC - 0.0103AxD \end{aligned}$$

$$\text{Varians (Berat Bersih)} = (0.0603 + 0.0046A - 0.0152B - 0.0148C - 0.0050D)^2 / 3$$

Dengan memasukkan syarat nilai varians tidak lebih dari 0.01; maka taksiran berat bersih *barrel* adalah 10 gram. Kombinasi optimum yang dicapai ketika *Injection Pressure* berada pada level 3 (1000 bar), *Injection Speed* pada level 1 (80 ccm/s), *Holding Pressure* pada level 1 (325 bar), dan *Holding Time* pada level 1 (1.5 detik) untuk mean berat bersih *barrel* = 10.2772 gram dengan nilai varians sebesar = 0.0005.

#### 4.2.2 Penentuan Taksiran Optimum Respon Diameter Mulut Dalam Barrel

Karakteristik kualitas dari variabel respon diameter mulut dalam barrel adalah *nominal the best*. Nilai target untuk variabel respon diameter mulut dalam barrel adalah 49.9 mm. Model yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Diameter Mulut} = & 50.4590 + 0.0943 A - 0.0906 B + 0.1120 C + 0.2050 D - \\ & 0.0136 A^2 + 0.0218 B^2 - 0.0286 C^2 - 0.0407 D^2 - 0.0155 AxB + \\ & 0.0067 AxC + 0.0081 AxD - 0.0269 N - 0.0077 AxN - \\ & 0.0027 BxN + 0.0107 CxN + 0.0065 DxN \end{aligned}$$

Dari model diatas, didapatkan nilai Mean dan Varians respon sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Mean (Diameter Mulut)} = & 50.4590 + 0.0943A - 0.0906B + 0.1120C + 0.2050D - \\ & 0.0136 A^2 + 0.0218 B^2 - 0.0286 C^2 - 0.0407 D^2 - 0.0155 AxB + \\ & 0.0067 AxC + 0.0081 AxD \end{aligned}$$

$$\text{Varians (Diameter Mulut)} = (-0.0269-0.0077A-0.0027B+0.0107C+0.0065D)^2 / 3$$

Dengan memasukkan syarat nilai varians tidak lebih dari 0.015; maka taksiran diameter mulut barrel adalah 49.9 mm. Kombinasi optimum yang dicapai ketika *Injection Pressure* berada pada level 1 (800 bar), *Injection Speed* pada level 2.4 ( 94 ccm/s), *Holding Pressure* pada level 1 (325 bar), dan *Holding Time* pada level 1 (1.5 detik) untuk mean diameter mulut barrel = 50.6731 mm dengan nilai varians sebesar = 0.0002.

#### 4.2.3 Persen Kontribusi

Persen kontribusi ini berguna untuk mengetahui besarnya kontribusi masing-masing faktor terhadap variabel respon. Berikut ini merupakan perhitungan persen kontribusi :

$$\rho_B = \frac{S'_B}{SS_T} \times 100\%$$

dimana  $S'_B$  = jumlah kuadrat murni dari faktor B

$$= SS_B - dB_B \cdot MSE$$

$$= 0.09312 - 2 \times 0.00327 = 0.0866$$

$SS_T$  = jumlah kuadrat total

Sehingga diperoleh besar kontribusi faktor A:

$$\rho_B = \frac{S'_B}{SS_T} \times 100\%$$

$$= 0.0866 / 1.3282 \times 100\% = 6.5181\%$$

Dan dengan perhitungan yang sama diperoleh  $\rho_A$ ,  $\rho_{A \times B}$ ,  $\rho_C$ ,  $\rho_{A \times C}$ ,  $\rho_D$  dan  $\rho_{A \times D}$  masing-masing sebesar 0.3566 %, 1.2137 %, 4.3577 %, 0.2895 %, 83.6888 %, 0.0578 %.

Untuk kesalahan kontribusinya dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$S'_e = SS_t - S'_A - S'_B - S'_{A \times B} - S'_C - S'_{A \times C} - S'_D - S'_{A \times D}$$

$$= 0.0467$$

$$\rho_e = 0.0467 / 1.3282 \times 100\% = 3.5177\%$$

Tabel 4.5 Analisis Variansi Untuk Respon Berat Bersih

Sumber Variansi	Derajat Bebas	SS	MS	F	% Kontribusi
Faktor A	2	0.00181	0.00090	0.27598	0.3566%
Faktor B	2	0.09312	0.04656	14.23307	6.5181%
Interaksi AxB	4	0.02921	0.00730	2.23206	1.2137%
Faktor C	2	0.06442	0.03221	9.84707	4.3577%
Interaksi AxC	4	0.00924	0.00231	0.70609	0.2895%
Faktor D	2	1.11811	0.55905	170.90475	83.6888%
Interaksi AxD	4	0.01232	0.00308	0.94131	0.0578%
Residual (e)	87	0.28459	0.00327		3.5177%
Total	107	1.32821	0.01241		100.0000%

Tabel 4.6 Analisis Variansi Untuk Respon Diameter Mulut Dalam

Sumber Variansi	Derajat Bebas	SS	MS	F	% Kontribusi
Faktor A	2	0.04747	0.02373	18.98038	10.6362%
Faktor B	2	0.01692	0.00846	6.76712	3.4115%
Interaksi AxB	4	0.03122	0.00781	6.24250	6.2023%
Faktor C	2	0.04534	0.02267	18.12736	10.1316%
Interaksi AxC	4	0.01375	0.00344	2.74824	2.0683%
Faktor D	2	0.26308	0.13154	105.19290	61.6346%
Interaksi AxD	4	0.00500	0.00125	1.00000	0.0000%
Residual (e)	87	0.76865	0.00884		5.9154%
Total	107	0.42278	0.00395		100.0000%

#### 4.2.4 Optimasi Respon Secara Serentak

Setelah diperoleh nilai taksiran optimum untuk masing-masing respon, maka harus dilihat apakah taksiran optimum untuk kedua respon mempunyai kombinasi level faktor yang sama seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 4.7 Setting Parameter yang menghasilkan taksiran optimum untuk masing-masing respon

Variabel Prediktor \ Variabel Respon	A ( <i>Injection Pressure</i> )	B ( <i>Injection Speed</i> )	C ( <i>Holding Pressure</i> )	D ( <i>Holding Time</i> )
Berat Bersih <i>Barrel</i>	1000	80	325	1.5
Diameter Mulut <i>Barrel</i>	800	94	325	1.5

Pada tabel 4.7 dapat dilihat bahwa kombinasi level untuk kedua variabel respon diatas tidak sama. Karena kombinasi level yang diperoleh untuk masing-masing respon tidak sama, maka perlu dicari kombinasi level terbaik yang dapat mengoptimalkan kedua respon secara serentak. Optimasi respon secara serentak dapat diperoleh melalui prosedur TOPSIS.

Langkah-langkah prosedur TOPSIS dapat diuraikan sebagai berikut:

**1. Mentransformasikan tingkat kepentingan relatif tiap respon kedalam bentuk Fuzzy.**

Transformasi tingkat kepentingan relatif ini didasarkan pada pertimbangan perusahaan yang dalam hal ini ditetapkan bahwa respon berat bersih mempunyai prioritas lebih utama dibandingkan respon diameter mulut dalam. Tingkat kepentingan relatif tersebut dinyatakan dalam istilah linguistik seperti tercantum pada lampiran 6. Berdasarkan informasi manajemen yang ada maka istilah respon berat bersih adalah "tinggi" dan istilah untuk diameter mulut dalam adalah "medium". Istilah linguistik untuk masing-masing respon ini kemudian dikonversi kedalam bilangan fuzzy sesuai dengan skala Chen dan Hwang seperti pada lampiran 3. Karena pada skala semula termuat istilah linguistik "tinggi" dan "medium" maka dipilih skala yang memuat kedua istilah linguistik tersebut yaitu skala 1.

