



**TUGAS AKHIR - SS141501**

**OPTIMASI TAGUCHI MULTIRESPON MELALUI PENDEKATAN  
FUNGSI *DESIRABILITY* DENGAN REGRESI *FUZZY* PADA  
KASUS KUAT TEKAN DAN DAYA SERAP AIR PRODUK BATAKO**

Tri Murniati  
NRP 1311 100 032

Dosen Pembimbing  
Dr. Sony Sunaryo, M.Si

Co-Dosen Pembimbing  
Dra. Lucia Aridinanti, MT

JURUSAN STATISTIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**FINAL PROJECT - SS141501**

**OPTIMIZATION OF MULTIPLE RESPONSES IN THE  
TAGUCHI METHOD USING DESIRABILITY FUNCTION  
AND FUZZY REGRESSION IN CASE COMPRESSIVE STRENGTH  
AND WATER ABSORPTION OF HOLLOW BLOCK**

Tri Murniati  
NRP 1311 100 032

Supervisor  
Dr. Sony Sunaryo, M.Si

Co-Supervisor  
Dra. Lucia Aridinanti, MT

DEPARTMENT Of STATISTICS  
Faculty of Mathematics and Natural Science  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2015

**LEMBAR PENGESAHAN**

**OPTIMASI TAGUCHI MULTIRESPON MELALUI  
PENDEKATAN FUNGSI *DESIRABILITY* DENGAN  
REGRESI *FUZZY* PADA KASUS KUAT TEKAN DAN  
DAYA SERAP AIR PRODUK BATAKO**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
pada

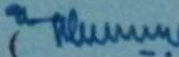
Program Studi S-1 Jurusan Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh:

**TRI MURNIATI**

NRP. 1311 100 032

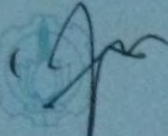
Disetujui oleh Dosen dan Co-Dosen Pembimbing Tugas Akhir  
**Dr. Sony Sunaryo, M.Si**

NIP : 19640725 198903 1 001

(  )

**Dra. Lucia Aridinanti, MT**

NIP : 19610121 198701 2 001

(  )

Mengetahui  
Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS



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

SURABAYA, JANUARI 2015

# OPTIMASI TAGUCHI MULTIRESPON MELALUI PENDEKATAN FUNGSI *DESIRABILITY* DENGAN REGRESI *FUZZY* PADA KASUS KUAT TEKAN DAN DAYA SERAP AIR PRODUK BATAKO

Nama Mahasiswa : Tri Murniati  
NRP : 1311 100 032  
Jurusan : Statistika FMIPA-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Sony Sunaryo, M.Si  
Co-Dosen Pembimbing: Dra. Lucia Aridinanti, M.T

## ABSTRAK

*PT. X yang berlokasi di Gresik adalah perusahaan yang memproduksi batako. Selama ini kualitas produk batako yang dihasilkan PT.X masih dibawah standar nasional. Berdasarkan SNI 03-0348-1989 tentang mutu batako, karakteristik kualitas batako terdiri dari kuat tekan dan daya serap air dimana standar minimal untuk kuat tekan batako adalah 45 kg/cm<sup>2</sup> dan daya serap air maksimal sebesar 35%. Untuk meningkatkan mutu batako, PT.X menggunakan bahan FAS ( $X_1$ ), bottom ash ( $X_2$ ) dan Agregat halus ( $X_3$ ) dengan rincian level FAS (0,4;0,5;0,6), Bottom ash (4 bagian; 5 bagian; 6 bagian) dan agregat halus (3 bagian; 2 bagian; 1 bagian). Penelitian sebelumnya dilakukan Damaris (2011) dengan hasil kombinasi level optimal FAS 0,4, bottom ash 5 bagian serta agregat halus 2 bagian. Level optimum penelitian Damaris (2011) menghasilkan nilai desirability untuk model a sebesar 0,90; model b sebesar 0,87 dan model c sebesar 0,85. Penelitian menggunakan pendekatan fungsi desirability dan regresi fuzzy secara umum menghasilkan nilai desirability yang lebih besar untuk tiga model tersebut sebesar 0,91 untuk model a; 0,95 untuk model b dan 0,76 untuk model c. Model c dipilih sebagai rekomendasi dengan level optimal FAS 0,42, bottom ash 5,3 bagian dan agregat halus 1,8 bagian. Biaya produksi model c paling minimal dan mampu menghemat biaya produksi sebesar 54 rupiah per batako.*

**Kata kunci :** *Daya serap air, fungsi desirability, kuat tekan, metode Taguchi, regresi fuzzy*

*halaman ini sengaja dikosongkan*

**OPTIMIZATION OF MULTIPLE RESPONSES  
IN THE TAGUCHI METHOD USING  
DESIRABILITY FUNCTION AND FUZZY REGRESSION  
IN CASE COMPRESSIVE STRENGTH  
AND WATER ABSORPTION OF HOLLOW BLOCK**

**Name of Student** : Tri Murniati  
**NRP** : 1311 100 032  
**Department** : Statistika FMIPA-ITS  
**Supervisor** : Dr. Sony Sunaryo, M.Si  
**Co- Supervisor** : Dra. Lucia Aridinanti, M.T

**ABSTRACT**

*PT. X which is located in Gresik is one of company that produces hollow block. Quality hollow block products produced PT.X still below the national standard. Based on the quality of SNI 03-0348-1989, characteristics quality of hollow block consist of compressive strength and water absorption which the minimum standards for compressive strength is  $45 \text{ kg / cm}^2$  and a maximum water absorption is 35%. To improve the quality of hollow block, PT.X used FAS ( $X_1$ ), bottom ash ( $X_2$ ) and fine aggregate ( $X_3$ ) with details of the level of FAS (0.4; 0.5; 0.6), Bottom ash (4 parts; 5 parts; 6 parts) and fine aggregate (3 parts; 2 parts; 1 part). The previous research conducted by Damaris (2011) with the results of the optimal level of FAS 0.4, bottom ash 5 parts and fine aggregate 2 parts. The optimum level from Damaris (2011) resulted in the value of desirability for model a is 0.90; models b and models c are 0.87 and 0.85. Research using desirability function and the fuzzy regression approach generally produce greater desirability values for the three models. They are 0.91 for the model a; 0.95 for models b and to 0.76 models c. Model c chosen as recommendation to the company with optimal level of FAS 0,42, bottom ash 5,3 parts and fine aggregate 1,8 parts. Model c is able to save on production cost by 54 rupiah per hollow block.*

**Key words** : *compressive strength, desirability function, fuzzy regression, Taguchi method, water absorption*

*halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim,

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Optimasi Taguchi Multirespon melalui Pendekatan Fungsi *Desirability* dengan Regresi *Fuzzy* pada Kasus Kuat Tekan dan Daya Serap Air Produk Batako**”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar kesarjanaan S-1 jurusan Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Terselesainya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari peran serta dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Sony Sunaryo, M.Si selaku dosen pembimbing utama yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, masukan, dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Dra. Lucia Aridinanti, M.T selaku co-dosen pembimbing yang dengan kesabaran memberikan saran dan bimbingan yang sangat berguna bagi Penulis.
3. Dr. Muhammad Mashuri, M.T selaku ketua Jurusan Statistika ITS yang telah mendukung dan membimbing sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
4. Dr. Puhadi, M. Sc selaku dosen wali yang banyak memberikan dukungan serta kemudahan kepada Penulis selama menjalani studi.
5. Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, M.T selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik sehingga mendorong penulis untuk selalu belajar.
6. Bapak Ricky Afi Damaris yang telah bersedia memberikan ijin Penulis untuk menggunakan data eksperimen batako.



7. Seluruh dosen Jurusan Statistika ITS yang telah memberikan banyak ilmu serta segenap karyawan Jurusan Statistika ITS yang mendukung terselesaikannya Tugas Akhir ini.
8. Pihak-pihak lain yang telah mendukung dan membantu atas terselesaikannya Tugas Akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat dan menambah wawasan keilmuan kita semua. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk perbaikan dimasa yang akan datang demi kebaikan bersama.

Surabaya, Januari 2015

**Penulis**

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	ii
TITLE PAGE .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iv
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat .....	5
1.5 Batasan Masalah.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Metode Taguchi .....	7
2.2 Teori <i>Fuzzy</i> .....	9
2.3 Regresi <i>Fuzzy</i> .....	10
2.4 Fungsi <i>Desirability</i> .....	14
2.5 Algoritma <i>Fuzzy Programming</i> .....	15
2.6 Penentuan Level Faktor Optimum Penelitian Damaris (2011).....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	25
3.1 Sumber Data.....	25

3.2 Variabel Penelitian.....	25
3.3 Rancangan Percobaan .....	28
3.4 Langkah Analisis .....	29
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
4.1 Penentuan Level Optimal dengan Metode Taguchi. ....	35
4.2 Analisis Model Regresi Konvensional Terbaik.....	37
4.2.1 Analisis Model Regresi Terbaik untuk Respon Kuat Tekan Batako .....	37
4.2.2 Analisis Model Regresi Terbaik untuk Respon Daya Serap Air Batako .....	44
4.3 Penentuan Level Optimal dengan Fungsi <i>Desirability</i> dan Regresi <i>Fuzzy</i> .....	49
4.4 Perbandingan Hasil Optimasi dengan Penelitian Damaris (2011) .....	61
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>65</b>
5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran .....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>69</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>95</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 <i>Orthogonal Array</i> $L_9(3^4)$ .....	8
Tabel 2.2 Struktur Data Eksperimen Taguchi dengan $r$ kali perulangan.....	16
Tabel 2.3 Matrik <i>pay-off</i> untuk nilai respon .....	17
Tabel 2.4 Matrik <i>pay-off</i> untuk nilai <i>desirability</i> .....	18
Tabel 2.5 Matrik <i>pay-off</i> untuk nilai fungsi deviasi .....	18
Tabel 2.6 Mutu Batako berdasarkan SNI 03-0348-1989 .....	21
Tabel 3.1 Variabel Proses Penelitian .....	27
Tabel 3.2 Eksperimen Taguchi dengan 3 kali perulangan .....	29
Tabel 4.1 Nilai rata-rata S/N ratio Respon Kuat Tekan .....	36
Tabel 4.2 Nilai rata-rata S/N ratio Respon Daya Serap Air.....	37
Tabel 4.3 Estimasi Parameter Regresi $\eta_{11}$ .....	38
Tabel 4.4 Estimasi Parameter Regresi $\eta_{12}$ .....	40
Tabel 4.5 Estimasi Parameter Regresi $\eta_{13}$ .....	42
Tabel 4.6 Estimasi Parameter Regresi $\eta_{21}$ .....	44
Tabel 4.7 Estimasi Parameter Regresi $\eta_{22}$ .....	46
Tabel 4.8 Estimasi Parameter Regresi $\eta_{23}$ .....	48
Tabel 4.9 Koefisien Parameter Regresi <i>Fuzzy</i> Respon Kuat Tekan .....	49
Tabel 4.10 Koefisien Parameter Regresi <i>Fuzzy</i> Respon Daya Serap Air .....	51
Tabel 4.11 Level Faktor Optimum <i>Fuzzy</i> .....	52
Tabel 4.12 Matrik <i>pay-off</i> untuk nilai prediksi respon .....	53
Tabel 4.13 Matrik <i>pay-off</i> untuk nilai <i>desirability</i> prediksi respon.....	55
Tabel 4.14 Matrik <i>pay-off</i> untuk nilai fungsi deviasi prediksi respon.....	56
Tabel 4.15 Level Faktor <i>Fuzzy</i> Optimum model $a$ .....	60

Tabel 4.16 Level Faktor <i>Fuzzy</i> Optimum model <i>b</i> .....	60
Tabel 4.17 Level Faktor <i>Fuzzy</i> Optimum model <i>c</i> .....	61
Tabel 4.18 Level Faktor Optimum Penelitian Damaris (2011) ..	62
Tabel 4.19 Perbandingan hasil optimasi .....	62
Tabel 4.20 Perbandingan biaya Produksi .....	63

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Triangular Fuzzy</i> Bilangan F.....	10
Gambar 3.1 Diagram Alir Analisis Data.....	32
Gambar 3.2 Diagram Alir Analisis Data (lanjutan) .....	33
Gambar 4.1 Asumsi Independen untuk Respon $\eta_{11}$ .....	39
Gambar 4.2 Asumsi Independen untuk Respon $\eta_{12}$ .....	41
Gambar 4.3 Asumsi Independen untuk Respon $\eta_{13}$ .....	43
Gambar 4.4 Asumsi Independen untuk Respon $\eta_{21}$ .....	45
Gambar 4.5 Asumsi Independen untuk Respon $\eta_{22}$ .....	47
Gambar 4.6 Asumsi Independen untuk Respon $\eta_{23}$ .....	48

*halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Batako merupakan salah satu bahan alternatif dinding yang murah dan relatif kuat. Batako dapat digunakan di berbagai bidang konstruksi, seperti pembangunan rumah, gedung, hotel, stadion, jembatan, dan konstruksi jalan ( Nasrudin, 2014). Bahan baku utama untuk membuat batako yaitu campuran pasir, semen dan air yang dipress dengan ukuran standar. Dalam pembuatan batako dapat ditambahkan bahan *additive* lainnya. Pada proses pencetakan akan melalui proses pemadatan sehingga menjadi bentuk balok dengan ukuran tertentu dimana proses pengerasannya tanpa melalui pembakaran serta dalam pemeliharannya ditempatkan pada tempat yang lembab dan tidak terkena sinar matahari langsung/hujan. Bentuk batako terdiri dari dua jenis, yaitu batako yang berlubang (*hollow block*) dan batako yang tidak berlubang (*solid block*) serta memiliki ukuran yang bervariasi.

Frick dan Koesmartadi (1999) mengemukakan batako mempunyai beberapa keuntungan pemakaian bila dibandingkan dengan bata merah, terlihat penghematan dalam beberapa segi, misalnya untuk setiap m<sup>2</sup> luas dinding, jumlah batu yang dibutuhkan lebih sedikit. Selain itu terdapat pula penghematan dari segi pemakaian adukan sampai 75 % dan berat tembok menjadi lebih ringan hingga 50 %. Dengan demikian fondasinya bisa berkurang, kualitas batako yang baik menjadikan tembok tidak perlu diplester sudah cukup menarik.

Di Indonesia kebutuhan akan bahan bangunan yang murah dan berkualitas masih sangat tinggi. Hal ini dikarenakan kebutuhan akan perumahan sebagai salah satu kebutuhan pokok meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk setiap tahunnya. Kebutuhan perumahan di Indonesia menurut Badan Pusat Statistik (2014) dalam 20 tahun ke depan ditambah dengan *backlog* (kesenjangan antara jumlah rumah terbangun dengan jumlah rumah yang dibutuhkan rakyat) yang sekarang mencapai 31 juta unit. Tahun 2014, pemerintah melalui



kementerian perumahan rakyat akan melakukan pembangunan rumah murah bagi masyarakat. Dengan adanya berbagai program rumah murah tersebut, menyediakan bahan bangunan murah dan berkualitas untuk perumahan yang terjangkau sangat diperlukan oleh masyarakat. Sehingga berdasarkan fakta tersebut sudah selayaknya produk batako sebagai salah satu bahan utama bangunan yang relatif murah terus akan meningkat kebutuhannya.

