



UNIVERSITAS INDONESIA

**IDENTIFIKASI SOLUSI ALTERNATIF TERHADAP
KEPUTUSAN INVESTASI MESIN PRODUKSI
MENGUNAKAN METODE *DESIGN OF EXPERIMENTS***

SKRIPSI

**MIRZA PERDANA PUTRA
0806367304**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
DESEMBER 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**IDENTIFIKASI SOLUSI ALTERNATIF TERHADAP
KEPUTUSAN INVESTASI MESIN PRODUKSI
MENGUNAKAN METODE *DESIGN OF EXPERIMENTS***

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
sarjana teknik**

**MIRZA PERDANA PUTRA
0806367304**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
DESEMBER 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Mirza Perdana Putra

NPM : 0806367304

Tanda Tangan :

Tanggal : 27 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Mirza Perdana Putra
NPM : 0806367304
Departemen : Teknik Industri
Judul Skripsi : Identifikasi Solusi Alternatif Terhadap Keputusan Investasi
Mesin Produksi Menggunakan Metode *Design of Experiments*

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, MT., MA., PhD (.....)
Penguji : Ir. Amar Rachman, MEIM (.....)
Penguji : Ir. Erlinda Muslim, MEE (.....)
Penguji : Ir. M. Dachyar, M.Sc (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Desember 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Teknik Jurusan Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, skripsi ini tidak akan selesai dengan baik. Pada kesempatan ini pula, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Isti Surjandari, Ph.D., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan waktu, tenaga, dan pikiran dalam membimbing penulis menyelesaikan skripsi ini.
2. Bpk. Ir. Yadrifil, MSc., selaku dosen pembimbing akademis.
3. Pihak PT Bukaka Teknik Utama Divisi OGE yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang diperlukan.
4. Keluarga tercinta, terutama Ayah, Ibu, dan Kakak yang tercinta, atas seluruh perhatian dan kasih sayangnya yang tanpa batas, dimana tanpanya penulis tidak mungkin mencapai tahap seperti sekarang ini.
5. Seluruh teman-teman ekstensi Teknik Industri angkatan 2008 yang selalu membantu dan memberi dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Dan saya menyadari bahwa masih banyak kekurangan di dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya.

Depok, Desember 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Mirza Perdana Putra

NPM : 0806367304

Departemen : Teknik Industri

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

**Identifikasi Solusi Alternatif Terhadap Keputusan Investasi Mesin Produksi
Menggunakan Metode *Design of Experiments***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 27 Desember 2010

Yang menyatakan

(Mirza Perdana Putra)

ABSTRAK

Nama : Mirza Perdana Putra
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Identifikasi Solusi Alternatif Terhadap Keputusan Investasi Mesin Produksi Menggunakan Metode *Design of Experiments*

Penelitian ini mengkaji keputusan perusahaan dalam melakukan investasi mesin produksi yang berpotensi mempengaruhi keuntungan di masa mendatang dalam kondisi ketidakpastian. Pendekatan yang digunakan adalah metode *Design of Experiments (DOE)* yang melibatkan faktor terkontrol dan tidak terkontrol untuk mengestimasi konsekuensi keputusan, dan teori gage untuk menganalisis kualitas data pengukuran. Tujuannya adalah memberikan solusi alternatif yang optimal terhadap rencana investasi. Hasil penelitian merekomendasikan agar menurunkan harga pokok penjualan sebesar 5% dari 15 miliar Rupiah, mengurangi 2 subkontraktor, serta tidak merubah anggaran pengembangan dan utilisasi kapasitas perusahaan.