**2. Mengkonversi Bilangan Fuzzy ke Crisp Score.**

Bilangan fuzzy ini kemudian ditransformasi menjadi crisp score dengan metoda fuzzy scoring seperti pada lampiran 3. Hasil transformasi crisp score untuk skala 1 untuk masing-masing respon adalah:

Berat Bersih : 0,750 (tinggi)

Diameter Mulut Dalam : 0,583 (medium)

Kemudian dilakukan normalisasi crisp score untuk memperoleh nilai pembobot masing-masing, yaitu:

Pembobot Berat Bersih :

$$W_1 = \frac{0,750}{(0,750 + 0,583)} = 0,562641$$

Pembobot Diameter Mulut Dalam :

$$W_2 = \frac{0,583}{(0,750 + 0,583)} = 0,437359$$

Dengan demikian  $W_1 + W_2 = 1$

### 3. Menghitung Fungsi Kerugian

Pada tahap ini dilakukan perhitungan terhadap *quality lost* masing-masing respon dengan menggunakan *loss function*. Respon berat bersih dan diameter mulut mempunyai karakteristik yang sama yaitu : *nominal the best*. Fungsi kerugian adalah sebuah fungsi yang menyatakan kerugian yang timbul akibat variasi yang terjadi.

Variasi, dalam fungsi ini dinyatakan dengan nilai MSD (*Mean Square Deviation*) yang dihitung berdasarkan tipe karakteristik kualitas masing-masing respon. Elemen lain yang terdapat dalam fungsi kerugian adalah koefisien fungsi kerugian ( $k$ ). Nilai koefisien fungsi kerugian masing-masing respon diperoleh berdasarkan :

- a. Biaya pembuatan *barrel* Rexona sebesar Rp 183 / biji
- b. Batas spesifikasi :
  - respon berat bersih :  $10 \pm 0.5$  gram
  - respon diameter mulut :  $49.9 \pm 0.15$  mm

Adapun nilai koefisien fungsi kerugian untuk masing-masing respon adalah sebagai berikut :

- a. untuk respon berat bersih :

$$k_1 = \frac{183}{(0.5)^2} = 732$$

- b. untuk respon diameter mulut :

$$k_2 = \frac{183}{(0.15)^2} = 8133.33$$

Sehingga fungsi kerugiannya dapat dituliskan sebagai berikut :

- a. untuk respon berat bersih :

$$L_{ij} = 732 \left[ \frac{S_{ij}}{Y_{ij}} \right]^2$$

- b. untuk respon diameter mulut :

$$k_2 = 8133.33 \left[ \frac{S_{ij}}{Y_{ij}} \right]^2$$

#### 4. Menghitung nilai TOPSIS

Sesuai dengan pembahasan di Bab II , maka pada tahap yang ketiga ini dilakukan perhitungan matriks keputusan normalisasi terbobot yang menghitung solusi ideal positif dan solusi ideal negatif, menghitung pemisahan dari solusi ideal dan menghitung nilai TOPSIS. Perhitungan selengkapnya disajikan pada lampiran 4. Berikut ini adalah hasil perhitungan nilai TOPSIS untuk kombinasi faktor dan levelnya.

Tabel 4.8 Nilai TOPSIS untuk tiap level dan tiap variabel prediktor

Level	A	B	C	D
1	<b>0.510044</b>	<b>0.590302</b>	<b>0.569481</b>	<b>0.812878</b>
2	0.485553	0.460084	0.490466	0.422636
3	0.501711	0.446922	0.437361	0.261794
Delta	0.024491	0.143380	0.132121	0.551084
Peringkat	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

Berdasarkan hasil perhitungan nilai TOPSIS yang disajikan pada tabel 4.8, kondisi optimum respon dicapai ketika *Injection Pressure* berada pada level 1 (800 bar), *Injection Speed* pada level 1 (80 ccm/s), *Holding Pressure* pada level 1 (325 bar), dan *Holding Time* pada level 1 (1.5 detik), dengan taksiran respon adalah sebagai berikut :

- Berat Bersih *Barrel* : 10.3906 gram
- Diameter Mulut Dalam *Barrel* : 50.7179 mm

#### 4.2.5 Penentuan Selang Kepercayaan

Interval kepercayaan menunjukkan nilai maksimum dan minimum dari rata-rata sebenarnya berada pada suatu tingkat kepercayaan tertentu. Selang kepercayaan dari prediksi S/N dan mean optimum adalah sebagai berikut :

1. variabel respon berat bersih :

a. selang kepercayaan dari prediksi S/N optimum :

$$\begin{aligned}
 CI_{S/N} &= 7.5704 \pm \sqrt{F_{5\%,1,18} \times 0.4101 \times \left[ \frac{1}{108} \right]} \\
 &= 7.5704 \pm 0.2432
 \end{aligned}$$

b. Selang kepercayaan dari prediksi mean optimum :

$$\begin{aligned}
 CI_{\text{mean}} &= 10.4112 \pm \sqrt{F_{5\%,2,18} \times 0.002421 \times \left[ \frac{1}{108} \right]} \\
 &= 10.4112 \pm 0.0187
 \end{aligned}$$

2. variabel respon diameter mulut :

a. selang kepercayaan dari prediksi S/N optimum :

$$CI_{S/N} = 2.3166 \pm \sqrt{F_{5\%,2,18} \times 0.2116 \times \left[ \frac{1}{108} \right]}$$

$$= 2.3166 \pm 0.1731$$

b. Selang kepercayaan dari prediksi mean optimum :

$$CI_{\text{mean}} = 50.6581 \pm \sqrt{F_{5\%, 1, 18} \times 0.001995 \times \left[ \frac{1}{108} \right] \left[ \frac{1}{1+2+2+2+2} \right]}$$

$$= 50.6581 \pm 0.0168$$

#### 4.2.6 Eksperimen Konfirmasi

Untuk mengetahui apakah kombinasi level yang dihasilkan melalui optimasi multirespon dengan prosedur TOPSIS diatas benar-benar memberikan hasil yang optimal untuk kedua respon, maka dilakukan eksperimen konfirmasi. Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan menggunakan setting yang diperoleh dari optimasi respon melalui prosedur TOPSIS dengan menggunakan material campuran, yaitu : *Injection Pressure* 800 bar, *Injection Speed* 80 ccm/s, *Holding Pressure* 325 bar, dan *Holding Time* 1.5 detik dengan pengulangan sebanyak 10 kali seperti disajikan dalam tabel 4.9 berikut ini.

Tabel 4.9 Data Hasil Eksperimen Konfirmasi

Respon	Replikasi										Mean	S/N
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Berat Bersih	10.52	10.49	10.57	10.5	10.47	10.49	10.55	10.48	10.5	10.59	10.5160	5.7229
Diameter Mulut	50.71	50.68	50.69	50.7	50.71	50.69	50.72	50.67	50.7	50.68	50.6950	1.9911

Hasil eksperimen konfirmasi kemudian dibandingkan dengan hasil pada setting awal yaitu setting yang sedang dijalankan dan dianggap sebagai setting yang terbaik oleh operator mesin Arburg adalah  $A_2B_2C_2D_2$ . Hasil selengkapnya disajikan pada tabel 4.10 berikut ini :

Tabel 4.10 Hasil Eksperimen Konfirmasi untuk Kedua Variabel Respon

Respon		Kondisi Awal	Kondisi optimal (prediksi)	Produksi Sekarang (konfirmasi)	Kondisi optimal (konfirmasi)
Berat Bersih	Mean	10.64	10.2772	10.6188	10.5160
	Varians		0.0005148	0.01683499	0.0016489
	S/N	4.649		4.3204	5.7229
Diameter Mulut	Mean	50.81	50.6731	50.7754	50.6950
	Varians		0.0001901	0.01167556	0.00025
	S/N	1.5755		1.1381	1.9911

Dari tabel 4.10 diatas, dapat dilihat bahwa hasil konfirmasi memberikan peningkatan nilai rasio S/N untuk kedua respon. Untuk respon berat bersih *barrel*, rasio S/N meningkat dari 4.3204 menjadi 5.7229; sedangkan untuk respon diameter mulut *barrel* dari 1.1381 menjadi 1.9911. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa hasil optimasi multirespon menggunakan prosedur TOPSIS mampu memperbaiki proses produksi saat ini.