PT. X yang berlokasi di Gresik merupakan salah satu perusahaan yang memproduksi batako. Karena masih tergolong sebagai perusahaan yang baru, PT. X berusaha untuk merancang strategi supaya produknya diminati masyarakat. Salah satu cara untuk menarik pelanggan adalah dengan menghasilkan produk batako yang berkualitas namun dengan harga yang relatif murah. Oleh karena itu, PT.X menggunakan *bottom ash* sebagai campuran adonan utama pembuatan batako (Damaris, 2011). *Bottom ash* adalah abu hasil pembakaran batu bara atau limbah B3 lainnya seperti plastik, botol, kertas, *pulp* dll. Selain ramah lingkungan, *bottom ash* juga mampu mengurangi komposisi semen yang relatif mahal dalam pembuatan batako. Dalam prakteknya, PT. X tidak hanya ingin semata-mata mengurangi biaya produksi, namun juga ingin meningkatkan kualitas batako. Karena selama ini produk batako PT.X belum memenuhi standar nasional. Berdasarkan SNI 03-0348-1989 tentang mutu batako, batako dibedakan menurut tingkat mutunya. Kuat tekan batako dan daya serap air mengidentifikasi mutu dari sebuah batako. Oleh karena itu, spesifikasi dari karakteristik kualitas yang kritis produk batako adalah kuat tekan dan daya serap air. Kedua karakteristik kualitas batako tersebut dianggap sangat penting karena berhubungan langsung dengan ketahanan batako saat dipasang sebagai dinding rumah. Batako harus memenuhi syarat kuat tekan minimal sehingga mampu menopang atap rumah. Kuat tekan batako sangat dipengaruhi kerekatan partikel penyusunnya. Dimana kerekatan partikel tersebut yang menyebabkan besar tidaknya rongga pada batako. Rongga batako tersebut yang kemudian berpengaruh terhadap besarnya daya serap air. Kuat tekan dari batako diharapkan semakin besar semakin baik sedangkan daya serap air produk batako diharapkan lebih kecil

lebih baik. Untuk mencapai kondisi yang optimum dari kedua karakteristik kualitas tersebut diperlukan optimasi multirespon serentak berdasarkan komposisi bahan-bahan baku utama batako.

Damaris (2011) melakukan penelitian tentang optimasi kuat tekan dan daya serap air dari batako yang menggunakan *bottom ash*. Metode yang digunakan Damaris (2011) adalah dengan pendekatan metode Taguchi *total loss function*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan *setting level optimal* faktor air semen (FAS) pada nilai 0,4 , *bottom ash* 5 bagian dan agregat halus (pasir) 2 bagian. Dengan menerapkan level tersebut diperoleh nilai kuat tekan batako sebesar 63,29 kg/cm<sup>2</sup> dan daya serap air 23,12%. Nilai S/N Ratio multirespon sebesar 3,8002 dB. Dalam penelitian Damaris (2011) memiliki batasan penelitian yaitu interaksi antar faktor diabaikan. Padahal batako sebagai salah satu jenis beton terbentuk dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya (Nawy,1985). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara FAS, *Bottom ash* dan Agregat halus selama proses pengikatan campuran bahan sampai terbentuk batako yang telah kering. Namun untuk dapat menggambarkan interaksi pada metode Taguchi diperlukan jumlah eksperimen yang lebih banyak sehingga akan menimbulkan biaya yang lebih besar. Permasalahan ini dapat diatasi dengan menggunakan pendekatan regresi pada metode respon permukaan dimana dari eksperimen yang ada dapat dibentuk model orde kedua. Model orde kedua pada respon permukaan mampu menjelaskan variabel respon berdasarkan pengaruh faktor utama dan faktor interaksinya. Selain itu, dengan membentuk orde dua maka diperoleh level optimal yang lebih sensitif karena berbentuk kurva.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan interaksi dan model orde dua pada metode Taguchi adalah metode Taguchi dengan pendekatan fungsi *desirability* dan regresi *fuzzy*. Pada metode ini optimasi dilakukan melalui fungsi *desirability* dan fungsi deviasi sehingga diperoleh hasil optimasi yang lebih mendekati hasil yang diharapkan. Keunggulan lain metode ini adalah pembentukan model regresi melalui regresi *fuzzy* sehingga ketidakpastian dalam parameter

regresi diukur berdasarkan kesamaran (*fuzzy*), tidak berdasarkan probabilitas. Sehingga tidak memerlukan asumsi statistik yang ketat. Hal ini dikarenakan jika dalam peramalan konvensional perbedaan antara nilai yang diamati dan nilai yang diestimasi dianggap sebagai suatu kesalahan pengamatan atau error, tetapi yang demikian dalam regresi *fuzzy* dianggap sebagai kerancuan (*ambiguity*) yang ada dalam sistem (Astuti, 2007). Model regresi ini digunakan untuk menangani masalah regresi dengan jumlah amatan terbatas dimana hasil prediksi dari model ini adalah berupa interval.

Al-Refaie, dkk (2013) telah menerapkan metode Taguchi dengan pendekatan fungsi *desirability* dan regresi *fuzzy* untuk optimasi proses GZO film dengan faktor power listrik, tekanan *sputtering*, waktu deposisi, suhu substrat, dan pasca *annealing*. Dalam penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa pendekatan dengan metode ini memberikan selang terhadap solusi optimal sehingga berbeda dengan metode optimasi tradisional. Model yang terbentuk berkaitan dengan pengulangan respon bukan rata-rata pengulangan respon sehingga memberikan hasil yang dapat diandalkan. Penentuan level optimal dengan metode ini lebih fleksibel untuk mengubah level faktor yang mungkin akan berpengaruh selama proses operasi akibat faktor tidak terkontrol, sehingga cocok untuk percobaan kadar-kadar bahan baku batako karena lebih fleksibel untuk diubah kadarnya. Meylina, L.D.(2013) menggunakan algoritma yang sama namun untuk rancangan eksperimen *respon surface* dan menghasilkan hasil optimasi yang meminimumkan deviasi respon dari target dan lebih mendekati hasil yang diinginkan.

Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan optimasi metode Taguchi multirespon dengan pendekatan fungsi *desirability* dan regresi *fuzzy* dimana hasil penelitian ini kemudian akan dibandingkan dengan penelitian Damaris (2011) untuk memperoleh metode yang lebih sesuai dengan permasalahan tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana *setting* faktor bahan baku dalam proses pembuatan batako untuk mengoptimalkan kuat tekan serta daya serap air produk batako melalui pendekatan fungsi *desirability* dengan regresi *fuzzy*?
2. Bagaimana perbandingan hasil optimasi pada penelitian Damaris (2011) dengan optimasi multirespon Taguchi melalui pendekatan fungsi *desirability* dengan regresi *fuzzy*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan *setting* faktor bahan baku dalam proses pembuatan batako yaitu FAS, *bottom ash* dan agregat halus dengan pendekatan fungsi *desirability* dengan regresi *fuzzy* sehingga dapat mengoptimalkan kuat tekan serta daya serap air produk batako.
2. Melakukan perbandingan hasil optimasi antara penelitian Damaris (2011) dengan optimasi multirespon Taguchi melalui pendekatan fungsi *desirability* dengan regresi *fuzzy*, sehingga diperoleh informasi tentang metode yang lebih sesuai untuk kasus optimasi kuat tekan serta daya serap air produk batako PT.X.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Mengetahui *setting* level faktor bahan baku pembuatan batako yang dapat mengoptimalkan kuat tekan dan daya serap air produk batako sehingga dapat menjadi masukan bagi PT. X agar dapat memperbaiki proses untuk mencapai karakteristik produk yang sesuai dengan standar SNI. Proses pembuatan dan bahan baku yang sesuai dalam produksi batako dapat memberikan keuntungan bagi perusahaan

dalam segi penghematan biaya serta bagi masyarakat pengguna batako dengan memperoleh batako berkualitas.

2. Bagi para pembaca mampu mendapatkan informasi mengenai metode optimasi Taguchi melalui pendekatan fungsi *desirability* dengan regresi *fuzzy* serta dapat memperoleh hasil perbandingan metode optimasi dengan respon serentak pendekatan *Total Loss Function* dan metode optimasi Taguchi melalui pendekatan fungsi *desirability* dengan regresi *fuzzy* sehingga diketahui kelebihan dan kekurangan masing-masing metode. Metode yang lebih sesuai akan mampu mencapai tujuan yang diinginkan.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Produk yang diteliti adalah batako berlubang untuk pasangan dinding yang tertutup atap sehingga standar mutu produk yang digunakan adalah standar mutu II. Berat untuk satu unit batako yang diteliti adalah 12 kg.
2. Faktor-faktor lingkungan berada dalam kondisi tetap (konstan).
3. Campuran material bahan baku dianggap homogen atau tetap.
4. Kondisi operasional mesin dalam keadaan baik.
5. Alat uji dan ukur yang digunakan sudah terkalibrasi dengan baik.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Metode Taguchi

Metode Taguchi diperkenalkan pertama kali oleh Dr. Genichi Taguchi (1949) yang merupakan metodologi baru dalam teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk *robust* terhadap *noise*, karena itu sering disebut *robust design*. Metode Taguchi membentuk metode eksperimen berdasarkan *orthogonal array*. *Orthogonal array* menyediakan satu set jumlah eksperimen yang paling minimum yang mampu memberikan informasi secara lengkap tentang pengaruh faktor pada performa parameter (Park, 1996). Metode Taguchi menyebabkan variansi dari hasil eksperimen minimum dengan *setting* faktor level yang optimum tanpa menghilangkan penyebabnya.

*Orthogonal array* adalah matrik dimana baris dan kolom saling *orthogonal*. Setiap kolom merepresentasikan faktor, dan baris mewakili level pada faktor dari percobaan yang dilakukan. Elemen-elemen matriks disusun menurut baris dan kolom. Pemilihan jenis *orthogonal array* yang akan digunakan pada percobaan berdasarkan pada jumlah derajat bebas total (Park, 1996). Derajat bebas total diperoleh berdasarkan banyak faktor dan interaksi yang diamati dan banyak level untuk faktor yang diamati. *Orthogonal array* yang dipilih harus memiliki baris minimal yang sama dengan derajat bebas yang didapat. Notasi *orthogonal array* adalah:

$$L_n(l^f) \tag{2.1}$$

dimana :

$f$  = banyaknya faktor (kolom)

$l$  = banyaknya level

$n$  = banyaknya pengamatan (baris)

$L$  = rancangan bujur sangkar latin

Pada penelitian ini menggunakan *orthogonal array*  $L_9(3^4)$  dengan rancangan sebagai berikut.

**Tabel 2.1** *Orthogonal Array*  $L_9(3^4)$ 

Eks	Coloumn number			
	1	2	3	4
1	-1	-1	-1	-1
2	-1	0	0	0
3	-1	1	1	1
4	0	-1	0	1
5	0	0	1	-1
6	0	1	-1	0
7	1	-1	1	0
8	1	0	-1	1
9	1	1	0	-1
<b>Basic mark</b>	a	b	ab	ab <sup>2</sup>

*Orthogonal array*  $L_9(3^4)$  digunakan untuk percobaan yang memiliki 3 level pada setiap faktornya. Pada setiap perhitungan level faktor lebih sering dikodekan dengan angka “-1” yang digunakan untuk kode level rendah, angka “0” yang digunakan untuk kode level medium, dan angka “1” yang digunakan untuk kode level tinggi. Penempatan masing-masing faktor harus disesuaikan dengan *basic mark*. Pada metode Taguchi hasil dari eksperimen ditransformasikan menjadi S/N Ratio untuk mengukur deviasi karakteristik kualitas dari nilai yang diharapkan. Pada setiap eksperimen diharapkan nilai S/N ratio besar. Terdapat 3 kategori karakteristik kualitas berdasarkan metode dalam perhitungannya, yaitu *smaller the better* (STB), *nominal is the best* (NTB) dan *larger the better* (LTB).

- a. Karakteristik *nominal is the best* adalah karakteristik kualitas dengan nilai target tidak nol dan terbatas sehingga nilai yang semakin mendekati target tersebut adalah nilai yang diinginkan. S/N Ratio untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 S/NRatio &= 10 \log[MSD] \\
 &= 10 \log \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - m)^2}{n} \right] \quad (2.2)
 \end{aligned}$$

dimana :  $m$  = nilai target spesifikasi

- b. Karakteristik *smaller the better* adalah karakteristik kualitas dengan batas nol dan non negatif sehingga nilai yang semakin kecil atau mendekati nol adalah nilai yang diinginkan. S/N Ratio untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} S/N \text{ Ratio} &= -10 \log[MSD] \\ &= -10 \log \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(y_i)^2}{n} \right] \end{aligned} \quad (2.3)$$

- c. Karakteristik *larger the better* adalah karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non negatif sehingga nilai yang semakin besar adalah nilai yang diinginkan. S/N Ratio untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} S/N \text{ Ratio} &= -10 \log[MSD] \\ &= -10 \log \left[ \sum_{i=1}^n \frac{1/y_i^2}{n} \right] \end{aligned} \quad (2.4)$$

## 2.2 Teori Fuzzy

*Fuzzy* berarti samar, kabur atau tidak jelas. *Fuzzy* adalah istilah yang dipakai oleh Lotfi A. Zadeh pada bulan Juli 1964 untuk menyatakan kelompok/himpunan yang dapat dibedakan dengan kelompok lain berdasarkan derajat keanggotaan. Di dalam teori himpunan klasik dinyatakan suatu objek adalah anggota (ditandai dengan “1”) atau bukan anggota (ditandai dengan “0”) dari suatu himpunan dengan batas keanggotaan yang jelas/ tegas (*crisp*). Namun dalam teori himpunan *fuzzy* memungkinkan derajat keanggotaan suatu objek dalam himpunan untuk menyatakan peralihan keanggotaan bertahap dalam interval antara “0” dan “1” atau ditulis  $[0,1]$ . Himpunan *fuzzy*  $F$  dalam semesta  $X$  biasanya dinyatakan sebagai pasangan berurutan dari elemen  $x$  dan mempunyai derajat keanggotaan:

$$F = \{(x, \mu_F(x)) | x \in X\} \quad (2.5)$$

dimana :

$F$  = Notasi himpunan *fuzzy*

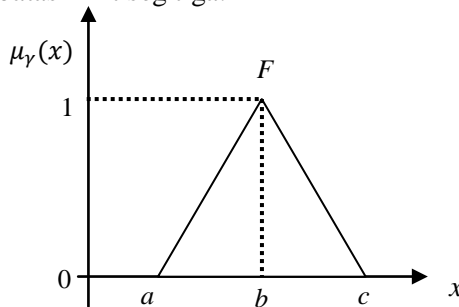
$x$  = elemen dari  $X$

$\mu_F(x)$  = derajat keanggotaan dari  $x$  yang bernilai antara 0 dan 1.



Fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* dapat disajikan dalam dua cara yaitu *numeric* dan fungsional. Secara fungsional himpunan *fuzzy* disajikan dalam bentuk persamaan matematis sehingga untuk mengetahui derajat keanggotaan dari masing-masing elemen dalam semesta pembicaraan memerlukan perhitungan. Fungsi keanggotaan yang biasanya digunakan dalam logika *fuzzy* fungsi keanggotaan segitiga (*triangular fuzzy*).

*Triangular fuzzy* didefinisikan sebagai *triplet*  $(a, b, c)$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1., dimana  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  merupakan batas limit segitiga.



Gambar 2.1 *Triangular Fuzzy* Bilangan F

Fungsi keanggotaan  $\mu_\gamma(x)$  *triplet* didefinisikan sebagai:

$$\mu_\gamma(x) = \begin{cases} 0 & \text{untuk } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{untuk } a \leq x < b \\ \frac{x-b}{c-b} & \text{untuk } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{untuk } x > c \end{cases} \quad (2.6)$$

### 2.3 Regresi *Fuzzy*

Model regresi pada metode Taguchi menggunakan S/N Ratio sebagai responnya. Misalkan  $\eta_{jr}$  adalah S/N Ratio untuk pengulangan ke-  $r$  dari respon  $j$ . Model regresi linier untuk kombinasi level faktor menggunakan nilai  $\eta_{jr}$  adalah sebagai berikut.

$$\eta_{jr} = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (2.7)$$

Dalam pembentukan model regresi konvensional diperlukan proses estimasi parameter, pengujian signifikansi parameter model dan asumsi identik, independen dan berdistribusi normal atau asumsi IIDN( $0, \sigma^2$ ) pada residual (Montgomery, 2001).

### 1. Estimasi Parameter Model Regresi

Model yang dapat digunakan untuk menggambarkan hubungan antara variabel independen dan variabel dependen adalah model linier dan model orde kedua. Model linier ditunjukkan pada Persamaan 2.8, sedangkan untuk model orde kedua ditunjukkan pada Persamaan 2.9.

$$\eta_{jr} = \beta_{0r} + \sum_{f=1}^v \beta_{fr} x_f + \varepsilon \quad (2.8)$$

$$\eta_{jr} = \beta_{0r} + \sum_{f=1}^v \beta_{fr} x_f + \sum_{f=1}^v \beta_{ffr} x_f^2 + \sum_{g < f} \sum_{g=1}^v \beta_{fgr} x_f x_g + \varepsilon \quad (2.9)$$

$$r = 1, 2, \dots, k$$

dimana  $x_f$ ,  $x_f^2$ , dan  $x_f x_g$  adalah faktor independen, dan  $\beta_f$ ,  $\beta_{fg}$ ,  $\beta_{ff}$  adalah *crisp values*, dan  $\varepsilon$  adalah variabel random error dalam nilai respon. Kemudian menentukan model paling sesuai untuk memodelkan hubungan antara S/N Ratio untuk respon  $j$  dan faktor proses. Metode *Ordinary Least Square* (OLS) digunakan untuk menaksir parameter regresi agar *Sum Square Error* kecil. Estimasi parameter ditunjukkan pada Persamaan 2.10.

$$\hat{\beta} = b = (X^T X)^{-1} X^T \eta \quad (2.10)$$

Keterangan:

- $b$  : vektor taksiran koefisien regresi berukuran  $m \times 1$
- $X$  : matrik level dari variabel prediktor berukuran  $m \times n$
- $\eta$  : vektor respon berukuran  $n \times 1$

### 2. Pengujian Signifikansi Model

#### a. Uji Serentak

Uji serentak adalah penguian signifikansi parameter regresi secara keseluruhan untuk mengetahui apakah terdapat minimal satu variabel prediktor yang berpengaruh terhadap nilai respon.

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$  (pengaruh prediktor ke- $i$  sampai ke- $p$  tidak bermakna).

$H_1 : \text{minimal ada satu nilai } \beta_i \neq 0; i = 1, 2, \dots, p$  (minimal ada satu prediktor bermakna).

Statistik Uji:

$$F_{hitung} = \frac{MS_{regresi}}{MS_{residual}} \quad (2.11)$$

Kriteria penolakan: Tolak  $H_0$  jika  $F_{hitung} > F_{\alpha(p;n-p-1)}$  dengan  $p$ =jumlah parameter regresi dan  $n$ = banyak pengamatan.

b. Uji Individu

Pengujian parameter regresi secara individu dilakukan untuk mengetahui apakah masing-masing prediktor memberikan pengaruh terhadap respon.

$H_0 : \beta_i = 0$ ; (pengaruh prediktor ke- $i$  tidak bermakna).

$H_1 : \beta_i \neq 0; i = 1, 2, \dots, p$  (pengaruh prediktor bermakna).

Statistik Uji: 
$$t_{hitung} = \frac{b_i}{se(b_i)} \quad (2.12)$$

Kriteria penolakan: Tolak  $H_0$  jika  $|t_{hitung}| > t_{\alpha/2(n-p)}$ .

3. Pengujian Asumsi IIDN

- a. Asumsi identik. Pengujian identik digunakan untuk menguji keidentikan varians residual, sehingga dapat diketahui penyebaran residual telah sama (homogen) atau belum. Pengujian keidentikan varians residual dapat dilakukan dengan uji Levene. Uji Levene digunakan untuk mengetahui kehomogenan varians residual tanpa harus memenuhi asumsi normal (Noguchi & Gel, 2010). Pada metode ini digunakan jarak nilai median sampel pada observasi sehingga uji ini lebih *robust* untuk sampel kecil. Hipotesis yang digunakan pada uji ini adalah

$H_0$  : Varians residual bersifat homogen

$H_1$  : Varians residual bersifat tidak homogen

Berikut ini adalah statistik uji untuk Uji Levene :

$$L = \frac{(n-k) \sum_{i=1}^k n_i (m_i - m_{..})^2}{(k-1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (e_{ij} - m_i)^2} \quad (2.13)$$

Keterangan :

- $n$  : banyaknya data (residual)  
 $n_i$  : banyaknya data (residual) pada kelompok ke- $i$   
 ( $i = 1, 2, \dots, k$ )  
 $k$  : banyaknya kelompok residual  
 $m_i$  : median dari residual kelompok ke- $i$   
 $m_{..}$  : median dari residual secara keseluruhan  
 $e_{ij}$  : residual ke- $j$  pada kelompok ke- $i$  ( $j = 1, 2, \dots, n_i$ )

Daerah kritis : Tolak  $H_0$  jika  $p$ -value  $< \alpha$  atau  $L > F_{(k-1, n-k)}(\alpha)$ .

- b. Asumsi independen. Pengujian asumsi independen digunakan untuk mengetahui apakah terdapat korelasi antar residual atau tidak. Secara visual dapat terlihat dalam plot *Autocorrelation Function* (ACF) yaitu plot yang menunjukkan korelasi antar residual pada lag yang berbeda (Wei, 2006). Residual dikatakan memenuhi asumsi independen jika semua nilai korelasi antar residual berada di dalam batas signifikan.
- c. Asumsi berdistribusi normal. Pengujian asumsi residual normal  $(0, \sigma^2)$  dapat dilakukan melalui pengujian Kolmogorov-Smirnov (Daniel, 1989). Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

$H_0$  : Residual berdistribusi normal

$H_1$  : Residual tidak berdistribusi normal

Statistik uji:  $D = \max |F_0(x) - S_N(x)| \quad (2.14)$

$F_0(x)$  adalah fungsi distribusi kumulatif sedangkan  $S_N(x) = i/n$  merupakan fungsi peluang kumulatif pengamatan dari sampel dengan  $i$  adalah pengamatan dan  $n$  banyaknya pengamatan.

Daerah keputusan: jika  $|D| > q_{(1-\alpha)}$  atau  $p$ -value kurang dari  $\alpha$  maka tolak  $H_0$ .

Untuk menjelaskan ketidakpastian dalam model regresi bisa menggunakan probabilitas dan juga bilangan *fuzzy* yang disebut regresi *fuzzy*. Keanggotaan *fuzzy* memberikan suatu ukuran terhadap pendapat atau keputusan, sedangkan probabilitas mengindikasikan proporsi terhadap keseringan suatu hasil bernilai benar dalam jangka panjang (Kusumadewi,S & Purnomo,H, 2010).

Regresi *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Tanaka, dkk (1982). Regresi *fuzzy* mencerminkan sifat samar dari hubungan antara variabel dependen dan independen. Parameter regresi *fuzzy* merupakan sebuah bilangan *fuzzy*. Batas-batas nilai *fuzzy* digunakan dalam model regresi untuk menangkap variabilitas variabel dependen. Regresi *fuzzy* dinyatakan sebagai berikut.

$$\tilde{\eta}_{jr} = \tilde{\beta}_0 + \sum_{f=1}^v \tilde{\beta}_{jf} x_f \sum_{f=1}^v \tilde{\beta}_{jf} x_f^2 + \sum_{g < f} \sum_{g < f}^v \tilde{\beta}_{fgr} x_f x_g + \varepsilon, \quad (2.15)$$

$$\forall j, \forall f$$

dimana  $\tilde{\beta}$  merupakan vektor parameter regresi *fuzzy* yang anggotanya merupakan batas-batas bilangan *fuzzy*. Nilai parameter *fuzzy*  $\tilde{\beta}$  berdasarkan fungsi keanggotaan segitiga pada Gambar 2.1. Misalkan  $\tilde{\beta} = (\beta^a, \beta^b, \beta^c)$  adalah koefisien *fuzzy* segitiga. Maka  $\beta^a, \beta^b$ , dan  $\beta^c$  memiliki nilai sebagai berikut.

$$\tilde{\beta} = \begin{cases} \beta_{fg}^m = \text{mean}(\beta_{fg}^1 + \beta_{fg}^2 + \dots + \beta_{fg}^r) \\ \beta_{fg}^a = \beta_{fg}^m - s \\ \beta_{fg}^b = \beta_{fg}^m \\ \beta_{fg}^c = \beta_{fg}^m + s \end{cases} \quad (2.16)$$

dimana  $s$  adalah standar deviasi parameter regresi.

## 2.4 Fungsi *Desirability*

Derringer dan Suich (1980) memperkenalkan konsep dari *desirability*, dimana setiap fungsi respon ditransformasikan ke dalam bentuk fungsi *desirability* yang memiliki skala nilai dari nol sampai satu. Langkah dalam transformasi *desirability* yaitu setiap variabel respon  $y_i$  dikonversikan ke dalam bentuk fungsi individual *desirability*  $d_i$ , dengan  $d_i = 0$  menunjukkan nilai

respon yang tidak diinginkan atau nilai respon berada di luar batas spesifikasi. Untuk nilai  $d_i = 1$  menyatakan nilai respon ideal. Berdasarkan karakteristik dari variabel respon, fungsi *desirability* dibedakan menjadi 3 macam.

1. *Larger the better* (LTB)

$$d_i(x) = \begin{cases} 0 & \hat{y}_i(x) < y_{i*} \\ \left[ \frac{\hat{y}_i(x) - y_{i*}}{y_i^* - y_{i*}} \right] & y_{i*} \leq \hat{y}_i(x) < y_i^* \\ 1 & \hat{y}_i(x) \geq y_i^* \end{cases} \quad (2.17)$$

2. *Nominal is the best* (NTB)

$$d_i(x) = \begin{cases} \left[ \frac{\hat{y}_i(x) - y_{i*}}{t_i - y_{i*}} \right]^s & y_{i*} \leq \hat{y}_i(x) < t_i \\ \left[ \frac{\hat{y}_i(x) - y_i^*}{t_i - y_i^*} \right]^c & t_i \leq \hat{y}_i(x) \leq y_i^* \\ 0 & \hat{y}_i(x) < y_{i*} \text{ atau } \hat{y}_i(x) > y_i^* \end{cases} \quad (2.18)$$

3. *Smaller the better* (STB)

$$d_i(x) = \begin{cases} 0 & \hat{y}_i(x) > y_i^* \\ \left[ \frac{\hat{y}_i(x) - y_{i*}}{y_i^* - y_{i*}} \right] & y_{i*} \leq \hat{y}_i(x) < y_i^* \\ 1 & \hat{y}_i(x) \leq y_{i*} \end{cases} \quad (2.19)$$

dimana  $y_{i*}$  adalah nilai minimum respon berdasarkan  $\hat{y}_i(x)$ ,  $y_i^*$  adalah nilai target dari  $\hat{y}_i(x)$ , untuk  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ . Kemudian dibentuk fungsi *composite desirability* berdasarkan fungsi-fungsi individual *desirability* dengan menggunakan mean geometrik (Park, 1996).

$$D(x) = [d_1(x) \times d_2(x) \times \dots \times d_m(x)]^{1/m} \quad (2.20)$$

## 2.5 Algoritma Fuzzy Programming

Salah satu cara untuk optimasi multirespon dengan percobaan dengan  $r$  kali pengulangan adalah dengan pendekatan fungsi *desirability*. Dalam rangka memperoleh level yang optimum diselesaikan dengan menggunakan algoritma *fuzzy programming*. Al-Refaie, dkk (2013) mengemukakan sebuah

algoritma *fuzzy programming* untuk optimasi multirespon dengan metode Taguchi sebagai berikut.

1. Mendesain eksperimen multirespon Taguchi dengan  $r$  kali pengulangan.

Eksperimen multirespon Taguchi melibatkan lebih dari satu respon dan menggunakan aturan *orthogonal array*. Eksperimen dilakukan untuk  $r$  kali pengulangan agar diperoleh hasil eksperimen yang tidak bias. Berikut ini struktur data design eksperimen Taguchi  $L_9(3^4)$  untuk  $r$  kali pengulangan.

**Tabel 2.2** Struktur Data Eksperimen Taguchi dengan  $r$  kali pengulangan

Eks	Level Faktor				Respon						
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$e$	$Y_1$			...	$Y_m$		
					$y_{i11}$	...	$y_{i1r}$	...	$y_{im1}$	...	$y_{imr}$
1	-1	-1	-1	-1	$y_{111}$	...	$y_{11r}$	...	$y_{1m1}$	...	$y_{1mr}$
2	-1	0	0	0	$y_{211}$	...	$y_{21r}$	...	$y_{2m1}$	...	$y_{2mr}$
3	-1	1	1	1	$y_{311}$	...	$y_{31r}$	...	$y_{3m1}$	...	$y_{3mr}$
4	0	-1	0	1	$y_{411}$	...	$y_{41r}$	...	$y_{4m1}$	...	$y_{4mr}$
5	0	0	1	-1	$y_{511}$	...	$y_{51r}$	...	$y_{5m1}$	...	$y_{5mr}$
6	0	1	-1	0	$y_{611}$	...	$y_{61r}$	...	$y_{6m1}$	...	$y_{6mr}$
7	1	-1	1	0	$y_{711}$	...	$y_{71r}$	...	$y_{7m1}$	...	$y_{7mr}$
8	1	0	-1	1	$y_{811}$	...	$y_{81r}$	...	$y_{8m1}$	...	$y_{8mr}$
9	1	1	0	-1	$y_{911}$	...	$y_{91r}$	...	$y_{9m1}$	...	$y_{9mr}$

Keterangan:

$i$  = banyak eksperimen, dengan  $i = 1, 2, \dots, 9$

$j$  = banyak respon, dengan  $j = 1, 2, \dots, m$

$k$  = banyak level faktor, dengan  $k = 1, 2, 3$

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

2. Menghitung nilai S/N Ratio untuk respon.

Berdasarkan karakteristik masing-masing respon maka ditentukan nilai S/N Ratio untuk masing-masing nilai respon. Nilai SN Ratio dihitung untuk masing-masing pengamatan dan replikasi. Sehingga diperoleh  $\eta_{ijr}$  sebagai S/N Ratio untuk eksperimen ke- $i$  pengulangan ke- $r$  dari respon  $j$ .

