



TUGAS AKHIR - SS091324

**OPTIMASI *MULTI RESPONSE SURFACE* PADA
INDUSTRI KEMASAN BOTOL PLASTIK DENGAN
PENDEKATAN *FUZZY PROGRAMMING*
(STUDI KASUS DI PT. AAM)**

LELA DEVI MEYLINA
NRP 1310 100 099

Dosen Pembimbing
Dr. Sony Sunaryo, M.Si.
NIP. 19640725 198903 1 001

JURUSAN STATISTIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - SS091324

**MULTI RESPONSE SURFACE OPTIMIZATION IN
INDUSTRIAL PLASTIC BOTTLE USING FUZZY
PROGRAMMING APPROACH
(CASE STUDY IN PT. AAM)**

LELA DEVI MEYLINA
NRP 1310 100 099

Supervisor
Dr. Sony Sunaryo, M.Si.
NIP. 19640725 198903 1 001

DEPARTMENT OF STATISTICS
Faculty Of Mathematics and Natural Sciences
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014

OPTIMASI *MULTI RESPONSE SURFACE* PADA INDUSTRI KEMASAN BOTOL PLASTIK DENGAN PENDEKATAN *FUZZY PROGRAMMING*

Nama Mahasiswa : Lela Devi Meylina
NRP : 1310 100 099
Jurusan : Statistika FMIPA-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Sony Sunaryo, M.Si

ABSTRAK

Kemasan plastik banyak digemari konsumen dan mulai menggeser kemasan lain seperti kemasan gelas dan kertas. Meskipun demikian, konsumsi plastik di Indonesia masih tergolong rendah. Kurangnya konsumsi plastik di Indonesia diindikasi akibat kurang baiknya kualitas kemasan plastik yang dihasilkan pabrik-pabrik di Indonesia. PT. AAM merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri kemasan botol plastik. Salah satu produk kemasan plastik yang dihasilkan adalah botol Chamomile 60 ml. Dalam pembuatan produk tersebut terdapat 2 karakteristik kualitas yang penting untuk diperhatikan yaitu volume isi botol dan diameter mulut dalam botol. Selain itu dalam memproduksi produk Chamomile 60 ml, hal yang perlu diperhatikan adalah bagaimana setting parameter temperatur barrel, blowing time, dan blowing pressure untuk memperoleh volume isi botol dan diameter mulut dalam botol yang optimum. Amrillah (2006) melakukan optimasi menggunakan response surface pendekatan fungsi desirability dan memperoleh composite desirability sebesar 0,534. Peneliti melakukan penelitian menggunakan data yang sama dengan Amrillah (2006) namun menerapkan metode yang berbeda yaitu multi response surface pendekatan fuzzy programming dan hasil yang diperoleh lebih baik dari penelitian Amrillah (2006) dengan composite desirability 0,665.

Kata Kunci : *Multi response surface, Fuzzy Programming, Desirability, Deviasi.*

MULTI RESPONSE SURFACE OPTIMATION IN INDUSTRIAL PLASTIC BOTTLE USING FUZZY PROGRAMMING APPROACH

Name : Lela Devi Meylina
NRP : 1310 100 099
Department : Statistics
Lecturer Advisor : Dr. Sony Sunaryo, M.Si

ABSTRACT

Plastic packaging is loved by most of consumer and began to shift other packaging such as glass and paper packages. Nevertheless, plastic consumption in Indonesia is still low. Lack of plastic consumption in Indonesia is indicated due to lack of good quality plastic produced by Indonesian factories. PT. AAM is a company that is engaged in plastic bottle manufacturing. One of their product is Chamomile 60 ml bottle. In this product, there are 2 important quality characteristics to be noted, they are volume and inner mouth diameter of bottle. In producing Chamomile 60 ml bottle, thing to note is how to setting barrel temperature, blowing time, and blowing pressure to obtain the volume and inner mouth diameter optimum. Amrillah (2006) conducted a study on the response surface optimation using desirability function approach and obtained composite desirability of 0,534. Inthis research, we conducted the study using the same data with Amrillah (2006) but employ different methods, namely multi response surface using fuzzy programming approach to obtain better results than Amrillah (2006). With composite desirability 0,665.

Keyword : *Multi response surface, Fuzzy Programming, Desirability, Deviation.*

LEMBAR PENGESAHAN

**OPTIMASI MULTI RESPONSE SURFACE PADA
INDUSTRI KEMASAN BOTOL PLASTIK DENGAN
PENDEKATAN FUZZY PROGRAMMING**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains pada
Program Studi S-1 Jurusan Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

LELA DEVI MEYLINA
NRP 1310 100 099

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir

Dr. Sony Sunaryo, M.Si
NIP. 19640725 198903 1 001

()

Mengetahui,
**Ketua Jurusan Statistika FMIPA
ITS**


Dr. Muhammad Mashuri, MT
NIP. 19620408 198701 1 001

SURABAYA, JULI 2014

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1	Contoh <i>response surface</i> dan plot kontur	8
Gambar 2.2	Contoh pengujian asumsi IIDN	12
Gambar 2.3	Fungsi keanggotaan respon	13
Gambar 2.4	Triangular Fuzzy Bilangan \tilde{A}	13
Gambar 2.5	Bobot <i>desirability</i>	17
Gambar 2.6	Produk item bebas PT. AAM	23
Gambar 2.7	<i>Blow molding</i> dasar	25
Gambar 2.8	Proses pembentukan botol	26
Gambar 2.9	Mesin <i>blow molding</i> PT. AAM	28
Gambar 2.10	<i>Mold</i> dan <i> moldparts</i> PT. AAM	29

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya Tugas Akhir yang berjudul “**Optimasi Multi Response Surface pada Industri Kemasan Botol Plastik dengan Pendekatan Fuzzy Programming (Studi Kasus di PT. AAM)**” dapat diselesaikan oleh penulis.

Penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari peran serta berbagai pihak, sehingga penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Mama Wiwik Dwi Sulisyowati, S.Pd dan Bapak Basuki Yuwono, S.P yang selalu mendoakan, mengasihi, dan mendukung penulis sepanjang usia penulis. Mbak Ruly, Mas Gigih, Yongky, Ayu, Kedua Eyang Putriku, dan keluarga besar penulis yang turut mendoakan dan memotivasi penulis dalam keseharian. Terima kasih.
2. Dr. Muhammad Mashuri, M.T selaku Ketua Jurusan Statistika ITS yang telah mendukung terselesainya Tugas Akhir ini.
3. Dr. Sony Sunaryo, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ide, inspirasi, bimbingan, arahan, dan masukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Drs. Haryono, MSIE dan Dra. Lucia Aridinanti M.S, selaku dosen penguji yang memberikan kritik dan saran kepada penulis sehingga penulis termotivasi untuk terus belajar, mencari tahu, dan mendalami apa yang dipelajari.
5. Dr. Dra. Ismaini Zain, M.SI selaku dosen wali yang banyak memberikan arahan, masukan, inspirasi, dan wawasan kepada penulis.

6. Seluruh dosen Jurusan Statistika ITS yang telah memberikan banyak ilmu, serta karyawan Jurusan Statistika ITS yang mendukung terselesainya Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir dari Laboratorium Statistika Industri Jalu, Sharfina, Hafiedza, Farid, dan Nanta. Vivat Statistika Industri!
8. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir yang selalu menyempatkan diri untuk datang di seminar, menghibur, memberi masukan, membantu, dan mendukung di saat-saat sulit Bunga, Iis, Lauda, Sari, Angga, Novan, Erik, Cabil, Setya, Rere, Siska, dll.
9. Rifandiansyah Estetika. Terima kasih atas kesabaran, pengertian, dan perhatiannya.
10. Keluarga besar SIGMA 21 Amazing. Terima kasih telah menjadi keluarga, saudara, dan sahabat yang selalu memberi keceriaan dan semangat.
11. Pihak-pihak lain yang mendukung dan membantu atas terselesainya Tugas Akhir ini.

Harapan Penulis adalah laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat, menambah wawasan, dan dapat menjadi referensi untuk keilmuan. Kritik dan saran diharapkan untuk perbaikan dimasa mendatang.

Surabaya, Juni 2014

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Metode <i>Response Surface</i>	7
2.2 Pengujian Signifikansi dan Pemeriksaan Asumsi .	8
2.3 Teori <i>Fuzzy</i>	12
2.4 Metode <i>Fuzzy Programming</i>	14
2.5 Tinjauan Umum Plastik	19
2.6 Produk Plastik PT.AAM	22
2.7 Proses <i>Blow Molding</i>	23

BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1 Sumber Data	31
3.2 Variabel Penelitian.....	32
3.3 Langkah Penelitian.....	34
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Analisis <i>Response Surface Fuzzy</i> <i>Programming</i>	37
4.2 Perbandingan Hasil <i>Response Surface Fungsi</i> <i>Desirability</i> dengan <i>Response Surface Fuzzy</i> <i>Programming</i>	50
BAB V KESIMPULAN	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	57

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1	Struktur data hasil eksperimen untuk multi respon.....	14
Tabel 2.2	Struktur matriks <i>pay-off</i> untuk nilai respon....	16
Tabel 2.3	Struktur matriks <i>pay-off</i> untuk nilai desirability.....	17
Tabel 2.4	Struktur matriks <i>pay-off</i> untuk nilai deviasi ...	18
Tabel 3.1	Struktur data rancangan percobaan orde pertama.....	31
Tabel 3.2	Struktur data rancangan percobaan orde kedua.....	32
Tabel 3.3	Variabel proses penelitian.....	34
Tabel 4.1	Koefisien penaksir parameter regresi <i>response surface</i> orde pertama respon volume isi botol replikasi pertama.....	37
Tabel 4.2	Koefisien penaksir parameter regresi <i>response surface</i> volume isi botol (Y_r^1) dan diameter mulut dalam botol (Y_r^2).	38
Tabel 4.3	Hasil <i>response surface fuzzy</i> volume isi botol dan diameter mulut dalam botol	41
Tabel 4.4	Level faktor optimum volume isi botol dan diameter mulut dalam botol.	42
Tabel 4.5	Matriks <i>pay-off</i> untuk nilai respon.....	44
Tabel 4.6	Matriks <i>pay-off</i> untuk nilai <i>desirability</i>	44
Tabel 4.7	Matriks <i>pay-off</i> untuk nilai deviasi	45
Tabel 4.8	Level faktor <i>fuzzy</i> optimum level <i>lower</i>	48
Tabel 4.9	Level faktor <i>fuzzy</i> optimum level <i>mean</i>	49

Tabel 4.10	Level faktor <i>fuzzy</i> optimum level <i>upper</i>	49
Tabel 4.11	Level faktor optimum penelitian Amrillah (2006).....	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemasan plastik merupakan kemasan yang paling sering ditemui saat ini. Kemasan plastik mulai menggeser jenis kemasan lain seperti gelas dan kertas. Sifat plastik yang fleksibel dan murah membuat kemasan plastik banyak digemari konsumen. Meskipun banyak digemari, menurut Kementerian Perindustrian RI (2013) Indonesia merupakan negara dengan konsumsi plastik rendah jika dibandingkan dengan negara Asia Tenggara lainnya. Konsumsi plastik Indonesia berkisar 10 kilogram per kapita per tahun, sementara negara Asia Tenggara lain mencapai 40 kilogram per kapita per tahun. Produk plastik banyak digunakan untuk perabot rumah tangga, komponen otomotif, komponen elektronik, kemasan makanan dan minuman, kosmetik, dan farmasi. Kementerian Perindustrian RI mencatat ada 892 industri kemasan plastik yang tersebar di seluruh Indonesia dengan utilisasi 70 persen dan produksi rata-rata 1,65 juta ton per tahun. Kurangnya konsumsi plastik di Indonesia diindikasikan akibat kurang baiknya kualitas kemasan plastik yang dihasilkan pabrik-pabrik di Indonesia, sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai kualitas plastik maupun optimasi karakteristik kualitas produk plastik perusahaan. Salah satu perusahaan yang bergerak di industri kemasan plastik adalah PT. AAM.

PT. AAM merupakan perusahaan yang berlokasi di Cikarang dan di Surabaya. PT. AAM memproduksi kemasan plastik untuk kosmetik, makanan, minuman, kimia, farmasi, dan item bebas. Item bebas merupakan produk yang desainnya terserah produsen dan merupakan produk untuk umum, sedangkan produk kosmetik, makanan, minuman, kimia, dan farmasi yang tergolong dalam item eksklusif memiliki desain sesuai dengan permintaan konsumen. Ukuran produk yang dihasilkan oleh PT. AAM berkisar pada 5 mililiter sampai 30 liter. PT. AAM memiliki konsumen 10 perusahaan nasional

dan 16 perusahaan multinasional. Fasilitas produksi pada PT. AAM didukung oleh mesin *blow molding*, mesin *injection molding*, mesin *injection blow molding*, mesin *injection stretch blow molding*, dan mesin *plastic tube making 5 layer*.

Telah banyak penelitian mengenai produk dari PT. AAM. Penelitian-penelitian tersebut antara lain penelitian Romdhoni (2004), Abdi (2005), Patryadi (2006), dan Amrillah (2006). Romdhoni (2004) melakukan penelitian mengenai pengendalian kualitas statistika *multivariant* pada proses produksi botol Indomilk 200 ml dengan *cavity 2,3*. Romdhoni (2004) memberikan kesimpulan bahwa faktor tinggi total, tinggi leher, diameter badan, diameter dasar, volume total, diameter mulut luar, diameter mulut dalam, ketebalan botol atas, berat bersih dan ketebalan badan berada dalam keadaan yang kapabel. Penelitian Abdi (2005) menggunakan metode *response surface* dalam optimasi proses pembuatan botol produk *Johnson Baby Oil 50 ml* pada mesin *blow molding*. Sementara Patryadi (2006) meneliti tentang penentuan *setting* parameter pada proses *blow molding* dengan metode taguchi atribut. Penelitian Amrillah (2006) juga meneliti tentang mesin *blow molding* PT. AAM. Amrillah melakukan penelitian pada mesin *blow molding* untuk menentukan *setting* variabel proses temperatur *barrel*, *blowing time*, dan *blowing pressure* terhadap volume isi botol dan diameter mulut dalam botol produk Chamomile 60 ml menggunakan *response surface* dengan pendekatan fungsi *desirability*. Pada penelitian tugas akhir ini, peneliti ingin melakukan penelitian mengenai optimasi *response surface* dengan pendekatan *fuzzy programming* menggunakan data yang diperoleh Amrillah (2006). Data penelitian Amrillah (2006) dipilih oleh peneliti karena dalam optimasi *multi response surface* dengan *fuzzy programming* diperlukan data yang mengandung replikasi pada hasil percobaannya. Banyak penelitian mengenai *response surface* pada produk-produk suatu perusahaan, namun jarang terdapat penelitian *response surface* yang mengandung replikasi didalamnya. Pada penelitian Amrillah (2006), optimasi hanya dilakukan menggunakan fungsi

desirability, sementara optimasi *multi response surface* pendekatan *fuzzy programming* pada penelitian ini mengoptimasi melalui fungsi *desirability* dan fungsi deviasi respon. Peneliti ingin menggunakan pendekatan *fuzzy programming* karena salah satu keuntungan dari pemodelan *fuzzy programming* adalah dapat mengoptimasi model regresi robust. Pemodelan *fuzzy programming* menyangkut beberapa kriteria, antara lain tentang karakteristik kualitas atau spesifikasi berdasarkan masalah yang bersangkutan (Prastyo, Akbar, & Otok, 2007). Kelemahan metode yang digunakan pada penelitian Amrillah (2006) adalah data yang dimasukkan dalam model merupakan data asli. Sementara pada *response surface* pendekatan *fuzzy programming*, data yang tersedia diolah terlebih dahulu kemudian dibuat modelnya, sehingga data yang dimodelkan bukan data asli. Hal ini menjadi kelebihan yang dimiliki oleh metode *response surface* pendekatan *fuzzy programming*. Oleh karena itu, metode ini mampu menghasilkan optimasi yang lebih baik dari metode *response surface* pendekatan *desirability*. Alasan-alasan tersebutlah yang mendasari peneliti ingin melakukan optimasi *multi response surface* produk Chamomile 60 ml di PT. AAM dengan pendekatan *fuzzy programming* serta membandingkan hasil penelitian yang diperoleh pada penelitian ini dengan penelitian Amrillah (2006).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah yang ada dalam penelitian ini tersusun sebagai berikut:

1. Bagaimana *setting* parameter pada proses *blow molding* terhadap volume isi botol dan diameter mulut dalam botol pada produk Chamomile 60 ml di PT. AAM dengan pendekatan *fuzzy programming*?
2. Bagaimana perbandingan hasil optimasi pada penelitian Amrillah (2006) dengan optimasi *multi response surface* menggunakan pendekatan *fuzzy programming*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Menentukan setting parameter pada proses *blow molding* terhadap volume isi botol dan diameter mulut dalam botol pada produk Chamomile 60 ml di PT. AAM dengan pendekatan *fuzzy programming*.
2. Memperoleh perbandingan hasil antara optimasi *response surface* pada penelitian Amrillah (2006) dengan optimasi *multi response surface* pendekatan *fuzzy programming* pada penelitian ini.

1.4 Manfaat

Manfaat yang ingin diperoleh dalam penelitian tugas akhir ini adalah mengetahui *setting* parameter proses *blow molding* untuk optimasi volume isi botol dan diameter mulut dalam botol sehingga dapat memberikan masukan bagi PT. AAM untuk perbaikan proses produksi menggunakan metode *multi response surface* pendekatan *fuzzy programming*. Selain itu manfaat yang dapat diperoleh bagi pembaca adalah mendapatkan informasi mengenai optimasi dengan metode *multi response surface* pendekatan *fuzzy programming* serta memperoleh perbandingan antara pemodelan *response surface* fungsi *desirability* dan pemodelan *multi response surface* dengan pendekatan *fuzzy programming* untuk mengetahui kekurangan maupun kelebihan masing-masing metode.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Produk yang diteliti adalah produk Chamomile 60 ml pada mesin *blow molding* produksi PT. AAM.
2. Karakteristik kualitas yang digunakan adalah volume isi dan diameter mulut dalam botol sebagai variabel respon

serta temperatur *barrel*, *blowing time*, dan *blowing pressure* sebagai faktor.