#### 4.2.7 Persen Perbaikan

Persen perbaikan diperlukan untuk mengetahui seberapa besar perbaikan yang telah dilakukan setelah proses optimasi dijalankan. Berikut ini adalah cara untuk menghitung persen perbaikan :

- a. respon berat bersih :

$$\xi = kMSD_{existing} \times \left[ 1 - 0.5^{\left( \frac{\eta_{optimum} - \eta_{existing}}{3} \right)} \right]$$

$$= k. MSD_{existing} \times 0.6217$$

artinya kedekatan dengan nilai target yang ditetapkan untuk respon berat bersih sebesar 62.17 %

b. respon diameter mulut :

$$\xi = kMSD_{existing} \times \left[ 1 - 0.5^{\left( \frac{\eta_{optimum} - \eta_{existing}}{3} \right)} \right]$$

$$= k. MSD_{existing} \times 0.4463$$

artinya kedekatan dengan nilai target yang ditetapkan untuk respon diameter mulut sebesar 44.63 %



BAB V  
KESIMPULAN DAN SARAN

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

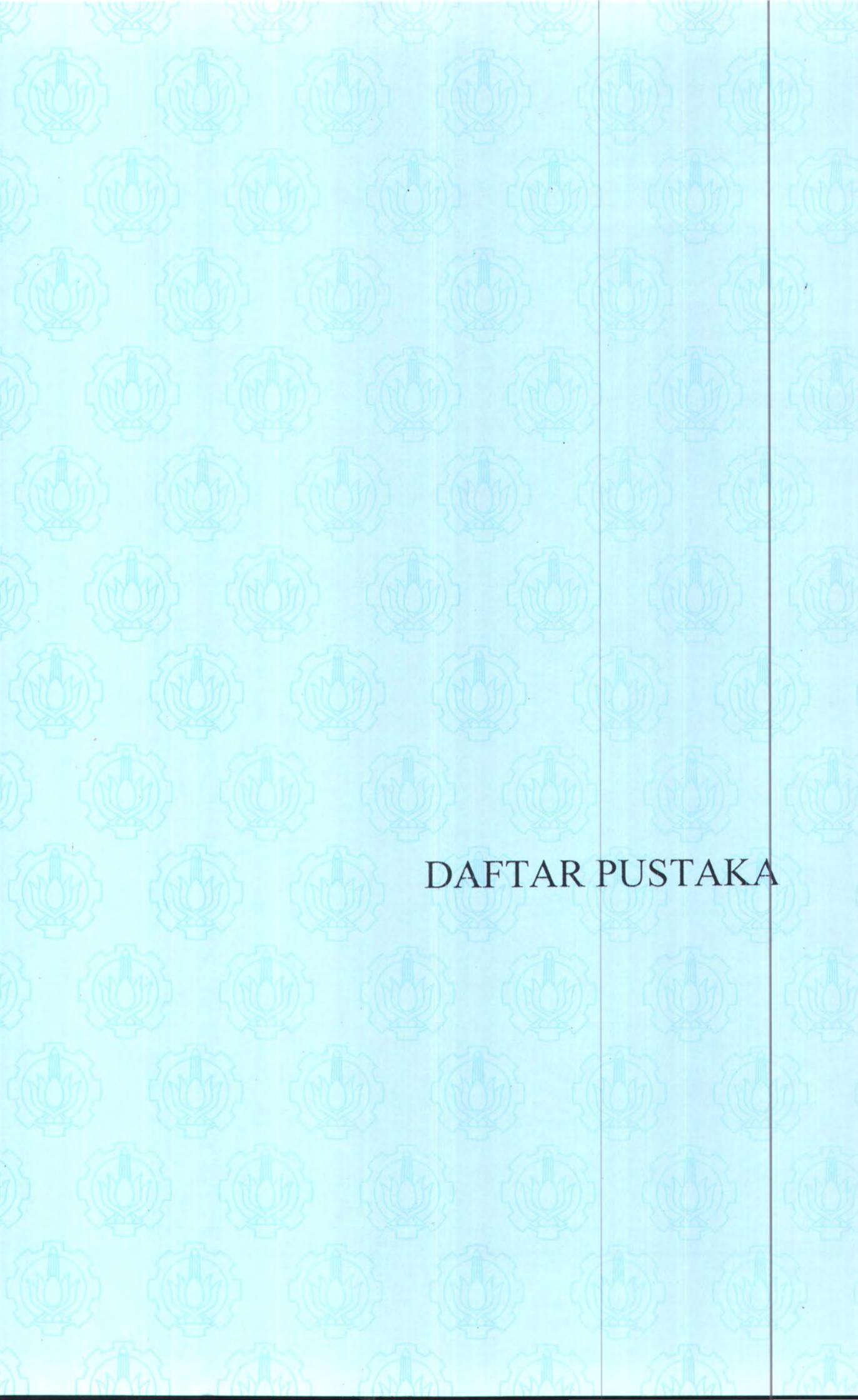
Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. dengan menggunakan pendekatan TOPSIS maka didapatkan kombinasi level faktor yang optimal adalah *Injection Pressure* pada tekanan 800 bar, *Injection Speed* pada kecepatan 80 ccm/s, *Holding Pressure* pada tekanan 325 bar, dan *Holding Time* selama 1.5 detik.
2. Percobaan konfirmasi menghasilkan kedekatan dengan nilai target yang ditetapkan
  - a. untuk respon berat bersih sebesar : 62.17 %
  - b. untuk respon diameter mulut sebesar : 44.63 %

#### 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Melibatkan lebih banyak faktor terkendali ke dalam percobaan seperti temperatur *mass*, temperatur *nozzle* yang juga dapat mempengaruhi proses sehingga hasil yang diperoleh akan lebih optimal.
2. Perlu dilakukan penelitian khusus untuk menetapkan level-level faktor yang sesuai.
3. Diadakan penelitian lebih lanjut untuk merancang *tolerance design* baru untuk dijadikan acuan bagi perusahaan dalam membuat batas spesifikasi.

