

**ANALISIS PENENTUAN FAKTOR PENYEBAB PRODUK  
CACAT (DEFECT) DI LINI PRODUKSI *PAINTING* PT ASTRA  
OTOPARTS TBK DENGAN METODE *DESIGN AND  
ANALYSIS OF EXPERIMENTS (DOE)***

**SKRIPSI**

**HANIFA DHINA**

**04 04 07 031X**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JULI 2008**

**ANALISIS PENENTUAN FAKTOR PENYEBAB PRODUK  
CACAT (DEFECT) DI LINI PRODUKSI *PAINTING* PT ASTRA  
OTOPARTS TBK DENGAN METODE DESIGN AND  
ANALYSIS OF EXPERIMENTS (DOE)**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**Hanifa Dhina  
04 04 07 031X**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JULI 2008**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Hanifa Dhina  
NPM : 040407031X  
Tanda Tangan :

Tanggal : 15 Juli 2008



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Hanifa Dhina  
NPM : 040407031X  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul Skripsi : Analisis Penentuan Faktor Penyebab Produk Cacat (Defect) di Lini Produksi *Painting* PT Astra Otoparts Tbk dengan Metode *Design and Analysis of Experiments* (DOE)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Isti Surjandari, MT., MA., PhD ( )

Penguji : Ir. Amar Rachman, MEIM ( )

Penguji : Ir Yadrifil, M.Sc ( )

Penguji : Ir. Akhmad Hidayatno, MBT ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 15 Juli 2008

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hanifa Dhina  
NPM/NIP : 040407 031X  
Program Studi : Teknik Industri  
Fakultas : Teknik Industri  
Jenis karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Analisis Penentuan Faktor Penyebab Produk Cacat (Defect) di Lini Produksi  
Painting PT Astra Otoparts Tbk dengan Metode *Design and Analysis of  
Experiments* (DOE)**

berserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 15 Juli 2008  
Yang menyatakan

( Hanifa Dhina )

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmatNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penyusunan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi syarat untuk menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Teknik di Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga tercinta, Mama Nonon, Alm. Papa Bustami, Papa Hardi, Abang Ivan, Bandi dan Ordi, serta seluruh oneh, ma'ek, ummi, abi, tante, om dan keluarga besar Mak Tuo Taibah dan Mak Tuo Bari serta Om Bambang dan Mama Rina.
2. Ibu Isti Surjandari yang selalu setia dan membimbing penuh kasih dan perhatian terhadap penulis serta teman-teman satu bimbingan lainnya.
3. Pak Amar Rachman, Pak Yadrifil, dan Pak Akhmad yang telah banyak memberi masukan untuk perkembangan skripsi yang sedang dilakukan.
4. Pak Muhlisin sebagai kepala produksi painting, Pak Reiza, Mas Anton, dan Pak Fachrul sebagai tim Jishuken di PT AOP
5. Jayanti Cinde, Erica Paramesty, Diar LVP, Amy Tambunan, Deny Hamdani dan Ramon Fauzan yang telah saling membantu dan sama-sama berjuang menyelesaikan skripsi ini.
6. Teman-teman terdekat satu angkatan, Dita, Guguk, Markus, Rio, Fahmi, Nadya, Dee, Distya, Nuri, Adi, Aziz dan seluruh teman-teman TI 2004 yang telah banyak memberikan kenangan indah semasa kuliah bersama.
7. Seluruh karyawan jurusan yang selalu bersedia dimintai tolong kapan pun oleh penulis.
8. Keluarga Jamal Abdul Nasser, keluarga Buchari, keluarga Sofyan Saidin, dan keluarga Momon yang selalu memberi semangat dan dorongan.

Depok, 15 Juli 2008

Penulis

## ABSTRAK

Nama : Hanifa Dhina  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul : Analisis Penentuan Faktor Penyebab Produk Cacat (Defect) di Lini Produksi *Painting* PT Astra Otoparts Tbk dengan Metode *Design and Analysis of Experiments* (DOE)

Industri manufaktur merupakan industri yang padat karya dan umumnya selalu memproduksi barang dalam jumlah besar. Setiap perusahaan selalu bersaing dalam merebut pangsa pasar yang besar. Kepuasan pelanggan merupakan salah satu hal utama yang harus diperhatikan untuk mencapai pangsa pasar yang besar tersebut.

Kepuasan pelanggan erat kaitannya dengan barang yang diproduksi oleh perusahaan tersebut. Barang yang bagus secara kualitas adalah barang yang dapat memenuhi kepuasan pelanggan, tidak memiliki cacat, dan bagus secara *performance*. Hal inilah yang menjadi konsentrasi tinggi yang sedang terjadi di PT Astra Otoparts Tbk. Beberapa data menunjukkan tingkat *defect* yang cukup tinggi di lini produksi tertentu, salah satunya adalah lini produksi *painting*.

Untuk mengurangi tingkat *defect* yang ada, maka perlu dilakukan suatu eksperimen untuk mengetahui hubungan faktor-faktor yang mungkin mempengaruhi tingkat *defect*. Konsep eksperimen yang digunakan adalah *Design and Analysis of Experiments* (DOE) dengan menggunakan metode  $2^k$  *full factorial design*.

Setelah eksperimen dilakukan, maka selanjutnya melakukan uji hipotesis terhadap nilai signifikansi yang telah ditentukan. Analisis data residual juga harus dilakukan untuk mengetahui kenormalan persebaran data yang dihasilkan. Setelah melakukan semua uji, barulah ditentukan kombinasi terbaik untuk mengurangi tingkat *defect* yang ada dengan *response optimizer*.

Kata kunci :

Industri manufaktur, *defect*, *Design and Analysis of Experiments*, DOE, *full factorial*, *response optimizer*, residual

## ABSTRACT

Name : Hanifa Dhina  
Study Program : Industrial Engineering  
Title : Determinant Analysis of Factors Causing Product Defect in Painting Line Production of PT Astra Otoparts Tbk Using Design and Analysis of Experiments (DOE) Method

Manufacturing industries include to one of high human capital investments, and usually produce their products in large amount. Every company have competition in dominating the market. Customer satisfaction is one of the important aspect to be concerned in order to gain the larger market.

Customer satisfaction is close to the product that company made. Good product from good quality is described as a thing that can fulfill the customer satisfaction, has no defect occurred, and perform well. This condition begin to be concerned intensively in PT Astra Otoparts Tbk. Some of the data shows high enough defect rate in some production lines, and painting is one of them.

In order to decrease the defect rate, an experiments is needed to know the relation of factors that can affect the defect rate. Concept of the experiments used here is Design and Analysis of Experiments (DOE) by using the  $2^k$  full factorial design method.

When the experiments have been done, the next step is doing the hypothesis test through the significance value. Residual analysis should be done in order to know the normality of data distribution. When all the tests are done, then it must be done to find the optimal combination for optimizing the condition in order to decrease the defect rate by using response optimizer.

Keyword :

Manufacturing industries, defect, Design and Analysis of Experiments, DOE, full factorial, response optimizer, residual

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xiv</b>
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Permasalahan.....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah .....	4
1.3 Rumusan Permasalahan.....	5
1.4 Tujuan Penelitian .....	5
1.5 Batasan Masalah .....	6
1.6 Metodologi Penelitian .....	6
1.7 Sisematika Penelitian .....	8
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>10</b>
2.1. <i>Design and Analysis of Experiments</i> (DOE) .....	10
2.1.1. Tujuan DOE .....	10
2.1.2. Beberapa Metode Percobaan.....	12
2.1.3. Tiga Tahap Utama dalam Desain Eksperimen.....	15
2.1.5. Uji Hipotesis .....	19
2.1.6. Analysis of Variance (ANOVA).....	20
2.1.7. Pengujian Model .....	21
2.1.8. <i>Factorial Design</i> .....	24
2.1.8. Uji Hipotesis dalam <i>Factorial Design</i> .....	27
2.1.10. <i>Response Surface Methods</i> .....	28
2.2. Cat .....	31
2.2.1. Resin (Binder) .....	31
2.2.2. Pigmen .....	32
2.2.4. <i>Additive</i> .....	36
2.3. Pengecatan .....	36
<b>3. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA .....</b>	<b>38</b>
3.1. Profil Perusahaan .....	38

3.1.1. PT Astra Otoparts Tbk.....	38
3.1.1.1 Sejarah Perusahaan .....	38
3.1.1.2. <i>Business Structure</i> dan Portfolio dari AOP.....	39
3.1.2. Divisi Adiwira Plastik (AWP) PT Astra Otoparts Tbk .....	39
3.1.2.1. Sejarah Perusahaan .....	39
3.1.2.2. <i>Line of Business</i> .....	40
3.1.2.3. Visi dan Misi .....	40
3.1.2.4. <i>Revenue</i> .....	40
3.1.3. Lini Produksi <i>Painting</i> .....	41
3.2. Penelusuran Proses dan Perancangan Eksperimen .....	44
3.2.1. Perancangan dengan Metode <i>Design of Experiments</i> .....	44
3.2.1.1. Pemahaman <i>Flow Proses</i> .....	45
3.2.1.2. Tipe-Tipe <i>Defect</i> .....	49
3.2.2. Penentuan Faktor Di Tiap Proses .....	55
3.2.3. Penentuan Level di Tiap Faktor yang Telah Ditentukan .....	57
3.2.4. Perancangan dengan Metode <i>Design of Experiments</i> .....	58
3.3. Pengumpulan Data Eksperimen.....	60
3.2.4. Penentuan <i>Output</i> Hasil Percobaan .....	60
3.3.1. Jenis <i>Defect</i> “Orange Peel” .....	60
3.3.2. Jenis <i>Defect</i> “Tipis” .....	60
3.3.3. Jenis <i>Defect</i> “Kotor” .....	61
3.3.4. Jenis <i>Defect</i> “Lecet” .....	61
3.3.5. Jenis <i>Defect</i> “Poping” .....	62
3.3.6. Jenis <i>Defect</i> “Minyak” .....	62
3.3.7. Jenis <i>Defect</i> “Bintik Air” .....	63
3.3.8. Jenis <i>Defect</i> “Dust” .....	63
3.3.9. Jenis <i>Defect</i> “Cat Meleleh” .....	63
3.3.10. Jenis <i>Defect</i> “Menyerap” .....	64
3.4. Pengolahan Data .....	65
3.4.1. Pengolahan Data untuk <i>Defect</i> Tipe “Orange Peel” .....	65
3.4.3. Pengolahan Data untuk <i>Defect</i> Tipe “Kotor” .....	69
3.4.4. Pengolahan Data untuk <i>Defect</i> Tipe “Lecet” .....	71
3.4.5. Pengolahan Data untuk <i>Defect</i> Tipe “Poping” .....	73
3.4.6. Pengolahan Data untuk <i>Defect</i> Tipe “Minyak” .....	75
3.4.7. Pengolahan Data untuk <i>Defect</i> Tipe “Bintik Air” .....	77
3.4.8. Pengolahan Data untuk <i>Defect</i> Tipe “Dust” .....	79

3.4.9. Pengolahan Data untuk <i>Defect</i> Tipe “Cat Meleleh” .....	81
3.4.10. Pengolahan Data untuk <i>Defect</i> Tipe “Menyerap” .....	82
<b>4. ANALISIS .....</b>	<b>83</b>
4.1. Analisis Tipe <i>Defect</i> “Orange Peel” .....	84
4.1.1. Grafik Residual untuk <i>Defect Orange Peel</i> .....	84
4.1.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya .....	85
4.2. Analisis Tipe <i>Defect</i> “Tipis” .....	86
4.2.1. Grafik Residual untuk <i>Defect Tipis</i> .....	86
4.2.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya .....	87
4.3. Analisis Tipe <i>Defect</i> “Kotor” .....	88
4.3.1. Grafik Residual untuk <i>Defect Kotor</i> .....	88
4.3.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya .....	89
4.4. Analisis Tipe <i>Defect</i> “Lecet” .....	93
4.4.1. Grafik Residual untuk <i>Defect Lecet</i> .....	93
4.4.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya .....	94
4.5. Analisis Tipe <i>Defect</i> “Popping” .....	96
4.5.2. Grafik Residual untuk <i>Defect Popping</i> .....	96
4.5.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya .....	97
4.6. Analisis Tipe <i>Defect</i> “Minyak” .....	98
4.6.1. Grafik Residual untuk <i>Defect Minyak</i> .....	98
4.6.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya .....	99
4.7. Analisis Tipe <i>Defect</i> “Bintik Air” .....	103
4.7.1. Grafik Residual untuk <i>Defect Bintik Air</i> .....	103
4.7.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya .....	104
4.8. Analisis Tipe <i>Defect</i> “Dust” .....	107
4.8.2. Grafik Residual untuk <i>Defect Dust</i> .....	107
4.8.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya .....	108
4.9. Analisis Tipe <i>Defect</i> “Cat Meleleh” .....	109
4.9.2. Grafik Residual untuk <i>Defect Cat Meleleh</i> .....	109
4.9.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya .....	110
4.2. Kombinasi Optimal untuk <i>Improvement</i> (Response Optimizer) dan Grafik <i>Contour Plot</i> .....	112
4.2.1. Terhadap <i>Defect Kotor</i> .....	113
4.2.1.1. <i>Response Optimizer</i> untuk <i>Defect Kotor</i> .....	113
4.2.1.2. Grafik <i>Contour Plot</i> untuk <i>Defect Kotor</i> .....	114
4.2.2. Terhadap <i>Defect Lecet</i> .....	116

4.2.2.1. <i>Response Optimizer</i> untuk <i>Defect Lecet</i> .....	116
4.2.2.2. Grafik <i>Contour Plot</i> untuk <i>Defect Lecet</i> .....	117
4.2.3. Terhadap <i>Defect Minyak</i> .....	119
4.2.3.1. <i>Response Optimizer</i> untuk <i>Defect Minyak</i> .....	119
4.2.3.2 Grafik <i>Contour Plot</i> untuk <i>Defect Minyak</i> .....	119
4.2.4. Terhadap <i>Defect Bintik Air</i> .....	120
4.2.4.1. <i>Response Optimizer</i> untuk <i>Defect Bintik Air</i> .....	120
4.2.4.2 Grafik <i>Contour Plot</i> untuk <i>Defect Bintik Air</i> .....	121
4.2.5. Terhadap <i>Defect Cat Meleleh</i> .....	123
4.2.5.1. <i>Response Optimizer</i> untuk <i>Defect Cat Meleleh</i> .....	123
4.2.5.2. Grafik <i>Contour Plot</i> untuk <i>Defect Cat Meleleh</i> .....	124
<b>5. PENUTUP</b> .....	<b>127</b>
5.1. Kesimpulan Penelitian.....	127
5.2. Saran untuk Penelitian Selanjutnya.....	128
<b>DAFTAR REFERENSI</b> .....	<b>129</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>131</b>

## DAFTAR GAMBAR

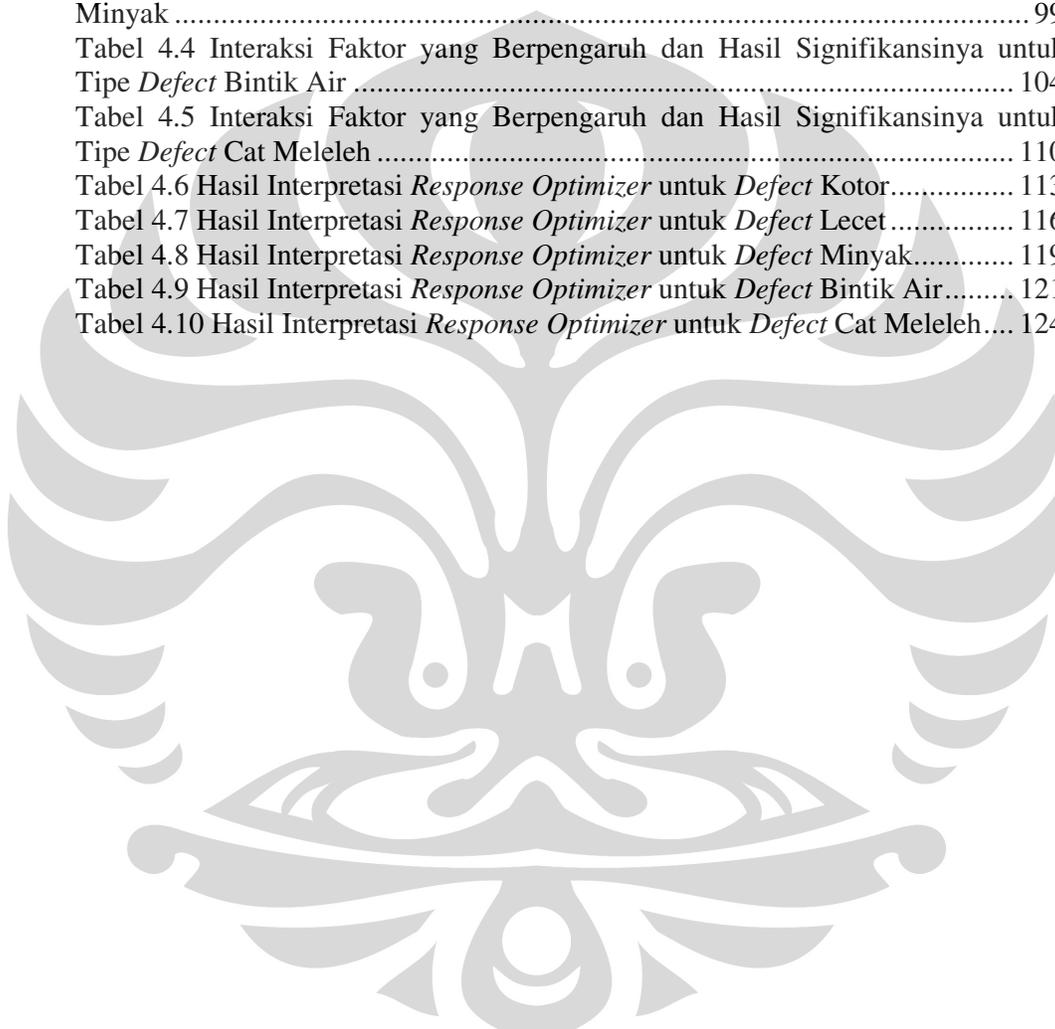
Gambar 1.1 Grafik Perbandingan <i>Reject</i> untuk Desember 2007 dan Januari 2008 pada Lini 2 Produksi <i>Painting</i> .....	4
Gambar 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	5
Gambar 1.3 <i>Flowchart</i> Pengerjaan Penelitian.....	8
Gambar 2.1 Model Umum Suatu Sistem .....	10
Gambar 2.2 Tiga Tahap Utama dalam Desain Eksperimen.....	16
Gambar 2.3. Grafik Residual terhadap <i>Fitted Values</i> .....	22
Gambar 2.4. Grafik Residual dengan Pola Tersebar .....	23
Gambar 2.5. Grafik Residual dengan Variasi yang Konstan .....	23
Gambar 2.6. Grafik Residual dari Distribusi Normal.....	24
Gambar 2.7. Contoh Kombinasi Perancangan $2^2$ <i>Factorial Design</i> .....	25
Gambar 2.8 Percobaan <i>Factorial</i> dengan (a) Tanpa Interaksi Faktor, dan (b) dengan Interaksi Faktor.....	25
Gambar 2.9. Contoh Bentuk Interpretasi Dimensi <i>Response Surface</i> ke dalam Bentuk 2 Dimensi <i>Contour Plot</i> .....	29
Gambar 2.10. Grafik <i>Response Optimizer</i> .....	30
Gambar 2.11. Contoh Gambar Serbuk Pigmen.....	33
Gambar 2.12. Contoh Larutan <i>Dyestuff</i> .....	33
Gambar 3.1. Business Structure dan Portofolio dari AOP.....	39
Gambar 3.2. Contoh Part yang Dicat dan Bagianannya di Motor .....	42
Gambar 3.3. <i>Flow Chart</i> Proses Pengecatan di Lini <i>Painting</i> .....	46
Gambar 3.4. Diagram <i>Fishbone</i> Penyebab <i>Defect Orange Peel</i> .....	49
Gambar 3.5. Diagram <i>Fishbone</i> Penyebab <i>Defect Lecet</i> .....	50
Gambar 3.6. Diagram <i>Fishbone</i> Penyebab <i>Defect Tipis</i> .....	50
Gambar 3.7. Diagram <i>Fishbone</i> Penyebab <i>Defect Cat Meleleh</i> .....	51
Gambar 3.8. Diagram <i>Fishbone</i> Penyebab <i>Defect Kotor</i> .....	51
Gambar 3.9. Diagram <i>Fishbone</i> Penyebab <i>Defect Menyerap</i> .....	52
Gambar 3.10. Diagram <i>Fishbone</i> Penyebab <i>Defect Minyak</i> .....	52
Gambar 3.11. Diagram <i>Fishbone</i> Penyebab <i>Defect Popping</i> .....	53
Gambar 3.12. Diagram <i>Fishbone</i> Penyebab <i>Defect Dust</i> .....	53
Gambar 3.13. Diagram <i>Fishbone</i> Penyebab <i>Defect Bintik Air</i> .....	54
Gambar 4.1. Grafik Plot Residual untuk <i>Defect Orange Peel</i> .....	84
Gambar 4.2. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor pada <i>Defect Orange Peel</i> .....	85
Gambar 4.3. Grafik Plot Residual untuk <i>Defect Tipis</i> .....	86
Gambar 4.4. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor pada <i>Defect Tipis</i> .....	87
Gambar 4.5. Grafik Plot Residual untuk <i>Defect Kotor</i> .....	88
Gambar 4.6. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor pada <i>Defect Kotor</i> .....	90
Gambar 4.7. Grafik Pengaruh Faktor Utama untuk Tipe <i>Defect Kotor</i> .....	91
Gambar 4.8. Grafik Interaksi Tiap Faktor pada <i>Defect Kotor</i> .....	92
Gambar 4.9. Grafik Plot Residual untuk <i>Defect Lecet</i> .....	93

Gambar 4.10. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor dan Interaksinya untuk <i>Defect Lecet</i> .....	94
Gambar 4.11. Grafik Pengaruh Faktor Utama untuk <i>Defect Lecet</i> .....	95
Gambar 4.12. Grafik <i>Interaction Plot</i> Antar Faktor Utama untuk <i>Defect Lecet</i> ...	95
Gambar 4.13. Grafik Plot Residual untuk <i>Defect Popping</i> .....	96
Gambar 4.14. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor dan Interaksinya untuk <i>Defect Popping</i> .....	97
Gambar 4.15. Grafik Plot Residual untuk <i>Defect Minyak</i> .....	98
Gambar 4.16. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor pada <i>Defect Minyak</i> .....	100
Gambar 4.17. Grafik Pengaruh Faktor Utama untuk Tipe <i>Defect Minyak</i> .....	101
Gambar 4.18. Grafik Interaksi Tiap Faktor pada <i>Defect Minyak</i> .....	102
Gambar 4.19. Grafik Plot Residual untuk <i>Defect Bintik Air</i> .....	103
Gambar 4.20. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor pada <i>Defect Bintik Air</i> .....	104
Gambar 4.21. Grafik Pengaruh Faktor Utama untuk Tipe <i>Defect Bintik Air</i> .....	105
Gambar 4.22. Grafik Interaksi Tiap Faktor pada <i>Defect Bintik Air</i> .....	106
Gambar 4.23. Grafik Plot Residual untuk <i>Defect Dust</i> .....	107
Gambar 4.24. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor pada <i>Defect Dust</i> ..	108
Gambar 4.25. Gambar Plot Residual untuk <i>Defect Cat Meleleh</i> .....	109
Gambar 4.26. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor pada <i>Defect Cat Meleleh</i> .....	110
Gambar 4.27 Grafik Pengaruh Faktor Utama untuk Tipe <i>Defect Cat Meleleh</i> ...	111
Gambar 4.28. Grafik Interaksi Tiap Faktor pada Tipe <i>Defect Cat Meleleh</i> .....	112
Gambar 4.29 <i>Response Optimizer</i> untuk <i>Defect Kotor</i> .....	113
Gambar 4.30. <i>Contour Plot</i> untuk Interaksi Faktor Suhu dan <i>Degrease</i> pada <i>Defect Kotor</i> .....	114
Gambar 4.31. <i>Contour Plot</i> untuk <i>Defect Kotor</i> dan Interaksi Faktornya.....	115
Gambar 4.32. <i>Response Optimizer</i> untuk <i>Defect Lecet</i> .....	116
Gambar 4.33. <i>Contour Plot</i> untuk Interaksi Kecepatan Konveyor dengan Penggunaan <i>Degrease</i> pada <i>Defect Lecet</i> .....	117
Gambar 4.34. <i>Contour Plot</i> untuk <i>Defect Lecet</i> dan Interaksi Faktornya .....	118
Gambar 4.35. <i>Response Optimizer</i> untuk <i>Defect Minyak</i> .....	119
Gambar 4.36. Grafik <i>Contour Plot</i> untuk <i>Defect Minyak</i> dan Interaksi Faktornya .....	120
Gambar 4.37. <i>Response Optimizer</i> untuk <i>Defect Bintik Air</i> .....	121
Gambar 4.38. Grafik <i>Contour Plot</i> untuk Interaksi Kecepatan Konveyor dengan Tekanan pada <i>Defect Bintik Air</i> .....	122
Gambar 4.39. Grafik <i>Contour Plot</i> untuk Interaksi Suhu dengan <i>Degrease</i> pada <i>Defect Bintik Air</i> .....	122
Gambar 4.40. Grafik <i>Contour Plot</i> untuk <i>Defect Bintik Air</i> dan Interaksi Faktornya.....	123
Gambar 4.41 <i>Response Optimizer</i> untuk <i>Defect Cat Meleleh</i> .....	124
Gambar 4.42 Grafik <i>Contour Plot</i> untuk Interaksi Suhu dengan <i>Degrease</i> pada <i>Defect Cat Meleleh</i> .....	125
Gambar 4.43 Grafik <i>Contour Plot</i> untuk <i>Defect Cat Meleleh</i> dan Interaksi Faktornya.....	126

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Analisis Varians .....	21
Tabel 2.2 Kombinasi + dan – untuk Rancangan $2^3$ .....	26
Tabel 2.3. Analisis Varians untuk <i>Factorial Design</i> 2 Faktor .....	28
Tabel 3.1 <i>Sales By Customer</i> .....	41
Tabel 3.2 <i>Sales By Product</i> .....	41
Tabel 3.3. Persentase Tingkat Defect untuk Part Motor Tipe KVRX selama Bulan Desember 2007 – Januari 2008 .....	43
Tabel 3.4. Persentase <i>Defect</i> untuk Tiap Tipe <i>Defect</i> di <i>Line</i> 2 selama Desember 2007 – Januari 2008.....	44
Tabel 3.5. Faktor-Faktor Dominan Tiap Proses .....	55
Tabel 3.6. Kecepatan Konveyor yang Diperbolehkan untuk Tiap Tipe Warna....	56
Tabel 3.7. Perancangan dengan Metode <i>Design of Experiments</i> .....	59
Tabel 3.8. Contoh Perancangan <i>Design of Experiments</i> dengan MINITAB 15 (Randomized) .....	59
Tabel 3.9. Hasil Eksperimen untuk Tipe <i>Defect</i> “Orange Peel” .....	60
Tabel 3.10. Hasil Eksperimen untuk Tipe <i>Defect</i> “Tipis” .....	61
Tabel 3.11. Hasil Eksperimen untuk Tipe <i>Defect</i> “Kotor” .....	61
Tabel 3.12. Hasil Eksperimen untuk Tipe <i>Defect</i> “Lecet” .....	61
Tabel 3.13. Hasil Eksperimen untuk Tipe <i>Defect</i> “Poping” .....	62
Tabel 3.14. Hasil Eksperimen untuk Tipe <i>Defect</i> “Minyak” .....	62
Tabel 3.15. Hasil Eksperimen untuk Tipe <i>Defect</i> “Bintik Air”.....	63
Tabel 3.16. Hasil Eksperimen untuk Tipe <i>Defect</i> “Dust” .....	63
Tabel 3.17. Hasil Eksperimen untuk Tipe <i>Defect</i> “Cat Meleleh” .....	64
Tabel 3.18. Hasil Eksperimen untuk Tipe <i>Defect</i> “Menyerap” .....	64
Tabel 3.19. Perancangan Eksperimen <i>Defect</i> “Orange Peel” Berdasarkan MINITAB 15 .....	65
Tabel 3.20. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap <i>Defect</i> “Orange Peel” .....	66
Tabel 3.21. Perancangan Eksperimen <i>Defect</i> “Tipis” Berdasarkan MINITAB 1567	
Tabel 3.22. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap <i>Defect</i> “Tipis” .....	68
Tabel 3.23. Perancangan Eksperimen <i>Defect</i> “Kotor” Berdasarkan MINITAB 15 .....	69
Tabel 3.24. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap <i>Defect</i> “Kotor” .....	70
Tabel 3.25. Perancangan Eksperimen <i>Defect</i> “Lecet” Berdasarkan MINITAB 15 .....	71
Tabel 3.26. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap <i>Defect</i> “Lecet” .....	72
Tabel 3.27. Perancangan Eksperimen <i>Defect</i> “Poping” Berdasarkan MINITAB 15 .....	73
Tabel 3.28. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap <i>Defect</i> “Poping” .....	74
Tabel 3.29. Perancangan Eksperimen <i>Defect</i> “Minyak” Berdasarkan MINITAB 15 .....	75
Tabel 3.30. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap <i>Defect</i> “Minyak” .....	76
Tabel 3.31. Perancangan Eksperimen <i>Defect</i> “Bintik Air” Berdasarkan MINITAB 15 .....	77
Tabel 3.32. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap <i>Defect</i> “Bintik Air” .....	78
Tabel 3.33. Perancangan Eksperimen <i>Defect</i> “Dust” Berdasarkan MINITAB 15 79	

Tabel 3.34. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap <i>Defect</i> “Dust” .....	80
Tabel 3.35. Perancangan Eksperimen Berdasarkan MINITAB 15 .....	81
Tabel 3.36. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap <i>Defect</i> “Cat Meleleh” .....	82
Tabel 4.1 Faktor yang Berpengaruh dan Hasil Signifikansinya untuk Tipe <i>Defect</i> Kotor .....	89
Tabel 4.2 Faktor yang Berpengaruh dan Hasil Signifikansinya untuk Tipe <i>Defect</i> Lecet.....	94
Tabel 4.3 Faktor yang Berpengaruh dan Hasil Signifikansinya untuk Tipe <i>Defect</i> Minyak .....	99
Tabel 4.4 Interaksi Faktor yang Berpengaruh dan Hasil Signifikansinya untuk Tipe <i>Defect</i> Bintik Air .....	104
Tabel 4.5 Interaksi Faktor yang Berpengaruh dan Hasil Signifikansinya untuk Tipe <i>Defect</i> Cat Meleleh .....	110
Tabel 4.6 Hasil Interpretasi <i>Response Optimizer</i> untuk <i>Defect</i> Kotor.....	113
Tabel 4.7 Hasil Interpretasi <i>Response Optimizer</i> untuk <i>Defect</i> Lecet.....	116
Tabel 4.8 Hasil Interpretasi <i>Response Optimizer</i> untuk <i>Defect</i> Minyak.....	119
Tabel 4.9 Hasil Interpretasi <i>Response Optimizer</i> untuk <i>Defect</i> Bintik Air.....	121
Tabel 4.10 Hasil Interpretasi <i>Response Optimizer</i> untuk <i>Defect</i> Cat Meleleh....	124



## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Permasalahan

Seiring dengan berkembangnya perekonomian di Indonesia, maka industri manufaktur di Indonesia pun turut berkembang. Banyaknya perusahaan besar penghasil barang bermunculan menunjukkan membaiknya iklim untuk memulai usaha, juga diikuti dengan berkembangnya tingkat konsumsi masyarakat akan kebutuhan sehari-hari.

Kebutuhan manusia secara umum dibagi menjadi 3 bagian, yaitu primer, sekunder, dan tersier. Bagi masyarakat kalangan menengah ke bawah, mungkin mencukupi kebutuhan hanya penting untuk sampai pada tingkat kebutuhan sekunder saja. Sedangkan masyarakat kelas menengah ke atas akan berpikir lebih jauh lagi untuk memenuhi kebutuhan mereka dengan hal-hal yang lebih praktis, tapi mungkin tidak terjangkau bagi mereka yang berada di masyarakat kelas menengah ke bawah. Sarana transportasi merupakan sarana yang sudah mulai dianggap kebutuhan primer, mengingat semakin meningkatnya mobilitas sebagian besar penduduk di Indonesia ini.

Awalnya, memiliki sebuah sarana transportasi yang memudahkan pemiliknya dalam aktivitas sehari-hari dirasa sebuah keinginan tingkat tersier yang hanya bisa diwujudkan oleh beberapa tingkatan masyarakat. Barang-barang seperti mobil dan motor dulu dianggap sebagai benda pengukur tingkat status sosial mereka. Sekarang, dengan adanya kemajuan ilmu pengetahuan yang membuat biaya produksi barang menurun dan tidak setinggi dulu. Adanya keadaan ini membuat beberapa industri pembuat sarana transportasi menurunkan harga jual produknya, yaitu sepeda motor.

Mudahnya bagi masyarakat memiliki sebuah sepeda motor selain karena terjangkau harga jualnya, sepeda motor menawarkan fleksibilitas yang tinggi untuk menghadapi kondisi lalu lintas yang sering dihadapi di jalan raya, terutama di wilayah ibukota Jakarta ini. Toko-toko penyalur produk ini pun berlomba untuk menjual produk mereka dengan menawarkan uang muka yang sangat terjangkau. Kenyataan ini membuat penjualan kendaraan roda dua ini meningkat pesat,

membuat produsen barang tersebut selalu menghasilkan keuntungan yang meningkat tiap tahunnya.

Semakin berkembangnya minat masyarakat untuk memiliki kendaraan roda dua ini membuat produsen juga harus selalu meningkatkan pelayanan (after sales service) agar pelanggan tetap setia menggunakan produk tersebut. Tersedianya beragam bengkel pelayanan di sepanjang jalan membuat produsen harus selalu menyiapkan banyak tipe produk berupa part-part individu yang bisa memenuhi kebutuhan pelanggan. Selain untuk menyuplai kebutuhan di berbagai bengkel servis, produsen juga harus memiliki part-part yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan produksi setiap harinya.

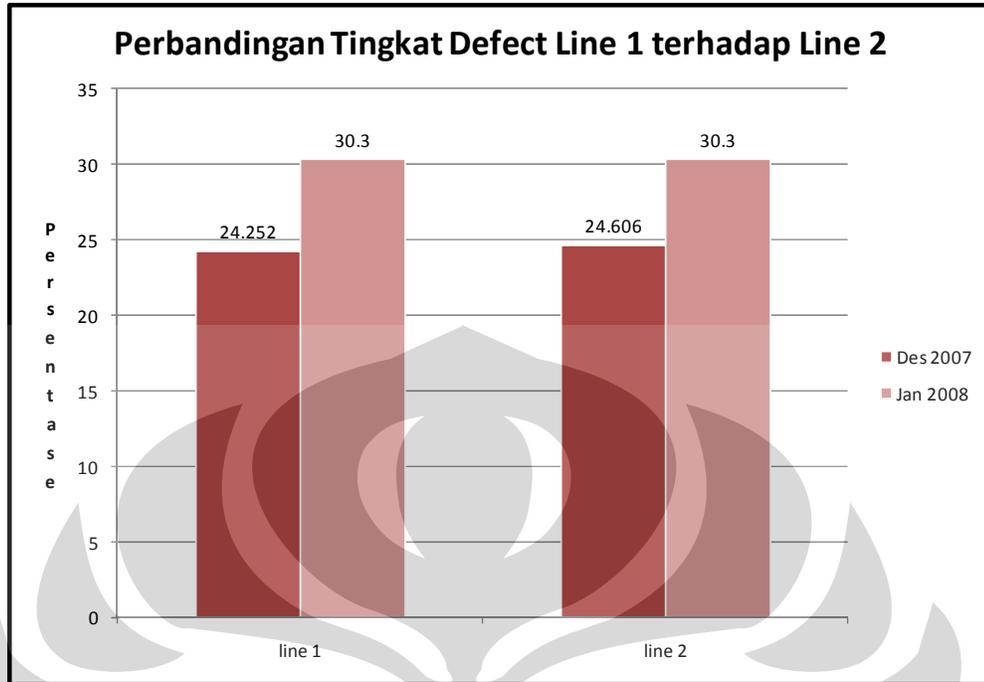
PT Astra Otoparts Tbk (AOP) merupakan salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang industri otomotif. Perusahaan ini memproduksi bagian-bagian sepeda motor sesuai dengan yang diminta oleh pelanggan. Pelanggan terbesar perusahaan ini adalah PT Astra Honda Motor (AHM) yang bergerak dalam bidang perakitan dan penjualan sepeda motor. AOP merupakan perusahaan terbesar yang menyuplai kebutuhan perakitan sepeda motor untuk AHM setiap harinya.

Industri manufaktur penghasil barang biasanya selalu memiliki masalah di tiap proses produksinya. Begitu juga dengan AOP yang terdiri dari beberapa lini produksi yang membuat bagian-bagian untuk perakitan sepeda motor. Bagi AOP, masalah dalam kualitas merupakan masalah penting yang tidak diinginkan yang bisa mempengaruhi performa perusahaan di mata pelanggan. Kualitas adalah hal penting yang harus dijaga agar selalu bisa menjaga pelanggan tetap setia menggunakan produk perusahaan.

Masalah kualitas adalah suatu hal yang rentan resiko dimana sebuah pengaturan dan manajemen yang baik diperlukan untuk mengurangi hal-hal yang tidak diinginkan terjadi, dalam hal ini adalah kemunculan cacat atau *defect* pada produk. Tiap lini produksi telah memiliki sebuah flow process yang memasukkan proses inspeksi di tiap pembuatan produk. Akan tetapi, suatu kecacatan atau *defect* pada produk memang sulit untuk dicegah tapi bisa dihindari. Banyaknya jenis *defect* yang terjadi di tiap *flow process* menunjukkan masih perlu adanya perbaikan yang harus dilakukan agar selalu bisa meningkatkan kualitas.