3. Kedua karakteristik kualitas diasumsikan saling independen.
4. Eksperimen dilakukan pada mesin *Blow Molding BM 08 Double Wagon* yang menggunakan material HDPE warna natural tanpa membahas rangkaian listrik pada mesin. Eksperimen diukur menggunakan alat yang ada pada laboratorium perusahaan, yaitu timbangan digital untuk mengukur volume isi botol dan jangka sorong digital untuk mengukur diameter mulut dalam botol.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode *Response Surface*

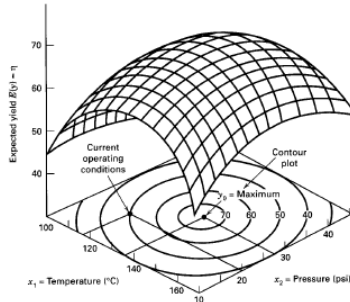
Metode *response surface* atau RSM (*Response Surface Methodology*) adalah sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk memodelkan dan menganalisis masalah dengan respon sebagai pusat perhatiannya yang dipengaruhi oleh beberapa variabel dan bertujuan untuk optimasi respon. Dalam *response surface*, biasanya hubungan antara respon dengan variabel independen tidak diketahui bentuknya, sehingga langkah pertama dalam RSM adalah untuk mengetahui bagaimana hubungan respon dan variabel independen dengan pendekatan yang sesuai (Montgomery, 2001). Apabila respon dimodelkan dengan fungsi linier dari variabel independen, maka fungsi orde pertama adalah:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$
$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon. \quad (2.1)$$

Apabila terdapat lengkungan (*curvature*) dalam sistem, maka digunakan model orde kedua yang merupakan polinomial dengan derajat yang lebih tinggi dari orde pertama. Model orde kedua dapat ditulis sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon. \quad (2.2)$$

Pada model *response surface*, baik orde pertama maupun kedua, y adalah variabel respon, x_i adalah variabel independen ke- i , dan β_i adalah nilai kontribusi variabel x ke respon. *Response surface* yang baik akan memiliki bentuk plot kontur yang terpusat. Contoh plot *response surface* beserta plot konturnya diberikan pada Gambar 2.1 (Montgomery, 2001).



Gambar 2.1 Contoh *response surface* dan plot kontur.

Kondisi optimum dalam *response surface* dapat dicapai dengan langkah-langkah sebagai berikut (Khuri & Cornell, 1996):

1. Melakukan pemeriksaan pada model *response surface* orde pertama.
2. Apabila model orde satu sesuai, maka model tersebut digunakan untuk mencari area dari variabel prediktor yang menghasilkan respon optimum.
3. Melakukan pemeriksaan kembali terhadap model orde pertama dengan faktor berada pada level baru. Jika tidak signifikan, maka ditingkatkan menjadi model *response surface* orde kedua.
4. Membuat model orde kedua. Apabila model tidak sesuai maka kondisi optimum dapat dicari dengan plot kontur, sehingga diperoleh kondisi optimum.

2.2 Pengujian Signifikansi dan Pemeriksaan Asumsi

Pengujian signifikansi model dilakukan dengan menguji *lack of fit*, uji serentak, dan uji individual untuk mengetahui faktor-faktor yang digunakan mempunyai pengaruh terhadap respon model atau tidak.

1. Uji *Lack of Fit*. Menurut Khuri dan Cornell (1996), uji *lack of fit* adalah suatu pengujian yang ditujukan untuk mengetahui kesesuaian model. Hipotesis yang digunakan dalam uji ini adalah:

H_0 : Model telah sesuai (tidak ada *lack of fit*)

H_1 : Model tidak sesuai (ada *lack of fit*)

Statistik uji yang digunakan adalah:

$$F_0 = \frac{MS_{Lack\ of\ Fit}}{MS_{Pure\ Error}} \quad (2.3)$$

Model dikatakan telah sesuai apabila $F_0 > F_{\alpha; m-p; N-m}$ dengan α adalah taraf nyata yang digunakan.

2. Uji Serentak. Uji serentak adalah pengujian signifikansi model secara keseluruhan atau bersama-sama untuk mengetahui apakah semua variabel prediktor yang ada dalam model memberikan pengaruh secara bersama. Hipotesis yang digunakan adalah:

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ (pengaruh prediktor ke- i sampai ke- k secara bersama-sama tidak bermakna).

$H_1 : \text{Minimal ada satu nilai } \beta_i \neq 0; i = 1, 2, \dots, k$ (paling tidak terdapat satu β_i yang pengaruhnya terhadap respon bermakna).

Statistik uji dalam uji serentak adalah:

$$F_{hitung} = \frac{MS_{regresi}}{MS_{residual}} \quad (2.4)$$

Prediktor dikatakan memiliki pengaruh yang bermakna secara bersama-sama apabila $F_{hitung} > F_{\alpha; p-1; N-p}$ dengan $n = p-1$ dan α adalah taraf nyata yang digunakan.

3. Uji individu. Uji individu adalah pengujian signifikansi masing-masing variabel prediktor secara individual untuk mengetahui variabel prediktor mana yang memberikan pengaruh ke model. Hipotesis yang digunakan adalah:

$H_0 : \beta_i = 0; i = 1, 2, \dots, k$ (pengaruh prediktor ke- i pada respon tidak bermakna)

$H_1 : \beta_i \neq 0; i = 1, 2, \dots, k$ (pengaruh respon bermakna)

Statistik uji yang digunakan adalah:

$$t_{hitung} = \frac{b_i}{se(b_i)} \quad (2.5)$$

Prediktor dikatakan memberikan pengaruh yang bermakna terhadap respon apabila $|t_{hitung}| > t_{\alpha/2; m-k-1}$ dengan b_i merupakan penaksir parameter ke- i dan $se(b_i)$ adalah *standart error* penaksir parameter ke- i .

Dalam *response surface*, terdapat pemeriksaan residual hasil pemodelan harus memenuhi asumsi identik, independen

dan berdistribusi normal atau yang biasa disebut asumsi IIDN (Montgomery, 2001).

1. Asumsi identik. Pengujian identik digunakan untuk menguji keidentikan varians residual, sehingga dapat diketahui penyebaran residual telah sama (homogen) atau belum. Pengujian asumsi identik dapat dilakukan secara visual maupun statistik. Secara visual dapat menggunakan *scatter plot* antara residual yang terstandarkan (*standardized residual*) dengan respon taksiran (\hat{y}). Pada *scatter plot* tersebut, apabila pola titik tidak beraturan maka asumsi identik telah terpenuhi. Sementara jika terdapat pola seperti corong atau pola lain maka dapat disimpulkan bahwa residual tidak homogen penyebarannya. Dalam *software* Minitab, dapat dilihat dari plot *residual versus fits* (Frost, 2012). Sedangkan secara statistik, pengujian asumsi identik dapat dilakukan dengan uji *Levene*.

Hipotesis yang digunakan dalam uji *Levene* adalah:

H_0 : Varians residual bersifat homogen

H_1 : Varians residual bersifat tidak homogen.

Statistik uji pada uji *Levene*:

$$L = \frac{(m-j) \sum_{o=1}^j m_o (med_o - med)^2}{(j-1) \sum_{o=1}^j \sum_{i=1}^{m_o} (e_{oi} - med_o)^2} \quad (2.6)$$

dengan :

m : banyak data residual

m_o : banyak data residual pada kelompok ke- o
($o=1,2,\dots,f$)

j : banyaknya level pada faktor ke- i .

med_o : median dari residual kelompok ke- o .

med : median dari residual secara keseluruhan.

e_{oi} : residual ke- i pada kelompok ke- o .
($i=1,2, \dots, m_o$)

Residual dikatakan memiliki variansi yang homogen jika

$L < F_{\alpha; j-1; m-j}$ atau p -value dari statistik uji *Levene* bernilai lebih besar dari taraf nyata atau α (Brown & Forsythe, 1974).

2. Asumsi independen. Asumsi independen ditujukan untuk memastikan bahwa percobaan maupun pengamatan yang dilaksanakan benar-benar dilakukan secara random atau acak sehingga tidak ada korelasi antar residual. Pengujian asumsi independen dapat dilakukan secara visual maupun statistik. Secara visual dapat dilakukan dengan menggunakan plot *Autocorrelation Function* (ACF). Plot ACF meng-gambarkan korelasi atau kekuatan hubungan antar residual pada lag yang berbeda (Wei, 2006).

$$r_u = \frac{\sum_{i=u+1}^{m-u} (e_{i-u} - \bar{e})(e_i - \bar{e})}{\sum_{i=u}^m (e_i - \bar{e})^2} \quad (2.7)$$

Residual dikatakan memenuhi asumsi identik jika pada plot ACF, seluruh data residual berada di dalam batas signifikansi. Selain plot ACF, dapat pula digunakan plot *residual versus order* yang merupakan plot residual dengan urutan data.

3. Asumsi berdistribusi Normal. Uji asumsi residual berdistribusi normal dapat dilakukan menggunakan *normal probability plot* (secara visual) maupun menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* (secara statistik). Hipotesis yang digunakan dalam uji asumsi distribusi normal adalah:

H_0 : Data berdistribusi normal.

H_1 : Data tidak berdistribusi normal.

Statistik uji yang digunakan:

$$D = \max(D^+, D^-) \quad (2.8)$$

dengan

$$D^+ = \max_i \left(\frac{i}{m} - Z_{(i)} \right)$$

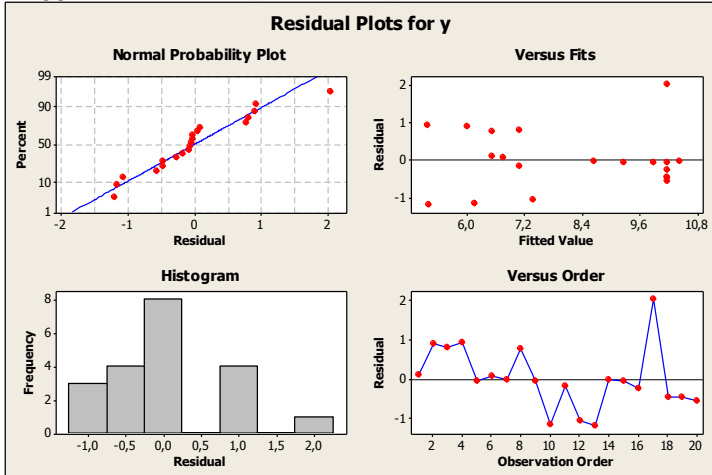
$$D^- = \max_i \left(Z_{(i)} - \frac{i-1}{m} \right)$$

$$Z_{(i)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right)$$

m = ukuran sampel

Data dikatakan berdistribusi normal apabila statistik uji $D < D_{1-\alpha;m}$ atau *p-value* lebih besar dari α (Daniel, 1989).

Gambar 2.2 merupakan contoh pemeriksaan asumsi identik, independen, dan berdistribusi normal. Uji asumsi identik dilakukan dengan plot *residual versus fits* (kanan atas), uji asumsi independen dilakukan dengan plot *residual versus order* (kanan bawah), dan uji asumsi berdistribusi normal menggunakan *normal probability plot* (kiri atas) (Frost, 2012).



Gambar 2.2 Contoh pengujian asumsi IIDN.

2.3 Teori Fuzzy

Zadeh (1965) menjelaskan bahwa serangkaian *fuzzy set* \tilde{A} dalam semesta X dikarakteristikan oleh fungsi keanggotaan atau *membership function* $\mu_{\tilde{A}}(x)$ dimana $\mu_{\tilde{A}}(x)$ berasosiasi dengan tiap elemen x dalam bilangan real X dalam interval $[0,1]$. Nilai fungsi $\mu_{\tilde{A}}(x)$ disebut kelas keanggotaan dari x dalam \tilde{A} . Secara sederhana, rangkaian *fuzzy* \tilde{A} dapat dinotasikan sebagai berikut:

$$\tilde{A} = \begin{cases} \sum_{x_i \in X} \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i}, & \text{jika } X \text{ adalah kumpulan objek diskrit} \\ \int_X \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x}, & \text{jika } X \text{ adalah ruang Kontinyu} \end{cases} \quad (2.9)$$

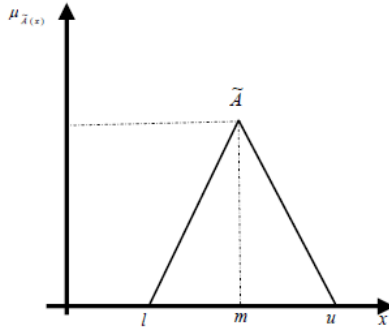
Ada beberapa jenis fungsi keanggotaan seperti π , Bell, Gaussian, Trapezoidal, triangular, dan lain-lain (Zimmerman,

2000). Gambar 2.3 menunjukkan jenis fungsi keanggotaan linier dan nonlinier pada responnya.



Gambar 2.3 Fungsi keanggotaan respon: kiri dan tengah adalah fungsi keanggotaan linier dan kanan adalah fungsi keanggotaan nonlinier.

Fuzzy bilangan \tilde{A} yang terdiri dari 3 bagian / segitiga (*triangular fuzzy*) dapat didefinisikan sebagai *triplet* (l,m,u) seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Triangular Fuzzy Bilangan \tilde{A}*

Fungsi keanggotaan $\mu_{\tilde{A}}(x)$ *triplet* didefinisikan sebagai :

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0, & x < l \text{ atau } x > u \end{cases} \quad (2.10)$$

Apabila $\tilde{A} = (a, b, c)$ dan $\tilde{B} = (d, e, f)$ adalah 2 bilangan *fuzzy* segitiga, maka operasi yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \tilde{A} \oplus \tilde{B} &= (a, b, c) \oplus (d, e, f) = (a + d, b + e, c + f) \\ \tilde{A} - \tilde{B} &= (a, b, c) - (d, e, f) = (a - f, b - e, c - d) \\ \tilde{A} \otimes \tilde{B} &= (a, b, c) \cdot (d, e, f) = (a \cdot d, b \cdot e, c \cdot f) \\ \tilde{A} / \tilde{B} &= (a, b, c) / (d, e, f) = \left(\frac{a}{f}, \frac{b}{e}, \frac{c}{d} \right) \end{aligned} \quad (2.11)$$

2.4 Metode Fuzzy Programming

Salah satu keuntungan memodelkan menggunakan *fuzzy programming* adalah dapat mengoptimasi model regresi robust. Pemodelan *fuzzy programming* menyangkut beberapa kriteria, antara lain tentang karakteristik kualitas atau spesifikasi berdasarkan masalah yang bersangkutan (Prastyo, Akbar, & Otok, 2007). Dalam penelitian ini, karena eksperimen yang digunakan merupakan eksperimen dengan replikasi, maka rata-rata dan variansi dari parameter model diperhitungkan untuk memperoleh level faktor yang optimum.

Kim dan Lin (1998) mengusulkan pendekatan pemodelan fuzzy untuk optimasi *dual response system*. Pendekatan ini mengidentifikasi kondisi serangkaian parameter proses untuk memaksimalkan derajat kepuasan secara simultan terhadap mean dan standar deviasi proses. Bashiri dan Hosseini-zhad (2009) mengemukakan sebuah algoritma *fuzzy program-ming* untuk optimasi *multiresponse surface* sebagai berikut.

1. Mendesain eksperimen multi respon.

Eksperimen multi respon merupakan eksperimen dengan lebih dari satu respon dan replikasi dimana x_{ij} adalah nilai level faktor ke- j dalam eksperimen ke- i dan y_{ikr} adalah nilai respon ke- k untuk replikasi ke- r dalam eksperimen ke- i . Tabel 1.1 menunjukkan bentuk dari hasil eksperimen untuk multirespon.

Tabel 2.1 Struktur data hasil eksperimen untuk multirespon.

Nomor eksperimen	Level faktor			Respon						
	X_1	...	X_j	Y_1		...	Y_m			
				y_{i11}	...	y_{i1R}	...	y_{im1}	...	y_{imR}
1	x_{11}	...	x_{1j}	y_{111}	...	y_{11R}	...	y_{1m1}	...	y_{1mR}
2	x_{21}	...	x_{2j}	y_{211}	...	y_{21R}	...	y_{2m1}	...	y_{2mR}
...
n	x_{n1}	...	x_{nj}	y_{n11}	...	y_{n1R}	...	y_{nm1}	...	y_{nmR}

Keterangan:

i = banyak eksperimen, dengan $i = 1, 2, \dots, n$

j = jumlah level faktor, dengan $j = 1, 2, \dots, J$

k = banyak respon, dengan $k = 1, \dots, m$

r = replikasi (jumlah replikasi untuk masing-masing respon dapat berbeda); $r = 1, \dots, R$.

- Membuat model *response surface* untuk tiap replikasi. Model regresi *response surface* adalah sebagai berikut:

$$Y_r^k = \beta_0^k + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii}^r x_i^2 + \sum_{i<j} \sum \beta_{ij}^r x_i x_j + \varepsilon \quad (2.12)$$

dimana Y_r^k menunjukkan model regresi *response surface* untuk respon ke- k replikasi ke- r yang diperoleh dari data eksperimen, sedangkan ε menunjukkan eror *noise* terobservasi dalam nilai respon.

- Mengoptimasi respon untuk tiap model regresi permukaan (*surface regression*).

Untuk mengoptimasi respon dapat digunakan suatu *software* sehingga diperoleh x_{rj}^* yang merupakan level faktor optimum ke- j untuk regresi permukaan ke- r .

- Menentukan model regresi *response surface fuzzy* untuk respon ke- j .