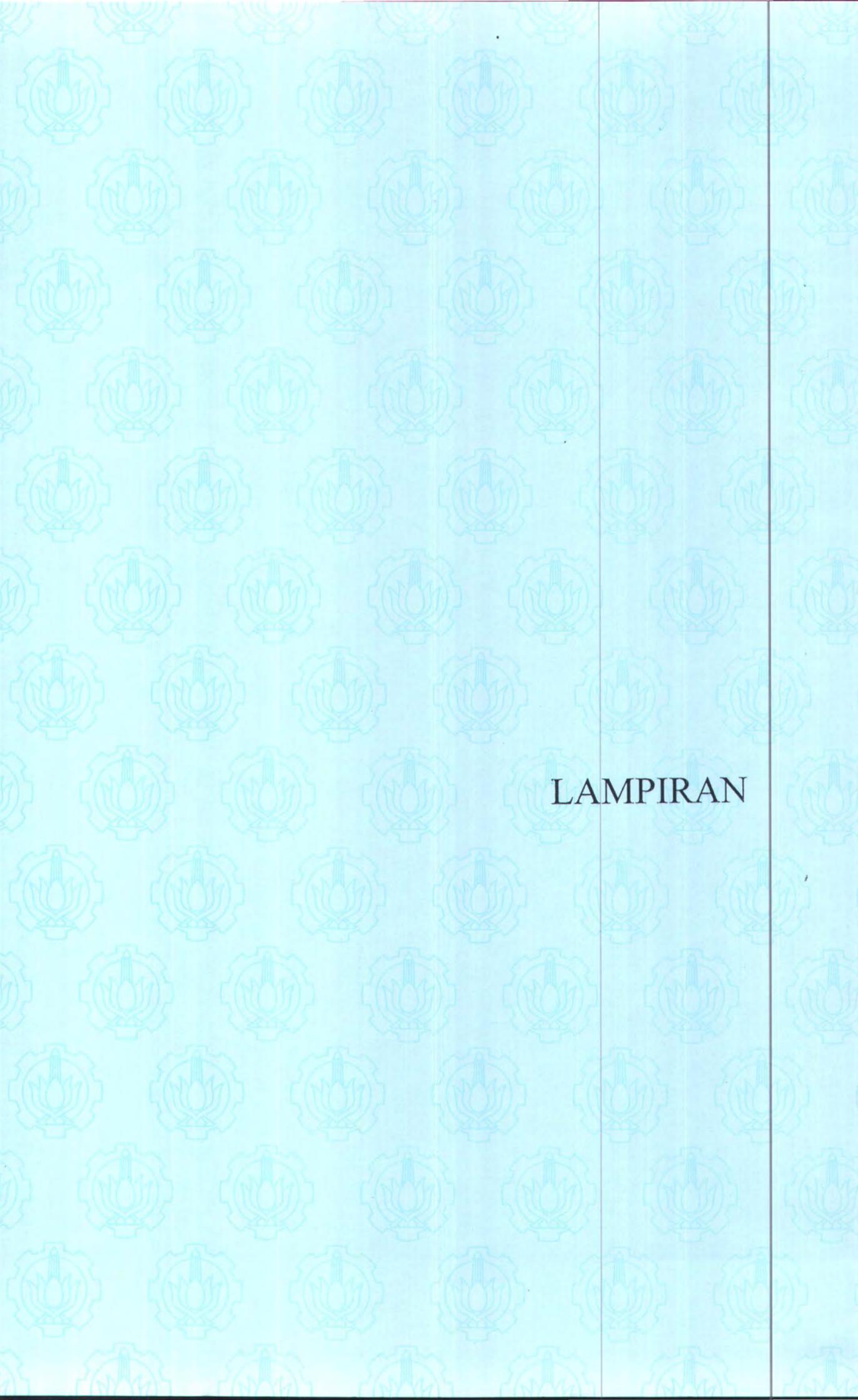


DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR PUSTAKA

- Belavendram, N. (1995), *Quality by Design Taguchi Method for Industrial Experimentation*, Prentice Hall, London.
- Belavendram, N. (1997), *Quality by Design Taguchi Techniques Experimentation*, First edition, Prentice Hall, London.
- Drapper, N dan Smith (1992), *Analisis Regresi Terapan*, edisi kedua, PT.Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Fowlkes, W. Y (1995), *Engineering Method for Robust Product Development*, Addison Wesley Publishing Company, USA.
- Lee, I. R, and Chao. T (1997), Optimizing Multirespon Problem In Taguchi Methods by Fuzzy Multiple Attribute Decision Making, *journal of Quality and Reliability Engineering International*, vol 13, pp. 25-34.
- Montgomery, D. C (1996), *Introduction to Statistical Quality Control*, Third Edition, John Wiley & Sons Inc, USA.
- Montgomery, D. C (1997), *Design and Analysis of Experiments*, Fourth Edition, John Wiley & Sons Inc, New York.
- Park, S.H (1995), *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*, Chapman and Hall, Madras.
- Peace, G. S. (1993), *Taguchi Methods : A Hands on Approach*, Addison-Wesley, Publishing Company, Inc.m Massachusetts.
- Produksi, Dept. PT Cypress Plastik Industri Jakarta (2004), *Laporan Training Kepala Regu Produksi*, PT. "X", Surabaya.

Trisuma, K. M (2005), "Pengukuran Kualitas untuk Mengetahui Posisi Sigma Kemasan Johnson's Baby Oil 50 ml dan Barrel Rexona Alcaberg 20 M-I di PT. 'X', *Tugas Akhir*, Mahasiswa Jurusan Statistika FMIPA ITS, Surabaya.



LAMPIRAN

**LAMPIRAN 1**  
**HASIL PERCOBAAN**

Trial	FAKTOR													Variabel Respon							
	A	error	N	error	B	AxB	AxB	C	AxC	AxC	D	AxD	AxD	Berat Bersih				Diameter Mulut Dalam			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	data 1	data 2	data 3	data 4	data 1	data 2	data 3	data 4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10.39	10.43	10.44	10.48	50.76	50.59	50.68	50.6
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10.61	10.55	10.68	10.73	50.8	50.85	50.88	50.8
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	10.7	10.69	10.81	10.86	50.72	50.75	50.85	50.8
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	10.71	10.57	10.79	10.82	50.87	50.85	50.83	50.8
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	10.5	10.52	10.5	10.51	50.53	50.62	50.77	50.7
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	10.65	10.57	10.68	10.61	50.63	50.74	50.71	50.7
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	10.64	10.51	10.64	10.65	50.86	50.89	50.88	50.8
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	10.66	10.75	10.75	10.72	50.69	50.69	50.9	50.7
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	10.52	10.46	10.49	10.46	50.62	50.67	50.72	50.6
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	10.36	10.4	10.43	10.41	50.8	50.81	50.65	50.7
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	10.63	10.66	10.7	10.62	50.74	50.71	50.83	50.9
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	10.92	10.85	10.84	10.72	50.68	50.75	50.98	50.9
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	10.55	10.79	10.65	10.72	51	50.88	50.71	50.8
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	10.53	10.55	10.51	10.51	50.54	50.6	50.83	50.7
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	10.58	10.65	10.64	10.74	50.76	50.67	50.89	50.9
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	10.59	10.65	10.71	10.64	50.86	50.9	50.78	50.8
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	10.76	10.61	10.66	10.71	50.78	50.84	50.78	50.8
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	10.5	10.5	10.58	10.53	50.76	50.68	50.86	50.8
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	10.38	10.38	10.37	10.46	50.64	50.76	50.62	50.7
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	10.74	10.75	10.71	10.75	50.78	50.68	50.88	50.9
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	10.67	10.83	10.71	10.73	50.78	50.82	50.91	50.9
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	10.56	10.73	10.67	10.65	50.87	50.85	50.85	50.9
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	10.5	10.52	10.55	10.6	50.59	50.66	50.92	50.9
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	10.63	10.68	10.66	10.63	50.66	50.8	50.93	50.9
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	10.57	10.66	10.65	10.66	50.77	50.86	50.9	50.8
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	10.78	10.67	10.66	10.68	50.75	50.68	50.88	50.9
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	10.49	10.48	10.47	10.52	50.57	50.79	50.81	50.9

## LAMPIRAN 2 ANALISIS REGRESI

### 1. Regression Analysis Orde Satu

Variables Entered/Removed<sup>b</sup>

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Interaksi DxN, Faktor C, Faktor B, Faktor A, Faktor Noise, Faktor D, Interaksi AxN, Interaksi BxN, Interaksi CxN <sup>a</sup>		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Berat Bersih

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.864 <sup>a</sup>	.747	.724	6.450E-02	.747	32.188	9	98	.000	2.001

a. Predictors: (Constant), Interaksi DxN, Faktor C, Faktor B, Faktor A, Faktor Noise, Faktor D, Interaksi AxN, Interaksi BxN, Interaksi CxN

b. Dependent Variable: Berat Bersih

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.205	9	.134	32.188	.000 <sup>a</sup>
	Residual	.408	98	4.160E-03		
	Total	1.613	107			

a. Predictors: (Constant), Interaksi DxN, Faktor C, Faktor B, Faktor A, Faktor Noise, Faktor D, Interaksi AxN, Interaksi BxN, Interaksi CxN

b. Dependent Variable: Berat Bersih

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	10.274	.082		125.140	.000	10.111	10.437
	Faktor A	-7.78E-03	.020	-.052	-.387	.700	-.048	.032
	Faktor B	3.625E-02	.020	.242	1.803	.075	-.004	.076
	Faktor C	4.389E-02	.020	.293	2.182	.031	.004	.084
	Faktor D	9.944E-02	.020	.664	4.945	.000	.060	.139
	Faktor Noise	-1.35E-02	.038	-.090	-.354	.724	-.089	.062
	Interaksi AxN	4.583E-03	.009	.090	.492	.624	-.014	.023
	Interaksi BxN	-1.87E-03	.009	-.037	-.201	.841	-.020	.017
	Interaksi CxN	-7.08E-03	.009	-.139	-.761	.449	-.026	.011
	Interaksi DxN	1.083E-02	.009	.213	1.164	.247	-.008	.029

a. Dependent Variable: Berat Bersih

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	10.4333	10.8073	10.6167	.1061	108
Residual	-.1674	.1279	3.290E-17	6.173E-02	108
Std. Predicted Value	-1.727	1.796	.000	1.000	108
Std. Residual	-2.596	1.983	.000	.957	108

a. Dependent Variable: Berat Bersih

## Regression

### Variables Entered/Removed<sup>a</sup>

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Interaksi DxN, Faktor C, Faktor B, Faktor A, Faktor Noise, Faktor D, Interaksi AxN, Interaksi BxN, Interaksi CxN		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Diameter Mulut