3. Menentukan level optimum berdasarkan S/N Ratio.

Level optimum ditentukan berdasarkan nilai rata-rata S/N ratio paling maksimum.

4. Membuat model regresi berganda dengan variabel respon S/N Ratio tiap replikasi.

Model regresi dibentuk berdasarkan nilai S/N Ratio tiap replikasi. Sehingga untuk  $r$  pengulangan dan  $j$  respon akan menghasilkan model regresi sebanyak  $rxj$ . Estimasi parameter regresi dilakukan dengan metode *Ordinary Least Square (OLS)*. Model yang dijadikan alternatif adalah model linier dan model orde dua (Myers & Montgomery, 2002).

5. Menentukan model regresi *fuzzy* pada masing-masing respon.

Pada tahap pembentukan regresi *fuzzy*, koefisien regresi *fuzzy* diperoleh berdasarkan parameter regresi masing-masing model regresi pada  $r$  pengulangan. Kemudian dilakukan perhitungan berdasarkan persamaan (2.16) dari perhitungan tersebut diperoleh parameter regresi *fuzzy*.

6. Menentukan level faktor *fuzzy* yang optimum.

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada langkah 3, level faktor optimum pada respon ke-  $j$  adalah  $x_{1jk}^*, \dots, x_{rjk}^*$ .

7. Membuat matriks *pay-off* untuk nilai respon berdasarkan level faktor *fuzzy* optimum.

Matrik *pay-off* dibentuk berdasarkan nilai level faktor *fuzzy* optimum yang dihubungkan dengan nilai respon. Misalkan  $\tilde{X}^{(j)}$  adalah level *fuzzy* optimum dimana  $j = 1, 2, \dots, m$  dan  $\tilde{\eta}_{ij}(X)$  adalah nilai S/N Ratio respon ke-  $j$  yang ditentukan berdasarkan nilai  $\tilde{X}^{(j)}$  sehingga diperoleh hubungan sebagai berikut.

**Tabel 2.3** Matrik *pay-off* untuk nilai respon

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

8. Membuat matriks *pay-off* untuk nilai *desirability*.

Matrik *pay-off* dibentuk berdasarkan nilai level faktor *fuzzy* optimum yang dihubungkan dengan nilai *desirability*. Fungsi *desirability* digunakan untuk optimasi multirespon. Pada kasus respon berupa nilai S/N Ratio maka fungsi *desirability* yang



digunakan adalah *Larger the better*. Fungsi desirability untuk LTB adalah sebagai berikut.

$$\tilde{d}_j(\tilde{\eta}_j(X)) = \begin{cases} 0 & \tilde{\eta}_j < \eta_{min} \\ \left[ \frac{\tilde{\eta}_j(X) - \eta_{min}}{\eta_{max} - \eta_{min}} \right] & \eta_{min} \leq \tilde{\eta}_j(X) < \eta_{max} \\ 1 & \tilde{\eta}_j \geq \eta_{max} \end{cases} \quad (2.21)$$

dimana  $\tilde{\eta}_j(X)$  adalah nilai *desirability* untuk respon  $j$  dengan memasukkan level faktor *fuzzy optimum*. Selanjutnya dibentuk matrik *pay-off* antara level *fuzzy optimum* dengan nilai *desirability*. Pembentukan matrik *pay-off desirability* bertujuan untuk menentukan nilai *desirability* minimum yang akan dijadikan batasan dalam proses optimasi.

**Tabel 2.4** Matrik *pay-off* untuk nilai *desirability*

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

Berdasarkan matrik *pay-off* nilai *desirability* ditentukan nilai  $\tilde{U}_j = (U_j^a, U_j^b, U_j^c) = \tilde{d}_{jj}$ . Selain itu diperoleh nilai  $\tilde{L}_j = (L_j^a, L_j^b, L_j^c) = \text{Min}(\tilde{d}_{1j}, \dots, \tilde{d}_{mj})$ . (2.22)

9. Menentukan fungsi deviasi dan membuat matriks *pay-off* untuk nilai deviasi.

Fungsi deviasi dinotasikan sebagai  $D_j(x)$  yang diharapkan bernilai kecil, dimana  $D_j(x)$  dihitung berdasarkan persamaan (2.23).

$$D_j(x) = \eta_j^b(x) - \eta_j^c(x) \quad (2.23)$$

Sehingga diperoleh bentuk matrik *pay-off* sebagai berikut.

**Tabel 2.5** Matrik *pay-off* untuk nilai fungsi deviasi

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

Berdasarkan matrik *pay-off* nilai fungsi deviasi ditentukan nilai  $\tilde{P}_j = (P_j^a, P_j^b, P_j^c) = \tilde{D}_{jj}$ . Selain itu diperoleh nilai  $\tilde{Q}_j = (Q_j^a, Q_j^b, Q_j^c) = \text{Max}(\tilde{D}_{1j}, \dots, \tilde{D}_{mj})$ . (2.24)

10. Membentuk dua model objektif untuk permasalahan multi respon.

Model objektif yang terbentuk adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} & \text{Max}(\tilde{d}_{ij}(X)) \\ & \text{Min}(\tilde{D}_{ij}(X)) \end{aligned} \quad (2.25)$$

dengan  $X \in R_{\text{faktor level}}$ .

Berdasarkan dua fungsi objektif pada langkah 10 maka dibentuk satu fungsi objektif dengan menggunakan fungsi derajat kepuasan *desirability* dan *robustness*.

$$\tilde{S}_j(X) = (S_j^a(X), S_j^b(X), S_j^c(X)) \quad (2.26)$$

$$\tilde{T}_j(X) = (T_j^a(X), T_j^b(X), T_j^c(X)) \quad (2.28)$$

Estimasi nilai  $\tilde{S}_j(X)$  dan  $\tilde{T}_j(X)$  diperoleh berdasarkan persamaan (2.29) dan persamaan (2.30).

$$\tilde{S}_j(X) = \begin{cases} 0 & \tilde{d}_j(X) < \tilde{L}_j \\ \left[ \frac{\tilde{d}_j(X) - \tilde{L}_j}{\tilde{U}_j - \tilde{L}_j} \right] & \tilde{L}_j \leq \tilde{d}_j(X) < \tilde{U}_j \\ 1 & \tilde{d}_j(X) \geq \tilde{U}_j \end{cases} \quad (2.29)$$

$$\tilde{T}_j(X) = \begin{cases} 1 & \tilde{D}_j(X) \leq \tilde{P}_j \\ \left[ \frac{\tilde{Q}_j - \tilde{D}_j(X)}{\tilde{Q}_j - \tilde{P}_j} \right] & \tilde{P}_j < \tilde{D}_j(X) \leq \tilde{Q}_j \\ 0 & \tilde{D}_j(X) > \tilde{Q}_j \end{cases} \quad (2.30)$$

Sehingga fungsi objektif memaksimumkan  $\tilde{S}_j(X)$  dan  $\tilde{T}_j(X)$  untuk  $j = 1, 2, \dots, m$

Dengan menggunakan operator Zimmerman Max-Min dua fungsi objektif dijadikan satu fungsi objektif dengan memaksimumkan derajat kepuasan.

Misalkan

$$\text{Min } \tilde{S}_j(X) = \tilde{S} \quad (2.31)$$

dan

$$\text{Min } \tilde{T}_j(X) = \tilde{T} \quad (2.32)$$

Model final diformulasikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Max } \tilde{S}(X) \\ \text{Max } \tilde{T}(X) \end{aligned} \quad (2.33)$$

$$\tilde{S} \leq \frac{\tilde{d}_j(X) - \tilde{L}_j}{\tilde{U}_j - \tilde{L}_j}, \text{ kemudian } \tilde{d}_j(X) - \tilde{S}(\tilde{U}_j - \tilde{L}_j) \geq \tilde{L}_j$$

$$\tilde{T} \leq \frac{\tilde{Q}_j - \tilde{D}_j(X)}{\tilde{Q}_j - \tilde{P}_j}, \text{ kemudian } \tilde{D}_j(X) + \tilde{T}(\tilde{Q}_j - \tilde{P}_j) \leq \tilde{Q}_j$$

Selanjutnya dibentuk satu model objektif yaitu

$$\text{Max } w_1 \tilde{S} + w_2 \tilde{T}$$

dengan batasan,

$$\begin{aligned} \tilde{d}_j(X) - \tilde{S}(\tilde{U}_j - \tilde{L}_j) &\geq \tilde{L}_j \\ \tilde{D}_j(X) + \tilde{T}(\tilde{Q}_j - \tilde{P}_j) &\leq \tilde{Q}_j \end{aligned}$$

$$w_1 + w_2 = 1$$

$$0 \leq \tilde{S} \leq 1$$

$$0 \leq \tilde{T} \leq 1$$

$$X \in [\text{faktor level}] \quad (2.34)$$

Menyelesaikan model *a, b, c* untuk mendapatkan level faktor optimum.

11. Menentukan level faktor *fuzzy* optimum dengan penyelesaian model objektif.

Berdasarkan penyelesaian model *a, b, c* secara terpisah maka level faktor optimum diperoleh dengan ketentuan sebagai berikut.

$X_a^* = (x_1^{a*}, \dots, x_k^{a*})$ ,  $X_b^* = (x_1^{b*}, \dots, x_k^{b*})$ , dan  $X_c^* = (x_1^{c*}, \dots, x_k^{c*})$ , dengan  $k$ = jumlah level faktor. Jadi level faktor *fuzzy* optimum dinyatakan sebagai berikut.

$$\tilde{X}^* = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_k) = \left( (x_1^{a*}, x_1^{b*}, x_1^{c*}), \dots, (x_k^{a*}, x_k^{b*}, x_k^{c*}) \right) \quad (2.35)$$

## 2.6 Penentuan Level Faktor Optimum Penelitian Damaris (2011)

Penelitian yang dilakukan oleh Damaris (2011) tentang batako dengan judul optimasi kuat tekan dan daya serap air dari batako yang menggunakan *bottom ash* dengan pendekatan respon serentak. Metode yang digunakan adalah metode Taguchi dengan pendekatan *Total Loss Function*. Definisi batako berdasarkan

SNI 03-0348-1989 adalah bata yang dibuat dengan mencetak dan memelihara dalam suasana lembab, campuran trass, kapur dan air dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya. Damaris (2011) meneliti salah satu jenis batako yaitu batako berlubang sebagai produk dari PT. X. Batako berlubang adalah batako yang mempunyai luas penampang lubang dan isi lubang, masing-masing tidak melebihi 25% dari seluruh luas penampang dan seluruh isi batanya. Pada definisi berdasarkan SNI 03-0348-1989, terdapat istilah tras. Tras adalah suatu bahan bangunan secara visual mirip pasir tetapi mempunyai kandungan zat mendekati semen, sehingga tras dengan kapur menghasilkan suatu bahan pengikat yang baik. Dewasa ini, penggunaan tras sering diganti dengan bahan lain seperti *bottom ash*. Penggunaan *Bottom ash* bertujuan untuk menghemat pemakaian semen sehingga biaya lebih sedikit. Penentuan level optimal bertujuan untuk menghasilkan batako yang sesuai dengan syarat mutu batako menurut SNI 03-0348-1989. Syarat fisik Batako menurut SNI 03-0348-1989 adalah sebagai berikut.

**Tabel 2.6** Mutu Batako berdasarkan SNI 03-0348-1989

No	Syarat fisik	Satuan	mutu batako			
			A1	A2	B1	B2
1	Kuat tekan bruto min	Kg/cm <sup>2</sup>	17	30	45	65
2	Penyerapan air rata-rata maks	%	-	-	35	25

Kuat tekan bruto adalah beban tekan keseluruhan pada waktu benda uji pecah dibagi dengan luas ukuran nyata dari batako termasuk luas lubang serta cekungan tepi. Dalam pembuatan produk batako berlubang PT. X dilakukan pengujian terhadap masing-masing benda uji sehingga digunakan ukuran mutu kuat tekan bruto masing-masing benda uji minimal untuk mutu B1. Tingkat mutu tersebut dipilih berdasarkan jenis produk PT.X yang merupakan batako khusus untuk pemasangan dinding rumah sehingga cocok dengan klasifikasi tingkat mutu batako B1 yaitu konstruksi yang memikul beban tetapi penggunaannya

hanya untuk konstruksi yang terlindung dari cuaca luar (di bawah atap).

Adapun proses pembuatan batako yang dilakukan oleh Damaris (2011) memiliki tahapan sebagai berikut.

1. Pasir diayak untuk mendapatkan pasir yang halus dengan menggunakan mesin.
2. Pasir yang diayak dan semen diaduk sampai rata dengan menggunakan mesin pengaduk dan setelah merata ditambahkan air.
3. Adonan pasir, semen, air dan bahan tambahan lainnya diaduk kembali sehingga didapat campuran yang homogen.
4. Adukan yang siap pakai ditempatkan di mesin pencetak batako dengan menggunakan sekop dan di atasnya boleh ditambahkan pasir halus hasil ayakan.
5. Dengan menggunakan lempengan besi khusus tersebut dipres atau ditekan sampai padat dan rata mekanisme tekan pada mesin cetak.
6. Batako mentah yang sudah jadi tersebut kemudian dikeluarkan dari cetakan dengan menepetkan potongan papan di atas seluruh permukaan alat cetak.
7. Berikutnya alat cetak dibalik dengan hati-hati sehingga batako mentah tersebut keluar dari alat cetaknya.
8. Proses berikutnya adalah mengeringkan batako mentah dengan cara diangin-anginkan atau di jemur.
9. Sebelum tahap pengujian batako disimpan ditempat yang lembab atau dalam air.