Beberapa lini produksi yang ada di perusahaan AOP menunjukkan tingginya tingkat *reject* yang ada di sana. Salah satunya adalah lini produksi painting. Lini produksi painting merupakan lini produksi pengecatan part-part yang umumnya terbuat dari plastik sesuai dengan warna sepeda motor yang ada. Work-in-Process (WIP) untuk lini produksi ini adalah part-part yang telah dicetak sebelumnya di lini produksi plastic injection. Setelah part dicetak sesuai kebutuhan, misalnya part untuk sayap motor bagian kanan, part ini nantinya akan dicat terlebih dahulu sebelum dikirimkan kepada konsumen sesuai dengan permintaan. Ada tiga lini produksi painting, yaitu lini satu, lini dua dan lini tiga. Lini satu dan dua merupakan proses pengecatan yang menggunakan konveyor gantung, sedangkan lini tiga masih menggunakan tenaga manual dalam perpindahan part-nya.

Data *reject* pada bulan Desember 2007 lalu menunjukkan angka 24,25% dan meningkat di bulan Januari 2008 hingga 30,2%. Angka ini cukup tinggi mengingat AOP merupakan perusahaan yang selalu aktif memproduksi part-part yang dibutuhkan pelanggan. Dengan tingkat *reject* yang ditunjukkan, maka efisiensi penggunaan bahan baku bisa dibilang kurang efektif karena harus selalu mengganti barang yang *reject* dengan memproduksi yang baru lagi. Untuk mengatasi hal ini, maka dirasa perlu adanya mengetahui faktor-faktor yang berperan penting menjadi penyebab suatu barang menjadi *defect*, atau bahkan justru faktor tersebutlah yang akan menentukan kualitas suatu produk yang dihasilkan. Faktor yang berhasil ditemukan akan diukur dan diuji kembali untuk menentukan faktor manakah yang paling berpengaruh dan membutuhkan perhatian lebih terhadapnya.

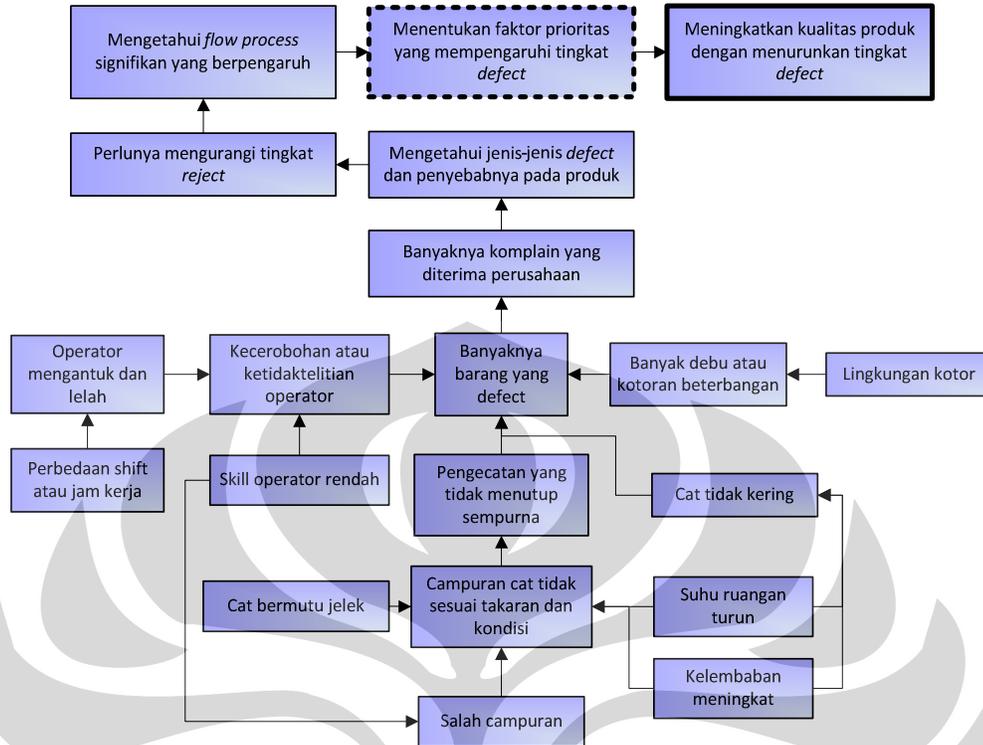


Gambar 1.1 Grafik Perbandingan *Reject* untuk Desember 2007 dan Januari 2008 pada Lini 2 Produksi Painting  
(Sumber : PT Astra Otoparts Tbk)

Untuk mengetahui dan menyelesaikan permasalahan yang ada, maka akan digunakan beberapa metode untuk mengolah dan menganalisis data yang telah dikumpulkan. Untuk menentukan faktor-faktor yang prioritas menjadi penyebab barang cacat akan diolah dengan menggunakan metode *Design and Analysis of Experiment* (DOE). DOE adalah suatu metode eksperimen dengan cara mengkombinasikan faktor-faktor yang terkontrol untuk mencari faktor mana yang paling dominan, dan menentukan kombinasi paling optimum dari faktor-faktor tersebut dengan tujuan mendapatkan hasil yang maksimal. Metode ini dipercaya sebagai salah satu metode ampuh dalam meningkatkan hasil dari suatu proses, performansi proses, dan variabilitas proses.

## 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Masalah-masalah yang bisa dijabarkan dalam penelitian ini tergambar dalam diagram keterkaitan masalah berikut ini.



Gambar 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

### 1.3 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka penelitian akan berkisar pada penentuan faktor-faktor yang memiliki pengaruh dalam menyebabkan suatu barang menjadi cacat dan *reject*, dan menentukan faktor-faktor prioritas yang memberikan kontribusi terbesar dalam menyebabkan cacat.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penulis dalam penelitian ini antara lain :

1. Memperoleh faktor-faktor yang mempengaruhi tiap tipe defect pada lini 2 produksi painting di PT Astra Otoparts Tbk
2. Memperoleh faktor prioritas yang mempengaruhinya
3. Menentukan tindakan dan antisipasi yang bisa diambil terhadapnya

### 1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini akan menyelidiki sejauh mana faktor yang ada di tiap proses mempengaruhi output produksi, oleh sebab itu penelitian ini akan membatasi ruang lingkup yang ada, yaitu dengan :

1. Menentukan faktor yang bisa diubah dan memungkinkan untuk memiliki tingkatan level di tiap *flow process* yang ada di lini 2 produksi *painting*
2. Melakukan eksperimen dengan metode *factorial design*.
3. Penelitian hanya akan dilakukan untuk semua tipe produk hasil produksi plastic injection PT Astra Otoparts Tbk.
4. Part yang akan diteliti merupakan part yang akan mengalami pengecatan dengan warna hitam.

### 1.6 Metodologi Penelitian

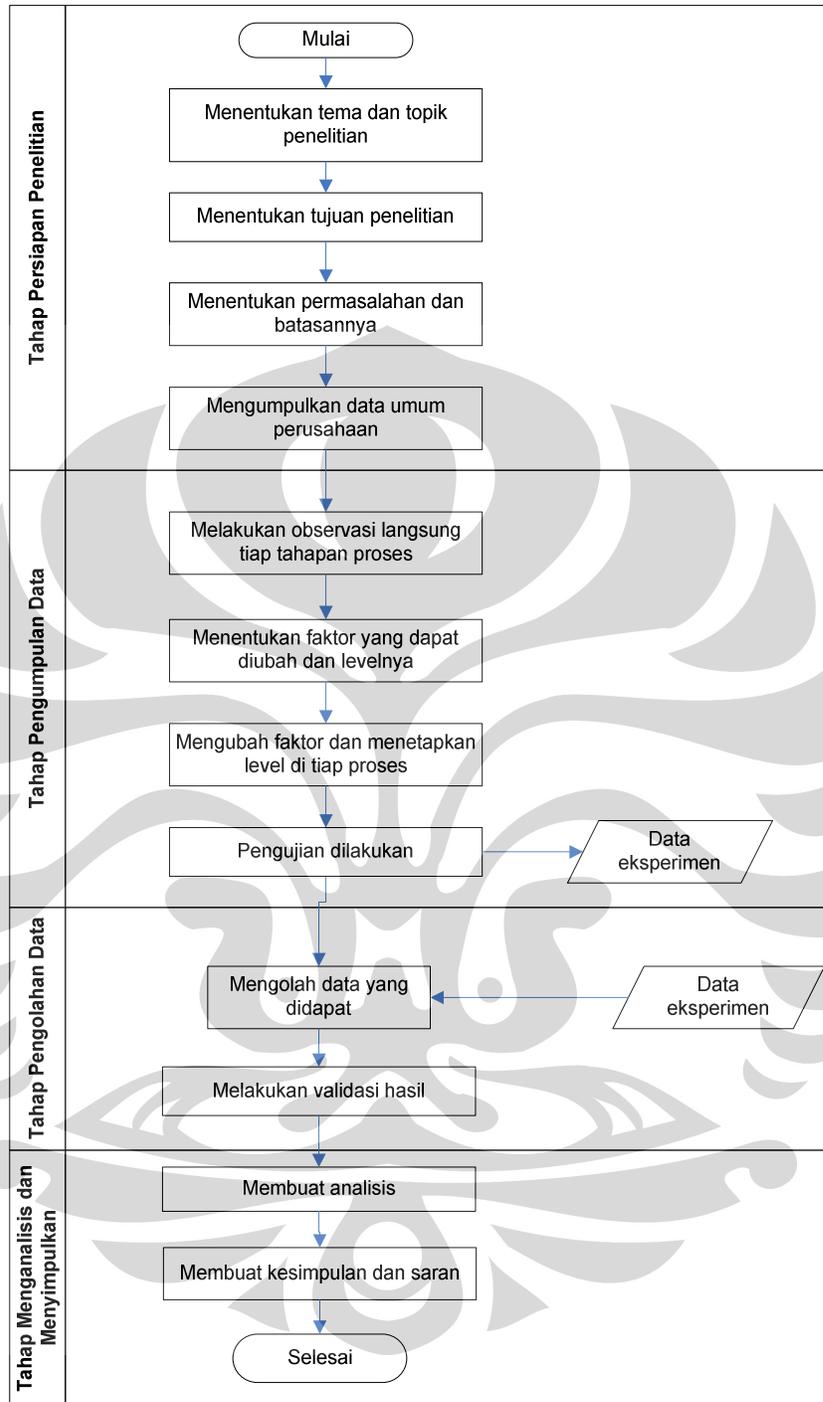
Metodologi untuk penelitian ini dapat dibagi menjadi empat tahap, yaitu :

1. Tahap persiapan penelitian, meliputi :
  - Penentuan tema dan topik skripsi
  - Penentuan tujuan penelitian
  - Penentuan permasalahan dan batasan masalah
  - Pengumpulan data umum perusahaan
2. Tahap pengumpulan data, meliputi :
  - Menentukan kriteria kualitas yang diinginkan
  - Melakukan observasi langsung di tiap tahap proses
  - Menentukan faktor yang dapat diubah
  - Menentukan perubahan level yang ada pada faktor
  - Pengujian dimulai dan menghasilkan *output* berupa data eksperimen
3. Tahap pengolahan data, yaitu dengan menggunakan metode  $2^k$  *factorial design*, *Design and Analysis of Experiments*. Tahap ini meliputi langkah-langkah sebagai berikut :
  - Mengolah data yang berhasil dihimpun dari pengujian langsung. Pengolahan data akan dibantu dengan *software* MINITAB 14.

- Melakukan validasi hasil
4. Tahap menganalisis hasil yang telah diperoleh dan menentukan kesimpulan serta mengajukan saran untuk perbaikan

Alur pengerjaan penelitian ini selengkapnya akan digambarkan pada *flowchart* di bawah ini.





Gambar 1.2 *Flowchart* Pengerjaan Penelitian

### 1.7 Sisematika Penelitian

Makalah penelitian ini akan terdiri dari 5 bab. Secara garis besar, bab 1 akan berisi penjelasan mengenai penelitian yang akan dilakukan, termasuk latar

belakang penulis menentukan penelitian ini, tujuan diadakannya penelitian, dan ruang lingkup yang akan membatasi penulis bekerja.

Bab 2 umumnya akan bercerita mengenai landasan teori terhadap metode-metode yang akan digunakan penulis dalam mengerjakan penelitian ini. Yang akan dijelaskan dalam bab ini antara lain penggunaan metode design and analysis of experiments, dan lain-lain.

Bab 3 akan berisi profil perusahaan beserta sejarah dan struktur organisasinya, pengumpulan data yang telah dilakukan beserta pengolahan datanya.

Bab 4 merupakan analisis dari bab sebelumnya berdasarkan data yang berhasil didapat dan diolah menggunakan *software* statistik, menentukan faktor dominan akhir yang menyebabkan barang cacat untuk tiap tipe cacat hingga penentuan solusinya. Data yang akan dianalisis antara lain data residual untuk tiap tipe defect, pengaruh faktor utama, interaksi antara dua faktor dan lebih, serta grafik pareto yang ditunjukkan oleh hasil signifikansi pengaruh.

Bab 5 akan berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran yang akan diajukan penulis berdasarkan hasil yang diperoleh.

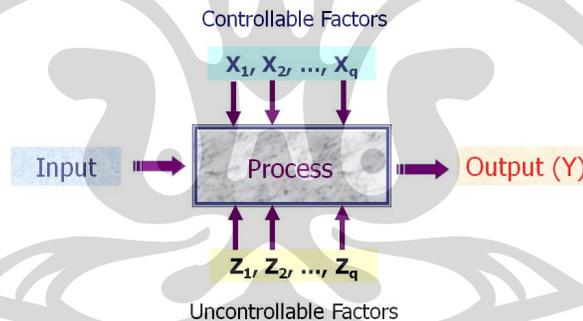
## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. *Design and Analysis of Experiments* (DOE)

*Design and Analysis of Experiments* (DOE) atau bisa juga disebut desain eksperimen atau perancangan percobaan merupakan suatu metode yang banyak digunakan untuk mendesain dan merancang suatu percobaan untuk mengetahui respon dan karakteristik suatu faktor dan elemen terhadap suatu variable penguji. Ilmu ini banyak digunakan di seluruh dunia untuk diaplikasikan ke berbagai bidang, seperti manajemen, *engineering* dan juga *science*.

#### 2.1.1. Tujuan DOE

Untuk mengetahui pengaruh suatu elemen terhadap faktor yang diberikan, bisa diuji dengan memasukkan perubahan elemen tersebut terhadap faktor-faktor yang diberikan, baik yang telah direkayasa sebelumnya maupun faktor aslinya. Umumnya, percobaan dilakukan untuk mempelajari performa suatu proses dan sistem.



Gambar 2.1 Model Umum Suatu Sistem  
(Sumber: Douglas C. Montgomery, 1997, hal.2)

Suatu proses akan memiliki tahap *input* sebelum menjadi *output*. Untuk menghasilkan *output* yang diharapkan, ada berbagai macam faktor yang harus dikontrol dan diatur agar hasilnya sesuai dengan yang diinginkan. Berbagai macam faktor bisa terdapat di tahap proses, dan elemen-elemen inilah yang harus diatur agar proses yang dihasilkan sesuai dengan keinginan. Faktor-faktor yang ada di dalamnya memiliki 2 tipe, yaitu faktor yang bisa dikontrol ( $x_1, x_2, \dots, x_q$ )

seperti mesin, volume, dan sebagainya dan faktor yang tidak bisa dikontrol atau diubah ( $z_1, z_2, \dots, z_q$ ) seperti suhu, cuaca, dan sebagainya<sup>1</sup>.

Menurut Montgomery, tujuan dari desain eksperimen ini antara lain :

1. Menentukan variabel yang paling berpengaruh pada output
2. Menentukan nilai optimum variabel  $x$  agar dicapai nilai  $y$  yang ideal
3. Menentukan nilai optimum variabel  $x$  agar variansi nilai  $y$  minimum
4. Menentukan nilai optimum variabel  $x$  agar pengaruh dari faktor yang tidak dapat dikendalikan  $z_1, z_2, \dots, z_q$  minimum

Selain tujuan yang telah diberikan diatas, alasan suatu percobaan dilakukan adalah untuk mendapatkan model matematis untuk memprediksi respon di waktu-waktu mendatang<sup>2</sup>. Model matematis yang digunakan biasanya adalah model linear dan metode *least square*<sup>3</sup>.

Ada beberapa hal penting yang harus diperhatikan dalam merancang suatu eksperimen agar menghasilkan output sesuai dengan yang diinginkan, yaitu :

1. Respon yang diberikan oleh obyek terhadap faktor-faktor yang diuji terhadapnya,
2. Keadaan tertentu yang sengaja diciptakan untuk menimbulkan respon,
3. Keadaan lingkungan serta keragaman alami obyek yang dapat mempengaruhi respon yang terjadi

Selain itu, tujuan dilakukannya suatu eksperimen antara lain:

- Memperoleh keterangan tentang bagaimana respon yang akan diberikan oleh suatu obyek pada berbagai keadaan tertentu (perlakuan) yang ingin diperhatikan,
- Memperoleh atau mengumpulkan informasi sebanyak-banyaknya yang diperlukan (berguna) untuk memecahkan persoalan yang akan dibahas.

---

<sup>1</sup> Douglas C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, Forth Edition, John Wiley & Sons, New York 1997, hal.1

<sup>2</sup> *Ibid*

<sup>3</sup> Angela Dean dan Daniel Voss, *Design and Analysis of Experiments*, Springer-Verlag, New York, 1999, hal.1

Penggunaan metode DOE bisa diaplikasikan ke beberapa hal, seperti dalam hal pengembangan proses, dan dalam proses *engineering design*. Dalam pengembangan proses, aplikasi DOE bisa digunakan pada :

- Melakukan improvisasi pada hasil proses
- Mereduksi variabilitas dan penyesuaian yang lebih dekat kepada pemenuhan secara nominal dan target
- Mereduksi waktu untuk melakukan perkembangan
- Mereduksi biaya keseluruhan

Sedangkan dalam proses desain *engineering*, maka metode DOE bisa digunakan untuk :

- Mengevaluasi dan membandingkan konfigurasi desain dasarnya
- Mengevaluasi alternatif material
- Memilih desain parameter sehingga produk akan bekerja dengan baik di bawah variasi yang besar dari kondisi lapangan, sehingga produk menjadi kuat
- Menentukan desain kunci produk parameter yang mempengaruhi *product performance*

#### 2.1.2. Beberapa Metode Percobaan

Mark A. Fryman membagi jenis-jenis percobaan ke dalam empat bagian, yaitu *trial and error*, *one factor at a time*, *full factorial* dan *fractional factorial*.

#### TRIAL AND ERROR EXPERIMENTS

Merupakan metode di mana satu faktor dimanipulasi dan diubah tanpa memperhitungkan faktor-faktor lainnya. Dalam percobaan trial and error, seseorang mencoba memasukkan kemungkinan salah satu jawaban yang benar, memasukkannya ke dalam permasalahan, dan jika tidak sesuai maka akan dicoba dengan menggunakan kombinasi jawaban lainnya, dan begitu seterusnya. Metode ini bisa diaplikasikan untuk permainan yang mudah, yang tidak memperhitungkan pengaruh yang terlalu jauh. Akan tetapi, penggunaan metode ini memakan waktu dan biaya, karena percobaan akan berhenti setelah ditemukan jawaban yang tepat.

### ONE FACTOR AT A TIME EXPERIMENTS (OFAT)

Merupakan suatu metode yang sering dipakai oleh ahli teknik industri pada industri manufaktur umumnya. Metode ini juga sering disebut sebagai pendekatan tradisional<sup>4</sup> dalam melakukan percobaan. Metode ini akan mengubah satu faktor sementara faktor yang lain ditetapkan sebagai suatu nilai yang konstan. Percobaan ini membutuhkan kesabaran dan ketelitian tingkat tinggi. Percobaan ini memiliki berbagai kelemahan, diantaranya hasil yang diinginkan seringkali tidak tercapai, memakan waktu lama dan tidak efisien. Kadangkala hasil dari percobaan ini bisa menimbulkan kesimpulan yang salah terhadap suatu percobaan<sup>5</sup>.

Akan tetapi, dari sekian banyak keuntungan yang bisa didapatkan dengan metode DOE, pendekatan OFAT masih populer dipakai di beberapa industri untuk menentukan penyetelan parameter yang terbaik<sup>6</sup>. Beberapa alasannya antara lain<sup>7</sup>:

- Banyaknya prinsip yang mengatakan bahwa untuk mengukur pengaruh dari suatu faktor adalah dengan mengubah nilai faktor tersebut sementara faktor yang lain dibiarkan tetap.
- Percobaan OFAT dapat dengan mudah dilakukan dan tidak membutuhkan pengetahuan analisis statistika yang kuat.
- Dengan OFAT, kesimpulan percobaan dapat segera ditarik dengan melakukan beberapa percobaan dan membandingkan hasil terbaik dari tiap percobaan.
- Banyaknya organisasi yang belum siap memakai metode statistika tingkat lanjut seperti metode DOE
- Ahli teknik dan ahli sains dalam universitas jarang diajarkan statistik hingga tingkat DOE. Banyak dari mereka hanya diajarkan metode dan teori probabilitas, distribusi probabilitas, dan matematika.

<sup>4</sup> Jiju Antony, "Some key things industrial engineering should know about experimental design", *Logistic Information Management*, Vol.11, No.6, 1998, hal. 386.

<sup>5</sup> *Ibid.*

<sup>6</sup> Legault, M, "Design New Business", *Canadian Plastic*, Vol. 55, No.6, hal.26.

<sup>7</sup> Jiju Antony, Tzu-Yao Chou, dan Sid Ghosh, "Training for Design Experiment", *Work Study*, Vol. 53, No.7, 2003, hal 342.

## FULL FACTORIAL

Percobaan *full factorial* berbeda dengan dua percobaan sebelumnya di mana setiap kombinasi faktor diujicobakan pada level berbeda-beda. Metode ini akan memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dua metode sebelumnya, sebab kesimpulan yang didapat akan lebih akurat karena setiap kombinasi faktor diujicobakan. Akan tetapi, kelemahan dari metode ini adalah waktu yang diperlukan serta biaya yang dikeluarkan akan lebih besar dengan menjalankan semua kombinasi faktor<sup>8</sup>. Jumlah percobaan/*treatment* yang harus dicoba bertambah besar secara signifikan apabila jumlah faktor bertambah. Penjelasan mengenai metode ini akan dijelaskan lebih lanjut dalam subbab berikutnya.

Pemakaian metode DOE seperti dalam factorial design dipercaya lebih akurat dan memiliki kelebihan banyak dibandingkan dengan pendekatan dengan metode OFAT. Adapun kelebihan metode DOE dibandingkan dengan OFAT (Jiju Antony, 2003)<sup>9</sup> antara lain :

- Metode DOE bisa mempelajari pengaruh dua atau lebih faktor dari suatu percobaan secara bersamaan. Hal ini jauh lebih efektif apabila kita hanya meneliti satu faktor setiap melakukan percobaan seperti pendekatan dalam OFAT.
- Metode DOE memerlukan sedikit sumber daya (resources), seperti : jumlah percobaan yang dibutuhkan, waktu, biaya, material, dan lain-lain.
- Percobaan OFAT tidak memperhitungkan adanya interaksi atau hubungan antar faktor. Oleh karena itu, hasil akhir yang didapatkan dari pendekatan OFAT tidak akan menggambarkan kondisi yang sebenarnya. Sebaliknya, dengan metode DOE dapat memperhitungkan adanya pengaruh interaksi antar faktor.
- Metode DOE lanjutan juga bisa dipakai untuk mencari strategi terbaik dalam menetapkan nilai untuk tiap level dalam suatu faktor. Hal ini sering dikenal dengan istilah *Response Surface Method*.

---

<sup>8</sup> *Ibid*, hal 324.

<sup>9</sup> Jiju Antony, Tzu-Yao Chou, dan Sid Ghosh, Op.Cit, hal.341

- Pada akhirnya, DOE bisa membangun suatu model matematis yang akurat untuk memperkirakan berapa hasil yang dapat dicapai apabila nilai tiap level faktor diubah.

## FRACTIONAL FACTORIAL

Karena banyaknya jumlah percobaan yang harus dilakukan pada *full factorial*, membuat metode tersebut tidak selalu bisa diterapkan di semua eksperimen, apalagi dengan adanya keterbatasan waktu percobaan. Maka dari itu, metode *fractional factorial* menjalankan percobaan hanya sebagian atau seporasi dari setiap kombinasi yang mungkin<sup>10</sup>. Percobaan *fractional factorial* merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam pengembangan produk dan peningkatan proses<sup>11</sup>. Penggunaan utama dari metode ini adalah untuk *screening experiments* (menyeleksi kombinasi percobaan)<sup>12</sup>.

### 2.1.3. Tiga Tahap Utama dalam Desain Eksperimen

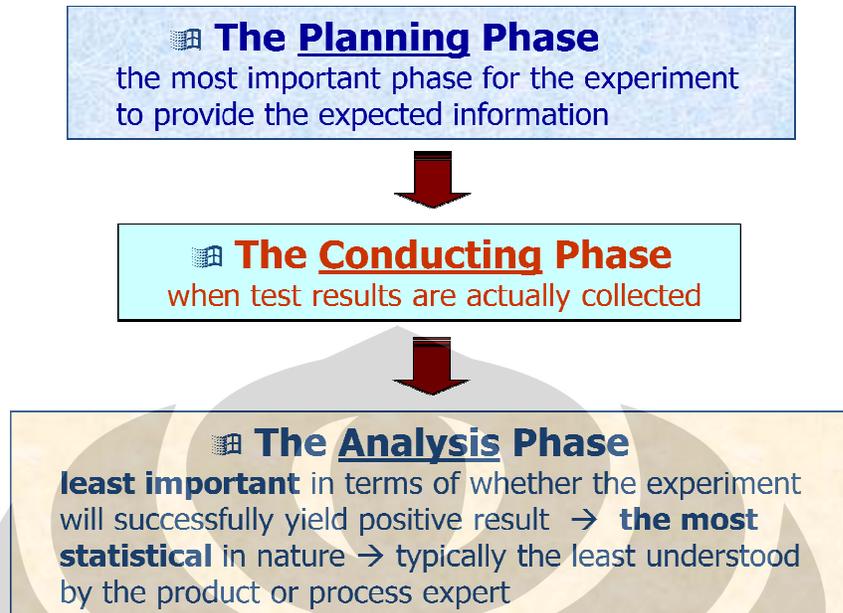
Ada beberapa tahap yang dilalui dalam melakukan suatu desain eksperimen. Tahap-tahap ini merupakan tahap yang akan menuntun dalam percobaan, dan bisa dijadikan acuan melakukan eksperimen. Tahap yang harus dilalui adalah sebagai berikut.

---

<sup>10</sup> Paul D Berger dan Robert E. Murer, *Experimental Design with Application in Management, Engineering and Science*, Thompson : New York, 2002, hal.313

<sup>11</sup> Douglas Montgomery, *Op. Cit.*, hal.372

<sup>12</sup> *Ibid*



Gambar 2.2 Tiga Tahap Utama dalam Desain Eksperimen

- *The planning phase*, sering disebut sebagai fase yang penting dalam merencanakan suatu eksperimen. Di dalam fase ini bisa termasuk tahap-tahap mempelajari dan merumuskan permasalahan yang ada, pemilihan faktor, level dan *range*, memilih variabel perespon, dan pemilihan desain eksperimental.
- *The conducting phase*, merupakan fase dimana percobaan mulai dilakukan dan memulai pengumpulan data.
- *The analysis phase*, merupakan fase menganalisis dari data yang telah berhasil dikumpulkan. Setelah menganalisis, barulah dilakukan pengambilan kesimpulan atas percobaan dan data yang didapatkan dan merekomendasikan solusi.

Perancangan percobaan dengan menggunakan pendekatan statistik diperlukan apabila kita ingin menarik kesimpulan dari data percobaan tersebut. Pengolahan data menggunakan statistik diperlukan untuk menganalisis terjadinya kesalahan percobaan (*experimental errors*). Perancangan percobaan dan

pengolahan secara statistik merupakan dua hal yang berhubungan dan harus dipelajari bersama-sama<sup>13</sup>.

Tiga prinsip dasar dalam melakukan perancangan percobaan adalah *replication, blocking, dan randomization*<sup>14</sup>. Dua prinsip awal bertujuan untuk meningkatkan keakuratan percobaan, dan prinsip yang terakhir bertujuan untuk mengurangi terjadinya *bias*.

- *Replication* (replikasi)

Dengan melakukan replikasi, berarti kita mengulangi percobaan beberapa kali. Contohnya, apabila kita menguji 5 buah bahan percobaan dalam satu media tertentu, berarti kita memiliki 5 replikasi. Replikasi mempunyai dua peranan penting. Pertama, orang yang melakukan dapat memperoleh *error*. Kedua, replikasi juga berguna untuk mendapatkan perkiraan percobaan yang lebih akurat.

- *Blocking*

Adalah cara untuk meningkatkan keakuratan dari sebuah percobaan. Dengan memblok, kita membagi percobaan dalam kelompok atau grup. Sistem blok diberlakukan karena ada kemungkinan terjadinya perbedaan nilai akhir yang cukup jauh apabila percobaan tersebut tidak dikelompokkan.

- *Randomization* (randomisasi)

Tujuan melakukan randomisasi adalah untuk menghindari terjadinya bias. Dengan randomisasi, percobaan dilakukan secara acak. Metode statistik harus dilakukan dengan melakukan percobaan yang terdistribusi secara acak. Dengan melakukan hal ini, kita bisa mencegah terjadinya efek luar yang bisa mempengaruhi hasil percobaan. Bila randomisasi tidak dilakukan, maka ada kemungkinan percobaan tersebut bisa dipengaruhi oleh faktor lingkungan, kelelahan operator, kelainan material yang digunakan, dan lain-lain.

#### 2.1.4. Langkah Percobaan

Menurut Paul D Berger dan Robert E Murer, langkah-langkah dalam melakukan percobaan adalah sebagai berikut<sup>15</sup> :

<sup>13</sup> Angela dean dan Daniel Voss, *Op. Cit.*, hal.2

<sup>14</sup> *Ibid*

<sup>15</sup> Paul D Berger dan Robert E Murer, *Op.Cit.*, hal.3

## 1. Mempersiapkan percobaan (planning)

Proses persiapan terdiri dari beberapa bagian :

- Mengidentifikasi variabel *input* dan *ouput*.
- Menerjemahkan variabel ouput ke dalam suatu hal yang bisa diukur secara kuantitatif.
- Menentukan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap hasil akhir.
- Menentukan jumlah level atau nilai tiap level faktor
- Mengidentifikasi kemungkinan terjadinya interaksi/hubungan antara faktor.

## 2. Merancang percobaan (Design the Experiment)

Pada tahap ini kita memilih tipe rancangan percobaan yang akan dipakai, yaitu *full factorial* atau *fractional factorial*. Ketika memutuskan menggunakan metode *fractional factorial*, maka harus ditentukan berapa banyak pengurangan/*fractioning* yang sesuai.

Menentukan berapa banyak pengurangan kombinasi adalah penting. Contohnya, bila kita mempelajari 13 faktor berbeda untuk 3 level berbeda, maka kita harus melakukan  $3^{13} = 1.594.323$  kombinasi berbeda dengan *full factorial*. Hal ini akan memakan waktu dan biaya. Akan tetapi, jika kita mengetahui faktor-faktor yang memiliki interaksi, maka jumlah kombinasi bisa dikurangi hingga 27 kombinasi. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah perlu tidaknya diperlukan suatu *blocking*.

## 3. Melakukan percobaan.

Percobaan yang dilakukan harus secara acak (*randomization*) agar tidak terjadi *bias* sehingga hasil lebih akurat.

## 4. Menganalisis data hasil percobaan

Data yang didapat harus dianalisis secara statistik, antara lain dengan melakukan uji hipotesis sehingga kesimpulan yang didapat lebih akurat dan valid. Metode statistik yang biasa dipakai adalah ANOVA (Analysis of Variance) yang dikembangkan oleh Sir Ronald Fisher.

## 5. Mengevaluasi kesimpulan percobaan

Langkah ini penting mengingat sebagai pertimbangan apakah percobaan perlu dilakukan untuk masalah berikut yang muncul atau

melihat dari sisi ekonomi percobaan ini mungkin dilakukan kembali atau tidak.

### 2.1.5. Uji Hipotesis

Levin dan Rubin<sup>16</sup> mengatakan bahwa dalam pengujian hipotesis kita perlu menentukan terlebih dahulu nilai parameter dari populasi yang diasumsikan atau dihipotesiskan. Asumsi yang ingin diuji disebut sebagai *null hypothesis* yang dilambangkan dengan  $H_0$ . Apabila sampel yang diambil tidak mendukung atau menolak  $H_0$ , maka harus ada alternatif hipotesis yang dapat diterima. Hipotesis tersebut dilambangkan dengan  $H_1$ .

Sebagai contoh, *null hypothesis* yang ingin diuji adalah nilai rata-rata suatu populasi adalah sama dengan 200. Maka hal ini dilambangkan dengan :

$$H_0 : \mu = 200 \dots\dots\dots(2.1)$$

Sedangkan untuk hipotesis alternatifnya, bisa berarti tiga pilihan yang mungkin terjadi :

- $H_1 : \mu \neq 200$ , berarti rata-rata populasi tidak sama dengan 200
- $H_1 : \mu < 200$ , berarti rata-rata populasi lebih kecil dari 200
- $H_1 : \mu > 200$ , berarti rata-rata populasi lebih besar dari 200

Setelah menetapkan hipotesis, maka langkah selanjutnya adalah menentukan kriteria untuk menerima atau menolak hipotesis. Kriteria ini dikenal sebagai tingkat signifikan (*significance level*). Apabila asumsi hipotesis adalah benar, maka tingkat signifikan akan mengindikasikan persentase dari rata-rata sampel yang di luar batas. Tidak ada standar mengenai tingkat signifikan yang digunakan untuk menguji hipotesis, umumnya tingkat yang digunakan adalah 5 atau 1 persen. Semakin tinggi tingkat signifikan yang digunakan, semakin besar probabilitas menolak suatu *null hypothesis* yang bisa saja menjadi keadaan yang benar.

Uji hipotesis bisa dilakukan satu atau dua arah. Uji dua arah digunakan apabila hipotesis alternatif yang digunakan untuk menyatakan rata-rata populasi tidak sama dengan yang diasumsikan *null hypothesis*. Sedangkan uji satu arah

---

<sup>16</sup> Richard I. Levin dan David S. Rubin, *Statistics for Management*, Seventh Edition, Prentice-Hall, New Jersey, 1998, hal.407

dilakukan bila hipotesis alternatif yang menyatakan besar populasi lebih besar atau lebih kecil dibanding asumsi *null hypothesis*.

#### 2.1.6. Analysis of Variance (ANOVA)

ANOVA adalah salah satu metode yang memungkinkan kita menguji perbedaan variasi pengaruh satu faktor dari sampel yang diambil. Dengan menggunakan ANOVA, kita bisa menarik kesimpulan apakah sampel yang kita ambil memiliki kesamaan rata-rata atau tidak<sup>17</sup>. Ketika kita menggunakan ANOVA, kita harus mengasumsikan bahwa sampel yang diambil berasal dari populasi normal, dan setiap populasi memiliki kesamaan variasi,  $\sigma^2$ .

Beberapa kegunaan dari ANOVA antara lain : membandingkan berapa jauh jarak yang bisa ditempuh dari merek 5 bensin berbeda, menguji apakah 4 metode pelatihan menghasilkan pembelajaran yang cepat, atau membandingkan apakah ada perbedaan gaji yang diterima dari lulusan tahun pertama (fresh graduate) beberapa macam sekolah bisnis<sup>18</sup>. Untuk setiap kasus tersebut, kita akan membandingkan rata-rata dari lebih dari dua sampel.

Apabila dimodelkan, maka persamaan linear dari ANOVA adalah<sup>19</sup> :

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan :

$y_{ij}$  = hasil observasi yang ke-ij

$\mu + \tau_i$  = rata-rata hasil observasi pada pengamatan i

$\tau_i$  = banyaknya perlakuan yang mempengaruhi observasi

$\epsilon_{ij}$  = elemen pendukung atau sebuah eror acak yang memiliki distribusi normal, yaitu memiliki rata-rata nol dan varians yang konstan

$i = 1, 2, 3, \dots, a$

$j = 1, 2, 3, \dots, n$

ANOVA akan dibantu uji hipotesis untuk melihat apakah sampel yang diuji menerima hipotesis nol atau sebaliknya. Uji hipotesis yang dipakai adalah :

<sup>17</sup> *Ibid*, hal.536

<sup>18</sup> *Ibid*, hal.536

<sup>19</sup> Douglas C. Montgomery, *Op. Cit.*, hal.67

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$ ; berarti tidak terdapat pengaruh perlakuan/treatment terhadap hasil. Sedangkan

$H_1 : \tau_i \neq 0$ ; berarti ada pengaruh perlakuan terhadap hasil.

Selanjutnya dilakukanlah uji F (F-test), yaitu :

$$F_0 = \frac{SS_{\text{treatment}}/(a-1)}{SS_E/(N-a)} = \frac{MS_{\text{treatment}}}{MS_E} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan terdistribusi secara F dan memiliki derajat kebebasan (a-1) dan (N-a). a adalah banyaknya perlakuan, dan N adalah jumlah data observasi yang dimiliki.

Aturan dalam pengambilan keputusan adalah :

jika  $F \geq F_{\alpha, a-1, N-a}$ , menolak hipotesis nol,

jika  $F < F_{\alpha, a-1, N-a}$ , menerima hipotesis nol.

Berdasarkan hal ini, jika nilai dari F-test lebih kecil teori, atau menerima hipotesis nol, disimpulkan bahwa pengaruh linier dari variabel independen pada variabel dependen tidak ada.