Perhitungan koefisien *fuzzy* pada respon ke- j dilakukan dengan cara menghitung nilai β untuk masing-masing replikasi. Setelah diperoleh nilai β untuk masing-masing replikasi dilanjutkan dengan menghitung mean β replikasi dan standar deviasi β replikasi. Hal ini dilakukan untuk memperoleh nilai β^m (nilai β rata-rata), β^l (nilai β bawah), dan β^u (nilai β atas).

$$\begin{aligned} \beta^m &= \text{mean} (\beta_1, \dots, \beta_R) \\ \beta^l &= \text{mean} (\beta_1, \dots, \beta_R) - \text{standar deviasi} (\beta_1, \dots, \beta_R) \\ \beta^u &= \text{mean} (\beta_1, \dots, \beta_R) + \text{standar deviasi} (\beta_1, \dots, \beta_R) \end{aligned}$$

sehingga diperoleh $\tilde{\beta} = (\beta^l, \beta^m, \beta^u)$. (2.13)

- Menentukan level faktor *fuzzy* yang optimum.

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada langkah 3, level faktor optimum untuk respon ke- k dapat diperoleh. Level faktor optimum untuk respon ke- k adalah $x_{1jk}^*, \dots, x_{Rjk}^*$. Dalam hal ini prosedur yang dijelaskan pada langkah 4 digunakan untuk mendapatkan nilai tersebut.

- Membuat matriks *pay-off* untuk nilai respon. Matriks *pay-off* merupakan matriks yang berisi nilai level faktor *fuzzy* optimum pada respon ke- k yang dinotasikan dengan $\tilde{X}^{(k)}$ dimana $k = 1, \dots, m$ dan nilai $\tilde{Y}_{ij}(X)$. $\tilde{Y}_{ij}(X)$ adalah nilai

respon ke- j yang diganti-kan oleh level faktor *fuzzy* optimum dari *response surface* ke- i . Tabel 2.2 merupakan bentuk matriks *pay-off* untuk nilai respon.

Tabel 2.2 Struktur matriks *pay-off* untuk nilai respon.

	$\tilde{Y}_1(X)$	...	$\tilde{Y}_m(X)$
$\tilde{X}^{(1)}$	$\tilde{Y}_{11}(X)$	...	$\tilde{Y}_{1m}(X)$
\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
$\tilde{X}^{(m)}$	$\tilde{Y}_{m1}(X)$	...	$\tilde{Y}_{mm}(X)$

7. Membuat matriks *pay-off* untuk nilai respon *desirability*. Untuk mengoptimasi multirespon maka digunakan fungsi *desirability*. Ada 3 fungsi *desirability* yang dapat digunakan, yaitu *Nominal-the-Best* (NTB), *Larger-the-Best* (LTB), dan *Smaller-the-Best* (STB). Fungsi *desirability* untuk NTB adalah:

$$d_i = \begin{cases} \left(\frac{\hat{y}_i - y_{min}}{T - y_{min}} \right)^r, & y_{min} \leq \hat{y}_i \leq T, r \geq 0 \\ \left(\frac{\hat{y}_i - y_{max}}{T - y_{max}} \right)^r, & T \leq \hat{y}_i \leq y_{max}, r \geq 0 \\ 0, & \hat{y}_i \leq y_{min} \text{ atau } \hat{y}_i \geq y_{max} \end{cases} \quad (2.14)$$

Fungsi *desirability* untuk LTB adalah:

$$d_i = \begin{cases} 0, & \hat{y}_i \leq y_{min} \\ \left(\frac{\hat{y}_i - y_{min}}{y_{max} - y_{min}} \right)^r, & y_{min} \leq \hat{y}_i \leq y_{max}, r \geq 0 \\ 1, & \hat{y}_i \geq y_{max} \end{cases} \quad (2.15)$$

Fungsi *desirability* untuk STB adalah:

$$d_i = \begin{cases} 1, & \hat{y}_i \leq y_{min} \\ \left(\frac{\hat{y}_i - y_{max}}{y_{min} - y_{max}} \right)^r, & y_{min} \leq \hat{y}_i \leq y_{max}, r \geq 0 \\ 0, & \hat{y}_i \geq y_{max} \end{cases} \quad (2.16)$$

dimana:

- d_i = nilai *desirability* pada respon ke- i
 \hat{y}_i = nilai prediksi pada respon ke- i
 y_{min} = nilai batas bawah
 y_{max} = nilai batas atas
 T = nilai target

Sementara r adalah bobot yang ditentukan oleh peneliti. Bobot ini bernilai antara 0,1 sampai 10. Ketika bobot tersebut bernilai 0,1 atau dibawah 1 maka nilai respon

yang jauh dari target mungkin memberikan *desirability* yang tinggi. Sementara jika bobot bernilai 1 maka *desirability* untuk respon akan meningkat linier, dan jika bobot bernilai 10 maka nilai respon yang sangat dekat dari target memiliki *desirability* tinggi. Ilustrasi bobot tersebut seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Bobot *desirability*, dari kiri ke kanan: STB, NTB, LTB.

Setelah memperoleh nilai *desirability* untuk tiap respon, maka selanjutnya membuat matriks *pay-off* nilai *desirability* dengan struktur seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Struktur matriks *pay-off* untuk nilai *desirability*.

	$\tilde{d}_1(X)$	...	$\tilde{d}_m(X)$
$\tilde{X}^{(1)}$	$\tilde{d}_{11}(X)$	...	$\tilde{d}_{1m}(X)$
\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
$\tilde{X}^{(m)}$	$\tilde{d}_{m1}(X)$	...	$\tilde{d}_{mm}(X)$

$\tilde{X}^{(k)}$ adalah level faktor fuzzy optimum dari respon ke- k dengan $k=1, \dots, m$ dan $\tilde{d}_{ij}(X)$ adalah nilai *desirability* respon ke- j dengan mengganti level faktor fuzzy menggunakan level faktor fuzzy optimum respon ke- i ($i=1, \dots, m; j=1, \dots, m$). Jadi diperoleh:

$$\begin{aligned} \tilde{U}_k &= (U_k^l, U_k^m, U_k^u) = \tilde{d}_{kk} \\ \tilde{L}_k &= (L_k^l, L_k^m, L_k^u) = \text{Min}(\tilde{d}_{1k}, \dots, \tilde{d}_{mk}) \end{aligned} \quad (2.17)$$

8. Mendefinisikan fungsi deviasi dan membuat matriks *pay-off* untuk nilai deviasi.

Apabila ada $\tilde{Y}_k = (Y_k^l, Y_k^m, Y_k^u)$ maka $D_k = Y_k^u - Y_k^l$ dengan $k=1, \dots, m$.

Fungsi deviasi bertujuan untuk membuat eksperimen robust, sehingga diinginkan untuk mengurangi atau menurunkan nilai dari fungsi deviasi respon ke- k . Tabel 2.4 adalah bentuk matriks *pay-off* untuk nilai deviasi.

Tabel 2.4 Struktur matriks *pay-off* untuk nilai deviasi.

	$\tilde{D}_1(X)$	\dots	$\tilde{D}_m(X)$
$\tilde{X}^{(1)}$	$\tilde{D}_{11}(X)$	\dots	$\tilde{D}_{1m}(X)$
\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
$\tilde{X}^{(m)}$	$\tilde{D}_{m1}(X)$	\dots	$\tilde{D}_{mm}(X)$

Melalui matriks *pay-off* nilai deviasi, dapat diperoleh:

$$\begin{aligned} \tilde{P}_k &= (P_k^l, P_k^m, P_k^u) = \tilde{D}_{kk} \\ \tilde{Q}_k &= (Q_k^l, Q_k^m, Q_k^u) = \text{Max} (\tilde{D}_{1k}, \dots, \tilde{D}_{mk}) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Apabila nilai pada \tilde{Q}_k sama dengan \tilde{P}_k maka nilai tersebut diganti dengan nilai maksimum yang tidak sama dengan \tilde{P}_k .

9. Mendefinisikan 2 model objektif untuk model *multi response surface*.

Permasalahan *multi response surface* (MRS) dapat diselesaikan menggunakan *Multi Objective Decision Making* (MODM). Dalam hal ini maka digunakan *fuzzy MODM* seperti yang digunakan oleh Lai dan Hwang (1992). Model akhir yang diperoleh adalah 2 model objektif seperti berikut:

$$\begin{aligned} \text{Max} \{ \tilde{d}_{ij}(X) \} \\ \text{Min} \{ \tilde{D}_{ij}(X) \} \end{aligned} \quad (2.19)$$

dengan $X \in R_{(\text{Faktor Level})}$

Model objektif pertama seperti pada langkah 7, model objektif kedua seperti pada langkah 8, dan $X \in R_{(\text{Faktor Level})}$ menunjukkan daerah penerimaan eksperimen, misal $[-1,1]$.

10. Mengkonversikan 2 model objektif menjadi 1 model objektif.

Untuk mengkonversikan kedua model menjadi satu maka digunakan derajat kepuasan (*degrees of satisfaction*) dari *desirability* dan *robust*. Fungsi yang menyatakan derajat kepuasan *desirability* dan *robust* adalah

$$\begin{aligned} \tilde{S}(X) &= (S^l(X), S^m(X), S^u(X)) \text{ dan} \\ \tilde{T}(X) &= (T^l(X), T^m(X), T^u(X)). \end{aligned}$$

Apabila $\tilde{d}_k = (d_k^l, d_k^m, d_k^u)$ maka untuk respon ke- k diperoleh:

$$\tilde{S}_k(X) = \begin{cases} 0, & \tilde{d}_k(X) \leq \tilde{L}_k \\ \frac{\tilde{d}_k(X) - \tilde{L}_k}{\tilde{U}_k - \tilde{L}_k}, & \tilde{L}_k \leq \tilde{d}_k(X) \leq \tilde{U}_k \\ 1, & \tilde{d}_k(X) \geq \tilde{U}_k \end{cases} \quad (2.20)$$

$$\tilde{T}_k(X) = \begin{cases} 1, & \tilde{D}_k(X) \leq \tilde{P}_k \\ \frac{\tilde{Q}_k - \tilde{D}_k(X)}{\tilde{Q}_k - \tilde{P}_k}, & \tilde{P}_k \leq \tilde{D}_k(X) \leq \tilde{Q}_k \\ 0, & \tilde{D}_k(X) \geq \tilde{Q}_k \end{cases} \quad (2.21)$$

sehingga dimungkinkan untuk memaksimalkan kedua fungsi $S_k^l, T_k^l, S_k^m, T_k^m$, dan S_k^u, T_k^u secara terpisah untuk memperoleh $\tilde{S}_k = (S_k^l, S_k^m, S_k^u)$ dan $\tilde{T}_k = (T_k^l, T_k^m, T_k^u)$. Untuk tujuan ini dapat digunakan:

$$\begin{aligned} &Max \tilde{S}_k(X), k = 1, \dots, m \\ &Max \tilde{T}_k(X), k = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (2.22)$$

dengan $X \in R_{(Faktor\ Level)}$

Selanjutnya digunakan operator Max-Min Zimmerman (1987) untuk mengkonversi m objektif menjadi satu dengan cara memaksimalkan derajat kepuasan minimum dari m objektif.

11. Menentukan level faktor *fuzzy* optimum dengan menyelesaikan model 1 objektif.

Setelah menyelesaikan model untuk l, m , dan u secara terpisah, level faktor optimum diperoleh dari $X_l^* = (x_1^{l*}, \dots, x_K^{l*})$, $X_m^* = (x_1^{m*}, \dots, x_K^{m*})$, dan $X_u^* = (x_1^{u*}, \dots, x_K^{u*})$ dengan K adalah jumlah level faktor. Jadi level faktor *fuzzy* optimum adalah $\tilde{X}^* = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_K) = ((x_1^{l*}, x_1^{m*}, x_1^{u*}), \dots, (x_K^{l*}, x_K^{m*}, x_K^{u*}))$.

2.5 Tinjauan Umum Plastik

Plastik adalah sebuah polimer yang bersifat elastik. Plastik adalah polimer rantai panjang dari atom yang mengikat satu sama lain. Plastik berasal dari produk polimer sintetik atau semi-sintetik, namun ada pula polimer alami yang termasuk plastik (Ningsih, 2010). Keuntungan dalam penggunaan plastik adalah sebagai berikut:

1. Plastik mudah dicetak sehingga tidak memerlukan pembuatan bentuk yang rumit.
2. Plastik memiliki berat jenis yang rendah sehingga produknya ringan.
3. Plastik tahan terhadap korosi.
4. Plastik bersifat fleksibel.

Belofsky (1995) mengemukakan bahwa polimer adalah bahan yang molekul-molekulnya terdiri dari monomer-monomer, yaitu unsur-unsur Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N), dan Halogen (F, Cl, Br, I). Polimerisasi merupakan istilah yang digunakan untuk proses pembuatan polimer. Hasil dari polimerisasi adalah resin. Ada 2 jenis resin yaitu *termoplastic* dan *termosetting*. *Termoplastic* dan *termosetting* sama-sama bersifat padat apabila berada pada suhu kamar, dan polimerisasi terjadi pada saat proses pembuatan bahan baku. Yang membedakan keduanya adalah *termoplastic* memiliki struktur *pasical* dimana ikatan atomnya berubah namun jumlah unsurnya tetap, sedangkan pada *termosetting* memiliki sifat *chemical*. Belofsky (1995) juga menjelaskan bahwa ada 5 jenis plastik yang secara umum digunakan dalam industri kemasan plastik, yaitu:

1. *Polyethylene* (PE). PE adalah sebuah polimer yang hanya terdiri dari karbon dan hidrogen. PE dibentuk dari polimerisasi etana yang dihasilkan dari polimerisasi radikal, polimerisasi aditif anionik, polimerisasi koordinasi ion, atau polimerisasi aditif kationik (Azeem, 2008). Berdasarkan berat jenis atau densitas dan pencabangannya, PE dibagi menjadi kategori sebagai berikut:
 - *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE)
 - *Ultra Low Molecular Weight Polyethylene* (ULMWPE atau PE-WAX)
 - *High Molecular Weight Polyethylene* (HMWPE)
 - *High Density Polyethylene* (HDPE)
 - *High Density Cross-linked Polyethylene* (HDXLPE)
 - *Cross-linked Polyethylene* (PEX atau LPE)

- *Medium Density Polyethylene* (MDPE)
- *Linear Low Density Polyethylene* (LLDPE)
- *Low Density Polyethylene* (LDPE)
- *Very Low Density Polyethylene* (VLDPE).

Dari berbagai macam PE tersebut, yang paling sering digunakan dan dikenal adalah HDPE, LLDPE, dan LDPE. PE memiliki sifat lebih kuat, kaku (dibanding dengan material lainnya), transparan namun agak buram, tahan terhadap solven, daya elektrostatis kecil, dan kepadatan pori-pori baik.

2. *Polypropylene* (PP).

Polypropylene adalah polimer termoplastik yang dapat didaur ulang. PP adalah polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi propilena. PP banyak digunakan dalam industri kemasan makanan, tekstil, plastik, wadah, dan komponen otomotif (Mujiarto, 2008). Ada 2 jenis PP, yaitu:

- *Polypropylene Homopolimer* yang dalam pembuatannya tidak banyak ada zat aditif dan merupakan proses polimerisasi awal.
- *Polypropylene Kopolimer* yang ada penambahan zat aditif tertentu agar merubah material menjadi ke tingkat yang lebih baik.
- PP memiliki sifat yang *transducent*, kepadatan pori-pori rendah, fleksibel, tahan terhadap solven, ketahanan pukul lebih rendah, dan harus melalui proses *pre-heating* dalam pencetakan.

3. *Polystyrene* (PS).

Polystyrene adalah hasil polimerisasi dari monomer-monomer stirena. Monomer stirena diperoleh dari hasil proses dehidrogenisasi etil benzene dengan bantuan katalis. PS memiliki sifat kaku, keras, memiliki bunyi metalik jika dijatuhkan, tahan terhadap bahan kimia rendah, kekuatan permukaan relatif lebih keras namun mudah tergores, transparan, bersifat elektrik, dan konduktivitas panas rendah (Mujiarto, 2008).

4. *Polivnyl Clorida (PVC)*.

PVC adalah hasil polimerisasi monomer vinil klorida dengan bantuan katalis. Katalis yang digunakan tergantung pada jenis proses polimerisasi yang dilakukan (Mujiarto, 2008). Ada beberapa macam PVC, yaitu:

- *PVC Normal Impact*
- *PVC Medium Impact*
- *PVC High Impact*
- *PVC Super High Impact*.

Semakin banyak *impact modifier* dalam material maka akan semakin kuat material tersebut. PVC memiliki sifat jernih, kaku namun jika diberi *plasticizer* menjadi lunak, tidak tahan solven, bersifat elektrik, mudah terbakar, kepadatan pori-pori baik, dan aroma tidak sedap (dari klorida).

5. *Polyethylene Terephtalate (PET)*.

PET adalah polimer yang terdiri dari glikol (EG) dan *Terephtalic Acid* (TPA) atau *Dimetyl Ester* atau *Terephtalate Acid* (DMT). PET adalah keluarga polister. PET memiliki sifat jernih, kuat, dimensi stabil, tahan nyala api, tidak beracun, kepadatan pori-pori tinggi, dan ketahanan pukul sangat tinggi (Mujiarto, 2008).

2.6 Produk Plastik PT. AAM

PT. AAM adalah salah satu perusahaan yang bergerak di industri kemasan plastik. PT. AAM merupakan perusahaan yang berlokasi di Cikarang dan di Surabaya. PT. AAM memproduksi kemasan plastik untuk kosmetik, makanan, minuman, kimia, farmasi, dan item bebas. Item bebas merupakan produk yang desainnya terserah produsen dan merupakan produk untuk umum sedangkan produk kosmetik, makanan, minuman, kimia, dan farmasai yang tergolong dalam item eksklusif memiliki desain sesuai dengan permintaan konsumen. Ukuran produk yang dihasilkan berkisar pada 5 mililiter sampai 30 liter. Gambar 2.6

merupakan gambar produk item bebas yang diproduksi PT. AAM.



Gambar 2.6 Produk item bebas PT. AAM

PT. AAM memiliki konsumen 10 perusahaan nasional dan 16 perusahaan multinasional. Fasilitas produksi pada PT. AAM didukung oleh *mesin blow molding*, *mesin injection molding*, *mesin injection blow molding*, *mesin injection stretch blow molding*, *mesin plastic tube making 5 layer*, *decoration machine*, *central vacuum*, dan *dozing unit*. Desain produk dan cetakan yang digunakan di PT. AAM menggunakan *software auto cad* dan *uni graphic*, baik dalam mendesain komputerisasi maupun mendesain bentuk .