Hasil produksi batako sebelum dipasarkan harus mengalami pengujian mutu meliputi:

- a. Pengujian ukuran dan tampak luar
- b. Pengujian daya serap, dan
- c. Pengujian kuat tekan

Berdasarkan penelitian Damaris (2011) tentang optimalisasi level faktor pembuatan batako menunjukkan bahwa FAS dan *bottom ash* adalah faktor-faktor yang mempunyai kontribusi besar dalam menghasilkan batako dengan mutu yang tinggi. Berdasarkan analisis yang telah divalidasi dalam eksperimen konfirmasi, kombinasi level faktor yang memaksimalkan kuat

tekan serta meminimumkan daya serap air adalah FAS dengan *setting* 0,4, *bottom ash* 5 bagian dan agregat halus 2 bagian. Metode yang digunakan dalam analisis tersebut adalah metode Taguchi dengan pendekatan *Total Loss Function*. Dalam analisis menggunakan pendekatan *Total Loss Function* diperlukan adanya pembobotan untuk menentukan prioritas dari respon yang ingin dicapai. Pembobotan dilakukan dengan menggunakan metode *fuzzy scoring* sehingga diperoleh tiga skenario bobot untuk kuat tekan dan daya serap air yaitu skenario pertama  $w_1 = 0,8338:0,1662$ , skenario dua  $w_2 = 0,7170:0,2830$  dan skenario tiga  $w_3 = 0,885:0,115$ . Masing-masing bobot menghasilkan level optimal yang sama. Rata-rata S/N Rasio Multirespon untuk masing-masing skenario adalah 0,2498, 0,1911, dan 0,2606. Respon kuat tekan maksimum yang diperoleh berdasarkan skenario satu, dua dan tiga yaitu  $61,34 \text{ kg/cm}^2$ ,  $60,37 \text{ kg/cm}^2$  dan  $63,29 \text{ kg/cm}^2$ . Sedangkan untuk respon daya serap air adalah 22,76%, 22,82% dan 23,12%.

Optimalisasi dengan menggunakan metode Taguchi dengan pendekatan *Total Loss Function* memiliki kelebihan dalam mengukur performa dari karakteristik kualitas namun dalam menentukan level optimum berdasarkan nilai rata-rata S/N Ratio multirespon maksimum sehingga tidak dilakukan pemodelan antara nilai respon dengan faktor-faktor yang terlibat selama proses eksperimen. Selain itu terdapat batasan masalah yaitu interaksi diabaikan karena jika interaksi diperhatikan maka jumlah eksperimen akan bertambah dan akan menimbulkan biaya lebih banyak.

*halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari hasil penelitian mahasiswa Program Studi Magister Manajemen Teknologi bidang keahlian Manajemen Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Ricky Afi Damaris (2011) tentang optimasi kuat tekan dan daya serap air dari batako yang menggunakan *bottom ash* dengan pendekatan respon serentak. Penelitian menggunakan 3 faktor yaitu faktor air semen (FAS), *bottom ash* dan agregat halus (Pasir). Masing-masing faktor memiliki 3 level dan percobaan dilakukan dengan replikasi sebanyak 3 kali.

### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang akan diteliti merupakan karakteristik kualitas batako. Adapun karakteristik kualitas batako disebut sebagai variabel respon sedangkan faktor bahan baku pembuatan batako disebut sebagai variabel proses.

1. Variabel respon yang diukur pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

a. Kuat Tekan ( $Y_1$ )

Pengertian kuat tekan batako dianalogikan dengan kuat tekan beton yaitu besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Dalam teori teknologi beton dijelaskan bahwa faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan beton adalah faktor air semen dan kepadatan, umur beton, jenis semen, dan sifat agregat. Menurut SNI 03-0348-1989 kuat tekan minimal batako adalah sebesar  $45 \text{ kg/cm}^2$ . Dalam eksperimen ini, karakteristik dari respon kuat tekan diharapkan lebih besar lebih baik (*larger the better*).

b. Daya Serap Air ( $Y_2$ )

Daya serap air ditunjukkan berdasarkan penambahan massa batako setelah direndam dalam air. Besar kecilnya



penyerapan air sangat dipengaruhi pori atau rongga yang terdapat pada batako. Semakin banyak pori yang terkandung dalam batako maka akan semakin besar penyerapan airnya sehingga ketahanan batako akan berkurang.

Dalam proses pengukuran, batako direndam dalam air bersih yang bersuhu ruangan selama 24 jam. Kemudian batako diangkat dan air sisa resapan dibiarkan meniris selama kurang dari 1 menit, lalu permukaan benda uji diseka dengan kain lembab agar air yang berlebihan terserap oleh kain.

Benda uji ditimbang (A) kemudian dikeringkan di dalam dapur pengering suhu pada  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  sampai beratnya dalam dua kali penimbangan tidak berbeda lebih dari 0,2% dari penimbangan yang terdahulu (B). Selisih penimbangan dalam keadaan basah (A) dan dalam keadaan kering (B) adalah jumlah penyerapan air, dan harus dihitung berdasarkan persen benda uji kering. Berdasarkan SNI 03-0348-1989 daya serap air maksimal adalah 35%. Dalam eksperimen ini, karakteristik dari respon daya serap air diharapkan lebih kecil lebih baik (*smaller the better*).

2. Variabel proses yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Faktor Air Semen (FAS)

Faktor Air Semen ( FAS) merupakan campuran air dan semen. Semakin tinggi perbandingan campuran air dan semen maka nilai kuat tekan akan semakin rendah artinya jika air yang ditambahkan dalam campuran semakin banyak maka kekuatan batako akan semakin menurun. Namun nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan pengerjaan. Umumnya FAS minimum diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65. Komposisi FAS menempati sekitar 10% dari total berat campuran bahan baku batako.

- b. *Bottom Ash*

*Bottom ash* adalah sisa pembakaran batu bara yang memiliki ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dibanding *fly ash*. *Bottom ash* mempunyai karakteristik fisik berwarna abu-abu gelap, berbentuk butiran, berporos, mempunyai ukuran butiran antara pasir hingga kerikil.

Takaran *bottom ash* dalam campuran bahan batako ditentukan berdasarkan perbandingan dengan agregat halus (pasir). Pemakaian *bottom ash* mengurangi kebutuhan air, sehingga semakin banyak kadarnya akan meningkatkan kuat tekan dan menurunkan daya serap air.

c. Kadar Pasir (Agregat Halus)

Agregat halus atau kadar pasir adalah pasir yang lolos dari sebuah saringan/ayakan dengan ukuran lubang kecil misal  $4,75 \text{ mm}^2$ . Kadar agregat halus berpengaruh terhadap pembentukan pori-pori pada batako dimana semakin besar kadarnya akan cenderung menyebabkan pori-pori membesar sehingga daya serap air akan semakin besar dan menurunkan kuat tekan batako (Mulyono, 2005). Level pada faktor agregat halus menunjukkan perbandingan berat pasir dengan *bottom ash* dalam campuran bahan batako.

Campuran antara *bottom ash* dan agregat halus menempati sekitar 90% dari total berat campuran bahan baku batako.

Ketiga variabel proses tersebut memiliki level sebagai berikut.

**Tabel 3.1** Variabel Proses Penelitian

Variabel		Level
X <sub>1</sub>	Faktor Air Semen (FAS)	Level -1: 0,4
		Level 0: 0,5
		Level 1: 0,6
X <sub>2</sub>	Kadar <i>bottom ash</i>	Level -1: 4 bagian
		Level 0: 5 bagian
		Level 1: 6 bagian
X <sub>3</sub>	Kadar pasir	Level -1: 3 bagian
		Level 0: 2 bagian
		Level 1: 1 bagian

Penentuan rentang level dari faktor-faktor didasarkan pada *range* yang diijinkan perusahaan, pengalaman operator dan pertimbangan dari bagian *Production Planning and Control* (Damaris, 2011). Pembagian menjadi 3 level bertujuan memudahkan dalam penentuan level dan pengaruh dari masing-masing faktor jelas terlihat. Pemilihan level pada FAS

menunjukkan nilai minimum dan maksimum yang diperbolehkan agar kekuatan batako optimal, kemudian level 0 merupakan nilai tengah dari rentang yang diperbolehkan. Pengambilan level pada faktor *bottom ash* didasarkan pada besarnya ukuran agregat yang dipakai. Hasil analisis komposisi beton untuk ukuran agregat 19,1 mm diperoleh kadar agregat proporsional 4/7 bagian dari total agregat, untuk ukuran agregat 9,5 mm adalah 5/7 bagian dari total agregat, dan untuk ukuran agregat 4,8 mm adalah 6/7 dari total agregat. Sedangkan untuk level pada agregat halus ditentukan berdasarkan nilai ukuran butir maksimal yang dipakai, FAS dan nilai *slump* (mengukur kemudahan pengerjaan) yang digunakan.

### 3.3 Rancangan Percobaan

Pada penelitian ini terdapat 3 variabel proses yang digunakan sebagai faktor utama yaitu ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ) yang masing-masing faktor memiliki 3 level faktor. Dari ketiga level faktor tersebut terdapat 27 kombinasi level yang dapat digunakan dalam eksperimen. Namun dalam kasus ini, karena jumlah percobaan yang minimum lebih menguntungkan dari segi biaya maka rancangan percobaan yang dipilih  $3^{(3-1)}$  *fractional design* yaitu  $L_9(3^4)$  dengan jumlah percobaan sebanyak 9, jumlah faktor utama 3 faktor dimana pengamatan dilakukan dengan perulangan sebanyak tiga kali. Perulangan tiga kali dilakukan untuk mengatasi kesulitan dalam menentukan level faktor gangguan (*noise*) yang terjadi selama proses pembuatan batako berlangsung serta meminimumkan biaya (Vaani&Hameedullah, 2005). Berikut ini ditampilkan struktur data rancangan *orthogonal array* dengan  $y_{ijk}$  merupakan data hasil pengamatan pada percobaan pada kombinasi faktor ke- $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 9$ ), respon ke- $j$  ( $j = 1, 2$ ), dan ulangan ke- $k$  ( $k = 1, 2, 3$ ).

**Tabel 3.2** Eksperimen Taguchi dengan 3 kali perulangan

Eks	Level Faktor				Respon					
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$e$	$Y_1$			$Y_2$		
					$y_{i11}$	$y_{i12}$	$y_{i13}$	$y_{i21}$	$y_{i22}$	$y_{i23}$
1	-1	-1	-1	-1	$y_{111}$	$y_{112}$	$y_{113}$	$y_{121}$	$y_{122}$	$y_{123}$
2	-1	0	0	0	$y_{211}$	$y_{212}$	$y_{213}$	$y_{221}$	$y_{222}$	$y_{223}$
3	-1	1	1	1	$y_{311}$	$y_{312}$	$y_{313}$	$y_{321}$	$y_{322}$	$y_{323}$
4	0	-1	0	1	$y_{411}$	$y_{412}$	$y_{413}$	$y_{421}$	$y_{422}$	$y_{423}$
5	0	0	1	-1	$y_{511}$	$y_{512}$	$y_{513}$	$y_{521}$	$y_{522}$	$y_{523}$
6	0	1	-1	0	$y_{611}$	$y_{612}$	$y_{613}$	$y_{621}$	$y_{622}$	$y_{623}$
7	1	-1	1	0	$y_{711}$	$y_{712}$	$y_{713}$	$y_{721}$	$y_{722}$	$y_{723}$
8	1	0	-1	1	$y_{811}$	$y_{812}$	$y_{813}$	$y_{821}$	$y_{822}$	$y_{823}$
9	1	1	0	-1	$y_{911}$	$y_{912}$	$y_{913}$	$y_{921}$	$y_{922}$	$y_{923}$

Berdasarkan Tabel 3.2 dapat dijelaskan bahwa untuk eksperimen pertama menggunakan kombinasi level faktor yaitu *setting* FAS 0,4, *bottom ash* 4 bagian serta kadar pasir 3 bagian. Sehingga dalam campuran batako sebesar 10% dari berat total diisi bahan FAS dengan perbandingan 0,4 dan sisanya sebesar 90% total berat campuran diisi *bottom ash* dan kadar pasir dengan perbandingan 4:3. Hasil batako pada eksperimen pertama dan perulangan pertama diukur kuat tekan serta daya serap airnya. Kemudian hasil pengukuran ditulis sebagai  $y_{111}$  sebagai respon kuat tekan dan  $y_{121}$  sebagai respon daya serap air. Begitu seterusnya hingga kombinasi level untuk eksperimen kesembilan. Masing-masing kombinasi level dilakukan perulangan sebanyak tiga kali.

### 3.4 Langkah Analisis

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan untuk dapat memperoleh *setting* faktor yang mampu mengoptimalkan variabel respon, dimana tahapan analisisnya adalah sebagai berikut.

1. Menentukan level optimal dengan menggunakan metode Taguchi.

Penentuan level optimal dengan metode Taguchi dilakukan dengan cara memilih kombinasi level yang mampu

memaksimumkan nilai rata-rata S/N Ratio masing-masing respon. Perhitungan nilai S/N Ratio didasarkan pada sifat karakteristik masing-masing respon. Respon kuat tekan memiliki karakteristik *larger the better* sehingga dihitung dengan Persamaan (2.4) sedangkan daya serap air memiliki karakteristik *smaller the better* sehingga dihitung dengan Persamaan (2.3). Nilai S/N Ratio dihitung untuk masing-masing pengamatan dan replikasi.

2. Menentukan model regresi konvensional terbaik.  
Membentuk model regresi dengan respon S/N Ratio pada masing-masing replikasi. Model regresi yang terbentuk merupakan model terbaik yang mampu menjelaskan variabel respon berdasarkan variabel proses. Setelah diperoleh model regresi kemudian dilakukan pemeriksaan asumsi residual meliputi identik, independen dan berdistribusi normal (IIDN). Jika tidak memenuhi asumsi tersebut maka dilakukan transformasi.
3. Penentuan level optimal melalui fungsi *desirability* dengan regresi *fuzzy*.
  - a. Menentukan model regresi *fuzzy*.  
Berdasarkan model regresi konvensional yang terbentuk pada setiap replikasi dilakukan pembentukan regresi *fuzzy* dimana koefisien regresinya merupakan *crisp values*, yaitu batasan nilai dari *fuzzy* segitiga.
  - b. Menentukan level faktor *fuzzy* dan respon *fuzzy* optimum  
Berdasarkan level faktor optimum yang diperoleh dengan metode Taguchi ditentukan level faktor *fuzzy* optimum dan nilai respon optimum dari persamaan regresi *fuzzy* yang terbentuk.
  - c. Membentuk matrik *pay off* untuk nilai respon.  
Matrik *pay off* nilai respon dibentuk berdasarkan nilai level faktor optimum *fuzzy* dari masing-masing nilai respon yang disubstitusikan pada semua persamaan regresi *fuzzy*.
  - d. Membentuk matrik *pay off* untuk nilai *desirability* dari respon.  
Matrik *pay off* nilai *desirability* dibentuk dari nilai level faktor optimum *fuzzy* masing-masing respon yang

disubstitusikan pada semua persamaan regresi *fuzzy* kemudian ditentukan nilai *desirability* masing-masing responnya.

- e. Membentuk fungsi deviasi dan membentuk matrik *pay off* untuk nilai deviasi.

Fungsi deviasi dibentuk berdasarkan nilai deviasi pada masing-masing respon. Matrik *pay off* nilai deviasi dibentuk dari nilai level faktor optimum *fuzzy* masing-masing respon dan nilai deviasi masing-masing responnya.

- f. Membentuk dua model objektif untuk permasalahan multi respon.

Fungsi objektif *desirability* dibentuk berdasarkan nilai *desirability* dan batas nilai *desirability* dan fungsi objektif *robustness* dibentuk berdasarkan nilai deviasi dan batas-batas nilainya.