Tabel dari analisis varian ditunjukkan oleh tabel berikut.

Tabel 2.1. Analisis Varians



Sumber : Douglas C. Montgomery, hal.74

#### 2.1.1.7. Pengujian Model

Model adalah representasi dari keadaan sebenarnya yang dibuat dalam bentuk persamaan. Model yang dipakai dalam metode DOE adalah *linear model*, yang menunjukkan variabel respon didapat dari suatu persamaan fungsi yang linier. Suatu model yang lengkap dari percobaan harus mengikutsertakan asumsi *error/kesalahan*.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, persamaan model linier yang dipakai adalah :

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

$$\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2) \dots\dots\dots (2.4)$$

$\epsilon_{ij}$  adalah saling independen (tidak tergantung), dengan  $j = 1, \dots, i; i = 1, \dots, v$ .

Untuk memeriksa model, maka pertama-tama data hasil percobaan perlu dikumpulkan. Suatu model yang baik sebaiknya memenuhi syarat bahwa *error* yang terjadi terdistribusi secara normal dengan rata-rata 0 dan variasi  $\sigma^2$ . Pelanggaran terhadap asumsi dasar ini dapat diperiksa dengan nilai residual. Residual menunjukkan perbedaan nilai antara hasil observasi dengan hasil persamaan yang kita buat, atau dengan kata lain menunjukkan berapa besar kesalahan yang terjadi.

$\hat{\epsilon}$  =  $y_{ij} - \hat{y}_{ij}$ , di mana;

$\hat{\epsilon}$  = besar nilai residual

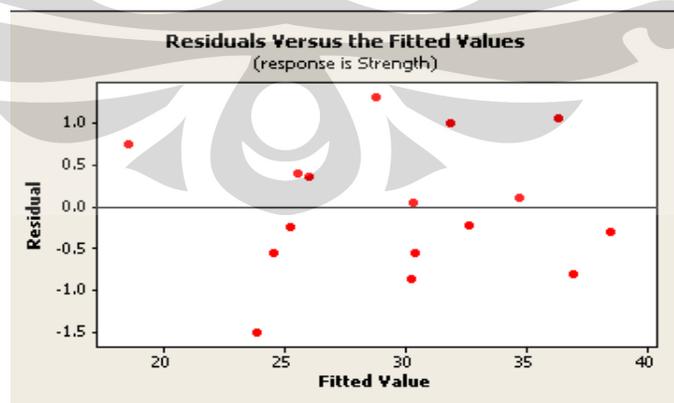
$y_{ij}$  = besar nilai pengamatan

$\hat{y}_{ij}$  = besar nilai dari estimasi *least square*

Beberapa langkah mengetahui apakah model yang kita buat baik untuk dianalisis atau tidak adalah sebagai berikut<sup>20</sup> :

- Memeriksa *Outlier*

*Outlier* adalah nilai percobaan yang jauh lebih besar atau kecil dari yang diharapkan. *Outlier* dapat ditunjukkan dari residual yang bernilai positif atau negatif terlalu besar. Suatu model dikatakan baik apabila 68% nilai dari *standardized residuals* (nilai residual yang telah distandarkan dengan standar deviasi) berada antara -1 dan +1, dan 95% di antara -2 dan +2, dan kira-kira 99,7% di antara -3 dan +3.

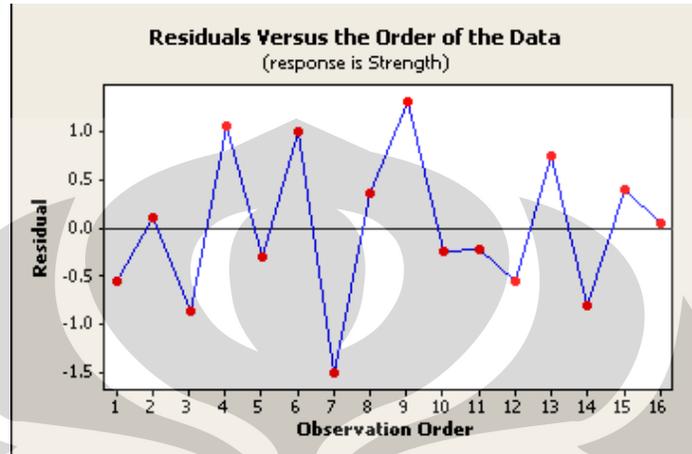


Gambar 2.3. Grafik Residual terhadap *Fitted Values*

<sup>20</sup> Angela Dean dan Daniel Voss, *Op. Cit.*, hal. 104

- Memeriksa *independence* dari nilai residual

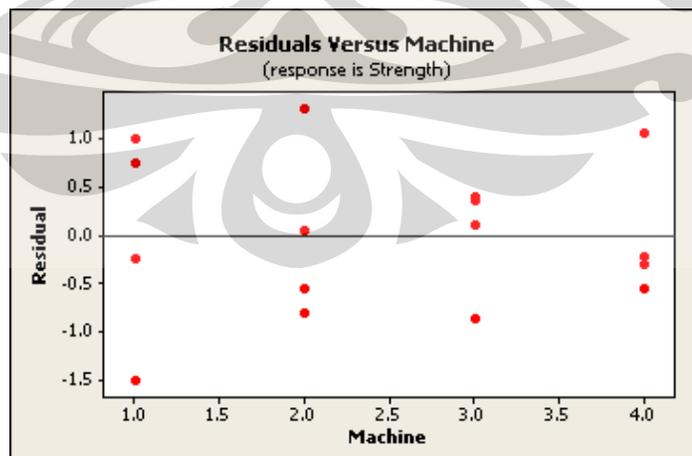
Hal ini diperlukan untuk mengetahui apakah percobaan yang dilakukan memberikan hasil yang independen satu sama lain. Asumsi ini bisa dilihat dari *residual plot* yang menunjukkan pola tersebar.



Gambar 2.4. Grafik Residual dengan Pola Tersebar

- Memeriksa variasi

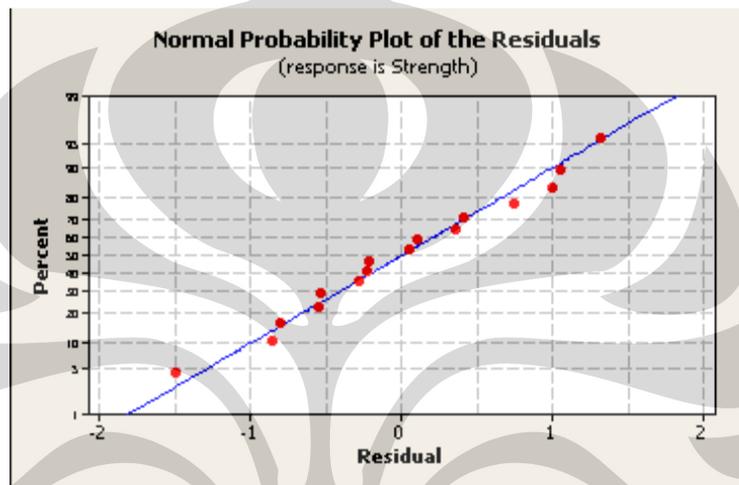
Model yang dihasilkan juga perlu diperiksa apakah memiliki variasi yang konstan teratur atau tidak. Apabila terdapat variasi yang terlalu besar, maka dapat dilakukan transformasi data untuk mengatasi masalah tersebut. Gambar berikut menunjukkan grafik residual yang memiliki variasi konstan dan teratur.



Gambar 2.5. Grafik Residual dengan Variasi yang Konstan

- Memeriksa normalitas data residual

Asumsi bahwa variabel kesalahan atau *error* terdistribusi secara normal dapat diperiksa dengan menggunakan *normal probability plot*. Data residual harus terdistribusi secara normal, karena dengan demikian kita dapat mengatakan bahwa model yang kita miliki telah terverifikasi dan dapat ditarik suatu kesimpulan yang valid dari penelitian.



Gambar 2.6. Grafik Residual dari Distribusi Normal

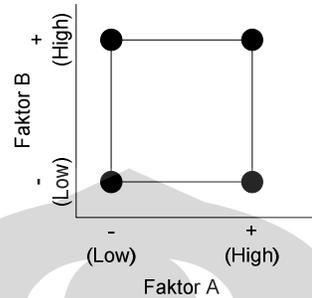
#### 2.1.8. Factorial Design

Terdapat banyak percobaan yang melibatkan 2 faktor atau lebih. Umumnya, *factorial design* adalah salah satu jenis percobaan yang paling efektif dan efisien untuk mengatasi hal ini. Dengan melakukan *factorial design*, berarti kita melakukan percobaan untuk setiap kombinasi level yang mungkin dari faktor yang kita uji<sup>21</sup>. Contohnya, apabila terdapat *a* level dari faktor A dan level *b* dari faktor B, maka setiap percobaan memerlukan kombinasi *ab*.

Level sendiri menggambarkan tingkatan nilai suatu faktor. Biasanya dinotasikan dengan -1 (nilai rendah) atau +1 (nilai tinggi). Apabila terdapat 2 level dengan 2 faktor yang ingin diuji, maka perancangan terbaik yang dapat digunakan adalah  $2^2$  *factorial design*. Dengan demikian, terdapat 4 kombinasi

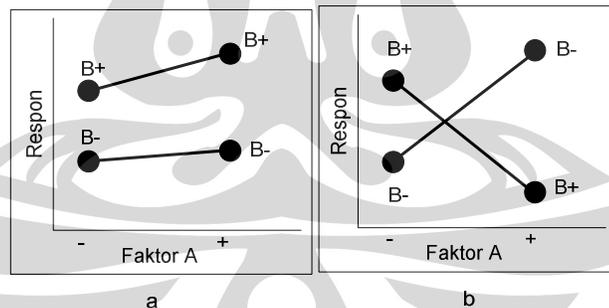
<sup>21</sup> *Ibid*, hal.228

percobaan yang mungkin dilakukan. Untuk lebih jelasnya akan digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.7. Contoh Kombinasi Perancangan  $2^2$  Factorial Design

*Main effects*, atau faktor utama, yaitu pengaruh dari masing-masing faktor dalam suatu percobaan. Apabila kita memainkan atau mengubah nilai dari faktor utama tersebut. Maka dapat terjadi perubahan secara signifikan pada hasil yang keluar. Ada pula istilah *interaction* atau hubungan. Terjadinya interaksi apabila ada perbedaan hasil di antara level dalam satu faktor yang tidak sama dengan level faktor lain. Grafik di bawah ini akan memberikan contoh interaksi terhadap faktor.



Gambar 2.8 Percobaan *Factorial* dengan (a) Tanpa Interaksi Faktor, dan (b) dengan Interaksi Faktor

Berdasarkan grafik (a) di atas, dapat dilihat bahwa faktor A dengan 2 level apabila dikombinasikan dengan faktor B yang juga memiliki 2 level akan menghasilkan suatu keadaan yang paralel. Akan tetapi, apabila kita melihat grafik (b), faktor A dengan level + bila dikondisikan dengan faktor B level +, maka

respon yang ada justru berkurang dibandingkan faktor A+ dikombinasikan dengan B-. sebaliknya, jika faktor A- dikombinasikan dengan B+ juga menghasilkan respon yang mirip dengan faktor A+B-. dengan kata lain, penentuan kedua faktor tersebut pada level yang tinggi (+) tidak menjamin kenaikan respon. Hal ini dikarenakan adanya interaksi antara faktor-faktor tersebut.

Jenis paling sederhana dari *factorial design* hanya melibatkan 2 faktor dengan masing-masing faktor memiliki 2 level. Banyaknya kombinasi minimal dari percobaan adalah  $2^2 = 4$  eksperimen. Dikatakan minimal karena percobaan yang baik seharusnya dilakukan replikasi untuk mendapatkan *error* dan mengetahui besarnya variasi yang terjadi. Dapat ditarik kesimpulan, bahwa apabila kita memiliki n faktor dengan 2 level untuk tiap faktor, maka dengan menjalankan full factorial design jumlah percobaan yang harus dilakukan dapat dirumuskan dengan  $2^n$ .

Berikut adalah contoh rancangan matriks percobaan untuk  $2^3$ .

Tabel 2.2 Kombinasi + dan – untuk Rancangan  $2^3$



Percobaan yang dilakukan tidak boleh berada di luar nilai level yang telah disepakati. Perlakuan kombinasi merupakan label untuk membedakan antara kombinasi pertama dengan kombinasi lainnya. Contohnya, bila labelnya adalah a, maka kombinasi percobaan yang dilakukan akan melibatkan faktor A pada kondisi *high level*, diikuti faktor B, dan C pada kondisi *low level*.

### 2.1.8. Uji Hipotesis dalam *Factorial Design*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pengamatan yang kita lakukan dapat dirumuskan dalam bentuk model linier secara statistik. Untuk percobaan yang melibatkan 2 faktor, maka persamaan yang dipakai adalah :

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \dots\dots (2.5)$$

di mana  $\mu$  menunjukkan rata-rata,  $\tau_i$  adalah pengaruh faktor A pada level ke-i,  $\beta_j$  adalah pengaruh faktor B pada level ke-j,  $(\tau\beta)_{ij}$  menunjukkan interaksi dari faktor A dan B dan  $\epsilon_{ijk}$  adalah kesalahan yang terdistribusi secara normal.

Dalam *factorial design*, dengan 2 faktor yang diteliti, kita perlu memeriksa hipotesis mengenai apakah ada pengaruh faktor A :

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$  (tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap faktor A)

$H_1 : \tau_1 \neq 0$  (ada pengaruh yang signifikan terhadap faktor A).

Selain itu akan perlu diadakan uji hipotesis terhadap pengaruh faktor B :

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$  (tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap faktor B),

$H_1 : \beta_j \neq 0$  (ada pengaruh yang signifikan terhadap faktor B).

Pada akhirnya, uji hipotesis terhadap interaksi faktor A dan B dilakukan dengan :

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$  (tidak ada interaksi yang signifikan terhadap faktor A dan B),

$H_1 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$  (ada interaksi yang signifikan terhadap faktor A dan B).

Setelah data didapatkan, dan hipotesis ditetapkan, langkah-langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan statistik dengan menghitung *sum of squares* dari masing-masing faktor dan *error*. *Sum of squares* (SS) menyatakan jumlah kuadrat. SS merupakan syarat mutlak dalam perhitungan manual untuk kemudian dimasukkan ke dalam tabel ANOVA dan kemudian dianalisis apakah lebih besar dari  $F_0$  atau tidak.

**Total sum of squares** : menjelaskan perbedaan kuadrat dari setiap data dengan rata-rata keseluruhan<sup>22</sup>.  $SS_T$  digunakan untuk mencari  $SS_E$  yang pada

<sup>22</sup> Paul D. Berger dan Robert E. Murer, *Op. Cit.*, hal.29

akhirnya digunakan untuk mengetahui apakah data yang didapatkan memiliki rata-rata populasi yang sama.

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y^2 \dots}{abn} \dots (2.6)$$

*Sum of squares* untuk faktor utama adalah :

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i\dots}^2 - \frac{y^2 \dots}{abn} \dots (2.7)$$

$$SS_B = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b y_{\dots j}^2 - \frac{y^2 \dots}{abn} \dots (2.8)$$

*Sum of squares* untuk interaksi faktor A dan B adalah :

$$SS_{AB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{y^2 \dots}{abn} - SS_A - SS_B \dots (2.9)$$

$$SS_{AB} = SS_{\text{subtotal}(AB)} - SS_A - SS_B \dots (2.10)$$

*Sum of squares of error*, menunjukkan jumlah kuadrat dari kesalahan/residual nilai observasi yang didapatkan.

$$SS_E = SS_T - S_{\text{subtotal}(AB)} \dots (2.11)$$

Sehingga dari perhitungan manual tersebut, dapat dikembangkan tabel ANOVA :

Tabel 2.3. Analisis Varians untuk *Factorial Design* 2 Faktor

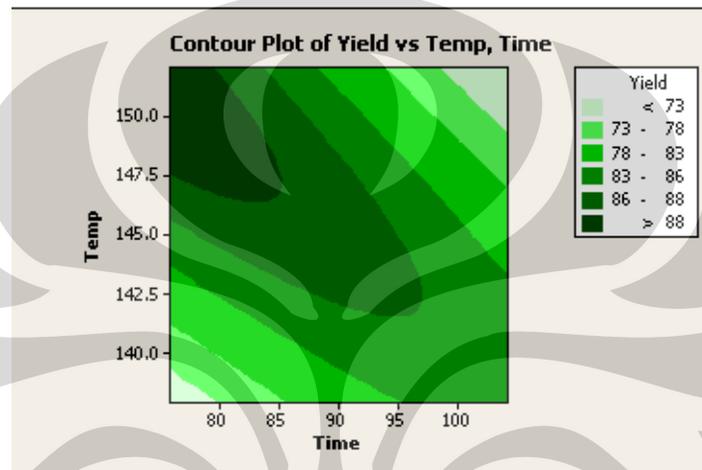


(Sumber : Douglas C. Montgomery, hal.239)

#### 2.1.10. *Response Surface Methods*

*Response Surface Methods* (RSM) adalah teknik matematis dan statistik yang berguna dalam memodelkan dan menganalisis suatu masalah dengan tujuan

mengoptimumkan respon masalah tersebut yang dipengaruhi oleh beberapa variabel dan fungsi tujuan. Biasanya RSM ditampilkan dalam bentuk grafik, dengan faktor  $x_1$  dan  $x_2$  berpengaruh. Untuk memvisualisasikan bentuk datar dari *response surface*, kita juga bisa memakai apa yang disebut sebagai **contour plot**. Di dalam **contour plot**, garis-garis RSM digambarkan pada bidang mendatar  $x_1$  dan  $x_2$ .



Gambar 2.9. Contoh Bentuk Interpretasi Dimensi *Response Surface* ke dalam Bentuk 2 Dimensi *Contour Plot*

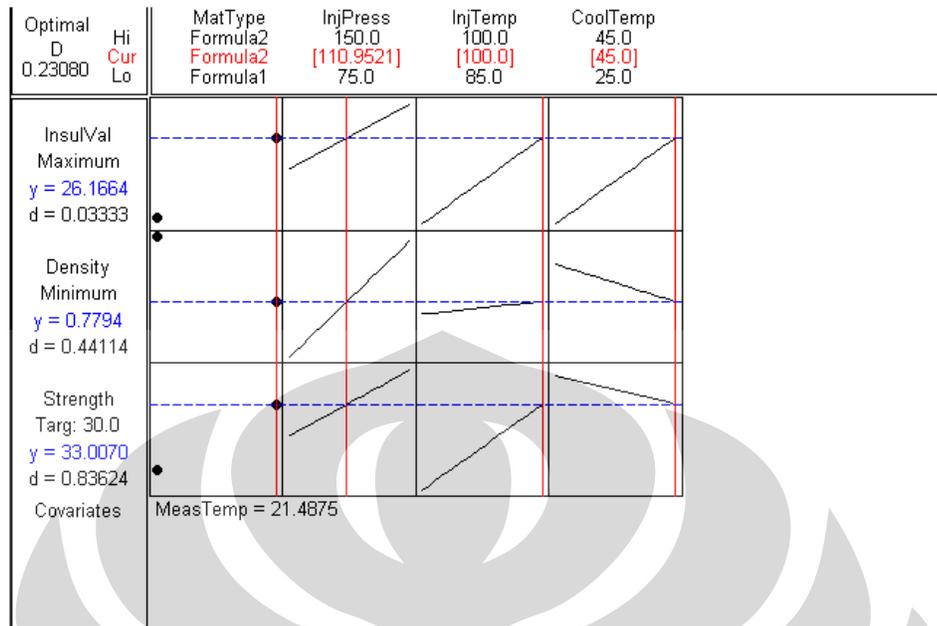
Dalam setiap masalah RSM, bentuk hubungan antara respons dengan *independent variable* tidak diketahui. Maka dari itu, langkah pertama dalam RSM adalah mencari hubungan fungsi antara  $y$  dengan variabel yang independen. Apabila respon dimodelkan dalam fungsi linier dari variabel independen, maka fungsi tersebut dinamakan *first-order model*.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \dots (2.12)$$

Apabila terdapat lengkungan (*curvature*), maka diperlukan derajat polinomial yang dinamakan persamaan kuadrat *second-order model* :

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i^2 + \dots + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \dots (2.13)$$

Tujuan dari RSM adalah menentukan kondisi operasi yang optimum dalam suatu sistem atau menentukan area nilai faktor yang akan memberikan hasil yang memuaskan.

Gambar 2.10. Grafik *Response Optimizer*

## 2.2. Cat

Salah satu cara meningkatkan nilai tambah suatu bahan adalah dengan melapisi permukaan bahan tersebut dengan bahan lain yang lebih tinggi nilainya. Pengetahuan tentang pelapisan permukaan bahan, secara umum dikenal sebagai *surface coating knowledge*. Bagian ini meliputi: *metal coating* (electro coating, galvanizing), *plastic coating*, *paper coating*, *powder coating* dan tentang cat itu sendiri. Jadi cat merupakan bagian kecil dari sebuah ilmu yang jauh lebih besar, yaitu ilmu tentang *surface coating*.

Cat adalah suatu cairan yang dipakai untuk melapisi permukaan suatu bahan dengan tujuan memperindah (decorative), memperkuat (reinforcing) atau melindungi (protective) bahan tersebut. Setelah dikenakan pada permukaan dan mengering, cat akan membentuk lapisan tipis yang melekat kuat dan padat pada permukaan tersebut. Pelekatan cat ke permukaan dapat dilakukan dengan banyak cara: diusapkan (wiping), dilumurkan, dikuas, disemprotkan (spray), dicelupkan (dipping) atau dengan cara yang lain.

Kriteria cat harus sesuai dengan kualitas dan karakter dari tiap produk yang akan dicat. Ada berbagai macam karakter cat, dimulai dari untuk pengecatan dinding rumah, hingga untuk proses manufaktur dalam pengecatan barang produksi mereka.

Berikut ini adalah sifat-sifat cat dan bahan tambahan yang diperlukan untuk menghasilkan suatu karakter dengan penambahan karakter pigmen.

- Resin (Binder)
- Pigmen dan *Extender* atau *Filler*
- *Solvent*
- *Additive*

### 2.2.1. Resin (Binder)

Resin atau binder merupakan komponen utama dalam cat. Resin berfungsi merekatkan komponen-komponen yang ada dan melekatkan keseluruhan bahan pada permukaan suatu bahan (membentuk film). Resin pada dasarnya adalah polimer dimana pada temperatur ruang (atau temperatur aplikasi) bentuknya cair, bersifat lengket dan kental. Ada banyak jenis resin, seperti: Natural Oil, Alkyd,

Nitro Cellulose, Polyester, Melamine, Acrylic, Epoxy, Polyurethane, Silicone, Fluorocarbon, Venyl, Cellolosic, dll. Resin dibagi berdasarkan mekanisme mengering atau mengerasnya (pembentukan film).

Pemilihan resin yang dipakai sangat dipengaruhi oleh banyak pertimbangan diantaranya adalah sebagai berikut:

- Pemakaian, jika akan digunakan dengan kuas maka sebaiknya dipakai resin yang secara alami encer dan agak lambat keringnya. Resin yang cocok adalah alkyd dengan kadar *oil* yang cukup banyak (alkyd long oil). Resin dengan kekentalan tinggi dan cepat kering sangat tidak cocok dipakai untuk pemakaian dengan kuas, akan menimbulkan permukaan yang tidak rata setelah cat kering. Begitu juga resin yang encer dan lambat kering sangat tidak cocok untuk pemakaian dengan spray pada permukaan vertikal.
- Kekuatan, jika dibutuhkan cat dengan daya tahan tinggi terhadap sinar matahari, maka resin yang tepat adalah Acrylic atau Polyurethane, namun jika dibutuhkan cat dengan kekuatan tinggi terhadap kimia, gesekan, benturan, dll namun untuk pemakaian di dalam, maka resin Epoxy adalah jawabannya.
- Dan pertimbangan-pertimbangan yang lain seperti ongkos/harga, substrat (permukaan bahan yang akan di cat), lingkungan (berair, kering, korosi), dan lain-lain.

### 2.2.2. Pigmen

Pigmen merupakan padatan halus (bubuk) yang ditambahkan ke dalam cat dengan beberapa fungsi berikut yang berfungsi sebagai berikut :

- *Optis*, memberi karakter khas pada penampakan cat tersebut, seperti: warna, derajat kilap (gloss) maupun daya tutupnya
- *Protektif*, memberi nilai tambah pada karakter kekuatan cat tersebut, seperti: kekuatan terhadap cuaca, korosi, panas atau api, dll
- *Reinforcing*, meningkatkan sifat, seperti meningkatkan kekerasan, kelenturan, daya tahan terhadap abrasi, dll



Gambar 2.11. Contoh Gambar Serbuk Pigmen

*Dyestuff* adalah bagian dari *colorant*. *Dyestuff* bersifat larut dalam *solvent* dan juga ditambahkan ke dalam pembuatan cat bersama dengan bubuk pigmen.



Gambar 2.12. Contoh Larutan *Dyestuff*

Kekuatan, daya tahan dan sifat-sifat lain yang diinginkan dari cat dapat dibentuk atau diciptakan dengan menambahkan pigment yang tepat dan konsentrasi yang sesuai. Untuk memilih pigment yang tepat dan benar perlu dipelajari sifat-sifat umum dari pigment itu sendiri. Sifat-sifat pigment tersebut adalah:

- Warna dasar
- Bentuk dan ukuran partikel
- Berat jenis, *density* atau *specific gravity*

- *Oil absorption*
- Hiding power (refractive index)
- Daya tahan terhadap panas dan asam basa
- pH
- Muatan Listrik
- *Bleeding*

Secara umum pigmen terbagi dalam dua kategori besar berikut:

- Pigmen organik, pigmen yang terbentuk dari senyawa-senyawa organik (karbon)
- Pigmen anorganik, terbentuk dari mineral-mineral atau garam-garaman logam yang terbentuk secara alami (bahan galian) ataupun dari hasil reaksi kimia di pabrik. Pada jenis ini dikenal *true pigment* (atau disebut sebagai pigment saja) dan *extender* atau *filler*.

Pigmen anorganik mempunyai daya tahan *solvent*, kimia, daya tutup, kemudahan terdispersi, stabilitas terhadap panas, cahaya dan cuaca yang lebih bagus dibanding pigmen organik. Namun dalam kecerahan dan *tinging strength*, pigment organik umumnya lebih bagus dibanding anorganik.

*Extender* atau *filler* ditambahkan ke dalam cat dengan tujuan untuk menurunkan harga, namun dalam hal tertentu *extender* ditambahkan untuk memperbaiki sifat cat. *Extender* umumnya mempunyai *refractive index* yang kecil (atau rendah daya tutupnya) dibanding pigmen.

Contoh-contoh pigmen yang umum ditambahkan dalam pembuatan cat, antara lain :

- Pigmen Organik  
Contoh : Fast Red 2R - Pigment Red 21, Phthalocyanine Blue, Fast Yellow 10G - Pigment Yellow 3(11710), dll.
- Pigmen Anorganik  
*True pigment*, contohnya : Middle Chrome - Pigment Yellow 34, Red Oxide - Pigment Red 101, Milori Blue (Prussian Blue), dll.  
Extender, contohnya : Diatomaceous Earth, Synthetic Calcium Silicates, Perlite, dll.

Metallik, contohnya : Zinc Dust, Gold powders and pastes (Nonleafing and Leafing), Bronze powders and pastes (Nonleafing and Leafing), Aluminum powders and pastes (Nonleafing and Leafing).

### 2.2.3. *Solvent*

Pada saat pembuatan cat, *solvent* memberi kontribusi sedemikian rupa sehingga campuran mempunyai kekentalan yang pas untuk diproses: diaduk, dicampur, digiling dan lain-lain. Dengan penambahan *solvent* yang tepat dan cukup akan menurunkan kekentalan dari resin atau campuran pada suatu titik dimana kekentalannya memenuhi syarat untuk masing-masing proses.

Demikian halnya pada saat pemakaian cat, dengan penambahan jenis *solvent* yang tepat dan dengan takaran pas, maka cat bisa dikuas, di-*spray* atau dilumurkan dengan mudah pada obyek yang akan dicat. Komposisi *solvent* yang tepat juga memberi pengaruh optimal pula pada mekanisme penguapan dari *solvent-solvent* yang ada, sehingga akan membentuk film yang maksimal karakteristiknya, baik tekstur permukaannya, sifat kilapnya maupun kecepatan keringnya.

Cat merupakan sebuah sistem campuran yang kompleks, ada padatan (*solute*) yang terlarut atau terdispersi dalam pelarut cair (*solvent*), ada juga cairan (*solvent active*) yang terlarut dalam cairan lain (*diluent*). Jadi definisi *solvent* adalah cairan (biasanya mudah menguap) yang berperan melarutkan atau mendispersi komponen-komponen pembentuk film (resin, pigment dan/atau additive) yang akan menguap terbang ke lingkungan selama proses pengeringan.

Membicarakan *solvent* tidak bisa lepas dari *thinner*, karena keduanya saling berkaitan satu dengan yang lain. *Thinner* adalah campuran beberapa *solvent* yang dipakai untuk melarutkan resin di dalam cat atau mengencerkan cat selama penggunaan. Di dalam prakteknya resin atau cat dilarutkan oleh tidak hanya satu jenis *solvent*, tetapi oleh beberapa macam kategori *solvent*. Bagaimana dengan cat *water base*, *solvent* dan *thinner*-nya adalah sama saja, yaitu air.

#### 2.2.4. Additive

*Additive* ditambahkan ke dalam cat disesuaikan dengan *solvent* apa yang dipakai (*solvent* atau *water base*), apa jenis resinnya, bagaimana pemakaiannya dan bagaimana mekanisme pengeringannya. Setiap *supplier additive* biasanya memberi informasi yang jelas tentang apa dan bagaimana *additive* harus digunakan.

*Additive* biasanya dibagi berdasarkan fungsinya. Berikut ini adalah beberapa fungsi *additive* yang biasa dipakai dalam industri cat:

- Mempercepat atau mempermudah proses
- Mengurangi akibat jelek selama penyimpanan
- Mengurangi akibat jelek selama pemakaian
- Memperbaiki atau merubah sifat film

#### 2.3. Pengecatan

Sebelum memulai pengecatan, ada baiknya mempersiapkan hal-hal yang harus diperhatikan selama pengecatan. Di bawah ini adalah prosedur dalam pengecatan untuk menghasilkan hasil yang terbaik.

1. Siapkan benda yang akan mengalami pengecatan.
2. Pastikan benda dalam keadaan kering sempurna.
3. Bersihkan benda dari zat yang berminyak atau basah. Bila perlu, cucilah dengan sabun dan detergen untuk menghilangkan lemak yang masih tertinggal.
4. Bilas benda yang akan dicat hingga bersih.
5. Keringkan benda hingga benar-benar kering dan tidak ada minyak dan air yang masih menempel pada benda.
6. Sebelum memulai pengecatan, lap benda dengan kain kering untuk menghilangkan kotoran atau debu yang menempel selama dikeringkan. Gunakan lap yang lembut agar tidak menggores permukaan benda.
7. Oleskan cat dasar (*under coat*) sebagai pengkilap sebelum cat warna dituangkan. Biasanya cat dasar berwarna bening keputihan atau bisa disesuaikan dengan cat warnanya, misalnya cat luarnya berwarna merah, maka cat dasarnya bisa berwarna pink atau merah muda.

8. Setelah mengoleskan cat dasar, maka bisa langsung dilapisi dengan cat luarnya. Jika menggunakan spray, maka cat bisa diencerkan terlebih dahulu dengan *thinner*. Cat yang diencerkan dengan *thinner* 10-20% akan membuat pengecatan lebih cepat selesai tapi menghasilkan permukaan yang tebal dan kasar. Jika cat diencerkan dengan *thinner* hingga 30-50%, maka akan menghasilkan cat yang tipis dan merata tapi setidaknya pengecatan harus diulang 2 hingga 3 kali.
9. Jika pengecatan menggunakan spray atau semprot, jangan mengecat terlalu berlebihan. Catlah secara tipis dengan berulang-ulang untuk menghasilkan hasil yang sempurna.
10. Berilah jeda waktu yang cukup sebelum mengulang pengecatan agar lapisan awal cukup mengering terlebih dahulu. Mengecat secara berulang-ulang per lapisan akan mencegah cat menggumpal dan menetes.
11. Jangan menyentuh benda yang telah dicat, karena cat yang basah akan meninggalkan bekas ketika disentuh.
12. Semakin banyak cat yang disemprot, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan. Untuk 2-4 kali lapisan, maka waktu yang dibutuhkan untuk kering sekitar 6-24 jam penuh.

### 3. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 3.1. Profil Perusahaan

##### 3.1.1. PT Astra Otoparts Tbk

###### 3.1.1.1 Sejarah Perusahaan

PT Astra Otoparts Tbk (AOP) merupakan bagian dari grup perusahaan Astra Group yang didirikan pada tahun 1996. Perusahaan ini merupakan hasil konsolidasi dan proses penggabungan dari PT Federal Dinamika Lestari, PT Astra Pradipta Internusa, PT Astra Persada Nusantara dan PT Astra Multi Trading.

Sebagai grup terbesar dari pabrik *parts* otomotif berikut perusahaan distribusi, AOP termasuk 27 cabangnya dan pada bulan Maret 2004 telah mempekerjakan 19.976 pegawai. AOP memproduksi *part* otomotif dari plastik, karet, *casting*, hingga *forging*, mencakup *original equipment manufacturing* (OEM) dan *replacement market (after market) automobile* dan *part* sepeda motor untuk pasar domestik sekaligus ekspor yang didukung oleh tim manajemen profesional yang menyertakan transparansi tingkat tinggi dalam seluruh perjanjiannya.

Pelanggan AOP termasuk agen tunggal dan perakit kendaraan (ATPM) di Indonesia seperti BMW, Bimantara, Chrysler, Chevrolet, Daihatsu, Daewoo, Ford, Hino, Honda, Hyundai, Isuzu, Kawasaki, Mazda, Mercedes Benz, Mitsubishi, Nissan, Opel, Peugeot, Suzuki, Toyota, Vespa, dan Yamaha layaknya pelanggan OEM dari seluruh dunia.

AOP memenuhi keinginan pelanggan dengan memberikan produk yang inovatif, memiliki nilai tambah dan selalu berorientasi pada produk pasar. AOP juga melayani pelanggan yang ingin membeli secara eceran melalui jaringan toko “Shop & Drive”. Tujuan utama dari pengembangan jaringan pengecer ini adalah untuk mendukung pengembangan komponen bisnis otomotif dari Astra Group untuk memenuhi keinginan seluruh *brand* otomotif di Indonesia.

### 3.1.1.2. Business Structure dan Portfolio dari AOP



Gambar 3.1. Business Structure dan Portofolio dari AOP  
(Sumber : PT Astra Otoparts Tbk)

### 3.1.2. Divisi Adiwira Plastik (AWP) PT Astra Otoparts Tbk

#### 3.1.2.1. Sejarah Perusahaan

Adiwira Plastik (AWP) berdiri pada tanggal 10 September tahun 1991 sebagai perusahaan yang menyuplai Federal Motor pada unit produksi *plastic injection*. Pada tahun 1996 AWP berusaha untuk mulai berkembang dengan membuat unit bisnis baru yaitu *Rear View Assy Mirror* dan membangun Divisi *Mold Shop* untuk mendukung produksi. Pada tahun 2003 AWP memulai bisnis *Air Cleaner Sub Assy*. Pada tahun 2004 AWP membuat 2 unit *Painting Line Conveyor* dan pada tahun 2005 memproduksi *Seat Assy* untuk meningkatkan nilai tambah dari produk plastik *Bottom Plate*. Saat ini AWP memiliki karyawan 1300 orang.

### 3.1.2.2. *Line of Business*

Ada beberapa lini produksi yang terdapat di Divisi AWP ini, antara lain:

- Plastic injection
- Mirror Assy
- Air Cleaner Assy
- Seat Assy
- Painting

Sedangkan *customer* tetap dari AWP antara lain:

- Astra Honda Motor (AHM)
- Toyota Motor Manufacturing Indonesia (TMMIN)
- Astra Daihatsu Motor (ADM)
- Denso Indonesia
- GS Battery, dan lain-lain

### 3.1.2.3. Visi dan Misi

**Vision: “To become product base company”**

**Mission: “To provide our finished product for customer delight”**

*Main goal* untuk tahun 2007 adalah :

1. Sales 348 Milyar rupiah
2. *Gross profit margin* 20,4%
3. CRP 11 milyar rupiah

### 3.1.2.4. *Revenue*

Hingga saat ini, AHM merupakan pelanggan utama dengan kontribusi terbesar, diikuti oleh TMMIN, Denso, dan ADM. Untuk memperkuat posisi tawar AWP, AWP berusaha memberikan harga yang kompetitif dan servis yang memuaskan. Disamping itu AWP telah mengeluarkan produk yang didesain sendiri yang telah mendapat persetujuan dari Honda Jepang dan hal ini telah menjadi *strength point* bagi AWP. Berikut ini adalah tabel penjualan berdasarkan kuota pelanggan.

Tabel 3.1 *Sales By Customer*

<b>Sales By Customer</b>						
Net sales (million Rp.)	<b>2005</b>	<b>(%)</b>	<b>2006</b>	<b>(%)</b>	<b>Ytd Mid 2007</b>	<b>(%)</b>
AHM	227.499	81,1	295.008	88,2	112.422	80,7
TMMIN	12.503	4,5	9.225	2,8	3.286	2,4
ADM	5.268	1,9	4.513	1,3	2.158	1,5
DENSO	5.043	1,8	5.080	1,5	3.219	2,3
OTHER	30.103	10,7	20.546	6,1	18.221	13,1
<b>Total</b>	<b>280.416</b>	<b>100,0</b>	<b>334.372</b>	<b>100,0</b>	<b>139.306</b>	<b>100,0</b>

Sumber : PT Astra Otoparts Tbk

Sementara itu, nilai penjualan bila dipetakan menurut jenis proses yang dilakukan, maka *plastic injection* menempati peringkat pertama diikuti *mirror*, *painting*, *sub assy* dan *seat bottom*. Disamping itu AWP memiliki produk yang didesain sendiri yang telah disetujui oleh Honda Jepang dan telah didaftarkan di Direktorat HAKI.

