

**PENINGKATAN KUALITAS DI LINI PRODUKSI *PLASTIC
PAINTING* DENGAN METODE TAGUCHI**

SKRIPSI

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

**YOSUA
04 05 07 05 93**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2009**

i

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Yosua

NPM : 0405070593

Tanda Tangan :

Tanggal : 1 Juli 2009



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Yosua
NPM : 0405070593
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Peningkatan Kualitas di Lini Produksi *Plastic Painting* dengan Metode Taguchi

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Isti Surjandari, Ph.D ()
Penguji : Ir. Amar Rachman, MEIM ()
Penguji : Ir. M. Dachyar, MSc ()
Penguji : Ir. Fauzia Dianawati ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, karena atas berkat dan rahmat-Nya, skripsi ini dapat selesai tepat pada waktunya. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana di Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Isti Surjandari, Ph.D, selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan waktu, tenaga, dan pikiran dalam membimbing penulis.
2. Ibu Ir. Fauzia Dianawati, MSI dan Bapak Ir. Amar Rachman, MEIM yang telah memberikan masukan dan koreksi berharga bagi penulis.
3. Bapak Aris, Bapak Basilius, Mas Rudi, Mas Diyan, Mas Win, dan Mbak Dewita, atas semua bantuan, informasi, dan bimbingannya selama berada di perusahaan.
4. Papa, Mama, Yonatan dan Yohanes yang telah memberikan perhatian dan dukungan moril yang sangat berarti bagi penulis.
5. Felicia Illona, Stefanie Hartanto, Hanifah, Fredy Hartanto atas bantuan, semangat dan dukungannya.
6. Rekan-rekan bimbingan penulis; Ferdy, Rita, Fifi, dan Arif atas dukungan, bantuan, dan kebersamaan yang sangat menyenangkan.
7. Artado, Cica, Nandyka, Nyoman, Harry, RC, Yopi, Dadi, Warman dan seluruh teman-teman TI 2005 atas dukungan dan kebersamaannya.
8. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dari awal sampai selesainya penulisan skripsi ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, segala saran dan kritik sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu dan dapat berguna bagi pihak yang berkepentingan.

Depok, Juni 2009

Penulis

ABSTRAK

Nama : Yosua
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Peningkatan Kualitas di Lini Produksi *Plastic Painting* dengan Metode Taguchi

Kualitas merupakan hal penting yang harus dijaga untuk mempertahankan pelanggan tetap loyal. Tingginya tingkat *defect* di lini produksi *plastic painting* menunjukkan masih diperlukan adanya perbaikan sebagai salah satu bentuk usaha meningkatkan kualitas secara berkesinambungan. Untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi, perlu diketahui faktor terkontrol apa yang mempengaruhi dan bagaimana faktor tersebut harus diatur. Untuk memecahkan masalah ini dilakukan eksperimen menggunakan metode Taguchi. Dari eksperimen yang dilakukan ditemukan bahwa faktor-faktor yang berpengaruh adalah kecepatan konveyor, viskositas cat, dan suhu oven. Dari penelitian didapatkan level yang memberikan hasil optimal adalah konveyor pada kecepatan 1400 mm/menit, viskositas cat 19 detik dan suhu oven 68-70°C.

Kata Kunci:
Kualitas, Faktor Terkontrol, Metode Taguchi

ABSTRACT

Nama : Yosua
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Quality Improvement in Plastic Painting Production Line Using Taguchi Method

Quality is the important thing to be maintained so that the customers stay loyal. The high defect rate in plastic painting process shows that they still need the improvement. In order to produce the high quality products, it is important to discover the factors and the level that influence the quality itself. Thus, the experiment with Taguchi method is necessary to be conducted. From the experiments that have been performed, some influential factors are finally revealed, which are: conveyor speed, paint viscosity, and oven temperature. In this process, the level which gives the optimal result is the conveyor speed at 1400 mm/minute, paint viscosity at 19 second, and oven temperature 68-70°C.

Key words:
Quality, Control Factors, Taguchi Method

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan.....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah	4
1.3 Rumusan Permasalahan.....	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Metodologi Penelitian	6
1.7 Sistematika Penulisan.....	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Rekayasa Kualitas	9
2.1.1 Definisi Kualitas.....	10
2.1.2 Pendekatan Taguchi terhadap Rekayasa Kualitas.....	11
2.1.2.1 Kontrol Kualitas <i>Off-Line</i> dan <i>On-Line</i>	12
2.1.2.2 Tiga Langkah dalam Desain Proses.....	12
2.1.2.3 Penggunaan <i>Noise</i>	13
2.1.2.4 Hal-hal Penting dalam Perencanaan Peningkatan Kualitas	14
2.2 Metode Taguchi	14
2.2.1 Latar Belakang Metode Taguchi.....	14
2.2.2. <i>Taguchi Loss Function</i>	16
2.2.3 Signal to Noise Ratio (S/N Ratio).....	19
2.2.4 <i>Orthogonal Array</i> (OA) <i>Experiment</i>	22
2.2.4.1 Struktur <i>Orthogonal Array</i>	22
2.2.4.2 Penentuan dan Pemilihan <i>Orthogonal Array</i>	24
2.2.5 Tahapan dalam Metode Taguchi.....	25
2.2.6 Desain Parameter Taguchi	29
2.2.6.1 Struktur Desain Parameter	29
2.2.6.2 Langkah-langkah dalam Desain Parameter.....	31
2.2.7 Analisa dalam Hasil Eksperimen	32
2.2.7.1 Analisa Rata-rata (ANOM).....	32
2.2.6.2 Analisa Varians (ANOVA).....	32
2.2.6.3 Pareto ANOVA	34
BAB 3 METODE PENELITIAN	36
3.1 Profil Perusahaan	36
3.1.1 Sejarah Perusahaan.....	36

3.1.2 Visi dan Misi.....	38
3.1.3 Struktur Organisasi.....	38
3.1.4 Lini Produksi <i>Plastic Painting</i>	40
3.2 Penelusuran Proses dan Perancangan Eksperimen	40
3.2.1 Pemahaman Flow Process	40
3.2.2 Jenis-jenis Defect	45
3.2.3 Tingkat <i>Defect</i> di Lini Produksi <i>Plastic Painting</i>	46
3.2.4 Perancangan Eksperimen.....	48
3.3 Persiapan dan Pengumpulan Data Eksperimen	59
BAB 4 PEMBAHASAN.....	61
4.1 <i>Main Effects Analysis of Painting Defect Rate Experiment</i>	61
4.2 <i>Analysis of Variance (ANOVA) of Painting Defect Rate Experiment</i>	62
4.3 <i>S/N Ratio Analysis</i>	67
Faktor Terkontrol.....	70
Optimum Level.....	70
Kecepatan Konveyor.....	70
1400 mm/menit.....	70
Viskositas Cat	70
19 detik.....	70
Suhu Oven	70
68-70°C.....	70
4.4 <i>Estimate of Performance at the Optimum Condition of Design/ Process</i> ...	70
4.5 <i>Taguchi's Loss Function Analysis</i>	71
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	78
5.1 Kesimpulan.....	78
5.2 Saran.....	78
DAFTAR REFERENSI.....	79
LAMPIRAN.....	1A

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Produksi Motor YAMAHA di Indonesia Selama 5 Tahun Terakhir	1
Tabel 1.2 Contoh Aplikasi Metode Taguchi di Industri Manufaktur	4
Tabel 2.1 Perumusan untuk <i>Loss Function</i>	19
Tabel 2.2 Matriks <i>Orthogonal Array</i>	23
Tabel 2.3 Struktur Desain Parameter	30
Tabel 2.4 Penghitungan dengan ANOVA	33
Tabel 3.1 Tingkat <i>Defect</i> Bulan Maret 2009 per Jenis Warna	47
Tabel 3.2 Faktor Terkontrol untuk Masing-masing Jenis <i>Defect</i>	54
Tabel 3.3 Faktor Terkontrol dan <i>Range Setting</i> untuk Percobaan	55
Tabel 3.4 <i>Experimental Layout</i>	58
Tabel 3.5 Hasil Percobaan	60
Tabel 4.1 <i>Main Effects Analysis of Painting Defect Rate Experiment</i>	61
Tabel 4.2 <i>ANOVA of Painting Defect Rate Experiment</i>	63
Tabel 4.3 <i>S/N Ratio Painting Defect Rate Experiment</i>	68
Tabel 4.4 <i>Average Factor Level S/N Ratio Painting Defect Rate Experiment</i>	68
Tabel 4.5 <i>Optimal Control Factor Settings</i>	70
Tabel 4.6 <i>Estimate of Performance at the Optimum Condition of Process</i>	70
Tabel 4.7 <i>Plastic Painting Process (Before Experiment)</i>	73
Tabel 4.8 <i>Plastic Painting Process (After Experiment)</i>	74
Tabel 4.9 Komposisi <i>Cost Rejection</i> per Unit	75
Tabel 4.10 <i>Calculation of Loss</i>	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram Pareto Jenis <i>Defect</i> pada Lini Produksi <i>Painting</i>	3
Gambar 1.2	Diagram Keterkaitan Masalah	5
Gambar 1.3	Diagram Alir Penelitian.....	7
Gambar 2.1	<i>Taguchi Loss Function</i>	17
Gambar 2.2	<i>Quality Characteristics</i> by Taguchi.....	18
Gambar 2.3	Ilustrasi Konsep <i>S/N Ratio</i>	20
Gambar 2.4	Penulisan <i>Orthogonal Array</i>	22
Gambar 2.5	Desain Parameter Taguchi.....	29
Gambar 2.6	Contoh Grafik Linier.....	30
Gambar 2.7	Pareto ANOVA.....	35
Gambar 3.1	Struktur Organisasi PT. Astra Honda Motor (AHM).....	39
Gambar 3.2	<i>Flow Process Plastic Painting</i>	41
Gambar 3.3	Presentasi Produksi per Jenis Warna di Lini Produksi PTPL.....	46
Gambar 3.4	<i>Bar Chart</i> Jumlah <i>Defect</i> per Jenis <i>Defect</i> Bulan Maret 2009	47
Gambar 3.5	<i>Fishbone Diagram</i> Penyebab <i>Defect</i> Kotor	49
Gambar 3.6	<i>Fishbone Diagram</i> Penyebab <i>Defect</i> Meleleh.....	49
Gambar 3.7	<i>Fishbone Diagram</i> Penyebab <i>Defect</i> Tipis	50
Gambar 3.8	<i>Fishbone Diagram</i> Penyebab <i>Defect Orange Peel</i>	50
Gambar 3.9	<i>Fishbone Diagram</i> Penyebab <i>Defect</i> Gores Dasar	51
Gambar 3.10	<i>Fishbone Diagram</i> Penyebab <i>Defect</i> Menyerap	51
Gambar 3.11	<i>Fishbone Diagram</i> Penyebab <i>Defect</i> Minyak.....	52
Gambar 3.11	<i>Fishbone Diagram</i> Penyebab <i>Defect Popping</i>	52
Gambar 3.12	<i>Fishbone Diagram</i> Penyebab <i>Defect Dust</i>	53
Gambar 3.13	<i>Fishbone Diagram</i> Penyebab <i>Defect</i> Bintik Air.....	53
Gambar 4.1	<i>Main Effects Plot for Means</i>	64
Gambar 4.2	<i>Interaction Plot for Means</i>	65
Gambar 4.3	<i>Main Effects Plot for S/N Ratios</i>	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Form Work Station Inspection Result Data

Lampiran 2 : Contoh Worksheet Identifikasi Reject Painting untuk Line G (1-B) Shift 1



BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian ini, diagram keterkaitan masalah, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Seiring dengan perkembangan perekonomian di Indonesia, maka industri otomotif di Indonesia pun turut berkembang. Turunnya harga bahan bakar minyak (BBM) dan mudahnya persyaratan yang diajukan perusahaan untuk mendapatkan kredit kendaraan bermotor telah berhasil mendorong tingkat konsumsi masyarakat akan salah satu kebutuhan sekunder ini. Hal ini terbukti dengan meningkatnya penjualan kendaraan bermotor selama kurun waktu beberapa tahun terakhir ini.

Sejalan dengan perkembangan tersebut, maka perusahaan-perusahaan otomotif di Indonesia berlomba-lomba untuk memanfaatkan *trend* positif ini. Salah satu strategi yang dilakukan adalah dengan meningkatkan kapasitas produksi seperti yang dilakukan oleh YAMAHA selama beberapa tahun terakhir ini.

Tabel 1.1 Produksi Motor YAMAHA di Indonesia Selama 5 Tahun Terakhir

TAHUN	JUMLAH PRODUKSI
2008	2.200.000 unit
2007	1.800.000 unit
2006	1.500.000 unit
2005	1.200.000 unit
2004	830.000 unit

(Sumber: YAMAHA Indonesia)

Market share terbesar untuk industri sepeda motor di Indonesia saat ini masih dipegang oleh HONDA, dengan *market share* sebesar 52%. Akan tetapi kondisi ini sangat tidak stabil karena YAMAHA sempat melebihi pangsa pasar

HONDA untuk beberapa saat. Hal ini tentunya menunjukkan semakin ketatnya persaingan industri otomotif di Indonesia.

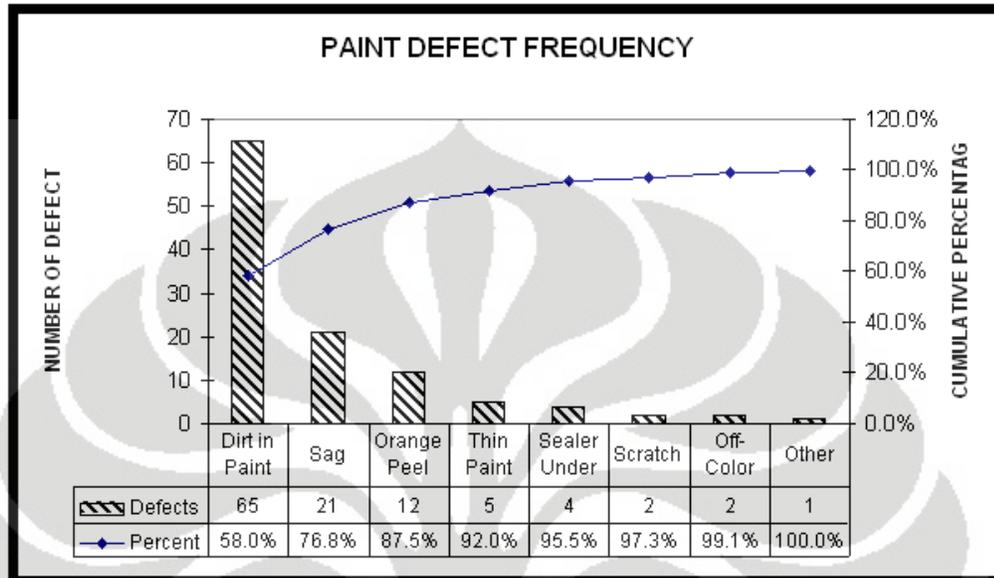
Ketatnya persaingan di industri otomotif Indonesia ini mendorong perusahaan-perusahaan otomotif yang ada untuk bersaing memberikan pelayanan (*service*) terbaik dalam meningkatkan kepuasan pelanggan (*customer satisfaction*) demi mendapatkan keunggulan kompetitif (*competitive advantage*). Salah satu bentuk pelayanan terbaik dalam usaha meningkatkan kepuasan pelanggan adalah dengan meningkatkan kualitas (*quality improvement*) dari produk yang dihasilkan. Kualitas merupakan hal penting yang harus dijaga agar selalu bisa mempertahankan pelanggan untuk tetap loyal menggunakan produk mereka.

Masalah kualitas adalah suatu hal yang rentan resiko di mana diperlukan pengaturan dan manajemen yang baik untuk mengurangi terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan, dalam hal ini adalah kemunculan cacat atau *defect* pada produk. Tiap lini produksi memiliki *flow process* yang telah memasukkan proses inspeksi di tiap pembuatan produk. Banyaknya jenis *defect* yang terjadi di tiap *flow process* menunjukkan masih diperlukan adanya perbaikan sebagai salah satu bentuk usaha meningkatkan kualitas secara berkesinambungan.

Dalam memproduksi produk kendaraan bermotor, terdapat beberapa lini produksi seperti *casting*, *plastic injection*, *machining*, *assembling*, dan *painting*. Salah satu lini produksi yang paling sering mengalami *defect* adalah pada lini produksi *painting*. Lini produksi *painting* merupakan lini produksi pengecatan *part-part* yang umumnya terbuat dari plastik. Tingginya kemungkinan terjadinya cacat dalam lini produksi ini disebabkan karena banyaknya jenis *defect* yang mungkin terjadi, seperti kotor, *orange peel*, lecet, cat tipis, cat meleleh, cat menyerap, berminyak, *popping*, debu, dan bintik air dengan persentase seperti terlihat pada diagram pareto pada Gambar 1.1.

Banyaknya jenis kemungkinan *defect* pada proses *painting* tersebut membuat proses *painting* seringkali mengalami kegagalan sehingga mengakibatkan munculnya *rework cost*. Tingginya *rework cost* tentunya juga akan menyebabkan biaya produk semakin tinggi. Sejalan dengan permasalahan tersebut, maka diperlukan suatu penelitian untuk mengetahui faktor-faktor terkontrol apa saja yang signifikan mempengaruhi terjadinya *defect* dalam proses

painting dan bagaimana faktor tersebut harus diatur sehingga memberikan hasil yang optimal.



Gambar 1.1 Diagram Pareto Jenis *Defect* pada Lini Produksi *Painting*

(Sumber: *Motor Cycle Industrial Association*)

Salah satu cara untuk mengetahui faktor-faktor penting yang dapat memaksimalkan hasil dan mengurangi biaya secara keseluruhan adalah dengan menggunakan metode Taguchi. Metode Taguchi merupakan pengembangan dari konsep *Design of Experiment* (DOE) yang merupakan sebuah pendekatan eksperimen yang terstruktur untuk mengetahui sebuah proses, mempelajari pengaruh variabel potensial yang mempengaruhi proses, dan juga membantu menentukan pada level berapa variabel tersebut dapat menghasilkan output yang optimal. Metode Taguchi dapat membantu industri dalam mendesain dan membuat produk dengan kualitas tinggi dan juga harga murah. Aplikasi metode Taguchi terbukti sangat ampuh dalam meningkatkan performansi proses, mengurangi varibilitas proses, dan meningkatkan kemampuan produksi produk dan proses¹.

¹ Montgomery, D.C., *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley and Sons, New York, 2005.

Tabel 1.2 Contoh Aplikasi Metode Taguchi di Industri Manufaktur

Process/product	Nature of problem	Experiment size	Benefits
Injection moulding process	High scrap rate due to excessive process variability	8 trials	Annual savings were estimated to be over £40,000
Diesel injector	High rework rate	16 trials	Annual savings were estimated to be over £10,000
Welding process	Low weld strength	16 trials	Annual savings were estimated to be over £16,000
Chemical process	Low process yield	8 trials	Process yield was improved by over 10 per cent
Biscuit	Excessive variability in biscuit length	16 trials	Biscuit length variability was reduced by over 25 per cent
Wire-bonding process	Low wire pull strength	16 trials	Annual savings were over £30,000

(Sumber: Fiju Antony and Frenie Fiju Antony, 2001)

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Masalah-masalah dalam penelitian ini digambarkan pada diagram keterkaitan masalah, yang ditampilkan pada Gambar 1.2.

1.3 Rumusan Permasalahan

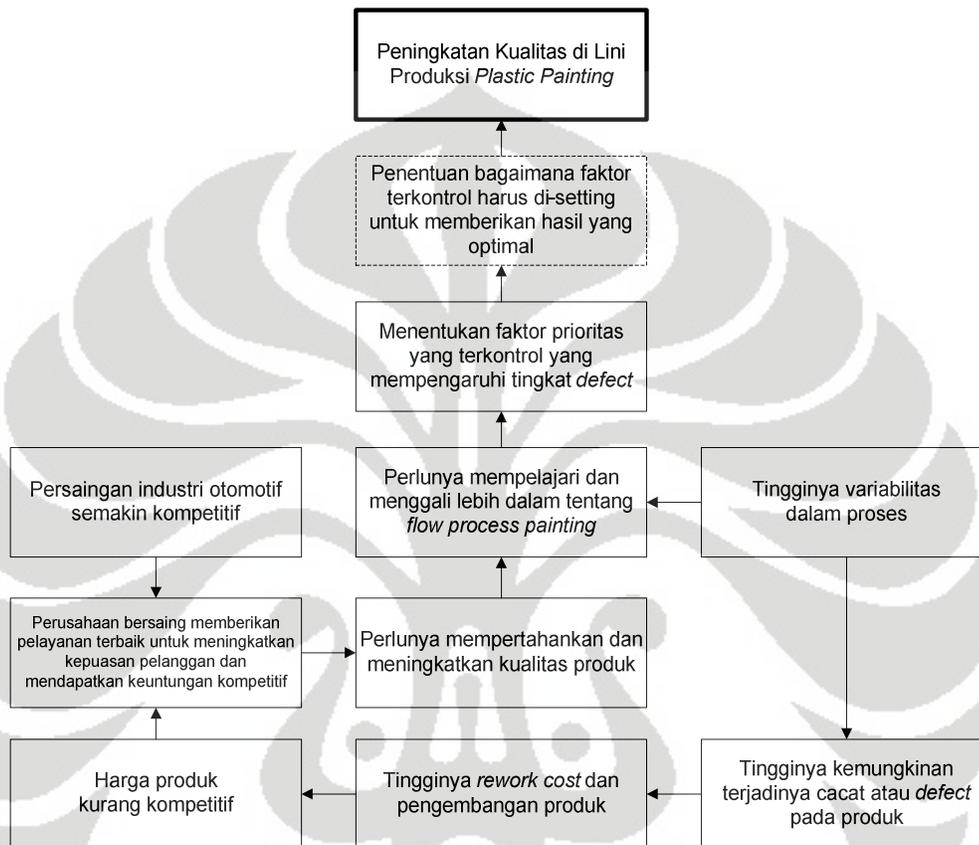
Berdasarkan latar belakang di atas, maka pokok permasalahan yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah menentukan pengaruh faktor-faktor terkontrol terhadap hasil produk pengecatan, sehingga dapat diketahui seberapa faktor-faktor tersebut harus di-*setting* sehingga memberikan hasil yang optimal.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai pada penyusunan skripsi ini adalah:

1. Memperoleh parameter kontrol yang mempengaruhi tingkat *defect* di lini produksi *painting*.
2. Memperoleh parameter kontrol yang mempengaruhi variabilitas dalam lini produksi *painting*.

- Menentukan *parameter setting* yang optimal yang dapat meminimalkan tingkat *defect* dan juga dengan variasi yang minimum di lini produksi *painting*.