- g. Menyelesaikan model objektif dengan linear *programming*.

Dengan menggunakan penyelesaian linear *programming* diperoleh level faktor yang mengoptimalkan semua nilai respon secara serentak.

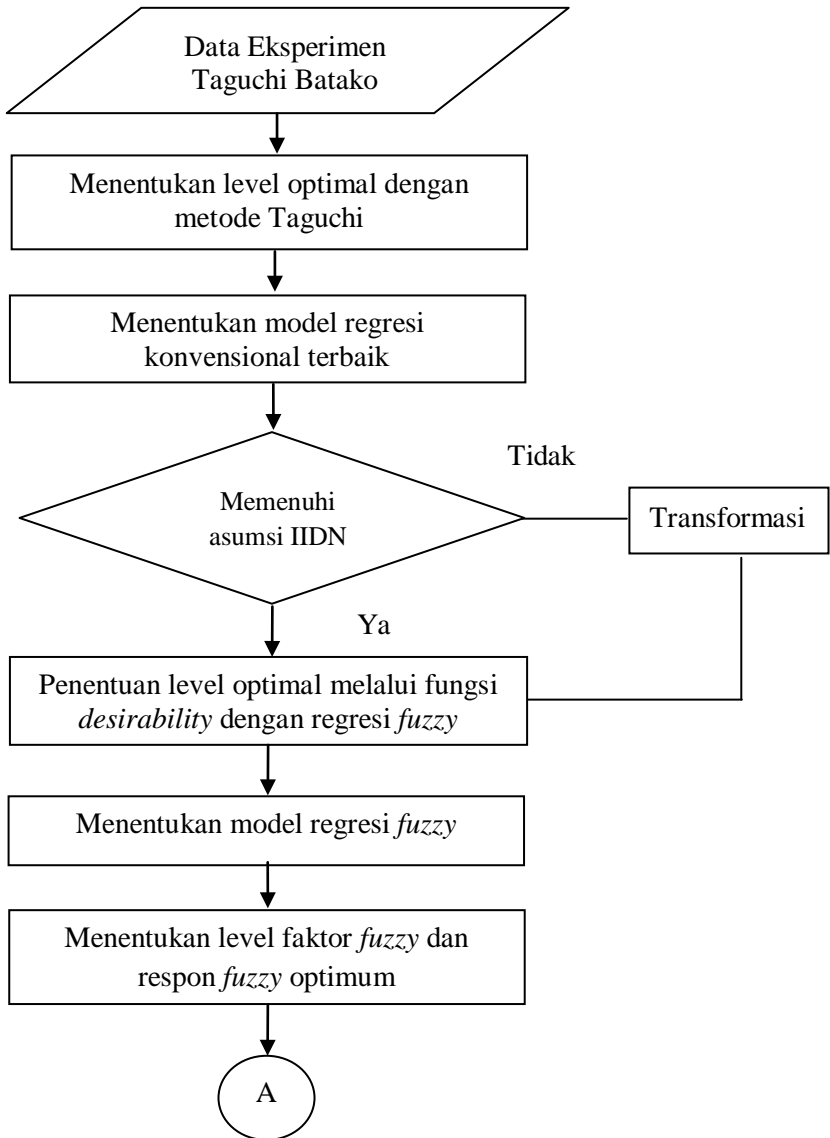
4. Membandingkan hasil optimasi dengan penelitian Damaris (2011).

Hasil optimasi multirespon yang diperoleh dengan pendekatan fungsi *desirability* dan regresi *fuzzy* dibandingkan dengan penelitian Damaris (2011) dengan pendekatan *total loss function*. Perbandingan dilakukan dengan cara membandingkan nilai *desirability* global respon dan biaya produksi batak paling minimum. Kemudian dengan pertimbangan biaya produksi ditentukan metode yang lebih baik untuk optimasi kasus tersebut.

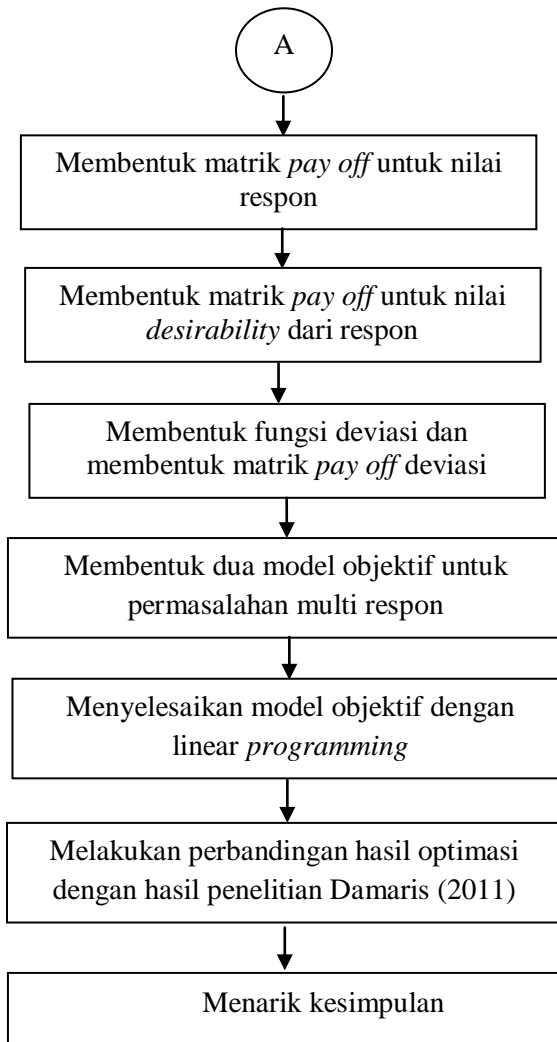
5. Menarik kesimpulan.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan ditarik kesimpulan dan diberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

Tahapan analisis data selengkapnya pada Gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Analisis Data



**Gambar 3.2** Diagram Alir Analisis Data (lanjutan)



*halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Penentuan level optimal dengan model  $c$  pada metode pendekatan fungsi *desirability* dengan regresi *fuzzy* menghasilkan *setting* optimal FAS 0,42, *bottom ash* 5,3 bagian dan agregat halus sebesar 1,8 bagian serta prediksi kuat tekan sebesar  $54,75 \text{ kg/cm}^2$  dan daya serap air sebesar 25% sehingga dapat disimpulkan hasil optimasi memenuhi standar SNI.
2. Perbandingan hasil optimasi dengan penelitian Damaris (2011) dilakukan dengan fungsi *desirability*. Penelitian dengan menggunakan pendekatan fungsi *desirability* dan regresi *fuzzy* lebih baik daripada metode Taguchi *Total Loss Function* karena mampu mendekati target yang diharapkan dibuktikan dengan nilai *composite desirability* yang lebih tinggi. Selain itu model  $c$  mampu menghemat biaya produksi sebesar Rp 54,00 per unit batako.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan analisis dan pembahasan serta kesimpulan yang didapatkan, maka diberikan beberapa saran untuk perusahaan dan penelitian selanjutnya. Untuk perusahaan agar mendapatkan kualitas batako yang baik dengan biaya produksi yang minimal digunakan *setting* FAS 0,42, *bottom ash* 5,3 bagian dan agregat halus 1,8 bagian. Eksperimen konfirmasi diperlukan untuk dapat meyakinkan hasil prediksi optimasi. Selain itu untuk penelitian selanjutnya dengan menggunakan metode fungsi *desirability* dengan regresi *fuzzy*, dalam proses pembentukan model regresi konvensional harus dicari model yang terbaik dan memenuhi semua asumsi regresi sehingga taksiran nilai parameter tidak bias.

*halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN 1. Hasil Eksperimen Batako dengan <i>Orthogonal Array</i> L <sub>9</sub> .....	69
LAMPIRAN 2. Nilai S/N ratio respon kuat tekan.....	70
LAMPIRAN 3. Nilai S/N ratio respon daya serap air .....	71
LAMPIRAN 4. Alternatif model Respon $\eta_{11}$ .....	72
LAMPIRAN 5. Alternatif model Respon $\eta_{12}$ .....	75
LAMPIRAN 6. Alternatif model Respon $\eta_{13}$ .....	78
LAMPIRAN 7. <i>Output</i> Pengujian Distribusi Normal Respon Kuat Tekan.....	81
LAMPIRAN 8. Alternatif model Respon $\eta_{21}$ .....	82
LAMPIRAN 9. Alternatif model Respon $\eta_{22}$ .....	85
LAMPIRAN 10. Alternatif model Respon $\eta_{23}$ .....	88
LAMPIRAN 11. <i>Output</i> Pengujian Distribusi Normal Respon Daya Serap Air.....	91
LAMPIRAN 12. <i>Output Software linier Programming</i> .....	93

*halaman ini sengaja dikosongkan*

LAMPIRAN 1 Hasil Eksperimen Batako dengan *Orthogonal Array* L<sub>9</sub>

Eks	Variabel Proses			Kuat Tekan			Daya Serap			Respon Kuat Tekan			Respon Daya Serap		
	X1	X2	X3	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$	$Y_{21}$	$Y_{22}$	$Y_{23}$	$\bar{Y}_{11.12}$	$\bar{Y}_{11.13}$	$\bar{Y}_{12.13}$	$\bar{Y}_{21.22}$	$\bar{Y}_{21.23}$	$\bar{Y}_{22.23}$
1	-1	-1	-1	41,87	41,87	31,16	0,14	0,24	0,19	41,87	36,52	36,52	0,19	0,16	0,21
2	-1	0	0	60,37	59,98	62,32	0,22	0,23	0,26	60,18	61,35	61,15	0,23	0,24	0,25
3	-1	1	1	57,45	42,84	39,92	0,23	0,22	0,22	50,15	48,69	41,38	0,22	0,22	0,22
4	0	-1	0	31,16	34,08	29,21	0,23	0,21	0,25	32,62	30,19	31,65	0,22	0,24	0,23
5	0	0	1	42,84	35,05	36,03	0,25	0,28	0,26	38,95	39,44	35,54	0,27	0,26	0,27
6	0	1	-1	31,16	29,21	29,21	0,23	0,25	0,25	30,19	30,19	29,21	0,24	0,24	0,25
7	1	-1	1	23,37	33,11	31,16	0,29	0,28	0,25	28,24	27,27	32,14	0,28	0,27	0,26
8	1	0	-1	38,95	31,16	31,16	0,13	0,13	0,13	35,06	35,06	31,16	0,13	0,13	0,13
9	1	1	0	27,26	37	29,21	0,26	0,15	0,23	32,13	28,24	33,11	0,21	0,25	0,19

## LAMPIRAN 2 Nilai S/N Ratio Respon Kuat tekan

Variabel Proses			S/N ratio kuat tekan			Level	Rata-rata S/N ratio kuat tekan (X1)			Rata-rata S/N ratio kuat tekan (X2)			Rata-rata S/N ratio kuat tekan (X3)		
X1	X2	X3	$\eta_{11}$	$\eta_{12}$	$\eta_{13}$		$\bar{\eta}_{11}$	$\bar{\eta}_{12}$	$\bar{\eta}_{13}$	$\bar{\eta}_{11}$	$\bar{\eta}_{12}$	$\bar{\eta}_{13}$	$\bar{\eta}_{11}$	$\bar{\eta}_{12}$	$\bar{\eta}_{13}$
-1	-1	-1	31,80	31,80	15,04	-1	33,78	33,52	33,33	30,19	30,49	30,14	30,76	30,54	30,35
-1	0	0	35,67	35,66	12,61										
-1	1	1	33,87	33,09	13,08										
0	-1	0	29,92	30,14	12,66	0	30,46	30,33	30,23	32,81	32,47	32,51	31,71	32,02	31,73
0	0	1	31,86	31,39	11,68										
0	1	-1	29,60	29,45	12,41										
1	-1	1	28,86	29,54	11,12	1	29,77	30,05	31,34	31,00	30,94	30,70	31,53	31,34	31,26
1	0	-1	30,89	30,35	17,74										
1	1	0	29,54	30,27	12,88										

## LAMPIRAN 3 Nilai S/N Ratio Respon Daya serap air

Variabel Proses			S/N ratio daya serap			Level	Rata-rata S/N ratio daya serap (X1)			Rata-rata S/N ratio daya serap (X2)			Rata-rata S/N ratio daya serap (X3)		
X1	X2	X3	$\eta_{21}$	$\eta_{22}$	$\eta_{23}$		$\bar{\eta}_{21}$	$\bar{\eta}_{22}$	$\bar{\eta}_{23}$	$\bar{\eta}_{21}$	$\bar{\eta}_{22}$	$\bar{\eta}_{23}$	$\bar{\eta}_{21}$	$\bar{\eta}_{22}$	$\bar{\eta}_{23}$
-1	-1	-1	15,04	13,89	14,40	-1	13,57	13,19	13,28	12,94	12,66	12,79	15,07	14,65	14,77
-1	0	0	12,61	12,53	12,26										
-1	1	1	13,08	13,15	13,19										
0	-1	0	12,66	12,86	12,54	0	12,25	12,19	12,13	14,01	13,93	13,84	12,72	13,15	12,66
0	0	1	11,68	11,46	11,59										
0	1	-1	12,41	12,25	12,25										
1	-1	1	11,12	11,22	11,43	1	13,91	14,37	14,10	12,79	13,15	12,88	11,96	11,94	12,07
1	0	-1	17,74	17,82	17,67										
1	1	0	12,88	14,06	13,19										



LAMPIRAN 4 Alternatif model Respon  $\eta_{11}$ **Model Linear**Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{11}$ 

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	31,3361	0,5624	55,717	0,000
x1	-2,0085	0,6888	-2,916	0,033
x2	0,4043	0,6888	0,587	0,583
x3	0,3842	0,6888	0,558	0,601

S = 1,68725      PRESS = 40,3822

R-Sq = 64,68%    R-Sq(pred) = 0,00%    R-Sq(adj) = 43,49%

Analysis of Variance for  $\eta_{11}$ 

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	3	26,0705	8,6902	3,05	0,130
Linear	3	26,0705	8,6902	3,05	0,130
x1	1	24,2038	24,2038	8,50	0,033
x2	1	0,9810	0,9810	0,34	0,583
x3	1	0,8858	0,8858	0,31	0,601
Residual Error	5	14,2340	2,8468		
Total	8	40,3045			

**Model Orde dua kuadrat**Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{11}$ 

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	32,3075	0,3810	84,790	0,000
x1	-2,0085	0,1764	-11,387	0,008
x2	0,4043	0,1764	2,292	0,149
x3	0,3842	0,1764	2,178	0,161
x1*x1	1,3149	0,3055	4,304	0,050
x2*x2	-2,2104	0,3055	-7,235	0,019
x3*x3	-0,5617	0,3055	-1,838	0,207