Tabel 3.2 *Sales By Product*

<b>Sales by product</b>			
Net sales (million Rp.)	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>YTD May 2007</b>
PI	123.214	134.736	48.400
Painting	54.597	55.546	15.431
Seat Bottom	6.499	31.951	20.188
Mirror	62.096	80.008	31.280
Air Cleaner	33.060	31.976	15.082
<b>Total</b>	<b>281.471</b>	<b>334.217</b>	<b>130.382</b>

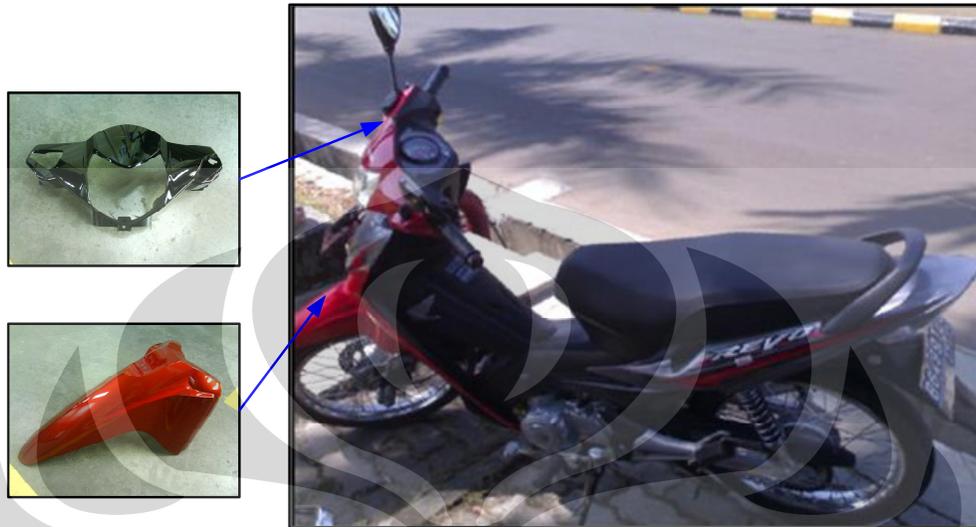
Sumber : PT Astra Otoparts Tbk

### 3.1.3. Lini Produksi *Painting*

Lini produksi *painting* di PT Astra Otoparts merupakan lini yang khusus mengecat semua part yang membutuhkan pengecatan. Umumnya, part yang dicat adalah yang akan ditempatkan di bagian luar sepeda motor, seperti sayap kanan, sayap kiri, penutup spion, dan lain-lain. Lini produksi ini mengambil bahan mentah dari proses produksi sebelumnya, yaitu dari proses *plastic injection*. Proses ini memproduksi part motor dan mobil yang terbuat dari plastik, seperti rangka jok duduk, penutup spion motor dan mobil, dan lain-lain. Warna yang ada pun disesuaikan dengan warna bodi motor dan mobil tersebut.

Jumlah permintaan di lini produksi *painting* berbeda dengan jumlah permintaan *plastic injection*. Part *plastic injection* tidak semuanya harus melalui

proses pengecatan untuk menjadi *finished good*, sehingga dibedakan jumlahnya antara yang akan masuk ke proses *painting* dan yang langsung masuk ke gudang barang jadi.



Gambar 3.2. Contoh Part yang Dicat dan Bagiannya di Motor

Tiap tipe sepeda motor memiliki bentuk part dan warna yang berbeda. Lini produksi *painting* memiliki 3 lini yang bisa digunakan. Lini 1 dan 2 sama-sama menggunakan konveyor dan hampir semua proses dilakukan oleh mesin. Konveyor akan digantungi part yang akan diproses lalu masuk ke tiap mesin sesuai dengan fungsinya. Sementara itu, lini 3 digunakan untuk memproses part yang lebih kecil, dan membutuhkan ketelitian tinggi karena ada beberapa part yang masuk ke lini ini merupakan yang telah mengalami proses *sanding* dan *buffing*. Penjelasan proses *sanding* dan *buffing* akan dijabarkan lebih dalam pada subbab berikutnya.

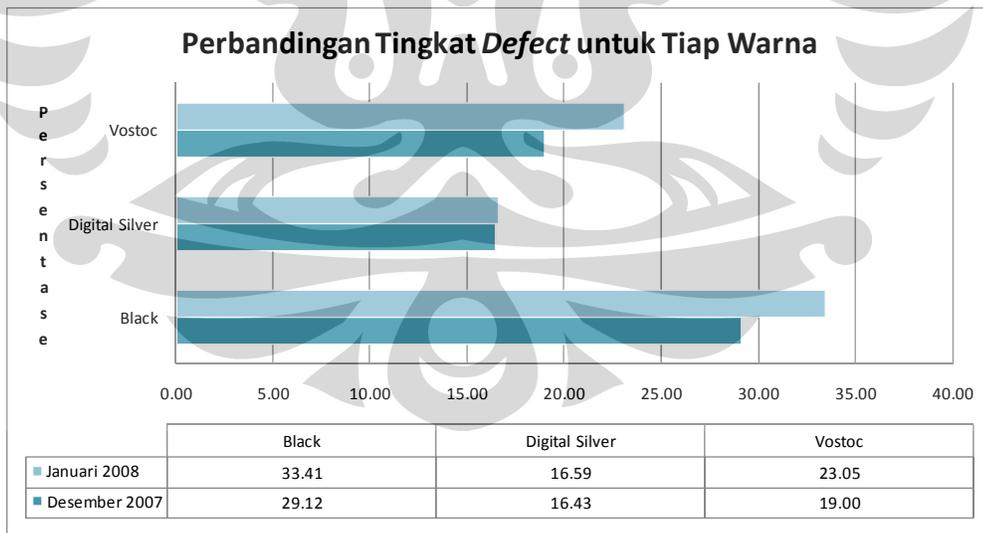
PT AOP memiliki beberapa *supplier* untuk memenuhi kebutuhan bahan kimia yang diperlukan selama pengecatan. Sebelum mulai mengecat, operator akan menyiapkan dan meracik cat sesuai dengan komposisi yang tepat. Komposisi tiap warna berbeda terhadap jumlah *thinner* dan cairan pelarut yang harus ditambahkan. Tiap warna dari merek yang berbeda juga memiliki komposisi yang berbeda. PT AOP menggunakan 2 merek cat selama proses berlangsung. Cat yang telah habis saat dipakai akan ditambahkan oleh operator khusus peracik tanpa operator harus meninggalkan ruang pengecatan.

### 3.1.4. Tingkat *Defect* pada Lini Produksi *Painting*

Lini produksi *painting* merupakan lini produksi yang tingkat barang cacatnya paling tinggi jika dibandingkan dengan 3 lini produksi lainnya, yaitu *back mirror*, *seat bottom*, dan *plastic injection*. Karena lini tersebut memiliki 2 lini yang menggunakan konveyor, maka akan dilakukan percobaan terhadap salah satu lini yang ada karena dengan anggapan bahwa hasil yang akan diberikan adalah sama. Tidak ada yang membedakan antara lini 1 dan lini 2, kecuali jumlah gantungan yang terdapat di konveyor untuk menggantung part yang akan diproses.

Jumlah permintaan terbesar adalah part berwarna hitam. Tingginya permintaan akan sepeda motor berwarna hitam oleh konsumen membuat AHM selaku pelanggan utama meminta suplai bahan baku dari AOP untuk dirakit di perusahaan tersebut. Jika ada permintaan part warna hitam, maka sebagian besar part akan dicat di *line 2*, dan jika permintaan yang ada cukup tinggi, maka part juga akan dicat di *line 1*.

Tabel 3.3. Persentase Tingkat *Defect* untuk Part Motor Tipe KVRX selama Bulan Desember 2007 – Januari 2008

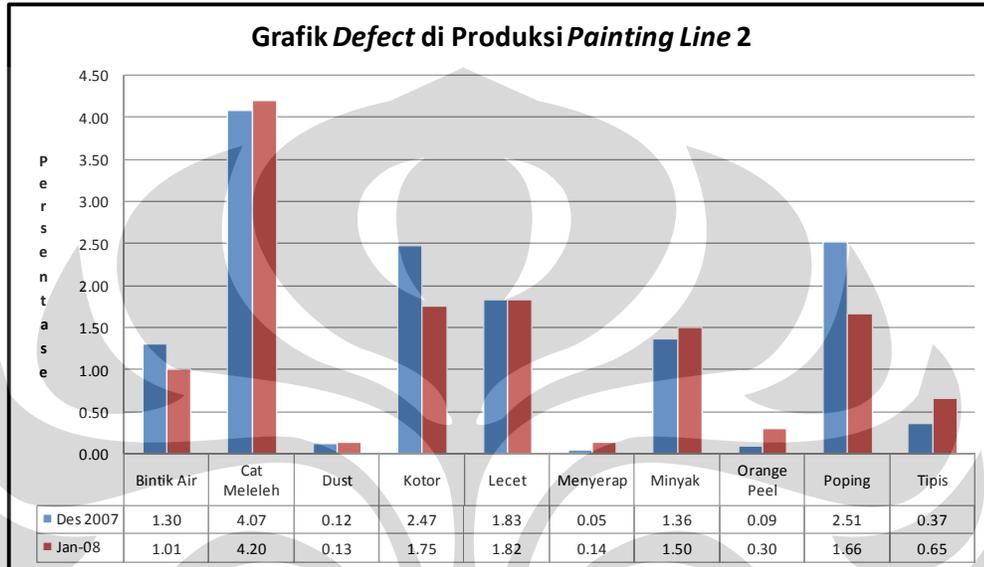


(Sumber : Lini *Painting*, PT Astra Otoparts Tbk)

Akan tetapi, tingginya permintaan akan pengecatan part berwarna hitam tidak sebanding dengan efisiensi produksi yang ada, dan hal ini diakibatkan

tingginya tingkat *defect* yang terjadi. Berdasarkan data di atas, maka diputuskanlah untuk dilakukan percobaan terhadap part berwarna hitam.

Tabel 3.4. Persentase *Defect* untuk Tiap Tipe *Defect* di *Line 2* selama Desember 2007 – Januari 2008



(Sumber : PT Astra Otoparts Tbk)

Grafik di atas menunjukkan tingkat *defect* yang cukup tinggi yang terjadi di lini 2 produksi *painting*. Tipe *defect* yang dominan terjadi antara lain cat meleleh, kotor dan *poping*. Berdasarkan data yang ditunjukkan, maka beberapa tipe *defect* cenderung meningkat tiap bulannya, sehingga rata-rata *defect* secara keseluruhan juga meningkat tiap bulannya.

### 3.2. Penelusuran Proses dan Perancangan Eksperimen

#### 3.2.1. Perancangan dengan Metode *Design of Experiments*

Tujuan penelitian antara lain :

1. Menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi tiap tipe *defect* pada lini 2 produksi *painting* di PT Astra Otoparts Tbk
2. Menemukan faktor yang mempengaruhinya
3. Menentukan tindakan dan antisipasi yang bisa diambil dengan menggunakan metode DOE

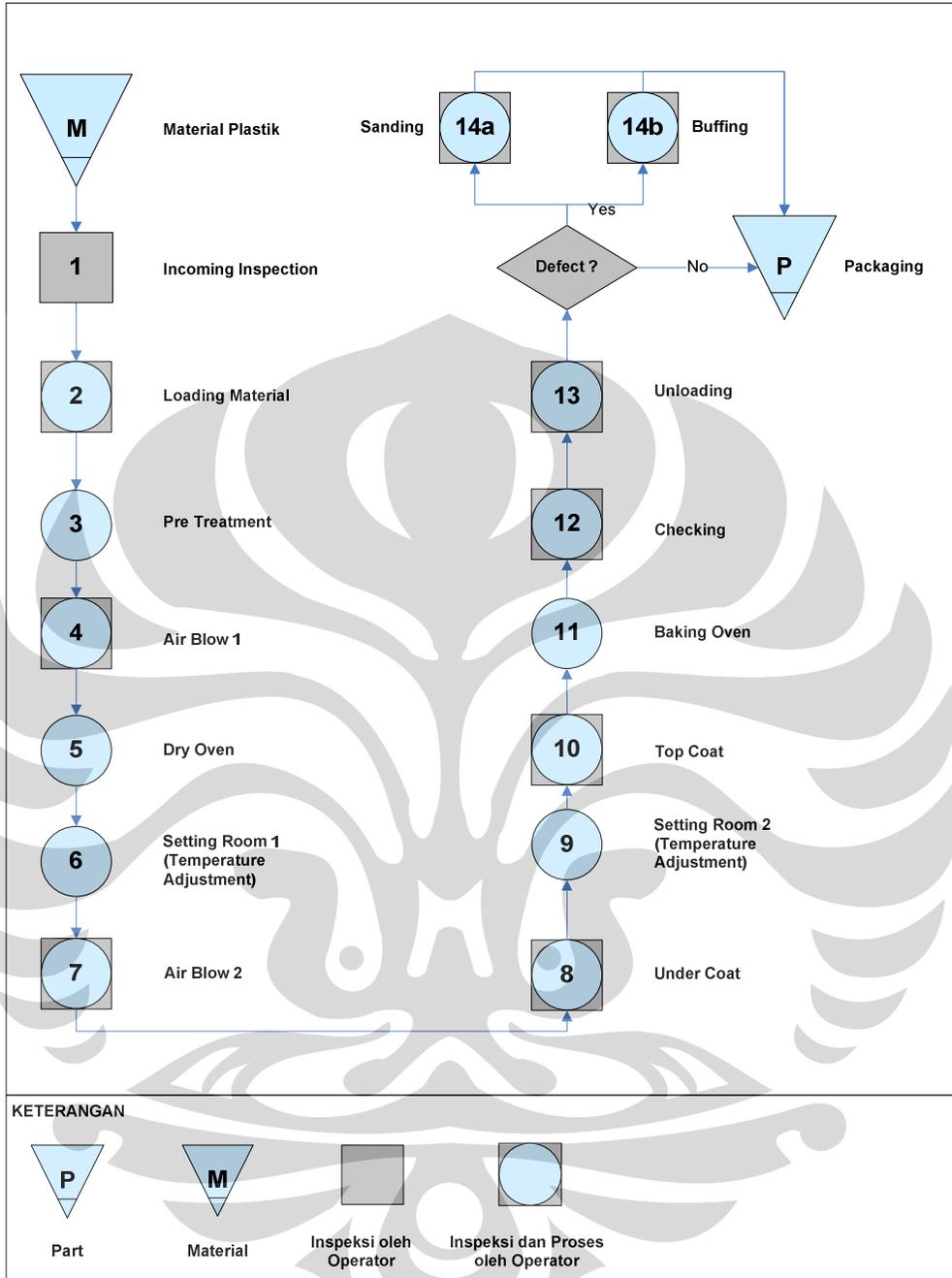
4. Memberikan solusi alternatif untuk mengatasi masalah tersebut

Berdasarkan tujuan tersebut, maka perlu dibuat perancangan terhadap ekseprimen yang akan dilakukan. Yang harus ditentukan sebelum ekseprimen dimulai antara lain pemahaman terhadap proses produksi, menentukan proses yang paling mempengaruhi tingkat *defect*, menentukan faktor-faktor yang dapat dikontrol, menentukan level yang dipilih, dan menentukan metode yang digunakan.

Penelitian ini hanya akan dilakukan di lini produksi 1 *Painting* di PT Astra Otoparts Tbk dengan menggunakan metode *factorial design*.

3.2.1.1. Pemahaman *Flow Proses*

Ada beberapa tahapan yang dilalui oleh bahan mentah sebelum menjadi barang jadi. Pada tiap proses yang dilalui ada indikator atau faktor yang bisa diubah. Gambar di bawah ini akan menjelaskan aliran proses yang akan dilalui bahan mentah hingga menjadi barang jadi.



Gambar 3.3. Flow Chart Proses Pengecatan di Lini Painting

PRE TREATMENT

Merupakan proses untuk membersihkan material dari kotoran, terutama dari lemak dan minyak yang bisa menyebabkan pengecatan tidak sempurna.

Terdapat tiga bak untuk proses ini. Bak pertama diisi oleh air panas dan diberi penyaring atau filter di dalamnya. Filter ini berfungsi untuk menyaring kotoran yang larut saat material disemprot oleh air panas. Air yang jatuh saat penyemprotan akan masuk kembali ke bak pertama setelah melalui proses penyaringan oleh filter. Hal ini untuk menghemat penggunaan air yang ada selama proses pencucian. Frekuensi air diganti pada proses ini adalah sehari sekali, dan air ini bisa digunakan berulang-ulang selama proses produksi berlangsung. Bak ini juga berisi air panas yang dimasukkan *degrease*. *Degrease* merupakan semacam bubuk larutan untuk menghilangkan minyak dan lemak yang menempel pada material yang akan diproses. *Degrease* hampir sejenis dengan deterjen, hanya bubuk ini lebih berbahaya jika terkontaminasi langsung oleh tangan karena akan menimbulkan rasa panas. *Degrease* ketika dimasukkan ke dalam bak berisi air panas di bak kedua ini, dia tidak memiliki busa sama sekali.

Bak kedua berisi air panas yang diberi tambahan *palene*. Fungsi *palene* adalah untuk menghilangkan ion yang masih tertinggal dan menempel pada material. Bak ketiga mengandung air panas yang merupakan air DI (DI Water). Air ini merupakan penghilang ion yang mungkin masih melekat pada material walaupun telah disiram air panas, *degrease*, dan juga kandungan *palene*. Hal ini sengaja dilakukan karena akan ada kecenderungan material akan menolak cat yang disemprotkan jika masih memiliki ion pada bagiannya.

Ketiga bak air diatas sama-sama menggunakan air yang suhunya diatur oleh mesin pengontrol yang sama. Tekanan semprot air pada tiap bak umumnya ditetapkan sama, tapi bisa diubah. Bak pertama dan bak kedua menggunakan air biasa atau air tanah, sedangkan bak ketiga khusus menggunakan DI Water. Untuk selanjutnya, proses *pre treatment* adalah proses yang akan dilakukan eksperimen dengan menggunakan metode *factorial design* dan terlebih dahulu menentukan faktor-faktor yang berpengaruh selama proses berlangsung dan juga berpengaruh terhadap timbulnya *defect*.

## AIR BLOW 1 DAN 2

Proses ini dilakukan secara manual oleh operator. Proses ini dilakukan dengan cara menyemprotkan angin bertekanan tinggi ke seluruh bagian material

untuk menghilangkan kemungkinan ion yang masih menempel dari proses pre treatment. Proses ini juga merupakan proses pengeringan secara tidak langsung dan juga berfungsi menetralkan ion yang masih tertinggal. Pada proses *air blow 2*, penyemprotan angin dilakukan selain untuk menetralkan ion juga berfungsi untuk menghilangkan debu yang terbawa selama proses oven berlangsung. Hal ini sengaja dilakukan karena lantai dasar tempat proses *air blow 2* berlangsung juga digenangi air untuk mengikat debu dan kotoran yang melayang.

#### DRY OVEN DAN BAKING OVEN

Proses di *dry oven* ini merupakan proses pengeringan material yang masih basah setelah proses *air blow* dengan menggunakan tenaga panas yang berada di sepanjang oven konveyor yang ada. Material yang digantung di konveyor akan masuk ke jalur oven yang digantung di langit-langit. Panas yang digunakan menggunakan pembakar oven yang berbahan bakar LNG.

Proses *baking oven* menggunakan prinsip yang sama dari *dry oven*. Hanya saja, fungsinya lebih kepada mengeringkan part yang masih basah oleh cat.

#### SETTING ROOM 1 DAN 2

Proses ini merupakan proses untuk mendinginkan dan menetralkan kondisi part. *Setting room 1* bertujuan untuk mendinginkan part yang baru saja keluar dari proses pengeringan oleh *dry oven*. Ruangan ini berisi air yang sengaja digenangi di dasar lantai agar jika ada kotoran atau debu melayang, maka kotoran dan debu tersebut akan langsung jatuh terserap oleh air di bawah. Penggunaan air pun hanya air tanah biasa, tanpa perlu dicampur zat-zat lain.

Untuk *setting room 2* lebih bertujuan agar *part* yang baru saja dilapisi cat dasar pada proses *under coat* bisa terserap dengan baik sebelum diproses di proses selanjutnya.

#### UNDER COAT DAN TOP COAT

Kedua proses ini merupakan proses penyemprotan cat lapis dasar pada proses *under coat* dan penyemprotan cat lapis luar dengan cat berwarna pada proses *top coat*. Kedua proses ini dilakukan secara manual oleh operator.

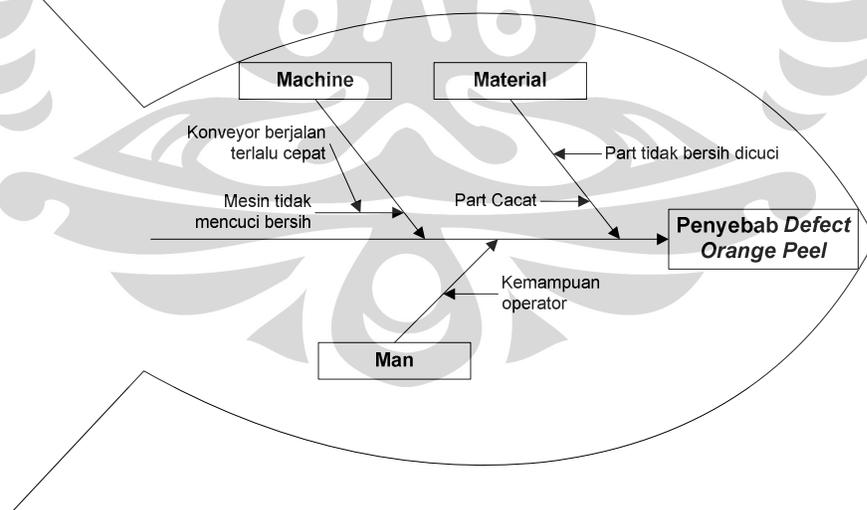
## SANDING DAN BUFFING

Merupakan proses lanjutan untuk *part* yang mengalami *defect*. Part yang mengalami *defect* akan di *unload* oleh operator, lalu dilakukan proses *sanding* dan *buffing*. Proses *sanding* dilakukan untuk *part-part* yang mengalami lecet atau gores dengan cara mengamplas atau memperhalus permukaan part dengan sejenis kertas amplas. Proses *buffing* merupakan proses untuk menipiskan part yang mengalami pengecatan tidak sempurna. Biasanya proses ini dilakukan untuk part yang memiliki tipe *defect* minyak, *orange peel*, menyerap, cat yang meleleh, dan karena bintik air.

### 3.2.1.2. Tipe-Tipe Defect

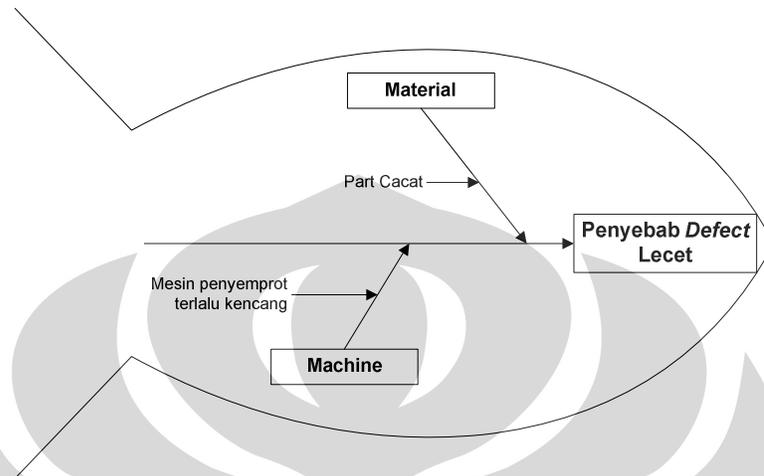
Berikut ini merupakan tipe-tipe *defect* yang mungkin muncul selama proses berlangsung dan kemungkinan penyebabnya.

- *Orange peel*, yaitu cacat yang terdapat pada permukaan part yang mengalami pengecatan. Cat menjadi kasar pada permukaan seperti kulit jeruk. Gambar di bawah ini akan menjelaskan latar belakang terjadinya *defect* tersebut.



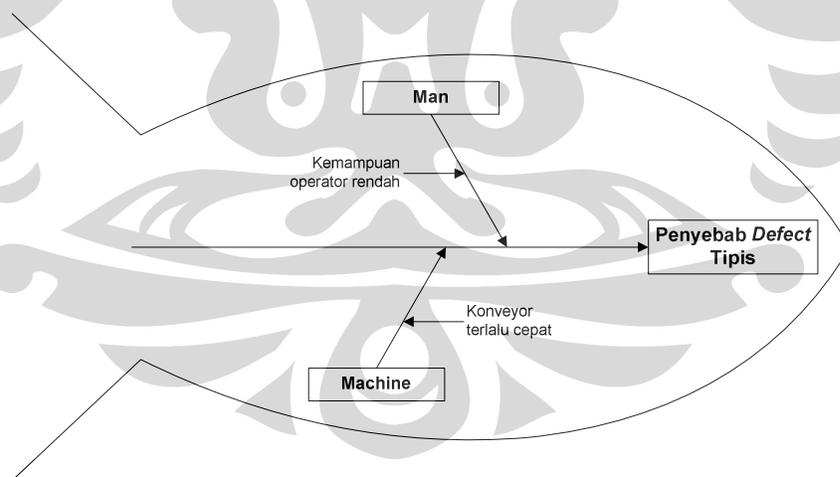
Gambar 3.4. Diagram *Fishbone* Penyebab Defect *Orange Peel*

- Lecet, yaitu permukaan part ada yang tergores sehingga bisa dilihat walaupun sudah di cat. Gambar di bawah ini akan menjelaskan latar belakang terjadinya *defect* tersebut.



Gambar 3.5. Diagram *Fishbone* Penyebab *Defect* Lecet

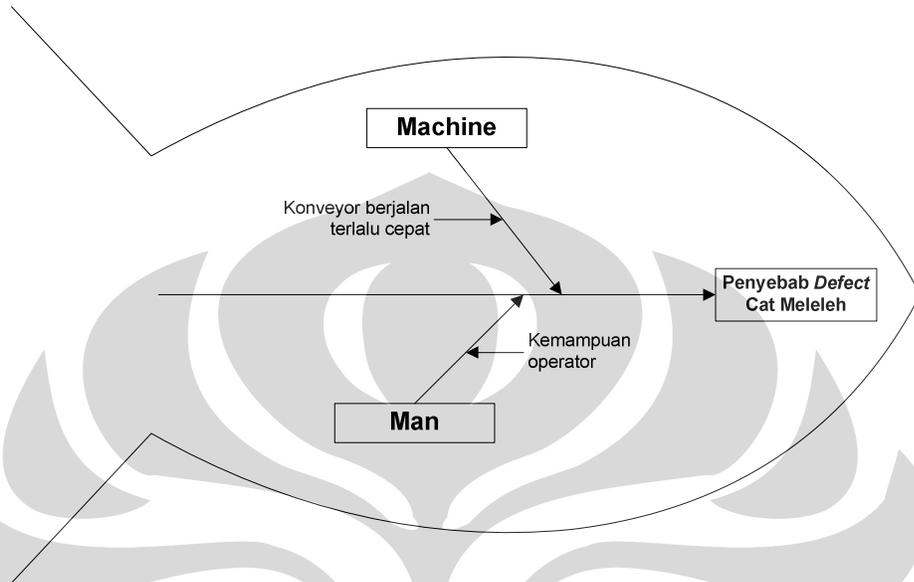
- Tipis, yaitu part yang dicat tidak merata sehingga ada bagian yang warnanya berbeda. Gambar di bawah ini akan menjelaskan latar belakang terjadinya *defect* tersebut.



Gambar 3.6. Diagram *Fishbone* Penyebab *Defect* Tipis

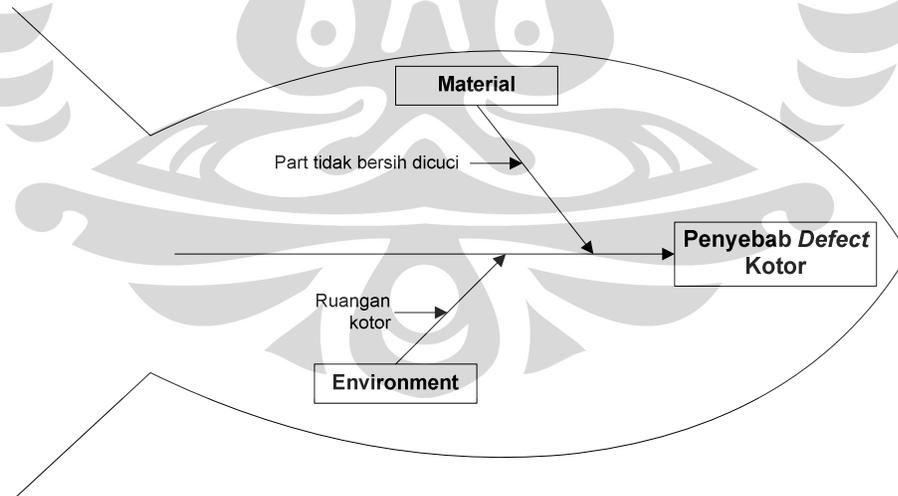
- Cat meleleh (meler), yaitu cat yang dalam keadaan masih basah, mengumpul lalu bergulir ke sisi part yang lain. Saat cat bergulir lalu mengering, menjadikan permukaan part tidak merata. Hal ini bisa juga

disebabkan part yang tidak bersih dicuci sehingga cat yang disemprot tidak terserap sempurna. Gambar di bawah ini akan menjelaskan latar belakang terjadinya *defect* tersebut.



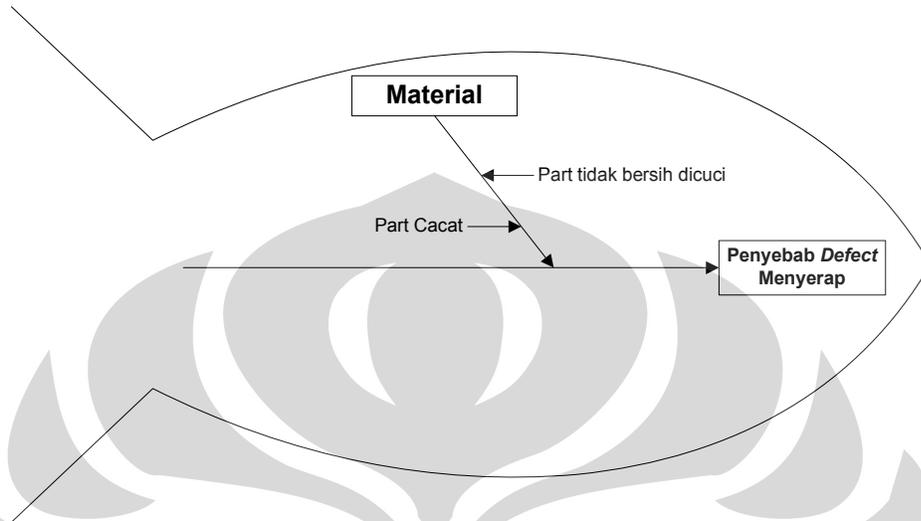
Gambar 3.7. Diagram *Fishbone* Penyebab *Defect* Cat Meleleh

- Kotor, yaitu part yang tidak bersih dicuci sehingga ada kotoran yang tidak sengaja tercat. Gambar di bawah ini akan menjelaskan latar belakang terjadinya *defect* tersebut.



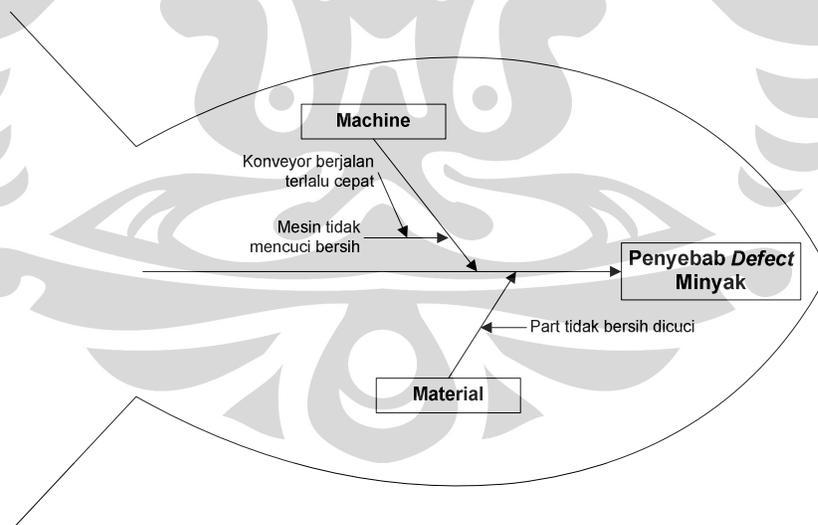
Gambar 3.8. Diagram *Fishbone* Penyebab *Defect* Kotor

- Menyerap, yaitu cat yang menyerap ke dalam part sehingga menimbulkan belang pada part. Gambar di bawah ini akan menjelaskan latar belakang terjadinya *defect* tersebut.



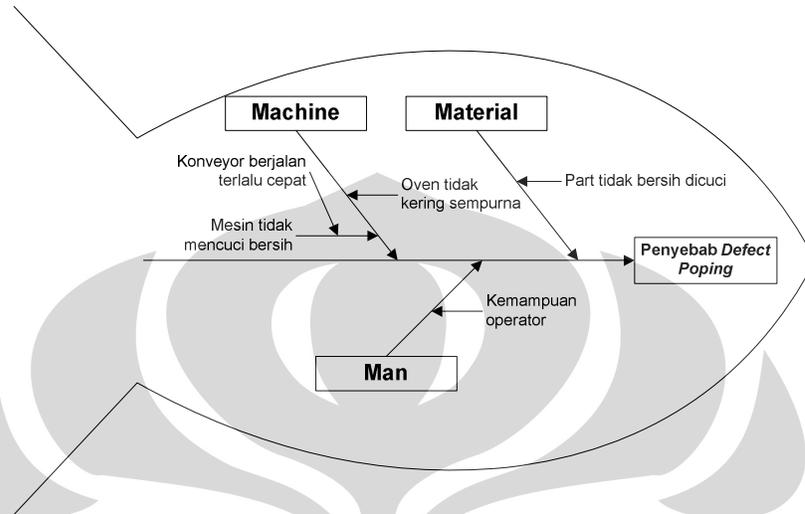
Gambar 3.9. Diagram *Fishbone* Penyebab *Defect* Menyerap

- Berminyak, yaitu part yang masih berminyak sehingga cat yang disemprot tidak bisa menempel. Gambar di bawah ini akan menjelaskan latar belakang terjadinya *defect* tersebut.



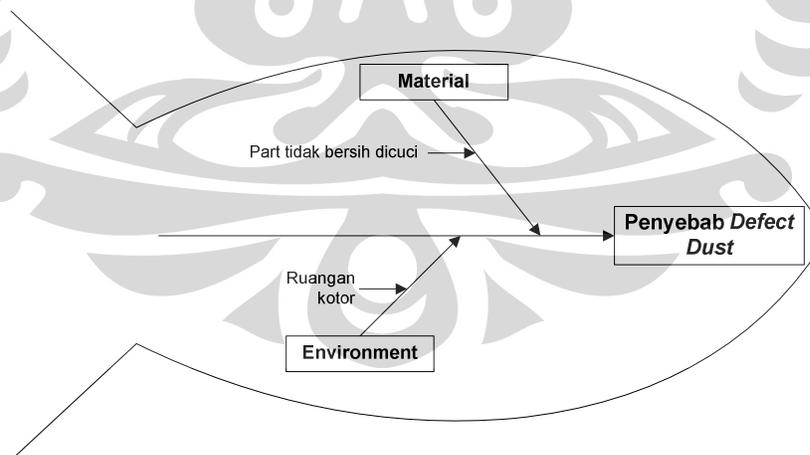
Gambar 3.10. Diagram *Fishbone* Penyebab *Defect* Minyak

- *Poping*, yaitu ada bagian part yang bergelembung seperti memiliki air di dalamnya. Gambar di bawah ini akan menjelaskan latar belakang terjadinya *defect* tersebut.



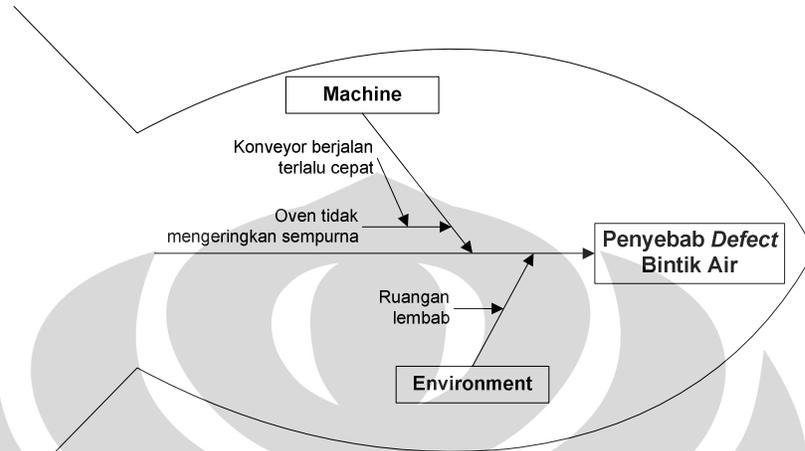
Gambar 3.11. Diagram *Fishbone* Penyebab *Defect Poping*

- *Dust* atau debu, yaitu part yang tidak dicuci dengan bersih sehingga ada kotoran yang menempel dan ikut tercat. Bedanya *dust* dengan kotor terletak pada bisa atau tidaknya part yang *defect* di-sanding atau di-buffing lagi. Gambar di bawah ini akan menjelaskan latar belakang terjadinya *defect* tersebut.