Gambar 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah agar pelaksanaan serta hasil yang akan diperoleh sesuai dengan tujuan pelaksanaannya. Adapun batasan masalahnya antara lain:

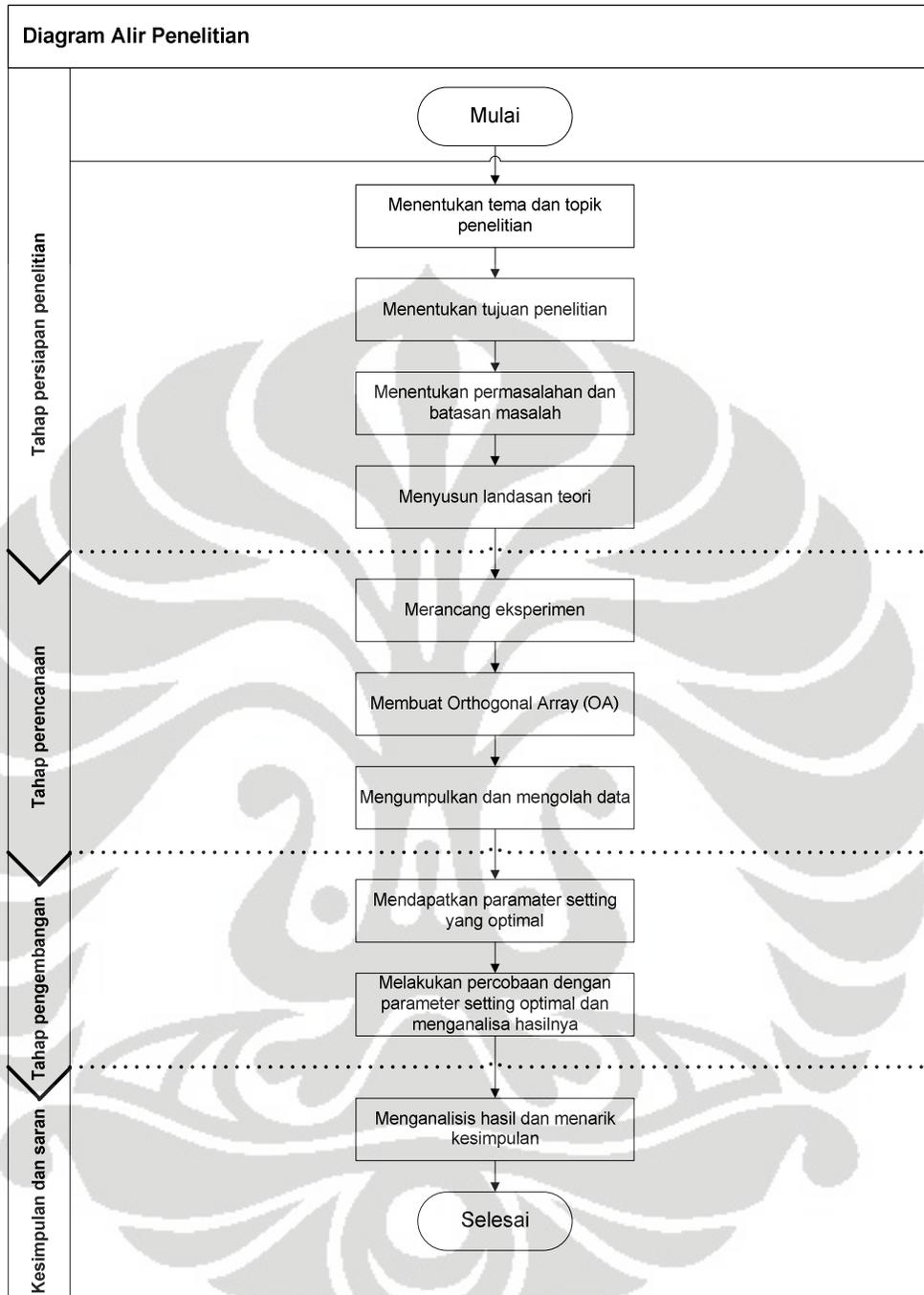
- Untuk proses pengambilan data, penulis memilih PT. Astra Honda Motor (AHM) sebagai narasumber atas kredibilitasnya sebagai salah satu perusahaan sepeda motor terbesar di Indonesia.
- Penelitian dilakukan di lini produksi *plastic painting*.

3. Data yang diolah berupa data historis dan hasil observasi langsung.
4. Part yang akan diteliti merupakan part yang akan mengalami pengecatan dengan warna hitam.

1.6 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam skripsi ini secara sistematis adalah sebagai berikut:

1. Tahap persiapan penelitian
 - Penentuan tema dan topik penelitian
 - Penentuan tujuan penelitian
 - Penentuan permasalahan dan batasan masalah
 - Penyusunan landasan teori
2. Tahap perencanaan
 - Perancangan eksperimen
 - Pembuatan *orthogonal array* (OA)
 - Pengumpulan dan pengolahan data
3. Tahap pengembangan
 - Mendapatkan *parameter setting* yang optimal
 - Melakukan percobaan dengan menggunakan *parameter setting* yang optimal dan menganalisa hasilnya
4. Kesimpulan dan saran
 - Menganalisis hasil dan menarik kesimpulan



Gambar 1.3 Diagram Alir Penelitian

1.7 Sistematika Penulisan

BAB I: PENDAHULUAN, menjelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, diagram keterkaitan masalah, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA, merupakan teori penunjang yang berhubungan dengan penelitian ini. Landasan teori yang dipakai meliputi *design of experiment* (DOE), metode Taguchi, dan *analysis of variance* (ANOVA)

BAB III: METODE PENELITIAN, mengenai gambaran masalah secara lebih terinci dan langkah-langkah percobaan yang dilakukan.

BAB IV: PEMBAHASAN, berisi penjabaran mengenai hasil dan analisa percobaan dengan menggunakan bantuan grafik serta table yang diperlukan.

BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN, berisi kesimpulan akhir dari penelitian ini dan juga masukan bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas tentang teori-teori yang menunjang penelitian ini dan juga tinjauan-tinjauan yang dilakukan oleh penulis. Teori-teori yang digunakan antara lain mengenai konsep kualitas, perancangan eksperimen dengan metode Taguchi, dan juga *analysis of variance* (ANOVA).

2.1 Rekayasa Kualitas

Pada Industri manufaktur, aktivitas yang berhubungan dengan kualitas dapat dibagi menjadi beberapa tahap, antara lain:

1. Perencanaan produk: merencanakan fungsi, harga, daur hidup produk, dari produk yang bersangkutan
2. Perancangan produk: merancang produk agar memiliki fungsi yang sudah ditetapkan pada tahap perencanaan produk
3. Perancangan proses: merancang proses manufaktur agar memiliki fungsi yang sudah ditetapkan di dalam perancangan produk
4. Produksi: proses pembuatan produk yang sebenarnya sehingga sesuai sesuai dengan kualitas yang sudah dirancang
5. Penjualan: aktivitas untuk menjual produk hasil produksi
6. Servis setelah penjualan: aktivitas pelayanan pelanggan seperti pemeliharaan dan servis produk

Sebuah perusahaan perlu untuk membangun sistem kualitas secara keseluruhan dimana didalamnya seluruh aktivitas berinteraksi untuk memproduksi produk sesuai rancangan kualitas dengan biaya yang minimum.

Terdapat tiga karakteristik kualitas yang berbeda di dalam keseluruhan sistem kualitas:

1. Kualitas Desain: kualitas perencanaan produk, perancangan produk dan proses
2. Kualitas Kesesuaian: kualitas produksi
3. Kualitas Servis: kualitas dari penjualan dan servis setelah penjualan

2.1.1 Definisi Kualitas

Beberapa definisi kualitas yang dikemukakan oleh lima pakar *Total Quality Management* (TQM) adalah:

- Juran (1964)

Kualitas produk adalah kecocokan penggunaan produk (*fitness for use*) untuk memenuhi kebutuhan dan kepuasan pelanggan. Kecocokan penggunaan itu terdiri dari lima ciri utama, yaitu:

- Teknologi, atau kekuatan atau daya tahan
- Psikologis, yaitu citra rasa atau status
- Waktu, yaitu kehandalan
- Kontraktual, yaitu adanya jaminan
- Etika, yaitu sopan santun, ramah, atau jujur

- Crosby (1979)

Kualitas adalah *conformance to requirement*, yaitu sesuai dengan yang disyaratkan atau distandardkan. Suatu produk memiliki kualitas apabila sesuai dengan standar kualitas yang telah ditentukan. Standar kualitas meliputi bahan baku, proses produksi dan produk jadi.

- Deming (1986)

Kualitas adalah kesesuaian dengan kebutuhan pasar atau konsumen perusahaan harus benar-benar dapat memahami apa yang dibutuhkan konsumen atas suatu produk yang akan dihasilkan.

- Feigenbaum (1983)

Kualitas merupakan sesuatu yang perlu dilakukan terhadap kombinasi karakteristik rekayasa dan manufaktur produk yang menentukan tingkat di mana produk dapat memenuhi ekspektasi pelanggan.

- Garvin

Meskipun tidak ada definisi mengenai kualitas yang diterima secara universal, namun dari kelima definisi di atas terdapat beberapa persamaan, yaitu dalam elemen – elemen sebagai berikut:

- Kualitas mencakup usaha memenuhi atau melebihi harapan pelanggan
- Kualitas mencakup produk, tenaga kerja, proses, dan lingkungan.
- Kualitas merupakan kondisi yang selalu berubah (misalnya apa yang dianggap merupakan kualitas saat ini mungkin dianggap kurang berkualitas pada masa mendatang).

- Taguchi (1986)

Kualitas merupakan kerugian yang ditimbulkan oleh produk terhadap masyarakat setelah produk tersebut dikirimkan, terpisah dari kerugian-kerugian lain yang disebabkan fungsi internal. Definisi taguchi terhadap kualitas berbeda dengan definisi pada umumnya. Kerugian yang dimaksud dapat disebabkan oleh variabilitas fungsi, atau dari efek samping yang berbahaya. Karena itu, jika produk mengorbankan masyarakat nol kerugian, maka produk tersebut terbuat dari kualitas terbaik.

2.1.2 Pendekatan Taguchi terhadap Rekayasa Kualitas

Biaya dari suatu produk dapat dibagi menjadi dua bagian utama: sebelum penjualan dan setelah penjualan kepada pelanggan. Biaya yang timbul sebelum penjualan merupakan biaya manufaktur (*manufacturing cost*), dan biaya yang timbul setelah penjualan merujuk kepada kerugian kualitas (*quality loss*). Rekayasa kualitas merupakan pengetahuan antar cabang ilmu pengetahuan yang tertuju tidak hanya kepada memproduksi produk yang memuaskan untuk pelanggan tetapi juga mengurangi kerugian total (manufaktur ditambah kerugian kualitas). Jadi, rekayasa kualitas dapat diartikan sebagai proses pengukuran yang dilakukan selama perancangan produk/proses, mencakup seluruh aktivitas pengendalian kualitas dalam setiap fase dari penelitian dan pengembangan produk, perancangan proses produksi, dan kepuasan konsumen.

Taguchi menekankan bahwa variasi kualitas merupakan musuh utama di dalam rekayasa kualitas dan setiap usaha harus dilakukan untuk mengurangi

variasi di dalam karakteristik kualitas. Taguchi (1986) menggunakan desain eksperimental secara ekstensif sebagai alat untuk merancang produk agar lebih kuat (*robust*) yang juga berarti lebih tidak sensitif, terhadap faktor pengganggu.

Desain yang kuat (*robust design*) merupakan metodologi rekayasa untuk mengoptimalkan kondisi produk dan proses yang sangat tidak sensitif terhadap berbagai penyebab variasi, dan kondisi yang menghasilkan produk berkualitas tinggi dengan biaya pengembangan dan produksi yang rendah (Anthony, 2006). Dua alat dasar yang digunakan untuk desain yang kuat (Sung H. Park, 1996), yaitu:

- *Single-to-noise ratio*, yang mengukur kualitas berdasarkan pada variasi
- *Orthogonal arrays*, yang mengakomodasi banyak faktor desain (parameter-parameter) secara berkesinambungan

2.1.2.1 Kontrol Kualitas *Off-Line* dan *On-Line*

Seperti telah disebutkan sebelumnya, tipe sistem kualitas pada perusahaan manufaktur terdiri dari tiga aspek yaitu: Kualitas desain, kualitas kesesuaian, dan kualitas servis. Taguchi membagi sistem kualitas menjadi dua bagian sebagai berikut:

- *Off-line* QC : aktivitas untuk kualitas dari desain melalui penelitian pasar dan pengembangan produk/proses, usaha kontrol kualitas disini jauh dari barisan produksi.
- *On-line* QC : aktivitas untuk kualitas kesesuaian dan kualitas servis melalui pemeliharaan manufaktur, inspeksi dan pelayanan pelanggan. Usaha dari kontrol kualitas ini secara garis besar fokus pada barisan produksi.

2.1.2.2 Tiga Langkah dalam Desain Proses

Selama fase desain produk dan proses, terdapat tiga langkah pada setiap fase desain, yaitu desain sistem, desain parameter, dan desain toleransi.

1. Desain Sistem. Tahap ini memilih proses manufaktur dari pengetahuan manufaktur teknologi dan biaya yang berkaitan seperti kontrol otomatis, biaya produksi, dan produktivitas.
2. Desain Parameter. Tahap ini memutuskan kondisi operasi yang optimal untuk setiap komponen proses dan material optimal untuk dibeli. Tujuan utama untuk desain parameter adalah untuk mengurangi variasi kualitas (untuk meningkatkan kapabilitas proses) dengan meminimalisir pengaruh dari *noise*. Desain eksperimen seringkali digunakan pada tahap ini.
3. Desain toleransi. Pada desain ini, toleransi dari kondisi proses dan sumber dari variasi diinvestisigasi. Jika toleransi yang diperoleh dari desain parameter tidak sesuai, pengukuran ekonomis untuk menekan variasi kualitas akan ditemukan dengan menghilangkan secara langsung sumber daripada variasi tersebut. Desain Experimen juga berperan sebagai alat yang kuat pada tahap ini.

2.1.2.3 Penggunaan *Noise*

Sumber yang tidak diinginkan dan tidak dapat dikontrol yang dapat menyebabkan penyimpangan dari target nilai di dalam karakteristik fungsional produk disebut *noise* dan dapat dibagi menjadi tiga tipe:

1. *External Noise* : variabel operasi pada lingkungan seperti suhu, dan kelembaban, dan kondisi penggunaan yang mengganggu fungsi dari produk.
2. *Internal Noise* : perubahan yang terjadi ketika memburuk selama penyimpanan berlangsung, disebabkan oleh pergeseran atau karena lepasnya alat selama penggunaan.
3. *Unit-to-unit noise*: perbedaan diantara produk individual disebabkan ketidaksempurnaan proses manufaktur seperti variasi di dalam pengaturan mesin

Keseluruhan sistem kualitas sebaiknya didesain untuk memproduksi produk yang kuat dengan penerimaan terhadap semua faktor *noise*. Untuk mencapai kekuatan produk, usaha kontrol kualitas harus dimulai pada saat desain

produk dan proses (*off-line* QC) dan harus dilanjutkan selama operasi produksi berlangsung (*on-line* QC).

2.1.2.4 Hal-hal Penting dalam Perencanaan Peningkatan Kualitas

Usaha peningkatan kualitas harus dilanjutkan berdasarkan pada beberapa hal penting:

1. Variasi karakteristik produk dari target nilai mereka harus dikurangi. Taguchi melihat peningkatan kualitas sebagai usaha terus-menerus untuk mengurangi variasi dari target nilai. Tujuan utama dari peningkatan kualitas adalah untuk meraih distribusi populasi sedekat mungkin dengan target. Untuk menyelesaikan ini, dipergunakan *S/N ratio*.
2. Produk dan proses harus dirancang sedemikian mungkin sehingga mereka sangat tidak sensitif terhadap faktor pengganggu (*noise factor*) dan untuk mengurangi efek variasi pada karakteristik kualitas produk dan proses. Aplikasi klasik pada desain eksperimental mengutamakan focus kepada optimalkan kinerja produk rata-rata daripada mempertimbangkan efek dari variasi
3. Di dalam merancang produk dan proses, tingkatan yang optimal dari faktor desain harus ditentukan untuk meminimalisir biaya dibawah kondisi dimana toleransi kualitas dari target bertemu untuk setiap karakteristik yang diinginkan. Untuk mencapai tujuan tersebut, desain toleransi sering digunakan.

Sebelumnya kita mendefinisikan rekayasa kualitas sebagai pengetahuan antar disiplin yang tertuju pada pembuatan produk yang memuaskan untuk pelanggan pada saat mengurangi biaya total. Jika kita menggunakan konsep utama dari rekayasa kualitas Taguchi, kita dapat mendefinisikan rekayasa kualitas sebagai sistem yang efektif dari manajemen rekayasa untuk meminimalisir kerugian total produk di masyarakat melalui kontrol kualitas *off-line* dan *on-line*.

2.2 Metode Taguchi

2.2.1 Latar Belakang Metode Taguchi

Metode Taguchi dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 saat mendapatkan tugas untuk memperbaiki sistem telekomunikasi di Jepang. Metode ini merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dalam dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk *robust* terhadap *noise*, karena itu sering disebut sebagai *Robust Design*. Definisi kualitas menurut Taguchi adalah kerugian yang diterima oleh masyarakat sejak produk tersebut dikirimkan. Filosofi Taguchi terhadap kualitas terdiri dari empat buah konsep, yaitu:

1. Kualitas harus didesain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya.
2. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target.
3. Produk harus didesain sehingga *robust* terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
4. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standar tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

Menurut Taguchi, ada dua segi umum kualitas yaitu kualitas rancangan dan kualitas kecocokan. Kualitas rancangan adalah variasi tingkat kualitas yang ada pada suatu produk yang memang disengaja, sedangkan kualitas kecocokan adalah seberapa baik produk itu sesuai dengan spesifikasi dan kelonggaran yang disyaratkan oleh rancangan.

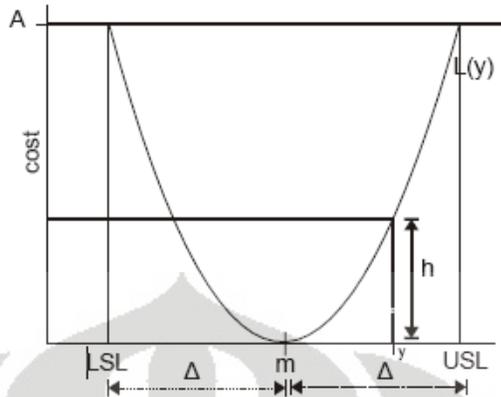
Metode Taguchi menitikberatkan pada pencapaian target tertentu dan mengurangi variasi suatu produk atau proses dengan menggunakan desain parameter. Pencapaian tersebut dilakukan dengan menggunakan ilmu statistika. Apabila ada sejumlah parameter yang diperkirakan mempengaruhi suatu proses, maka dengan prinsip statistika pada metode Taguchi ini dapat dihitung seberapa besar peran masing-masing parameter tersebut dalam mempengaruhi proses ataupun hasil dari proses tersebut. Dengan menggunakan metode Taguchi ini dapat ditarik kesimpulan parameter mana yang dominan mempengaruhi proses (*control factor*) dan parameter mana yang hanya merupakan gangguan (*noise*) saja. Dengan mengetahui parameter yang dominan, maka dapat dilakukan suatu

optimasi pada parameter yang dominan tersebut, sehingga diperoleh proses yang optimum, karena itu disebut sebagai desain parameter. Ada dua kontribusi utama metode Taguchi pada kualitas, yaitu *Taguchi Loss Function* dan *Othogonal Arrays*.

2.2.2. *Taguchi Loss Function*

Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya Taguchi mendefinisikan kualitas sebagai kerugian suatu produk yang dialami masyarakat setelah produk dikirimkan. Jika kualitas dipandang seperti ini maka sudah seharusnya sebuah fungsi kerugian untuk mengukur kualitas produk didefinisikan.

Taguchi loss function secara umum merupakan fungsi kerugian yang ditanggung oleh masyarakat (produsen dan konsumen) akibat kualitas yang dihasilkan. Bagi produsen yaitu dengan timbulnya biaya kualitas sedangkan bagi konsumen adalah adanya ketidakpuasan atau kecewa atas produk yang dibeli atau dikonsumsi karena kualitas yang jelek. *Loss* merupakan sesuatu yang pasti terjadi saat suatu karakteristik kualitas fungsional produk menyimpang dari nilai nominalnya (target), sekecil apapun penyimpangan yang terjadi. Nilai *loss* akan meningkat saat nilai karakteristik kualitas melebar lebih jauh dari nilai targetnya. *Loss* yang terjadi akibat variasi dalam output proses ini nilainya sama dengan "kerugian terhadap masyarakat". *Loss function* menggambarkan biaya sosial yang timbul di antara produsen dan konsumen akibat penetapan karakteristik kualitas tertentu pada produk. *Loss Function* digunakan dalam mengukur performansi karakteristik kualitas dalam pencapaian target, yaitu seberapa besar adanya variasi di sekitar target. *Loss function* juga dapat digunakan dalam evaluasi pengaruh yang ditimbulkan oleh suatu usaha perbaikan kualitas. *Taguchi loss function* digambarkan dengan kurva kuadratik dari *loss cost* produk yang dihasilkan, seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.1 Taguchi Loss Function

(Sumber: Sung H. Park, 1996)

Keterangan Gambar:

- LSL = *Lower Specification Limit*, batas bawah ukuran spesifikasi yang masih bisa ditolerir oleh customer (customer tolerance)
- USL = *Upper Specification Limit*, batas atas ukuran spesifikasi yang masih bisa ditolerir oleh customer (customer tolerance)
- m = nilai spesifikasi yang diharapkan
- y = nilai spesifikasi suatu produk
- $L(y)$ = *Taguchi Loss Function*
- h = loss yang disebabkan dari deviasi y dan m
- Δ = jarak toleransi maksimal dari m
- A = *loss cost* maksimum yang disebabkan oleh produk yang gagal (berada di luar batas toleransi)

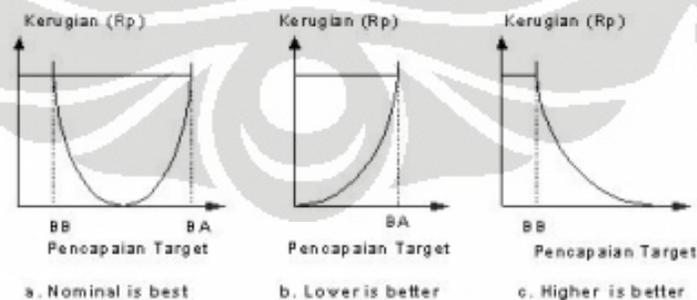
Grafik diatas menggambarkan fungsi kuadratik dari kerugian, dimana kerugian menurun secara perlahan ketika kualitas y mendekati nilai m, tetapi kerugian akan meningkat lebih cepat ketika kualitas y bergerak menjauhi nilai m. Fungsi seperti inilah yang dibutuhkan untuk menghitung kerugian kualitas. Pada *Taguchi Loss Function* juga dikenal suatu koefisien yaitu koefisien kerugian kualitas (k). Koefisien ini dapat ditetapkan sebagai basis informasi mengenai kerugian-kerugian pada terminologi moneter yang disebabkan spesifikasi produk

jatuh diluar batas toleransi konsumen. Pada Taguchi digunakan istilah “customer tolerance” karena fungsi kerugian dilihat dari sudut pandang konsumen. Biasanya batas toleransi konsumen lebih besar dibandingkan toleransi spesifikasi dari pihak produsen. Untuk penghitungan k digunakan rumus sebagai berikut:

Besarnya nilai A_0 dihitung dengan menjumlahkan seluruh komponen biaya yang timbul, misalnya biaya kehilangan waktu, biaya penggantian (perbaikan), transportasi, dan lain-lain. Sedangkan Δ_0 adalah selisih atau besarnya dari toleransi yang diberikan.