2.7 Proses Blow Molding

Metode pemrosesan utama pada produk plastik adalah *injection molding*, *extrusion*, *thermoforming*, *blow molding*, *rotational molding*, *compression molding*, *composites processing*, dan *casting*. Terdapat pula metode-metode lain, namun kebanyakan merupakan variasi dari model-model tersebut (Muccio, 1991). *Blow molding* adalah proses meniupkan udara panas ke bahan botol untuk dicetak. Proses *blow mold* pertama kali digunakan oleh Syrians dalam pembuatan kaca bohlam. Saat ini metode *blow mold* dapat digunakan pula dalam pembentukan material plastik dengan cara meniupkan suatu fluida ke dalam cetakan untuk membentuk suatu bentuk yang diinginkan.

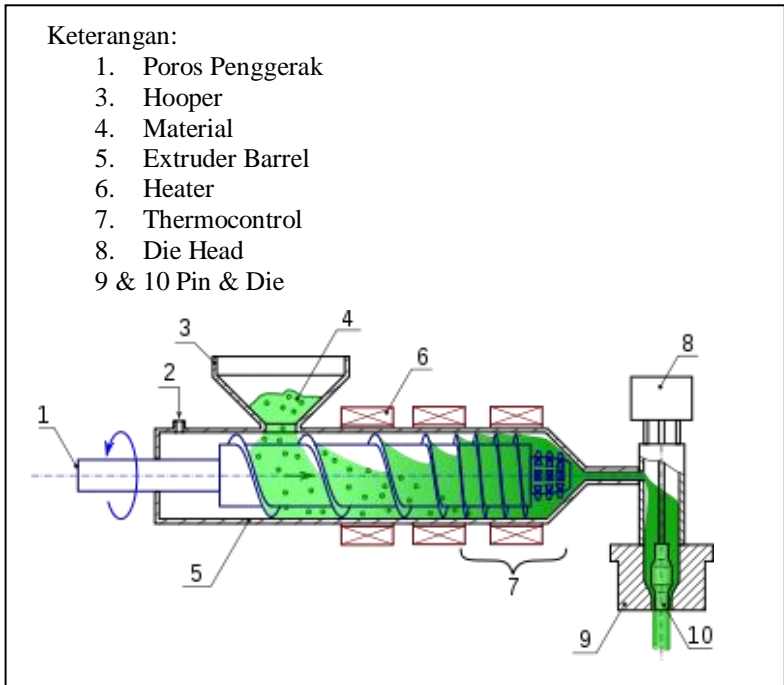
Peralatan *blow molding* dasar ditunjukkan pada Gambar 2.7 (Amalia, 2013). Pada proses *blow molding*, material yang terdiri dari mumi dan afval masuk melalui *hooper* menuju

barrel. *Barrel* memiliki beberapa *heater* (pemanas) disekitarnya dengan jarak tertentu. Kemudian material ini melalui *screw* yang beralur dan berputar. Material mendapatkan panas dari gesekan antara *barrel* dan *screw* serta mendapatkan pemanasan dari *heater*. Pemanasan ini menyebabkan material meleleh. Lelehan material keluar melalui *die head*. Lelehan material yang keluar berbentuk selongsong yang disebut *parison*. Suhu lelehan material berkisar pada 90^0 C. *Parison* memiliki besar sesuai dengan diameter kem dan *dusenya*. *Parison* kemudian turun dan ditangkap oleh *mould* (cetakan). Di dalam *mould*, *parison* ditiup sehingga terbentuk sesuai cetakan dan berongga. *Mould* harus berada dalam kondisi dingin. Hal ini dimaksudkan agar botol yang dicetak tidak berubah bentuk (deformasi). Setelah botol terbentuk, maka botol dikeluarkan dari *mould*.

Dalam *blow molding*, terdapat 2 sistem pengeluaran *parison*, yaitu *continue parison* dan *discontinue parison*. Dalam sistem *continue parison*, *parison* akan keluar secara terus-menerus melalui *extruder unit*. Sebaliknya dalam sistem *discontinue parison*, *parison* yang keluar dari *extruder* ditampung dalam *accumulator unit* dan keluar secara *discontinue*. Sistem konstruksi *blow molding* ada 2 yaitu *single station* dan *double station*. Yang membedakan konstruksi *blow molding* adalah jumlah cetakannya. Pada *single station* memiliki 1 cetakan (*wagon*) dan pada *double station* memiliki 2 cetakan.

Rangkaian mesin mulai dari daerah bawah *hooper*, pertengahan *extruder*, ujung *extruder*, dalam *die head*, sampai dengan ujung *pin* dan *die* memiliki ruangan yang semakin kecil volumenya. Volume ruangan yang makin kecil ini menyebabkan material plastik mengalami kompresi atau penempatan yang makin tinggi. Ketika *parison* keluar dari *pin* dan *die*, maka *parison* akan menjadi bengkak. Besarnya pembengkakan ditentukan dari tinggi-rendahnya tingkat kompresi. Ukuran atau nilai pembengkakan ini disebut *swelling factor*. Material yang sulit leleh memerlukan tingkat kompresi yang lebih tinggi, seperti nylon, PE, dan PP.

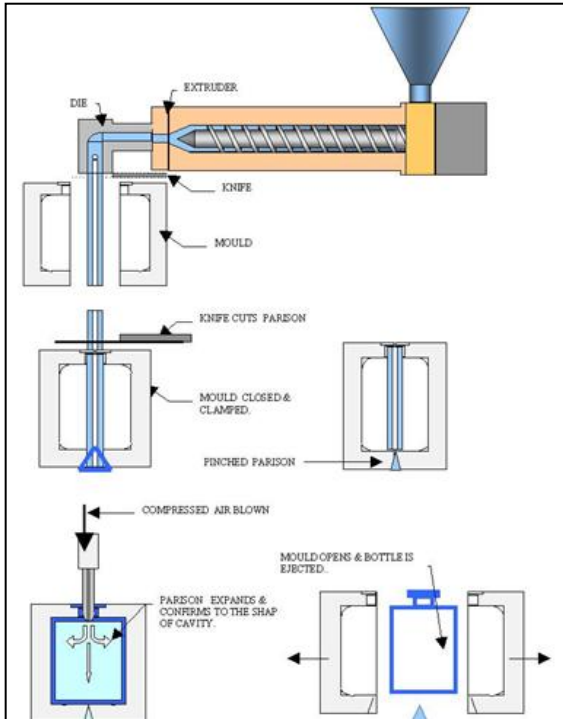
Sementara material seperti PVC dan PC cukup diberikan tingkat kompresi yang rendah. Tingkat kompresi sangat penting untuk menentukan ukuran *pin* dan *die* maupun lebar pemotongan dalam perencanaan *mould* dan *tooling*.



Gambar 2.7 *Blow molding* dasar.

Rangkaian yang ada dalam mesin *blow molding* terdiri dari 3 bagian, yaitu *extruder unit*, *clamping unit*, dan *calibration unit*. Pada *extruder unit* terdapat *hooper*, *extruder barrel*, *screw*, *die head*, *pin*, dan *die*. *Extruder unit* memproses masuk dan memproses pencampuran material yang kemudian dibawa melalui *barrel* oleh *screw* dan keluar dari *die head* dalam bentuk *parison*. Selanjutnya pada *clamping unit* terdapat unit *wagon* dan *mould*. Dalam *clamping unit* ini, *parison* akan ditangkap dan dicetak. Terakhir adalah *calibration unit* yang memiliki unit *blowpin*. Pada *calibration unit* terdapat proses berjalannya *blowpin* ke mulut *mould*

untuk meniupkan udara pada *mould* yang berisi *parison* siap cetak.



Gambar 2.8 Proses pembentukan botol.

Proses yang terjadi dalam pencetakan (pembentukan botol) adalah sebagai berikut:

1. *Mould* menangkap *parison*. *Parison* dipotong. *Mould* bergerak pindah ke bawah *blow pin*.
2. *Blowpin* bergerak turun untuk meniup *parison*, lalu hasil cetak *parison* didinginkan dalam *mould*.
3. Setelah dingin, *mould* akan membuka dan bergerak ke bawah *die head* untuk menangkap *parison* lagi. *Blowpin* mencengkeram mulut produk lalu bergerak dan produk terbawa *blow pin*.
4. *Blowpin* naik terus hingga produk tertahan oleh sarang *blowpin* sehingga produk terlepas dari *blowpin* dan jatuh ke tempat yang disediakan.

Secara rinci, mesin *blow molding* memiliki bagian-bagian sebagai berikut:

1. *Die head*. Jenis *die head* dapat ditinjau dari masuknya material plastik, kegunaannya, dan gerakan mesinnya. Berdasarkan masuknya material, *die head* dibagi menjadi *axial flow* dan *radial flow*. *Axial flow* digunakan untuk penggunaan umum. *Axial flow* memiliki konstruksi yang rumit, *lifetime* pendek, dan harga mahal karena *sparepart* yang digunakan harus memadai. Sebaliknya, *radial flow* memiliki desain konstruk yang tidak rumit, *lifetime* panjang, dan harga murah. Berdasarkan kegunaannya, *die head* dibagi menjadi *single cavity* dan *multi cavity*. Sedangkan berdasarkan gerakan mesinnya, *die head* dibagi menjadi 2 yaitu naik-turun *parison* dan naik-turun *die head*.
2. *Screw*. *Screw* berfungsi untuk mentransmisikan material dan mengkompresinya keluar *barrel*. Berdasarkan jenis material, *screw* dapat dibagi menjadi *screw* PVC dan *screw* PE. *Screw* PVC digunakan untuk material PVC dan sejenisnya. Ciri-ciri *screw* PVC adalah ujungnya runcing, bagian dalam berongga, dan pengaturan kelurusan *parison* dapat dilakukan dengan mengatur jumlah angin yang mendinginkan *screw* (*die pin* sudah di *center*). Sedangkan *screw* PE digunakan khusus untuk material PE dan PP. Ciri-ciri *screw* PE adalah tidak berongga, ujung tumpul, dan ada *breaker plate*.
3. *Cutting*. *Cutting* adalah pemotongan produk. Ada 3 macam *cutting*, yaitu *cold cutting*, *hot cutting*, dan *welding cutting*. *Cold cutting* menggunakan metode pengirisan sabit rumput dan digunakan untuk produk lunak. *Cold cutting* digunakan untuk memotong material yang tidak bisa dipotong dengan *hot cutting*, seperti PVC. Keuntungan *cold cutting* adalah biaya murah. Sebaliknya, *hot cutting* digunakan untuk memotong produk yang tidak dapat dipotong oleh *cold cutting* seperti PP. Sementara *welding cutting* adalah proses pemotongan yang dilengkapi dengan penjepit yang menggerakkan *cutting*

seperti gunting, dipakai untuk produk berdimensi besar, dan memiliki *mould* yang kompleks.

4. *Tooling*. *Tooling* adalah perlengkapan yang harus ada pada *blow mold* pada saat proses *moulding*. *Tooling* yang dimaksud adalah *pin*, *die*, dan *blowpin*. *Blowpin* adalah bagian dari *calibrating unit* yang berfungsi sebagai peniup *parison* agar mengembang, pembentuk mulut botol, membawa *cutting sleeve* untuk memotong kelebihan *parison*, dan mendinginkan botol dari arah dalam. Sedangkan *pin* dan *die* adalah bagian dari *extruder unit* yang berfungsi sebagai pembentuk *parison*. Ukuran *pin* dan *die* yang sesuai dapat dihitung jika berat botol dan material plastiknya sudah ditentukan. Dalam menghitung ukuran *pin* dan *die*, perlu menentukan terlebih dahulu diameter *die* agar *parison* tidak terlalu kecil atau terlalu besar.

Mesin *blow molding* yang digunakan di PT. AAM adalah mesin BEKUM, mesin B&W, mesin BATTENFELD FISHER dan mesin Kautex. Mesin *blow molding* jenis BEKUM BM 08 buatan Jerman adalah mesin *blow molding* dengan *screw* diameter 50 mm, jumlah *wagon* 2, motor 8 HP, dan konsumsi tenaga 15 KW seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Mesin *blow molding* PT. AAM

Dalam mesin *blow molding*, terdapat cetakan yang berfungsi untuk membentuk plastik sesuai dengan desain (cetakan). PT. AAM memiliki beberapa fasilitas pembuat cetakan, yaitu CNC *Sentering Milling Machine*, *EDM*, *File projector*, dan *benchwork activity*. *Mold* dan *moldparts* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Mold dan moldparts* PT. AAM

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang diambil dari penelitian yang dilakukan oleh Rodhy Amrillah (2006) Program Studi Sarjana Teknik Mesin yang meneliti tentang penentuan *setting* parameter pada proses *blow molding* dengan metode *response surface* pada produk Chamomile 60 ml. *Setting* parameter yang dimaksud adalah temperatur *barrel*, *blowing time*, dan *blowing pressure*.

Tabel 3.1 Struktur data rancangan percobaan orde pertama.

No eksp.	Level faktor			Respon					
	Temp. Barrel	Blowing Time	Blowing Pressure	Volume isi botol			Diameter mulut dalam		
				$y_{i,11}$	...	$y_{i,16}$	$y_{i,21}$	...	$y_{i,26}$
1	-1	-1	-1	$y_{1,11}$	...	$y_{1,16}$	$y_{1,21}$	...	$y_{1,26}$
2	-1	-1	1	$y_{2,11}$	...	$y_{2,16}$	$y_{2,21}$	...	$y_{2,26}$
3	-1	1	-1	$y_{3,11}$	...	$y_{3,16}$	$y_{3,21}$	...	$y_{3,26}$
4	-1	1	1	$y_{4,11}$	...	$y_{4,16}$	$y_{4,21}$	...	$y_{4,26}$
5	1	-1	-1	$y_{5,11}$	...	$y_{5,16}$	$y_{5,21}$	...	$y_{5,26}$
6	1	-1	1	$y_{6,11}$	...	$y_{6,16}$	$y_{6,21}$	...	$y_{6,26}$
7	1	1	-1	$y_{7,11}$	...	$y_{7,16}$	$y_{7,21}$	...	$y_{7,26}$
8	1	1	1	$y_{8,11}$	...	$y_{8,16}$	$y_{8,21}$	...	$y_{8,26}$

dengan:

$y_{i,kr}$ = nilai respon ke- k replikasi ke- r eksperimen ke- i .

i = banyak eksperimen, dengan $i = 1, 2, \dots, 8$

k = banyak respon, dengan $k = 1, 2$.

r = replikasi, dengan $r = 1, 2, \dots, 6$.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan percobaan orde satu dan orde dua. Rancangan percobaan orde satu menggunakan rancangan percobaan faktorial. Pada percobaan orde pertama terdapat 8 observasi seperti ditampilkan pada Tabel 3.1. Level parameter yang digunakan adalah -1 dan 1. Sementara pada percobaan orde kedua terdapat 20 observasi. Rancangan percobaan orde kedua menggunakan rancangan percobaan *Central Composite Design*

(CCD) seperti pada Tabel 3.2 dengan 5 level faktor. Desain CCD digunakan karena dianggap mampu untuk mendekati respon optimum dari berbagai arah. CCD terdiri dari titik faktorial, titik *central* dan titik *axial*. Titik *axial* yang digunakan dalam penelitian ini adalah $\alpha = 2^{3/4} = 1,682$.

Jumlah titik faktorial = $2^{(jumlah faktor)} = 2^3 = 8$.

Jumlah titik *central* = $2 \times jumlah faktor = 2 \times 3 = 6$.

Jumlah titik *axial* = 6.

Sehingga jumlah observasi = $8 + 6 + 6 = 20$.

Pada masing-masing percobaan dilakukan pengulangan atau replikasi sebanyak 6 kali dengan mengukur volume dan diameter mulut dalam botol pada masing-masing kombinasi level faktor.

Tabel 3.2 Struktur data rancangan percobaan orde kedua.

No eksp.	Level faktor			Respon					
	Temp. Barrel	Blowing Time	Blowing Pressure	Volume isi botol			Diameter mulut dalam		
				$y_{i,11}$	...	$y_{i,16}$	$y_{i,21}$	...	$y_{i,26}$
1	-1	-1	-1	$y_{1,11}$	...	$y_{1,16}$	$y_{1,21}$	...	$y_{1,26}$
2	-1	-1	1	$y_{2,11}$	...	$y_{2,16}$	$y_{2,21}$	...	$y_{2,26}$
3	-1	1	-1	$y_{3,11}$	...	$y_{3,16}$	$y_{3,21}$	...	$y_{3,26}$
4	-1	1	1	$y_{4,11}$	...	$y_{4,16}$	$y_{4,21}$	...	$y_{4,26}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
8	1	1	1	$y_{8,11}$	...	$y_{8,16}$	$y_{8,21}$	...	$y_{8,26}$
9	0	0	-1,682	$y_{9,11}$	...	$y_{9,16}$	$y_{9,21}$	...	$y_{9,26}$
10	0	0	1,682	$y_{10,11}$	...	$y_{10,16}$	$y_{10,21}$	...	$y_{10,26}$
11	0	-1,682	0	$y_{11,11}$	...	$y_{11,16}$	$y_{11,21}$	...	$y_{11,26}$
12	0	1,682	0	$y_{12,11}$	...	$y_{12,16}$	$y_{12,21}$	...	$y_{12,26}$
13	-1,682	0	0	$y_{13,11}$	...	$y_{13,16}$	$y_{13,21}$	...	$y_{13,26}$
14	1,682	0	0	$y_{14,11}$	...	$y_{14,16}$	$y_{14,21}$	...	$y_{14,26}$
15	0	0	0	$y_{15,11}$	...	$y_{15,16}$	$y_{15,21}$	...	$y_{15,26}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
19	0	0	0	$y_{19,11}$	...	$y_{19,16}$	$y_{19,21}$	...	$y_{19,26}$
20	0	0	0	$y_{20,11}$	...	$y_{20,16}$	$y_{20,21}$	...	$y_{20,26}$

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 macam yaitu variabel proses dan variabel respon. Respon yang diukur dalam penelitian ini adalah:

1. Volume isi botol (ml) : Y_1

Volume isi botol diperoleh melalui pengukuran menggunakan timbangan digital. Pengukuran dilakukan dengan cara mengukur massa cairan dan massa jenis cairan, sehingga volume cairan dapat diketahui. Volume cairan adalah sama dengan volume isi botol. Untuk mengukur volume isi botol, sebelumnya timbangan harus diberi input massa jenis cairan yang akan digunakan untuk mengisi botol tersebut. Dalam hal ini, hukum fisika diaplikasikan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V}$$
$$V = \frac{m}{\rho}$$

Dengan V = volume cairan (volume isi botol)

m = massa cairan

= massa botol berisi cairan – massa botol kosong

ρ = massa jenis cairan

2. Diameter mulut dalam botol (mm) : Y_2

Diameter mulut dalam botol dapat diukur menggunakan jangka sorong digital. Pengukuran diameter mulut dalam botol dilakukan pada 2 tempat, yaitu bagian *parting line* dan bagian *non parting line*. *Parting line* merupakan bagian botol yang terdapat bekas jepitan cetakan, sedangkan *non parting line* adalah bagian kecuali *parting line*. Diameter mulut dalam botol, merupakan rata-rata diameter mulut dalam bagian *parting line* dan diameter mulut dalam bagian *non parting line*.