Gambar 3.12. Diagram *Fishbone* Penyebab *Defect Dust*

- Bintik air, yaitu permukaan cat yang memiliki bintik-bintik air dan ikut tercat lalu mengering. Gambar di bawah ini akan menjelaskan latar belakang terjadinya *defect* tersebut.



Gambar 3.13. Diagram *Fishbone* Penyebab *Defect* Bintik Air

### 3.2.2. Penentuan Faktor Di Tiap Proses

Setiap proses memiliki faktor-faktor yang berpengaruh yang bisa diubah-ubah sesuai dengan kriteria. Di bawah ini adalah faktor-faktor yang berhasil ditemukan di tiap proses yang kemungkinan mempengaruhi terhadap banyaknya *defect* yang muncul.

Tabel 3.5. Faktor-Faktor Dominan Tiap Proses



Berdasarkan faktor tersebut, maka dipilihlah proses *pre treatment* yang akan mengalami eksperimen dengan menggunakan metode *factorial design* untuk mengetahui faktor dominan yang akan mempengaruhinya.

Ada empat faktor yang akan diubah-ubah berdasarkan persetujuan dengan pimpinan produksi level apa saja yang boleh diubah. Berikut ini adalah penjelasan singkat untuk tiap faktor-faktor tersebut.

#### 1. Kecepatan konveyor

Seluruh proses yang terjadi di lini pengecatan ini menggunakan konveyor gantung. Setiap material yang akan dimuat, akan digantung ke konveyor gantung tersebut. Satu *hanger* gantungan bisa memuat dua hingga empat part motor berukuran besar seperti sayap motor kanan dan kiri, penunjuk speedometer, dan bisa mencapai 12 untuk part-part yang kecil.

Ada 322 *hanger* di lini produksi 2, sementara di lini 1 ada 324 *hanger*. *Cycle time* suatu material dari dimuat (loading) hingga keluar di proses final inspection berkisar 1-,5 jam.

Tiap material yang akan dicat dengan warna-warna tertentu memiliki kecepatan yang beragam. Tabel di bawah ini akan memberikan daftar kecepatan konveyor yang diperbolehkan untuk tiap tipe warna cat.

Tabel 3.6. Kecepatan Konveyor yang Diperbolehkan untuk Tiap Tipe Warna



Percobaan akan diuji terhadap part yang mengalami pengecatan dengan warna hitam. Batas kecepatan yang boleh digunakan pun antara 2.5 hingga 3.0 meter/menit.

## 2. Tekanan semprot air

Part yang akan dicuci akan masuk ke suatu ruangan. Di dalam ruangan tersebut, part akan dicuci dengan disemprot oleh air yang keluar dari *nozzle* di sekeliling ruangan. Tekanan yang diperbolehkan pada proses ini adalah antara 0,6 psi hingga 0,8 psi. Tombol pemutar tekanan ini berada di bawah ruang pre treatment, dan tekanan yang akan diubah hanya akan ada pada bak pertama saja.

## 3. Suhu air panas

Suhu air yang dibutuhkan adalah suhu panas dimana kotoran semacam minyak dan lemak akan sangat baik jika disiram terlebih dahulu dengan air bersuhu tinggi. Air panas bagus untuk meluruhkan dan menghilangkan minyak dan lemak.

Setiap perubahan suhu, diperlukan waktu hingga 2 jam untuk mendapatkan temperatur yang diinginkan. Batas suhu yang diperbolehkan untuk menyiram material yang terbuat dari plastik ini adalah maksimal 60°C, dengan asumsi awal semua material yang akan dicat dengan warna apapun, tetap disiram dengan temperatur yang sama.

## 4. Penggunaan degrease

*Degrease* merupakan suatu bubuk berbentuk deterjen yang berfungsi sebagai sabun untuk proses pre treatment disini. Dalam hal ini, *degrease* tidak memiliki busa layaknya deterjen biasa. Akan tetapi, *degrease* reaktif terhadap tangan manusia, karena bisa membuat tangan panas. *Degrease* bertujuan untuk menghilangkan lemak dan minyak yang menempel, dengan cara melarutkannya bersama dengan air panas di bak pertama.

### 3.2.3. Penentuan Level di Tiap Faktor yang Telah Ditentukan

Setelah menentukan faktor-faktor yang dianggap mempengaruhi dalam proses pre treatment, maka tahap selanjutnya adalah menentukan level yang bisa diubah. Untuk setiap parameter faktor yang akan diteliti, maka akan digunakan 2 level faktor, yaitu untuk *low* dan *high*, karena metode *factorial design* yang akan digunakan adalah metode  $2^k$  *full factorial design*. Level yang lebih rendah atau

*low level* akan dinotasikan dengan 0, sedangkan untuk level yang lebih tinggi atau *high level* akan menggunakan notasi 1.

Berikut adalah nilai-nilai level dari tiap faktor yang akan diteliti.

- Kecepatan konveyor

Satuan dari kecepatan konveyor adalah meter/menit. Konveyor akan mengelilingi seluruh proses yang ada dalam lini *painting*.

Nilai untuk *low level* (0) adalah 3.0 m/menit.

Nilai untuk *high level* (1) adalah 2.5 m/menit.

- Tekanan semprot air

Satuan dari tekanan semprot ini adalah bar atau psi. Batas yang diperbolehkan untuk diubah adalah antara 0.6 psi hingga 0.8 psi.

Nilai untuk *low level* (0) adalah 0.6 psi.

Nilai untuk *high level* (1) adalah 0.8 psi.

- Suhu air panas

Air panas bertujuan untuk membantu menghilangkan lemak dan minyak yang masih menempel, bisa karena material mentah yang kotor, atau karena telah mengalami proses *buffing* yang menggunakan bahan berminyak.

Nilai untuk *low level* (0) adalah 52°C.

Nilai untuk *high level* (1) adalah 60°C.

- Penggunaan *degrease*

Penggunaan *degrease* pada eksperimen ini lebih kepada pemilihan menggunakan bahan ini atau tidak saat material mentah dibersihkan.

Nilai untuk *low level* (0) adalah tidak menggunakan *degrease* (no).

Nilai untuk *high level* (1) adalah menggunakan *degrease* (yes).

### 3.2.4. Perancangan dengan Metode *Design of Experiments*

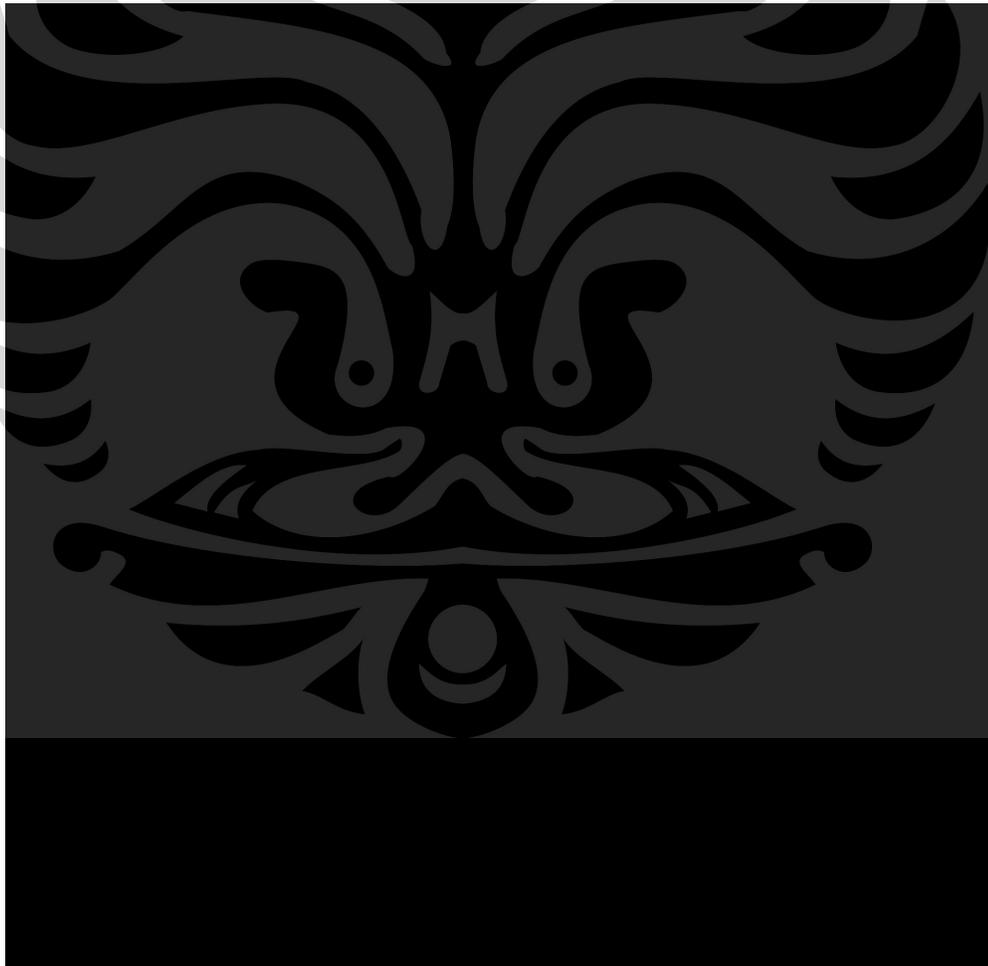
Metode yang akan digunakan untuk DOE adalah menggunakan metode **2<sup>k</sup> factorial design**. Sebelum memulai percobaan, desain untuk eksperimen harus dibuat terlebih dahulu. Faktor-faktor dan level yang telah ditentukan harus dirancang untuk kemudian ditentukan pengacakan terhadap urutan eksperimen yang akan dilakukan. Jumlah percobaan yang akan dilakukan adalah **2<sup>4</sup> = 16** kali

percobaan, dengan 4 adalah jumlah faktor yang akan diuji. Replikasi percobaan dilakukan sebanyak dua kali, sehingga total percobaan yang akan dilakukan adalah sebanyak 32 kali. Sebelum percobaan dilakukan, urutan data yang akan diambil juga harus mengalami pengacakan terlebih dahulu (randomized).

Tabel 3.7. Perancangan dengan Metode *Design of Experiments*

Replikasi ke-	Tanpa Degrease								Dengan Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°				Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.8. Contoh Perancangan *Design of Experiments* dengan MINITAB 15 (Randomized)



### 3.3. Pengumpulan Data Eksperimen

Urutan eksperimen yang dilakukan adalah berdasarkan urutan yang telah mengalami pengacakan (randomized). Pengacakan dilakukan dengan tujuan untuk menghindarkan terjadinya faktor yang tidak diinginkan muncul yang akan berpengaruh jika urutan percobaan dilakukan secara berurut.

#### 3.2.4. Penentuan *Output* Hasil Percobaan

Hasil yang akan keluar dari tiap eksperimen adalah berupa jumlah *defect*, dan jumlah ini nantinya akan dibagi sesuai dengan tipe *defect* yang ada. Yang akan dimasukkan ke dalam penghitungan MINITAB 15 adalah berupa peluang sebuah keberhasilan part tidak terkena *defect*. Jika jumlah yang keluar untuk *defect* tipis adalah 5 part dari 30 sampel yang diuji, maka probabilitas part yang sukses tidak terkena *defect* adalah 25/30 yaitu 0.833.

Jumlah sampel tiap eksperimen adalah 30 hingga 33 part, dan percobaan dimulai pada siang hari dengan menggunakan operator shift 1.

#### 3.3.1. Jenis *Defect* “Orange Peel”

Berikut ini adalah jumlah data yang dihasilkan saat eksperimen berlangsung untuk tipe *defect* “orange peel”.

Tabel 3.9. Hasil Eksperimen untuk Tipe *Defect* “Orange Peel”

Replikasi ke-	Tanpa Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0

Replikasi ke-	Dengan Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0

#### 3.3.2. Jenis *Defect* “Tipis”

Berikut ini adalah jumlah data yang dihasilkan saat eksperimen berlangsung untuk tipe “tipis”.

Tabel 3.10. Hasil Eksperimen untuk Tipe *Defect* “Tipis”

Replikasi ke-	Tanpa Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	1	1	0	0	0	1	4	0
2	1	0	0	1	0	0	0	0

Replikasi ke-	Dengan Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0

3.3.3. Jenis *Defect* “Kotor”

Berikut ini adalah jumlah data yang dihasilkan saat eksperimen berlangsung untuk tipe *defect* “kotor”.

Tabel 3.11. Hasil Eksperimen untuk Tipe *Defect* “Kotor”

Replikasi ke-	Tanpa Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	8	12	8	7	5	4	9	6
2	9	9	7	6	2	1	6	2

Replikasi ke-	Dengan Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	2	1	3	4	5	4	6	3
2	3	4	3	2	5	7	5	6

3.3.4. Jenis *Defect* “Lecet”

Berikut ini adalah jumlah data yang dihasilkan saat eksperimen berlangsung untuk tipe *defect* “lecet”.

Tabel 3.12. Hasil Eksperimen untuk Tipe *Defect* “Lecet”

Replikasi ke-	Tanpa Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	1	0	0	0	1	2	0	4
2	0	0	2	1	1	1	0	2

Replikasi ke-	Dengan Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	2	2	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	1	2	1	0	0

### 3.3.5. Jenis *Defect* “Popping”

Berikut ini adalah jumlah data yang dihasilkan saat eksperimen berlangsung untuk tipe *defect* “popping”

Tabel 3.13. Hasil Eksperimen untuk Tipe *Defect* “Popping”

Replikasi ke-	Tanpa Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	4	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0

Replikasi ke-	Dengan Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0

### 3.3.6. Jenis *Defect* “Minyak”

Berikut ini adalah jumlah data yang dihasilkan saat eksperimen berlangsung untuk tipe *defect* “minyak”.

Tabel 3.14. Hasil Eksperimen untuk Tipe *Defect* “Minyak”

Replikasi ke-	Tanpa Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	6	8	0	1	0	0	0	0
2	7	7	0	1	0	0	0	0

Replikasi ke-	Dengan Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0

### 3.3.7. Jenis *Defect* “Bintik Air”

Berikut ini adalah jumlah data yang dihasilkan saat eksperimen berlangsung untuk tipe *defect* “bintik air”.

Tabel 3.15. Hasil Eksperimen untuk Tipe *Defect* “Bintik Air”

Replikasi ke-	Tanpa Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	0	0	0	0	1	0	2	0
2	0	0	0	0	0	2	1	0

Replikasi ke-	Dengan Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	0	1	1	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0	0	0	0

### 3.3.8. Jenis *Defect* “Dust”

Berikut ini adalah jumlah data yang dihasilkan saat eksperimen berlangsung untuk tipe *defect* “dust”.

Tabel 3.16. Hasil Eksperimen untuk Tipe *Defect* “Dust”

Replikasi ke-	Tanpa Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	0	0	0	0	0	0	0	11
2	0	0	0	0	0	0	0	12

Replikasi ke-	Dengan Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0

### 3.3.9. Jenis *Defect* “Cat Meleleh”

Berikut ini adalah jumlah data yang dihasilkan saat eksperimen berlangsung untuk tipe *defect* “cat meleleh”.

Tabel 3.17. Hasil Eksperimen untuk Tipe *Defect* “Cat Meleleh”

Replikasi ke-	Tanpa Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	0	0	0	0	3	1	1	0
2	0	1	0	5	1	4	1	0

Replikasi ke-	Dengan Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	4	8	0	0	0	0	0	0
2	2	8	6	0	1	4	0	0

3.3.10. Jenis *Defect* “Menyerap”

Berikut ini adalah jumlah data yang dihasilkan saat eksperimen berlangsung untuk tipe *defect* “menyerap”.

Tabel 3.18. Hasil Eksperimen untuk Tipe *Defect* “Menyerap”

Replikasi ke-	Tanpa Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0

Replikasi ke-	Dengan Degrease							
	Suhu 52°				Suhu 60°			
	2,5 m/mnt		3 m/mnt		2,5 m/mnt		3 m/mnt	
	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi	0,6 psi	0,8 psi
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0

Dari hasil eksperimen yang didapat, maka tidak ada *defect* yang muncul selama eksperimen berlangsung.

### 3.4. Pengolahan Data

Data-data yang diperoleh akan dimasukkan ke dalam penghitungan MINITAB 15. Berikut adalah pengolahan data berdasarkan jenis-jenis *defect* yang ada.

#### 3.4.1. Pengolahan Data untuk *Defect* Tipe “Orange Peel”

Data-data yang ditampilkan berikut ini merupakan pengolahan data dan hasil yang diberikan oleh MINITAB 15.

Tabel 3.19. Perancangan Eksperimen *Defect* “Orange Peel” Berdasarkan MINITAB 15



Setelah dianalisis, maka hasil yang keluar adalah sebagai berikut.

Tabel 3.20. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap *Defect "Orange Peel"*



### 3.4.2. Pengolahan Data untuk *Defect* Tipe “Tipis”

Data-data yang ditampilkan berikut ini merupakan pengolahan data dan hasil yang diberikan oleh MINITAB 15.

Tabel 3.21. Perancangan Eksperimen *Defect* “Tipis” Berdasarkan MINITAB 15



Setelah dianalisis, maka hasil yang keluar adalah sebagai berikut.

Tabel 3.22. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap *Defect* “Tipis”



### 3.4.3. Pengolahan Data untuk *Defect* Tipe “Kotor”

Data-data yang ditampilkan berikut ini merupakan pengolahan data dan hasil yang diberikan oleh MINITAB 15.

Tabel 3.23. Perancangan Eksperimen *Defect* “Kotor” Berdasarkan MINITAB 15



Setelah dianalisis, maka hasil yang keluar adalah sebagai berikut.

Tabel 3.24. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap *Defect* “Kotor”



#### 3.4.4. Pengolahan Data untuk *Defect* Tipe “Lecet”

Data-data yang ditampilkan berikut ini merupakan pengolahan data dan hasil yang diberikan oleh MINITAB 15.

Tabel 3.25. Perancangan Eksperimen *Defect* “Lecet” Berdasarkan MINITAB 15



Setelah dianalisis, maka hasil yang keluar adalah sebagai berikut.

Tabel 3.26. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap *Defect* “Lecet”



### 3.4.5. Pengolahan Data untuk *Defect* Tipe “Popping”

Data-data yang ditampilkan berikut ini merupakan pengolahan data dan hasil yang diberikan oleh MINITAB 15.

Tabel 3.27. Perancangan Eksperimen *Defect* “Popping” Berdasarkan MINITAB 15



Setelah dianalisis, maka hasil yang keluar adalah sebagai berikut.

Tabel 3.28. Hasil Ouput MINTAB 15 Terhadap *Defect* “Poping”



### 3.4.6. Pengolahan Data untuk *Defect* Tipe “Minyak”

Data-data yang ditampilkan berikut ini merupakan pengolahan data dan hasil yang diberikan oleh MINITAB 15.

Tabel 3.29. Perancangan Eksperimen *Defect* “Minyak” Berdasarkan MINITAB 15



Setelah dianalisis, maka hasil yang keluar adalah sebagai berikut.

Tabel 3.30. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap *Defect* “Minyak”



### 3.4.7. Pengolahan Data untuk *Defect* Tipe “Bintik Air”

Data-data yang ditampilkan berikut ini merupakan pengolahan data dan hasil yang diberikan oleh MINITAB 15.

Tabel 3.31. Perancangan Eksperimen *Defect* “Bintik Air” Berdasarkan MINITAB

15



Setelah dianalisis, maka hasil yang keluar adalah sebagai berikut.

Tabel 3.32. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap *Defect* “Bintik Air”



### 3.4.8. Pengolahan Data untuk *Defect* Tipe “Dust”

Data-data yang ditampilkan berikut ini merupakan pengolahan data dan hasil yang diberikan oleh MINITAB 15.

Tabel 3.33. Perancangan Eksperimen *Defect* “Dust” Berdasarkan MINITAB 15



Setelah dianalisis, maka hasil yang keluar adalah sebagai berikut.

Tabel 3.34. Hasil Ouput MINITAB 15 Terhadap *Defect* “Dust”



### 3.4.9. Pengolahan Data untuk *Defect* Tipe “Cat Meleleh”

Data-data yang ditampilkan berikut ini merupakan pengolahan data dan hasil yang diberikan oleh MINITAB 15.

Tabel 3.35. Perancangan Eksperimen Berdasarkan MINITAB 15



Setelah dianalisis, maka hasil yang keluar adalah sebagai berikut.

Tabel 3.36. Hasil Ouput MINTAB 15 Terhadap *Defect* “Cat Meleleh”



#### 3.4.10. Pengolahan Data untuk *Defect* Tipe “Menyerap”

Selama eksperimen berlangsung, ternyata tidak ditemukan adanya *defect* menyerap yang muncul, sehingga tidak ada data yang bisa diolah dan ditentukan faktor yang mempengaruhi timbulnya *defect* tersebut.

#### 4. ANALISIS

Berdasarkan hasil yang diperoleh menggunakan MINITAB 15, maka ada beberapa hipotesis yang menunjukkan hasil signifikan. Jika nilai  $p$ -value yang keluar adalah hasilnya lebih besar dari nilai  $\alpha$  (alpha) yaitu 0,05 maka menerima  $H_0$  yang berarti tidak ada pengaruh faktor signifikan terhadap percobaan, sedangkan jika nilai yang didapat adalah lebih kecil, maka menerima  $H_1$  yang berarti ada pengaruh signifikan terhadap faktor tersebut. Selain melihat pada nilai  $\alpha$  (alpha), maka bisa juga dilihat pada  $F$  value yang diberikan. Suatu eksperimen akan menerima  $H_1$  jika nilai  $F$  yang ada diluar atau diatas kisaran nilai  $F$  percobaan, yang dalam percobaan ini besarnya adalah antara -2.120 hingga 2.120.

Sementara itu, untuk melihat apakah suatu eksperimen valid untuk diuji atau tidak, maka dilakukan uji *normality probability plot of residual*. Data yang baik adalah data yang memenuhi kriteria yang diminta oleh uji tersebut.

Ada beberapa *defect* yang grafik normalitas residualnya terdistribusi secara normal, akan tetapi dilihat dari histogramnya, maka ada beberapa *defect* yang histogramnya tidak sempurna membentuk kurva panjang, karena ada batang yang memiliki jarak antar batang. Hal ini semakin mendukung dengan hasil yang ada tidak menunjukkan signifikansi terhadap faktor yang ada.

Uji normalitas diperlukan untuk mengetahui apakah model eksperimen yang kita buat telah mengikuti asumsi normalitas. Data residual harus terdistribusi secara normal, karena dengan demikian kita dapat mengatakan bahwa model yang kita miliki telah terverifikasi dan dapat ditarik suatu kesimpulan yang valid dari penelitian. Data yang ada pada plot *normal probability* sebaiknya mendekati sepanjang garis yang ada, karena hal itu berarti data residual terdistribusi dengan normal.

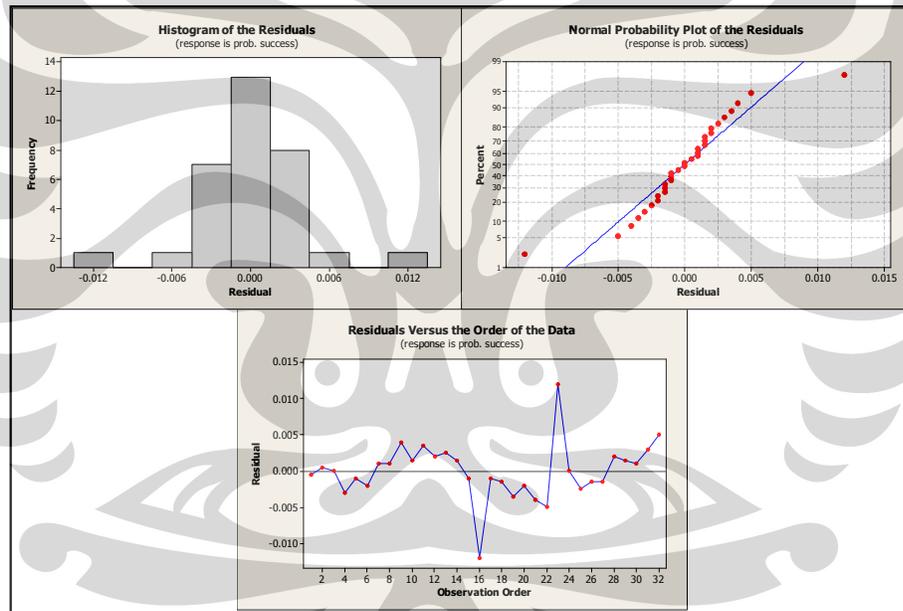
Grafik histogram yang bagus sebaiknya berbentuk *bell-shaped*. Jika kurva yang ditunjukkan tidak berbentuk *bell-shaped*, maka data yang ada memiliki kecenderungan normal yang baik, sedangkan kurva yang terputus karena ada batang histogram yang jauh dari batang lainnya, maka dalam data residual tersebut memiliki data *outlier*. Data outlier merupakan data dari eksperimen yang berada jauh lebih besar atau lebih kecil dari data lainnya.

Diagram pencar data residual terhadap order observation yang ada menunjukkan seberapa acak dan terdistribusinya data residual yang ada. Semakin acak data yang ada dan berada tidak jauh dari nilai nol (0) menunjukkan data yang semakin baik terdistribusi. Diagram pencar tersebut menunjukkan apakah urutan observasi yang ada mempengaruhi eksperimen atau tidak.

#### 4.1. Analisis Tipe Defect “Orange Peel”

##### 4.1.1. Grafik Residual untuk Defect Orange Peel

Grafik di bawah ini akan menggambarkan data residual terhadap model eksperimen.



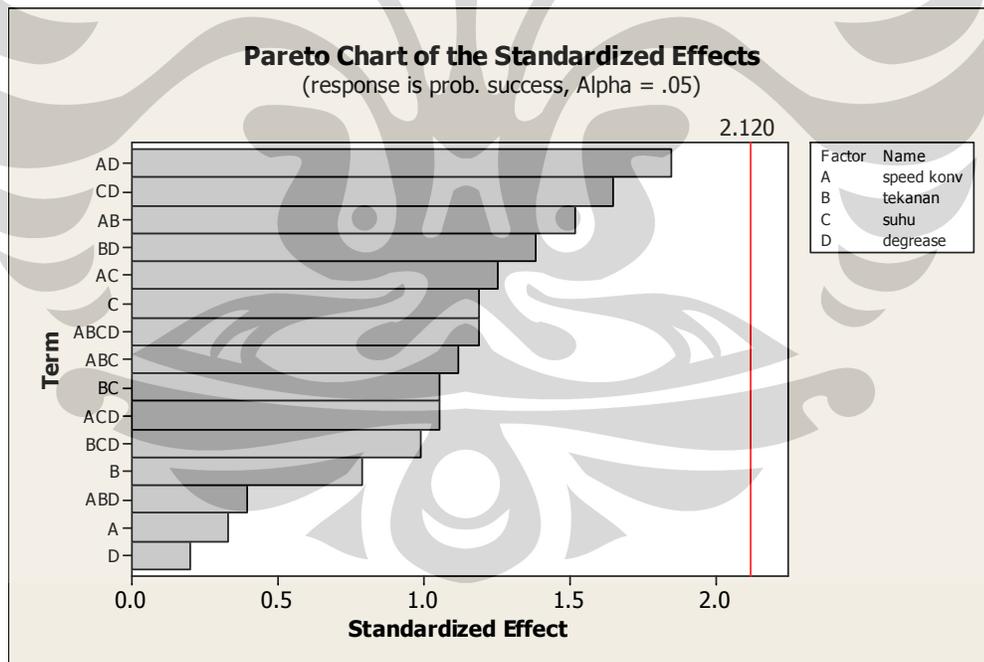
Gambar 4.1. Grafik Plot Residual untuk Defect Orange Peel

Grafik probabilitas normal menunjukkan data residual yang terdistribusi dengan normal. Akan tetapi, histogram menunjukkan ada data yang berada di *outlier*. Hal ini juga mempengaruhi hasil eksperimen yang membuktikan bahwa tidak ada faktor yang berpengaruh secara signifikan.

#### 4.1.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya

Berdasarkan uji normalitas residual, data tersebar cukup normal karena residual data yang ada mendekati garis normal. Setelah dilakukan analisis varian, maka tidak ditemukannya faktor yang signifikan mempengaruhi jumlah *defect* yang ada. Berdasarkan hasil yang ditemukan, maka :

- *P-value* > 0,05, tidak ditemukannya faktor yang mempengaruhi, karena nilainya berada diatas nilai  $\alpha$  (alpha) yang diinginkan. Hal ini menunjukkan untuk tipe *defect* tersebut, faktor-faktor yang diuji tidak memiliki pengaruh terhadapnya. Nilai F juga berada di luar batas -2,12 hingga 2,12. Kemungkinan yang lain sebagai penyebab terjadinya tipe *defect* ini bisa karena kemampuan operator saat melakukan pengecatan, baik itu di proses top coat maupun under coat.
- Berarti menerima  $H_0$  (tidak ada pengaruh signifikan terhadap tingkat *defect*)



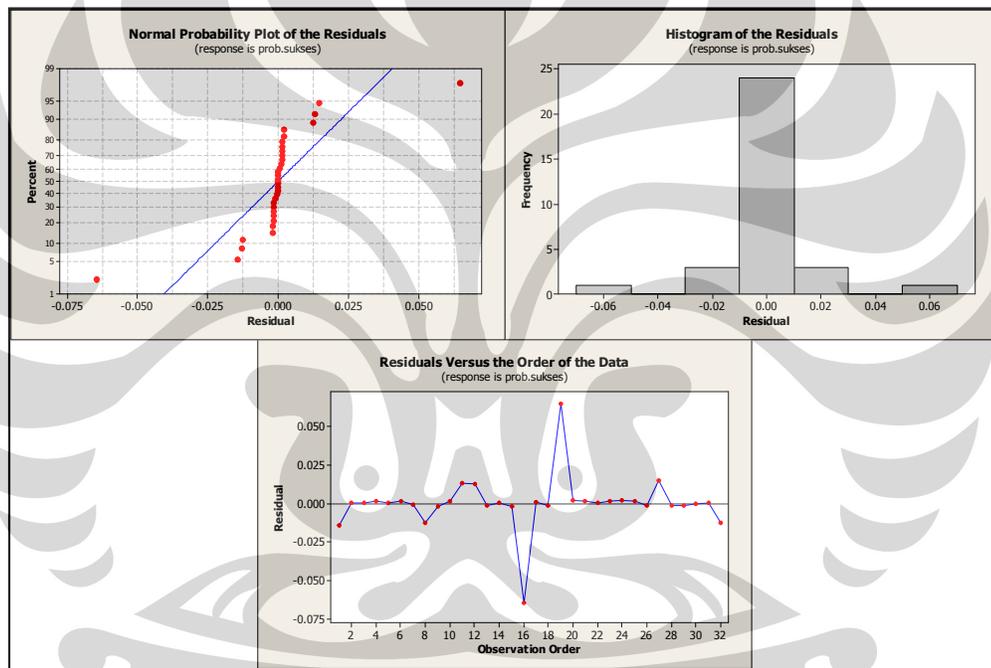
Gambar 4.2. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor pada *Defect Orange Peel*

Tipe *defect* ini juga bisa disebabkan di proses lainnya, karena ada beberapa proses lainnya yang dilakukan secara manual oleh operator, yaitu proses air blow, karena proses ini bertujuan untuk mengeringkan part yang telah dicuci dan juga untuk mengalirkan elektrostatis untuk menetralkan part.

## 4.2. Analisis Tipe *Defect* “Tipis”

### 4.2.1. Grafik Residual untuk *Defect* Tipis

Grafik di bawah ini akan menggambarkan data residual terhadap model eksperimen.



Gambar 4.3. Grafik Plot Residual untuk *Defect* Tipis

Gambar di atas menunjukkan data yang tidak terdistribusi secara normal. Grafik plot *normal probability* menunjukkan data yang tidak mendekati garis dan tidak tersebar secara merata, sedangkan diagram pencar untuk data residual terhadap order observasi juga menunjukkan ada perlakuan data yang tidak merata tersebar, cenderung untuk berkumpul di satu titik tertentu.

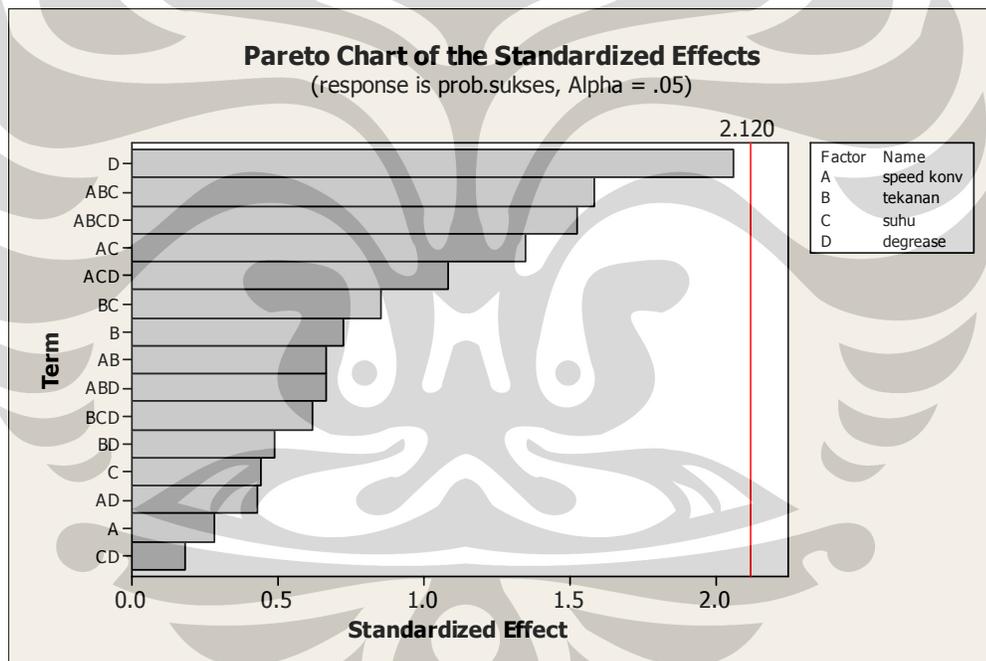
Hal tersebut bisa terjadi karena data yang dihasilkan saat eksperimen tidak sesuai dengan normalitas. Tidak semua *defect* muncul di tiap eksperimen,

sehingga data yang ada pun tidak terdistribusi secara normal, dan ada data yang berada di luar kisaran data yang lain (outlier).

#### 4.2.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya

Berdasarkan hasil yang telah diolah, maka :

- $P\text{-value} > 0,05$ , tidak ditemukan juga faktor yang mempengaruhi terhadap tipe *defect* tersebut. Jika dilihat dari grafik pareto yang dihasilkan, maka faktor-faktor dan interaksi faktor yang ada tidak menunjukkan signifikansi karena berada di bawah nilai F.
- Berarti menerima  $H_0$  (tidak ada pengaruh signifikan terhadap tingkat *defect*)



Gambar 4.4. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor pada *Defect* Tipis

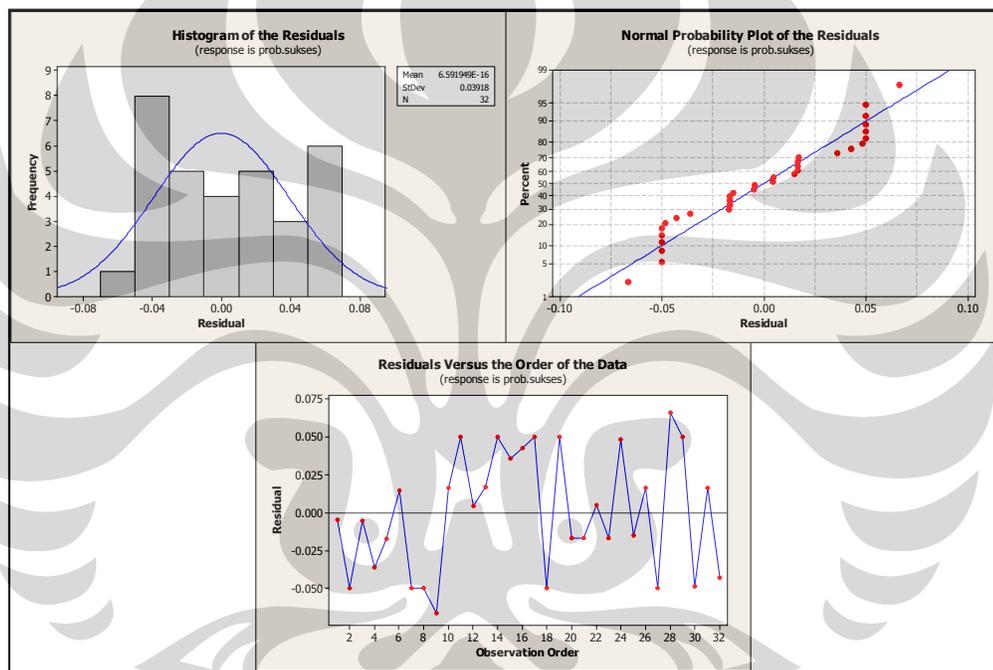
Umumnya, tipe *defect* ini disebabkan oleh ketidaktelitian operator saat melakukan pengecatan, dan bisa disebabkan karena keahlian operator yang kurang memadai. Tipis merupakan part yang dicat tidak sempurna sehingga ada beberapa bagian dari part yang pengecatannya tipis sehingga terlihat belang.

Selain itu, ada kemungkinan lain yang menyebabkan part tidak bisa menerima dan menyerap cat dengan baik, yaitu kemungkinan part yang masih kotor atau tidak kering sempurna.

### 4.3. Analisis Tipe Defect “Kotor”

#### 4.3.1. Grafik Residual untuk Defect Kotor

Grafik di bawah ini akan menggambarkan data residual terhadap model eksperimen.



Gambar 4.5. Grafik Plot Residual untuk Defect Kotor

Grafik plot *normal probability* menunjukkan data yang terdistribusi secara normal, hal ini juga didukung dengan diagram pencar data residual terhadap order observasi yang tersebar secara merata. Histogram yang ada pun menunjukkan kurva yang secara sempurna membentuk *long-tail*.