Berdasarkan pendekatan *loss function* ini, karakteristik kualitas yang terukur menurut Taguchi dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

1. *Nominal is the best*: merupakan karakteristik kualitas dengan nilai yang dapat positif maupun negatif. Nilai yang diukur berdasarkan nilai target yang telah ditetapkan. Pencapaian nilai mendekati target yang telah ditetapkan maka kualitas semakin baik.
2. *Lower is better*: merupakan karakteristik terukur non negatif dengan nilai ideal nol. Pencapaian nilai mendekati nol maka kualitas akan semakin baik.
3. *Higher is better*: merupakan karakteristik terukur dengan nilai non negatif dengan nilai ideal tak terhingga. Pencapaian nilai mendekati nilai tak terhingga maka kualitas yang dihasilkan akan semakin baik.



Gambar 2.2 *Quality Characteristics* by Taguchi

(Sumber: Sung H. Park, 1996)

Perumusan untuk *loss function* adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Perumusan untuk *Loss Function*

Karakteristik Kualitas	Loss for an individual part = $L(y)$	Estimate Expected Loss
Higher is Better	$k \left(\frac{1}{y^2} \right)$	$k \left(\frac{1}{\bar{y}^2} \right) \left(1 + \left[\frac{3S^2}{\bar{y}^2} \right] \right)$
Nominal is Best	$k(y-m)^2$	$k[S^2 + (y-m)^2]$
Lower is Best	$k(y^2)$	$k(S^2 + y^2)$

(Sumber: Sung H. Park, 1996)

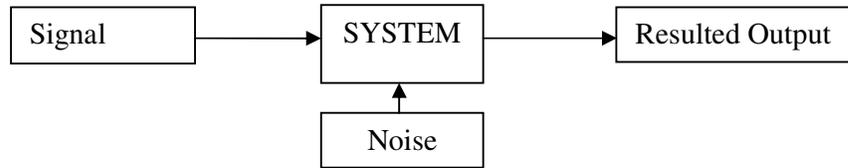
di mana : L = kerugian
 y = hasil pengukuran
 k = konstanta kerugian

m = target
 S^2 = variansi distribusi
 \bar{y} = rata-rata distribusi

2.2.3 Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)

Dalam bidang Rekayasa Komunikasi, sebuah kuantitas disebut *Signal-to-noise ratio (S/N Ratio)* telah banyak digunakan sebagai suatu pilihan karakteristik kualitas. Taguchi, dengan latar belakang rekayasa elektronika dan komunikasi, memperkenalkan konsep ini ke dalam desain eksperimen. Aplikasi *S/N Ratio* ini berguna untuk meningkatkan kualitas lewat pengurangan variasi dan peningkatkan pengukuran.

Faktor-faktor terkontrol yang mungkin berkontribusi untuk mengurangi variasi dan meningkatkan kualitas dapat diidentifikasi dengan menggunakan jumlah variasi pada keadaan sekarang dan pergeseran rata-rata respons kualitas. *S/N Ratio* mentransformasi data respons kualitas menjadi sebuah bilangan yang merefleksikan jumlah variasi dan pergeseran rata-rata. Oleh karena itu, optimasi proses dilakukan oleh metode Taguchi adalah dengan memperhatikan nilai *S/N Ratio*. Prinsip dasarnya adalah pengaturan proses produksi mencapai kondisi yang optimum jika dapat memaksimalkan nilai *S/N Ratio*.



Gambar 2.3 Ilustrasi Konsep *S/N Ratio*

(Sumber: Sung H. Park, 1996)

S/N Ratio adalah suatu bilangan yang menggambarkan perbandingan antara *signal* dan *noise* dari suatu parameter kendali. Untuk menggunakan konsep ini pada desain eksperimen, maka nilai kekuatan *signal* dan *noise* digantikan dengan nilai estimasi rata-rata (μ^2) dan variasi (σ^2).

Nilai *S/N Ratio* didapat dari pengolahan data hasil percobaan untuk beberapa kombinasi *level* pada parameter kendali. Setiap kombinasi akan memiliki nilai tersendiri. Dari nilai tersebut dapat diketahui apakah parameter kendali tersebut cukup memberikan pengaruh yang signifikan pada sebuah proses permesinan sehingga dapat disebut sebuah *signal*. Atau parameter tersebut hanya memberikan pengaruh yang kecil sehingga dianggap sebagai *noise* atau gangguan saja. Jika target yang dituju adalah untuk meningkatkan respon output, maka yang dilakukan adalah mencari kombinasi dari parameter kendali yang nilai *S/N Ratio* dari setiap levelnya memiliki nilai terbesar. Berdasarkan *Taguchi loss function*, ada tiga jenis *S/N Ratios* yang biasa dipakai dalam optimisasi permasalahan statik, yaitu:

a. *Smaller the Better*

Merupakan karakteristik terukur non negatif dengan nilai ideal nol. Pencapaian nilai mendekati nol maka kualitas akan semakin baik. Optimasi jenis ini biasanya dipakai untuk mengoptimasi suatu cacat pada produk. Dapat juga digunakan untuk menentukan waktu produksi tercepat (paling produktif). Untuk menghitungnya menggunakan rumus:

$$S/NRatio = -10 \times \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2.2)$$

di mana, n = jumlah data

i = data respon pengukuran

b. *Nominal the Better*

Merupakan karakteristik kualitas dengan nilai yang dapat positif maupun negatif. Nilai yang diukur berdasarkan nilai target yang telah ditetapkan. Pencapaian nilai mendekati target yang telah ditetapkan maka kualitas semakin baik. Optimasi ini sering digunakan apabila nilai yang telah ditetapkan merupakan sesuatu yang mutlak atau sangat diharapkan. Jadi tidak boleh lebih besar atau lebih kecil dari nilai yang telah ditetapkan sebelumnya. Contohnya adalah dimensi pada komponen-komponen mekanik (pada industri manufaktur), perbandingan unsur kimiawi pada suatu campuran (pada industri kimia), dan lain-lain. Rumus yang dapat digunakan adalah:

$$S/NRatio = 10 \times \log \left[\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right] \quad (2.3)$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \quad (2.4)$$

di mana: S^2 = varian

n = jumlah pengulangan dari setiap kombinasi

X_i = nilai dari kombinasi ke- n

\bar{X} = nilai rata-rata dari setiap kombinasi

c. *Larger the Better*

Merupakan karakteristik terukur dengan nilai non negatif dengan nilai ideal tak terhingga. Pencapaian nilai mendekati nilai tak terhingga maka kualitas yang dihasilkan akan semakin baik. Optimasi jenis ini merupakan kebalikan dari optimasi *smaller the better*. Kasus yang biasanya dioptimasi adalah untuk menacri kecepatan penghasilan geram (MRR) yang paling

besar, yang berarti semakin besar MRR maka semakin produktif proses produksi tersebut. Rumus yang digunakan adalah:

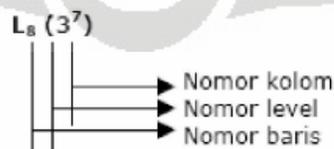
— —

2.2.4 Orthogonal Array (OA) Experiment

2.2.4.1 Struktur Orthogonal Array

Metode Taguchi menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut *orthogonal array* (OA), untuk menetapkan kombinasi factor dan level mana yang akan digunakan dalam eksperimen yang efisien dan untuk menganalisa data hasil percobaan. *Orthogonal array* adalah sebuah matriks *fractional factorial* yang menjamin suatu perbandingan yang seimbang antara *level-level* dari faktor ataupun interaksinya dalam kombinasi yang dihasilkan. *Orthogonal array* digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari *orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi level dari variabel-variabel input untuk masing-masing eksperimen.

Orthogonal array adalah matriks angka-angka yang disusun kedalam sejumlah baris dan kolom. Setiap baris merepresentasikan *level* dari faktor pada setiap percobaan (*run*), dan setiap kolom merepresentasikan faktor atau kondisi tertentu yang dapat berubah dari suatu percobaan ke percobaan lainnya. *Array* disebut *orthogonal* karena setiap *level* dari masing-masing faktor adalah seimbang (*balance*) dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor yang lain dalam percobaan. *Orthogonal array* merupakan suatu matriks faktor dan *level* yang tidak membawa pengaruh dari faktor atau *level* yang lain.



Gambar 2.4 Penulisan *Orthogonal Array*

(Sumber: Sung H. Park, 1996)

Keterangan gambar:

- Notasi L menyatakan informasi mengenai *orthogonal array*
- Nomor baris menyatakan jumlah percobaan yang dibutuhkan ketika menggunakan *orthogonal array*
- Nomor kolom menyatakan jumlah faktor yang diamati dalam orthogonal array
- Nomor *level* menyatakan jumlah *level* faktor

Untuk dua level, tabel OA terdiri dari L4, L8, L12, L16, L32, sedangkan untuk tiga level tabel OA terdiri dari L9, L18, L27. Pemilihan jenis OA yang akan digunakan pada percobaan didasarkan pada jumlah derajat kebebasan total. Penentuan derajat kebebasan berdasarkan pada:

- Jumlah faktor utama yang diamati dan interaksi yang diamati
- Jumlah *level* dari faktor yang diamati
- Resolusi percobaan yang digunakan atau batasan biaya

Banyaknya *level* yang digunakan didalam faktor digunakan untuk memilih *orthogonal array*. Jika faktornya ditetapkan berlevel dua maka harus digunakan *orthogonal array* dua level, begitu seterusnya. *Orthogonal array* untuk L4 diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Matriks *Orthogonal Array*

<i>Experiment Number</i>	<i>Column</i>		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

(Sumber: Sung H. Park, 1996)

Matriks OA pada tabel diatas terdiri dari 3 faktor kendali (A, B, dan C) dan dua level (1 dan 2). Untuk matriks ini diperlukan 4 kali percobaan karena berdasarkan matriks *orthogonal array*-nya terdapat 4 macam kombinasi.

Orthogonal Array mempunyai beberapa manfaat, yaitu:

1. Kesimpulan yang diambil dapat menjangkau ruang lingkup faktor kendali dan masing-masing level-nya secara keseluruhan
2. Sangat menghemat pelaksanaan percobaan karena tidak menggunakan prinsip *full factorial experiment* seperti percobaan biasa, tetapi menggunakan prinsip *fractional factorial experiment*. Artinya, tidak semua kombinasi *level* harus dilakukan percobaan, melainkan beberapa saja. Untuk menentukan *level* mana yang harus dilakukan dalam pengambilan data, maka harus mengacu pada model OA yang standar.
3. Kemudahan dalam analisis data

2.2.4.2 Penentuan dan Pemilihan *Orthogonal Array*

Ada dua hal yang harus diperhitungkan dalam pemilihan jenis OA, yaitu:

1. Derajat Kebebasan (*Degree of Freedom*)

Derajat kebebasan merupakan banyaknya perbandingan yang harus dilakukan antar *level-level* faktor (efek utama) atau interaksi yang digunakan untuk menentukan jumlah percobaan minimum yang dilakukan. Perhitungan derajat kebebasan dilakukan agar diperoleh suatu pemahaman mengenai hubungan antara suatu faktor dengan *level* yang berbeda-beda terhadap karakteristik kualitas yang dihasilkan. Perbandingan ini sendiri akan memberikan informasi tentang faktor dan level yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap karakteristik kualitas.

Dalam melakukan percobaan, efisiensi dan biaya yang harus dikeluarkan merupakan salah satu pertimbangan utama. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka sebisa mungkin digunakan *orthogonal array* terkecil yang masih dapat memberikan informasi yang cukup untuk dilakukannya percobaan secara komprehensif dan penarikan kesimpulan yang valid. Untuk menentukan *orthogonal array* yang diperlukan maka dibutuhkan perhitungan derajat

kebebasan. Perhitungan untuk memperoleh derajat kebebasan adalah sebagai berikut:

- a. Untuk faktor utama, misal faktor utama A dan B:

$$\begin{aligned} V_A &= (\text{jumlah level faktor A}) - 1 \\ &= k_A - 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_B &= (\text{jumlah level faktor B}) - 1 \\ &= k_B - 1 \end{aligned}$$

- b. Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

$$V_{A \times B} = (k_A - 1)(k_B - 1)$$

- c. Nilai derajat kebebasan total

$$\begin{aligned} V_T &= (k_A - 1) + (k_B - 1) + (k_A - 1)(k_B - 1) \\ &= (\text{Jumlah Percobaan}) - 1 \end{aligned}$$

- d. Nilai derajat kebebasan error

$$V_e = V_T - V_A - V_B - V_{A \times B}$$

Tabel *orthogonal array* yang dipilih harus mempunyai jumlah baris minimum yang tidak boleh kurang dari jumlah derajat kebebasan totalnya.

2. Interaksi Antar Faktor

Interaksi antara dua faktor berarti efek satu faktor pada respon tergantung *level* faktor lain. Antara interaksi menyebabkan sistem tidak *robust* karena sistem menjadi sangat sensitif terhadap perubahan satu faktor.

2.2.5 Tahapan dalam Metode Taguchi

Tahapan ini dibagi menjadi tiga fase utama yang meliputi keseluruhan pendekatan eksperimen. Tiga fase tersebut adalah (1) fase perencanaan, (2) fase pelaksanaan, dan (3) fase analisis. Fase perencanaan merupakan fase yang paling penting dari eksperimen untuk menyediakan informasi yang diharapkan. Fase perencanaan adalah ketika faktor dan levelnya dipilih, dan oleh karena itu, merupakan langkah yang terpenting dalam eksperimen. Fase terpenting kedua adalah fase pelaksanaan, ketika hasil eksperimen telah didapatkan. Jika eksperimen direncanakan dan dilaksanakan dengan baik, analisis akan lebih

mudah dan cenderung untuk dapat menghasilkan informasi yang positif tentang faktor dan *level*.

Fase analisis adalah ketika informasi positif atau negatif berkaitan dengan faktor dan level yang telah dipilih dihasilkan berdasarkan dua fase sebelumnya. Fase analisis adalah hal penting terakhir yang mana apakah peneliti akan dapat menghasilkan hasil yang positif. Langkah utama untuk melengkapi desain eksperimen yang efektif adalah sebagai berikut (Ross, 1996):

1. Perumusan masalah: Perumusan masalah harus spesifik dan jelas batasannya dan secara teknis harus dapat dituangkan ke dalam percobaan yang akan dilakukan.
2. Tujuan eksperimen: Tujuan yang melandasi percobaan harus dapat menjawab apa yang telah dinyatakan pada perumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat pada masalah yang kita amati.
3. Memilih karakteristik kualitas atau respon yang akan dioptimasi (Variabel Tak Bebas): Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas yang akan diselediki.
4. Memilih faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas (Variabel Bebas): Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan dipilih faktor-faktor yang akan diselediki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan. Dalam seluruh percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselediki, sebab hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Hanya faktor-faktor yang dianggap penting saja yang diselediki. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang akan diteliti adalah *brainstorming*, *flowcharting*, dan *cause effect diagram*.
5. Mengidentifikasi faktor terkontrol dan tidak terkontrol: Dalam metode Taguchi, faktor-faktor tersebut perlu diidentifikasi dengan jelas karena pengaruh antara kedua jenis faktor tersebut berbeda. Faktor terkontrol (*control factors*) adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau

dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Sedangkan faktor gangguan (*noise factors*) adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau dikendalikan, atau faktor yang tidak ingin kita atur atau kendalikan.

6. Penentuan jumlah *level* dan nilai faktor: Pemilihan jumlah *level* penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan ongkos pelaksanaan percobaan. Makin banyak *level* yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh akan lebih banyak, tetapi banyaknya *level* juga akan meningkatkan ongkos percobaan.
7. Identifikasi Interaksi antar Faktor Kontrol: Interaksi muncul ketika dua faktor atau lebih mengalami perlakuan secara bersama akan memberikan hasil yang berbeda pada karakteristik kualitas dibandingkan jika faktor mengalami perlakuan secara sendiri-sendiri. Kesalahan dalam penentuan interaksi akan berpengaruh pada kesalahan interpretasi data dan kegagalan dalam penentuan proses yang optimal. Tetapi Taguchi lebih mementingkan pengamatan pada *main effect* (penyebab utama) sehingga adanya interaksi diusahakan seminimal mungkin, tetapi tidak dihilangkan sehingga perlu dipelajari kemungkinan adanya interaksi.
8. Perhitungan derajat kebebasan (*degrees of freedom/dof*): Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati.
9. Pemilihan *Orthogonal Array* (OA): Dalam memilih jenis *Orthogonal Array* harus diperhatikan jumlah level faktor yang diamati yaitu
 - Jika semua faktor adalah dua level: pilih jenis OA untuk level dua faktor
 - Jika semua faktor adalah tiga level: pilih jenis OA untuk level tiga faktor
 - Jika beberapa faktor adalah dua level dan lainnya tiga level: pilih yang mana yang dominan dan gunakan *Dummy Treatment*, Metode Kombinasi, atau *Metode Idle Column*.

- Jika terdapat campuran dua, tiga, atau empat level faktor: lakukan modifikasi OA dengan metode *Merging Column*
10. Penugasan untuk faktor dan interaksinya pada *orthogonal array*: Penugasan faktor-faktor baik faktor kontrol maupun faktor gangguan dan interaksi-interaksinya pada *orthogonal array* terpilih dengan memperhatikan grafik linier dan tabel triangular. Kedua hal tersebut merupakan alat bantu penugasan faktor yang dirancang oleh Taguchi. Grafik linier mengindikasikan berbagai kolom ke mana faktor-faktor tersebut. Tabel triangular berisi semua hubungan interaksi-interaksi yang mungkin antara faktor-faktor (kolom-kolom) dalam suatu OA.
11. Persiapan dan Pelaksanaan Percobaan: Persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi percobaan dan randomisasi pelaksanaan percobaan.
- Jumlah Replikasi: Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Replikasi bertujuan untuk: 1) Mengurangi tingkat kesalahan percobaan, 2) Menambah ketelitian data percobaan, dan 3) Mendapatkan harga estimasi kesalahan percobaan sehingga memungkinkan diadakan test signifikansi hasil eksperimen.
 - Randomisasi: Secara umum randomisasi dimaksudkan untuk: 1) Meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit percobaan, 2) Memberikan kesempatan yang sama pada semua unit percobaan untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh pada setiap perlakuan yang sama, dan 3) Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas (independen) satu sama lain. Pelaksanaan percobaan Taguchi adalah pengerjaan berdasarkan setting faktor pada OA dengan jumlah percobaan sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti randomisasi. Proses percobaan dilakukan dengan mengumpulkan data respon sebanyak jumlah baris pada matriks OA

yang telah dipilih. Data respon yang telah diperoleh itu kemudian diubah menjadi *S/N ratios* (*Signal to Noise Ratios*)

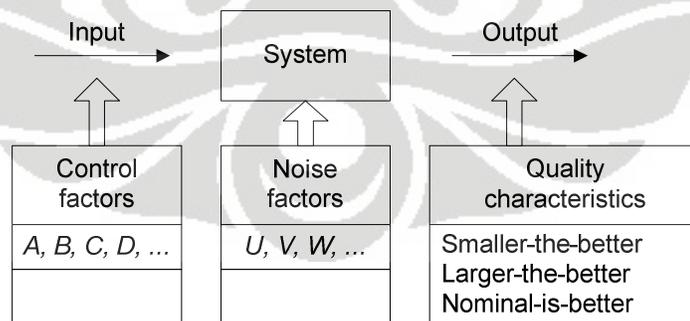
12. Analisis Data: Pada analisis dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *lay out* tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih.
13. Interpretasi Hasil: Interpretasi hasil merupakan langkah yang dilakukan setelah percobaan dan analisis telah dilakukan.

2.2.6 Desain Parameter Taguchi

2.2.6.1 Struktur Desain Parameter

Taguchi desain parameter adalah sebuah desain yang digunakan untuk meningkatkan kualitas tanpa menghilangkan penyebab dari variasi, dan untuk membuat sebuah produk tahan terhadap factor pengganggu. Secara umum, desain parameter memiliki dua karakteristik, yaitu:

1. Mengklasifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas kedalam *control factor* (faktor terkendali) dan *noise factor* (faktor pengganggu yang tidak dapat dikendalikan).
2. Menggunakan dua matriks *orthogonal array*. Untuk faktor terkendali menggunakan sebuah OA yang disebut *inner array*, dan *outer array* untuk faktor pengganggu.



Gambar 2.5 Desain Parameter Taguchi

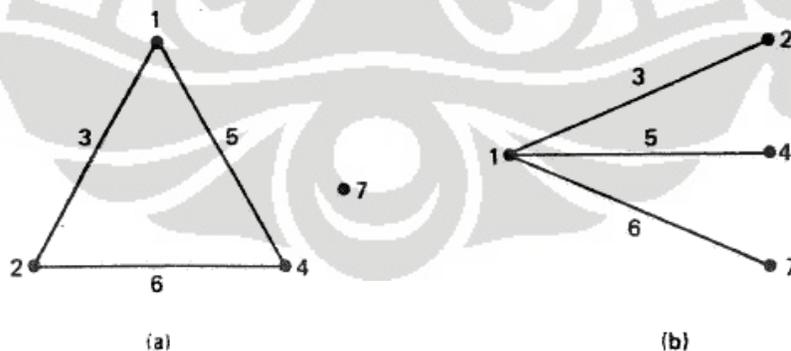
(Sumber: Sung H. Park, 1996)

Tabel 2.3 Struktur Desain Parameter

Type of array	Inner array (L_8)							Outer array (L_8)				
	Control factor assignment and column number							Raw data				S/N Ratio
								Experiment no.				Noise factor assignment
Experiment number	A	B	C	D	F	e	e	1	2	3	4	U
	1	2	3	4	5	6	7	0	0	1	1	V
								0	1	1	0	W
1	0	0	0	0	0	0	0	y_{11}	y_{12}	y_{13}	y_{14}	SN_1
2	0	0	0	1	1	1	1	y_{21}	y_{22}	y_{23}	y_{24}	SN_2
3	0	1	1	0	0	1	1	y_{31}	y_{32}	y_{33}	y_{34}	SN_3
4	0	1	1	1	1	0	0	...				
5	1	0	1	0	1	0	1	...				
6	1	0	1	1	0	1	0	...				
7	1	1	0	0	1	1	0	...				
8	1	1	0	1	0	0	1	y_{81}	y_{82}	y_{83}	y_{84}	SN_8

(Sumber: Sung H. Park, 1996)

Penugasan faktor-faktor baik faktor kontrol maupun interaksi-interaksinya pada orthogonal array terpilih dengan memperhatikan grafik linier dan tabel triangular. Kedua hal tersebut merupakan alat bantu penugasan faktor yang dirancang oleh Taguchi. Grafik linier mengindikasikan berbagai kolom ke mana faktor-faktor tersebut. Tabel triangular berisi semua hubungan interaksi-interaksi yang mungkin antara faktor-faktor (kolom-kolom) dalam suatu OA.