Dalam pengukuran ini, volume diukur mulai dari bagian bawah botol sampai mulut botol. Akibatnya terdapat hubungan antara volume isi botol dan diameter mulut dalam botol. Namun dalam penelitian ini keduanya dianggap saling independen. Karakteristik kualitas tersebut memiliki spesifikasi yaitu 68 ± 2 mililiter untuk volume isi botol dan $8,1 \pm 0,1$ milimeter untuk diameter mulut dalam botol. Sedangkan variabel proses yang digunakan pada penelitian ini seperti tersaji dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Variabel proses penelitian

Kode	Variabel	Level
X ₁	Temperatur <i>barrel</i> (°C)	Level -1,682 : 174 °C
		Level -1 : 181 °C
		Level 0 : 191 °C
		Level 1 : 201 °C
		Level 1,682 : 208 °C
X ₂	<i>Blowing time</i> (detik)	Level -1,682 : 7,2 detik
		Level -1 : 7,9 detik
		Level 0 : 8,9 detik
		Level 1 : 9,9 detik
		Level 1,682 : 10,6 detik
X ₃	<i>Blowing pressure</i> (kg/cm ²)	Level -1,682 : 4,3 kg/cm ²
		Level -1 : 5,0 kg/cm ²
		Level 0 : 6,0 kg/cm ²
		Level 1 : 7,0 kg/cm ²
		Level 1,682 : 7,7 kg/cm ²

Temperatur *barrel* merupakan pengatur suhu permukaan *barrel* yang berfungsi agar material yang masuk dapat didorong oleh *screw* dan ketika material dilelehkan tidak terlalu lembek atau tidak terlalu padat. *Blowing time* adalah waktu yang digunakan untuk meniup *parison* dalam *mould*. *Blowing time* memberikan pengaruh pada dimensi botol, karena jika terlalu lama akan membuat botol menyusut dan jika terlalu pendek akan membuat botol tidak stabil. Sementara *blowing pressure* adalah tekanan yang dibutuhkan untuk meniup *parison* dalam *mould*. Apabila tekanan yang diberikan terlalu tinggi maka botol yang dihasilkan akan tidak sesuai spesifikasi, namun jika terlalu rendah maka bentuknya akan tidak sempurna.

3.3 Langkah Penelitian

Langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan rancangan percobaan yang digunakan.
2. Melakukan pengukuran menggunakan rancangan percobaan orde pertama.

3. Melakukan analisis *response surface* untuk masing-masing replikasi di tiap respon pada orde pertama.
4. Menguji signifikansi dan memeriksa asumsi residual IIDN dari model regresi *response surface* dari orde pertama.
5. Melakukan pengukuran menggunakan rancangan percobaan orde kedua.
6. Melakukan analisis *response surface* untuk masing-masing replikasi pada respon orde kedua.
7. Menguji signifikansi dan memeriksa asumsi residual IIDN dari model regresi *response surface* dari orde kedua.
8. Melakukan analisis *multiresponse surface* dengan *fuzzy programming* sesuai algoritma Bashiri & Hosseininezhad (2009).
9. Menginterpretasi hasil.
10. Membuat kesimpulan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, analisis dan pembahasan dilakukan pada data hasil percobaan dari penelitian Amrillah (2006) tentang penentuan *setting* temperatur *barrel* (X_1), *blowing time* (X_2), dan *blowing pressure* (X_3) pada proses *blow molding* dengan metode *response surface* pada produk Chamomile 60 ml. Data penelitian ditunjukkan pada Lampiran 1 dan Lampiran 2.

4.1. Analisis *Response Surface Fuzzy Programming*

Analisis *response surface* diaplikasikan pada tiap replikasi untuk mengetahui faktor apa saja yang berpengaruh terhadap respon dan seberapa besar pengaruhnya. Data yang diperoleh melalui percobaan orde pertama seperti yang ada pada Lampiran 1. Dalam analisis *response surface* tiap replikasi, Y_r^k menunjukkan model regresi *response surface* untuk respon ke- k replikasi ke- r yang diperoleh dari data eksperimen, dengan $k=1,2$. $k=1$ adalah respon volume isi botol dan $k=2$ adalah respon diameter mulut dalam botol. Hasil *responses surface* orde pertama untuk volume isi botol replikasi pertama ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Koefisien penaksir parameter regresi *response surface* orde pertama respon volume isi botol replikasi pertama.

Bentuk	Koefisien	Koefisien SE	T	P
Konstanta	66,5875	0,1038	641,295	0,000
X1	0,3375	0,1038	3,250	0,031
X2	0,2625	0,1038	2,528	0,065
X3	-	-	-	-

Hasil *response surface* percobaan orde pertama menunjukkan bahwa ada satu faktor yang tidak dapat diestimasi oleh *software* karena jumlah data kurang memenuhi. Akibat analisis tidak dapat dilakukan lebih lanjut,

maka data percobaan orde 2 digunakan. Data percobaan orde 2 merupakan percobaan *Central Composite Design* (CCD) seperti pada Lampiran 2.

Pada analisis *response surface* data percobaan orde 2, untuk masing-masing replikasi diperoleh koefisien penaksir parameter regresi *response surface* dengan minimal ada satu replikasi yang telah memenuhi asumsi IIDN dan signifikansi. Pemodelan regresi *response surface* yang diuji cobakan ada 4 macam yaitu model linier, model kuadratik, model interaksi, dan model kuadratik dengan interaksi. Setelah diuji signifikansi dan pemeriksaan asumsi IIDN, parameter model yang mengandung interaksi tidak signifikan berpengaruh terhadap respon, sementara parameter-parameter pada model linier dan kuadratik berpengaruh signifikan terhadap respon. Untuk mengetahui model mana yang lebih baik antara model linier dan kuaradatik, nilai koefisien determinasi (R^2) digunakan sebagai tolok ukur. Karena nilai koefisien determinasi yang diperoleh pada pemodelan kuadratik lebih besar daripada model linier, maka model terbaik yang diperoleh merupakan model kuadratik seperti Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Koefisien penaksir parameter regresi *response surface* volume isi botol (Y_r^1) dan diameter mulut dalam botol (Y_r^2).

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{22}	b_{33}
Y_1^1	67,128	0,275	0,184	0,199	-0,102	-0,155	-0,049
Y_2^1	67,167	0,263	0,206	0,248	-0,083	-0,242	-0,154
Y_3^1	67,165	0,341	0,179	0,238	-0,119	-0,260	-0,119
Y_4^1	66,898	0,306	0,164	0,165	-0,080	-0,222	-0,186
Y_5^1	66,818	0,292	0,186	0,179	-0,107	-0,195	-0,142
Y_6^1	66,851	0,263	0,216	0,182	-0,117	-0,205	-0,134
Y_1^2	8,128	0,021	0,029	0,021	-0,017	-0,028	-0,014
Y_2^2	8,137	0,027	0,023	0,026	-0,021	-0,028	-0,021
Y_3^2	8,135	0,037	0,019	0,028	-0,019	-0,026	-0,018
Y_4^2	8,131	0,028	0,024	0,019	-0,018	-0,026	-0,014
Y_5^2	8,135	0,033	0,026	0,025	-0,020	-0,028	-0,015
Y_6^2	8,136	0,036	0,029	0,0216	-0,017	-0,027	-0,021

Pada replikasi pertama respon volume isi botol, nilai penaksir parameter diperoleh melalui estimasi sebagai berikut:

$$\hat{\beta} = b = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

$$b = \begin{bmatrix} 20,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 13,66 & 13,66 & 13,66 \\ 0,00 & 13,66 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 13,66 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 13,66 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 13,66 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 24,01 & 8,00 & 8,00 \\ 13,66 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 8,00 & 24,01 & 8,00 \\ 13,66 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 8,00 & 8,00 & 24,01 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1338,4 \\ 3,75 \\ 2,51 \\ 2,72 \\ 912,79 \\ 911,94 \\ 913,64 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 0,17 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,07 & 0,07 & 0,07 \\ 0,00 & 0,07 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,07 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,07 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -0,06 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,07 & 0,01 & 0,01 \\ -0,06 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,01 & 0,07 & 0,01 \\ -0,06 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,01 & 0,01 & 0,07 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1338,4 \\ 3,75 \\ 2,51 \\ 2,72 \\ 912,79 \\ 911,94 \\ 913,64 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 67,128 \\ 0,2745 \\ 0,1837 \\ 0,1990 \\ -0,102 \\ -0,155 \\ -0,049 \end{bmatrix}$$

Dengan cara yang sama, penaksir parameter regresi untuk tiap replikasi pada masing-masing respon diperoleh. Nilai koefisien penaksir parameter regresi yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk membentuk koefisien *response surface fuzzy* yang melibatkan rata-rata dan standar deviasi koefisien penaksir parameter. Dalam *response surface fuzzy*, terdapat tiga nilai penaksir koefisien untuk masing-masing parameter yang menggambarkan batas bawah, rata-rata, dan batas atas. Nilai b^l, b^m, b^u diperoleh menggunakan Persamaan 2.13. Pada level *lower*, nilai b^l untuk respon volume isi botol diperoleh dari perhitungan sebagai berikut.

➤ Penaksir parameter konstanta:

$$b_0^l = \frac{b_0^1 + b_0^2 + b_0^3 + b_0^4 + b_0^5 + b_0^6}{6} - stdev(b_0)$$

$$b_0^l = \frac{67,128 + 67,167 + 67,165 + 66,89 + 66,82 + 66,85}{6} - 0,165$$

$$b_0^l = 66,839$$

- Penaksir parameter x_1

$$b_1^l = \frac{b_1^1 + b_1^2 + b_1^3 + b_1^4 + b_1^5 + b_1^6}{6} - stdev(b_1)$$

$$b_1^l = \frac{0,275 + 0,263 + 0,341 + 0,306 + 0,292 + 0,263}{6} - 0,030$$

$$b_1^l = 0,259$$

- Penaksir parameter x_2

$$b_2^l = \frac{b_2^1 + b_2^2 + b_2^3 + b_2^4 + b_2^5 + b_2^6}{6} - stdev(b_2)$$

$$b_2^l = \frac{0,184 + 0,206 + 0,179 + 0,164 + 0,186 + 0,216}{6} - 0,018$$

$$b_2^l = 0,170$$

- Penaksir parameter x_3

$$b_3^l = \frac{b_3^1 + b_3^2 + b_3^3 + b_3^4 + b_3^5 + b_3^6}{6} - stdev(b_3)$$

$$b_3^l = \frac{0,199 + 0,248 + 0,238 + 0,165 + 0,179 + 0,182}{6} - 0,034$$

$$b_3^l = 0,168$$

- Penaksir parameter x_{11} atau x_1^2 (kuadrat)

$$b_{11}^l = \frac{b_{11}^1 + b_{11}^2 + b_{11}^3 + b_{11}^4 + b_{11}^5 + b_{11}^6}{6} - stdev(b_{11})$$

$$b_{11}^l = \frac{-0,102 - 0,083 - 0,119 - 0,080 - 0,107 - 0,117}{6} - 0,016$$

$$b_{11}^l = -0,117$$

- Penaksir parameter x_{22} atau x_2^2 (kuadrat)

$$b_{22}^l = \frac{b_{22}^1 + b_{22}^2 + b_{22}^3 + b_{22}^4 + b_{22}^5 + b_{22}^6}{6} - stdev(b_{22})$$

$$b_{22}^l = \frac{-0,155 - 0,242 - 0,260 - 0,222 - 0,195 - 0,205}{6} - 0,037$$

$$b_{22}^l = -0,250$$

- Penaksir parameter x_{33} atau x_3^2 (kuadrat)

$$b_{33}^l = \frac{b_{33}^1 + b_{33}^2 + b_{33}^3 + b_{33}^4 + b_{33}^5 + b_{33}^6}{6} - stdev(b_{33})$$

$$b_{33}^l = \frac{-0,049 - 0,154 - 0,119 - 0,186 - 0,142 - 0,134}{6} - 0,046$$

$$b_{33}^l = -0,177$$

Sementara untuk level *mean*, b_0^m diperoleh:

$$b_0^m = \frac{b_0^1 + b_0^2 + b_0^3 + b_0^4 + b_0^5 + b_0^6}{6}$$

$$b_0^m = \frac{67,128 + 67,167 + 67,165 + 66,89 + 66,82 + 66,85}{6}$$

$$b_0^m = 67,005$$

Dan untuk level *upper* , b_0^u diperoleh dari:

$$b_0^u = \frac{b_0^1 + b_0^2 + b_0^3 + b_0^4 + b_0^5 + b_0^6}{6} + stdev(b_0)$$

$$b_0^u = \frac{67,128 + 67,167 + 67,165 + 66,89 + 66,82 + 66,85}{6} + 0,165$$

$$b_0^u = 67,170$$

Dengan cara yang sama, diperoleh nilai penaksir untuk $b_1, b_2, b_3, b_{11}, b_{22}$, dan b_{33} untuk level *mean* dan *upper* pada respon volume isi botol dan diameter mulut dalam botol. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.3. Nilai standar deviasi koefisien parameter regresi *response surface* dicatat dengan tujuan untuk mendapatkan persamaan deviasi.

Tabel 4.3 Hasil *response surface fuzzy* volume isi botol dan diameter mulut dalam botol.

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{22}	b_{33}
Stdev ⁽¹⁾	0,165	0,030	0,018	0,034	0,016	0,037	0,046
$b^{l(1)}$	66,839	0,259	0,170	0,168	-0,117	-0,250	-0,177
$b^{m(1)}$	67,005	0,289	0,189	0,202	-0,101	-0,213	-0,131
$b^{u(1)}$	67,170	0,320	0,207	0,236	-0,085	-0,175	-0,084
Stdev ⁽²⁾	0,003	0,006	0,004	0,003	0,001	0,001	0,003
$b^{l(2)}$	8,131	0,024	0,021	0,020	-0,020	-0,028	-0,020
$b^{m(2)}$	8,134	0,030	0,025	0,023	-0,019	-0,027	-0,017
$b^{u(2)}$	8,137	0,036	0,029	0,026	-0,018	-0,026	-0,014

Berdasarkan Tabel 4.2, maka persamaan *response surface fuzzy* volume isi botol yang diperoleh adalah sebagai berikut.

➤ Level *lower*

$$\begin{aligned} \tilde{Y}_1(X) = & 66,839 + 0,259x_1 + 0,170x_2 + 0,168x_3 \\ & - 0,117x_1x_1 - 0,250x_2x_2 - 0,177x_3x_3 \end{aligned}$$

➤ Level *mean*

$$\begin{aligned} \tilde{Y}_1(X) = & 67,005 + 0,289x_1 + 0,189x_2 + 0,202x_3 \\ & - 0,101x_1x_1 - 0,213x_2x_2 - 0,131x_3x_3 \end{aligned}$$

➤ Level *upper*

$$\begin{aligned} \tilde{Y}_1(X) = & 67,170 + 0,320x_1 + 0,207x_2 + 0,236x_3 \\ & - 0,085x_1x_1 - 0,175x_2x_2 - 0,084x_3x_3 \end{aligned}$$

Sementara persamaan *response surface fuzzy* diameter mulut dalam botol yang diperoleh adalah:

➤ Level *lower*

$$\tilde{Y}_2(X) = 8,131 + 0,024x_1 + 0,021x_2 + 0,020x_3 - 0,020x_1x_1 - 0,028x_2x_2 - 0,020x_3x_3$$

➤ Level *mean*

$$\tilde{Y}_2(X) = 8,134 + 0,030x_1 + 0,025x_2 + 0,023x_3 - 0,019x_1x_1 - 0,027x_2x_2 - 0,017x_3x_3$$

➤ Level *upper*

$$\tilde{Y}_2(X) = 8,137 + 0,036x_1 + 0,029x_2 + 0,026x_3 - 0,018x_1x_1 - 0,026x_2x_2 - 0,014x_3x_3$$

Dalam analisis regresi *response surface*, selain diperoleh koefisien penaksir parameter model, diperoleh pula level faktor maksimum dari tiap replikasi per respon. Menggunakan cara yang sama, yaitu melibatkan rata-rata dan standar deviasi, maka diperoleh level faktor optimum tiap respon dengan komposisi level faktor optimum bawah (*lower*), level faktor optimum rata-rata (*mean*), dan level faktor optimum atas(*upper*). Hasil yang diperoleh seperti pada Tabel 4.4 dengan x_{1k} adalah level faktor optimum temperatur *barrel* respon ke- k , x_{2k} adalah level faktor optimum *blowing time* respon ke- k , dan x_{3k} adalah level faktor optimum *blowing pressure* respon ke- k .