Tersebaranya data secara normal juga menghasilkan signifikansi terhadap hasil eksperimen. Dari hasil eksperimen, terdapat beberapa faktor yang ternyata mempengaruhi timbulnya *defect*. Data residual yang tersebar normal berhasil didapat karena tidak ada data yang berada di luar kisaran data lainnya. Selain itu,

tipe *defect* ini termasuk yang paling dominan terjadi selama proses pengecatan, sehingga hampir di tiap kombinasi observasi selalu ada part yang mengalami *defect* ini.

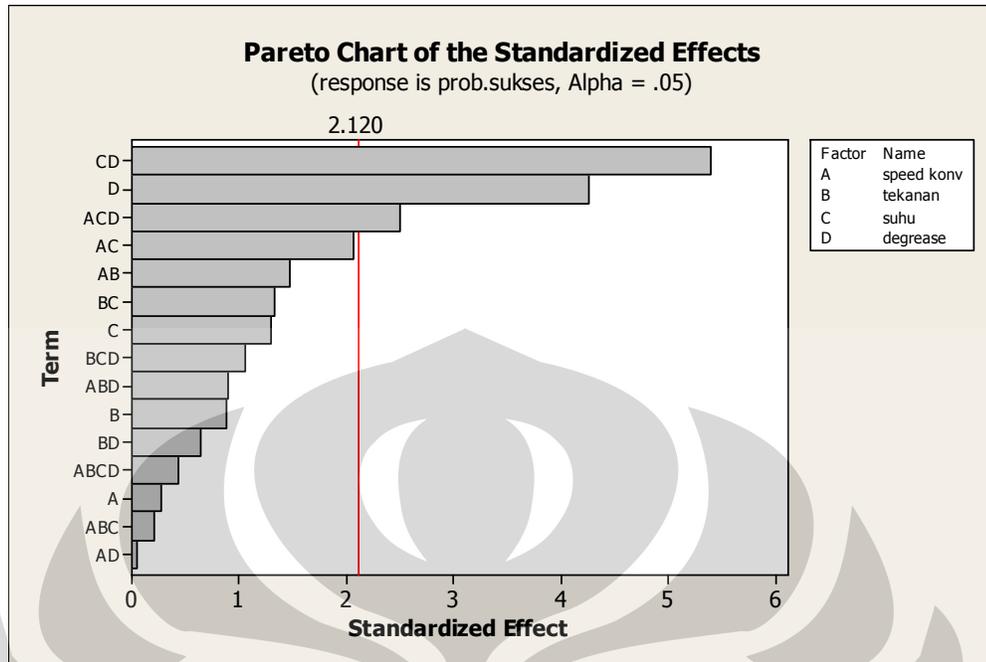
#### 4.3.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya

Berdasarkan tabel yang ditunjukkan di bawah ini, maka ada beberapa faktor yang mempengaruhi selama proses berlangsung.

Tabel 4.1 Faktor yang Berpengaruh dan Hasil Signifikansinya untuk Tipe *Defect* Kotor

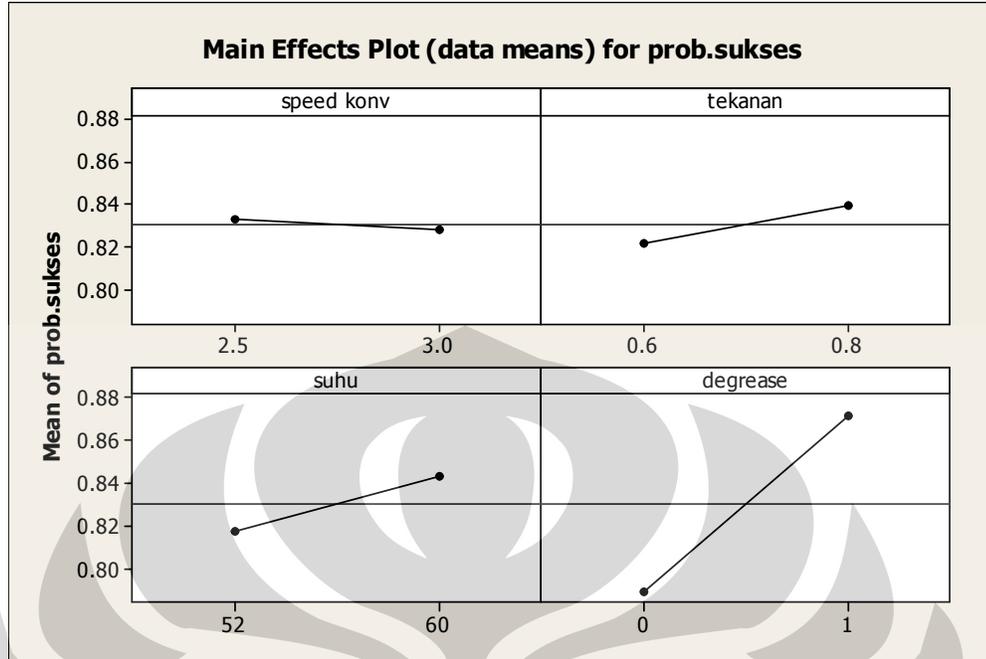


- *P-value* < 0,05, ditemukan faktor yang mempengaruhi terhadap tipe *defect* tersebut, yaitu untuk faktor penggunaan *degrease*, interaksi antara faktor suhu dengan *degrease*, dan interaksi suhu, *degrease* dan kecepatan konveyor.
- Berarti menerima  $H_1$  (ada pengaruh signifikan terhadap tingkat *defect*)  
Faktor penggunaan sabun atau dalam proses ini menggunakan *degrease* adalah mempengaruhi untuk menghilangkan kotoran. *Degrease* bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang menempel, dan faktor ini terbukti signifikan sebagai penentu tinggi atau rendahnya part yang kotor akan terjadi.



Gambar 4.6. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor pada *Defect Kotor*

Grafik pareto diatas menunjukkan faktor yang dinilai paling memiliki pengaruh adalah interaksi antara suhu dengan *degrease*, lalu diikuti oleh faktor utama penggunaan *degrease*, dan interaksi antara penggunaan *degrease*, kecepatan konveyor dan suhu. Selain menilai dari nilai  $\alpha$  (alpha) yang diberikan, signifikansi faktor juga bisa dilihat dari nilai F yang diberikan, yaitu diantara kisaran -2.12 hingga 2.12.

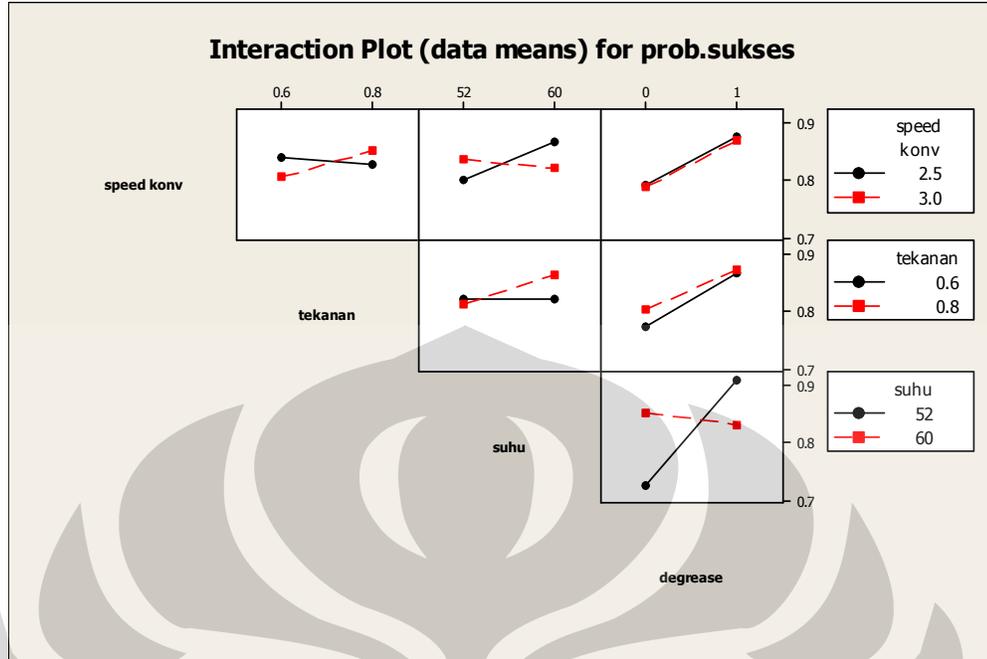


Gambar 4.7. Grafik Pengaruh Faktor Utama untuk Tipe *Defect* Kotor

Berdasarkan grafik diatas, maka hanya faktor penggunaan *degrease*-lah yang memiliki efek secara signifikan untuk mengurangi tingkat *defect*. Jika garis yang ditunjukkan pada grafik semakin menjauhi garis horizontal, maka faktor tersebut memiliki efek signifikan terhadap menghasilkan *defect*. Titik yang mendekati nilai nol (0), maka diduga faktor dengan level tersebutlah yang memiliki pengaruh untuk mengurangi *defect*.

Dengan interaksi antara faktor *degrease* dengan suhu yang tepat, juga akan mempengaruhi jumlah *defect* yang akan ditemukan. Suhu yang tepat memang diperlukan untuk menghilangkan kotoran yang menempel, terutama kotoran yang mengandung minyak dan lemak. Suhu yang panas juga dipercaya dapat mempermudah larutnya minyak dan lemak sehingga mudah diuraikan.

Pengaruh konveyor disini adalah, semakin lambat konveyor berjalan, akan memaksimalkan pembersihan part dengan kombinasi suhu panas dan *degrease* yang tepat. Sebaliknya, jika konveyor berjalan lebih cepat, maka part tidak akan terkena pembersihan secara maksimal.



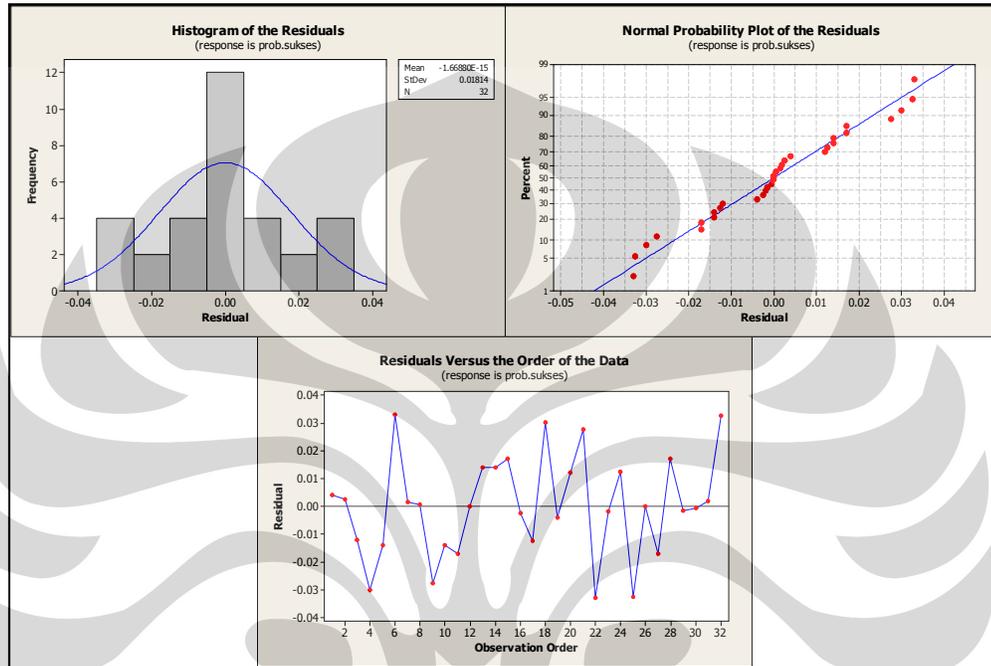
Gambar 4.8. Grafik Interaksi Tiap Faktor pada *Defect Kotor*

Grafik tersebut menunjukkan hubungan interaksi yang terjadi antar faktor. Jika garis interaksi yang terbentuk tidak sejajar, maka hal ini menandakan ada hubungan signifikan diantaranya. Sebaliknya, jika garis yang ditunjukkan bentuknya sejajar, maka tidak ditemukan faktor signifikan yang mempengaruhinya. Garis yang berpotongan satu sama lain juga mengindikasikan ada pengaruh interaksi faktor, hanya jika garis yang berpotongan menunjukkan penyimpangan yang besar, seperti yang ditunjukkan oleh interaksi antara faktor suhu dan sabun (degrease). Jika garis berpotongan tersebut tidak menyimpang jauh, maka interaksi faktornya pun dinilai tidak begitu signifikan.

#### 4.4. Analisis Tipe *Defect* “Lecet”

##### 4.4.1. Grafik Residual untuk *Defect Lecet*

Grafik di bawah ini akan menggambarkan data residual terhadap model eksperimen.



Gambar 4.9. Grafik Plot Residual untuk *Defect Lecet*

Data residual menunjukkan data yang secara normal terdistribusi dengan sempurna. Diagram pencar juga mengindikasikan hal yang sama, walaupun ada beberapa data yang terlihat mengumpul, tetapi pada umumnya persebaran data tidak terlalu jauh dari garis nol (0). Histogram yang ditunjukkan juga membentuk suatu bentuk *bell-shaped* yang berarti data terdistribusi dengan normal.

Data yang tersebar dengan merata juga didukung dengan hasil eksperimen yang memiliki hasil signifikansi di beberapa interaksi faktor yang ada, yaitu interaksi antara tekanan, suhu, penggunaan *degrease*, dan interaksi antara kecepatan konveyor dan penggunaan *degrease*.

#### 4.4.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya

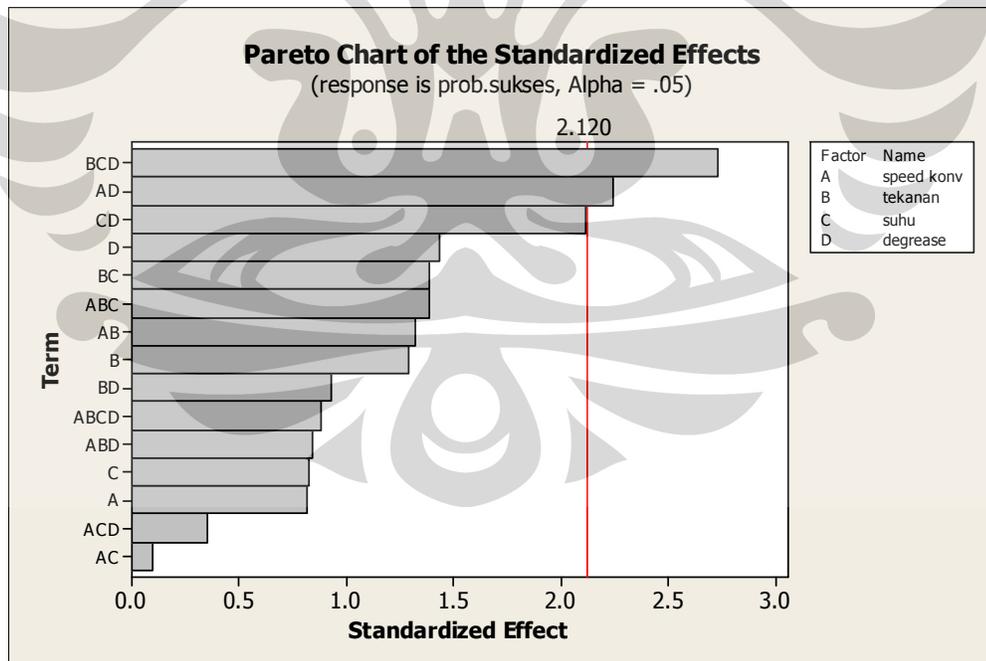
Berdasarkan tabel yang ditunjukkan di bawah ini, maka ada beberapa faktor yang mempengaruhi selama proses berlangsung.

Tabel 4.2 Faktor yang Berpengaruh dan Hasil Signifikansinya untuk Tipe *Defect* Lecet



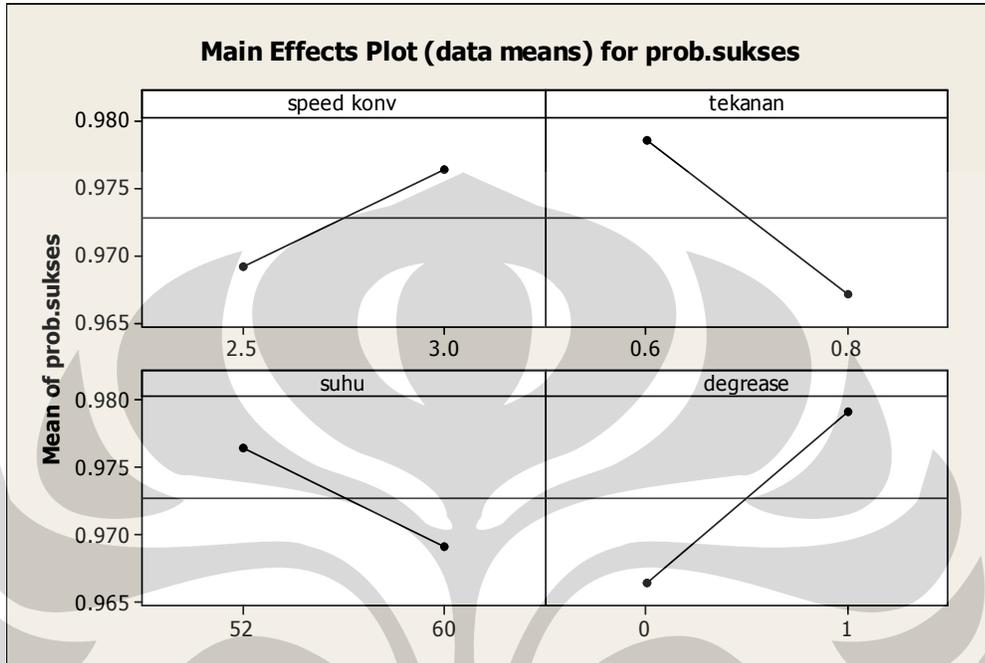
Berdasarkan hasil yang telah diolah, maka menunjukkan:

- $P\text{-value} < 0,05$ , ditemukannya faktor yang mempengaruhi terhadap tipe *defect* tersebut, yaitu interaksi antara tekanan, suhu dan *degrease*, dan interaksi antara kecepatan konveyor dan penggunaan *degrease*.
- Berarti menerima  $H_1$  (ada pengaruh signifikan terhadap tingkat *defect*), karena nilai F berada di atas kisaran -2.12 hingga 2.12.

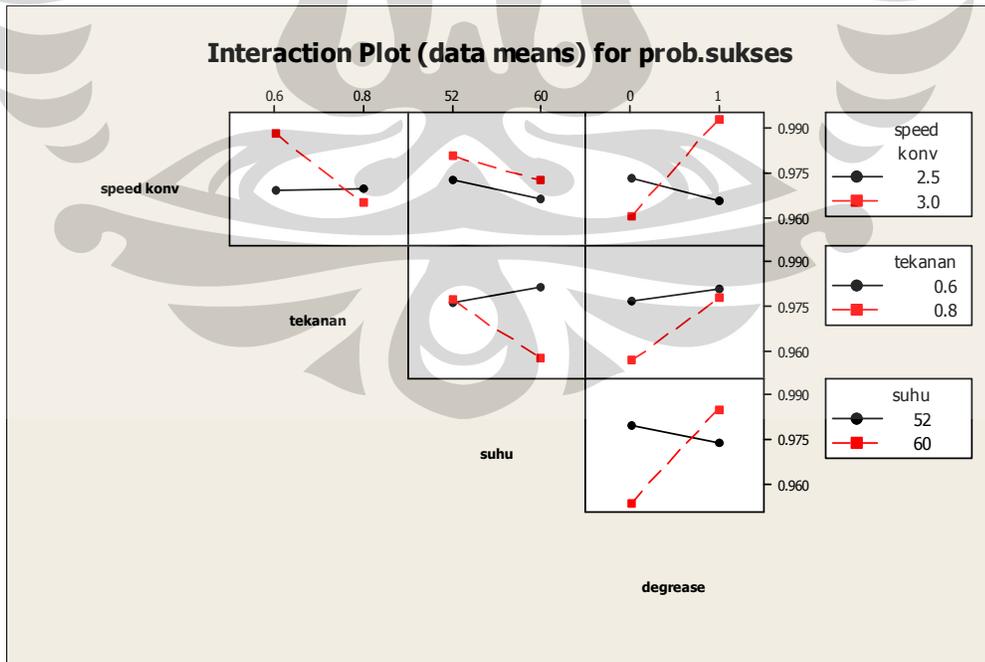


Gambar 4.10. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor dan Interaksinya untuk *Defect* Lecet

Hal ini berarti ditemukan faktor yang signifikan mempengaruhi tingkat *defect*. Berdasarkan gambar interaksi antara faktor dan plot faktor utama, maka bisa dilihat hubungan antara faktor berpengaruh.



Gambar 4.11. Grafik Pengaruh Faktor Utama untuk *Defect Lecet*



Gambar 4.12. Grafik *Interaction Plot* Antar Faktor Utama untuk *Defect Lecet*

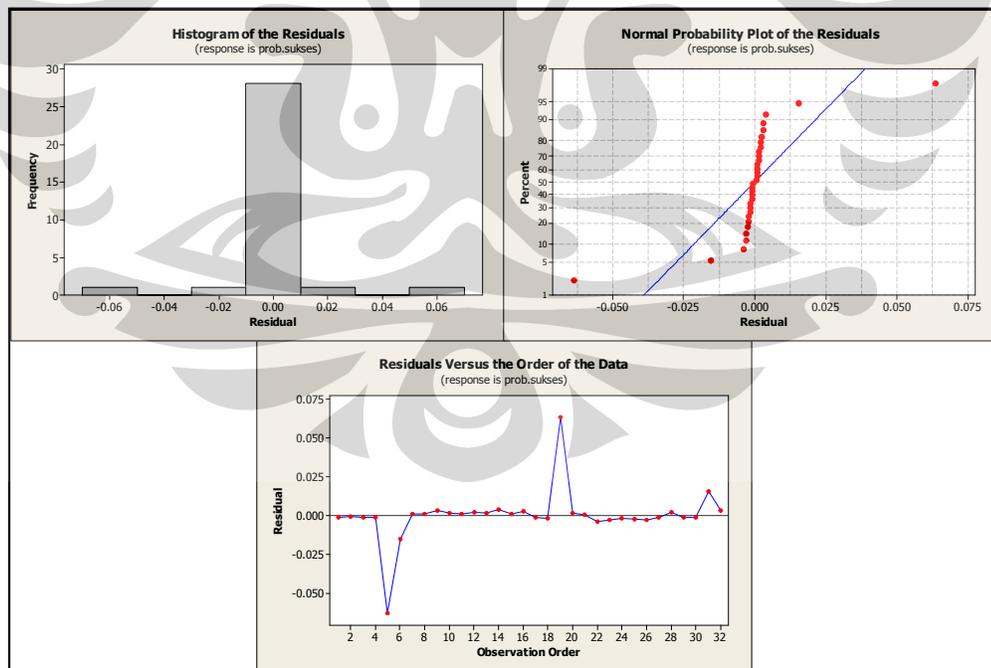
Kemungkinan besar penyebab lecet adalah part yang digantung bergesekan satu sama lain, baik bergesekan dengan part lain atau dengan *hanger* pada konveyor sendiri. Oleh karena itu faktor kecepatan konveyor juga menentukan.

Sebenarnya, kemungkinan part yang masuk ke dalam proses pre treatment juga bisa menyebabkan part saling tergores, karena part akan disemprot dengan air bertekanan tinggi sehingga mampu menyebabkan *hanger* konveyor bergoyang dan mengakibatkan gores dan lecet, sehingga diperlukan pemilihan level tekanan yang sesuai dan tidak terlalu kuat, tapi mampu membersihkan part hingga keseluruhan.

#### 4.5. Analisis Tipe Defect “Popping”

##### 4.5.2. Grafik Residual untuk *Defect Popping*

Grafik di bawah ini akan menggambarkan data residual terhadap model eksperimen.



Gambar 4.13. Grafik Plot Residual untuk *Defect Popping*

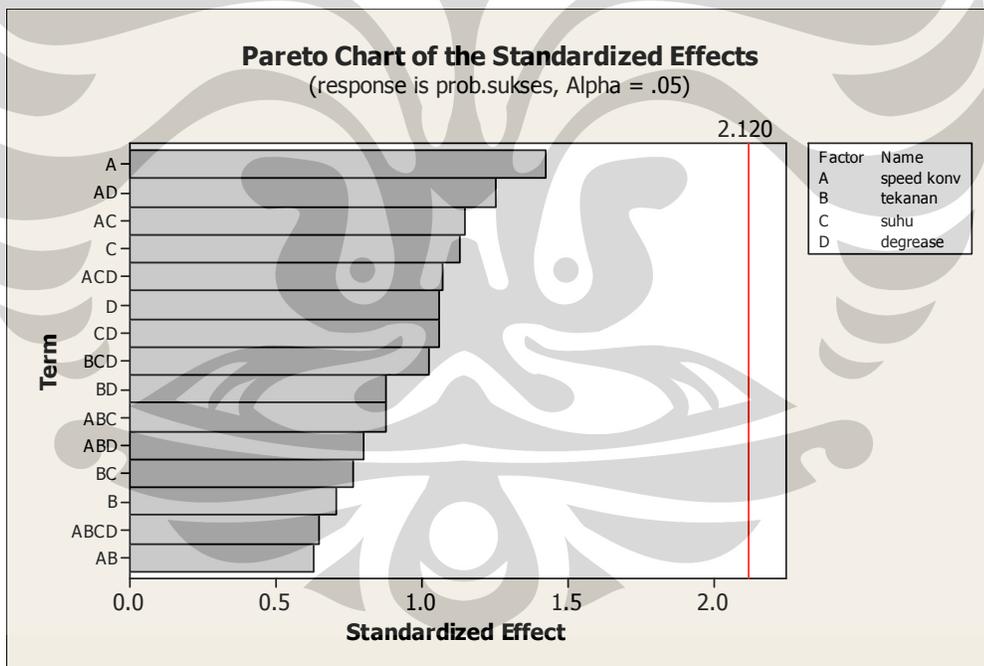
Grafik di atas menunjukkan data yang tidak terdistribusi dengan baik. Ada pengumpulan di titik tertentu pada diagram pencar, dan juga histogram yang garisnya terputus karena ada batang yang tidak menyatu dengan yang lain.

Hal ini juga mendukung hasil eksperimen yang ternyata tidak memiliki pengaruh signifikan di antara faktor yang ada. Ini berarti tidak ada faktor dan interaksi faktor yang berpengaruh terhadap tingkat *defect* yang dihasilkan.

#### 4.5.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya

Berdasarkan hasil yang telah diolah, maka menunjukkan:

- $P\text{-value} > 0,05$ , tidak ditemukan juga faktor yang mempengaruhi terhadap tipe *defect* tersebut.
- Berarti menerima  $H_0$  (tidak ada pengaruh signifikan terhadap tingkat *defect*)



Gambar 4.14. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor dan Interaksinya untuk *Defect Poping*

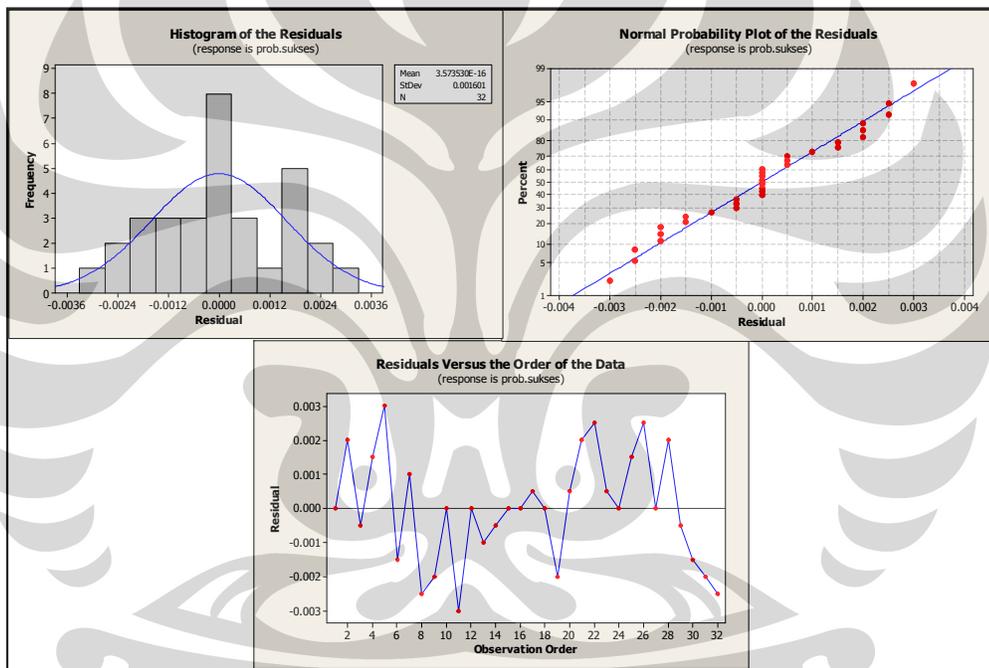
Hal ini berarti tidak ditemukan faktor yang signifikan mempengaruhi tingkat *defect*. Kemungkinan besar penyebab *poping* adalah part yang tidak kering

sempurna yang terjadi pada proses dry oven. Hal ini berarti saat part dibersihkan di proses pre treatment, part tidak bisa kering dengan sempurna sehingga pada saat pengecatan oleh operator, air yang tidak kering tersebut terlapisi oleh cat dan menimbulkan gelembung.

#### 4.6. Analisis Tipe Defect “Minyak”

##### 4.6.1. Grafik Residual untuk Defect Minyak

Grafik di bawah ini akan menggambarkan data residual terhadap model eksperimen.



Gambar 4.15. Grafik Plot Residual untuk Defect Minyak

Grafik plot *normal probability* menunjukkan data residual yang terdistribusi dengan normal. Seluruh data yang ada mendekati garis yang ada. Data residual pada diagram pencar menunjukkan data yang terdistribusi cukup normal, walaupun ada beberapa data yang cenderung mengumpul di satu level, tapi data residual memiliki nilai yang beragam.

Hal ini juga menguatkan hasil eksperimen yang ternyata memiliki faktor yang berpengaruh terhadap tingkat *defect*.

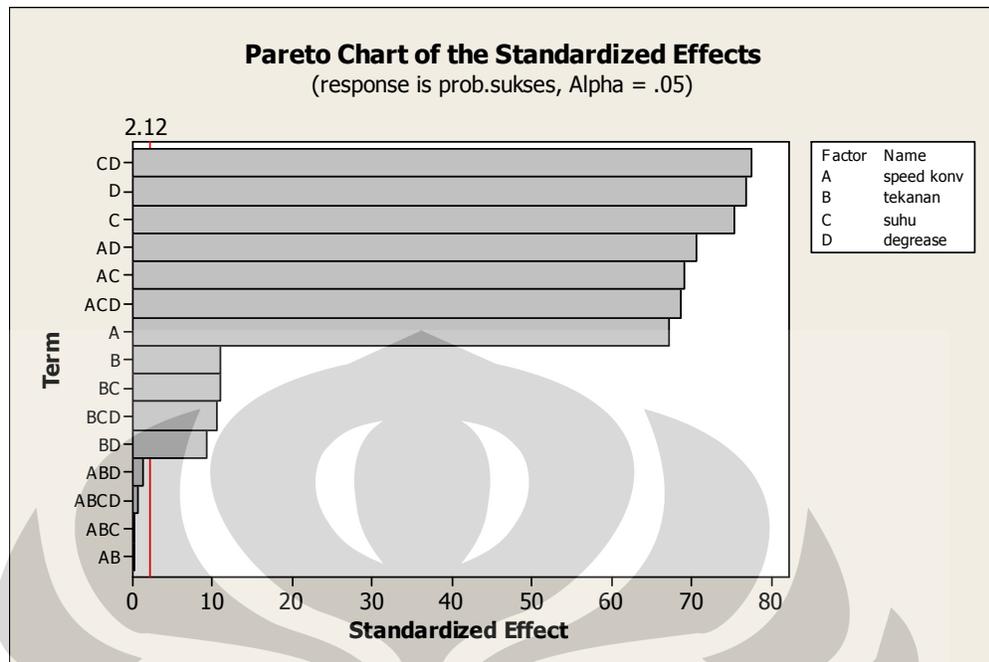
#### 4.6.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya

Berdasarkan tabel yang ditunjukkan berikut ini, maka ada beberapa faktor yang secara signifikan mempengaruhi tingkat *defect*.

Tabel 4.3 Faktor yang Berpengaruh dan Hasil Signifikansinya untuk Tipe *Defect* Minyak



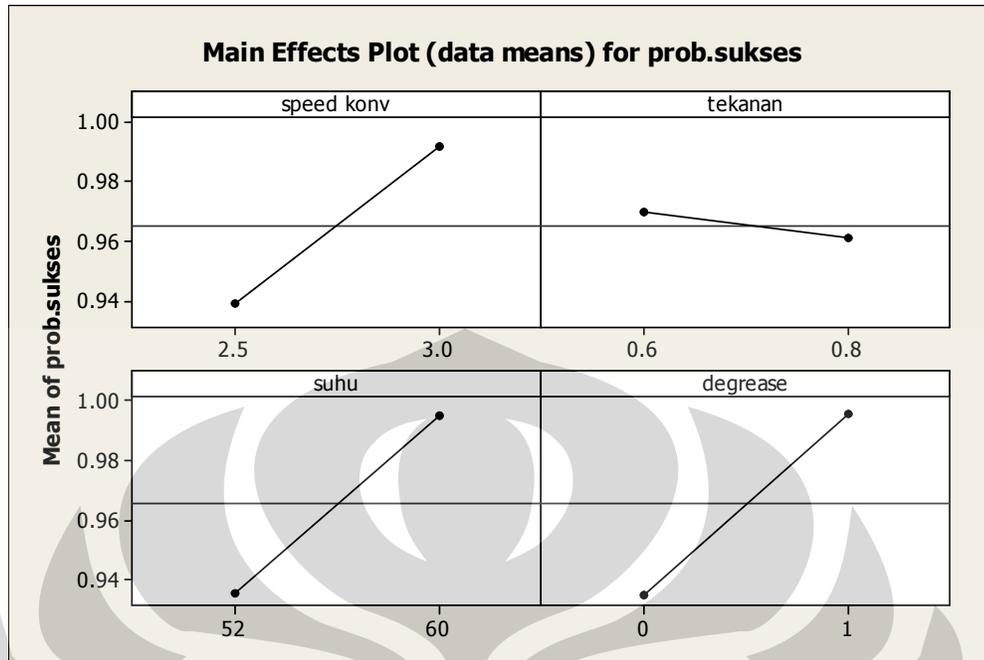
- $P\text{-value} < 0,05$ , ditemukan faktor yang mempengaruhi terhadap tipe *defect* tersebut, yaitu untuk seluruh faktor utama, interaksi antara faktor kecepatan konveyor dengan *degrease*, tekanan dengan suhu, tekanan dengan *degrease*, suhu dengan *degrease*, dan interaksi suhu, *degrease* dan kecepatan konveyor serta inetraksi tekanan, suhu, dan *degrease*.
- Berarti menerima  $H_1$  (ada pengaruh signifikan terhadap tingkat *defect*)



Gambar 4.16. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor pada *Defect* Minyak

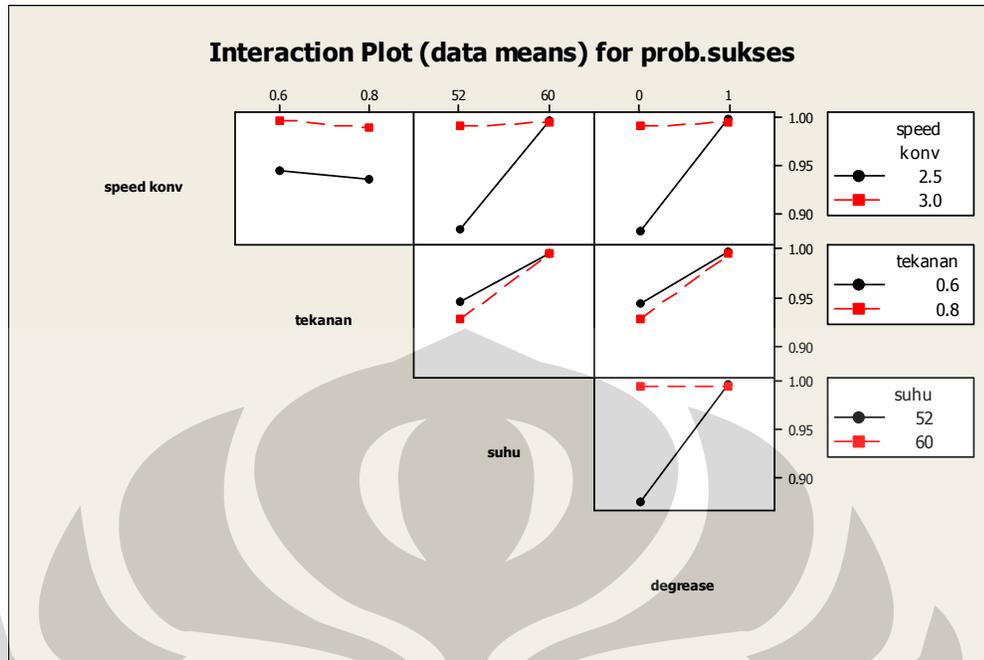
Seluruh faktor tunggal memiliki pengaruh dalam menghasilkan *defect*, yaitu kecepatan konveyor, tekanan, suhu dan penggunaan *degrease*. Sementara itu ada lima interaksi dua faktor yang mempengaruhi, dan dua interaksi tiga faktor. Dilihat dari banyaknya interaksi yang ada, maka bisa dikatakan seluruh faktor utama berpengaruh. Yang diperlukan untuk mencari kombinasi yang optimal untuk mengurangi *defect* yang haruslah menggabungkan seluruh faktor yang ada.