**Gambar 2.6** Contoh Grafik Linier

(Sumber: Ranjit K. Roy, 1990)

2.2.6.2 Langkah-langkah dalam Desain Parameter

Beberapa langkah-langkah diperlukan untuk desain parameter dan analisa data, dibedakan berdasarkan tipe dari karakteristik kualitas-nya, yaitu:

1. Karakteristik *Smaller-the-Better* dan *Larger-the-Better*
 - a. Menggambarkan faktor-faktor yang mempengaruhi respons kualitas produk atau proses dari eksperimen yang ingin dilakukan
 - b. Memilih table OA yang sesuai untuk inner dan outer array, dan menempatkan faktor kontrol dan pengganggu ke dalam array-array tersebut.
 - c. Melakukan eksperimen, dan menghitung SN Ratio untuk setiap baris dari inner array
 - d. Mencari faktor-faktor signifikan yang mempengaruhi SN Ratios dengan menggunakan ANOVA (atau Pareto ANOVA), dan mencari kondisi optimum untuk faktor-faktor yang signifikan.
 - e. Untuk faktor-faktor yang tidak signifikan, mencari kondisi optimum berdasarkan pertimbangan lain seperti ekonomi, kemampuan dan kemudahan operasi.
 - f. Mengestimasi rata-rata respons dari kondisi optimum secara keseluruhan, dan melakukan tes konfirmasi pada kondisi optimum tersebut untuk memeriksa apakah kondisi optimum tersebut dapat mencapai respons kualitas yang diinginkan
2. Karakteristik *Nominal-the-Better*
 - a. Menggambarkan faktor-faktor yang mempengaruhi respons kualitas produk atau proses dari eksperimen yang ingin dilakukan
 - b. Memilih table OA yang sesuai untuk inner dan outer array, dan menempatkan faktor kontrol dan pengganggu ke dalam array-array tersebut.
 - c. Melakukan eksperimen, dan menghitung SN Ratio dan Sensitifitas untuk setiap baris dari inner array
 - d. Mencari faktor kontrol yang signifikan mempengaruhi SN Ratio dengan (Pareto) ANOVA, yang akan disebut Dispersion control

factor. Dan mencari faktor kontrol yang signifikan mempengaruhi sensitifitas dengan (Pareto) ANOVA, yang akan disebut mean adjustment factor.

- e. Mencari kondisi optimum untuk dispersion control factor (level-level dari faktor kontrol yang memaksimalkan SN Ratio) dan mean adjustment factor (level-level dari faktor kontrol yang memberikan estimasi respons paling dekat dengan target)
- f. Mengestimasi rata-rata respons dari kondisi optimum secara keseluruhan, dan melakukan tes konfirmasi pada kondisi optimum tersebut untuk memeriksa apakah kondisi optimum tersebut dapat mencapai respons kualitas yang diinginkan

2.2.7 Analisa dalam Hasil Eksperimen

2.2.7.1 Analisa Rata-rata (ANOM)

ANOM atau analisis rata-rata, digunakan untuk mencari kombinasi dari parameter kendali sehingga diperoleh hasil yang optimum sesuai dengan keinginan. Caranya adalah membandingkan nilai rata-rata *S/N Ratio* setiap level dari masing-masing parameter kendali dengan menggunakan grafik *S/N Ratio* terhadap level. Dari perbandingan tersebut dapat diketahui apakah parameter kendali yang dimaksud berpengaruh terhadap proses atau tidak.

2.2.6.2 Analisa Varians (ANOVA)

ANOVA atau analisis varian, digunakan untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses. Besarnya efek tersebut dapat diketahui dengan membandingkan nilai *sum of square* dari suatu parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali.

Analisis varians pada metode Taguchi digunakan sebagai metode statistik untuk menginterpretasikan data-data hasil percobaan. Analisis Varians adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. Analisis varians yang digunakan pada desain parameter berguna untuk membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. ANOVA

yang digunakan dalam hasil eksperimen dengan Taguchi pada umumnya adalah analisa ANOVA dua arah. ANOVA dua arah adalah data percobaan yang terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih. Tabel ANOVA dua arah terdiri dari perhitungan derajat bebas (db), jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat, dan F-rasio yang ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 2.4 Penghitungan dengan ANOVA

Sumber Variasi	Derajat kebebasan	SS	MS	Fhitung	Kontribusi
Faktor A	VA	SSA	MSA	MSA/MSe	SS.A/SST
Faktor B	VB	SSB	MSB	MSB/MSe	SS.B/SST
Interaksi AxB	VAxB	SSAxB	MSAxB	MSAxB/MSe	SS.AxB/SST
Residual	Ve	SSe	MSe		SS.e/SST
Total	VT	SST			100%

(Sumber: Montgomery, 2005)

a. *Sum of Square (SS)*

Sum of Square adalah jumlah variansi nilai *S/N Ratio* dari setiap level pada masing-masing parameter kendali. Besarnya *Sum of Square* dapat dicari dengan menggunakan rumus:

di mana : n = jumlah level dari setiap *control factor*

R_i = nilai *S/N Ratio* pada level ke- n

\bar{R} = nilai rata-rata *S/N Ratio* dari ke 3 level pada sebuah *control factor*

b. Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan dihitung sesuai dengan rumus yang sudah dijelaskan pada sub-bab *Orthogonal Array*.

c. *Mean Square* (MS)

Mean square adalah hasil rata-rata dari jumlah variansi (SS) berdasarkan derajat kebebasannya masing-masing, dihitung dengan cara membagi jumlah variansi (SS) dengan derajat kebebasan (V).

d. Uji-F

Uji-F dipergunakan untuk menilai pengaruh perbedaan setiap faktor yang direpresentasikan dengan nilai rata-rata (μ), untuk melihat apakah layak mengasumsikan bahwa tidak ada perbedaan pada rata-rata populasi yang disebabkan oleh faktor-faktor tersebut. Pengujian dimulai oleh spekulasi dengan hipotesa nol (H_0), yaitu semua rata-rata populasi untuk semua faktor sama (tidak ada perbedaan). Lalu, hipotesa alternatif (H_1), yaitu sekurang-kurangnya terdapat satu faktor yang berbeda. Jika F-hitung lebih besar sama dengan $F(\alpha; f_i, f_e)$, maka diterima hipotesa alternatif bahwa terdapat perbedaan pengaruh faktor yang signifikan.

2.2.6.3 Pareto ANOVA

Pareto Anova adalah sebuah metode ANOVA yang disederhanakan dengan menggunakan prinsip Pareto. Metode ini dapat digunakan dengan lebih mudah dan cepat untuk menganalisa desain parameter karena tidak membutuhkan sebuah tabel ANOVA pada umumnya, dan juga tidak menggunakan f-test. Metode ini juga membolehkan signifikansi dari faktor-faktor dan interaksinya untuk dievaluasi dengan menggunakan analisa pareto, dan juga memungkinkan untuk memperoleh kondisi yang optimum dari setiap level pada faktor. Pada tabel dibawah ini dapat dilihat contoh dari tabel Pareto ANOVA.

Factors		A	B	C	D	F	G	H	I	Total
Sum at factor level	0	139.5	88.6	82.4	96.2	83.6	77.1	80.1	100.6	T = 266.2
	1	126.7	68.1	87.4	69.1	96.1	88.2	78.8	63.2	
	2		109.5	96.4	100.9	86.5	100.9	107.3	102.4	
Squares of diff. (S)		163.8	2571.0	302.0	1767.7	256.8	850.9	1553.8	2938.6	10404.6
Degrees of freedom (ϕ)		1	2	2	2	2	2	2	2	
S/ ϕ		163.8	1285.5	151.0	883.9	128.4	425.5	776.9	1469.3	5284.3
Contribution ratio (%)		3.1	24.3	2.9	16.7	2.4	8.1	14.7	27.8	100.0
Pareto diagram	40 30 20 10	27.8	24.3	16.7	14.7	8.1	3.1	2.9	2.4	
Factor		I	B	D	H	G	A	C	F	
Cumulative contribution ratio (%)		27.8	52.1	68.8	83.5	91.6	94.7	97.6	100.0	
Optimum combination of sig. factor levels		B, D, G, H, I (The optimal level of each significant factor is the level which maximizes the sum of SN ratios.)								
Remarks on optimum conditions		The significant factors are chosen from the left-hand side in the above Pareto diagram which cumulatively contribute about 90%.								

Gambar 2.7 Pareto ANOVA

(Sumber: Sung H. Park, 1996)

Pada tabel tersebut, square of difference adalah kuadrat dari selisih antara level-level pada tiap faktor. Rasio kontribusi (*contribution ratio*) didapatkan dengan cara membandingkan kuadrat selisih setiap masing-masing faktor dengan total dari kuadrat selisih. Contohnya untuk faktor A adalah sebagai berikut:

$$S_A = (A_0 - A_1)^2 \quad (2.7)$$

$$S'_A = S_A / \Phi_A \quad (2.8)$$

$$\text{Rasio Kontribusi} = (S'_A / S_T) \times 100\% \quad (2.9)$$

Faktor-faktor pada area yang diarsir pada diagram Pareto dianggap sebagai penyebab yang signifikan terhadap variasi. Dengan catatan, faktor-faktor signifikan yang terpilih diletakkan di sebelah kiri pada diagram Pareto, secara kumulatif memberikan kontribusi sekitar 90%.

Sedangkan untuk memilih kondisi yang optimal pada setiap faktor terkendali dapat dilihat dari besarnya nilai S/N Ratio untuk setiap level, yaitu yang memiliki nilai S/N Ratio tertinggi.

BAB 3

METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dari mulai awal pengumpulan data mengenai kondisi di perusahaan tempat dilakukannya penelitian, perancangan eksperimen, hingga pengumpulan data eksperimen.

3.1 Profil Perusahaan

Pertumbuhan konsumen sepeda motor meningkat luar biasa. Di tengah-tengah persaingan yang begitu tajam akibat banyaknya merek pendatang baru, sepeda motor Honda yang sudah lama berada di Indonesia, dengan segala keunggulannya, tetap mendominasi pasar dan sekaligus memenuhi kebutuhan angkutan yang tangguh, irit dan ekonomis. Menjawab tantangan tersebut, organisasi yang berada di balik kesuksesan sepeda motor Honda di Indonesia terus memperkuat diri.

PT Astra Honda Motor merupakan sinergi keunggulan teknologi dan jaringan pemasaran di Indonesia, sebuah pengembangan kerja sama antara Honda Motor Company Limited, Jepang, dan PT Astra International Tbk, Indonesia. Keunggulan teknologi Honda Motor diakui di seluruh dunia dan telah dibuktikan dalam berbagai kesempatan, baik di jalan raya maupun di lintasan balap. Honda pun mengembangkan teknologi yang mampu menjawab kebutuhan pelanggan yaitu mesin "bandel" dan irit bahan bakar, sehingga menjadikannya sebagai pelopor kendaraan roda dua yang ekonomis. Astra International memiliki pengetahuan yang komprehensif tentang kebutuhan para pemakai sepeda motor di Indonesia, berkat jaringan pemasaran dan pengalamannya yang luas. Astra juga mampu memfasilitasi pembelian dan memberikan pelayanan purna jual sedemikian rupa sehingga brand Honda semakin unggul.

3.1.1 Sejarah Perusahaan

PT Astra Honda Motor (AHM) merupakan pelopor industri sepeda motor di Indonesia. Didirikan pada 11 Juni 1971 dengan nama awal PT Federal Motor,

yang sahamnya secara mayoritas dimiliki oleh PT Astra International. Saat itu, PT Federal Motor hanya merakit, sedangkan komponennya diimpor dari Jepang dalam bentuk CKD (*completely knock down*).

Kebijakan pemerintah dalam hal lokalisasi komponen otomotif mendorong PT Federal Motor memproduksi berbagai komponen sepeda motor Honda tahun 2001 di dalam negeri melalui beberapa anak perusahaan, diantaranya PT Honda Federal (1974) yang memproduksi komponen-komponen dasar sepeda motor Honda seperti rangka, roda, knalpot dan sebagainya, PT Showa Manufacturing Indonesia (1979) yang khusus memproduksi peredam kejut, PT Honda Astra Engine Manufacturing (1984) yang memproduksi mesin sepeda motor serta PT Federal Izumi Mfg. (1990) yang khusus memproduksi piston.

Seiring dengan perkembangan kondisi ekonomi serta tumbuhnya pasar sepeda motor terjadi perubahan komposisi kepemilikan saham di pabrikan sepeda motor Honda ini. Pada tahun 2000 PT Federal Motor dan beberapa anak perusahaan di merger menjadi satu dengan nama PT Astra Honda Motor, yang komposisi kepemilikan sahamnya menjadi 50% milik PT Astra International Tbk dan 50% milik Honda Motor Co. Japan. Saat ini PT Astra Honda Motor memiliki 3 fasilitas pabrik perakitan, pabrik pertama berlokasi Sunter, Jakarta Utara yang juga berfungsi sebagai kantor pusat. Pabrik ke dua berlokasi di Pegangsaan Dua, Kelapa Gading, serta pabrik ke 3 yang sekaligus pabrik paling mutakhir berlokasi di kawasan MM 2100 Cikarang Barat, Bekasi. Pabrik ke 3 ini merupakan fasilitas pabrik perakitan terbaru yang mulai beroperasi sejak tahun 2005.

Dengan keseluruhan fasilitas ini PT Astra Honda Motor saat ini memiliki kapasitas produksi 3 juta unit sepeda motor per-tahunnya, untuk permintaan pasar sepeda motor di Indonesia yang terus meningkat. Salah satu puncak prestasi yang berhasil diraih PT Astra Honda Motor adalah pencapaian produksi ke 20 juta pada tahun 2007. Prestasi ini merupakan prestasi pertama yang berhasil diraih oleh industri sepeda motor di Indonesia bahkan untuk tingkat ASEAN. Secara dunia pencapaian produksi sepeda motor Honda 20 juta unit adalah yang ke tiga, setelah pabrik sepeda motor Honda di Cina dan India.

Guna menunjang kebutuhan serta kepuasan pelanggan sepeda motor Honda, saat PT Astra Honda Motor di dukung oleh 1.600 showroom dealer

penjualan yang diberi kode H1, 3.800 layanan service atau bengkel AHASS (Astra Honda Authorized Service Station) dengan kode H2, serta 6.500 gerai suku cadang atau H, yang siap melayani jutaan penggunaan sepeda motor Honda di seluruh Indonesia.

Industri sepeda motor saat ini merupakan suatu industri yang besar di Indonesia. Karyawan PT Astra Honda Motor saja saat ini berjumlah sekitar 13.000 orang, ditambah 130 vendor dan supplier serta ribuan jaringan lainnya, yang kesemuanya ini memberikan dampak ekonomi berantai yang luar biasa. Keseluruhan rantai ekonomi tersebut diperkirakan dapat memberika kesempatan kerja kepada sekitar 500 ribu orang. PT Astra Honda Motor akan terus berkarya menghasilkan sarana transportasi roda 2 yang menyenangkan, aman dan ekonomis sesuai dengan harapan dan kebutuhan masyarakat Indonesia.

3.1.2 Visi dan Misi

PT Astra Honda Motor, perusahaan yang menjalankan fungsi produksi, penjualan dan pelayanan purna jual yang lengkap untuk kepuasan pelanggan dan memiliki:

Visi

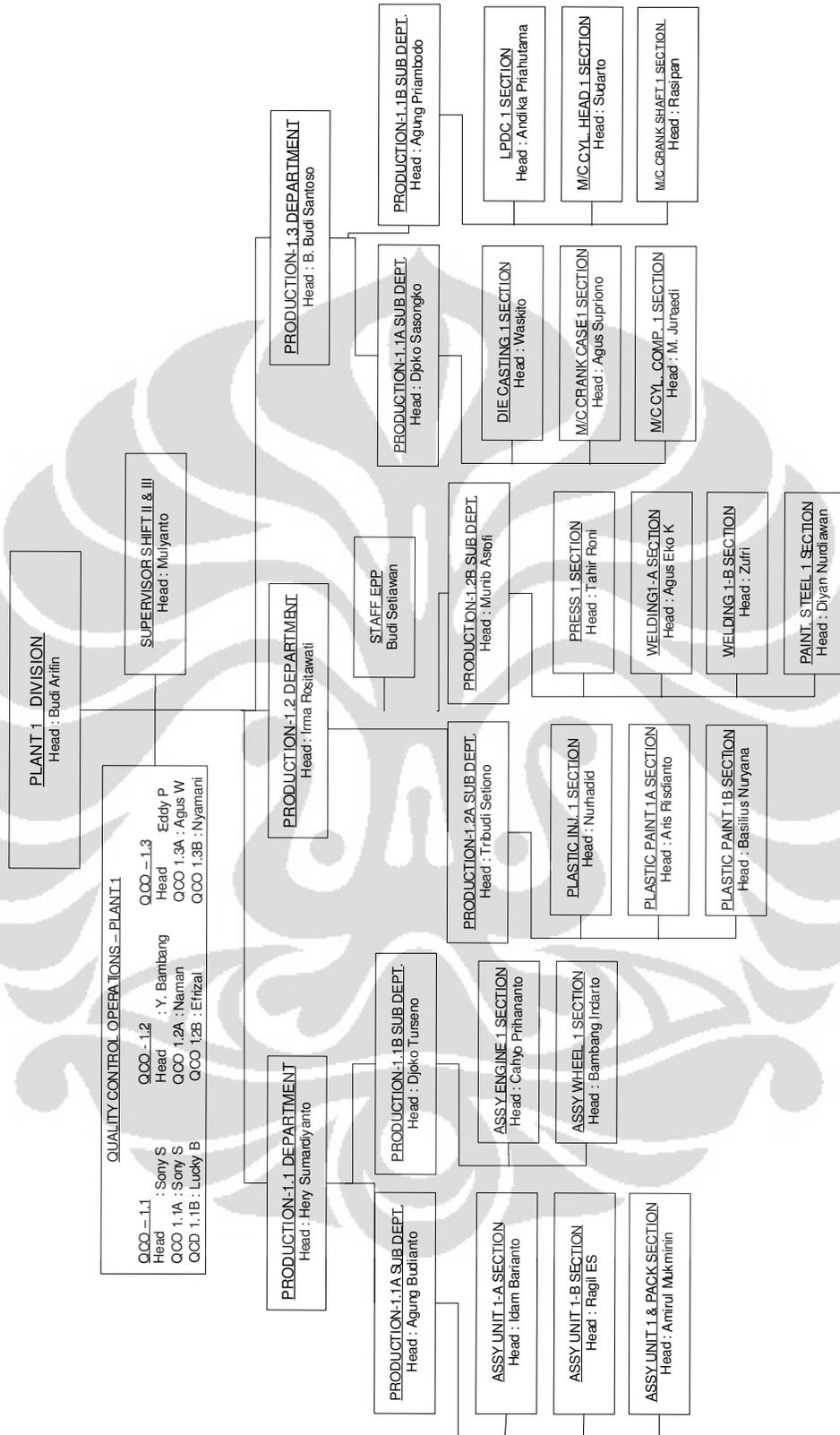
To Be Number One Market Driven Trend-setter motorcycle Company in Indonesia in term of customer satisfaction the empowered human capital guided by shared values.

Misi

To provide mobility solution which exceed customer expectation with the best value motorcycle & Its related products, thru empowered human capital for the benefit of all stakeholders.

3.1.3 Struktur Organisasi

Struktur organisasi PT. Astra Honda Motor (AHM) adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Struktur Organisasi PT. Astra Honda Motor (AHM)

3.1.4 Lini Produksi *Plastic Painting*

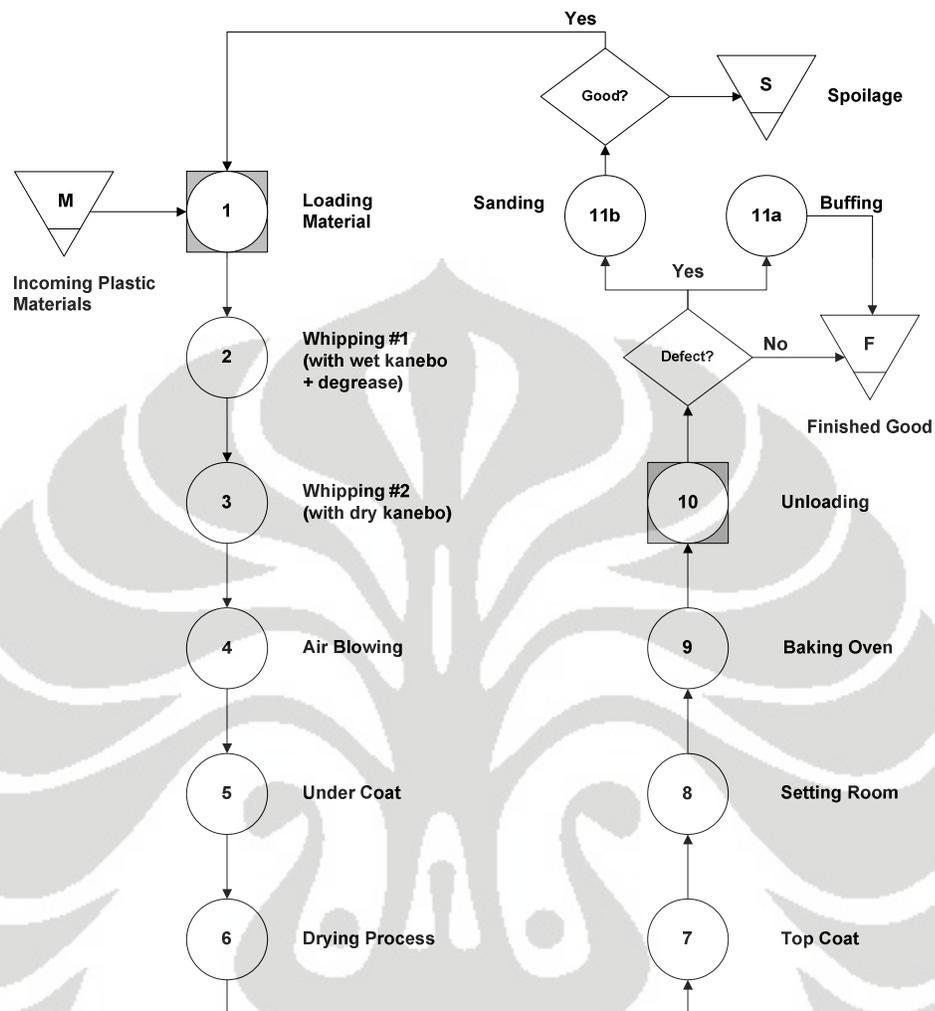
Lini produksi *plastic painting* di PT Astra Honda Motor merupakan lini yang khusus mengecat part sepeda motor yang terbuat dari plastik. Lini produksi ini mengambil bahan mentah dari proses sebelumnya, yaitu dari proses *plastic injection*. Namun demikian, tidak semua par hasil proses *plastic injection* dicat di lini produksi *plastic painting* PT. Astra Honda Motor. Umumnya, part yang dicat adalah yang akan ditempatkan di bagian luar sepeda motor seperti *body*, sayap, dan *cover*. Hal ini dikarenakan karena PT. Astra Honda Motor juga menggunakan jasa subkontraktor dalam mengecat *part-part* plastiknya, khususnya untuk part yang mungkin memiliki risiko gagal lebih kecil.

Di Plant PT. Astra Honda Motor Sunter, terdapat dua seksi produksi *plastic painting*, yaitu seksi 1A dan 1B, di mana masing-masing memiliki dua buah lini produksi. Pada seksi 1A, terdapat lini produksi F dan G sedangkan pada seksi 1B terdapat lini produksi I dan J. Pada kegiatan operasionalnya sehari-hari, lini produksi F dan G biasanya melakukan proses pengecatan untuk *part-part* yang akan dicat dengan warna hitam, sedangkan lini produksi I dan J untuk *part-part* yang akan dicat dengan warna selain hitam. Hal ini dimaksudkan agar proses pengecatan dapat dilakukan dengan lebih mudah dan kontinu, sehingga tidak terjadi pergantian warna cat yang tentunya dapat menambah biaya dan waktu pengerjaan. Sebagai informasi, di Plant PT. Astra Honda Motor Sunter ini lini produksi *plastic painting* mengecat *part* untuk motor type KVLV dan KWWF, di mana ada tiga jenis warna yang akan dicat, yaitu hitam, *digital silver*, dan *anchor grey*.