Kata Kunci:
Keputusan, Faktor Terkontrol, DOE, Ketidakpastian

ABSTRACT

Name : Mirza Perdana Putra
Study Program : Industrial Engineering
Title : Identification Alternative Solution Toward Production Machine Investment Decision Using Design of Experiments

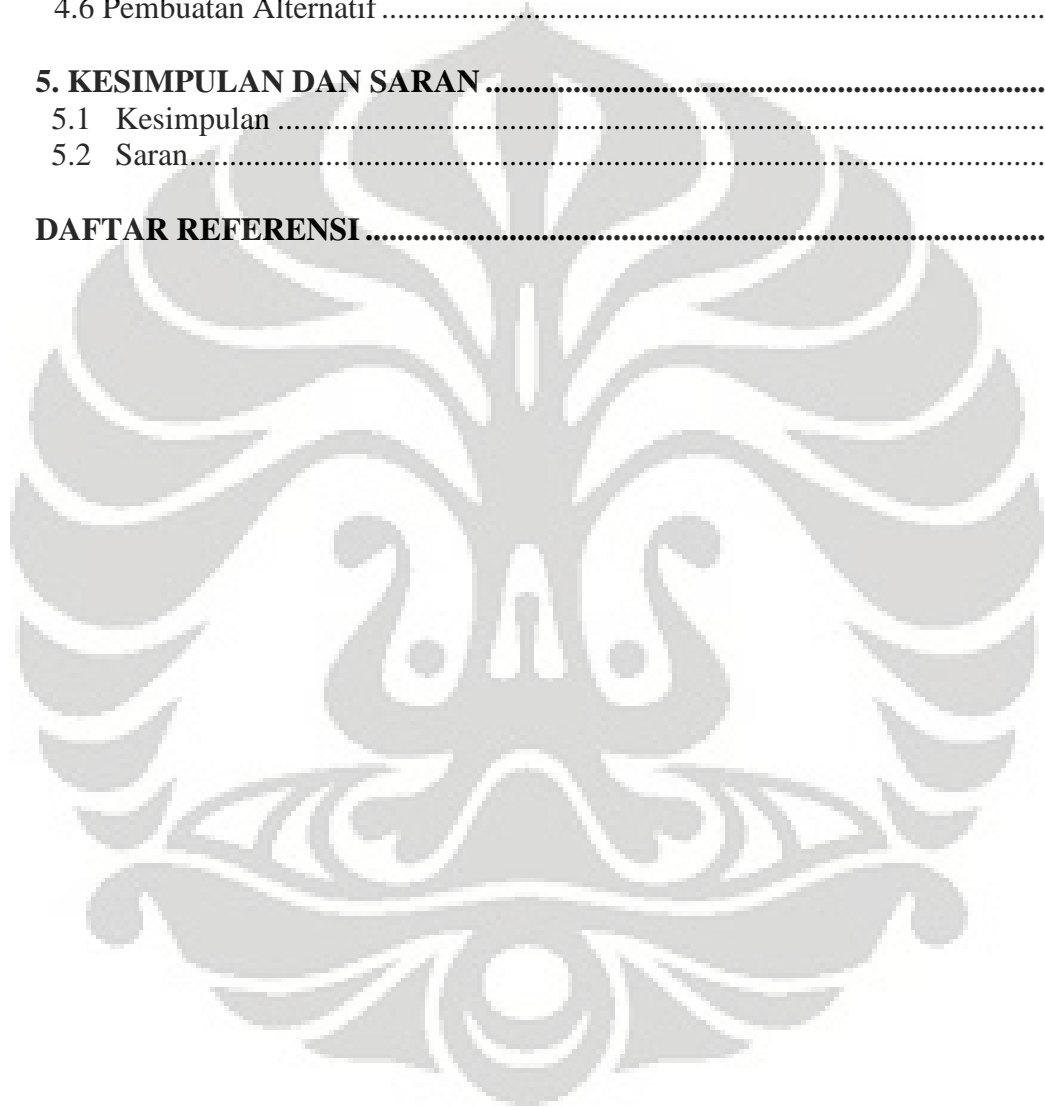
This research study corporate decision about investment in production machine under uncertainty which has potential effect to profit in the future. Design of Experiments (DOE) was an approach that involved controllable and uncontrollable factors to estimate the consequences of decision against profit, and using gage theory to analyze the quality of measuring data. The objective is to give optimum alternative solution over investment decision. The results recommend to decline cost of goods sold around 5% from 15 billion Rupiah, reduce 2 subcontractor usage, keep the corporate development budget and capacity utilization as usual.