Model Summary<sup>b</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.529 <sup>a</sup>	.279	.213	9.360E-02	.279	4.221	9	98	.000	1.835

a. Predictors: (Constant), Interaksi DxN, Faktor C, Faktor B, Faktor A, Faktor Noise, Faktor D, Interaksi AxN, Interaksi BxN, Interaksi CxN

b. Dependent Variable: Diameter Mulut

ANOVA<sup>b</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.333	9	3.698E-02	4.221	.000 <sup>a</sup>
	Residual	.859	98	8.761E-03		
	Total	1.191	107			

a. Predictors: (Constant), Interaksi DxN, Faktor C, Faktor B, Faktor A, Faktor Noise, Faktor D, Interaksi AxN, Interaksi BxN, Interaksi CxN

b. Dependent Variable: Diameter Mulut

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
	B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	50.664	.119				
	Faktor A	3.986E-02	.029	.310	1.366	.175	-.018 .098
	Faktor B	6.667E-03	.029	.052	.228	.820	-.051 .065
	Faktor C	9.722E-03	.029	.076	.333	.740	-.048 .068
	Faktor D	1.944E-02	.029	.151	.666	.507	-.038 .077
	Faktor Noise	-2.79E-02	.055	-.217	-.506	.614	-.137 .082
	Interaksi AxN	-7.71E-03	.014	-.176	-.571	.570	-.035 .019
	Interaksi BxN	-7.71E-03	.014	-.176	-.571	.570	-.035 .019
	Interaksi CxN	4.583E-03	.014	.105	.339	.735	-.022 .031
	Interaksi DxN	1.813E-02	.014	.415	1.342	.183	-.009 .045

a. Dependent Variable: Diameter Mulut

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	50.6681	50.8727	50.7884	5.577E-02	108
Residual	-.2206	.1748	1.507E-14	8.958E-02	108
Std. Predicted Value	-2.158	1.510	.000	1.000	108
Std. Residual	-2.357	1.868	.000	.957	108

a. Dependent Variable: Diameter Mulut

## 2. Regression Analysis Orde Dua

### Variables Entered/Removed<sup>b</sup>

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Interaksi DxN, Interaksi AxD, Interaksi AxC, Faktor C kuadrat, Faktor B kuadrat, Faktor A kuadrat, Interaksi AxB, Faktor D kuadrat, Interaksi		Enter
	AxN, Interaksi CxN, Interaksi BxN, Faktor		
	Noise, Faktor A, Faktor D, Faktor C <sub>a</sub> , Faktor B		

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Berat Bersih

### Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.907 <sup>a</sup>	.822	.791	5.617E-02	.822	26.261	16	91	.000

a. Predictors: (Constant), Interaksi DxN, Interaksi AxD, Interaksi AxC, Faktor C kuadrat, Faktor B kuadrat, Faktor A kuadrat, Interaksi AxB, Faktor D kuadrat, Interaksi AxN, Interaksi CxN, Interaksi BxN, Faktor Noise, Faktor A, Faktor D, Faktor C, Faktor B

### ANOVA<sup>b</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.326	16	8.286E-02	26.261	.000 <sup>a</sup>
	Residual	.287	91	3.155E-03		
	Total	1.613	107			

a. Predictors: (Constant), Interaksi DxN, Interaksi AxD, Interaksi AxC, Faktor C kuadrat, Faktor B kuadrat, Faktor A kuadrat, Interaksi AxB, Faktor D kuadrat, Interaksi AxN, Interaksi CxN, Interaksi BxN, Faktor Noise, Faktor A, Faktor D, Faktor C, Faktor B

b. Dependent Variable: Berat Bersih

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	9.919	.106		93.874	.000	9.710	10.129
	Faktor A	2.556E-02	.049	.171	.521	.604	-.072	.123
	Faktor B	.170	.051	1.133	3.345	.001	.069	.270
	Faktor C	8.272E-02	.051	.553	1.632	.106	-.018	.183
	Faktor D	.334	.051	2.235	6.600	.000	.234	.435
	Faktor A kuadrat	-8.33E-03	.011	-.225	-.727	.469	-.031	.014
	Faktor B kuadrat	-2.67E-02	.011	-.720	-2.326	.022	-.049	-.004
	Faktor C kuadrat	-5.83E-03	.011	-.158	-.509	.612	-.029	.017
	Faktor D kuadrat	-5.08E-02	.011	-1.373	-4.434	.000	-.074	-.028
	Interaksi AxB	-2.11E-02	.008	-.141	-2.521	.013	-.038	-.004
	Interaksi AxC	-1.77E-02	.008	-.118	-2.116	.037	-.034	-.001
	Interaksi AxD	-1.03E-02	.008	-.069	-1.234	.220	-.027	.006
	Faktor Noise	6.028E-02	.040	.403	1.522	.132	-.018	.139
	Interaksi AxN	4.583E-03	.008	.090	.565	.573	-.012	.021
	Interaksi BxN	-1.52E-02	.010	-.298	-1.479	.143	-.036	.005
	Interaksi CxN	-1.48E-02	.010	-.292	-1.446	.151	-.035	.006
	Interaksi DxN	-5.00E-03	.010	-.098	-.488	.627	-.025	.015

a. Dependent Variable: Berat Bersih

## Regression

Variables Entered/Removed<sup>b</sup>

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Interaksi DxN, Interaksi AxD, Interaksi AxC, Faktor C kuadrat, Faktor B kuadrat, Faktor A kuadrat, Interaksi AxB, Faktor D kuadrat, Interaksi AxN, Interaksi CxN, Interaksi BxN, Faktor Noise, Faktor A, Faktor D, Faktor C <sub>a</sub> , Faktor B		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Diameter Mulut

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.596 <sup>a</sup>	.356	.243	9.184E-02	.356	3.141	16	91	.000

a. Predictors: (Constant), Interaksi DxN, Interaksi AxD, Interaksi AxC, Faktor C kuadrat, Faktor B kuadrat, Faktor A kuadrat, Interaksi AxB, Faktor D kuadrat, Interaksi AxN, Interaksi CxN, Interaksi BxN, Faktor Noise, Faktor A, Faktor D, Faktor C, Faktor

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.424	16	2.649E-02	3.141	.000 <sup>a</sup>
	Residual	.768	91	8.434E-03		
	Total	1.191	107			

a. Predictors: (Constant), Interaksi DxN, Interaksi AxD, Interaksi AxC, Faktor C kuadrat, Faktor B kuadrat, Faktor A kuadrat, Interaksi AxB, Faktor D kuadrat, Interaksi AxN, Interaksi CxN, Interaksi BxN, Faktor Noise, Faktor A, Faktor D, Faktor C, Faktor B

b. Dependent Variable: Diameter Mulut

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	50.459	.173		292.064	.000	50.116	50.803
	Faktor A	9.431E-02	.080	.733	1.175	.243	-.065	.254
	Faktor B	-9.06E-02	.083	-.705	-1.094	.277	-.255	.074
	Faktor C	.112	.083	.871	1.352	.180	-.053	.277
	Faktor D	.205	.083	1.597	2.480	.015	.041	.370
	Faktor A kuadrat	-1.36E-02	.019	-.428	-.726	.470	-.051	.024
	Faktor B kuadrat	2.181E-02	.019	.685	1.163	.248	-.015	.059
	Faktor C kuadrat	-2.86E-02	.019	-.899	-1.526	.130	-.066	.009
	Faktor D kuadrat	-4.07E-02	.019	-1.279	-2.171	.033	-.078	-.003
	Interaksi AxB	-1.55E-02	.014	-.120	-1.132	.261	-.043	.012
	Interaksi AxC	6.722E-03	.014	.052	.491	.625	-.020	.034
	Interaksi AxD	8.111E-03	.014	.063	.592	.555	-.019	.035
	Faktor Noise	-2.69E-02	.065	-.209	-.416	.679	-.156	.102
	Interaksi AxN	-7.71E-03	.013	-.176	-.582	.562	-.034	.019
	Interaksi BxN	-2.67E-03	.017	-.061	-.159	.874	-.036	.031
	Interaksi CxN	1.067E-02	.017	.244	.636	.526	-.023	.044
	Interaksi DxN	6.500E-03	.017	.149	.388	.699	-.027	.040

a. Dependent Variable: Diameter Mulut



**LAMPIRAN 3**  
**ANOVA HASIL ANALISIS REGRESI**

**1. ANOVA Hasil Analisis Regresi Orde Satu**

**BB versus A, B, C, D, N, AN, BN, CN, DN**

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	9	1.20512	0.13390	32.19	0.000
Residual Error	98	0.40768	0.00416		
Lack of Fit	17	0.14228	0.00837	2.55	0.003
Pure Error	81	0.26540	0.00328		
Total	107	1.61280			