3.2 Penelusuran Proses dan Perancangan Eksperimen

3.2.1 Pemahaman Flow Process

Ada beberapa tahapan yang dilalui oleh suatu bahan mentah sebelum menjadi barang jadi, demikian juga dalam proses *painting* ini. Dalam setiap proses yang dilalui, terdapat faktor-faktor yang dapat diubah. Gambar di bawah ini akan menjelaskan aliran proses yang akan dilalui bahan mentah hingga menjadi barang jadi (*finished good*).



Gambar 3.2 *Flow Process Plastic Painting*

Loading material

Proses pertama yang dilakukan di lini produksi *plastic painting* ini adalah *loading material* atau menaruh *incoming material* (*part-part plastic* yang berasal dari lini produksi *plastic injection*) pada *hanger-hanger* yang telah tersedia pada konveyor. Jumlah *hanger* pada lini produksi F, G, I dan J berbeda-beda, namun masing-masing berkisar antara 230-236 *hanger*. Sebagai tambahan, selain berasal dari lini produksi *plastic injection*, *part-part* yang di-*loading* dapat juga merupakan proses *repaint* dari hasil proses *sanding* dari *part-part* yang mengalami *defect*

sebelumnya. Biasanya, proses repaint dibatasi hanya 3 kali untuk menjaga kualitas produk tetap sesuai dengan standar yang telah ditetapkan yaitu dalam hal ketebalan. Setelah *part-part* yang akan dicat tergantung pada *hanger*, maka mesin konveyor akan dijalankan. Umumnya kecepatan konveyor yang digunakan berkisar antara 1350-2000 mm/menit. Dengan kecepatan 1350 mm/menit, waktu yang dibutuhkan untuk satu *hanger* ke *hanger* berikutnya adalah kurang lebih 30 detik. Untuk penentuan kecepatan dan banyaknya part yang harus dicat setiap harinya ditentukan oleh bagian planning atau perencanaan.

Whipping

Setelah *hanger* yang berisi *part* berjalan seiring dinyalakannya mesin konveyor, proses pertama yang dilakukan adalah *whipping* atau pengelapan. Pada proses ini, *part-part* yang tergantung di *hanger* di lap dengan menggunakan lap kanebo untuk membersihkan *part-part* tersebut dari kotoran-kotoran yang menempel. Pada proses ini, terdapat dua jenis proses, yaitu *whipping* dengan menggunakan air yang telah dicampur *degrease* dan dilanjutkan dengan *whipping* dengan menggunakan lap kering. *Degrease* merupakan bahan kimia yang sejenis dengan deterjen, hanya bubuk ini lebih berbahaya jika bersentuhan langsung dengan tangan karena akan menimbulkan rasa panas. Di PT. Astra Honda Motor, proses yang juga dikenal dengan nama *pre treatment* ini dilakukan oleh 2 orang operator yang masing-masing melakukan proses *whipping* yang berbeda seperti yang telah dijelaskan di atas. Dalam proses ini, operator juga menggunakan perlengkapan seperti sarung tangan dan masker mengingat proses ini sangat menentukan kualitas hasil akhir dari lini produksi *plastic painting* ini.

Air Blowing

Setelah *part-part* dilap dengan bersih, proses selanjutnya yang dilakukan adalah *air blowing*, di mana pada proses ini *part-part* yang tergantung pada *hanger* yang berjalan disemprotkan angin dengan tekanan tinggi ke seluruh bagian part untuk mengeringkan sisa-sisa bintik air yang terisa pada proses *whipping*. Selain untuk proses pengeringan, proses *air blowing* juga untuk memastikan tidak ada debu atau kotoran lain yang masih menempel pada *part* yang akan dicat.

Under Coat

Setelah memastikan part benar-benar bersih dan juga kering, proses selanjutnya adalah melakukan pengecatan dasar pada *part* yang dikenal dengan nama *under coat*. Pengecatan dilakukan dengan menggunakan sistem *spray* atau semprot dengan menggunakan bantuan mesin kompresor. Pada *under coat* ini terdapat dua orang operator yang masing-masing meng-*handle hanger* bagian atas dan bawah. Keahlian atau skill operator sangat berperan di sini. Faktor-faktor seperti jarak *spray*, sudut *spray*, lebar *pattern*, tekanan angin, tekanan cat, dan viskositas cat akan sangat menentukan kualitas hasil akhir dari produk.

Drying Process

Setelah part dilapis dengan cat dasar, proses selanjutnya adalah proses pengeringan atau *drying process* sehingga cat dasar benar-benar kering dan part siap untuk diproses selanjutnya. Proses pengeringan ini tidak dilakukan dengan menggunakan oven, melainkan dilakukan secara alami dan tanpa menggunakan operator. Part-part yang telah mengalami proses *under coat* akan melewati sebuah ruangan yang sengaja dibuat berliku agar tercipta waktu yang cukup hingga *part* tersebut kering.

Top Coat

Proses *top coat* atau pengecatan tahap akhir (*finishing*) prosesnya secara umum hampir sama dengan proses *under coat* di mana pengecatan dilakukan dengan cara disemprot dengan bantuan mesin kompresor. Biasanya perbedaan terletak pada tingkat viskositas cat yang digunakan. Untuk proses *top coat*, biasanya digunakan cat dengan viskositas sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan viskositas cat pada proses *top coat*.

Setting room

Setelah *part* mengalami pengecatan tahap akhir, maka tahap selanjutnya tentunya adalah tahap pengeringan. Karena pada tahap akhir ini pengeringan dilakukan dengan menggunakan oven, maka kita harus memastikan bahwa keadaan *part*-

part tersebut telah siap untuk masuk ke dalam oven. Proses *setting room* merupakan proses untuk mendinginkan dan menetralkan kondisi *part*.

Baking oven

Setelah *part* benar-benar siap untuk di-oven, maka *part-part* tersebut akan masuk ke dalam ruangan yang telah diatur suhunya yang kita kenal dengan nama proses *baking oven*. Suhu yang digunakan pada proses *baking oven* ini biasanya berkisar antara 60-75°C. Panas yang digunakan menggunakan menggunakan pembakar oven yang berbahan bakar LNG.

Unloading

Pada proses ini juga dilakukan inspeksi oleh *checkman* di mana *part-part* hasil pengecatan diperiksa apakah *part* tersebut mengalami *defect* atau tidak. Jika *part* tersebut ternyata mengalami *defect*, maka proses dilanjutkan dengan penentuan apakah *part* tersebut dapat di-*buffing* atukah harus di-*sanding*. Jika ternyata tidak ditemukan kecacatan pada *part* tersebut, maka proses yang dilakukan adalah proses *stripping* atau proses penempelan stiker sesuai dengan jenis motor yang telah ditentukan. Walaupun secara proses *stripping* sangat berbeda dengan *plastic painting*, namun secara struktural, proses *stripping* ini masih berada satu divisi dengan lini produksi *plastic painting*.

Sanding and buffing

Sanding dan *buffing* merupakan proses lanjutan untuk *part-part* yang mengalami *defect*. *Part* yang mengalami *defect* akan di *unload* oleh operator, lalu dilakukan proses *sanding* atau *buffing*. Proses *sanding* biasanya 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 jenis *defect* minyak, *orange peel*, meleleh, menyerap dan bintik air.

3.2.2 Jenis-jenis Defect

Berikut ini merupakan jenis-jenis *defect* yang mungkin muncul selama proses pengecatan berlangsung:

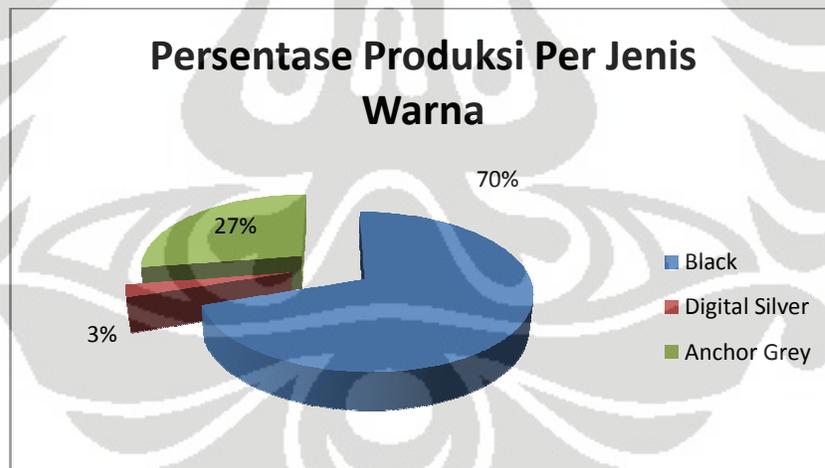
1. Kotor, yaitu *defect* yang terjadi karena *part* yang tidak bersih dilap atau masih terdapat kotoran sehingga kotoran tersebut ikut mengalami pengecatan, selain itu, kotor juga dapat disebabkan karena faktor *skill* operator yang kurang sehingga menyebabkan terjadinya turbulensi pada saat pengecatan.
2. Meleleh, yaitu cacat yang terjadi karena cat yang dalam keadaan masih basah, mengumpul lalu bergulir ke sisi *part* yang lain. Saat cat bergulir lalu cat mengering, hal ini menyebabkan permukaan *part* tidak merata.
3. Tipis, yaitu *defect* yang terjadi karena proses pengecatan tidak merata sehingga terdapat bagian di mana warnanya berbeda.
4. Amplas, yaitu cacat yang terjadi pada *part* hasil *sanding* yang mengalami proses repaint kembali gagal mengalami pengecatan yang sempurna.
5. Minyak, yaitu *defect* yang terjadi karena *part* masih berminyak sehingga cat yang disemprot tidak dapat menempel.
6. Gores dasar, yaitu cacat yang terjadi karena adanya goresan pada permukaan *part* sehingga tetap terlihat walaupun telah dicat. Umumnya hal ini terjadi karena *part* memang telah sejak awal mengalami cacat.
7. Menyerap, yaitu cacat yang terjadi karena cat yang menyerap ke dalam *part* sehingga menimbulkan belang pada *part*. Sama seperti cacat gores dasar, umumnya hal ini terjadi karena *part* memang telah sejak awal mengalami cacat.
8. Bintik air, yaitu *defect* karena masih terdapat bintik air pada permukaan cat yang belum kering pada proses *air blowing* yang ikut tercat.
9. *Dust* atau debu, yaitu cacat di mana ada bagian *part* yang tidak dicuci bersih sehingga ada kotoran yang masih menempel dan ikut tercat. Perbedaan antara *dust* dengan kotor terletak pada bisa atau tidaknya *part* yang *defect* tersebut mengalami proses *sanding* atau *buffing* lagi.

10. *Orange peel*, yaitu cacat yang terdapat pada permukaan *part* yang mengalami pengecatan. Cat menjadi kasar dan tidak merata pada permukaan seperti layaknya kulit jeruk.
11. *Poping*, yaitu cacat di mana ada bagian *part* yang bergelembung seperti memiliki air di dalamnya.

3.2.3 Tingkat *Defect* di Lini Produksi *Plastic Painting*

Lini produksi *plastic painting* merupakan lini produksi yang memiliki tingkat *defect* cukup tinggi jika dibandingkan dengan lini produksi lainnya seperti *machining*, *casting*, *assembling*, ataupun *steel painting*. Hal ini dikarenakan pengaruh manusia dan lingkungan sangat kuat dalam kemungkinan terjadinya *defect*.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, di Plant PT. Astra Honda Motor Sunter ini lini produksi *plastic painting* mengecat *part* untuk tiga jenis warna, yaitu hitam, *digital silver*, dan *anchor grey*. Berikut ini adalah *pie chart* persentase produksi per jenis warna di lini produksi *plastic painting*.



Gambar 3.3 Presentasi Produksi per Jenis Warna di Lini Produksi PTPL

Dari *pie chart* di atas, dapat diketahui bahwa jumlah produksi terbesar adalah part berwarna hitam. Pada tabel di bawah ini juga diberikan tingkat *defect* per jenis warna di lini produksi *plastic painting* untuk bulan Maret 2009.

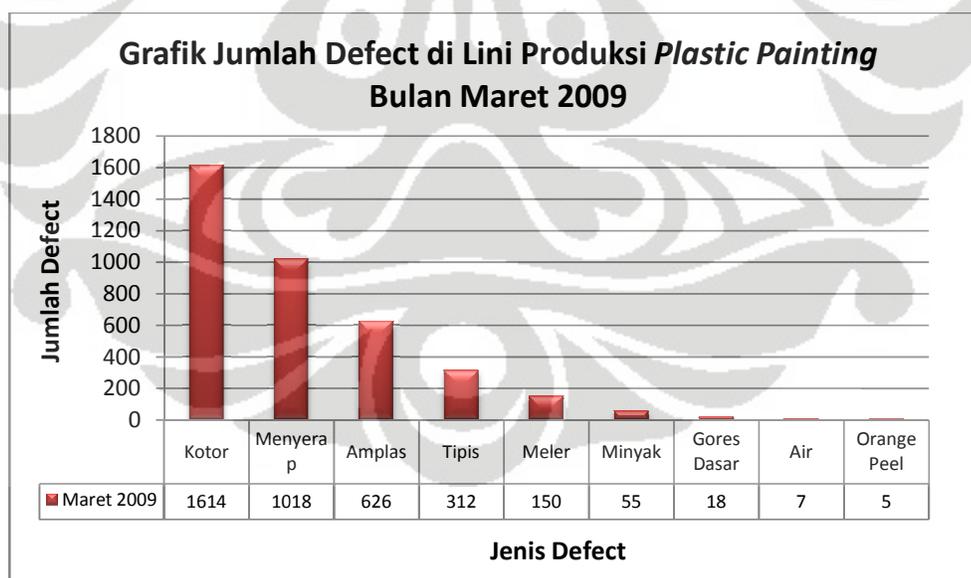
Tabel 3.1 Tingkat *Defect* Bulan Maret 2009 per Jenis Warna

Jenis Warna	Jumlah Loading	Jumlah Defect	% Defect
Black	189,601	17,554	9.26%
Digital Silver	7,127	396	5.56%
Anchor Grey	74,500	2,563	3.44%

(Sumber : PTPL AHM Sunter)

Dari tabel di atas, dapat kita ketahui bahwa tingkat defect part untuk warna hitam merupakan warna dengan tingkat *defect* yang paling tinggi dengan hampir mencapai angka 10% seiring dengan tingginya produksi dengan warna tersebut, disusul dengan warna silver dengan persentase 5.56% dan abu-abu dengan persentase 3.44%.

Dalam penelitian ini, diperlukan pemfokusan terhadap satu warna karena setiap warna memiliki *treatment* yang cukup berbeda, khususnya dalam hal *factor setting* mengingat karakter mereka yang berbeda-beda. Berdasarkan hal tersebut, maka diputuskan penelitian ini difokuskan untuk part yang akan di cat dengan warna hitam sesuai dengan alasan yang telah dijelaskan di atas.

**Gambar 3.4** Bar Chart Jumlah Defect per Jenis Defect Bulan Maret 2009

Grafik di atas menunjukkan tingkat *defect* yang cukup tinggi yang terjadi di kedua seksi lini produksi *plastic painting* selama bulan Maret 2009. Dari grafik tersebut dapat kita lihat bahwa *defect painting* didominasi oleh 4-5 jenis *defect* yaitu kotor, menyerap, amplas, tipis dan meleleh yang mencapai angka lebih dari 150 per bulannya.

3.2.4 Perancangan Eksperimen

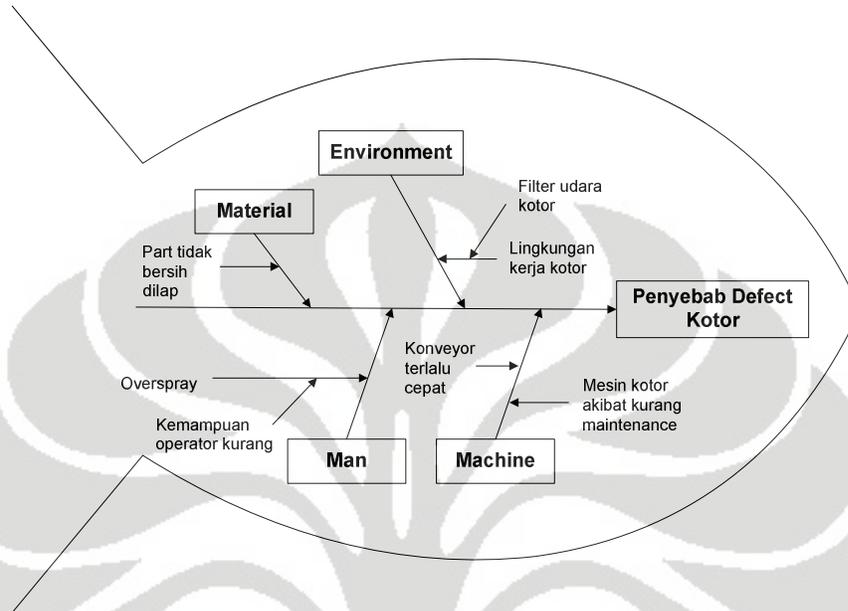
Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh parameter kontrol yang mempengaruhi tingkat *defect* di lini produksi *plastic painting*
2. Memperoleh parameter kontrol yang mempengaruhi variabilitas dalam lini produksi *plastic painting*
3. Menentukan *parameter setting* yang optimal yang dapat meminimalkan tingkat *defect* dan juga dengan variasi yang minimum di lini produksi *plastic painting*

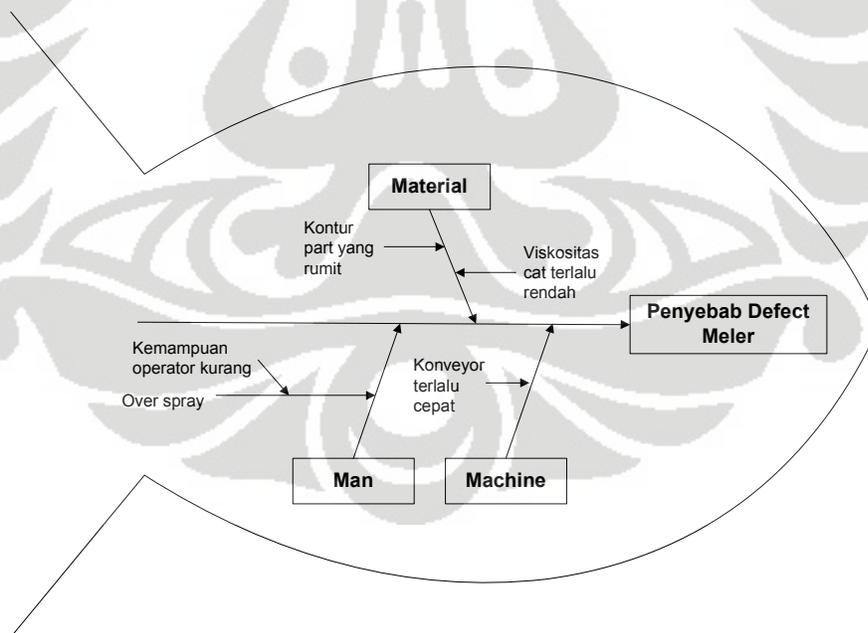
Berdasarkan tujuan tersebut, maka perlu dibuat perancangan terhadap eksperimen yang akan dilakukan. Setelah kita mengetahui dan memahami *flow process* di lini produksi dan juga jenis-jenis *defect* yang mungkin terjadi, maka selanjutnya tentunya kita harus menentukan faktor-faktor yang dapat dikontrol, menentukan *level* yang akan dipilih, dan juga metode yang akan digunakan. Penelitian ini akan dilakukan di lini produksi 1A *plastic painting* PT. Astra Honda Motor dengan metode Taguchi.

Dalam menentukan faktor terkontrol apa saja yang akan digunakan dalam percobaan ini, pertama-tama penulis melakukan *brainstorming* dengan kepala seksi dan beberapa staff di lini produksi *plastic painting*. *Brainstorming* adalah bagian yang integral dalam metode Taguchi karena *brainstorming* merupakan teknik yang paling ampuh dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh dalam sebuah percobaan. Hasil *brainstorming* ini kemudian dipadukan dengan analisis sebab akibat atau *cause and effect analysis* (CEA). Karena terdapat berbagai jenis *defect* yang mungkin di lini produksi *plastic painting* ini, maka analisis sebab akibat dengan menggunakan *fishbone diagram*

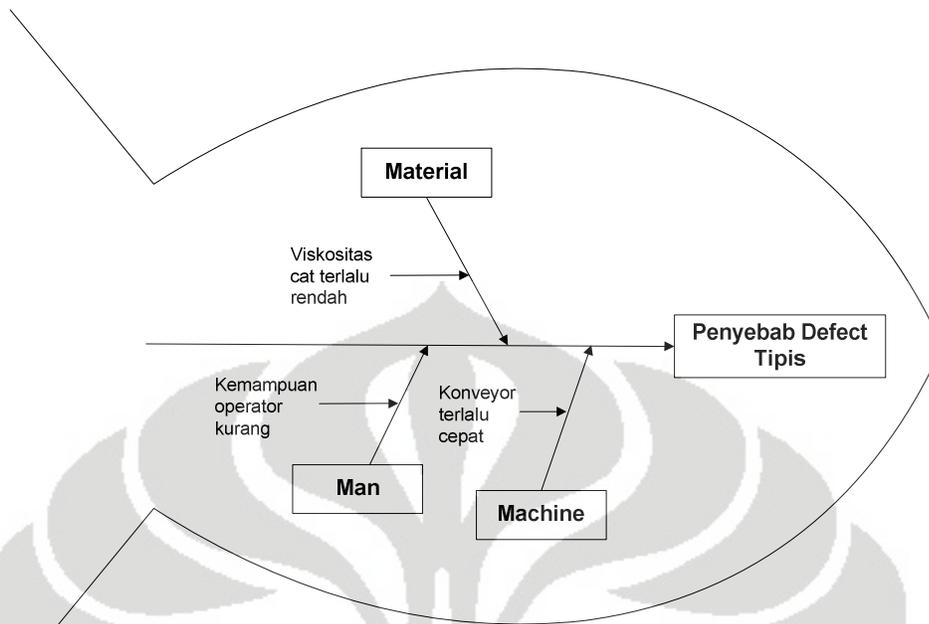
dilakukan untuk setiap jenis *defect* tersebut. Gambar-gambar di bawah ini akan menjelaskan CEA dari masing-masing jenis *defect* yang ada.