Kemungkinan seluruh interaksi yang ada memiliki pengaruh yang signifikan juga bisa terjadi, mengingat hanya empat faktor interaksi yang tersisa yang memiliki nilai F yang hampir mendekati.



Gambar 4.17. Grafik Pengaruh Faktor Utama untuk Tipe *Defect* Minyak

Dari gambar diatas, maka faktor yang memiliki pengaruh besar antara lain kecepatan konveyor, suhu dan penggunaan *degrease*. Hal ini dapat dilihat dari garis yang ditunjukkan, jika semakin menjauhi garis horizontal yang ada maka menunjukkan semakin besar pengaruhnya karena penyimpangan garis yang terjadi semakin besar pula. Garis yang ditunjukkan oleh faktor tekanan mendekati garis horizontal. Akan tetapi, berdasarkan penghitungan maka faktor tekanan juga memiliki pengaruh, walaupun pengaruh yang diberikan tidak semutlak faktor yang lain.



Gambar 4.18. Grafik Interaksi Tiap Faktor pada *Defect* Minyak

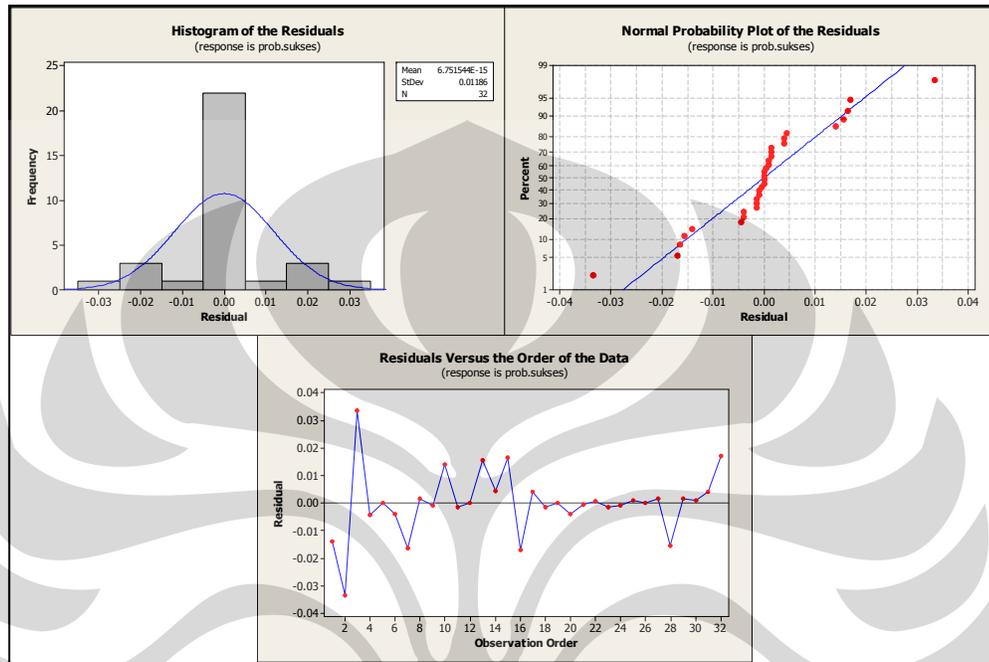
Gambar grafik diatas menunjukkan interaksi yang secara signifikan berpengaruh adalah antara lain kecepatan konveyor dengan suhu, kecepatan konveyor dengan penggunaan degrease, dan suhu dengan penggunaan degrease.

Kombinasi antara ketiga faktor tersebut memang mempengaruhi tingkat *defect* yang ada. Minyak memang dapat dihilangkan dengan kombinasi air panas dan penggunaan sabun, yang dalam hal ini diganti dengan degrease. Faktor kecepatan konveyor akan menentukan apakah pembersihan part telah sempurna atau belum. Kecepatan konveyor yang lebih cepat atau lebih lambat akan memberikan hasil yang berbeda.

## 4.7. Analisis Tipe *Defect* “Bintik Air”

### 4.7.1. Grafik Residual untuk *Defect* Bintik Air

Grafik di bawah ini akan menggambarkan data residual terhadap model eksperimen.



Gambar 4.19. Grafik Plot Residual untuk *Defect* Bintik Air

Grafik di atas menunjukkan data yang terdistribusi dengan normal, karena data residual pada grafik plot *normal probability* mendekati garis normal. Diagram pencar juga menunjukkan hal yang sama, karena data residual cukup tersebar dengan merata. Histogram pun juga menunjukkan data yang terdistribusi dengan baik, karena kurva yang ada hampir menunjukkan bentuk *bell-shaped*.

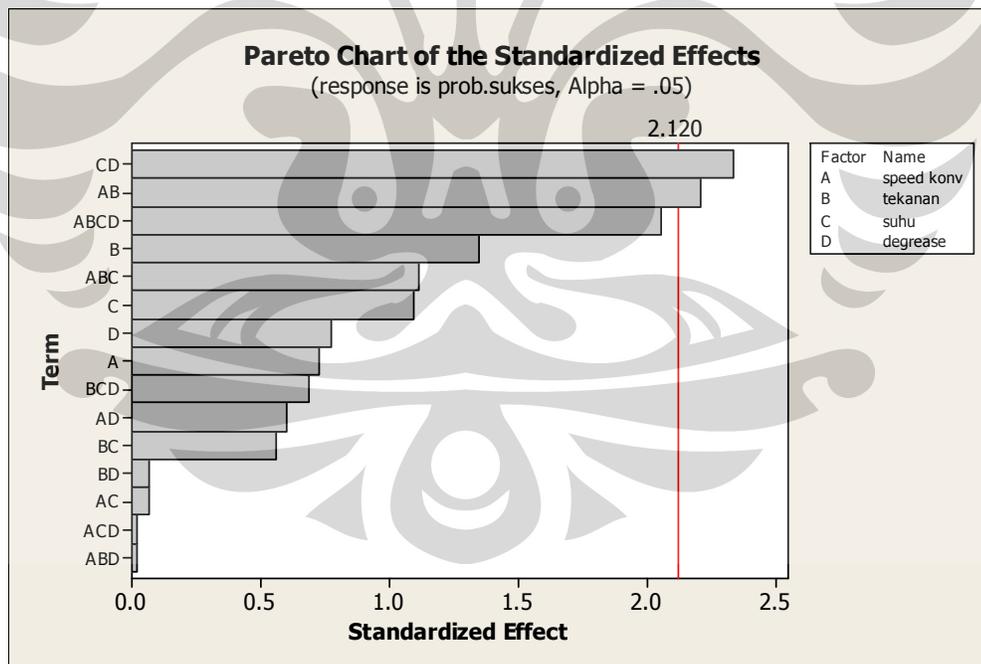
Hasil data residual yang terdistribusi dengan normal semakin menguatkan hasil eksperimen yang membuktikan ada pengaruh yang signifikan antara faktor yang diuji dengan tingkat *defect* yang dihasilkan. Interaksi faktor yang memiliki pengaruh dalam memberikan *defect* antara lain interaksi kecepatan konveyor dengan tekanan semprot, dan interaksi suhu dengan penggunaan degrease. Secara keseluruhan, seluruh faktor yang ada akan memberikan kontribusi untuk mencapai perbaikan yang diinginkan, walaupun tidak ada faktor utama yang dominan memiliki pengaruh.

Kombinasi untuk proses improvement akan menggabungkan seluruh faktor yang ada, karena semua faktor terbukti memiliki pengaruh yang signifikan, walaupun tidak ada faktor utama yang dominan.

#### 4.7.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya

Pada tipe *defect* yang satu ini, tidak ditemukan faktor utama yang secara signifikan berpengaruh terhadap tingkat *defect* yang dihasilkan. Akan tetapi, ada dugaan bahwa interaksi antar faktorlah yang justru membuatnya signifikan untuk mempengaruhi tingkat *defect* yang ada.

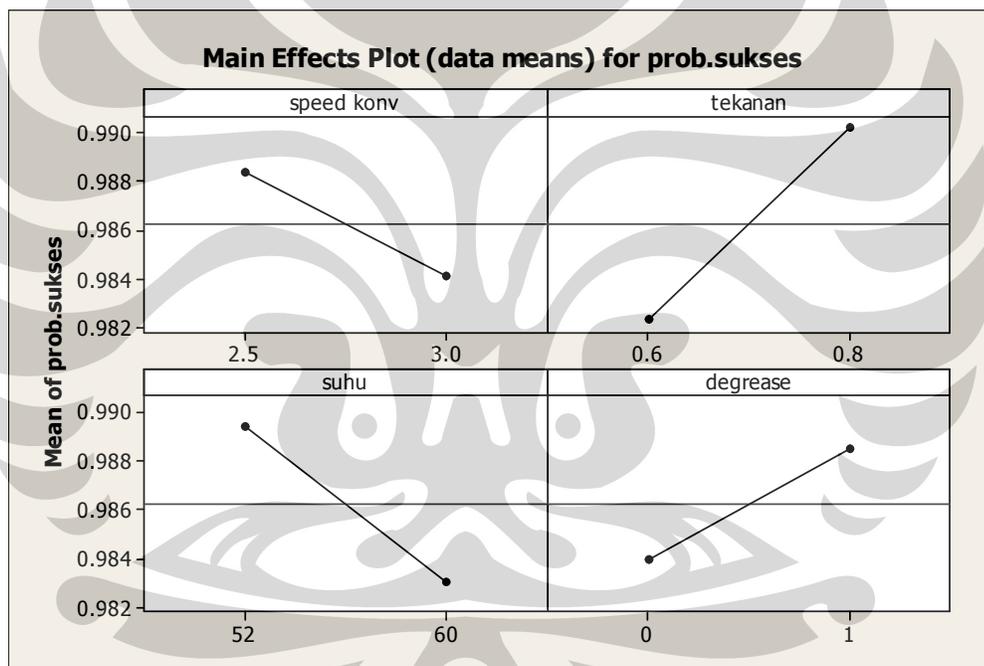
Tabel 4.4 Interaksi Faktor yang Berpengaruh dan Hasil Signifikansinya untuk Tipe *Defect* Bintik Air



Gambar 4.20. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor pada *Defect* Bintik Air

- $P\text{-value} < 0,05$ , ditemukan interaksi faktor yang mempengaruhi terhadap tipe *defect* tersebut, yaitu suhu dengan *degrease* dan kecepatan konveyor dengan tekanan.
- Berarti menerima  $H_1$  (ada pengaruh signifikan terhadap tingkat *defect*)

Grafik pareto di atas menunjukkan ada dua interaksi faktor saja yang secara signifikan mempengaruhi tingkat defect, yaitu interaksi antara suhu dan penggunaan *degrease*. Selain mengacu pada nilai p-value, maka signifikansi pada faktor dan interaksinya juga bisa dilihat dari besar nilai F yang berada antara kisaran -2.12 hingga 2.12.



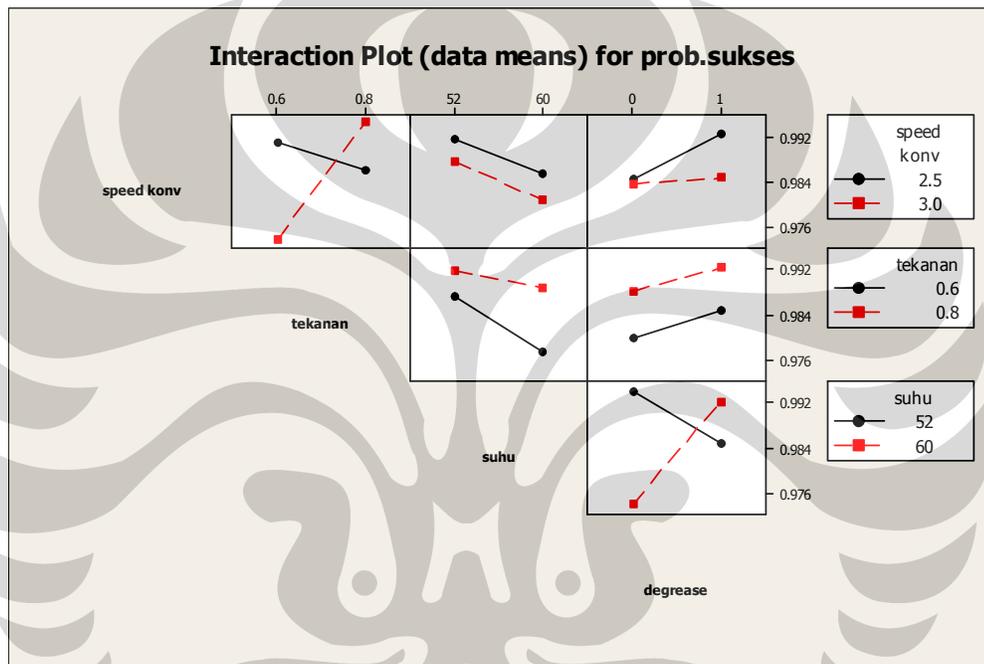
Gambar 4.21. Grafik Pengaruh Faktor Utama untuk Tipe *Defect* Bintik Air

Sedangkan berdasarkan grafik *main effects plot* diatas, maka terlihat ada dua faktor utama yang kemungkinan berpengaruh, akan tetapi berdasarkan hasil yang terlihat dari besarnya  $p\text{-value}$  yang ditunjukkan, maka tidak ada faktor tunggal yang dengan kuat mempengaruhi tingkat *defect*.

Untuk melihat faktor interaksi yang memiliki pengaruh secara signifikan, maka bisa dilihat dari *interaction plot* di bawah. Faktor-faktor yang memiliki

interaksi hanyalah antara suhu dengan penggunaan *degrease*, dan kecepatan konveyor dengan tekanan, karena garis interaksi menunjukkan penyimpangan yang paling besar. Untuk menentukan hasil yang lebih akurat, maka sebaiknya hasil mengacu kembali kepada keluaran pengolahan data yang didapat, apakah nilai *p-value* yang dihasilkan signifikan atau tidak.

Sedangkan untuk interaksi faktor yang lain, maka hasilnya tidak ada yang signifikan karena ada yang menunjukkan garis yang sejajar atau penyimpangan garisnya kurang besar.

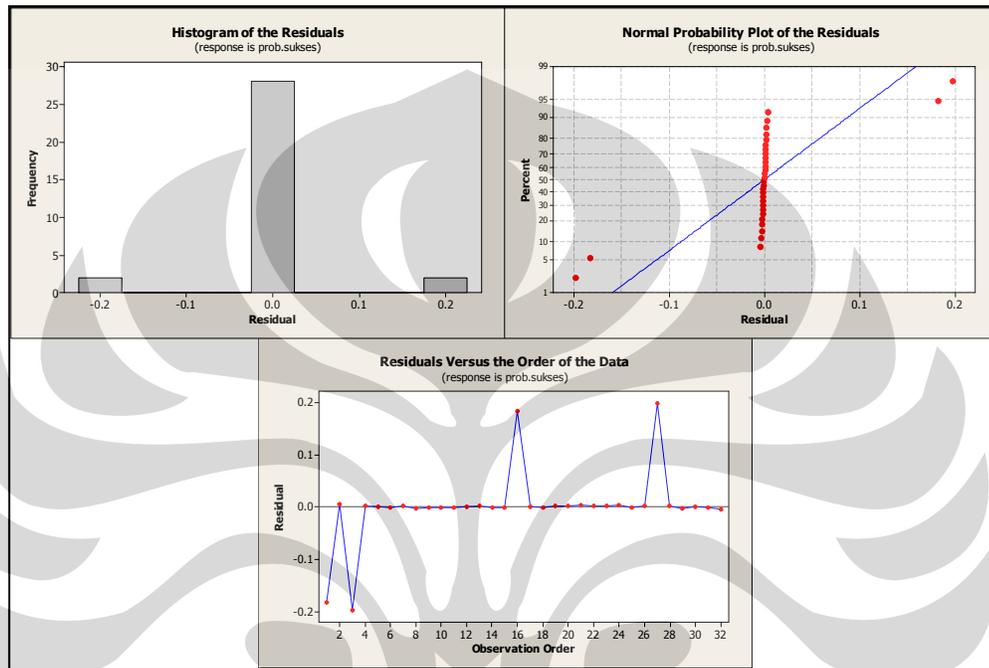


Gambar 4.22. Grafik Interaksi Tiap Faktor pada *Defect* Bintik Air

#### 4.8. Analisis Tipe Defect “Dust”

##### 4.8.2. Grafik Residual untuk Defect Dust

Grafik di bawah ini akan menggambarkan data residual terhadap model eksperimen.



4.23. Grafik Plot Residual untuk Defect Dust

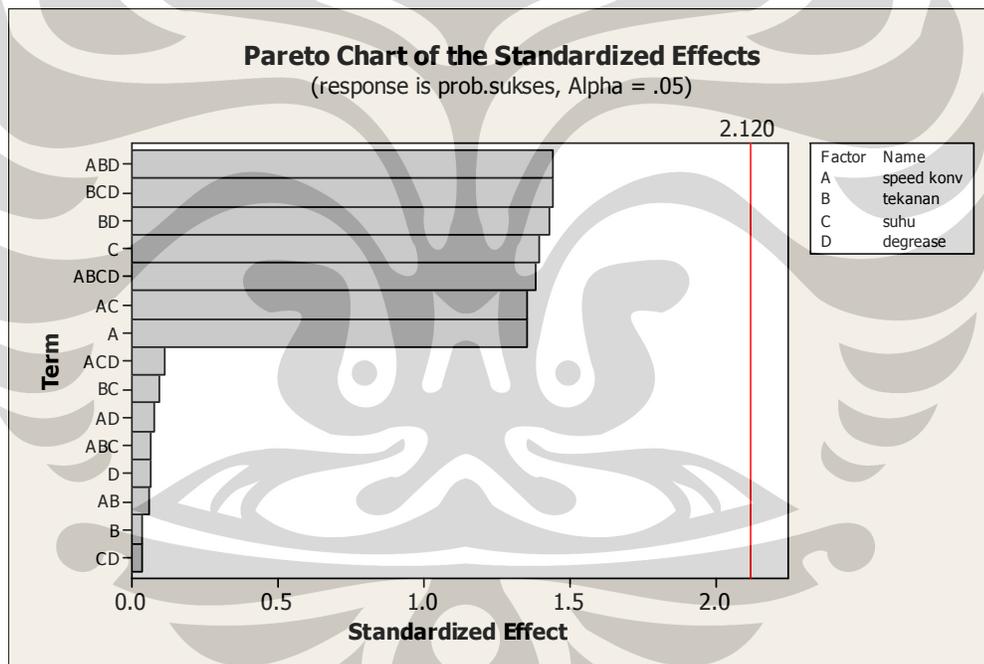
Data residual menunjukkan data yang persebarannya tidak terdistribusi dengan normal. Hal ini karena dipengaruhi oleh data yang terlalu jauh kisarannya sehingga menjadi data yang *outlier*. Hal ini bisa memberi kesimpulan untuk *defect* ini tidak berhasil ditemukan faktor yang mempengaruhinya.

Data residual yang tidak terdistribusi dengan normal ini bisa disebabkan karena kemungkinan munculnya *defect* untuk tipe ini sangat jarang, sehingga data yang muncul tidak terjadi di setiap eksperimen. Data yang kemudian muncul menjadikannya semacam outlier karena data yang muncul sebelumnya bernilai nol (0).

#### 4.8.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya

Dalam eksperimen yang dilakukan terhadap tipe *defect* yang ini, hanya terdapat dua eksperimen yang memiliki *defect* tersebut, dan keduanya dalam jumlah yang besar, sehingga ketika dilakukan analisis atas signifikansi faktornya, terdapat data outlier sehingga data signifikansinya tidak terbukti dan menerima  $H_0$  untuk seluruh faktor dan interaksi faktor yang ada, maka berdasarkan data residual yang ada tidak terdistribusi dengan normal.

- $P\text{-value} > 0,05$ , tidak ditemukan juga faktor yang mempengaruhi terhadap tipe *defect* tersebut.
- Berarti menerima  $H_0$  (tidak ada pengaruh signifikan terhadap tingkat *defect*)



Gambar 4.24. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor pada *Defect Dust*

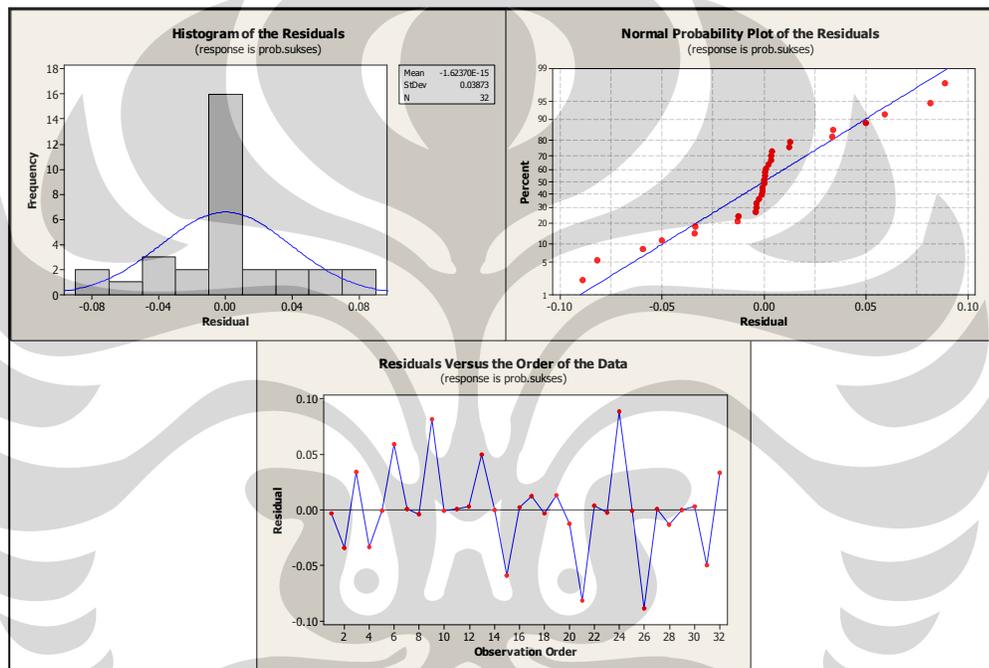
Hal ini mungkin terjadi karena tipe *defect* ini termasuk jarang terjadi. Kemungkinan besar ada masalah lain yang sedang terjadi saat eksperimen sedang berlangsung karena data yang dihasilkan memiliki *outlier*. Bisa jadi hal ini disebabkan oleh kemampuan operator, sehingga pada saat yang bersamaan bisa menghasilkan part yang *defect* dalam jumlah yang besar sekaligus, sedangkan data

yang dihasilkan pada urutan observasi yang lain hasilnya sebagian besar bernilai nol (0).

#### 4.9. Analisis Tipe *Defect* “Cat Meleleh”

##### 4.9.2. Grafik Residual untuk *Defect* Cat Meleleh

Grafik di bawah ini akan menggambarkan data residual terhadap model eksperimen.



Gambar 4.25. Gambar Plot Residual untuk *Defect* Cat Meleleh

Grafik plot *normal probability* menunjukkan data residual yang terdistribusi dengan normal karena mendekati garis normal. Diagram pencar juga menunjukkan hal yang sama, yaitu tersebar secara merata karena data yang ada tidak mengindikasikan outlier dan tidak berada jauh dari garis nilai nol(0).

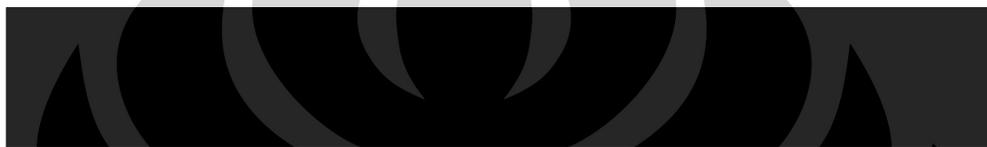
Data residual yang terdistribusi dengan normal juga mendukung adanya faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap tingkat *defect* yang ada. Faktor dan interaksi faktor yang berpengaruh antara lain kecepatan konveyor, suhu dengan penggunaan *degrease*, dan kombinasi interaksi kecepatan konveyor, suhu dan penggunaan *degrease*. Secara keseluruhan, dapat ditarik kesimpulan

bahwa faktor yang berpengaruh hanya ada tiga, yaitu kecepatan konveyor, suhu, dan penggunaan *degrease*.

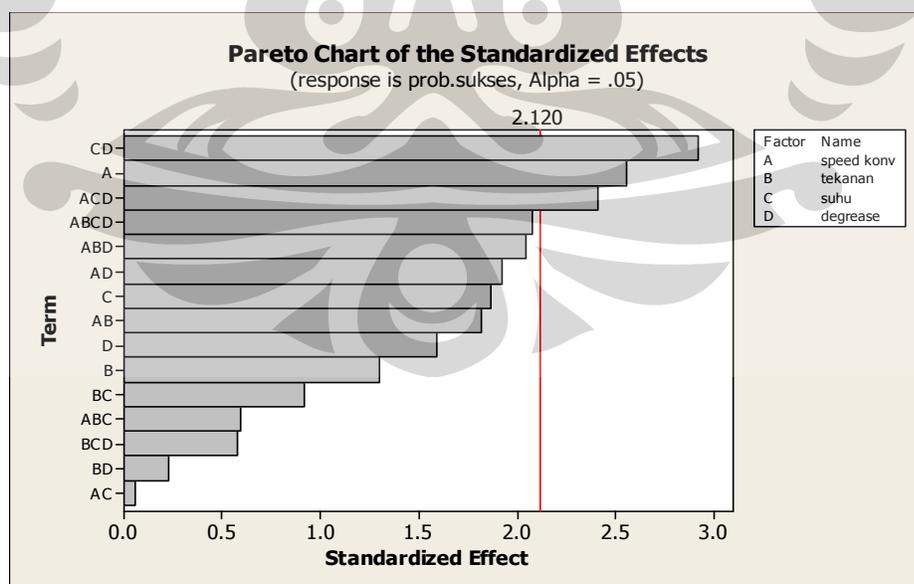
#### 4.9.2. Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksinya

Ada beberapa faktor tunggal dan interaksi faktor yang secara signifikan mempengaruhi tingkat *defect* yang ada.

Tabel 4.5 Interaksi Faktor yang Berpengaruh dan Hasil Signifikansinya untuk Tipe *Defect* Cat Meleleh



- $P\text{-value} < 0,05$ , ditemukan faktor utama dan interaksi faktor yang mempengaruhi terhadap tipe *defect* tersebut, yaitu kecepatan konveyor, interaksi antara suhu dengan *degrease*, dan interaksi antara kecepatan konveyor, suhu dan *degrease*.
- Berarti menerima  $H_1$  (ada pengaruh signifikan terhadap tingkat *defect*)

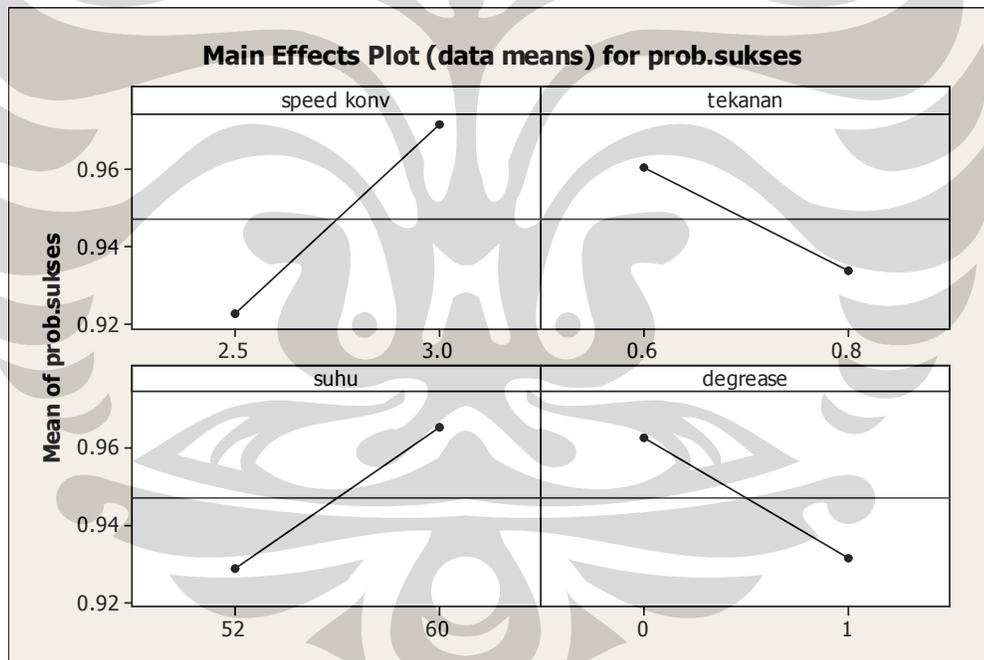


Gambar 4.26. Grafik Pareto Tingkat Pengaruh Tiap Faktor pada *Defect* Cat Meleleh

Grafik pareto diatas menunjukkan faktor-faktor dan interaksi faktor yang memiliki pengaruh terbesar. Faktor yang memiliki pengaruh secara signifikan adalah kecepatan konveyor, suhu dengan *degrease*, dan kecepatan konveyor, suhu dan *degrease*. Selain mengacu pada *p-value* yang signifikan berada di bawah 0.05, bisa juga dilihat pada grafik pareto di atas yang menunjukkan nilai F berada di luar rentang -2.12 hingga 2.12.

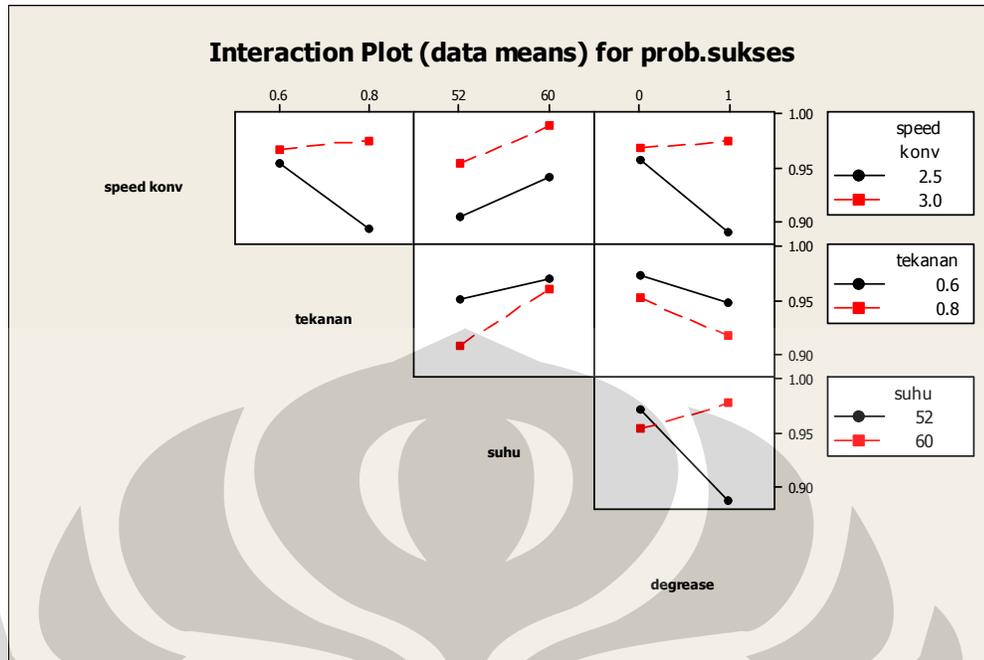
Gambar grafik di bawah ini akan menunjukkan pengaruh faktor-faktor tunggal terhadap percobaan. Semakin menyimpang garis dari posisi horizontal, maka semakin signifikan faktor tersebut. Titik terendah menunjukkan level dari faktor tersebut yang bisa menghasilkan *defect* rendah.

Walaupun ada beberapa faktor yang menunjukkan penyimpangan yang sama besar dengan yang lain, maka untuk memilihnya pun mengacu kembali pada nilai F dan *p-value* yang didapat.



Gambar 4.27 Grafik Pengaruh Faktor Utama untuk Tipe *Defect* Cat Meleleh

Gambar grafik di bawah ini akan menunjukkan interaksi antara faktor yang berpengaruh.



Gambar 4.28. Grafik Interaksi Tiap Faktor pada Tipe *Defect* Cat Meleleh

Grafik di atas menunjukkan interaksi yang signifikan pada suhu dan penggunaan *degrease*. Walaupun penyimpangan garis yang ditunjukkan pada faktor kecepatan konveyor dengan tekanan semprot dan kecepatan konveyor dengan *degrease* sama besar, akan tetapi berdasarkan nilai  $F$  dan  $p$ -value tetap mengacu pada hanya suhu dan *degrease* saja. Sedangkan interaksi tiga faktor didapat dengan kombinasi kecepatan konveyor, suhu dan penggunaan *degrease*.

#### 4.2. Kombinasi Optimal untuk *Improvement* (Response Optimizer) dan Grafik *Contour Plot*

Setelah mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap tingkat *defect* yang terjadi, maka selanjutnya dilakukan tahap mencari kombinasi yang tepat untuk mencari kombinasi yang tepat sebagai upaya mengurangi tingkat *defect* yang ada.

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, maka hanya akan ada lima kombinasi *improvement* berdasarkan signifikansi faktor yang telah ditemukan, yaitu untuk *defect* kotor, lecet, minyak, bintik air, dan cat meleleh.

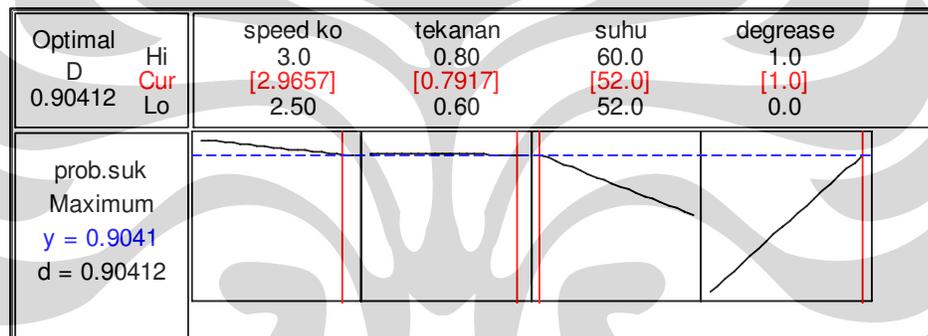
Grafik plot kontur juga memberikan kombinasi untuk memaksimalkan pengaruh interaksi dua faktor sekaligus mendukung kombinasi terbaik pada grafik

*response optimizer*. Di bawah ini akan diberikan grafik kontur terhadap tipe defect yang secara signifikan terbukti memiliki pengaruh. Grafik kontur juga akan memberikan kisaran nilai kombinasi untuk memaksimalkan hasil yang ada, selain yang telah diberikan oleh grafik *response optimizer*.

#### 4.2.1. Terhadap *Defect Kotor*

##### 4.2.1.1. *Response Optimizer* untuk *Defect Kotor*

Hampir bisa dipastikan bahwa semua faktor yang ada memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat *defect* yang dihasilkan. Berikut ini adalah hasil kombinasi yang bisa meminimalisir tingkat *defect* yang muncul untuk tipe *defect* tersebut.



Gambar 4.29 *Response Optimizer* untuk *Defect Kotor*

Tabel 4.6 Hasil Interpretasi *Response Optimizer* untuk *Defect Kotor*

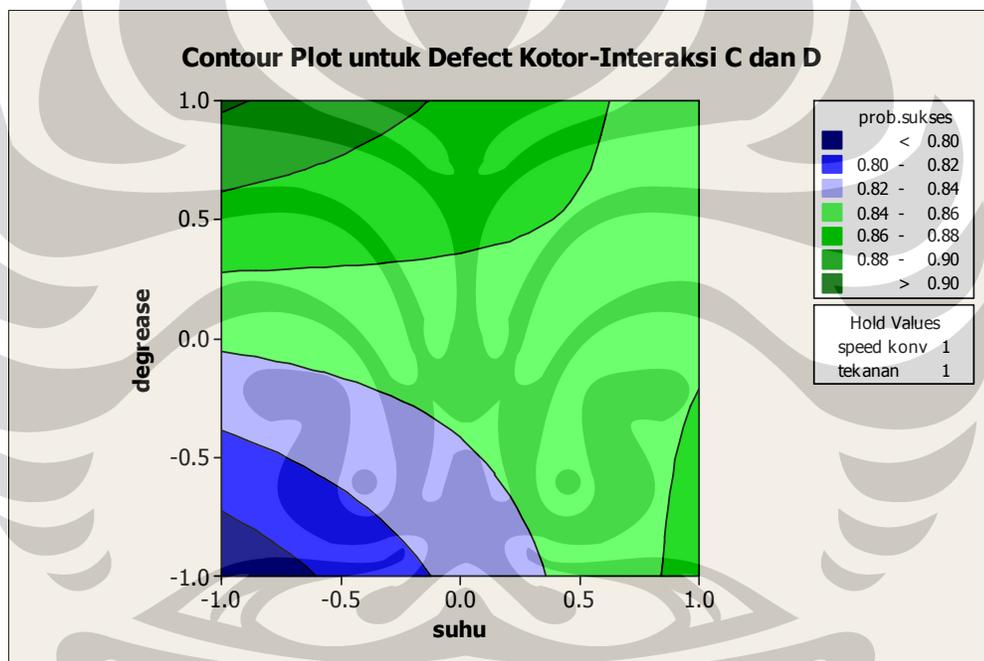


Dari data diatas, maka sebaiknya pada proses pre treatment, mesin diatur dengan referensi tabel di atas. Nilai  $y$  merupakan nilai prediksi probabilitas sukses yang diharapkan terjadi dengan adanya kombinasi tersebut. Penggunaan kecepatan konveyor adalah 3 meter/mnt karena level yang digunakan adalah 2,5 dan 3. Tekanan semprot yang dipilih adalah 0.8 psi sesuai dengan level yang digunakan selama percobaan, sementara suhu air panas yang diinginkan adalah

52°C. sementara itu, penggunaan *degrease* harus dipilih sebagai salah satu bahan yang bisa menghilangkan kotoran yang bersifat seperti minyak dan lemak.