**DM versus A, B, C, D, N, AN, BN, CN, DN**

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	9	0.332840	0.036982	4.22	0.000
Residual Error	98	0.858593	0.008761		
Lack of Fit	17	0.129218	0.007601	0.84	0.639
Pure Error	81	0.729375	0.009005		
Total	107	1.191432			

**2. ANOVA Hasil Analisis Regresi Orde Dua**

**BB versus A, B, C, D, N, AN, BN, CN, DN**

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	16	1.325685	0.082855	26.26	0.000
Residual Error	91	0.287115	0.003155		
Lack of Fit	10	0.021715	0.002171	0.66	0.755
Pure Error	81	0.265400	0.003277		
Total	107	1.612800			

**DM versus A, B, C, D, N, AN, BN, CN, DN**

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	16	0.423894	0.026493	3.14	0.000
Residual Error	91	0.767538	0.008434		
Lack of Fit	10	0.038163	0.003816	0.42	0.931
Pure Error	81	0.729375	0.009005		
Total	107	1.191432			

**LAMPIRAN 4**  
**PERHITUNGAN NILAI TOPSIS**

Trial	Li1	Li2	ri1	ri2	vi1	vi2	(vi1-v1*)^2	(vi2-v2*)^2	(vi1-v1-)^2	(vi2-v2-)^2	Si*	Si-	TOPS
1	108.8903	2568.466	0.185856	0.191628	0.10457	0.08381	5.62E-07	1.1E-09	6.6E-05	4.39E-07	0.000751	0.008149	0.9156
2	113.2675	2584.961	0.193327	0.192859	0.108774	0.084349	2.45E-05	3.26E-07	1.54E-05	1.55E-08	0.004986	0.003921	0.4401
3	115.8905	2580.644	0.197804	0.192537	0.111293	0.084208	5.58E-05	1.85E-07	1.96E-06	7.04E-08	0.007485	0.001425	0.1599
4	114.9814	2584.452	0.196253	0.192821	0.11042	0.084332	4.36E-05	3.08E-07	5.17E-06	1.99E-08	0.006623	0.002277	0.2558
5	110.4076	2567.713	0.188446	0.191572	0.106028	0.083786	4.87E-06	7.34E-11	4.44E-05	4.72E-07	0.002207	0.006701	0.7522
6	112.9455	2570.745	0.192778	0.191798	0.108465	0.083885	2.16E-05	1.16E-08	1.79E-05	3.46E-07	0.004646	0.004269	0.4788
7	112.5755	2586.995	0.192146	0.19301	0.108109	0.084415	1.84E-05	4.07E-07	2.1E-05	3.38E-09	0.004336	0.004584	0.5138
8	114.9198	2577.347	0.196148	0.192291	0.110361	0.0841	4.28E-05	1.04E-07	5.44E-06	1.39E-07	0.006548	0.002362	0.2656
9	109.8834	2567.45	0.187552	0.191552	0.105524	0.083777	2.9E-06	0	5.14E-05	4.84E-07	0.001704	0.007202	0.8087
10	108.1607	2575.313	0.184611	0.192139	0.10387	0.084034	2.43E-09	6.58E-08	7.78E-05	1.93E-07	0.000261	0.008834	0.9712
11	113.4767	2580.647	0.193685	0.192537	0.108975	0.084208	2.66E-05	1.85E-07	1.38E-05	7.04E-08	0.005172	0.003727	0.4188
12	117.3482	2584.977	0.200293	0.19286	0.112693	0.084349	7.87E-05	3.27E-07	0	1.54E-08	0.008891	0.000124	0.0137
13	114.0169	2586.75	0.194607	0.192992	0.109494	0.084407	3.22E-05	3.97E-07	1.02E-05	4.37E-09	0.005708	0.0032	0.3592
14	110.7759	2567.968	0.189075	0.191591	0.106381	0.083794	6.56E-06	2.86E-10	3.98E-05	4.61E-07	0.002561	0.006348	0.7125
15	113.479	2581.412	0.193689	0.192594	0.108977	0.084233	2.66E-05	2.08E-07	1.38E-05	5.77E-08	0.005177	0.003723	0.4183
16	113.3711	2584.2	0.193504	0.192802	0.108873	0.084324	2.55E-05	2.99E-07	1.46E-05	2.23E-08	0.005082	0.003822	0.4292
17	114.1724	2582.166	0.194872	0.19265	0.109643	0.084257	3.39E-05	2.31E-07	9.3E-06	4.65E-08	0.005842	0.003057	0.3435
18	110.8293	2580.139	0.189166	0.192499	0.106432	0.084191	6.82E-06	1.71E-07	3.92E-05	7.94E-08	0.002645	0.006267	0.7031
19	108.1093	2569.226	0.184523	0.191685	0.10382	0.083835	0	3.36E-09	7.87E-05	4.07E-07	5.8E-05	0.008895	<b>0.9935</b>
20	115.2942	2581.918	0.196787	0.192632	0.11072	0.084249	4.76E-05	2.23E-07	3.89E-06	5.01E-08	0.006916	0.001985	0.2230
21	115.2437	2587.508	0.196701	0.193049	0.110672	0.084432	4.69E-05	4.28E-07	4.08E-06	1.71E-09	0.006883	0.002021	0.2271
22	113.4795	2588.776	0.193689	0.193143	0.108977	0.084473	2.66E-05	4.84E-07	1.38E-05	0	0.005204	0.003715	0.4165
23	111.1457	2578.124	0.189706	0.192349	0.106736	0.084125	8.5E-06	1.21E-07	3.55E-05	1.21E-07	0.002937	0.005967	0.6701
24	113.423	2583.447	0.193593	0.192746	0.108923	0.084299	2.6E-05	2.72E-07	1.42E-05	3.02E-08	0.005129	0.003774	0.4238
25	113.1047	2585.725	0.19305	0.192916	0.108618	0.084373	2.3E-05	3.56E-07	1.66E-05	9.91E-09	0.004834	0.004076	0.4574
26	114.4388	2581.157	0.195327	0.192575	0.109899	0.084224	3.69E-05	2E-07	7.81E-06	6.18E-08	0.006095	0.002805	0.3151
27	110.0405	2577.608	0.18782	0.19231	0.105675	0.084109	3.44E-06	1.1E-07	4.93E-05	1.33E-07	0.001884	0.007027	0.7885

**LAMPIRAN 5**  
**ANOVA PERHITUNGAN SELANG KEPERCAYAAN**

**1. ANOVA untuk perhitungan Selang Kepercayaan pada Variabel Respon Berat Bersih**

**General Linear Model: S/N versus A, B, C, D**

Factor	Type	Levels	Values
A	fixed	3	1 2 3
B	fixed	3	1 2 3
C	fixed	3	1 2 3
D	fixed	3	1 2 3

Analysis of Variance for S/N, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	0.0811	0.0811	0.0405	0.10	0.906
B	2	4.9959	4.9959	2.4980	6.09	0.010
C	2	3.6487	3.6487	1.8243	4.45	0.027
D	2	69.2779	69.2779	34.6390	84.46	0.000
Error	18	7.3820	7.3820	0.4101		
Total	26	85.3856				

Unusual Observations for S/N

Obs	S/N	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	2.19790	3.42120	0.36974	-1.22330	-2.34R

R denotes an observation with a large standardized residual.