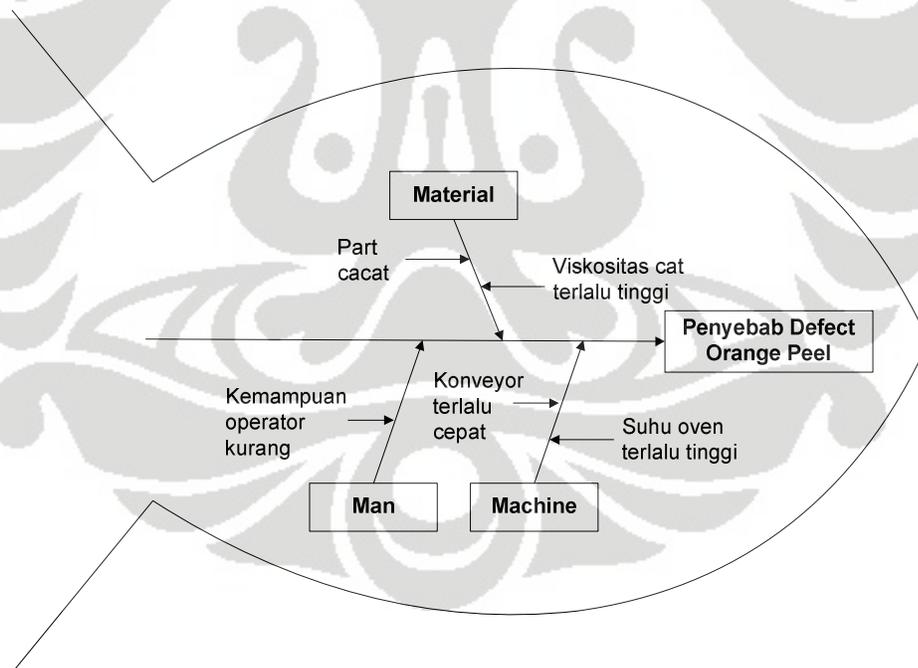
Gambar 3.5 *Fishbone Diagram* Penyebab Defect Kotor



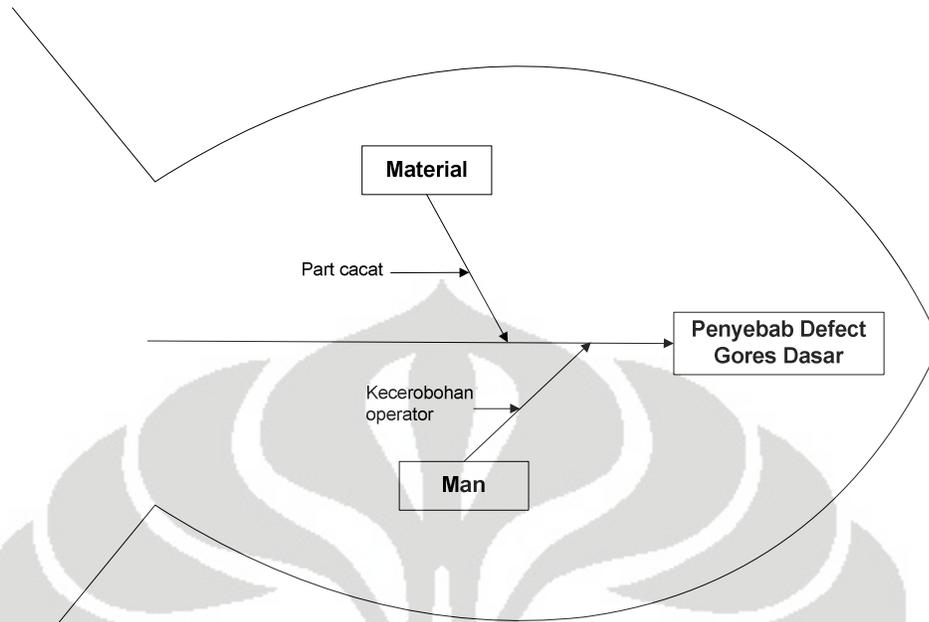
Gambar 3.6 *Fishbone Diagram* Penyebab Defect Meleleh



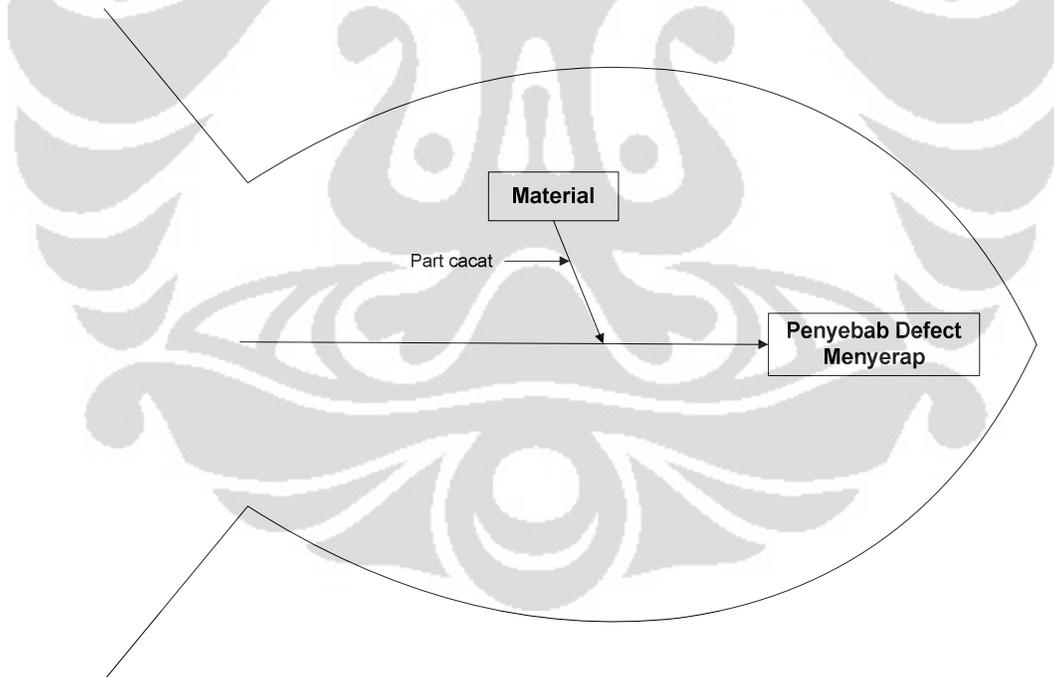
Gambar 3.7 Fishbone Diagram Penyebab Defect Tapis



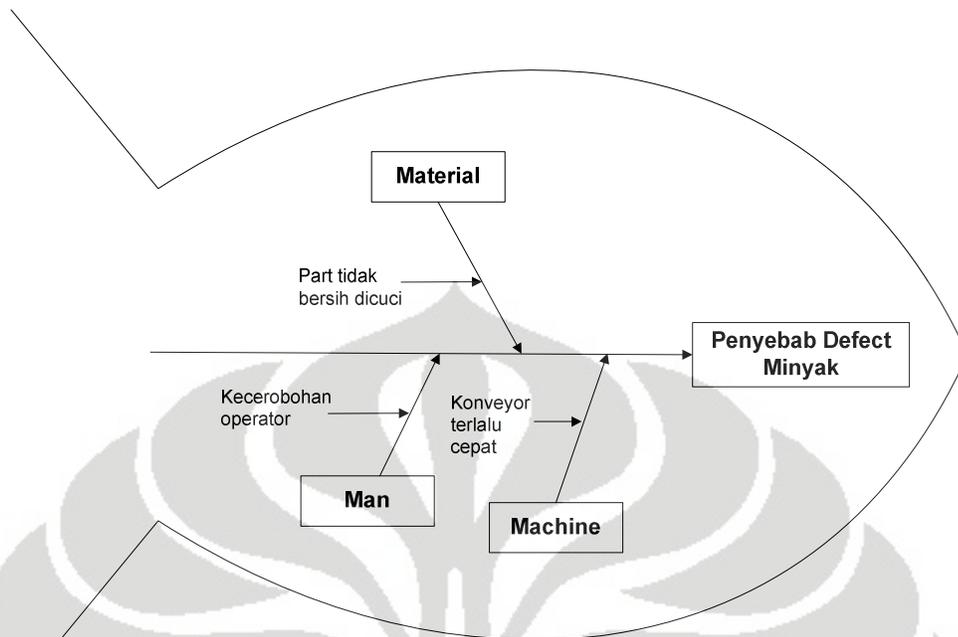
Gambar 3.8 Fishbone Diagram Penyebab Defect Orange Peel



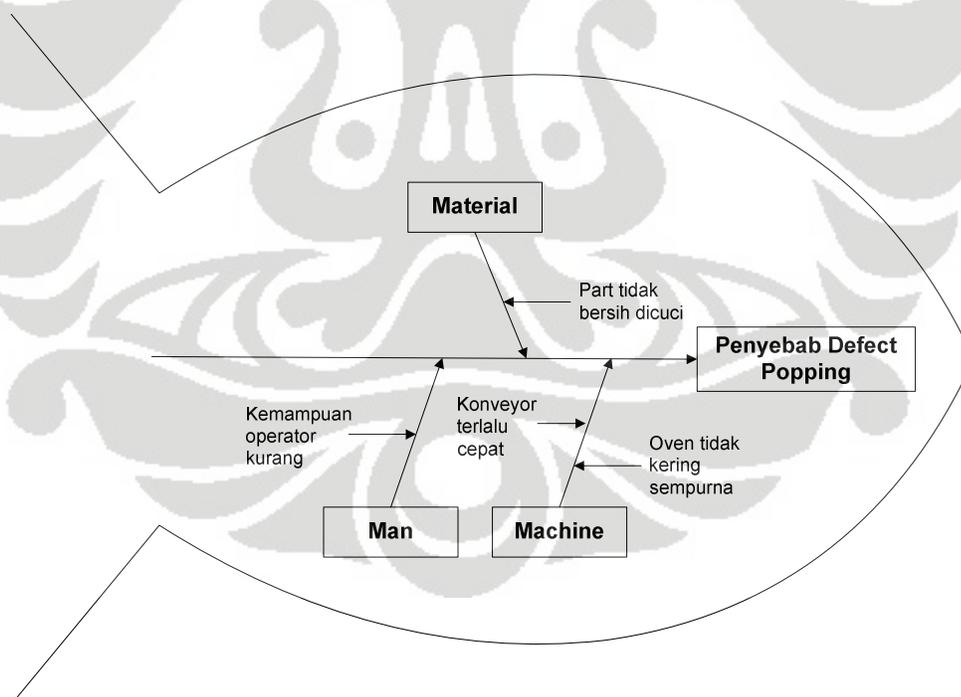
Gambar 3.9 *Fishbone Diagram* Penyebab Defect Gores Dasar



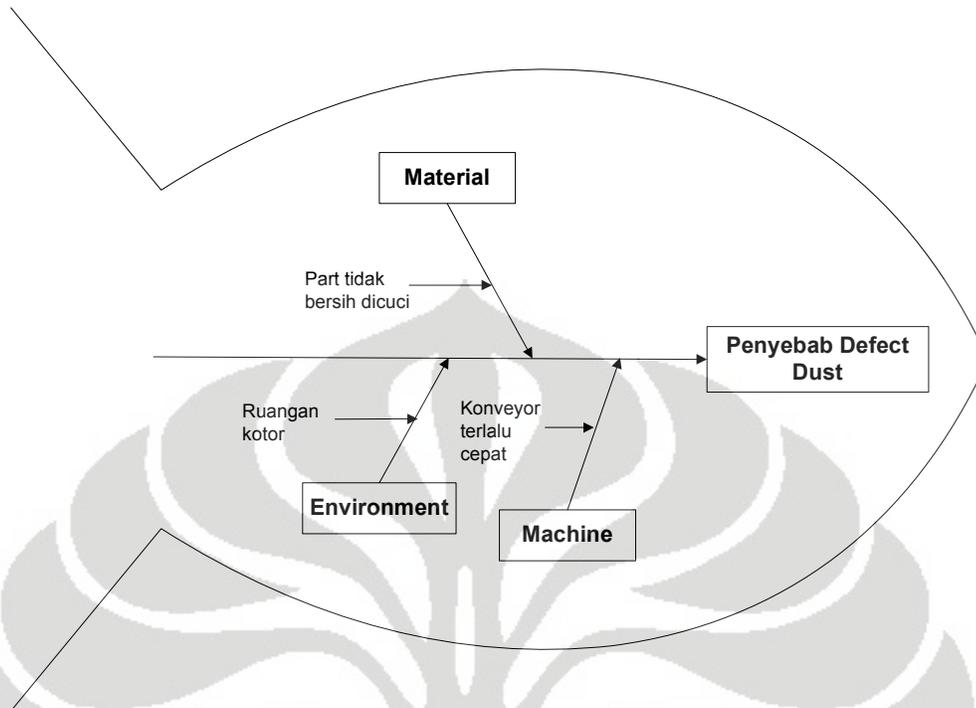
Gambar 3.10 *Fishbone Diagram* Penyebab Defect Menyerap



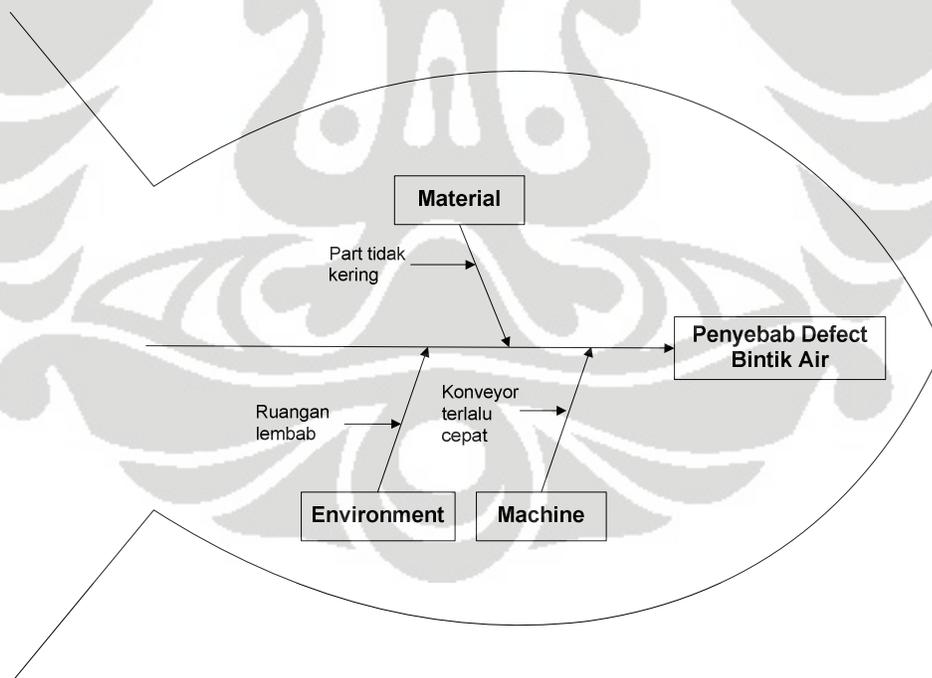
Gambar 3.11 *Fishbone Diagram* Penyebab Defect Minyak



Gambar 3.11 *Fishbone Diagram* Penyebab Defect Popping



Gambar 3.12 *Fishbone* Diagram Penyebab Defect Dust



Gambar 3.13 *Fishbone* Diagram Penyebab Defect Bintik Air

Dari CEA di atas, dapat kita lihat bahwa tidak semua faktor penyebab suatu jenis *defect* dapat dikontrol oleh lini produksi *plastic painting*, misalnya untuk jenis *defect* amplas, gores dasar, dan menyerap yang lebih banyak terjadi dikarenakan *part* yang memang telah cacat. Oleh karena itu dalam penelitian ini, penulis akan lebih fokus pada jenis-jenis *defect* yang memiliki faktor terkontrol untuk di-*setting*. Berikut adalah tabel daftar faktor-faktor terkontrol dari setiap jenis *defect* yang ada.

Tabel 3.2 Faktor Terkontrol untuk Masing-masing Jenis *Defect*

Jenis Defect	Faktor Terkontrol yang Mempengaruhi
Kotor	Kecepatan konveyor
	Tekanan angin
	Tekanan cat
Meleleh	Kecepatan konveyor
	Tekanan angin
	Tekanan cat
	Suhu oven
	Viskositas cat
Tipis	Kecepatan konveyor
	Viskositas Cat
Minyak	Kecepatan konveyor
Air	Kecepatan konveyor
	Suhu Oven
<i>Orange Peel</i>	Tekanan angin
	Tekanan cat
	Viskositas cat
	Suhu oven

Dari *brainstorming* dan CEA di atas, penulis menemukan 5 faktor terkontrol yang mungkin digunakan dalam penelitian ini yaitu kecepatan konveyor, tekanan angin, tekanan cat, suhu oven, dan viskositas cat. Namun

dikarenakan terdapat beberapa keterbatasan melakukan eksperimen, keterbatasan waktu dan juga biaya, diperlukan prioritas tentang penyebab masalah dan faktor yang akan dimasukkan ke dalam percobaan. Berdasarkan *team consensus*, dipilihlah 3 dari 5 faktor terkontrol yang ada, untuk dimasukkan ke dalam percobaan, yaitu faktor kecepatan konveyor, suhu oven, dan viskositas cat (pada saat *top coat*).

Untuk menyederhanakan eksperimen, setiap faktor dibagi menjadi dua level. ‘Level’ dari sebuah faktor di sini menunjukkan nilai spesifik dari sebuah *setting*. Misalnya, pada percobaan ini, kecepatan konveyor dilihat pada level 1350 mm/menit dan 1400 mm/menit. Suhu oven dilihat pada level 60-62°C dan 68-70°C, sedangkan viskositas cat pada top coat dilihat pada level 18 detik dan 19 detik. Viskositas ini diukur dalam satuan detik dikarenakan dalam mengukur viskositas cat di lini produksi *plastic painting* PT. Astra Honda Motor, digunakan alat semacam canting sebagai bejana yang akan diisi cairan cat hasil campuran, kemudian dihitung berapa lama waktu yang diperlukan hingga cat dalam canting tersebut habis. Semakin kental cat hasil campuran (semakin tinggi viskositas cat), maka akan semakin lama waktu yang dibutuhkan sampai tetesan terakhir cat jatuh dari canting tersebut. Dalam percobaan ini hanya dilakukan pada dua level karena, jika kita menggunakan tiga faktor atau lebih, analisis yang dilakukan akan semakin sulit karena kombinasi yang sangat banyak, dan juga diperlukan lebih banyak waktu untuk percobaan tersebut.

Tabel 3.3 Faktor Terkontrol dan *Range Setting* untuk Percobaan

Control Factors	Label	Level 1	Level 2
Kecepatan Konveyor	A	1350 mm/menit	1400 mm/menit
Suhu Oven	B	60-62°C	68-70°C
Viskositas Cat (Top Coat)	C	18"	19"

Setelah menentukan faktor-faktor yang akan digunakan dalam percobaan, langkah penting yang harus dilakukan selanjutnya adalah mencari interaksi yang diantara faktor-faktor tersebut yang akan dilihat dalam eksperimen. Interaksi terjadi ketika pengaruh dari satu faktor tidak sama pada level berbeda dari faktor

lainnya. 'Pengaruh' adalah perubahan pada respon seiring perubahan level dari sebuah faktor (Anthony *et al.*, 1998b). Sebagai contoh, perhatikan faktor kecepatan konveyor dengan suhu oven. Misalkan tingkat defect merupakan variabel respon (*quality characteristic*). Interaksi antara kecepatan konveyor dan suhu oven terjadi ketika pengaruh dari kecepatan konveyor pada tingkat *defect* untuk dua level suhu oven adalah berbeda.

Karena belum ada penelitian sebelumnya dan juga jumlah faktor yang tidak terlalu banyak dari percobaan ini, maka diputuskan untuk melihat interaksi yang mungkin terjadi antara 2 faktor saja, yaitu :

1. Kecepatan konveyor x suhu oven (AxB)
2. Suhu oven x viskositas cat (BxC)
3. Kecepatan konveyor x viskositas cat (AxC)

Setelah menentukan faktor-faktor yang akan digunakan dan juga interaksi-interaksi yang akan diperhatikan dalam penelitian ini, maka langkah selanjutnya yang akan dilakukan sesuai dengan tahapan dalam metode Taguchi adalah memilih desain *orthogonal array* (OA).

Pemilihan desain OA yang sesuai sangat menentukan keberhasilan sebuah eksperimen dan bergantung pada total derajat kebebasan (*degree of freedom*) untuk mempelajari efek faktor utama dan interaksi, tujuan eksperimen, sumber daya dan budget yang tersedia, dan juga kendala waktu. *Orthogonal array* memungkinkan seseorang untuk menghitung pengaruh faktor utama dan interaksi melalui angka minimum dari jumlah percobaan (Ross, 1988). 'Derajat kebebasan' menunjukkan jumlah perbandingan yang adil dan independen yang dapat dibuat dari sekumpulan percobaan. Dalam konteks *Statistical Design of Experiments* (SDOE), angka derajat kebebasan diperoleh dari jumlah level yang diasosiasikan dengan faktor dikurangi satu. Dengan kata lain, angka derajat kebebasan yang diasosiasikan dengan sebuah faktor pada p -level adalah $(p-1)$. Karena angka derajat kebebasan yang diasosiasikan dengan sebuah faktor dengan 2-level adalah satu, maka total derajat kebebasan untuk mempelajari pengaruh faktor utama sama dengan 3 (sesuai dengan jumlah faktor utama). Jumlah derajat kebebasan yang diasosiasikan dengan sebuah interaksi merupakan hasil dari jumlah derajat

kebebasan yang diasosiasikan dengan setiap pengaruh faktor utama yang dilibatkan dalam interaksi (Anthony, 1998). Pada penelitian ini, jumlah derajat kebebasan untuk mempelajari pengaruh interaksi adalah 3. Oleh karena itu total derajat kebebasan pada penelitian ini adalah 6 (yaitu $3 + 3$). Sangatlah penting untuk memperhatikan hal ini karena jumlah percobaan harus melebihi total derajat kebebasan agar pengaruh dapat dipelajari.

Standar OA untuk faktor dengan 2-level adalah L_4 , L_8 , L_{16} , L_{32} dan seterusnya. Notasi 'L' menunjukkan bahwa informasi didasarkan pada susunan Latin square dari faktor-faktor. Susunan Latin square merupakan susunan square matrix dari faktor-faktor dengan pengaruh faktor yang terpisah. Sedangkan 4, 8, 16, dan 32 menunjukkan jumlah percobaan. Untuk penelitian ini, total derajat kebebasan adalah 6, angka terdekat untuk jumlah percobaan yang dapat diterapkan adalah 8 (yaitu OA L_8). Setelah memilih OA yang paling sesuai, langkah selanjutnya adalah menugaskan faktor-faktor utama dan interaksi-interaksinya ke dalam kolom-kolom dalam *array*. Standar OA L_8 memiliki 7 kolom untuk mempelajari 7 pengaruh utama, atau sebuah kombinasi dari pengaruh faktor utama dan interaksi sehingga total derajat kebebasan yang masih dapat digunakan adalah sampai batas 7. Pada penelitian ini, total derajat kebebasan adalah 6 sehingga hanya 6 dari 7 kolom yang akan diisi atau dengan kata lain akan ada satu kolom yang kosong.

Penugasan faktor-faktor baik faktor kontrol maupun interaksi-interaksinya pada orthogonal array terpilih dengan memperhatikan grafik linier dan tabel triangular. Kedua hal tersebut merupakan alat bantu penugasan faktor yang dirancang oleh Taguchi. Grafik linier mengindikasikan berbagai kolom ke mana faktor-faktor tersebut. Tabel triangular berisi semua hubungan interaksi-interaksi yang mungkin antara faktor-faktor (kolom-kolom) dalam suatu OA.

Sesuai dengan teori grafik linier untuk L_8 , dalam penugasan faktor dan interaksi ke dalam *array* pada penelitian ini, pertama-tama faktor interaksi kecepatan konveyor dan viskositas cat ($A \times B$) ditempatkan pada kolom ketiga (merupakan kolom pertama yang harus diisi jika kita memperhatikan pengaruh adanya interaksi. hal ini tentunya menyebabkan faktor kecepatan konveyor (A) ditempatkan pada kolom pertama dan faktor viskositas cat (B) ditempatkan pada

kolom kedua. Dengan menggunakan grafik linier dan OA yang standar (Ross, 1988), faktor utama dan interaksi yang lainnya dialokasikan pada kolom-kolom dalam L_8 dengan urutan sebagai berikut.