Key words:
Decision, Controllable Factor, DOE, Uncertainty

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	3
1.3 Rumusan Permasalahan	3
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Metodologi Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan	7
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 <i>Design and Analysis of Experiments (DOE)</i>	9
2.1.1 Tujuan <i>Design and Analysis of Experiments</i>	9
2.1.2 Beberapa Metode Percobaan.....	10
2.1.3 Prinsip Dasar Dalam <i>Design of Experiments (DOE)</i>	13
2.2 Metode Taguchi	14
2.2.1 Latar belakang metode Taguchi.....	14
2.2.2 <i>Taguchi Loss Function</i>	15
2.2.3 <i>Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)</i>	18
2.2.4 <i>Orthogonal Array (OA) Experiment</i>	20
2.2.4.1 Struktur <i>Orthogonal Array</i>	20
2.2.4.2 Penentuan dan Pemilihan <i>Orthogonal Array</i>	23
2.2.5 Tahapan dalam Metode Taguchi.....	24
2.2.6 Desain Parameter Taguchi	27
2.2.6.1 Struktur Desain Parameter	27
2.2.6.2 Langkah-langkah dalam Desain Parameter.....	30
2.3 Analisa Dalam Hasil Eksperimen	31
2.3.1 Analisa Rata-rata (ANOM).....	31
2.3.2 <i>Analysis of Variance (ANOVA)</i>	31
2.4 <i>Measurement System Analysis (MSA)</i>	33
2.4.1 Gage R&R (<i>Repeatability And Reproducibility</i>).....	34
3. METODE PENELITIAN	37
3.1 Sejarah Singkat Perusahaan	37
3.2 Perancangan Eksperimen	40
3.3 Persiapan dan Pengumpulan Data Eksperimen.....	45

4. PEMBAHASAN	48
4.1 Prediksi Untuk Kondisi Bisnis Perusahaan.....	48
4.2 Tingkat Kepercayaan Diri (<i>Confidence Level</i>)	49
4.3 Perhitungan Statistik ANOVA.....	50
4.3.1 ANOVA untuk Lingkungan tetap	51
4.3.2 ANOVA untuk lingkungan terburuk.....	52
4.3.3 ANOVA untuk lingkungan terbaik	53
4.4 Perhitungan <i>Gage Reproducibility & Repeatability</i> (Gage R&R).....	56
4.5 Analisis Taguchi	60
4.6 Pembuatan Alternatif	62
5. KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran.....	64
DAFTAR REFERENSI	65