#### 4.2.1.2. Grafik *Contour Plot* untuk *Defect Kotor*

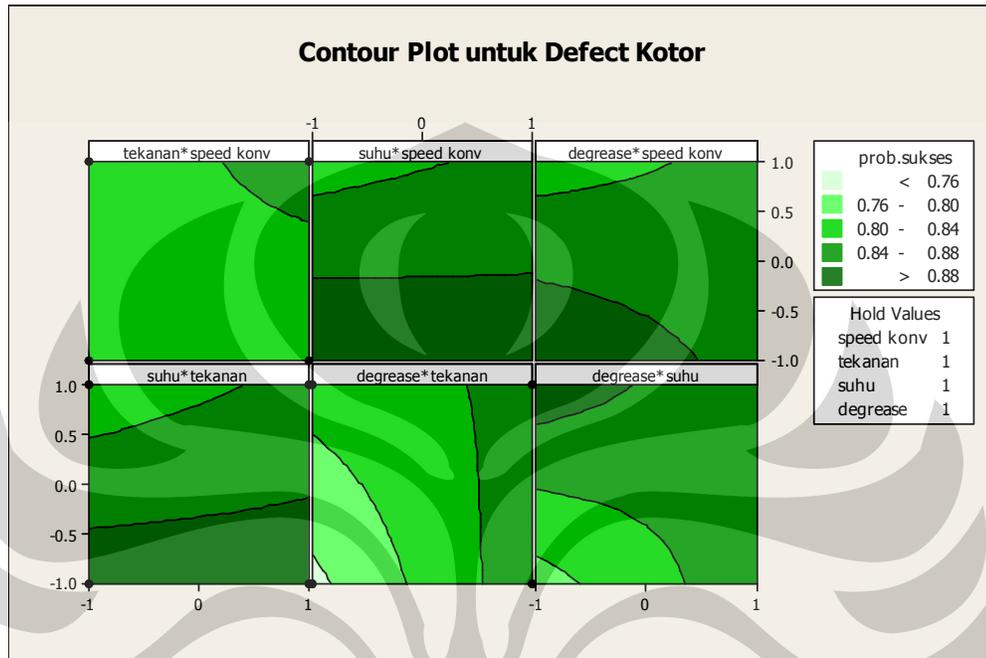
Grafik *pengoptimasi respon* memberikan kombinasi optimum berupa kecepatan konveyor memilih level +1 (3 meter/mnt), tekanan semprot memilih level +1 (0.8 psi), suhu air panas memilih level -1 (52°C), dan menggunakan *degrease* level +1 (yes). Dengan plot kontur di bawah ini, maka akan terlihat kombinasi lainnya yang bisa mengoptimalkan hasil eksperimen.



Gambar 4.30. *Contour Plot* untuk Interaksi Faktor Suhu dan *Degrease* pada *Defect Kotor*

Berdasarkan hasil signifikansi, maka interaksi faktor yang secara signifikan mempengaruhi adalah antara suhu dan *degrease*. Gambar di atas menunjukkan area yang memprediksikan probabilitas yang akan dicapai dengan kombinasi suhu dan *degrease* hanya ada satu, yaitu saat suhu berada pada level -1 (52°C) dan saat penggunaan *degrease* berada pada level +1 (yes). hal ini dengan keadaan kecepatan konveyor dan tekanan berada pada level yang sama sesuai

dengan kombinasi pada response optimizer. Gambar di bawah ini akan memberikan interaksi antara dua faktor lainnya yang memungkinkan untuk dikombinasikan mencapai hasil yang optimal.

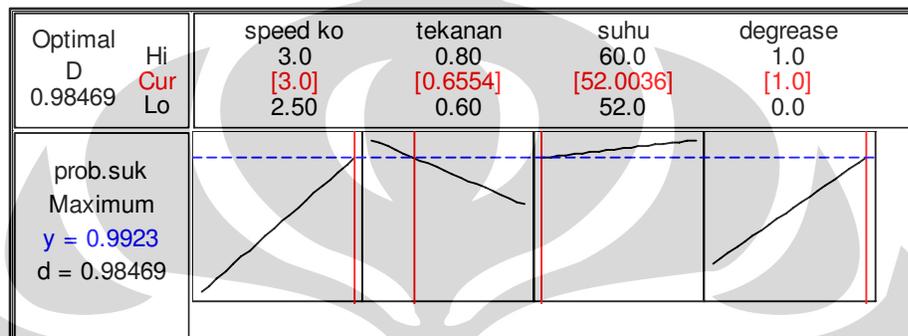


Gambar 4.31. *Contour Plot* untuk *Defect Kotor* dan Interaksi Faktornya

#### 4.2.2. Terhadap *Defect Lecet*

##### 4.2.2.1. *Response Optimizer* untuk *Defect Lecet*

Faktor yang berpengaruh pada tipe *defect* ini antara lain interaksi faktor kecepatan konveyor dengan penggunaan *degrease*, dan interaksi tekanan, suhu, dan penggunaan *degrease*. Berdasarkan interaksi yang ada, maka secara tidak langsung semua faktor harus dikombinasikan untuk menghasilkan yang terbaik.



Gambar 4.32. *Response Optimizer* untuk *Defect Lecet*

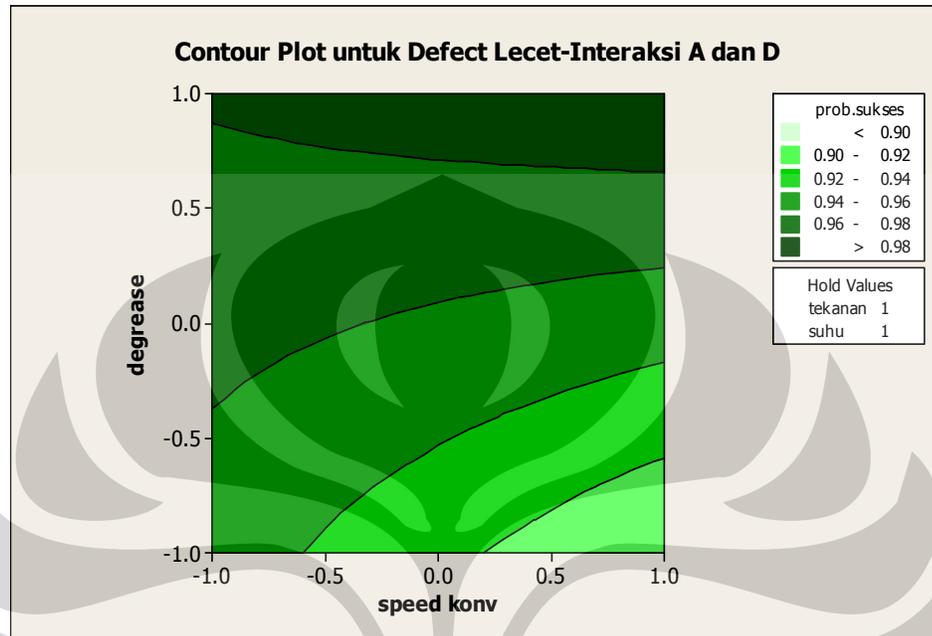
Tabel 4.7 Hasil Interpretasi *Response Optimizer* untuk *Defect Lecet*

(The content of this table is obscured by a black box in the original image.)
---

Berbeda dengan *defect* kotor, maka *defect* lecet memiliki kombinasi yang berbeda pada penggunaan suhu dan tekanannya. Dengan kombinasi seperti di atas, maka nilai probabilitas sukses yang diharapkan terjadi adalah  $y = 0.9923$  dengan kombinasi faktornya menggunakan kecepatan konveyor di level 3 meter/mnt, tekanan semprot angin sebesar 0.6 psi, suhu air panasnya adalah 52°C dan menggunakan *degrease* pada proses pre treatment-nya.

#### 4.2.2.2. Grafik *Contour Plot* untuk *Defect Lecet*

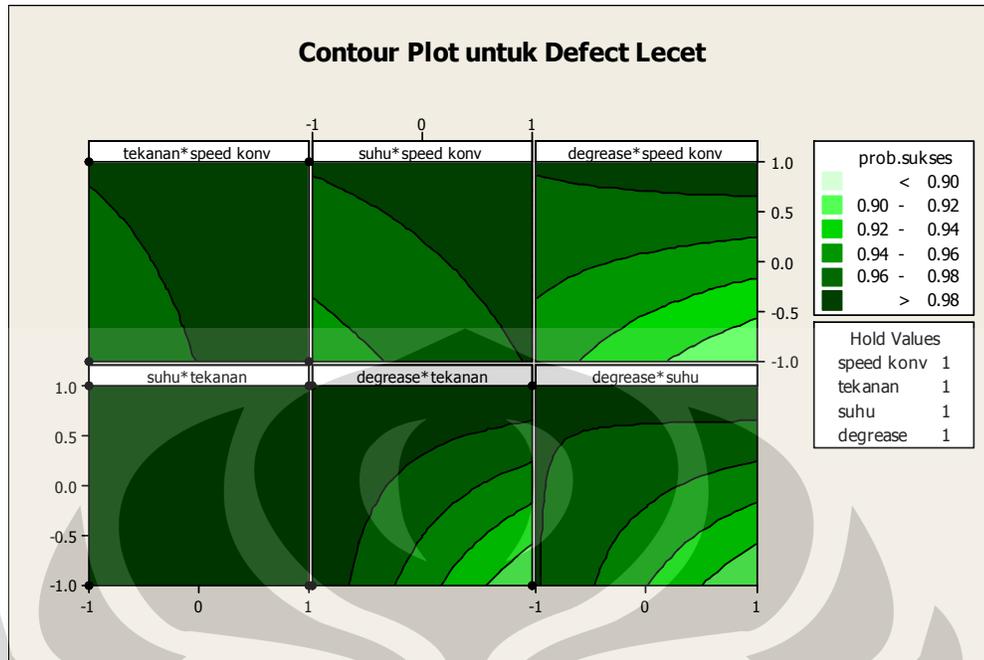
Grafik di bawah ini merupakan interaksi dua faktor yang secara signifikan mempengaruhi tingkat *defect* pada part.



Gambar 4.33. *Contour Plot* untuk Interaksi Kecepatan Konveyor dengan Penggunaan *Degrease* pada *Defect Lecet*

Grafik *pengoptimasi respon* menunjukkan, kombinasi terbaik untuk mengurangi *defect* lecet adalah kecepatan konveyor dengan level +1 (3 meter/mnt), tekanan dengan level -1 (0.6 psi), suhu dengan level -1 (52°C) dan penggunaan *degrease* dengan +1 (yes). Grafik di atas menunjukkan interaksi faktor yang signifikan mempengaruhi. Gambar tersebut menunjukkan, untuk mencapai probabilitas terbaik maka bisa menggunakan kedua level konveyor, yaitu kecepatan 3 meter/mnt atau 2.5 meter/mnt dengan penggunaan *degrease* tetap pada level +1 (yes).

Grafik dibawah ini akan memberikan kombinasi interaksi faktor untuk mencapai tingkat keberhasilan yang diinginkan.

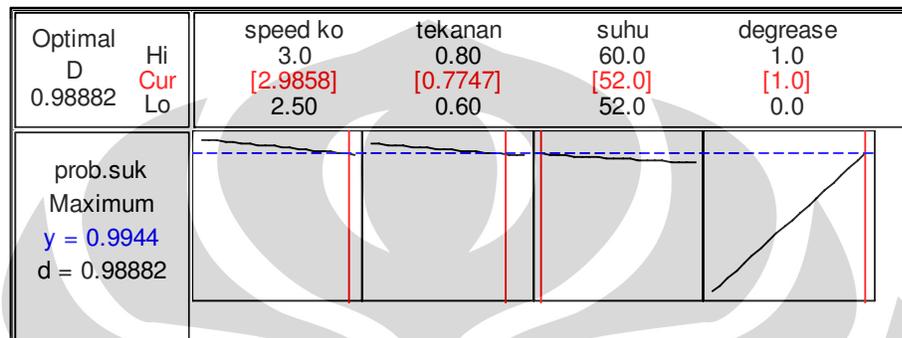


Gambar 4.34. Contour Plot untuk Defect Lecet dan Interaksi Faktornya

### 4.2.3. Terhadap *Defect* Minyak

#### 4.2.3.1. *Response Optimizer* untuk *Defect* Minyak

Terdapat begitu banyak interaksi faktor yang mempengaruhi dalam *defect* minyak tersebut, maka bisa dipastikan seluruh faktor yang ada akan ditentukan kombinasinya agar menghasilkan *defect* yang rendah.



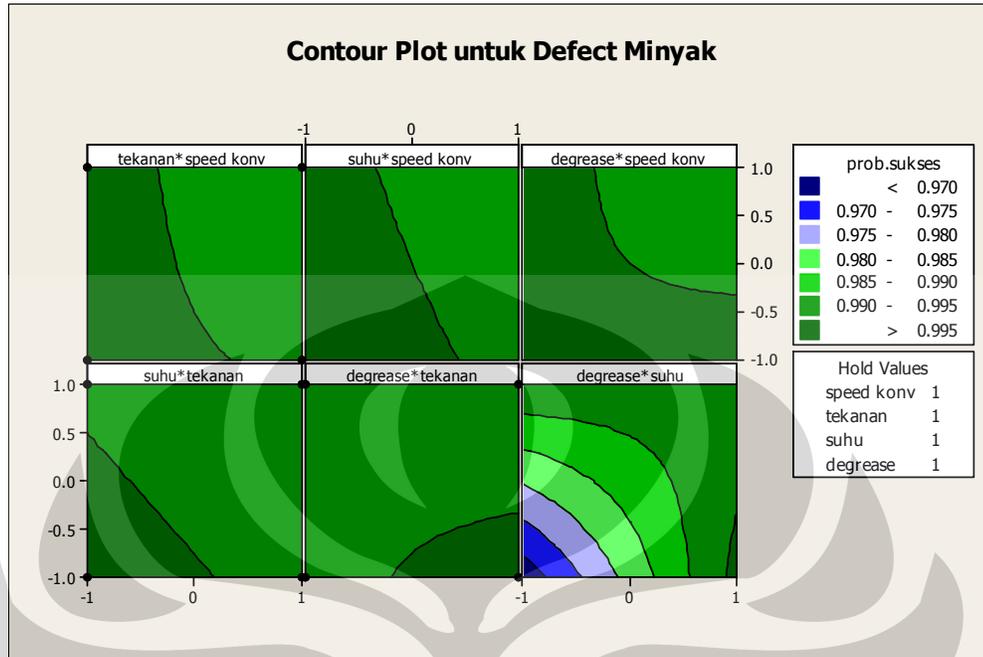
Gambar 4.35. *Response Optimizer* untuk *Defect* Minyak

Tabel 4.8 Hasil Interpretasi *Response Optimizer* untuk *Defect* Minyak

Hasil di atas menunjukkan kombinasi yang sama persis dengan kombinasi untuk *defect* kotor. Dengan nilai prediksi probabilitas sukses sebesar nilai  $y = 0.9944$ , maka kombinasi yang diharapkan bisa menurunkan tingkat *defect* hingga mencapai probabilitas yang diinginkan adalah antara lain dengan kecepatan konveyor 3 meter/mnt, tekanan semprot sebesar 0.8 psi, suhu air panas sebesar 52°C, dan penggunaan *degrease* pada prosesnya.

#### 4.2.3.2 Grafik *Contour Plot* untuk *Defect* Minyak

Berdasarkan *pengoptimasi respon*, maka kombinasi untuk meningkatkan probabilitas kesuksesan part adalah dengan kecepatan konveyor pada level +1 (3 meter/mnt), tekanan dengan level +1 (0.8 psi), suhu dengan level +1 (60°C) dan penggunaan *degrease* dengan +1 (yes).



Gambar 4.36. Grafik *Contour Plot* untuk *Defect* Minyak dan Interaksi Faktornya

Berdasarkan hasil signifikansi yang ada, maka hampir seluruh faktor dan interaksi faktro yang ada memiliki pengaruh yang signifikan. Gambar di atas menunjukkan area probabilitas maksimum yang bisa dicapai.

#### 4.2.4. Terhadap *Defect* Bintik Air

##### 4.2.4.1. *Response Optimizer* untuk *Defect* Bintik Air

Hasil signifikansi yang ada menunjukkan hanya ada dua interaksi faktor yang secara signifikan mempengaruhi tingkat *defect*, yaitu interaksi faktor suhu dengan penggunaan *degrease*, dan interaksi kecepatan konveyor dengan tekanan semprot.

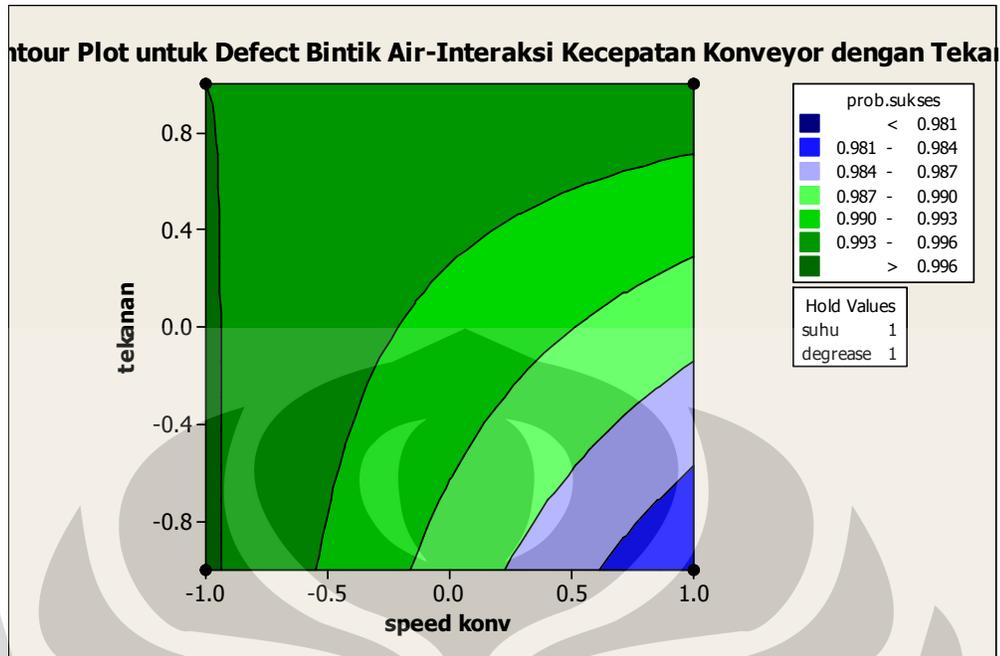
Optimal D 0.98973	Hi Cur Lo	speed ko 3.0 [3.0] 2.50	tekanan 0.80 [0.80] 0.60	suhu 60.0 [57.8319] 52.0	degrease 1.0 [1.0] 0.0
prob.suk Maximum y = 0.9949 d = 0.98973					

Gambar 4.37. *Response Optimizer* untuk *Defect* Bintik AirTabel 4.9 Hasil Interpretasi *Response Optimizer* untuk *Defect* Bintik Air

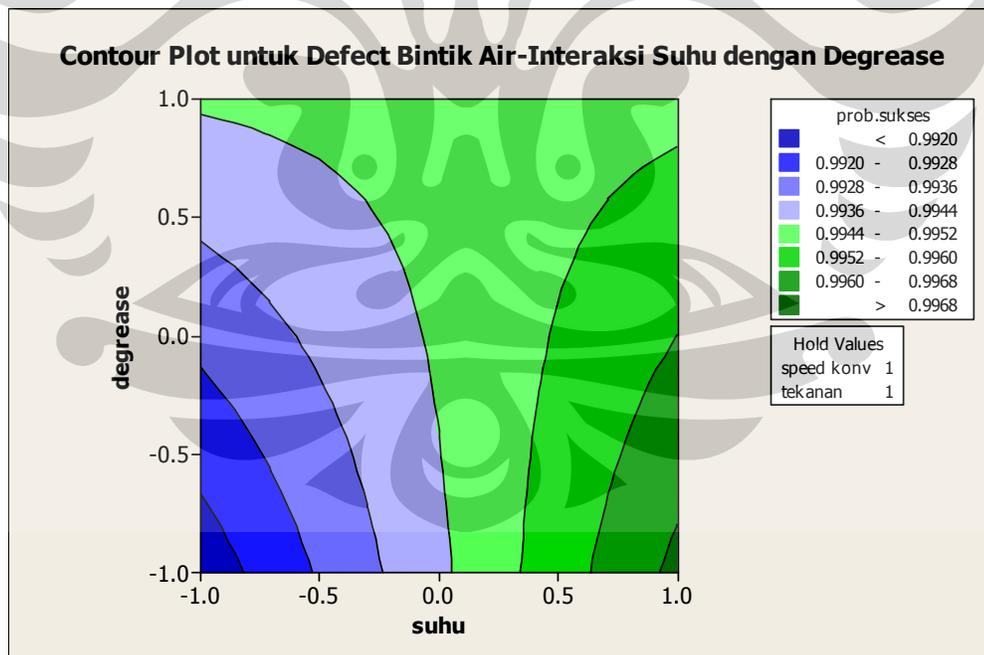
Hasil kombinasi untuk *defect* bintik air cukup berbeda dengan *defect* yang lain. *Defect* kali ini menggunakan suhu 60°C sementara *defect* yang lain menggunakan suhu 52°C, sama seperti keadaan awal. Dengan nilai prediksi probabilitas sukses sebesar  $y = 0.9949$ , maka kombinasi yang diharapkan dapat menurunkan tingkat reject adalah kecepatan konveyor 3 meter/mnt, tekanan semprot sebesar 0.8 psi, suhu air panas adalah 60°C, dan dengan menggunakan *degrease* pada proses tersebut.

#### 4.2.4.2 Grafik *Contour Plot* untuk *Defect* Bintik Air

Hasil signifikansi untuk defect bintik air merupakan interaksi antara faktor kecepatan konveyor dengan tekanan, dan suhu dengan *degrease*. Kombinasi optimal untuk mengurangi defect tersebut adalah dengan kecepatan konveyor pada level +1 (3 meter/mnt), tekanan dengan level +1 (0.8 psi), suhu dengan level -1 (52°C) dan penggunaan *degrease* dengan +1 (yes).

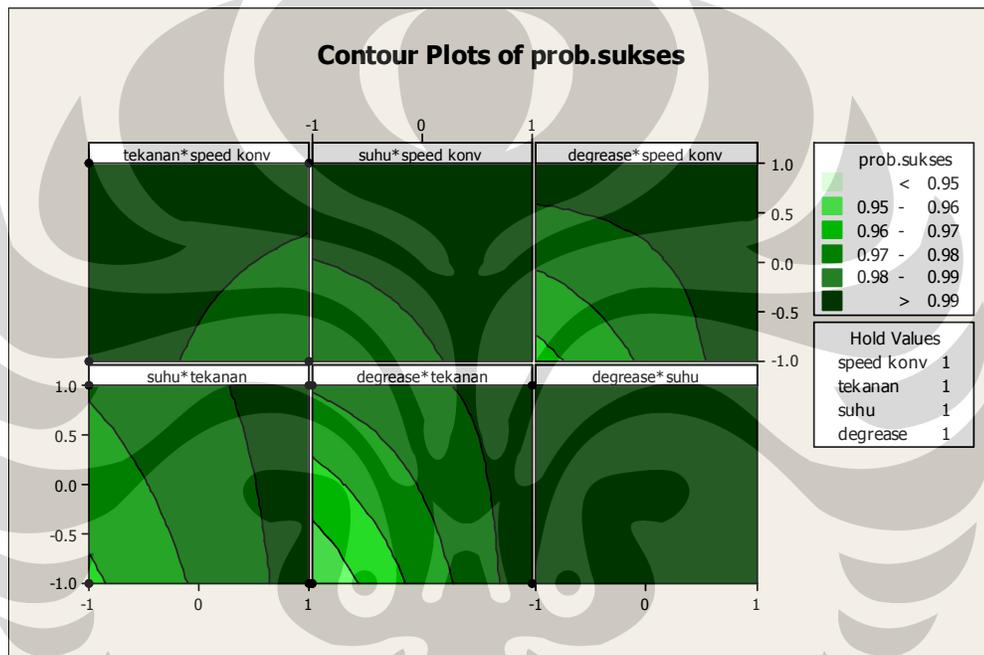


Gambar 4.38. Grafik *Contour Plot* untuk Interaksi Kecepatan Konveyor dengan Tekanan pada *Defect* Bintik Air



Gambar 4.39. Grafik *Contour Plot* untuk Interaksi Suhu dengan *Degrease* pada *Defect* Bintik Air

Walaupun pada grafik kontur di atas menunjukkan kombinasi berbeda dengan yang diberikan oleh *pengoptimasi respon*, maka hal tersebut bisa diubah, karena grafik kontur di atas menunjukkan level probabilitas yang sangat tinggi, yaitu di atas 0.980. Besarnya probabilitas yang diberikan jika mengalami pembulatan ke atas, maka hampir mencapai probabilitas suksesnya adalah 1, sehingga untuk mengurangi tingkat *defect*, bisa mencoba berbagai kombinasi pada gambar kontur tersebut, dimulai dari level -1 hingga level +1 pada tiap faktor.



Gambar 4.40. Grafik *Contour Plot* untuk *Defect* Bintik Air dan Interaksi Faktornya

#### 4.2.5. Terhadap *Defect* Cat Meleleh

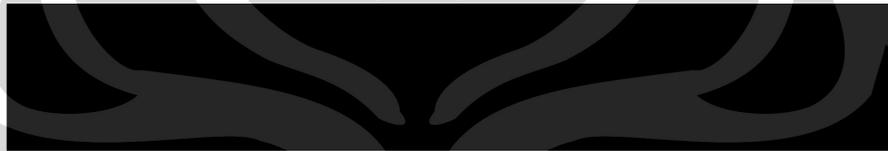
##### 4.2.5.1. *Response Optimizer* untuk *Defect* Cat Meleleh

Hasil signifikansi terhadap tipe *defect* ini memberikan bahwa terdapat faktor utama yang secara signifikan mempengaruhi tingkat *defect* tersebut, yaitu kecepatan konveyor. Selibhnya adalah interaksi antara faktor suhu dengan penggunaan *degrease*, dan interaksi antara kecepatan konveyor dengan suhu dan penggunaan *degrease*. Tidak ada faktor tekanan semprot yang mempengaruhi tingkat *defect* tersebut.

Optimal	Hi	speed ko	tekanan	suhu	degrease
D	Cur	3.0	0.80	60.0	1.0
0.99500	Lo	[3.0]	[0.80]	[52.0]	[1.0]
		2.50	0.60	52.0	0.0

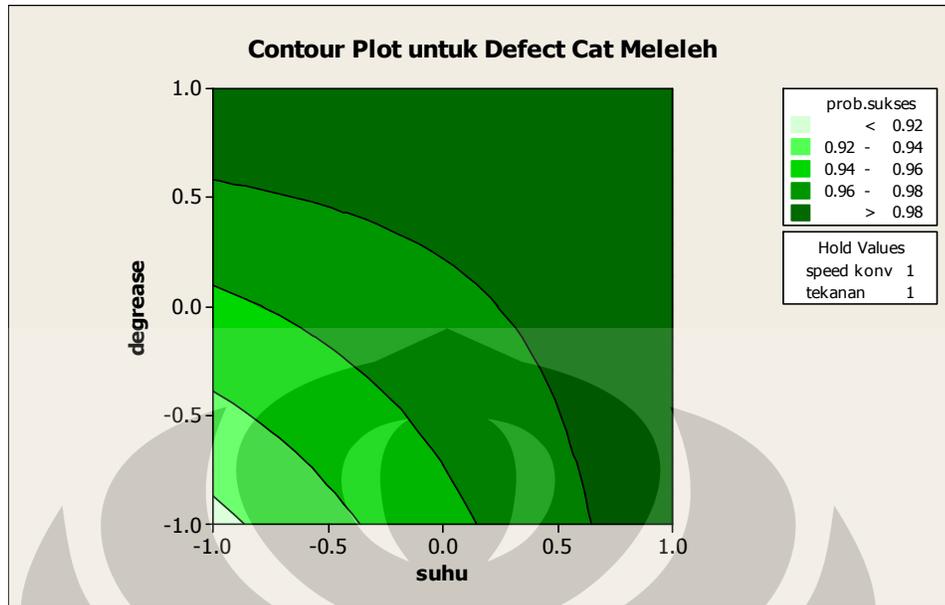
prob.suk Maximum $y = 0.9975$ $d = 0.99500$	
--	--

Gambar 4.41 *Response Optimizer* untuk *Defect* Cat MelelehTabel 4.10 Hasil Interpretasi *Response Optimizer* untuk *Defect* Cat Meleleh

Berdasarkan hasil di atas, maka kombinasi yang tepat untuk mengurangi *defect* cat meleleh tidak berbeda dengan *defect* minyak dan kotor. Dengan hasil prediksi nilai probabilitas sukses yang diharapkan adalah  $y = 0.9975$ , maka kombinasi pada tiap faktor adalah kecepatan konveyor 3 meter/mnt, tekanan semprot 0.8 psi, suhu air panas 52°C, dan proses tersebut menggunakan *degrease*.

#### 4.2.5.2. Grafik *Contour Plot* untuk *Defect* Cat Meleleh

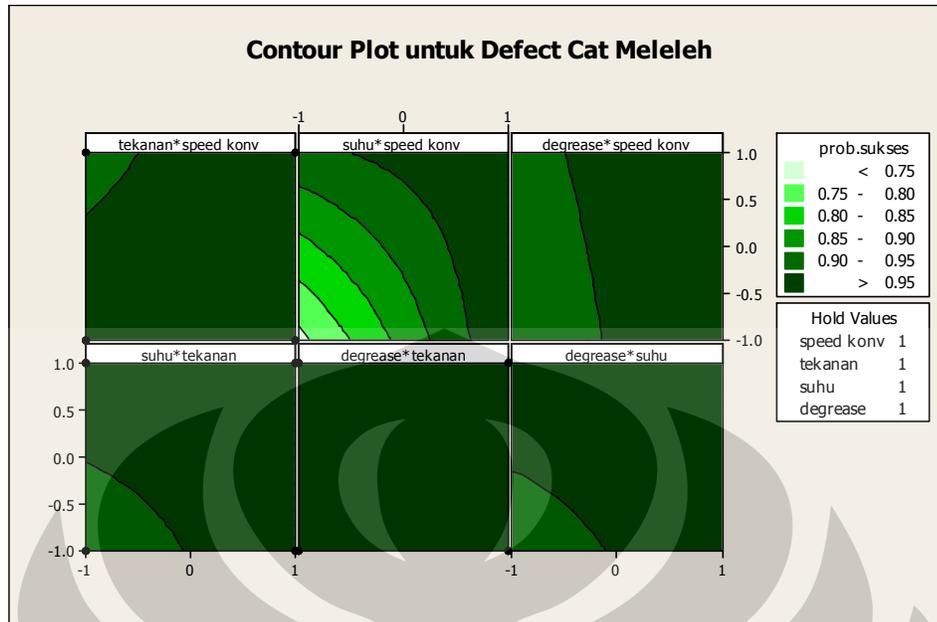
Hasil signifikansi pada defect ini menunjukkan interaksi antara faktor suhu dengan *degrease*. Sementara itu, respon optimasi menunjukkan kombinasi terbaiknya adalah dengan kecepatan konveyor pada level +1 (3 meter/mnt), tekanan dengan level +1 (0.8 psi), suhu dengan level -1 (52°C) dan penggunaan *degrease* dengan +1 (yes), sama dengan kombinasi untuk *defect* bintik air.



Gambar 4.42 Grafik *Contour Plot* untuk Interaksi Suhu dengan *Degrease* pada *Defect Cat Meleleh*

Grafik kontur di atas menunjukkan kombinasi untuk meningkatkan probabilitas sukses pada cat meleleh adalah, bisa dengan kombinasi level -1 untuk degrease dan +1 untuk suhu, kombinasi level +1 untuk degrease dan level -1 untuk suhu, kombinasi level +1 untuk degrease dan level +1 untuk suhu. Hal ini menunjukkan ada kombinasi lain yang bisa dicoba dalam mencapai tingkat keberhasilan yang diinginkan.

Grafik di bawah ini menunjukkan interaksi faktor lain dan kemungkinan kombinasi yang bisa dicoba untuk mencapai tingkat probabilitas sukses yang diinginkan.



Gambar 4.43 Grafik *Contour Plot* untuk *Defect Cat Meleleh* dan Interaksi Faktornya

## 5. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan Penelitian

Penelitian ini memiliki kesimpulan yang bisa ditarik, yaitu :

1. Eksperimen dilakukan dengan metode  $2^k$  *full factorial design*, dengan jumlah faktor yang diuji ada 4 dan dilakukan replikasi 2 kali untuk masing-masing eksperimen.
2. Dari 10 jenis tipe defect yang ada, hanya ada 5 *defect* yang secara signifikan dipengaruhi oleh faktor yang ada, yaitu jenis kotor, lecet, minyak, bintik air, dan cat meleleh.
3. Faktor dan interaksi faktor yang secara signifikan mempengaruhi pada percobaan ini antara lain, **kotor** dengan faktor utama yang berpengaruh adalah penggunaan *degrease*; **lecet** dengan interaksi penggunaan *degrease* dengan kecepatan konveyor dan *degrease* dengan tekanan serta suhu; **minyak** dengan keempat faktor utama mempengaruhi; **bintik air** dengan interaksi kecepatan dengan tekanan dan suhu dengan *degrease*; dan **cat meleleh** dengan faktor utama yang mempengaruhi adalah kecepatan konveyor.
4. Beberapa *defect* yang tidak terbukti signifikansinya disebabkan karena ada faktor luar yang mempengaruhi penyebab terjadinya *defect* tersebut. Selain itu, tidak semua data yang muncul saat eksperimen berlangsung sehingga data yang keluar memiliki kisaran yang cukup jauh dengan data sebelumnya.
5. Beberapa *defect* yang tidak menunjukkan signifikansi didukung dengan hasil analisis residual yang belum terdistribusi dengan normal.
6. Tiap tipe *defect* memiliki kombinasi optimum untuk mengurangi tingkat defect dan meningkatkan probabilitas suatu part sukses dari *defect*.
7. Kombinasi optimum untuk tiap *defect* secara umum adalah sama, yaitu untuk tipe *defect* **kotor**, **minyak** dan **cat meleleh** adalah kecepatan konveyor 3 m/mnt, tekanan 0,8 psi, suhu 52°C dan menggunakan *degrease*; tipe *defect* **lecet** adalah kecepatan konveyor 3 m/mnt, tekanan 0,6 psi, suhu 52°C dan menggunakan *degrease*; dan tipe *defect* **bintik air**

adalah kecepatan konveyor 3 m/mnt, tekanan 0,8 psi, suhu 60°C dan menggunakan *degrease*.

8. Hasil yang ditunjukkan pada grafik *contour plot* menunjukkan beberapa kombinasi lainnya yang bisa dicoba untuk menghasilkan tingkat kesuksesan yang diinginkan sesuai dengan kisaran probabilitas yang ditentukan masing-masing grafik.

## 5.2. Saran untuk Penelitian Selanjutnya

Eksperimen yang telah dilakukan diakui memiliki beberapa kekurangan. Kekurangan yang diharapkan bisa diantisipasi terhadap penelitian selanjutnya agar memiliki hasil yang lebih akurat dan berkembang antara lain :

1. Sebaiknya jika memungkinkan, perbanyaklah replikasi terhadap data eksperimen. Akan lebih baik jika tidak memilih replikasi sebanyak minimal yang disyaratkan oleh metode *Design and Analysis of Experiments* (DOE).
2. Menambah jumlah faktor yang bisa diatur, seperti pengaruh operator, dan lain-lain. Hal ini dipertimbangkan mengingat beberapa tipe *defect* yang tidak signifikan mungkin dipengaruhi oleh faktor tersebut.

## DAFTAR REFERENSI

Antony, Jiju, 1998, "Some key things industrial engineering should know about experimental design", *Logistic Information Management*, Vol. 11, No.6.

Antony, Jiju, 2001, "Improving the Manufacturing Process Quality Using Design of Experiments: a case study", *International Journal of Operation & Production Management*, Vol.21, No.5/6.

Antony, Jiju, et. al., 2001, "Process Optimization Using Taguchi Method of Experimental Design", *Work Study*, Vol.50, No.2.

Berger, Paul D., dan Robert E. Murer, 2002. *Experimental Design with Applications in Management, Engineering, and Science*. Thompson, New York.

Dean, Angela dan Daniel Voss, 1999, *Design and Analysis of Experiments*, springler-Verlag, New York.

Ellekjaer, Marit Risberg, 1998, "The Use of Experimental Design in the Development in New Products", *International Journal of Quality Science*, Vol.3, No.3.

Fryman, Mark A., 2002, *Quality and Process Improvement*, Delmar, New York

Hosotani, Katsuya, 2003, *The QC Problem-Solving approach: Solving Workplace Problems The Japanese Way*, 3A Corporation, Tokyo.

Antony, Jiju, Tzu-YaoChou, dan Sid Ghosh, 2003, "Training for Design of Experiment", *Work Study*, Vol.53, No.7.

Levin, Richard I. dan David S. Rubin, 1998, *Statistics for Management, Seventh Edition*, Prentice-Hall, New Jersey.

Montgomery, Douglas C., 1997, *Design and Analysis of Experiments, Fourth Edition*, John Wiley & Sons, New York.

Rowlands, Hefin dan Jiju Antony, 2003, "Application of Design of Experiments To A Spot Welding Process", *Assembly Automation*, Vol.23, No.3.

Susyanto, Heri. *Pigment Extender*. Oktober, 2002.  
[http://www.geocities.com/heri\\_susyanto/Pig](http://www.geocities.com/heri_susyanto/Pig)