Tabel 4.4 Level faktor optimum volume isi botol dan diameter mulut dalam botol.

	x_{11}	x_{21}	x_{31}		x_{12}	x_{22}	x_{32}
Y_1^1	1,34	0,594	1,682	$Y_{2.1}$	1,566	1,470	0,017
Y_2^1	1,580	0,424	0,798	$Y_{2.2}$	1,528	1,426	1,444
Y_3^1	1,444	0,356	1,002	$Y_{2.3}$	1,659	1,630	1,657
Y_4^1	1,682	0,356	0,425	$Y_{2.4}$	-0,051	1,530	1,617
Y_5^1	1,376	0,493	0,628	$Y_{2.5}$	1,662	1,643	-0,017
Y_6^1	1,138	0,526	0,663	$Y_{2.6}$	1,671	1,655	1,659
x^l	1,236	0,363	0,423	x^l	0,656	1,461	0,236
x^m	1,427	0,459	0,866	x^m	1,339	1,559	1,063
x^u	1,618	0,555	1,309	x^u	2,023	1,657	1,891
Stdev x	0,191	0,096	0,443	Stdev x	0,684	0,098	0,827

Sehingga level faktor *fuzzy* optimum yang diperoleh adalah:

$$x_{11} = (1,236; 1,427; 1,618)$$

$$x_{21} = (0,363; 0,459; 0,555)$$

$$x_{31} = (0,423; 0,866; 1,309)$$

$$x_{12} = (0,656; 1,339; 2,023)$$

$$x_{22} = (1,461; 1,559; 1,657)$$

$$x_{32} = (0,236; 1,063; 1,891)$$

Sama seperti pada persamaan *response surface fuzzy*, nilai-nilai level faktor optimum yang diperoleh merupakan nilai level faktor *lower* yang berada di paling kiri, nilai level faktor *mean* yang berada di tengah, dan nilai level faktor *upper* yang berada di paling kanan. Sebagai contoh, untuk x_{11} nilai level faktor *lower* yang diperoleh adalah 1,236 dengan level faktor *mean* 1,427 dan level faktor *upper* 1,618.

Level faktor *fuzzy* optimum yang diperoleh kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan *response surface fuzzy* untuk membentuk matriks *pay-off* nilai respon. Pembentukan matriks *pay-off* nilai respon dilakukan dengan cara mensubstitusikan level faktor optimum volume isi botol ($\tilde{X}^{(1)}$) ke persamaan $\tilde{Y}_1(X)$ dan $\tilde{Y}_2(X)$, diletakkan pada kolom pertama baris pertama dan seterusnya. Untuk persamaan *response surface fuzzy* $\tilde{Y}_1(X)$ level *lower*, apabila nilai level yang disubstitusikan merupakan nilai level *lower* dari $\tilde{X}^{(2)}$ maka hasilnya adalah 66,703. Sementara untuk persamaan *response surface fuzzy* $\tilde{Y}_1(X)$ level *mean*, apabila nilai level yang disubstitusikan merupakan nilai level *mean* dari $\tilde{X}^{(2)}$ maka hasilnya adalah 67,054 dan seterusnya. Sehingga nilai level faktor *lower* disubstitusikan pada persamaan level *lower*, level faktor *mean* ke persamaan level *mean*, dan level *upper* disubstitusikan pada persamaan level *upper*. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Matriks *pay-off* nilai respon

	$\tilde{Y}_1(X)$	$\tilde{Y}_2(X)$
$\tilde{X}^{(1)}$	(67,048;67,331;67,691)	(8,138;8,151;8,170)
$\tilde{X}^{(2)}$	(66,703;67,054;67,475)	(8,111;8,118;8,120)

Tujuan dari pembentukan matriks *pay-off* nilai respon adalah untuk membuat matriks *pay-off desirability*. Respon yang digunakan merupakan *Nominal the Best* (NTB), maka fungsi *desirability* dihitung oleh fungsi berikut.

$$d_1 = \begin{cases} \left(\frac{\hat{y}_1 - 66}{68 - 66}\right)^1; & 66 \leq \hat{y}_1 \leq 68 \\ \left(\frac{\hat{y}_1 - 70}{68 - 70}\right)^1; & 68 \leq \hat{y}_1 \leq 70 \\ 0; & \hat{y}_1 \leq 66 \text{ atau } \hat{y}_1 \geq 70 \end{cases}$$

$$d_2 = \begin{cases} \left(\frac{\hat{y}_2 - 8,0}{8,1 - 8,0}\right)^1; & 8,0 \leq \hat{y}_2 \leq 8,1 \\ \left(\frac{\hat{y}_2 - 8,2}{8,1 - 8,2}\right)^1; & 8,1 \leq \hat{y}_2 \leq 8,2, \\ 0; & \hat{y}_2 \leq 8,0 \text{ atau } \hat{y}_2 \geq 8,2 \end{cases}$$

Menggunakan fungsi tersebut, nilai *desirability* untuk tiap respon yang ada pada matriks *pay-off* respon dihitung dan diperoleh matriks *pay-off nilai desirability* seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Matriks *pay-off* nilai *desirability*.

	$\tilde{d}_1(X)$	$\tilde{d}_2(X)$
$\tilde{X}^{(1)}$	(0,524;0,665;0,845)	(0,299;0,481;0,617)
$\tilde{X}^{(2)}$	(0,351;0,527;0,737)	(0,813;0,833;0,884)

Matriks *pay-off desirability* digunakan untuk menghitung nilai $\tilde{U}_1, \tilde{U}_2, \tilde{L}_1$ dan \tilde{L}_2 . Nilai-nilai tersebut dihitung menggunakan persamaan 2.17.

$$\tilde{U}_1 = (U_1^l, U_1^m, U_1^u) = \tilde{d}_{11} = (0,524; 0,665; 0,845)$$

$$\tilde{U}_2 = (U_2^l, U_2^m, U_2^u) = \tilde{d}_{22} = (0,813; 0,833; 0,884)$$

$$\tilde{L}_1 = \text{Min}(\tilde{d}_{11}, \tilde{d}_{21}) = (0,351; 0,527; 0,737)$$

$$\tilde{L}_2 = \text{Min}(\tilde{d}_{12}, \tilde{d}_{22}) = (0,299; 0,481; 0,617)$$

Selain menghitung *desirability*, dihitung pula matriks *pay-off* nilai deviasi. Tujuannya adalah untuk memperoleh nilai-nilai yang dapat digunakan dalam meminimumkan deviasi. Persamaan deviasi diperoleh dari standar deviasi parameter regresi *response surface* yang ada pada Tabel 4.2.

$$D_1 = 0,165 + 0,030x_1 + 0,018x_2 + 0,034x_3 + 0,016x_1x_1 + 0,037x_2x_2 + 0,046x_3x_3$$

$$D_2 = 0,003 + 0,006x_1 + 0,003x_2 + 0,003x_3 + 0,001x_1x_1 + 0,001x_2x_2 + 0,003x_3x_3$$

Nilai level faktor optimum pada masing-masing respon disubstitusikan ke dalam persamaan deviasi. Cara pembentukan matriks *pay-off* deviasi hampir sama dengan pembentukan matriks *pay-off* nilai respon, bedanya terletak pada persamaan yang digunakan. Matriks *pay-off* nilai deviasi yang dihasilkan ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Matriks *pay-off* nilai deviasi.

	$D_1(X)$	$D_2(X)$
$\tilde{X}^{(1)}$	(0,262;0,322;0,403)	(0,016;0,022;0,029)
$\tilde{X}^{(2)}$	(0,309;0,443;0,656)	(0,017;0,030;0,049)

Matriks *pay-off* deviasi kemudian digunakan untuk menghitung nilai $\tilde{P}_1, \tilde{P}_2, \tilde{Q}_1$ dan \tilde{Q}_2 . Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.18.

$$\tilde{P}_1 = (0,262; 0,322; 0,403)$$

$$\tilde{P}_2 = (0,017; 0,030; 0,049)$$

$$\tilde{Q}_1 = (0,309; 0,443; 0,656)$$

$$\tilde{Q}_2 = (0,017; 0,030; 0,049)$$

Model akhir yang diperoleh merupakan model 2 objektif. Model 2 objektif tersebut adalah memaksimumkan *desirability* dan meminimumkan deviasi, yang ditunjukkan dengan:

$$\text{Model 1: Max } \{ \tilde{d}_1(X), \tilde{d}_2(X) \}$$

$$\text{Model 2: Min } \{ \tilde{D}_1(X), \tilde{D}_2(X) \}$$

dengan $X \in R_{(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3)} \in [-1,682; 1,682]$.

Untuk masing-masing respon didapatkan:

$$\tilde{d}_1(X) = (d_1^l, d_1^m, d_1^u) = (0,432; 0,608; 0,785)$$

$$\tilde{d}_2(X) = (d_2^l, d_2^m, d_2^u) = (0,423; 0,655; 0,886)$$

$$\tilde{D}_1(X) = (D_1^l, D_1^m, D_1^u) = (0,257; 0,399; 0,541)$$

$$\tilde{D}_2(X) = (D_2^l, D_2^m, D_2^u) = (0,015; 0,027; 0,040)$$

Nilai *desirability* dan deviasi yang diperoleh perlu distandarisasi agar hasilnya berada pada rentang 0 dan 1. Oleh karena itu dihitung nilai $\tilde{S}_k(X)$ dan $\tilde{T}_k(X)$ sebagai nilai standar *desirability* dan deviasi menggunakan persamaan berikut.

$$\tilde{S}_k(X) = \begin{cases} 0, & \tilde{d}_k(X) \leq \tilde{L}_k \\ \frac{\tilde{d}_k(X) - \tilde{L}_k}{\tilde{U}_k - \tilde{L}_k}, & \tilde{L}_k \leq \tilde{d}_k(X) \leq \tilde{U}_k \\ 1, & \tilde{d}_k(X) \geq \tilde{U}_k \end{cases}$$

dengan $k=1,2$.

$$\tilde{U}_1 = (0,524; 0,665; 0,845)$$

$$\tilde{L}_1 = (0,351; 0,527; 0,737)$$

$$\tilde{U}_2 = (0,813; 0,833; 0,884)$$

$$\tilde{L}_2 = (0,299; 0,481; 0,617)$$

$$\tilde{T}_k(X) = \begin{cases} 1, & \tilde{D}_k(X) \leq \tilde{P}_k \\ \frac{\tilde{Q}_k - \tilde{D}_k(X)}{\tilde{Q}_k - \tilde{P}_k}, & \tilde{P}_k \leq \tilde{D}_k(X) \leq \tilde{Q}_k \\ 0, & \tilde{D}_k(X) \geq \tilde{Q}_k \end{cases}$$

dengan $k=1,2$.

$$\tilde{P}_1 = (0,262; 0,322; 0,403)$$

$$\tilde{P}_2 = (0,017; 0,030; 0,049)$$

$$\tilde{Q}_1 = (0,309; 0,443; 0,656)$$

$$\tilde{Q}_2 = (0,016; 0,022; 0,029)$$

Apabila dituliskan dalam bentuk model, modelnya berbeda dengan model sebelumnya, yaitu sama-sama memaksimumkan fungsi $\tilde{S}_k(X)$ dan $\tilde{T}_k(X)$.

Model 1: $Max\{\tilde{S}_1(X), \tilde{S}_2(X)\}$

Model 2: $Max\{\tilde{T}_1(X), \tilde{T}_2(X)\}$

dengan $X \in R_{(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3)} \in [-1,682; 1,682]$

Untuk menggabungkan kedua model menjadi 1 model objektif, operator *Max-Min Zimmerman* diaplikasikan. Dasar yang digunakan adalah memaksimumkan derajat kepuasan (*degree of satisfaction*) minimum dari kedua model objektif.

Model 1: $Max \tilde{V}_1$

Model 2: $Max \tilde{V}_2$

dengan $X \in R_{(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3)} \in [-1,682; 1,682]$

$\tilde{V}_1 = Min \{\tilde{S}_1(X), \tilde{S}_2(X)\}$

$\tilde{V}_2 = Min \{\tilde{T}_1(X), \tilde{T}_2(X)\}$

w_1 = bobot *desirability* yang diinginkan peneliti untuk \tilde{V}_1 .

w_2 = bobot *desirability* yang diinginkan peneliti untuk \tilde{V}_2 .

Dalam penelitian ini peneliti menggunakan bobot *desirability* sebesar ½ karena konstrain yang digunakan adalah $w_1 + w_2 = 1$. Sehingga model akhir yang dihasilkan ada 3, yaitu model *l* (lower), *m* (mean), dan *u* (upper). Model *l* terdiri dari variabel dan konstanta dengan index *l*, model *m* terdiri dari variabel dan konstanta dengan index *m*, dan model *u* terdiri dari variabel dan konstanta dengan index *u*. Berikut ini merupakan ketiga model akhir yang diperoleh.

- Model *l*:

$$Max 0,5 V_1^l + 0,5 V_2^l$$

s.t.

$$d_1^l(X) - V_1^l(0,524 - 0,351) \geq 0,351$$

$$d_2^l(X) - V_1^l(0,813 - 0,299) \geq 0,299$$

$$D_1^l(X) + V_2^l(0,309 - 0,262) \leq 0,309$$

$$D_2^l(X) + V_2^l(0,016 - 0,017) \leq 0,016$$

$$w_1 + w_2 = 1$$

$$0 \leq V_1^l, V_2^l \leq 1, X \in R_{(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3)} \in [-1,682; 1,682]$$

- Model *m*:

$$Max 0,5 V_1^m + 0,5 V_2^m$$

s.t.

$$d_1^m(X) - V_1^m(0,665 - 0,527) \geq 0,527$$

$$d_2^m(X) - V_1^m(0,833 - 0,481) \geq 0,481$$

$$D_1^m(X) + V_2^m(0,443 - 0,322) \leq 0,443$$

$$D_2^m(X) + V_2^m(0,022 - 0,030) \leq 0,022$$

$$w_1 + w_2 = 1$$

$$0 \leq V_1^m, V_2^m \leq 1, X \in R_{(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3)} \in [-1,682; 1,682]$$

- Model u :

$$\text{Max } 0,5 V_1^u + 0,5 V_2^u$$

s.t.

$$d_1^u(X) - V_1^u(0,845 - 0,737) \geq 0,737$$

$$d_2^u(X) - V_1^u(0,884 - 0,617) \geq 0,617$$

$$D_1^u(X) + V_2^u(0,656 - 0,403) \leq 0,656$$

$$D_2^u(X) + V_2^u(0,029 - 0,049) \leq 0,029$$

$$w_1 + w_2 = 1$$

$$0 \leq V_1^u, V_2^u \leq 1, X \in R_{(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3)} \in [-1,682; 1,682]$$

Setelah terbentuk satu model objektif untuk *lower*, *mean*, dan *upper*, maka optimasi dapat dilakukan menggunakan *software*. Hasil optimasi untuk level *lower* yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Tabel 4.8 Level faktor *fuzzy* optimum level *lower*.

Variabel	Nilai kode	Nilai sebenarnya
x_1	0,819	199,194 °C
x_2	0,896	9,796 detik
x_3	0,773	6,773 kg/cm ²

$$\tilde{Y}_1 = 66,948 \text{ dengan } d_1 = 0,474$$

$$\tilde{Y}_2 = 8,137 \text{ dengan } d_2 = 0,629$$

$$\text{Composite Desirability} = 0,546$$

Pada level bawah (*lower*) diperoleh *setting* parameter untuk temperatur *barrel* sebesar 199 °C, *blowing time* selama 9,796 detik, dan *blowing pressure* sekuat 6,773 kg/cm². Dengan menggunakan *setting* tersebut maka prediksi volume isi botol dan diameter mulut dalam botol yang diperoleh adalah 66,948 ml dan 8,137 mm. Nilai ini masih berada pada batas spesifikasi produk. *Desirability* yang diperoleh untuk diameter mulut dalam botol sudah baik yaitu sebesar 62,9% namun pada respon volume isi botol belum cukup baik karena belum mencapai 50%. Akan tetapi pada *composite desirability*, nilai yang diperoleh adalah 54,6% yang berarti sudah cukup baik. *Composite desirability* merupakan nilai

gabungan antara kedua desirability dari respon. Nilai *composite desirability* diperoleh dari akar perkalian kedua *desirability* respon. Sementara untuk level rata-rata (*mean*) diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 4.9 Level faktor *fuzzy* optimum level *mean*.

Variabel	Nilai kode	Nilai sebenarnya
x_1	1,964	210,649 °C
x_2	0,451	9,351 detik
x_3	0,258	6,258 kg/cm ²

$$\tilde{Y}_1 = 67,268 \text{ dengan } d_1 = 0,634$$

$$\tilde{Y}_2 = 8,130 \text{ dengan } d_2 = 0,698$$

$$\text{Composite Desirability} = 0,665$$

Berbeda dengan hasil yang diperoleh pada level *lower*, pada level *mean* didapatkan nilai *desirability* yang baik. Hal ini terlihat dari kedua nilai *desirability* yang bernilai lebih dari 50%. Kedua nilai tersebut menghasilkan nilai *composite desirability* sebesar 66,5%. Setting parameter yang diperoleh pada level *mean* untuk temperatur *barrel* sebesar 210 °C, *blowing time* selama 9,351 detik, dan *blowing pressure* sekuat 6,258 kg/cm². Sehingga prediksi yang diperoleh adalah 66,268 ml untuk volume isi botol dan 8,130 mm untuk diameter mulut dalam botol. Selanjutnya pada level atas (*upper*) diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Level faktor *fuzzy* optimum level *upper*.