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perumusan untuk <i>Loss Function</i>	18
Tabel 2.2 Matriks <i>Orthogonal Array</i>	22
Tabel 2.3 Struktur Desain Parameter	28
Tabel 2.4 Tabel Triangular untuk <i>Orthogonal Arrays 2 Level</i>	29
Tabel 2.5 Rumus Perhitungan ANOVA	32
Tabel 3.1 Faktor <i>Controllable</i> dan Level.....	42
Tabel 3.2 Faktor <i>Uncontrollable</i> dan Level.....	42
Tabel 3.3 Situasi Bisnis Perusahaan.....	43
Tabel 3.4 Struktur Data Pengujian	44
Tabel 3.5 Prediksi untuk situasi BAU.....	45
Tabel 3.6 Data Hasil Percobaan (Dalam Miliar Rupiah)	47
Tabel 4.1 Prediksi <i>Business as Usual</i> Perusahaan	48
Tabel 4.2 Alasan Data Akurat & Tidak Akurat	49
Tabel 4.3 Tingkat Kepercayaan Diri Operator.....	49
Tabel 4.4 Perhitungan ANOVA.....	51
Tabel 4.5 Perhitungan ANOVA Tanpa Operator 2.....	54
Tabel 4.6 ANOVA Interaksi Faktor.....	56
Tabel 4.7 Uji Perlakuan.....	57
Tabel 4.8 Replikasi Uji Perlakuan	57
Tabel 4.9 Rekomendasi Alternatif	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	6
Gambar 2.1 Model Umum Dalam Suatu Proses	9
Gambar 2.2 <i>Quality Loss Function</i>	16
Gambar 2.3 <i>Quality Characteristic</i> Taguchi.....	17
Gambar 2.4 Ilustrasi Konsep <i>S/N Ratio</i>	19
Gambar 2.5 Penulisan <i>Orthogonal Array</i>	21
Gambar 2.6 Desain Parameter Taguchi	27
Gambar 2.7 Contoh Grafik linier	29
Gambar 2.8 Visualisasi Target Pengukuran.....	34
Gambar 2.9 Model Pengukuran (a) <i>Crossed</i> dan (b) <i>Nested</i>	36
Gambar 3.1 Ukuran Tingkat Kepercayaan Diri	45
Gambar 4.1 Tabel ANOVA Untuk Prediksi Dalam Kondisi Tetap.....	52
Gambar 4.2 Tabel ANOVA Untuk Prediksi Dalam Kondisi Terburuk.....	52
Gambar 4.3 Tabel ANOVA Untuk Prediksi Dalam Kondisi Terbaik	53
Gambar 4.4 ANOVA untuk Interaksi Faktor Pada Lingkungan Tetap.....	55
Gambar 4.5 ANOVA untuk Interaksi Faktor Pada Lingkungan Terbaik	55
Gambar 4.6 Grafik <i>Reproducibility</i> Prediksi Pada Lingkungan Tetap	57
Gambar 4.7 Grafik <i>Reproducibility</i> Prediksi Pada Lingkungan Terbaik.....	58
Gambar 4.8 Grafik Gage R&R Pada Lingkungan Tetap Tanpa Operator 2	58
Gambar 4.9 Gage R&R Pada Kondisi Lingkungan Tetap Tanpa Operator 2.....	59
Gambar 4.10 Tabel Respon untuk Lingkungan Tetap	60
Gambar 4.11 Tabel Respon untuk Lingkungan Terbaik.....	61
Gambar 4.12 Tabel Respon untuk Lingkungan Terburuk	62

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Dalam era globalisasi dengan persaingan yang ketat, perusahaan hampir setiap saat membuat atau mengambil keputusan, dan melaksanakan tindakan-tindakan berdasarkan keputusan yang diambil. Segala tindakan merupakan pencerminan hasil proses pengambilan keputusan yang dilakukan baik secara sadar ataupun tidak. Dalam setiap pengambilan keputusan para pengambil keputusan akan selalu berhadapan dengan lingkungan, dimana salah satu karakteristiknya yang paling menyulitkan dalam proses pengambilan keputusan adalah ketidakpastian (*uncertainty*), ini adalah salah satu kondisi dimana tidak akan dapat diketahui dengan pasti apa yang akan terjadi di masa yang datang. Selain kondisi ketidakpastian ini, lingkungan juga bersifat kompleks, dimana begitu banyak faktor yang berinteraksi dalam berbagai cara sehingga sering tidak diketahui lagi bagaimana interaksi tersebut berlangsung.

Kemampuan seorang dalam mengambil keputusan dapat ditingkatkan, apabila ia mengetahui dan menguasai teori dan teknik pembuatan keputusan serta kemampuan mengumpulkan informasi yang bisa mendukung dalam penyelesaian masalah tersebut. Pengambilan keputusan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, faktor keadaan intern organisasi, faktor tersedianya informasi yang diperlukan, faktor keadaan ekstern organisasi, serta faktor kepribadian dan kecakapan pengambil keputusan (Pinem, 2001).

Kegiatan pengambilan keputusan meliputi pengidentifikasian masalah, pencarian alternatif penyelesaian masalah, evaluasi dari alternatif-alternatif tersebut dan pemilihan alternatif keputusan yang terbaik. Dalam pengambilan keputusan mencakup kegiatan identifikasi masalah, perumusan dan pemilihan alternatif keputusan berdasarkan perhitungan konsekuensi dan berbagai dampak yang mungkin timbul. Begitu juga dalam tahap implementasi atau operasional suatu organisasi, para pengambil keputusan harus membuat keputusan rutin dalam rangka mengendalikan usaha sesuai dengan rencana dan kondisi yang ada.

pada rendahnya kualitas data, sehingga dapat dilakukan tindakan perbaikan (Tang, 2007).