S = 0,432050 PRESS = 7,56001

R-Sq = 99,07% R-Sq(pred) = 81,24% R-Sq(adj) = 96,29%

Analysis of Variance for  $\eta_{11}$ 

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	39,9312	6,6552	35,65	0,028
Linear	3	26,0705	8,6902	46,55	0,021
x1	1	24,2038	24,2038	129,66	0,008
x2	1	0,9810	0,9810	5,26	0,149
x3	1	0,8858	0,8858	4,75	0,161
Square	3	13,8606	4,6202	24,75	0,039
x1*x1	1	3,4580	3,4580	18,53	0,050
x2*x2	1	9,7717	9,7717	52,35	0,019
x3*x3	1	0,6309	0,6309	3,38	0,207
Residual Error	2	0,3733	0,3733	0,1867	
Total	8	40,3045			

**Model Orde dua Interaksi**Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{11}$ 

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	31,3361	0,7531	41,610	0,001
x1	-2,2542	1,3945	-1,617	0,247
x2	-0,4250	1,3945	-0,305	0,789
x3	0,7663	1,3945	0,550	0,638
x1*x2	0,7642	2,0917	0,365	0,750
x1*x3	-1,6587	2,0917	-0,793	0,511
x2*x3	-0,4914	2,0917	-0,235	0,836

S = 2,25928      PRESS = 633,098

R-Sq = 74,67%    R-Sq(pred) = 0,00%    R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for  $\eta_{11}$ 

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	30,0958	5,0160	0,98	0,584
Linear	3	13,8824	4,6275	0,91	0,563
x1	1	13,3386	13,3386	2,61	0,247
x2	1	0,4741	0,4741	0,09	0,789
x3	1	1,5415	1,5415	0,30	0,638
Interaction	3	4,0253	1,3418	0,26	0,850
x1*x2	1	0,6813	0,6813	0,13	0,750
x1*x3	1	3,2097	3,2097	0,63	0,511
x2*x3	1	0,2818	0,2818	0,06	0,836
Residual Error	2	10,2087	5,1043		

LAMPIRAN 5 Alternatif model Respon  $\eta_{12}$ **Model Linear**Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{12}$ 

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	31,2993	0,5380	58,173	0,000
x1	-1,7316	0,6590	-2,628	0,047
x2	0,2210	0,6590	0,335	0,751
x3	0,4031	0,6590	0,612	0,567

S = 1,61411      PRESS = 34,2265

R-Sq = 59,65%    R-Sq(pred) = 0,00%    R-Sq(adj) = 35,44%

Analysis of Variance for  $\eta_{12}$ 

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	3	19,2585	6,4195	2,46	0,177
Linear	3	19,2585	6,4195	2,46	0,177
x1	1	17,9902	17,9902	6,91	0,047
x2	1	0,2931	0,2931	0,11	0,751
x3	1	0,9751	0,9751	0,37	0,567
Residual Error	5	13,0267	2,6053		
Total	8	32,2852			

## Model Orde dua Kuadratik

Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{12}$ 

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	32,2163	0,3333	96,646	0,000
x1	-1,7316	0,1543	-11,222	0,008
x2	0,2210	0,1543	1,432	0,288
x3	0,4031	0,1543	2,613	0,121
x1*x1	1,4587	0,2673	5,458	0,032
x2*x2	-1,7534	0,2673	-6,560	0,022
x3*x3	-1,0809	0,2673	-4,044	0,056

S = 0,377976      PRESS = 5,78606

R-Sq = 99,11%      R-Sq(pred) = 82,08%      R-Sq(adj) = 96,46%

Analysis of Variance for  $\eta_{12}$ 

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	31,9995	5,3332	37,33	0,026
Linear	3	19,2585	6,4195	44,93	0,022
x1	1	17,9902	17,9902	125,92	0,008
x2	1	0,2931	0,2931	2,05	0,288
x3	1	0,9751	0,9751	6,83	0,121
Square	3	12,7410	4,2470	29,73	0,033
x1*x1	1	4,2559	4,2559	29,79	0,032
x2*x2	1	6,1485	6,1485	43,04	0,022
x3*x3	1	2,3366	2,3366	16,36	0,056
Residual Error	2	0,2857	0,1429		
Total	8	32,2852			

## Model Orde dua Interaksi

Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{12}$ 

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	31,2993	0,7851	39,866	0,001
x1	-2,0237	1,4538	-1,392	0,298
x2	-0,3770	1,4538	-0,259	0,820
x3	0,8884	1,4538	0,611	0,603
x1*x2	0,9705	2,1806	0,445	0,700
x1*x3	-1,1961	2,1806	-0,549	0,638
x2*x3	-0,5843	2,1806	-0,268	0,814

S = 2,35535      PRESS = 688,087

R-Sq = 65,63%    R-Sq(pred) = 0,00%    R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for  $\eta_{12}$ 

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	21,1898	3,5316	0,64	0,717
Linear	3	11,3764	3,7921	0,68	0,640
x1	1	10,7509	10,7509	1,94	0,298
x2	1	0,3732	0,3732	0,07	0,820
x3	1	2,0718	2,0718	0,37	0,603
Interaction	3	1,9313	0,6438	0,12	0,943
x1*x2	1	1,0990	1,0990	0,20	0,700
x1*x3	1	1,6691	1,6691	0,30	0,638
x2*x3	1	0,3984	0,3984	0,07	0,814
Residual Error	2	11,0954	5,5477		
Total	8	32,2852			

LAMPIRAN 6 Alternatif model Respon  $\eta_{13}$ **Model Linear**Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{13}$ 

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	31,1154	0,5745	54,158	0,000
x1	-1,7672	0,7037	-2,511	0,054
x2	0,2791	0,7037	0,397	0,708
x3	0,4568	0,7037	0,649	0,545

S = 1,72360      PRESS = 40,0129

R-Sq = 57,93%    R-Sq(pred) = 0,00%    R-Sq(adj) = 32,69%

Analysis of Variance for  $\eta_{13}$ 

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	3	20,4566	6,8189	2,30	0,195
Linear	3	20,4566	6,8189	2,30	0,195
x1	1	18,7371	18,7371	6,31	0,054
x2	1	0,4674	0,4674	0,16	0,708
x3	1	1,2522	1,2522	0,42	0,545
Residual Error	5	14,8540	2,9708		
Total	8	35,3107			

Model Orde dua Kuadrat

Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{13}$

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	32,2416	0,5719	56,381	0,000
x1	-1,7672	0,2647	-6,676	0,022
x2	0,2791	0,2647	1,054	0,402
x3	0,4568	0,2647	1,726	0,227
x1*x1	1,3283	0,4585	2,897	0,101
x2*x2	-2,0958	0,4585	-4,571	0,045
x3*x3	-0,9219	0,4585	-2,011	0,182

S = 0,648426 PRESS = 17,0285

R-Sq = 97,62% R-Sq(pred) = 51,78% R-Sq(adj) = 90,47%

Analysis of Variance for  $\eta_{13}$

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	34,4698	5,7450	13,66	0,070
Linear	3	20,4566	6,8189	16,22	0,059
x1	1	18,7371	18,7371	44,56	0,022
x2	1	0,4674	0,4674	1,11	0,402
x3	1	1,2522	1,2522	2,98	0,227
Square	3	14,0131	4,6710	11,11	0,084
x1*x1	1	3,5287	3,5287	8,39	0,101
x2*x2	1	8,7847	8,7847	20,89	0,045
x3*x3	1	1,6998	1,6998	4,04	0,182
Residual Error	2	0,8409	0,4205		
Total	8	35,3107			



## Model Orde dua Interaksi

Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{13}$ 

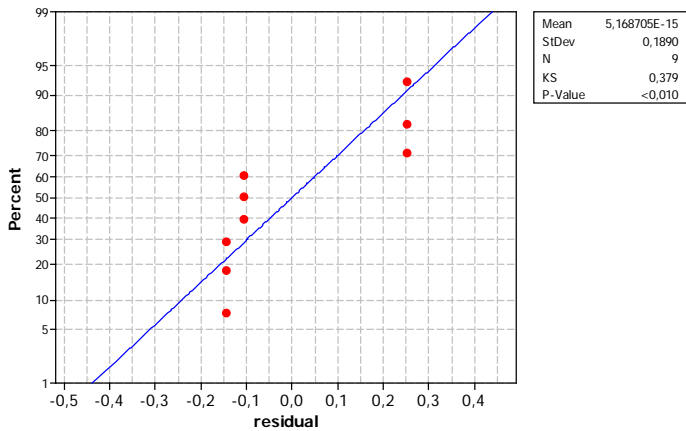
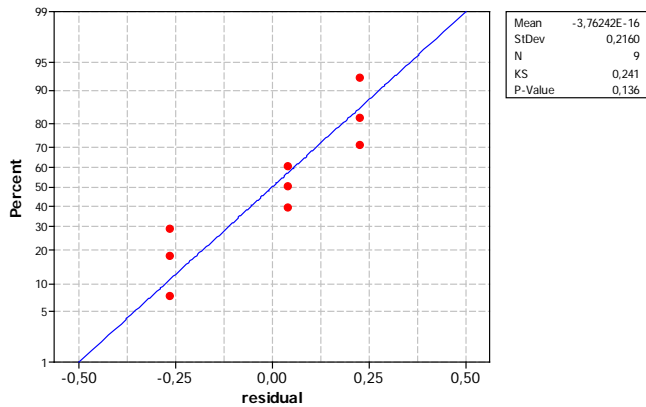
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	31,1154	0,8234	37,789	0,001
x1	-2,2335	1,5246	-1,465	0,281
x2	-0,4727	1,5246	-0,310	0,786
x3	0,9281	1,5246	0,609	0,605
x1*x2	0,9425	2,2869	0,412	0,720
x1*x3	-1,5036	2,2869	-0,657	0,578
x2*x3	-0,9327	2,2869	-0,408	0,723

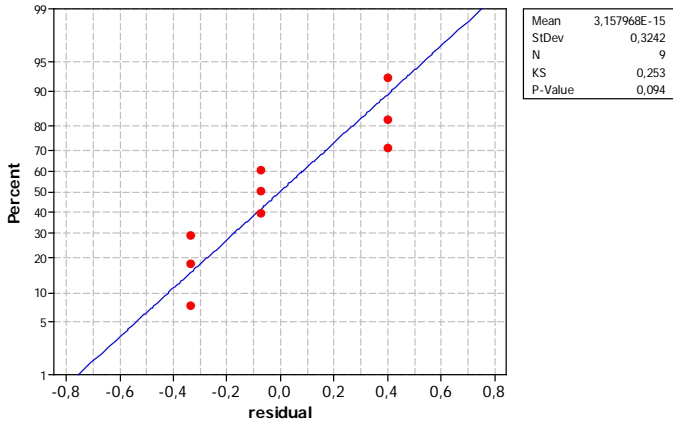
S = 2,47017      PRESS = 756,809  
R-Sq = 65,44%    R-Sq(pred) = 0,00%    R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for  $\eta_{13}$ 

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	23,1072	3,8512	0,63	0,720
Linear	3	13,6208	4,5403	0,74	0,617
x1	1	13,0950	13,0950	2,15	0,281
x2	1	0,5866	0,5866	0,10	0,786
x3	1	2,2609	2,2609	0,37	0,605
Interaction	3	2,6505	0,8835	0,14	0,925
x1*x2	1	1,0363	1,0363	0,17	0,720
x1*x3	1	2,6377	2,6377	0,43	0,578
x2*x3	1	1,0149	1,0149	0,17	0,723
Residual Error	2	12,2035	6,1018		
Total	8	35,3107			

## LAMPIRAN 7 *Output* Pengujian Distribusi Normal Respon Kuat Tekan





### LAMPIRAN 8 Alternatif model Respon $\eta_{21}$

Model Linear

Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{21}$

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	13,2460	0,6207	21,339	0,000
x1	0,1705	0,7602	0,224	0,831
x2	-0,0732	0,7602	-0,096	0,927
x3	-1,5544	0,7602	-2,045	0,096

S = 1,86221      PRESS = 66,8882

R-Sq = 45,89%    R-Sq(pred) = 0,00%    R-Sq(adj) = 13,42%

Analysis of Variance for  $\eta_{21}$

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	3	14,7037	4,9012	1,41	0,342
Linear	3	14,7037	4,9012	1,41	0,342
x1	1	0,1744	0,1744	0,05	0,831
x2	1	0,0322	0,0322	0,01	0,927
x3	1	14,4971	14,4971	4,18	0,096
Residual Error	5	17,3392	3,4678		
Total	8	32,0429			

## Model Orde dua Kuadratik

Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{21}$ 

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	12,4854	1,8701	6,676	0,022
x1	0,1705	0,8657	0,197	0,862
x2	-0,0732	0,8657	-0,085	0,940
x3	-1,5544	0,8657	-1,796	0,214
x1*x1	1,4931	1,4995	0,996	0,424
x2*x2	-1,1460	1,4995	-0,764	0,525
x3*x3	0,7938	1,4995	0,529	0,649

S = 2,12054      PRESS = 182,116

R-Sq = 71,93%    R-Sq(pred) = 0,00%    R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for  $\eta_{21}$ 

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	23,0495	3,8416	0,85	0,628
Linear	3	14,7037	4,9012	1,09	0,511
x1	1	0,1744	0,1744	0,04	0,862
x2	1	0,0322	0,0322	0,01	0,940
x3	1	14,4971	14,4971	3,22	0,214
Square	3	8,3458	2,7819	0,62	0,666
x1*x1	1	4,4588	4,4588	0,99	0,424
x2*x2	1	2,6266	2,6266	0,58	0,525
x3*x3	1	1,2604	1,2604	0,28	0,649
Residual Error	2	8,9934	4,4967		
Total	8	32,0429			

## Model Orde dua Interaksi

Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{21}$ 

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	13,2460	0,3422	38,710	0,001
x1	1,2239	0,6336	1,932	0,193
x2	-0,4457	0,6336	-0,703	0,555
x3	-2,0144	0,6336	-3,179	0,086
x1*x2	-0,9199	0,9504	-0,968	0,435
x1*x3	-0,7448	0,9504	-0,784	0,515
x2*x3	2,1068	0,9504	2,217	0,157

S = 1,02656      PRESS = 130,706

R-Sq = 93,42%    R-Sq(pred) = 0,00%    R-Sq(adj) = 73,69%

Analysis of Variance for  $\eta_{21}$ 

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	29,9353	4,9892	4,73	0,185
Linear	3	17,1489	5,7163	5,42	0,160
x1	1	3,9320	3,9320	3,73	0,193
x2	1	0,5213	0,5213	0,49	0,555
x3	1	10,6515	10,6515	10,11	0,086
Interaction	3	15,2316	5,0772	4,82	0,177
x1*x2	1	0,9873	0,9873	0,94	0,435
x1*x3	1	0,6472	0,6472	0,61	0,515
x2*x3	1	5,1784	5,1784	4,91	0,157
Residual Error	2	2,1076	1,0538		
Total	8	32,0429			

LAMPIRAN 9 Alternatif model Respon  $\eta_{22}$ 

Model Linear

Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{22}$

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	13,2475	0,6240	21,230	0,000
x1	0,5894	0,7642	0,771	0,475
x2	0,2471	0,7642	0,323	0,759
x3	-1,3569	0,7642	-1,776	0,136