Variabel	Nilai kode	Nilai sebenarnya
x_1	2,318	214,186 °C
x_2	0,043	8,943 detik
x_3	0,068	6,068 kg/cm ²

$$\tilde{Y}_1 = 67,153 \text{ dengan } d_1 = 0,576$$

$$\tilde{Y}_2 = 8,103 \text{ dengan } d_2 = 0,961$$

$$\text{Composite Desirability} = 0,744$$

Nilai prediksi repon yang diperoleh pada level atas (*upper*) untuk volume isi botol adalah 67,153 ml dan untuk diameter mulut dalam botol adalah 8,103. Pada level atas

(upper) diperoleh nilai *composite desirability* 74,4% namun antara *desirability* pada respon pertama dan kedua nilainya berbeda jauh. Kedua nilai *desirability* masih dalam kategori baik karena lebih dari 50%, akan tetapi kedua nilai yang berbeda jauh ini menyebabkan ketidakseimbangan. Hal yang dikhawatirkan apabila menggunakan level *upper* adalah respon untuk diameter isi botol mendekati sempurna, namun volume isi botol yang dihasilkan menjauhi target. Sehingga dari ketiga level (*lower, mean, upper*), level *mean* merupakan level yang paling baik untuk digunakan dalam setting parameter proses *blow molding* produk botol Chamomile 60 ml di PT. AAM dari sisi keseimbangan *desirability*.

4.2. Perbandingan hasil *Response Surface Fungsi Desirability* dengan *Response Surface Fuzzy Programming*.

Dalam rangka mengetahui penelitian mana yang lebih baik, maka dilakukan perbandingan antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya. Penelitian sebelumnya yang dimaksud adalah penelitian Amrillah (2006). Pada hasil penelitian Amrillah (2006), kombinasi variabel proses yang menghasilkan nilai respon optimal ditampilkan pada Tabel 4.11. Kombinasi respon surface yang diperoleh pada penelitian Amrillah merupakan hasil dari optimasi menggunakan fungsi *desirability*.

Tabel 4.11 Level faktor optimum penelitian Amrillah (2006).

Variabel	Nilai kode	Nilai sebenarnya
x_1	1,63031	207 °C
x_2	1,52752	10,4 detik
x_3	1,60653	7,6 kg/cm ²

Pada penelitian Amrillah (2006) setting parameter yang diperoleh untuk temperatur *barrel* sebesar 207 °C , *blowing time* selama 10,4 detik dan *blowing pressure* sebesar 7,6 kg/cm². Persamaan *response surface* yang diperoleh pada penelitian Amrillah (2006) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \tilde{Y}_1 = & 67,008 + 0,172x_1 + 0,119x_2 + 0,120x_3 - 0,036x_1x_1 \\ & - 0,076x_2x_2 - 0,046x_3x_3 \end{aligned}$$

$$\tilde{Y}_2 = 8,135 + 0,018x_1 + 0,015x_2 + 0,014x_3 - 0,007x_1x_1 - 0,009x_2x_2 - 0,006x_3x_3$$

Dengan mensubstitusikan nilai level optimum Tabel 4.10 pada persamaan *response surface* yang diperoleh Amrillah (2006), maka nilai prediksi respon dan *desirability* yang dihasilkan adalah:

$$\tilde{Y}_1 = 67,271 \text{ dengan } d_1 = 0,635$$

$$\tilde{Y}_2 = 8,155 \text{ dengan } d_2 = 0,450$$

$$\text{Composite Desirability} = 0,534 = 53,4\%$$

Untuk mempermudah perbandingan, persamaan yang digunakan adalah persamaan *response surface fuzzy level mean*. Persamaan *response surface fuzzy level mean*:

$$\tilde{Y}_1(X) = 67,005 + 0,289x_1 + 0,189x_2 + 0,202x_3 - 0,101x_1x_1 - 0,213x_2x_2 - 0,131x_3x_3$$

$$\tilde{Y}_2(X) = 8,134 + 0,0303x_1 + 0,025x_2 + 0,023x_3 + -0,019x_1x_1 - 0,027x_2x_2 - 0,017x_3x_3$$

Hasil yang diperoleh dengan mensubstitusikan nilai faktor optimum level *mean* ke dalam persamaan *response surface fuzzy level mean* adalah:

$$\tilde{Y}_1 = 67,268 \text{ dengan } d_1 = 0,634$$

$$\tilde{Y}_2 = 8,130 \text{ dengan } d_2 = 0,698$$

$$\text{Composite Desirability} = 0,665 = 66,5\%$$

Berdasarkan hasil tersebut, diketahui bahwa nilai respon yang diperoleh baik pada penelitian Amrillah (2006) maupun pada penelitian ini sama-sama baik karena masih berada dalam rentang spesifikasi yang diinginkan perusahaan. Namun untuk mengetahui mana yang lebih baik, dapat digunakan *composite desirability*. Alasan penggunaan *composite desirability* sebagai acuan untuk mengetahui kebaikan model atau seberapa dekat model ke nilai harapan adalah karena apabila salah satu respon memiliki *desirability* nol, maka nilai *composite*-nya juga akan nol. Artinya, *desirability* antar respon saling memberikan pengaruh pada *composite desirability*. *Composite desirability* menunjukkan *desirability* individu yang diperoleh dari multi respon, sehingga nilai *desirability* ini mampu menjelaskan seberapa baik model dan level faktor yang diperoleh. Dengan menggunakan *response surface*

pendekatan *fuzzy programming*, nilai *composite desirability* meningkat sebesar 13% dari *response surface* fungsi *desirability* biasa. Nilai *composite desirability* dari persamaan *response surface* menggunakan *fuzzy programming* lebih besar daripada *composite desirability* pada penelitian Amrillah (2006). Jadi dapat dikatakan bahwa pemodelan *response surface* menggunakan *fuzzy programming* lebih baik diaplikasikan daripada pemodelan *response surface* fungsi *desirability* biasa.

BAB V KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dijabarkan, maka kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. *Setting* parameter pada proses *blow molding* terhadap volume isi botol dan diameter mulut dalam botol pada produk Chamomile 60 ml di PT. AAM dengan pendekatan *fuzzy programming* untuk level rata-rata adalah 210 °C pada temperatur *barrel*, 9,35 detik pada *blowing time* dan 6,258 kg/cm² pada *blowing pressure* dengan prediksi respon untuk volume sebesar 67,286 ml dan diameter mulut dalam botol selebar 8,130 mm.
2. Perbandingan hasil optimasi pada penelitian Amrillah (2006) dengan optimasi *multi response surface* menggunakan pendekatan *fuzzy programming* menunjukkan bahwa model *response surface* dengan *fuzzy programming* lebih baik daripada model yang diperoleh pada penelitian Amrillah (2006) dari sisi *composite desirability* karena meningkatkan *desirability* sebesar 13%.

1.2 Saran

Dalam penelitian ini peneliti menemui kejanggalan dari algoritma *fuzzy programming* Bashiri & Hosseininezhad (2009), yaitu pada pemilihan nilai $\tilde{U}_k, \tilde{L}_k, \tilde{P}_k, \tilde{Q}_k$. Dalam pemilihan nilai tersebut ada kemungkinan bahwa nilai $\tilde{U}_k = \tilde{L}_k$ atau nilai $\tilde{P}_k = \tilde{Q}_k$. Apabila kemungkinan tersebut terjadi, maka nilai $\tilde{S}_k(X)$ dan $\tilde{T}_k(X)$ tidak dapat diperoleh karena pembagiannya bernilai nol. Oleh karena itu dalam penelitian ini peneliti mengajukan suatu gagasan bahwa nilai \tilde{L}_k merupakan nilai minimum yang tidak sama dengan \tilde{U}_k dan \tilde{Q}_k merupakan nilai maksimum yang tidak sama dengan \tilde{P}_k . Sehingga saran untuk penelitian selanjutnya adalah meng-

gunakan algoritma yang sama dengan yang dilakukan pada penelitian ini.

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1.	Data Hasil Percobaan Orde 1	57
Lampiran 2.	Data Hasil Percobaan Orde Dua.....	58
Lampiran 3.	<i>Response Surface</i> Volume Isi Botol Tiap Replikasi.....	60
Lampiran 4.	<i>Response Surface</i> Diameter Mulut Dalam Botol Tiap Replikasi	66
Lampiran 5.	Pembentukan Level Faktor Optimum	72

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Percobaan Orde 1

Volume Isi Botol

Level parameter			Replikasi						Mean
X1	X2	X3	1	2	3	4	5	6	
-1	-1	-1	65,60	66,40	65,20	66,30	65,80	65,50	65,80
-1	-1	1	66,00	66,30	66,80	66,10	65,90	66,00	66,18
-1	1	-1	66,50	66,40	66,30	66,40	66,20	66,40	66,37
-1	1	1	66,90	67,20	66,50	66,80	67,20	65,70	66,72
1	-1	-1	66,80	66,90	67,20	67,20	67,30	67,20	67,10
1	-1	1	66,90	66,70	67,30	67,60	67,50	67,20	67,20
1	1	-1	67,00	68,20	67,10	67,00	67,10	67,20	67,27
1	1	1	67,00	67,50	67,10	67,50	67,80	67,60	67,42

Inner Mouth Diameter

Level parameter			Replikasi						Mean
X1	X2	X3	1	2	3	4	5	6	
-1	-1	-1	8,030	7,990	8,020	8,010	8,010	8,000	8,010
-1	-1	1	8,000	8,005	8,020	8,025	8,010	8,030	8,015
-1	1	-1	8,010	8,015	8,020	8,005	8,010	8,010	8,012
-1	1	1	8,010	8,020	8,015	8,030	8,010	8,025	8,018
1	-1	-1	8,030	8,035	8,025	8,035	8,030	8,050	8,034
1	-1	1	8,035	8,040	8,045	8,035	8,030	8,025	8,035
1	1	-1	8,040	8,035	8,040	8,035	8,045	8,045	8,040
1	1	1	8,055	8,060	8,050	8,065	8,055	8,045	8,055

Lampiran 2. Data Hasil Percobaan Orde Kedua

Volume Isi Botol

Level parameter			Replikasi						Mean
X1	X2	X3	1	2	3	4	5	6	
-1	-1	-1	66,30	66,10	66,20	66,00	66,00	65,90	66,08
-1	-1	1	66,60	66,40	66,40	66,20	66,10	66,20	66,32
-1	1	-1	66,90	66,60	66,50	66,30	66,20	66,30	66,47
-1	1	1	66,80	66,90	66,50	66,20	66,20	66,40	66,50
1	-1	-1	66,80	66,50	66,60	66,30	66,10	66,20	66,42
1	-1	1	67,10	66,80	67,00	66,50	66,60	66,40	66,73
1	1	-1	67,20	66,90	67,00	66,90	66,80	66,70	66,92
1	1	1	67,40	67,20	67,30	67,00	66,80	66,90	67,10
0	0	-1,682	66,30	66,10	66,10	65,80	65,90	66,00	66,03
0	0	1,682	67,50	67,40	67,50	66,90	67,00	67,00	67,22
0	-1,682	0	66,30	66,20	66,00	66,00	65,90	65,90	66,05
0	1,682	0	66,90	66,80	66,80	66,50	66,70	66,70	66,73
-1,682	0	0	66,20	66,30	66,10	66,00	65,90	65,90	66,07
1,682	0	0	67,30	67,60	67,50	67,30	67,20	67,20	67,35
0	0	0	66,80	66,90	66,90	66,60	66,60	66,70	66,75
0	0	0	67,20	67,40	67,20	67,10	67,00	66,80	67,12
0	0	0	67,30	67,20	67,20	66,90	66,80	67,00	67,07
0	0	0	67,20	67,10	67,20	66,90	66,90	66,80	67,02
0	0	0	67,20	67,30	67,30	67,00	66,90	67,00	67,12
0	0	0	67,10	67,10	67,20	66,90	66,70	66,80	66,97

Inner Mouth Diameter

Level parameter			Replikasi						Mean
X1	X2	X3	1	2	3	4	5	6	
-1	-1	-1	8,030	8,020	8,010	8,030	8,005	8,010	8,018
-1	-1	1	8,035	8,050	8,045	8,040	8,050	8,045	8,044
-1	1	-1	8,105	8,050	8,055	8,075	8,055	8,050	8,065
-1	1	1	8,080	8,090	8,065	8,075	8,065	8,070	8,074
1	-1	-1	8,035	8,055	8,040	8,060	8,050	8,055	8,049
1	-1	1	8,060	8,085	8,150	8,080	8,065	8,070	8,085
1	1	-1	8,105	8,095	8,130	8,125	8,140	8,135	8,122
1	1	1	8,145	8,135	8,135	8,130	8,155	8,150	8,142
0	0	-1,682	8,010	8,005	8,005	8,015	8,015	8,010	8,010
0	0	1,682	8,155	8,135	8,140	8,155	8,165	8,135	8,148
0	-1,682	0	8,005	8,005	8,015	8,010	8,020	8,005	8,010
0	1,682	0	8,075	8,095	8,085	8,090	8,085	8,110	8,090
-1,682	0	0	8,015	8,005	8,000	8,010	8,010	8,005	8,008
1,682	0	0	8,130	8,135	8,135	8,135	8,140	8,160	8,139
0	0	0	8,110	8,120	8,135	8,105	8,125	8,115	8,118
0	0	0	8,115	8,155	8,140	8,135	8,125	8,140	8,135
0	0	0	8,120	8,135	8,135	8,130	8,145	8,160	8,138
0	0	0	8,165	8,160	8,145	8,140	8,155	8,130	8,149
0	0	0	8,135	8,130	8,155	8,160	8,145	8,155	8,147
0	0	0	8,130	8,125	8,105	8,120	8,115	8,120	8,119

Lampiran 3. *Response Surface* Volume Isi Botol Tiap Replikasi

Response Surface Regression: Y1.1 versus X1; X2; X3

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Y1.1

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	67,1282	0,08448	794,565	0,000
X1	0,2746	0,05605	4,899	0,000
X2	0,1837	0,05605	3,278	0,006
X3	0,1990	0,05605	3,551	0,004
X1*X1	-0,1016	0,05456	-1,862	0,085
X2*X2	-0,1546	0,05456	-2,834	0,014
X3*X3	-0,0486	0,05456	-0,891	0,389

S = 0,207144 PRESS = 1,95470

R-Sq = 81,72% R-Sq(pred) = 35,95% R-Sq(adj) = 73,29%

Lack-of-Fit df = 8 p = 0,302

Analysis of Variance for Y1.1

Source	DF	F	P
Regression	6	9,69	0,000
Linear	3	15,78	0,000
Square	3	3,59	0,043
Residual Error	13		
Lack-of-Fit	8	1,65	0,302
Pure Error	5		
Total	19		

Response Optimization Y1.1

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Y1.1	Target	66	68	70	1

Global Solution

X1 = 1,34220

X2 = 0,594646

X3 = 1,682

Predicted Responses

Y1.1 = 67,5655

desirability = 0,782765

Composite Desirability = 0,782765

Response Surface Regression: Y1.2 versus X1; X2; X3

The analysis was done using coded units.
Estimated Regression Coefficients for Y1.2

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	67,1677	0,08017	837,812	0,000
X1	0,2626	0,05319	4,937	0,000
X2	0,2057	0,05319	3,867	0,002
X3	0,2480	0,05319	4,662	0,000
X1*X1	-0,0834	0,05177	-1,610	0,131
X2*X2	-0,2424	0,05177	-4,683	0,000
X3*X3	-0,1541	0,05177	-2,976	0,011

S = 0,196567 PRESS = 1,82414
R-Sq = 87,40% R-Sq(pred) = 54,26% R-Sq(adj) = 81,59%

Analysis of Variance for Y1.2

Source	DF	F	P
Regression	6	15,04	0,000
Linear	3	20,35	0,000
Square	3	9,72	0,001
Residual Error	13		
Lack-of-Fit	8	1,42	0,363
Pure Error	5		
Total	19		

Response Optimization Y1.2

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Y1.2	Target	66	68	70	1

Global Solution

X1 = 1,58006

X2 = 0,424747

X3 = 0,798525

Predicted Responses

Y1.2 = 67,5179

desirability = 0,758933

Composite Desirability = 0,758933

Response Surface Regression: Y1.3 versus X1; X2; X3

The analysis was done using coded units.
Estimated Regression Coefficients for Y1.3

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	67,1650	0,08393	800,269	0,000
X1	0,3408	0,05568	6,121	0,000
X2	0,1791	0,05568	3,216	0,007
X3	0,2383	0,05568	4,280	0,001
X1*X1	-0,1188	0,05420	-2,193	0,047
X2*X2	-0,2602	0,05420	-4,802	0,000
X3*X3	-0,1188	0,05420	-2,193	0,047

S = 0,205781 PRESS = 2,10816
R-Sq = 87,92% R-Sq(pred) = 53,74% R-Sq(adj)
= 82,35%

Analysis of Variance for Y1.3

Source	DF	F	P
Regression	6	15,77	0,000
Linear	3	22,04	0,000
Square	3	9,50	0,001
Residual Error	13		
Lack-of-Fit	8	3,06	0,117
Pure Error	5		
Total	19		

Response Optimization Y1.3

Parameters	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Y1.3	Target	66	68	70	1

Global Solution

X1 = 1,44414
X2 = 0,356788
X3 = 1,00240

Predicted Responses

Y1.3 = 67,5596
desirability = 0,779787
Composite Desirability = 0,779787

Response Surface Regression: Y1.4 versus X1; X2; X3

The analysis was done using coded units.
Estimated Regression Coefficients for Y1.4

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	66,8988	0,08561	781,435	0,000
X1	0,3065	0,05680	5,397	0,000
X2	0,1641	0,05680	2,889	0,013
X3	0,1648	0,05680	2,901	0,012
X1*X1	-0,0805	0,05528	-1,455	0,169
X2*X2	-0,2218	0,05528	-4,013	0,001
X3*X3	-0,1865	0,05528	-3,373	0,005

S = 0,209905 PRESS = 1,91798
R-Sq = 84,63% R-Sq(pred) = 48,52% R-Sq(adj)
= 77,53%

Analysis of Variance for Y1.4

Source	DF	F	P
Regression	6	11,93	0,000
Linear	3	15,30	0,000
Square	3	8,56	0,002
Residual Error	13		
Lack-of-Fit	8	1,93	0,243
Pure Error	5		
Total	19		

Response Optimization Y1.4

Parameters	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Y1.4	Target	66	68	70	1