**General Linear Model: Mean versus A, B, C, D**

Factor	Type	Levels	Values
A	fixed	3	1 2 3
B	fixed	3	1 2 3
C	fixed	3	1 2 3
D	fixed	3	1 2 3

Analysis of Variance for Mean, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	0.000359	0.000359	0.000179	0.07	0.929
B	2	0.020075	0.020075	0.010038	4.15	0.033
C	2	0.013514	0.013514	0.006757	2.79	0.088
D	2	0.312313	0.312313	0.156156	64.50	0.000
Error	18	0.043581	0.043581	0.002421		
Total	26	0.389842				

Unusual Observations for Mean

Obs	Mean	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	10.7750	10.6831	0.0284	0.0919	2.29R
12	10.8675	10.7836	0.0284	0.0839	2.09R

R denotes an observation with a large standardized residual.

## 2. ANOVA untuk perhitungan Selang Kepercayaan pada Variabel Respon Diameter Mulut Dalam

### General Linear Model: S/N versus A, B, C, D

Factor	Type	Levels	Values
A	fixed	3	1 2 3
B	fixed	3	1 2 3
C	fixed	3	1 2 3
D	fixed	3	1 2 3

Analysis of Variance for S/N, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	0.3071	0.3071	0.1535	0.73	0.498
B	2	0.2713	0.2713	0.1357	0.64	0.538
C	2	0.9050	0.9050	0.4525	2.14	0.147
D	2	6.3454	6.3454	3.1727	14.99	0.000
Error	18	3.8088	3.8088	0.2116		
Total	26	11.6376				

Unusual Observations for S/N

Obs	S/N	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
5	2.73460	1.79741	0.26558	0.93719	2.50R

R denotes an observation with a large standardized residual.

### General Linear Model: Mean versus A, B, C, D

Factor	Type	Levels	Values
A	fixed	3	1 2 3
B	fixed	3	1 2 3
C	fixed	3	1 2 3
D	fixed	3	1 2 3

Analysis of Variance for Mean, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	0.002624	0.002624	0.001312	0.66	0.530
B	2	0.001953	0.001953	0.000977	0.49	0.621
C	2	0.009034	0.009034	0.004517	2.26	0.133
D	2	0.062639	0.062639	0.031320	15.70	0.000
Error	18	0.035908	0.035908	0.001995		
Total	26	0.112159				

Unusual Observations for Mean

Obs	Mean	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
5	50.6275	50.7100	0.0258	-0.0825	-2.26R

R denotes an observation with a large standardized residual.

**LAMPIRAN 6 :**  
**TABEL ISTILAH LINGUISTIK DAN KONVERSI CRISP SCORE**

Tabel 1. Tabel Istilah Linguistik

Scale	1	2	3	4	5	6	7	8
No. of term used	two	three	five	five	six	seven	nine	eleven
1 . Extremely High								yes
2 . Very High			yes		yes	yes	yes	yes
3 . High - Very High							yes	yes
4 . High	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
5 . Fairly High				yes	yes		yes	
6 . Mol High						yes		yes
7 . Medium	yes	yes	yes	yes		yes	yes	yes
8 . Mol Low						yes		yes
9 . Fair Low				yes	yes		yes	
10 . Low		yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
11 . Low - Very Low							yes	yes
12 . Very Low			yes		yes	yes	yes	yes
13 . None								yes

Sumber : Lee, 1997

Tabel 2. Konversi Crisp Score

Scale	1	2	3	4	5	6	7	8
No. of term used	two	three	five	five	six	seven	nine	eleven
1 . Extremely High								0.954
2 . Very High			0.909		0.917	0.909	0.917	0.864
3 . High - Very High							0.875	0.701
4 . High	0.750	0.833	0.717	0.885	0.750	0.773	0.750	0.667
5 . Fairly High				0.700	0.584		0.630	
6 . Mol High						0.637		0.590
7 . Medium	0.583	0.500	0.500	0.500		0.500	0.500	0.500
8 . Mol Low						0.363		0.410
9 . Fair Low				0.300	0.416		0.370	
10 . Low		0.166	0.283	0.115	0.250	0.227	0.250	0.333
11 . Low - Very Low							0.125	0.229
12 . Very Low			0.091		0.083	0.091	0.083	0.136
13 . None								0.046

Sumber : Lee, 1997

**LAMPIRAN 7**  
**DATA AWAL PENELITIAN**

**Kapabilitas Proses Data Awal**

<b>Karakteristik Kualitas</b>	<b>T</b>	<b>USL</b>	<b>LSL</b>
Berat Bersih (gram)	10.0	10.5	9.5
Panjang mulut (mm)	51.4	51.55	51.25

Keterangan :

Panjang mulut = diameter mulut

T = spesifikasi target yang ditetapkan

USL (Upper Spesification Limit) = batas spesifikasi atas yang ditetapkan

LSL (Lower Spesification Limit) = batas spesifikasi bawah yang ditetapkan

Pengujian kenormalan data "Kolmogorof Smirnov" menunjukkan bahwa semua data karakteristik kualitas berdistribusi normal (dengan P-value => 0.150)

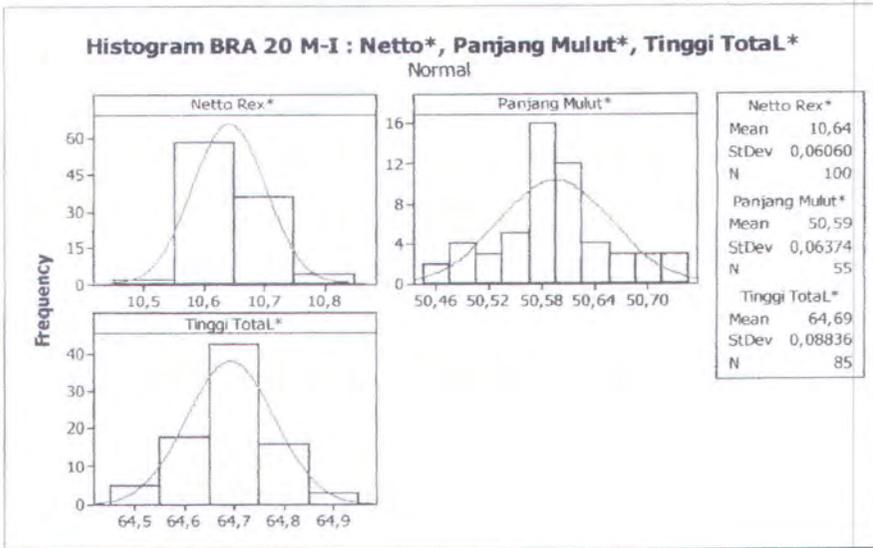
**Kapabilitas Proses Setelah Semua Data Terkendali Dengan Nilai Sigma**

Hasil perhitungan indeks Cpk, Cpm dan Sigma Value :

Karakteristik Kualitas	Cpk	Cpm	Sigma Value
Berat Bersih	0.89	0.48	2.67
Panjang Mulut	0.28	0.4	0.84

Jika dilakukan pergeseran batas spesifikasi, maka diperoleh :

<b>Karakteristik Kualitas</b>	<b>T</b>	<b>USL</b>	<b>LSL</b>
Berat Bersih (gram)	10.64	10.818	10.462
Panjang mulut (mm)	50.59	50.811	50.369



Hasil Perhitungan Indeks Cp, Cpk, dan Cpm setelah dilakukan pergeseran batas spesifikasi adalah sebagai berikut :

<b>Karakteristik Kualitas</b>	<b>Cp</b>	<b>Cpk</b>	<b>Cpm</b>
Berat Bersih (gram)	2.81	0.89	0.48
Panjang mulut (mm)	0.96	0.34	0.41

Keterangan :