Dalam rangka meningkatkan kapasitas produksi, PT. Bukaka Teknik Utama, khususnya pada Divisi *Oil and Gas Equipment* (OGE) merencanakan untuk melakukan investasi dalam penambahan mesin produksi. Keputusan untuk melakukan investasi yang akan dilakukan oleh Divisi OGE, diperlukan informasi yang dapat menganalisa keputusan tersebut, agar perusahaan dapat lebih siap dalam menerima hasil yang akan terjadi di masa mendatang. Oleh karena itu, metode DOE digunakan untuk menyediakan informasi dan analisis terhadap keputusan investasi dengan adanya pengaruh dari faktor-faktor yang dapat dikendalikan maupun yang tidak dapat dikendalikan oleh perusahaan dalam melakukan investasi tersebut.

1.2 DIAGRAM KETERKAITAN MASALAH

Diagram keterkaitan masalah merupakan suatu alat yang memetakan keterkaitan permasalahan yang ada dengan meletakkan suatu permasalahan kemudian memetakan faktor-faktor yang berkaitan dengan masalah tersebut dan faktor-faktor lainnya. Diagram keterkaitan masalah penelitian ini digambarkan pada Gambar 1.1.

1.3 RUMUSAN PERMASALAHAN

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka permasalahan dalam penelitian ini adalah penentuan keputusan yang akan diambil atas investasi untuk mesin produksi dengan mempelajari adanya suatu masalah atau peluang yang berpotensi mempengaruhi pendapatan di masa mendatang. Sehingga perlu digunakan analisa dalam membuat suatu solusi alternatif yang optimal yang dipengaruhi faktor terkendali dalam 3 kondisi lingkungan yang berbeda, dengan menggunakan metode DOE (*Design of Experiments*) untuk membangun alternatif-alternatif, serta untuk memprediksi kinerja dari alternatif tersebut.

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan solusi alternatif yang optimal dan menyediakan analisis yang lebih lengkap dan sistematis terhadap rencana investasi untuk penambahan mesin produksi, serta menyediakan hasil analisis kepada perusahaan dengan metode DOE (*Design of Experiments*) untuk mengetahui respon dan pengaruh faktor yang diujikan terhadap hasil yang ingin dicapai berkaitan dengan hal investasi perusahaan dalam penambahan mesin produksi, yang khususnya dapat berguna dalam mengambil keputusan.

1.5 BATASAN MASALAH

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah agar pelaksanaan serta hasil yang akan diperoleh sesuai dengan tujuan pelaksanaannya. Adapun batasan-batasan masalah adalah sebagai berikut:

- Penelitian dilakukan di PT. Bukaka Teknik Utama
- Data yang diolah pada penelitian ini didapatkan dari data perusahaan dan hasil prediksi dari organisasi perusahaan untuk 3 kondisi lingkungan berbeda yang tidak dapat dikendalikan oleh perusahaan.

1.6 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, metodologi yang digunakan terdiri atas 4 tahap, yaitu tahap awal, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data dan analisa, serta tahap kesimpulan.

Tahap awal penelitian terdiri atas:

- Penetapan topik penelitian, yaitu analisis keputusan dengan menggunakan metode *Design of Experiments*.
- Penetapan tujuan penelitian
- Penetapan batasan penelitian
- Pencarian dan penggalan dasar teori yang digunakan sebagai landasan metode yang digunakan dalam penelitian, yaitu analisis keputusan dan metode DOE

Tahap pengumpulan data terdiri atas:

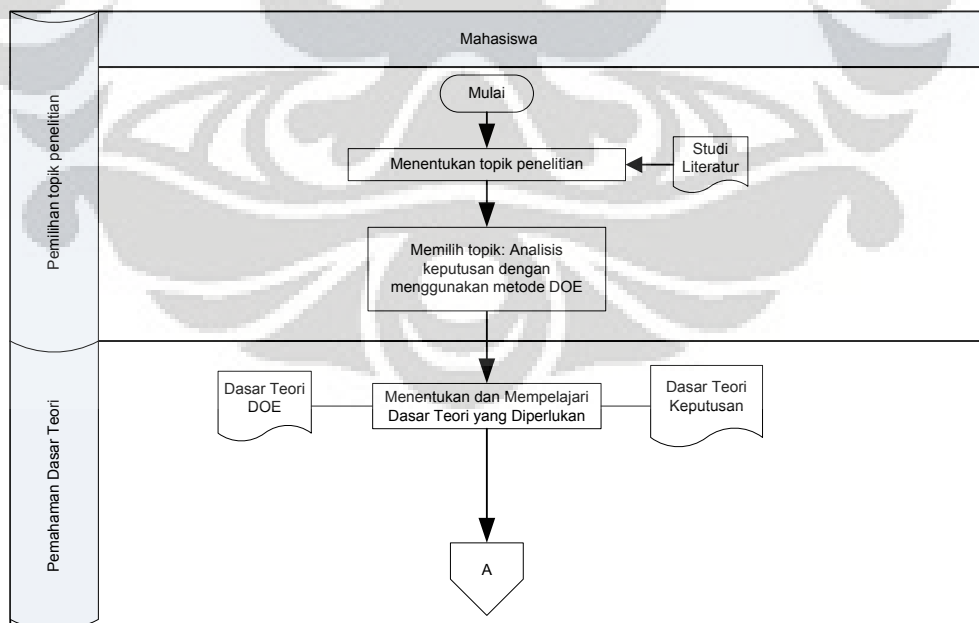
- Penentuan faktor-faktor yang berhubungan dengan pengambilan keputusan
- Pengumpulan data perusahaan yang terkait dengan pengambilan keputusan
- Pengumpulan data melalui prediksi hasil oleh organisasi perusahaan dalam 3 lingkungan yang tidak dapat dikendalikan

Tahap pengolahan data dan analisa terdiri atas:

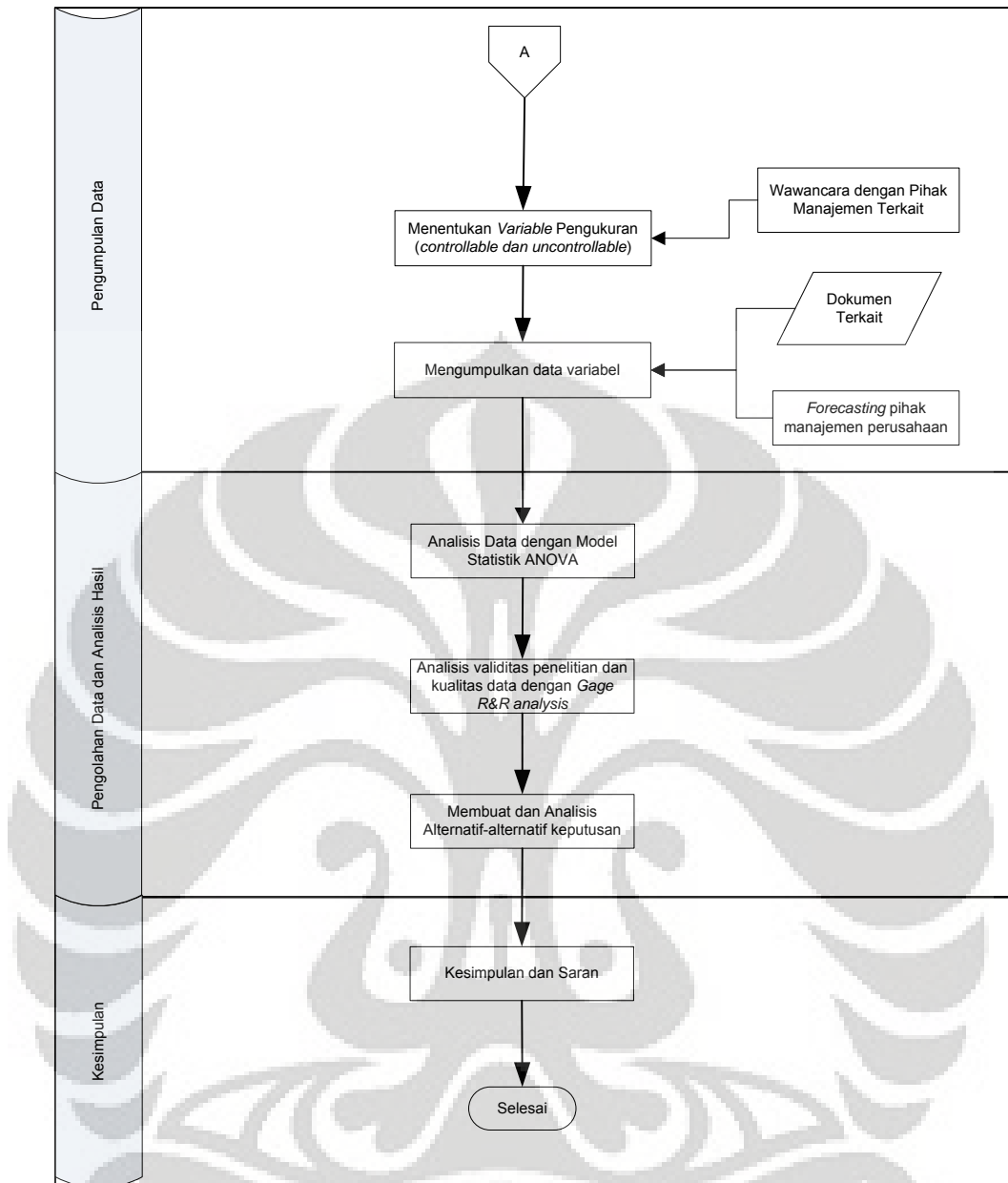
- Penghitungan data prediksi dengan statistik menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA)
- Menganalisis validitas penelitian dan kualitas data dengan menggunakan statistik *gage R&R*
- Membuat dan menganalisa alternatif berdasarkan hasil perhitungan statistik dengan menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA).