Global Solution

X1 = 1,682
X2 = 0,356788
X3 = 0,424747

Predicted Responses

Y1.4 = 67,2534
desirability = 0,626699
Composite Desirability = 0,626699

Response Surface Regression: Y1.5 versus X1; X2; X3

The analysis was done using coded units.
Estimated Regression Coefficients for Y1.5

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	66,8186	0,08557	780,833	0,000
X1	0,2919	0,05677	5,141	0,000
X2	0,1864	0,05677	3,283	0,006
X3	0,1794	0,05677	3,160	0,008
X1*X1	-0,1070	0,05526	-1,935	0,075
X2*X2	-0,1953	0,05526	-3,535	0,004
X3*X3	-0,1423	0,05526	-2,575	0,023

S = 0,209815 PRESS = 1,96479
R-Sq = 83,67% R-Sq(pred) = 43,95% R-Sq(adj)
= 76,14%

Analysis of Variance for Y1.5

Source	DF	F	P
Regression	6	11,10	0,000
Linear	3	15,73	0,000
Square	3	6,48	0,006
Residual Error	13		
Lack-of-Fit	8	2,68	0,147
Pure Error	5		
Total	19		

Response Optimization Y1.5

Parameters	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Y1.5	Target	66	68	70	1

Global Solution

X1 = 1,37618
X2 = 0,492707
X3 = 0,628626

Predicted Responses

Y1.5 = 67,1187
desirability = 0,559342
Composite Desirability = 0,559342

Response Surface Regression: Y1.6 versus X1; X2; X3

The analysis was done using coded units.
Estimated Regression Coefficients for Y1.6

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	66,8516	0,07111	940,174	0,000
X1	0,2626	0,04717	5,567	0,000
X2	0,2157	0,04717	4,572	0,001
X3	0,1817	0,04717	3,852	0,002
X1*X1	-0,1168	0,04592	-2,543	0,025
X2*X2	-0,2051	0,04592	-4,467	0,001
X3*X3	-0,1344	0,04592	-2,928	0,012

S = 0,174342 PRESS = 1,51261
R-Sq = 88,13% R-Sq(pred) = 54,55% R-Sq(adj)
= 82,65%

Analysis of Variance for Y1.6

Source	DF	F	P
Regression	6	16,08	0,000
Linear	3	22,24	0,000
Square	3	9,92	0,001
Residual Error	13		
Lack-of-Fit	8	2,67	0,147
Pure Error	5		
Total	19		

Response Optimization Y1.6

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Y1.6	Target	66	68	70	1

Global Solution

X1 = 1,13832
X2 = 0,526687
X3 = 0,662606

Predicted Responses

Y1.6 = 67,1173
desirability = 0,558662
Composite Desirability = 0,558662

Lampiran 4. *Response Surface* Diameter Mulut Dalam Botol Tiap Replikasi

Response Surface Regression: Y2.1 versus X1; X2; X3

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Y2.1

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	8,12874	0,011747	691,991	0,000
X1	0,02112	0,007793	2,710	0,018
X2	0,02875	0,007793	3,690	0,003
X3	0,02115	0,007793	2,714	0,018
X1*X1	-0,01723	0,007586	-2,272	0,041
X2*X2	-0,02872	0,007586	-3,786	0,002
X3*X3	-0,01370	0,007586	-1,806	0,094

S = 0,0288019 PRESS = 0,0401846

R-Sq = 78,65% R-Sq(pred) = 20,46% R-Sq(adj)
= 68,80%

Analysis of Variance for Y2.1

Source	DF	F	P
Regression	6	7,98	0,001
Linear	3	9,44	0,001
Square	3	6,53	0,006
Residual Error	13		
Lack-of-Fit	8	2,79	0,136
Pure Error	5		
Total	19		

Response Optimization Y2.1

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Y2.1 Target		8	8,1	8,2	1

Global Solution

X1 = 1,56686

X2 = 1,47000

X3 = 0,0169899

Predicted Responses

Y2.1 = 8,10008

desirability = 0,999239

Composite Desirability = 0,999239

Response Surface Regression: Y2.2 versus X1; X2; X3

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Y2.2

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	8,13706	0,007851	1036,408	0,000
X1	0,02772	0,005209	5,323	0,000
X2	0,02280	0,005209	4,377	0,001
X3	0,02626	0,005209	5,041	0,000
X1*X1	-0,02098	0,005070	-4,138	0,001
X2*X2	-0,02805	0,005070	-5,533	0,000
X3*X3	-0,02098	0,005070	-4,138	0,001

S = 0,0192502 PRESS = 0,0178152

R-Sq = 90,74% R-Sq(pred) = 65,75% R-Sq(adj)
= 86,46%

Analysis of Variance for Y2.2

Source	DF	F	P
Regression	6	21,23	0,000
Linear	3	24,30	0,000
Square	3	18,15	0,000
Residual Error	13		
Lack-of-Fit	8	1,63	0,307
Pure Error	5		
Total	19	0,052014	

Response Optimization Y2.2

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Y2.2	Target	8	8,1	8,2	1

Global Solution

X1 = 1,52896

X2 = 1,42644

X3 = 1,44414

Predicted Responses

Y2.2 = 8,10002

desirability = 0,999832

Composite Desirability = 0,999832

Response Surface Regression: Y2.3 versus X1; X2; X3

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Y2.3

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	8,13520	0,009911	820,817	0,000
X1	0,03713	0,006575	5,646	0,000
X2	0,01887	0,006575	2,870	0,013
X3	0,02834	0,006575	4,310	0,001
X1*X1	-0,01998	0,006400	-3,121	0,008
X2*X2	-0,02616	0,006400	-4,088	0,001
X3*X3	-0,01821	0,006400	-2,845	0,014

S = 0,0243007 PRESS = 0,0218198

R-Sq = 87,10% R-Sq(pred) = 63,32% R-Sq(adj)
= 81,14%

Analysis of Variance for Y2.3

Source	DF	F	P
Regression	6	14,62	0,000
Linear	3	19,56	0,000
Square	3	9,69	0,001
Residual Error	13		
Lack-of-Fit	8	2,75	0,140
Pure Error	5		
Total	19		

Response Optimization Y2.3

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Y2.3	Target	8	8,1	8,2	1

Global Solution

X1 = 1,65974

X2 = 1,63083

X3 = 1,65764

Predicted Responses

Y2.3 = 8,09991

desirability = 0,999108

Composite Desirability = 0,999108

Response Surface Regression: Y2.4 versus X1; X2; X3

The analysis was done using coded units.
Estimated Regression Coefficients for Y2.4

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	8,13130	0,009983	814,491	0,000
X1	0,02821	0,006623	4,259	0,001
X2	0,02413	0,006623	3,643	0,003
X3	0,01980	0,006623	2,990	0,010
X1*X1	-0,01849	0,006447	-2,868	0,013
X2*X2	-0,02644	0,006447	-4,102	0,001
X3*X3	-0,01407	0,006447	-2,183	0,048

S = 0,0244777 PRESS = 0,0298802
R-Sq = 83,49% R-Sq(pred) = 36,67% R-Sq(adj)
= 75,87%

Analysis of Variance for Y2.4

Source	DF	F	P
Regression	6	10,96	0,000
Linear	3	13,45	0,000
Square	3	8,47	0,002
Residual Error	13		
Lack-of-Fit	8	2,18	0,203
Pure Error	5		
Total	19		

Response Optimization Y2.4

Parameters	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Y2.4	Target	8	8,1	8,2	1

Global Solution

X1 = -0,0509697
X2 = 1,53038
X3 = 1,61760

Predicted Responses

Y2.4 = 8,10002
desirability = 0,999847
Composite Desirability = 0,999847

Response Surface Regression: Y2.5 versus X1; X2; X3

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Y2.5

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	8,13486	0,010010	812,675	0,000
X1	0,03322	0,006641	5,002	0,000
X2	0,02594	0,006641	3,906	0,002
X3	0,02470	0,006641	3,719	0,003
X1*X1	-0,02028	0,006464	-3,137	0,008
X2*X2	-0,02823	0,006464	-4,368	0,001
X3*X3	-0,01498	0,006464	-2,317	0,037

S = 0,0245432 PRESS = 0,0271025

R-Sq = 86,50% R-Sq(pred) = 53,28% R-Sq(adj) = 80,27%

Analysis of Variance for Y2.5

Source	DF	F	P
Regression	6	13,88	0,000
Linear	3	18,03	0,000
Square	3	9,73	0,001
Residual Error	13		
Lack-of-Fit	8	3,45	0,094
Pure Error	5		
Total	19		

Response Optimization Y2.5

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Y2.5	Target	8	8,1	8,2	1

Global Solution

X1	=	1,66241
X2	=	1,64336
X3	=	-0,0169899

Predicted Responses

Y2.5	=	8,09999
desirability	=	0,999928
Composite Desirability	=	0,999928

Response Surface Regression: Y2.6 versus X1; X2; X3

The analysis was done using coded units.
Estimated Regression Coefficients for Y2.6

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	8,13647	0,009021	901,897	0,000
X1	0,03629	0,005985	6,064	0,000
X2	0,02940	0,005985	4,913	0,000
X3	0,02162	0,005985	3,612	0,003
X1*X1	-0,01782	0,005826	-3,060	0,009
X2*X2	-0,02666	0,005826	-4,576	0,001
X3*X3	-0,02136	0,005826	-3,666	0,003

S = 0,0221196 PRESS = 0,0207845
R-Sq = 89,50% R-Sq(pred) = 65,68% R-Sq(adj)
= 84,65%

Analysis of Variance for Y2.6

Source	DF	F	P
Regression	6	18,46	0,000
Linear	3	24,65	0,000
Square	3	12,27	0,000
Residual Error	13		
Lack-of-Fit	8	1,74	0,282
Pure Error	5		
Total	19		

Response Optimization Y2.6

Parameters	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Y2.6	Target	8	8,1	8,2	1

Global Solution

X1 = 1,67161

X2 = 1,65553

X3 = 1,65994

Predicted Responses

Y2.6 = 8,09997

desirability = 0,999690

Composite Desirability = 0,999690

Lampiran 5. Pembentukan Level Faktor Optimum

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		lower					mean					upper		
2		Target	0,4174474				Target	0,34309403				Target	0,48465894	
3		x1	0,81938175				x1	1,96491707				x1	2,31866167	
4		x2	0,89666045				x2	0,45107349				x2	0,04295516	
5		x3	0,77286799				x3	0,25873524				x3	0,0681731	
6		v1	0,64268162				v1	0,77652698				v1	1,28744678	
7		v2	0,19221319				v2	-0,0903389				v2	-0,3181289	
8		S1	0,71160478				S1	1,6367614				S1	1,30342624	
9		S2	0,64268162				S2	0,77652698				S2	1,28744678	
10		T1	0,19221319				T1	-0,0903389				T1	-0,3181289	
11		T2	0,19223699				T2	5,1841268				T2	6,63733462	
12		d1	0,47410763				d1	0,63415972				d1	0,57649274	
13		d2	0,62933835				d2	0,69813487				d2	0,96074764	
14		D1	0,29996598				D1	0,31324593				D1	0,32395206	
15		D2	0,01619224				D2	0,02118413				D2	0,02263733	
16		Y1	66,9482153				Y1	67,2683194				Y1	67,1529855	
17		Y2	8,13706616				Y2	8,13018651				Y2	8,10392524	
18														
19		konstrain	0,36292371				konstrain	0,526999				konstrain	0,43744849	
20		konstrain	0,299				konstrain	0,42479737				konstrain	0,61699935	
21		konstrain	0,309				konstrain	0,30231492				konstrain	0,24346545	
22		konstrain	0,01600002				konstrain	0,02190684				konstrain	0,02899991	
23														
24		composite desirability					composite desirability					composite desirability		
25		0,546236					0,665379					0,74422		
26														

Keterangan: Untuk level mean

$$Y1 = 67,005 + 0,289 * H3 + 0,189 * H4 + 0,202 * H5 - (0,101 * H3 * H3) - (0,213 * H4 * H4) - (0,131 * H5 * H5)$$

$$Y2 = 8,134 + 0,03 * H3 + 0,025 * H4 + 0,023 * H5 - (0,019 * H3 * H3) - (0,027 * H4 * H4) - (0,017 * H5 * H5)$$

$$D1 = 0,165 + 0,03 * H3 + 0,018 * H4 + 0,034 * H5 + (0,016 * H3 * H3) + (0,037 * H4 * H4) + (0,046 * H5 * H5)$$

$$D2 = 0,003 + 0,006 * H3 + 0,003 * H4 + 0,003 * H5 + (0,001 * H3 * H3) + (0,001 * H4 * H4) + (0,003 * H5 * H5)$$

$$d1 = (H16 - 66) / (68 - 66)$$

$$d2 = (H17 - 8,2) / (8,1 - 8,2)$$

$$S1 = (H12 - 0,351) / (0,524 - 0,351)$$

$$S2 = (H13 - 0,299) / (0,813 - 0,299)$$

$$T1 = (0,309 - H14) / (0,309 - 0,262)$$

$$T2 = (0,016 - H15) / (0,016 - 0,017)$$

$$V1 = \text{MIN}(H8:H9)$$

$$V2 = \text{MIN}(H10:H11)$$

$$\text{Target} = 0,5 * H6 + 0,5 * H7$$

$$\text{Konstrain1} = H12 - (H6 * 0,138)$$

$$\text{Konstrain2} = H13 - (H6 * 0,352)$$

$$\text{Konstrain3} = H14 + (H7 * 0,121)$$

$$\text{Konstrain4} = H15 - (H7 * 0,008)$$

Pada awal x1, x2, x3 diberi nilai 1, lalu diselesaikan dengan Microsoft Excel Solver.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, Z. (2005). *Analisis Optimasi Proses Pembuatan Botol Produk Johnson Baby Oil 50 ml pada Mesin Blow Molding dengan Menggunakan Metode Response Surface*.
- Amalia, N. (2013). Laporan Kerja Praktek di PT. Abadi Adimulia.
- Amrillah, R. (2006). Penentuan Setting Parameter pada Proses Blow Molding dengan Metode Response Surface pada Produk Chamomile 60 ml.
- Azeem, A. (2008). Polyethylene Manufacturing and its Properties.
- Bashiri, M., & Hosseinezhad, S. J. (2009). A Fuzzy Programming for Optimizing Multi Reponse Surface in Robust Design. *Journal of Uncertain Systems Vol. 3 No. 3* , 163-173.
- Belofsky, H. (1995). *Platics: Product Design and Process Engineering*. Hanser Publication.
- Brown, M. B., & Forsythe, A. B. (1974). Robust Test for the Equality Variances. *Journal of the American Statistical Association Vol. 69 No.346* , 364-367.
- Daniel, W. (1989). *Statistika Nonparametrik Terapan*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Frost, J. (2012, 4 5). *The Minitab Blog*. Dipetik 2 25, 2014, dari Why You Need to Check Your Residual Plots for Regression Analysis: <http://blog.minitab.com/blog/adventures-in-statistics/why-you-need-to-check-your-residual-plots-for-regression-analysis>
- Johnson, R., & Bhattacharya, G. (1992). *Statistics : Principles and Methods* 2nd edition. Wiley.
- Khuri, A., & Cornell, J. (1996). *Response Surfaces Designs and Analysis*. New York: Marcel Dekker.
- Kim, K. J., & Lin, D. K. (1998). Dual Response Surface Optimization: A Fuzzy Modelling Approach. *Journal of Quality Technology Vol. 30 No. 1* , 1-10.

- Kompas. (2013, 9 11). *Kementrian Perindustrian Republik Indonesia*. Dipetik 2 3, 2014, dari Kementrian Perindustrian Republik Indonesia Website: <http://kemenperin.go.id/artikel/7334/Industri-Plastik-Perlu-Diperkuat>
- Lai, Y., & Hwang, C. (1992). *Fuzzy Multiple Objective Decision Making*. Springer-Verlag.
- Montgomery, D. C. (2001). *Response Surface Methods*. Dalam *Design and Analysis of Experiments 5th edition* (hal. 427-500). USA: John Wiley and Sons.
- Muccio, E. A. (1991). *Design for Plastics Processing*. *ASM Handbook Volume 20 : Materials Selection and Design* , 793-803.
- Mujiarto, I. (2008). *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*.
- Ningsih, S. W. (2010). *Optimasi Pembuatan Bioplastik Polihidroksialkanoat Menggunakan Bakteri Mesofilik Dan Media Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit*.
- Patryadi, V. (2006). *Penentuan Setting Parameter Pada Proses Blow Molding dengan Metode Taguchi Atribut*.
- Prastyo, D. D., Akbar, M. S., & Otok, B. W. (2007). *Fuzzy Modelling Approach and Global Optimization for Dual Response Surface*. *Jurnal Teknik Industri Vol. 9 No. 2* , 102-111.
- Romdhoni, L. (2004). *Pengendalian Kualitas Statistika Multivariant Proses Produksi Botol Indomilk 200 ml dengan Cavity 2,3 di PT Abadi Adimulia Surabaya*.
- Wei, W. W. (2006). *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods 2nd edition*. USA: Pearson Education, Inc.
- Zadeh, L. (1965). *Fuzzy Sets, Information, and Control Vol.8*. 338-353.
- Zimmerman, H. (2000). *Fuzzy Set Theory and Its Application 3rd edition*. Massachussets: Kluwer Academic Publisher.
- Zimmerman, H. (1987). *Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems*. Boston: Kluwer Academic Publishing.

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Lela Devi Meylina lahir di Bojonegoro pada tanggal 26 Mei 1992 dari pasangan Basuki Yuwono dan Wiwik Dwi Sulistyowati. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal yaitu di SD Negeri Mojodeso 2, SMP Negeri 1 Bojonegoro, dan SMA Negeri 1 Bojonegoro. Penulis diterima di Jurusan Statistika pada tahun 2010 melalui jalur SNMPTN dengan NRP 1310 100 099. Selama berada di bangku kuliah, penulis pernah mengikuti berbagai kegiatan pengembangan diri. Penulis pernah menjabat sebagai Kepala Biro Forum dan Komunikasi HIMASTA ITS 2012/2013. Motto hidup dari penulis adalah *always be better*. Penulis dapat dihubungi melalui email lela.meylina@gmail.com.