Cp (tingkat presisi) = menghitung kemampuan proses untuk memenuhi spesifikasi

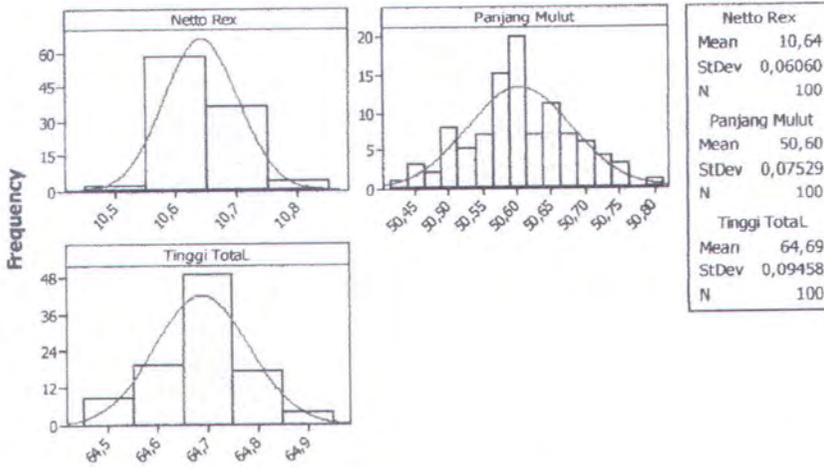
Cpk (tingkat akurasi) = menghitung rata-rata proses terpusat dan sebarannya

Cpm (akurasi&presisi)=menghitung tingkat suatu output proses berdasarkan nilai target sesuai dengan konsep fungsi kerugian Taguchi

Hasil perhitungan indeks Cpk, Cpm dan Sigma Value yang baru :

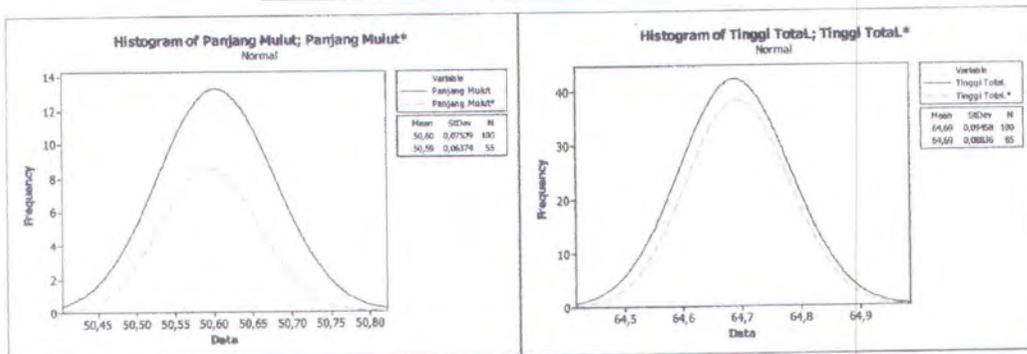
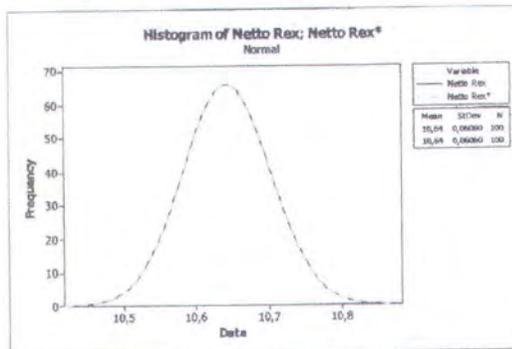
<b>Karakteristik Kualitas</b>	<b>Cpk</b>	<b>Cpm</b>	<b>Sigma Value</b>
Berat Bersih (gram)	0.99	0.98	2.97
Panjang mulut (mm)	1.34	1.15	4.02

**Histogram BRA 20 M-I : Netto, Panjang Mulut, Tinggi Total**  
Normal



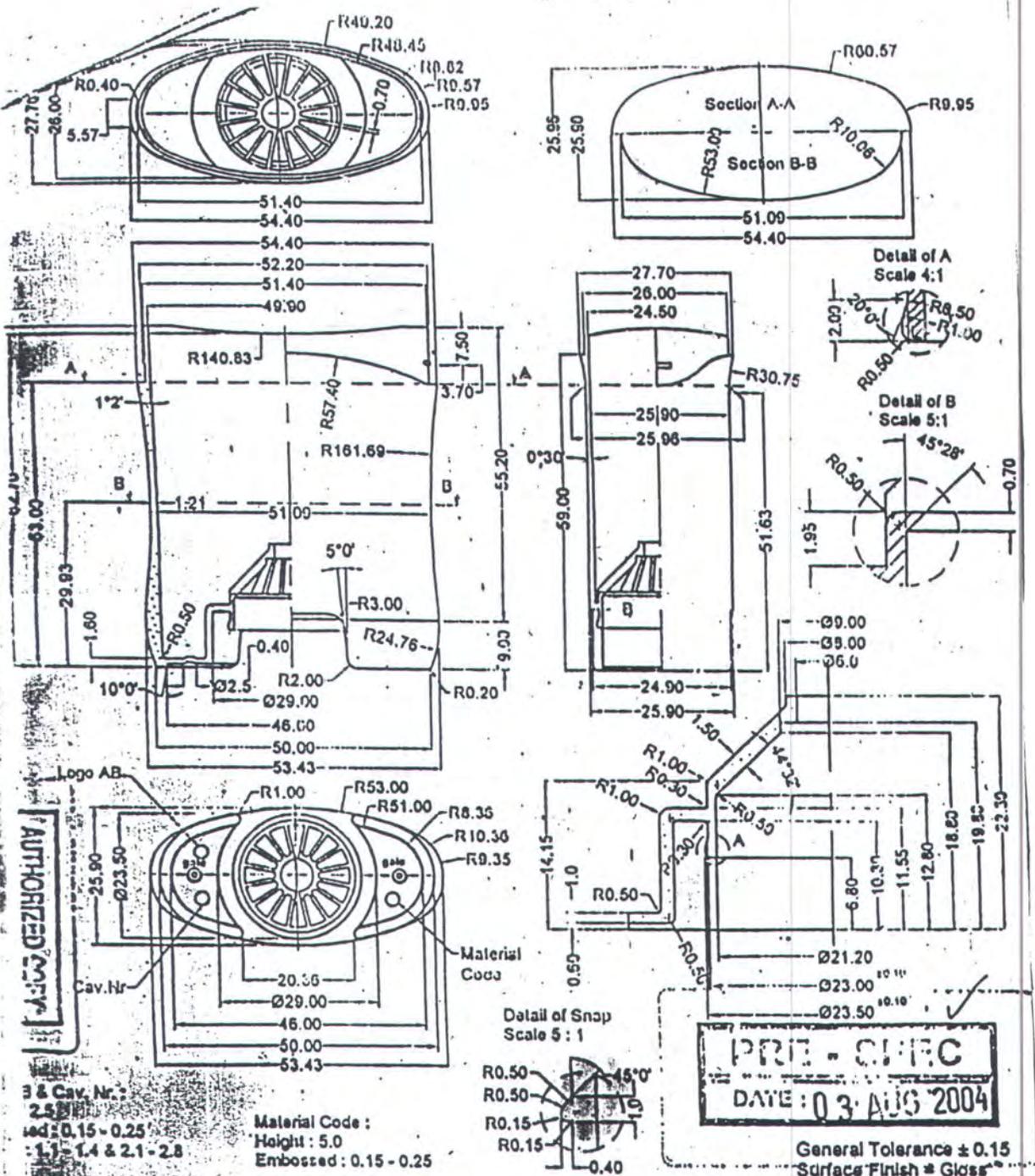
**Kemasan Barrel Rexona Alcaberg 20 M-I**

❖ **Kemasan Barrel Rexona Alcaberg 20 M-I**



Trisuma, K. Made (2005)

## LAMPIRAN 8 GAMBAR BARREL REXONA DAN SPESIFIKASINYA



**PRE - QIQC**  
DATE: 03 AUG 2004

General Tolerance ± 0.15  
Surface Finish = Gloss

3 & Cav. Nr.: 2.5  
 Ed: 0.15 - 0.25  
 : 1.1 - 1.4 & 2.1 - 2.8  
 Material Code:  
 Height: 5.0  
 Embossed: 0.15 - 0.25

BARREL	PP	-	10.0 ± 0.5 gr	COLOUR						
MPONEN	MATERIAL	VOLUME	WEIGHT	COLOUR	REVISI	C.D	NEW	SIGN	DATE	
LABERG BARREL 20 AB						SCALE : 1 : 1	DATE	Note :		
						DRAWN : SGW	26.06.2004			
						CHECKED : <i>[Signature]</i>	26.06.04			
						APPROVED: <i>[Signature]</i>	26.06.04			