S = 1,87196      PRESS = 68,5947

R-Sq = 43,52%    R-Sq(pred) = 0,00%    R-Sq(adj) = 9,63%

Analysis of Variance for  $\eta_{22}$

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	3	13,4985	4,4995	1,28	0,375
Linear	3	13,4985	4,4995	1,28	0,375
x1	1	2,0846	2,0846	0,59	0,475
x2	1	0,3665	0,3665	0,10	0,759
x3	1	11,0474	11,0474	3,15	0,136
Residual Error	5	17,5212	3,5042		
Total	8	31,0197			

## Model Orde dua Kuadratik

Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{22}$ 

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	12,7725	1,9995	6,388	0,024
x1	0,5894	0,9256	0,637	0,589
x2	0,2471	0,9256	0,267	0,814
x3	-1,3569	0,9256	-1,466	0,280
x1*x1	1,5920	1,6032	0,993	0,425
x2*x2	-1,0308	1,6032	-0,643	0,586
x3*x3	0,1513	1,6032	0,094	0,933

S = 2,26727      PRESS = 208,191  
R-Sq = 66,86%    R-Sq(pred) = 0,00%    R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for  $\eta_{22}$ 

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	20,7386	3,4564	0,67	0,701
Linear	3	13,4985	4,4995	0,88	0,572
x1	1	2,0846	2,0846	0,41	0,589
x2	1	0,3665	0,3665	0,07	0,814
x3	1	11,0474	11,0474	2,15	0,280
Square	3	7,2401	2,4134	0,47	0,734
x1*x1	1	5,0691	5,0691	0,99	0,425
x2*x2	1	2,1253	2,1253	0,41	0,586
x3*x3	1	0,0458	0,0458	0,01	0,933
Residual Error	2	10,2811	5,1405		
Total	8	31,0197			

## Model Orde dua Interaksi

Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{22}$ 

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	13,2475	0,2924	45,300	0,000
x1	1,5561	0,5415	2,874	0,103
x2	-0,2799	0,5415	-0,517	0,657
x3	-1,6298	0,5415	-3,010	0,095
x1*x2	-0,5458	0,8122	-0,672	0,571
x1*x3	-1,0540	0,8122	-1,298	0,324
x2*x3	1,9333	0,8122	2,380	0,140

S = 0,877307 PRESS = 95,4629

R-Sq = 95,04% R-Sq(pred) = 0,00% R-Sq(adj) = 80,15%

Analysis of Variance for  $\eta_{22}$ 

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	29,4803	4,91339	6,38	0,142
Linear	3	14,0545	4,68485	6,09	0,144
x1	1	6,3561	6,35609	8,26	0,103
x2	1	0,2056	0,20561	0,27	0,657
x3	1	6,9726	6,97262	9,06	0,095
Interaction	3	15,9818	5,32728	6,92	0,129
x1*x2	1	0,3475	0,34748	0,45	0,571
x1*x3	1	1,2961	1,29615	1,68	0,324
x2*x3	1	4,3605	4,36053	5,67	0,140
Residual Error	2	1,5393	0,76967		
Total	8	31,0197			



LAMPIRAN 10 Alternatif model Respon  $\eta_{23}$ 

Model Linear

Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{23}$ 

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	13,1686	0,6211	21,202	0,000
x1	0,4067	0,7607	0,535	0,616
x2	0,0447	0,7607	0,059	0,955
x3	-1,3514	0,7607	-1,777	0,136

S = 1,86329      PRESS = 67,7848

R-Sq = 40,80%    R-Sq(pred) = 0,00%    R-Sq(adj) =  
5,28%Analysis of Variance for  $\eta_{23}$ 

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	3	11,9623	3,9874	1,15	0,415
Linear	3	11,9623	3,9874	1,15	0,415
x1	1	0,9922	0,9922	0,29	0,616
x2	1	0,0120	0,0120	0,00	0,955
x3	1	10,9581	10,9581	3,16	0,136
Residual Error	5	17,3593	3,4719		
Total	8	29,3216			

Model Orde dua kuadratik

Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{23}$

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	12,2949	1,9026	6,462	0,023
x1	0,4067	0,8807	0,462	0,690
x2	0,0447	0,8807	0,051	0,964
x3	-1,3514	0,8807	-1,534	0,265
x1*x1	1,5599	1,5255	1,023	0,414
x2*x2	-1,0082	1,5255	-0,661	0,577
x3*x3	0,7588	1,5255	0,497	0,668

S = 2,15736      PRESS = 188,496

R-Sq = 68,25%    R-Sq(pred) = 0,00%    R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for  $\eta_{23}$

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	20,0131	3,3355	0,72	0,682
Linear	3	11,9623	3,9874	0,86	0,578
x1	1	0,9922	0,9922	0,21	0,690
x2	1	0,0120	0,0120	0,00	0,964
x3	1	10,9581	10,9581	2,35	0,265
Square	3	8,0508	2,6836	0,58	0,684
x1*x1	1	4,8666	4,8666	1,05	0,414
x2*x2	1	2,0328	2,0328	0,44	0,577
x3*x3	1	1,1514	1,1514	0,25	0,668
Residual Error	2	9,3084	4,6542		
Total	8	29,3216			

Model Orde dua Interaksi  
 Estimated Regression Coefficients for  $\eta_{23}$

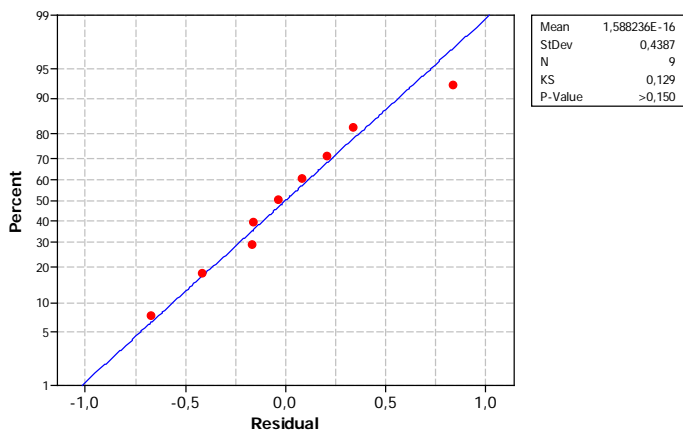
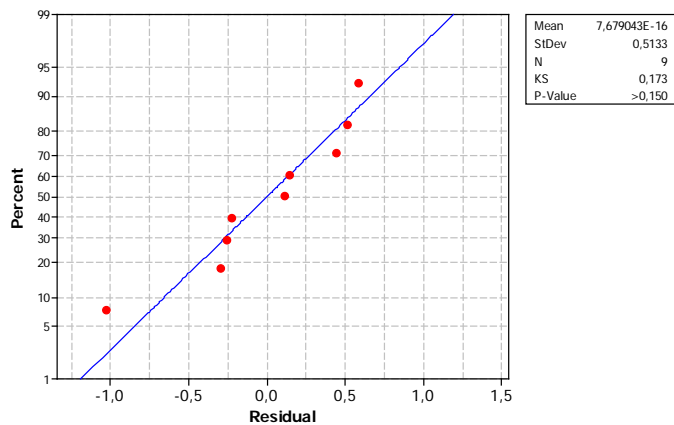
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	13,1686	0,3066	42,951	0,001
x1	1,5132	0,5677	2,665	0,117
x2	-0,2803	0,5677	-0,494	0,670
x3	-1,8803	0,5677	-3,312	0,080
x1*x2	-1,0578	0,8516	-1,242	0,340
x1*x3	-0,6499	0,8516	-0,763	0,525
x2*x3	2,2131	0,8516	2,599	0,122

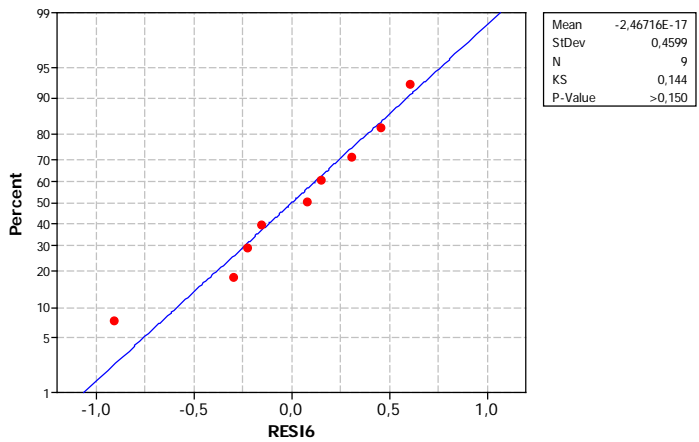
S = 0,919782    PRESS = 104,930  
 R-Sq = 94,23%    R-Sq(pred) = 0,00%    R-Sq(adj) = 76,92%

Analysis of Variance for  $\eta_{23}$

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	27,6296	4,60493	5,44	0,163
Linear	3	16,0737	5,35790	6,33	0,139
x1	1	6,0107	6,01067	7,10	0,117
x2	1	0,2062	0,20622	0,24	0,670
x3	1	9,2811	9,28109	10,97	0,080
Interaction	3	15,6673	5,22242	6,17	0,143
x1*x2	1	1,3055	1,30547	1,54	0,340
x1*x3	1	0,4928	0,49278	0,58	0,525
x2*x3	1	5,7140	5,71404	6,75	0,122
Residual Error	2	1,6920	0,84600		
Total	8	29,3216			

## LAMPIRAN 11 *Output* Pengujian Distribusi Normal Respon Daya Serap Air





LAMPIRAN 12. *Output Software linier Programming*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		model a				model b			model c	
2		Target	0,999210451			Target	1		Target	0,831608187
3		x1	-1,013058486			x1	-1,185444897		x1	-0,847493844
4		x2	-0,001268359			x2	-0,29065889		x2	0,338125239
5		x3	-0,117100734			x3	-0,495173246		x3	0,206459283
6		v1	1			v1	1		v1	0,726184287
7		v2	0,998420901			v2	1		v2	0,937032087
8		s1	1			s1	1		s1	0,726197097
9		s2	1			s2	1		s2	0,726184287
10		t1	0,998420901			t1	1		t1	0,937032087
11		t2	1			t2	1		t2	0,937038553
12		d1	0,827444338			d1	0,893184768		d1	0,589205611
13		d2	1			d2	1		d2	0,968426327
14		D1	0,024887052			D1	0,019567694		D1	0,054439219
15		D2	0,135474723			D2	0,057876673		D2	0,138405442
16		SNKT	35,48233301			SNKT	35,6795543		SNKT	34,76761683
17		SNDS	12,02488586			SNDS	12,06460727		SNDS	11,90527898
18										
19		konstrain	2,04334E-06			konstrain	0,073784768		konstrain	1,03939E-05
20		konstrain	0,975065492			konstrain	0,929877778		konstrain	0,884690063
21		konstrain	0,505520246			konstrain	0,500961056		konstrain	0,505520246
22		konstrain	0,180546896			konstrain	0,103020132		konstrain	0,180706311
23										
24		composite desirability				composite desirability			composite desirability	
25			0,909639675				0,945085			0,755382

*halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Refaie, Abbas, dkk. (2013). *Optimization of Multiple Responses in the Taguchi Method Using Desirability Function and Fuzzy Regression*. Hongkong: Proceedings Of The International Multiconference Of Engineers And Computer Scientists Vol.II IMECS 2013, March 13-15.
- Astuti, D.R.(2007). *Peramalan Beban Jangka Pendek untuk Hari-Hari Libur Menggunakan Fuzzy Linear Regression (FLR) yang dioptimisasi dengan Artificial Immune System (AIS) (Studi Kasus di Kalimantan Selatan-Tengah)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Damaris, R.A. (2011). *Optimasi Kuat Tekan dan Daya Serap Air dari Batako yang Menggunakan Bottom Ash dengan Pendekatan Respon Serentak*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Daniel, W. W. (1989). *Statistika Non Parametrik Terapan*. Jakarta: Pt Gramedia.
- Frick, Heinz & Koesmartadi. (1999). *Ilmu Bahan Bangunan Eksploitasi, Pembuatan, Penggunaan dan Pembuangan*. Yogyakarta.
- Kementerian Perumahan Rakyat. (2014). *Rusun Menjadi Solusi Keterbatasan Tanah di Indonesia*.  
<http://www.kemenpera.go.id/?op=news&act=detaildata&id=1762>.
- Kusumadewi,S & Purnomo,H. (2010). *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Meylina, L.D. (2013). *Optimasi Multirespon Surface pada Industri Kemasan Botol Plastik dengan Pendekatan Fuzzy Programming (Studi Kasus di PT. AAM)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Montgomery, D. C. (2001). *Response Surface Methods*. Dalam *Design and Analysis of Experiments 5th edition* (hal. 427-500). USA: John Wiley and Sons.
- Mulyono, Tri. (2005). *Teknologi Beton*..Yogyakarta: ANDI Yoyakarta.



- Myers, R.H & Montgomery, D.C. (2002). *Respon Surface Methodology. Process and Product Optimization Using Designed Experiment*. John Wiley & Sons, Inc.
- Nasrudin, M. (2014). *Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Batako dengan Campuran Abu Terbang Batubara*. Yogyakarta: Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Nawy G. Edward. (1985). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar* (diterjemahkan oleh Bambang Suryoatmono). Bandung: Refika Aditama.
- Noguchi, K., & Gel, Y.R. (2010) Combination of Levene-type Test and a Finite-intersection Method for Testing Equality of Variances againts Ordered Alternatives. *Working Paper Series*.
- Park, S.H. (1995). *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*. Chapman & Hall, Madras.
- Tanaka, H., S. Uejima, & K. Asai,. (1982). *Linear Regression Analysis with Fuzzy Model*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics SMC, Vol. 12, pp. 903–907, 1982.
- Vaani, T.& Hameedullah, M. 2005. *Optimization of Control Parameters in Electric Discharge Machining of Hardened Tool Steel with Copper Electroplated Aluminium Electrodes*. No. 110, hal 665-668.
- Wei, W. W. (2006). *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods 2nd edition*. USA: Pearson Education, Inc.

## BIODATA PENULIS



Penulis, Tri Murniati yang lahir di Karanganyar pada tanggal 5 September 1992 adalah anak dari pasangan Ranto dan Surayem. Penulis merupakan anak bungsu dari tiga bersaudara. Pendidikan Sekolah dasar ditempuh penulis di SDN 04 Popongan yang kemudian melanjutkan studi di SMP Negeri 3 Karanganyar dan SMA Negeri 1 Karanganyar hingga akhirnya melanjutkan studi di perguruan tinggi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan Statistika pada tahun 2011.

Selama berada di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan non akademik diantaranya mengikuti pelatihan LKMM Pra-TD 2011, LKMM TD 2012, menjadi bendahara umum perkumpulan mahasiswa bidik misi ITS (BIMITS), koordinator tim soal *Data Analysis Competition* tahun 2013 dan penanggung jawab STATION regional Yogyakarta tahun 2013 serta kegiatan kepanitiaan lainnya.

Dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini, semoga dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak. Segala saran dan kritik yang membangun selalu penulis harapkan untuk kebaikan ke depannya. Penulis dapat dihubungi di [trimurniati32@yahoo.com](mailto:trimurniati32@yahoo.com).

*halaman ini sengaja dikosongkan*