Kolom 1 – kecepatan konveyor (A), kolom 2 – viskositas cat (B), kolom 3 – kecepatan konveyor x viskositas cat (A x B), kolom 4 – suhu oven (C), kolom 5 – kecepatan konveyor x suhu oven (A x C), kolom 6 – viskositas cat x suhu oven (B x C), sedangkan kolom 7 kosong karena seluruh total derajat kebebasan telah dialokasikan.

Tabel 3.4 *Experimental Layout*

Standard	Column No	1	2	3	4	5	6
	Random	A	B	AB	C	AC	BC
1	6	1	1	1	1	1	1
2	2	1	1	1	2	2	2
3	7	1	2	2	1	1	2
4	1	1	2	2	2	2	1
5	5	2	1	2	1	2	1
6	3	2	1	2	2	1	2
7	8	2	2	1	1	2	2
8	4	2	2	1	2	1	1

Layout percobaan yang disajikan pada Tabel 3.4 menunjukkan bagaimana semua faktor utama dan interaksinya ditempatkan dan juga dikondisikan. Karena setiap faktor dilihat pada *2-level*, angka 1 menunjukkan bahwa faktor tersebut di-setting pada keadaan *low level*, sedangkan angka 2 menunjukkan bahwa faktor tersebut di-setting pada keadaan *high level*. Setiap percobaan akan dilakukan sebanyak dua kali agar supaya didapatkan variasi.

3.3 Persiapan dan Pengumpulan Data Eksperimen

Persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi percobaan dan randomisasi pelaksanaan percobaan. Urutan eksperimen yang dilakukan adalah berdasarkan urutan yang telah pengacakan (*randomized*). Secara umum randomisasi dimaksudkan untuk:

1. Meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit percobaan,
2. Memberikan kesempatan yang sama pada semua unit percobaan untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh pada setiap perlakuan yang sama, dan
3. Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas (*independen*) satu sama lain.

Selain percobaan dilakukan secara acak, hal penting yang harus dilakukan adalah replikasi atau pengulangan. Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Replikasi bertujuan untuk:

1. Mengurangi tingkat kesalahan percobaan
2. Menambah ketelitian data percobaan, dan
3. Mendapatkan harga estimasi kesalahan percobaan sehingga memungkinkan diadakan test signifikasi hasil eksperimen.

Pada penelitian ini, dilakukan replikasi sebanyak dua kali untuk setiap jenis kondisi percobaan. Pelaksanaan percobaan Taguchi adalah pengerjaan berdasarkan setting faktor pada OA dengan jumlah percobaan sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti randomisasi. Proses percobaan dilakukan dengan mengumpulkan data respon sebanyak jumlah baris pada matriks OA yang telah dipilih. Data respon yang telah diperoleh itu kemudian diubah menjadi *S/N ratios* (*Signal to Noise Ratios*)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, variabel respon (*quality characteristic*) yang dilihat pada penelitian ini adalah persentase atau tingkat *defect* yang terjadi pada saat setiap faktor-faktor yang ada diatur sesuai dengan

kondisi percobaan yang diinginkan. Di dalam menghitung tingkat *defect* untuk setiap kondisi percobaan, persentase *defect* atau *defect rate* diperoleh dengan cara membagi jumlah *part* warna hitam yang reject dengan total jumlah *part* hitam yang di-*loading* pada waktu atau kondisi yang sesuai dengan rancangan yang telah ditentukan. Berikut ini adalah tabel hasil percobaan yang dilakukan.

Tabel 3.5 Hasil Percobaan

Standard	Random	A	B	AB	C	AC	BC	Defect Rate (%)
1	6	1	1	1	1	1	1	4.01, 4.54
2	2	1	1	1	2	2	2	5.10, 4,23
3	7	1	2	2	1	1	2	2.36, 3.07
4	1	1	2	2	2	2	1	4.06, 2.39
5	5	2	1	2	1	2	1	8.12, 2.92
6	3	2	1	2	2	1	2	4.01, 1.59
7	8	2	2	1	1	2	2	6.88, 4.29
8	4	2	2	1	2	1	1	5.58, 0.93

BAB 4 PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dilakukan beberapa analisis terhadap hasil eksperimen yang telah dilakukan, antara lain dengan menggunakan *main effect analysis*, *analysis of variance*, *S/N Ratio analysis*, dan *Taguchi's loss function*.

4.1 Main Effects Analysis of Painting Defect Rate Experiment

Sebagai pengolahan data awal, dilakukan penghitungan terhadap rata-rata *defect rate* untuk setiap level faktor dan interaksi dan juga perbedaan di antara keduanya. Misalnya untuk faktor kecepatan konveyor (A), dilakukan penghitungan rata-rata *defect rate* pada saat kecepatan diset pada *low level* atau 1350 mm/menit (yaitu pada urutan percobaan ke-1, 2, 6 dan 7), dan juga pada saat kecepatan konveyor diset pada *high level* atau 1400 mm/menit (yaitu pada urutan percobaan ke-3,4,5 dan 8).setelah mendapatkan rata-rata untuk kedua level faktor tersebut, dihitung juga besarnya perbedaan diantara keduanya (dalam hal ini dengan mengurangi rata-rata *defect rate* pada *factor level 2* dikurangi rata-rata *defect rate* pada *factor level 1*).

Tabel 4.1 Main Effects Analysis of Painting Defect Rate Experiment

Column	Label	Factor	Level 1 Average (%)	Level 2 Average (%)	Difference (2) - (1)
1	A	Kecepatan Konveyor	3.725	4.296	0.571
2	B	Viskositas Cat	4.319	3.701	-0.617
3	AxB	Interaksi A x B	4.450	3.571	-0.878
4	C	Suhu Oven	4.530	3.491	-1.039
5	AxC	Interaksi A x C	3.266	4.754	1.487
6	BxC	Interaksi B x C	4.073	3.947	-0.126

Dari tabel di atas dapat kita lihat bahwa interaksi A x C (interaksi antara kecepatan konveyor dengan suhu oven) memiliki perbedaan yang paling signifikan di antara kedua level faktor yaitu sebesar 1.487%, disusul dengan faktor suhu oven (C) dengan -1.039%. Angka minus di sini menunjukkan bahwa pengaruh tingkat *defect* ini berbanding terbalik dengan *level* dari faktor yang bersangkutan, atau semakin tinggi faktor tersebut di-*setting*, maka tingkat *defect* akan semakin kecil.

4.2 Analysis of Variance (ANOVA) of Painting Defect Rate Experiment

Setelah melakukan semacam ‘pengolahan data awal’ dengan menghitung rata-rata *defect rate* untuk setiap level faktor dan interaksi dan juga perbedaan di antara keduanya, perlu diketahui besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses. Untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses, diperlukan sebuah analisa statistik yang kompeten dan sesuai. Salah satu analisa statistik yang mengakomodir tujuan tersebut dan juga biasa digunakan dalam metode Taguchi adalah analisis varian (ANOVA). Dengan ANOVA, besarnya efek tersebut dapat diketahui dengan membandingkan nilai *sum of square* dari suatu parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali.

ANOVA pada metode Taguchi digunakan sebagai metode statistik untuk menginterpretasikan data-data hasil percobaan. ANOVA adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. Analisis varians yang digunakan pada desain parameter berguna untuk membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. ANOVA yang digunakan dalam hasil eksperimen dengan Taguchi pada umumnya adalah analisa ANOVA dua arah. ANOVA dua arah adalah data percobaan yang terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih. Tabel ANOVA dua arah di bawah ini terdiri dari perhitungan derajat bebas (db), jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat, dan F-rasio dan *p-value* yang disajikan pada tabel sebagai berikut:

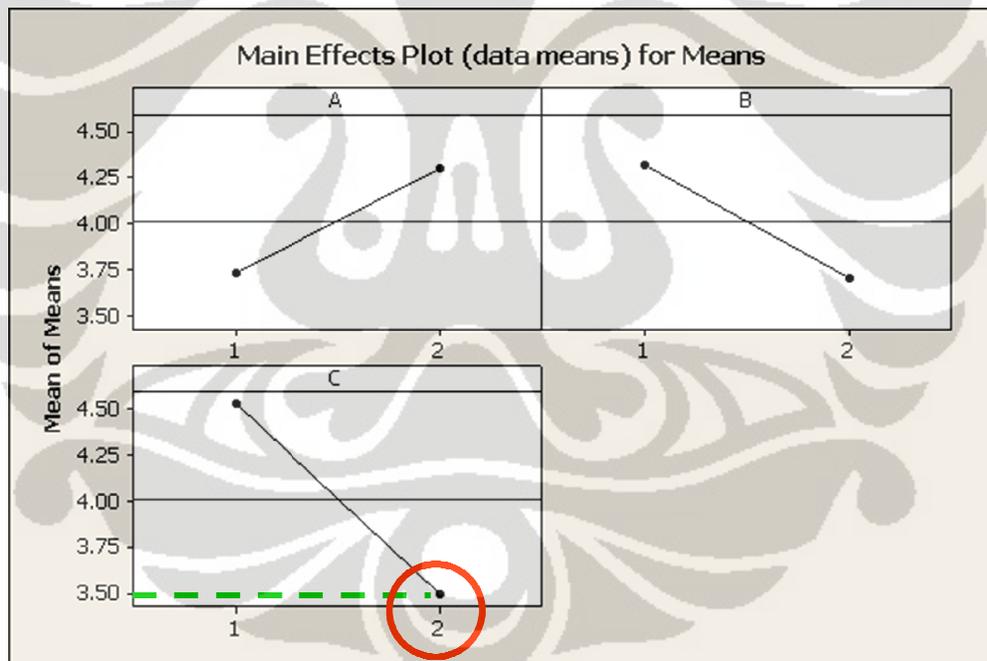
Tabel 4.2 ANOVA of Painting Defect Rate Experiment

Source	Df	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	1	0.65220	0.65220	0.65220	70.56	0.075
B	1	0.76162	0.76162	0.76162	82.40	0.070
C	1	2.15923	2.15923	2.15923	233.61	0.042
A*B	1	1.54525	1.54525	1.54525	167.18	0.049
A*C	1	4.42712	4.42712	4.42712	478.97	0.029
B*C	1	0.03192	0.03192	0.03192	3.45	0.314
Residual Error	1	0.00924	0.00924	0.00924		
Total	7	9.58659				

Dari tabel ANOVA di atas, dapat kita lihat bahwadengan membandingkan nilai *p-value* masing-masing faktor dan interaksi dengan nilai 0.05, dapat kita ketahui faktor-faktor atau interaksi yang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat *defect* di lini produksi *plastic painting*. Jika nilai *p-value* dari faktor atau interaksi tersebut lebih dari 0.05, maka dapat disimpulkan bahwa faktor atau interaksi tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel respon (dalam hal ini adalah tingkat *defect*). Dengan melakukan perbandingan tersebut, maka dapat kita simpulkan ada 3 faktor atau interaksi yang ternyata memiliki efek yang cukup besar terhadap tingkat *defect* di lini produksi *plastic painting* PT. Astra Honda Motor (AHM), yaitu berturut-turut dari yang terbesar interaksi antara kecepatan konveyor dengan suhu oven (A x C) dengan *p-value* 0.029, faktor suhu oven (C) dengan *p-value* 0.042, dan intraksi antara kecepatan konveyor dengan viskositas cat (A x B) dengan *p-value* 0.049.

Setelah mengetahui faktor atau interaksi mana yang paling signifikan mempengaruhi tingkat *defect* di lini produksi *plastic painting*, maka langkah selanjutnya adalah menentukan bagaimana setiap faktor utama dalam penelitian ini harus diatur sedemikian rupa sehingga memberikan hasil yang optimal bagi

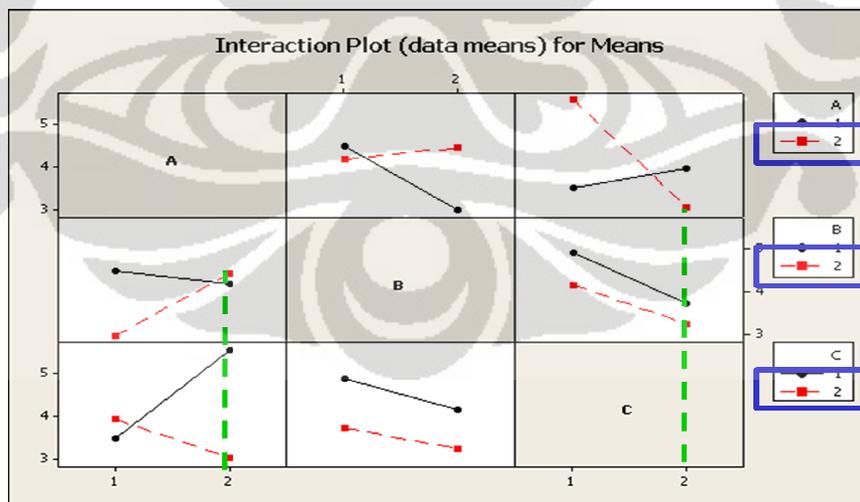
perusahaan berdasarkan interpretasi dari hasil tabel ANOVA digabungkan dengan *main effect analysis*. Dari tabel ANOVA, telah kita ketahui sebelumnya bahwa interaksi antara kecepatan konveyor dan suhu oven (A x C) merupakan interaksi yang paling signifikan terhadap tingkat defect di lini produksi *plastic painting*. Karena ternyata faktor ini bukan merupakan faktor tunggal atau merupakan gabungan dua faktor, sehingga pada hakikatnya kita belum bisa menentukan bagaimana kedua faktor tersebut harus diatur sebelum memastikan bagaimana salah satu dari faktor tersebut harus diset sehingga memberikan hasil yang optimal. Oleh karena itu, kita melangkah ke faktor suhu oven (C) terlebih dahulu, karena faktor tersebut juga merupakan faktor yang signifikan mempengaruhi dan juga merupakan faktor tunggal. Untuk mengetahui bagaimana faktor suhu oven harus di-*setting* sehingga menghasilkan hasil yang optimal, digunakan *main effects plot analysis* seperti tergambar di bawah ini:



Gambar 4.1 Main Effects Plot for Means

Dari gambar di atas, kita dapat memperhatikan *main effect plots* untuk faktor suhu oven (C) yang berada di paling bawah. Dari grafik tersebut dapat kita lihat bahwa level 2 dari faktor suhu oven (*high level*) yaitu dengan menggunakan

suhu 68-70°C, memiliki titik yang lebih rendah dibandingkan dengan jika faktor suhu oven ini di set pada level 1 (*low level*). Karena dalam kasus ini kita menggunakan *quality characteristic smaller is better*, maka untuk mendapatkan hasil yang optimal, maka faktor suhu oven harus diset pada level 2 atau *high level*, karena pada level tersebut, *defect rate* berada pada *level* yang paling rendah. Untuk menentukan bagaimana faktor kecepatan konveyor (A) dan viskositas cat (B) harus di-*setting* sehingga memberikan hasil yang optimal, tidak langsung dapat dilihat pada *main effects plot* diagram pada Gambar 4.1 karena faktor-faktor tersebut tidak terbukti cukup signifikan mempengaruhi tingkat defect di lini produksi *plastic painting* jika berdiri sebagai faktor tunggal. Untuk itu, kita perlu melihat apakah kedua faktor tersebut memiliki pengaruh yang signifikan jika dipadukan dengan faktor yang lain atau dengan kata lain apakah ada interaksi dari kedua faktor tersebut yang secara signifikan mempengaruhi tingkat *defect* di lini produksi *plastic painting*. Ternyata telah kita ketahui dari analisis tabel ANOVA sebelumnya bahwa interaksi antara kecepatan konveyor dengan suhu oven (AxC) dan juga interaksi antara kecepatan konveyor dengan viskositas cat (AxB) signifikan mempengaruhi tingkat *defect* di lini produksi *plastic painting*. Untuk menentukan bagaimana masing-masing faktor harus diatur sehingga memberikan hasil yang optimal, digunakan *interaction plots* seperti disajikan di bawah ini:



Gambar 4.2 *Interaction Plot for Means*

Dari gambar di atas, sebenarnya kita juga dapat melihat bahwa interaksi antara faktor kecepatan konveyor dan suhu oven (A x C) dan juga interaksi antara faktor kecepatan konveyor dengan viskositas cat (A x B) signifikan mempengaruhi variabel respon, yaitu dengan melihat bahwa kedua grafik faktor tersebut berpotongan satu sama lain yang menandakan ada interaksi di antara keduanya. Sedangkan pada faktor viskositas cat (B) dan suhu oven (C) tidak berpotongan dan cenderung sejajar satu sama lain yang menandakan tidak ada interaksi atau interaksi diantara keduanya tidak cukup signifikan mempengaruhi tingkat *defect* di lini produksi *plastic painting*.

Karena interaksi antara faktor kecepatan konveyor dan suhu oven (A x C) signifikan mempengaruhi tingkat *defect*, maka kita harus menentukan bagaimana kombinasi di antara keduanya yang mengoptimalkan hasil (dalam hal ini adalah menurunkan tingkat *defect* di lini produksi *plastic painting*). Karena faktor suhu oven (C) telah ditentukan sebelumnya (yaitu diset pada *high level* atau *level 2*), maka kita dapat menentukan bagaimana faktor kecepatan konveyor (A) harus di-*setting* sehingga kombinasi di antara keduanya memberikan hasil optimal. Pada saat faktor suhu oven (C) diset pada level 2 (dapat dilihat pada kolom paling kanan di bagaian bawah), jika kita lihat faktor kecepatan konveyor (A) pada kolom kanan atas, titik terendah berada pada garis merah. Pada keterangan di samping diketahui bahwa titik merah adalah keadaan pada saat faktor diset pada level 2 (*high level*). Oleh karena itu, dalam hal ini faktor kecepatan konveyor (A) juga harus diset pada *high level* atau pada kecepatan 1400 mm/menit.

Hal yang sama kita lakukan juga untuk mempelajari interaksi antara faktor kecepatan konveyor dan viskositas cat (A x B). Karena faktor kecepatan konveyor (A) telah ditentukan sebelumnya (yaitu diset pada *high level* atau *level 2*), maka kita dapat menentukan bagaimana faktor viskositas cat (B) harus di-*setting* sehingga kombinasi di antara keduanya memberikan hasil optimal. Pada saat faktor kecepatan konveyor (A) diset pada *level 2* (dapat dilihat pada kolom paling kiri di bagaian bawah), jika kita lihat faktor kecepatan viskositas cat (B) pada kolom kiri tengah, titik terendah berada pada garis merah. Pada keterangan di samping diketahui bahwa titik merah adalah keadaan pada saat faktor diset pada

level 2 (*high level*). Oleh karena itu, dalam hal ini faktor viskositas cat (B) juga harus diset pada *high level* atau pada tingkat viskositas 19 detik.

4.3 *S/N Ratio Analysis*

Sesuai dengan tujuan awal penelitian ini yaitu faktor-faktor terkontrol yang mungkin berkontribusi untuk mengurangi variasi dan meningkatkan kualitas dapat diidentifikasi dengan menggunakan jumlah variasi pada keadaan sekarang dan pergeseran rata-rata respons kualitas. *S/N Ratio* mentransformasi data respons kualitas menjadi sebuah bilangan yang merefleksikan jumlah variasi dan pergeseran rata-rata. Oleh karena itu, optimasi proses dilakukan oleh metode Taguchi adalah dengan memperhatikan nilai *S/N Ratio*. Prinsip dasarnya adalah pengaturan proses produksi mencapai kondisi yang optimum jika dapat memaksimalkan nilai *S/N Ratio*.

S/N Ratio adalah suatu bilangan yang menggambarkan perbandingan antara *signal* dan *noise* dari suatu parameter kendali. Untuk menggunakan konsep ini pada desain eksperimen, maka nilai kekuatan signal dan noise digantikan dengan nilai estimasi rata-rata (μ^2) dan variasi (σ^2).

Nilai *S/N Ratio* didapat dari pengolahan data hasil percobaan untuk beberapa kombinasi *level* pada parameter kendali. Setiap kombinasi akan memiliki nilai tersendiri. Dari nilai tersebut dapat diketahui apakah parameter kendali tersebut cukup memberikan pengaruh yang signifikan pada sebuah proses permesinan sehingga dapat disebut sebuah *signal*. Atau parameter tersebut hanya memberikan pengaruh yang kecil sehingga dianggap sebagai *noise* atau gangguan saja. *S/N Ratios* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *smaller the better*, dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$S/N Ratio = -10 \times \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (4.1)$$

Dengan menggunakan rumus di atas, diperoleh nilai *S/N Ratio* untuk setiap percobaan yang disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4.3 *S/N Ratio Painting Defect Rate Experiment*

Experiment No.	S/N Ratio
1	-12.6412
2	-13.4205
3	-8.7754
4	-10.4678
5	-15.7161
6	-9.6959
7	-15.1804
8	-12.0517

Pada tabel berikut, diberikan nilai S/N Ratio masing-masing faktor pada low level (level 1) dan high level (level 2) dan juga efek dari faktor tersebut:

Tabel 4.4 *Average Factor Level S/N Ratio Painting Defect Rate Experiment*

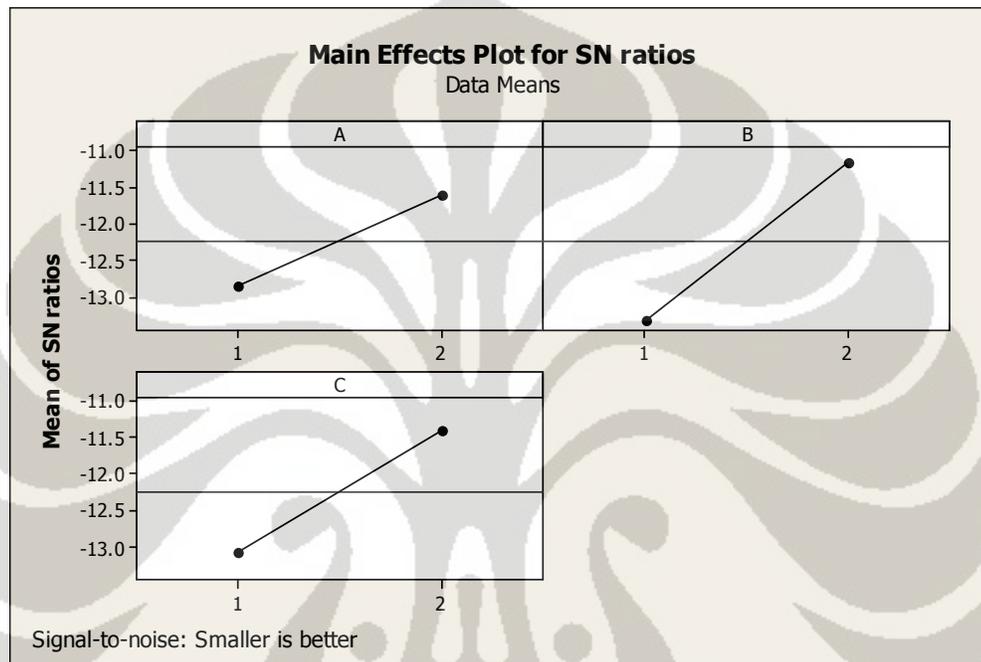
Level	A	B	C
1	-12.87	-13.32	-13.08
2	-11.82	-11.16	-11.41
Effect Est.	1.25	2.16	1.67
Rank	3	1	2

Pada tabel di atas dapat kita lihat bahwa faktor viskositas cat (B) memiliki efek atau pengaruh yang terbesar dalam munculnya variasi, disusul dengan faktor suhu oven dan terakhir kecepatan konveyor yang ditandai dengan besarnya *effect estimate* faktor tersebut.

Sesuai dengan penjelasan sebelumnya, dalam menentukan bagaimana tiap faktor tersebut harus di-setting dengan menggunakan *S/N Ratio*, dilakukan dengan

Universitas Indonesia

cara memilih faktor level dengan nilai *S/R Ratio* yang paling besar. Karena dalam penelitian ini menggunakan *S/N Ratio smaller is better*, maka nilai output *S/N Ratio* adalah negatif, sehingga nilai terbesar adalah nilai negatif terkecil. Untuk mempermudah dalam menentukan optimal *factor setting*, berikut ini adalah *main effects plot* untuk nilai *S/N Ratio* masing-masing *factor level*:



Gambar 4.3 *Main Effects Plot for S/N Ratios*

Pada gambar di atas, dapat kita lihat bahwa *main effects plot* untuk ketiga faktor adalah sama yaitu berjenis kurva negatif. Dari masing-masing grafik dapat kita lihat bahwa nilai *S/N Ratio* yang terbesar terjadi pada saat ketiga faktor di-*setting* pada kondisi *high level* (level 2), di mana kecepatan konveyor diset pada kecepatan 1400 mm/menit, viskositas cat diset pada tingkat 19 detik, dan suhu oven diset pada temperatur 68-70°C.

Berdasarkan ANOVA dan *S/N Ratio analysis* di atas, maka untuk mendapatkan hasil yang optimal, yaitu tingkat *defect painting* yang lebih rendah dan juga variasi yang minimum, maka setiap faktor harus di-*setting* seperti tersaji pada tabel berikut:

Tabel 4.5 *Optimal Control Factor Settings*

Faktor Terkontrol	Optimum Level
Kecepatan Konveyor	1400 mm/menit
Viskositas Cat	19 detik
Suhu Oven	68-70°C

4.4 Estimate of Performance at the Optimum Condition of Design/ Process

Metode Taguchi juga mampu mengestimasi besarnya perbaikan kualitas, dalam hal ini adalah pengurangan tingkat defect di lini produksi *plastic painting*, jika kita menerapkan *optimal control factor setting* yang direkomendasikan sebelumnya. Pada tabel di bawah ini diberikan perhitungan besarnya hasil yang diharapkan pada kondisi optimum (*expected result at optimum condition*).

Tabel 4.6 *Estimate of Performance at the Optimum Condition of Process*

Faktor	Level	Description	Level Number	Contribution
Kecepatan Konveyor	1400	mm/menit	2	0.285
Viskositas Cat	19	detik	2	0.308
Suhu Oven	68-70	°C	2	0.519

Contribution from all factors (total)	(1.113)
Current grand average of performance	4.010
Expected result at optimum condition	2.896 %

Pada tabel di atas, dapat kita lihat bahwa *current average performance* berada pada tingkat *defect* sebesar 4.01%, sedangkan dengan menggunakan *optimal setting*, diestimasikan hal tersebut akan berkontribusi pada peningkatan kualitas –dalam hal ini adalah penurunan tingkat *defect*, sebesar 1.113% sehingga pada akhirnya diharapkan dengan diterapkannya *optimal setting* dari faktor terkontrol ini, tingkat *defect* di lini produksi PT. Astra Honda Motor (AHM) dapat mencapai angka 2.896%.

Penghitungan besarnya kontribusi masing-masing faktor terhadap peningkatan kualitas ini diperoleh dari setengah besarnya efek atau pengaruh

faktor tersebut terhadap variabel respon (yang merupakan selisih antara rata-rata tingkat defect pada *low level* dan *high level* seperti tersaji pada tabel *main effects analysis*). Dapat kita lihat juga bahwa penggunaan *optimal setting* untuk faktor suhu oven (C) memiliki kontribusi yang terbesar terhadap peningkatan kualitas yaitu sebesar 0.519%, diikuti oleh faktor viskositas cat sebesar 0.308% dan terakhir faktor kecepatan konveyor sebesar 0.285%.

4.5 Taguchi's Loss Function Analysis

Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya Taguchi mendefinisikan kualitas sebagai kerugian suatu produk yang dialami masyarakat setelah produk dikirimkan. Jika kualitas dipandang seperti ini maka sudah seharusnya sebuah fungsi kerugian untuk mengukur kualitas produk didefinisikan.

Taguchi loss function secara umum merupakan fungsi kerugian yang ditanggung oleh masyarakat (produsen dan konsumen) akibat kualitas yang dihasilkan. Bagi produsen yaitu dengan timbulnya biaya kualitas sedangkan bagi konsumen adalah adanya ketidakpuasan atau kecewa atas produk yang dibeli atau dikonsumsi karena kualitas yang jelek. *Loss* merupakan sesuatu yang pasti terjadi saat suatu karakteristik kualitas fungsional produk menyimpang dari nilai nominalnya (target), sekecil apapun penyimpangan yang terjadi. Nilai *loss* akan meningkat saat nilai karakteristik kualitas melebar lebih jauh dari nilai targetnya. *Loss* yang terjadi akibat variasi dalam output proses ini nilainya sama dengan "kerugian terhadap masyarakat". *Loss function* menggambarkan biaya sosial yang timbul di antara produsen dan konsumen akibat penetapan karakteristik kualitas tertentu pada produk. *Loss Function* digunakan dalam mengukur performansi karakteristik kualitas dalam pencapaian target, yaitu seberapa besar adanya variasi di sekitar target. *Loss function* juga dapat digunakan dalam evaluasi pengaruh yang ditimbulkan oleh suatu usaha perbaikan kualitas.

Taguchi mendefinisikan *loss function* sebagai deviasi atau sebuah kuantitas proporsional dari *target quality characteristic*. Pada tingkat deviasi nol, kinerja adalah sesuai dengan target, kerugian akan sama dengan nol. Jika Y mewakili deviasi dari nilai target (*target value*), maka *loss function* $L(Y)$ adalah:

$$L(Y) = k(Y - Y_o)^2 \quad (4.2)$$

Y = *quality characteristic*, seperti dimensi, *performance*, dll.

Y_o = *target value for quality characteristic*

k = konstanta dependen yang tergantung pada struktur biaya dari proses manufaktur dari sebuah organisasi

Selain itu, dalam metode Taguchi juga dikenal adanya toleransi (Δ) yang merupakan batas nilai yang masih dapat diterima atau masih dalam range spesifikasi atau target, sehingga persamaan (4-1) berubah menjadi:

$$L_o = k (Y_o + \Delta - Y_o)^2 \quad (4.3)$$

maka:

$$k = \frac{L_o}{\Delta^2} \quad (4.4)$$

Pada awal penelitian ini, telah diperoleh data *current conditon (before experiment)* dari tingkat *defect* di lini produksi *plastic painting* dengan 16 kali percobaan dalam kondisi *factor setting* berbeda. Pada tabel di bawah ini, disajikan hasil perhitungan *average and standard deviation* dan *loss function parameters* dari keadaan *before experiment*.

Tabel 4.7 *Plastic Painting Process (Before Experiment)*

Observation 1 = 0.0401	Observation 10 = 0.0292
Observation 2 = 0.0454	Observation 11 = 0.0401
Observation 3 = 0.051	Observation 12 = 0.0159
Observation 4 = 0.0423	Observation 13 = 0.0688
Observation 5 = 0.0236	Observation 14 = 0.0429
Observation 6 = 0.0307	Observation 15 = 0.0558
Observation 7 = 0.0406	Observation 16 = 0.0093
Observation 8 = 0.0239	
Observation 9 = 0.0812	
Number of test result (NR)	= 16
AVERAGE AND STANDARD DEVIATION	
Total of all test results	= 0.6408
Average of all test result	= 0.04005
Standard deviation (SD)	= 0.018610606
Variance	= 0.000346355
LOSS FUNCTION PARAMETERS	
Mean square deviation (MSD)	= 0.00192871
Signal to noise ratio (S/N Ratio)	= 27.14733068

Dari tabel di atas dapat kita ketahui rata-rata tingkat *defect* dari *current condition* (before experiment) adalah 4.005% dengan standar deviasi 0.018610606 dan varian 0.000346355. Nilai *mean square deviaton* (MSD) dan *S/N Ratio* untuk *quality characteristic smaller the better* diperoleh dari perhitungan berikut:

$$MSD = \frac{(Y_1^2 + Y_2^2 \dots + Y_N^2)}{N} \quad (4.5)$$

$$S/NRatio = -\log (MSD) \quad (4.6)$$

Penggunaan metode Taguchi tentunya akan menghasilkan *optimal setting* dari semua *control factor*. Untuk mengetahui performa proses dengan menggunakan *optimal setting* dari *control factors* tersebut, dilakukan percobaan sebanyak 16 kali dengan menggunakan *optimal control factors setting* tersebut, kemudian dilakukan perhitungan terhadap *average and standard deviation* dan *loss function parameters* dari keadaan *after experiment* dengan cara yang sama dengan sebelumnya yang tersaji pada tabel berikut:

Tabel 4.8 *Plastic Painting Process (After Experiment)*

Observation 1 = 0.0356	Observation 9 = 0.0205
Observation 2 = 0.0145	Observation 10 = 0.022
Observation 3 = 0.0227	Observation 11 = 0.0459
Observation 4 = 0.0341	Observation 12 = 0.0406
Observation 5 = 0.0198	Observation 13 = 0.0431
Observation 6 = 0.0337	Observation 14 = 0.0363
Observation 7 = 0.0392	Observation 15 = 0.0394
Observation 8 = 0.0273	Observation 16 = 0.0226
Number of test result (NR)	= 16
AVERAGE AND STANDARD DEVIATION	
Total of all test results	= 0.4973
Average of all test result	= 0.03108125
Standard deviation (SD)	= 0.009683334
Variance	= 0.000093767
LOSS FUNCTION PARAMETERS	
Mean square deviation (MSD)	= 0.001053951
Signal to noise ratio (S/N Ratio)	= 29.77179734

Dari tabel di atas dapat kita ketahui rata-rata tingkat *defect* dengan *optimal control factors setting (after experiment)* adalah 3.358% atau meningkat sekitar 0.7% dengan standar deviasi 0.01250601 dan varian 0.0001564. Selain itu juga terjadi kenaikan S/N Ratio sebesar 1.79 poin sehingga menjadi 28.94719584 yang berarti proses semakin baik.

Setelah mengetahui performa proses pada keadaan *before* dan *after experiment*, barulah dapat dihitung besarnya kerugian (*loss*) pada kedua kondisi, untuk kemudian diperoleh besarnya penghematan (*savings*) berdasarkan selisih kedua keadaan tersebut. Untuk mengetahui besarnya *loss* dari masing-masing keadaan, maka ada beberapa hal yang perlu diketahui terlebih dahulu seperti besarnya toleransi yang diijinkan, *cost rejection per unit*, dan besarnya tingkat produksi per bulan.

Toleransi besarnya tingkat *defect* di lini produksi *plastic painting* PT. Astra Honda Motor (AHM) adalah 5%, dengan rata-rata tingkat produksi *part* warna hitam per bulan adalah 160.000 *part*/bulan dan *cost rejection per unit* sebesar Rp 800,-. Estimasi besarnya *cost rejection per unit* sebesar Rp 800,- ini diperoleh dari bagian *engineering* dengan komposisi biaya seperti di bawah ini:

Tabel 4.9 Komposisi *Cost Rejection* per Unit

Labor Cost	Rp 333,-
Material Cost	
Kertas Amplas (5 x 5 cm)	Rp 175,-
Cat Duco	Rp 291,-
Total Cost	Rp 800,-

Untuk satu unit *part* yang *reject* rata-rata memerlukan waktu untuk proses *sanding* dan *buffing*. Dengan biaya buruh Rp 20.000/jam atau Rp 333,-/menit, maka untuk komponen *labor cost*, satu unit *part reject* akan menghasilkan biaya Rp 333,-. Proses *sanding* dan *buffing*, digunakan material kertas amplas ukuran 5 x 5 cm dengan pemakaian rata-rata 1/2 buah per *part*. Biasanya proses *sanding* lebih memakan banyak kertas amplas dibandingkan dengan proses *buffing*. Harga material kertas amplas untuk lebar 10 cm adalah Rp 14.000/meter atau Rp 140 per

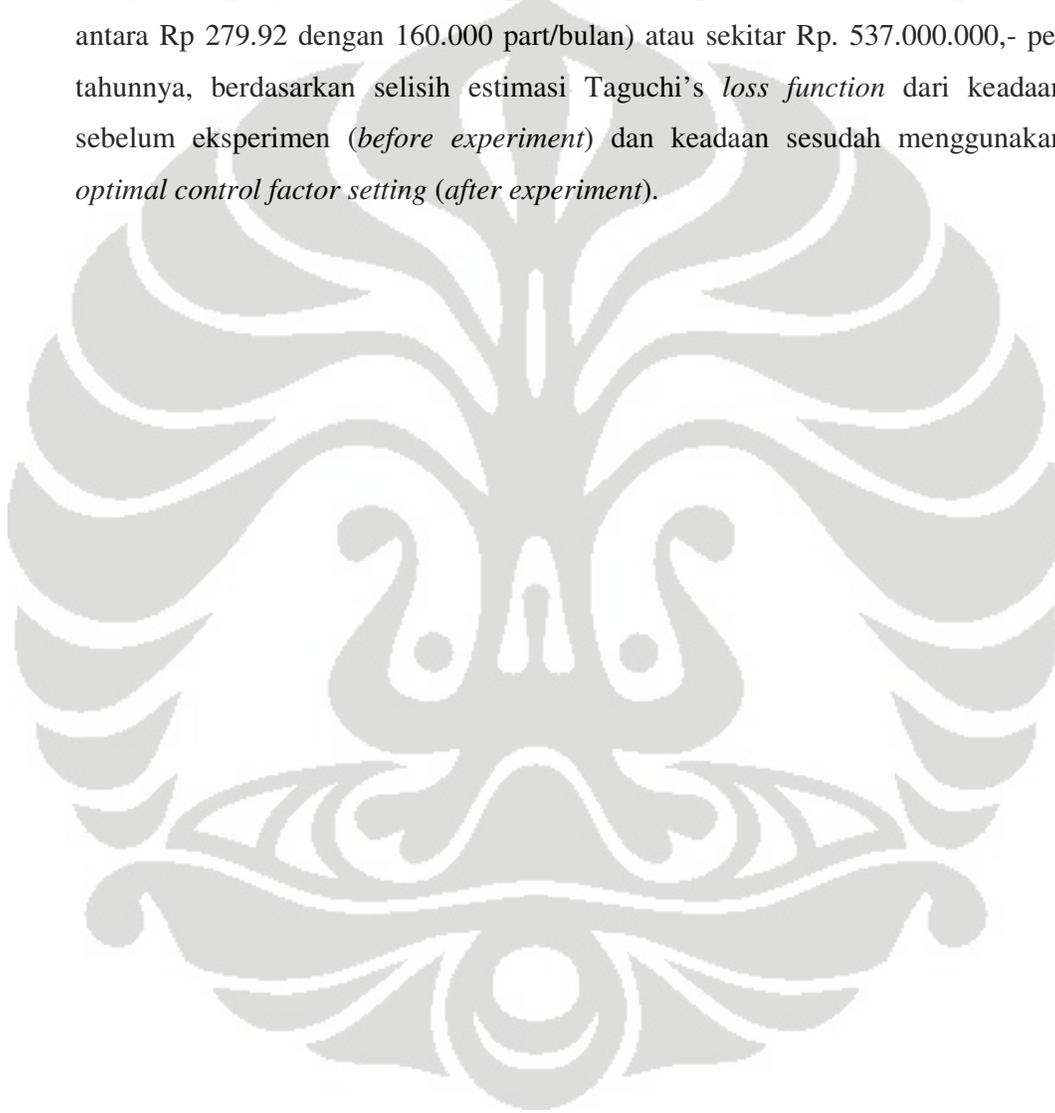
cm. Jadi untuk kertas ukuran 5 x 10 cm adalah sebesar Rp 700,-, sehingga untuk ukuran 5 x 5 cm adalah Rp 350,-. Karena satu kertas amplas dapat digunakan untuk 2 kali pemakaian, maka *material cost* untuk kertas amplas adalah Rp 175,-. Terakhir adalah biaya cat duco untuk proses *repainting* adalah Rp 291,-.

Sesuai dengan persamaan (4-3), kemudian dilakukan perhitungan terhadap besarnya konstanta (k) yang diperoleh dari hasil perbandingan antara *loss* awal (dalam hal ini adalah *cost rejection per unit*) dengan kuadrat dari toleransi. Pada penelitian ini, nilai k adalah 320.000 hasil pembagian Rp 800,- dengan 0.0025 (kuadrat dari 0.05). Besarnya *loss/unit* untuk masing-masing keadaan merupakan perkalian antara nilai k dengan nilai *mean standard deviation* (MSD) dari masing-masing kondisi. Berikut adalah tabel hasil perhitungan kerugian (*loss*):

Tabel 4.10 *Calculation of Loss*

PROBLEM DEFINITION	
Tolerance of quality characteristic	= 0.05
Cost of rejection at production (per unit)	= Rp 800,-
Units produced per month (total)	= 160,000
S/N ratio of current design/part	= 27.14733068
S/N ratio of new design/part	= 29.77179734
COMPUTATION OF LOSS USING TAGUCHI LOSS FUNCTION	
Loss function: $L(y) = 320,000 \times (\text{MSD})$ Also $L(y) = k(y)^2$	
BEFORE EXPERIMENT	
Loss/unit due to deviation from target in current design	= Rp 617.19
AFTER EXPERIMENT	
Loss/unit due to deviation from target will be reduce to	= Rp 337.26
MONTHLY SAVINGS	
If production were maintained at the improved condition, then base on 160,000 parts/month	= Rp 44,787,680.-

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan optimal setting dari faktor-faktor terkontrol yang ada (*after experiment*), loss/unit berkurang sebesar Rp 279.92 (selisih antara Rp 617.19 dengan Rp 337.26) dibandingkan dengan keadaan sebelumnya. Dengan demikian, dengan estimasi jumlah produksi 160.000 part/bulan, maka diestimasikan perusahaan akan menghemat pengeluaran sebesar Rp 44.787.680,- per bulannya (Hasil perkalian antara Rp 279.92 dengan 160.000 part/bulan) atau sekitar Rp. 537.000.000,- per tahunnya, berdasarkan selisih estimasi Taguchi's *loss function* dari keadaan sebelum eksperimen (*before experiment*) dan keadaan sesudah menggunakan *optimal control factor setting (after experiment)*.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ditemukan bahwa faktor suhu oven (C) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat *defect* di lini produksi *plastic painting*. Selain itu, interaksi antara faktor kecepatan konveyor dan suhu oven (AxC) dan interaksi antara faktor kecepatan konveyor dengan viskositas cat (AxB) terbukti juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat *defect* di lini produksi *plastic painting*. Berdasarkan penggunaan metode Taguchi, maka untuk mendapatkan hasil yang optimal, yaitu tingkat *defect painting* yang lebih rendah dan juga variasi yang minimum, maka setiap faktor harus di-*setting* pada *high level*, di mana kecepatan konveyor diset pada kecepatan 1400 mm/menit, viskositas cat diset pada tingkat 19 detik, dan suhu oven diset pada temperatur 68-70°C. Dengan diaplikasikannya *optimal control factor setting* di atas, rata-rata tingkat *defect* di lini produksi *plastic painting* dapat berkurang sebesar 0.9% atau diperkirakan dapat menghemat biaya Rp 537.000.000,- per tahunnya.

5.2 Saran

- Menambah banyaknya faktor terkontrol yang akan diteliti. Semakin banyak faktor-faktor yang dapat dikontrol untuk memberikan hasil yang optimal maka akan semakin baik perbaikan kualitas yang dihasilkan.
- Jika memungkinkan, menambah jumlah *factor level* menjadi 3 agar hasil lebih akurat. Dapat juga ditambahkan jumlah replikasi yang dilakukan agar semakin menunjukkan keadaan yang sebenarnya. Namun demikian tentunya kedua hal ini memerlukan waktu penelitian yang lebih lama dan biaya yang lebih besar.

DAFTAR REFERENSI

- Antony, Fiju and Antony, Frenie F. (2001). Teaching the Taguchi Method to Industrial Engineers. *Journal of MCB University Press*. Vol. 50 No. 4. pp 141-149. ISSN 0043-8022.
- Anthony, J. and Kaye, M. (1999). *Experimental Quality: A Strategic Approach to Achieve and Improve Quality*. Norwall: Kluwer Academic.
- Anthony, Jiju *et al.* (2006). An application of Taguchi method of experimental design for new product design and development process. *Assembly Automation*. 26, 1, ABI/UNIFORM Global pg. 18.
- Montgomery, D. C. (1999). Experimental design for product and process design and development. *Journal of the Royal Statistical Society D*. Vol. 48 No. 2. pp 131-139
- Montgomery, D. C. (2005). *Design and Analysis of Experiments* (4th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Park, S. H. 1996. *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*. London: Chapman & Hall..
- Ross, P. J. (1988). *Taguchi Technique for Quality Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Roy, Ranjit K. (1990). *A Primer on The Taguchi Method*. Michigan: Dearborn.
- Roy, Ranjit K. (2001). *Design of Experiments Using the Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement*. New York: John Wiley & Sons.
- Shudakar, P. R. (1995, January). An Introduction to quality improvement through Taguchi methods. *Industrial Engineering*. 27, 1, ABI/INFORM Global pg. 53

Taguchi, G. (1986). *Introduction to Quality Engineering*. Tokyo: Asian Productivity Organization.

Taguchi, G, *et al.* (1999). *Robust Engineering*. New York: McGraw-Hill.





PTPL 1B : Line F			SHIFT 1														
No	Nama Part	Warna	Produksi				Penyebab Reject										TOTAL REJECT
			Hanger	In	Buffing	Reject	Meler	Kotor	Tipis	Mnyak	Nyerep	Air	Orange Peels	Gores Dasar	Amplas	DII	
1	Cover Main Pipe Side R	Black	225	101	77	47	5	1	37	1						3	47
2	Cover Main Pipe Side L	Black	286	135	111	40	3	2	28	3						4	40
3	Cover Main Pipe Front	Black	302	149	143	10	3	2	5								10
4	Cover Body R	Black	284	212	28	44	2	3	33	2				4			44
5		Scarlet Red	0	0	0	0											0
6		Dig Silver Met	0	0	0	0											0
7		Anchor Grey	0	0	0	0											0
8	Cover Body L	Black	212	182	27	3			2							1	3
9		Scarlet Red	0	0	0	0											0
10		Dig Silver Met	0	0	0	0											0
11		Anchor Grey	0	0	0	0											0
12	Cover R Center Side	Black	230	189	23	18			16	1						1	18
13	Cover L Center Side	Black	187	150	22	15			13							2	15
14	Cover Handle Top	Black	216	68	120	28			23	1					2	2	28
15		Scarlet Red	0	0	0	0											0
16		Dig Silver Met	0	0	0	0											0
17		Anchor Grey	0	0	0	0											0
18	Cover Front Top	Black	305	72	202	31	1		26	1						3	31
19		Scarlet Red	0	0	0	0											0
20		Dig Silver Met	0	0	0	0											0
21		Anchor Grey	0	0	0	0											0
22	Front Fender A	Black	240	101	95	44	6		25	2					1	10	44
TOTAL			2487	1359	848	280	20	8	208	11	0	0	0	4	3	26	280
Prosentase				54.6%	34.1%	11.3%	0.8%	0.3%	8.4%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.1%	1.0%	11.3%