Tahap kesimpulan merupakan tahap penarikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan. Selain itu dalam tahap ini juga disampaikan rekomendasi yang dapat dilakukan oleh perusahaan terkait dengan pengambilan keputusan.

Keseluruhan metodologi yang dilakukan, digambarkan dalam Diagram Alir (*flowchart*) pada Gambar 1.2 berikut ini:



Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian (lanjutan)

1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Penelitian yang dilakukan dijelaskan dalam 5 bab, yaitu pendahuluan, dasar teori, pengumpulan data, pengolahan data dan analisa, serta kesimpulan dan rekomendasi. Penjelasan sistematika dari masing-masing bab adalah sebagai berikut.

Bab 1 yaitu bab pendahuluan merupakan bab awal yang berfungsi sebagai pengantar dan ringkasan singkat bagaimana penelitian ini dilakukan. Bab ini

menjelaskan latar belakang penelitian, keterkaitan masalah, pokok permasalahan, ruang lingkup penelitian, metodologi penelitian dan sistematika penulisan penelitian.

Bab 2 yaitu bab dasar teori merupakan bab yang menjelaskan tentang dasar teori terkait dengan topik penelitian ini. Landasan teori yang digunakan adalah pengambilan keputusan, metode DOE, *Gage Theory*.

Bab 3 yaitu bab pengumpulan data merupakan bab yang memaparkan data-data yang diperoleh terkait dengan penelitian. Data tersebut berupa data perusahaan dan data hasil *forecasting* (prediksi) yang ditetapkan sebagai sumber untuk membuat solusi alternatif yang optimal.

Bab 4 yaitu bab pengolahan data dan analisa merupakan bab yang menjelaskan langkah-langkah pengolahan data dengan penerapan metode *Design of Experiments* dan hasil olahan tersebut kemudian dianalisa.

Bab 5 yaitu bab kesimpulan merupakan bab yang menjabarkan kesimpulan yang didapat dari penelitian dan rekomendasi untuk perusahaan, dengan memberikan solusi alternatif yang optimal dalam pengambilan keputusan.

BAB 2

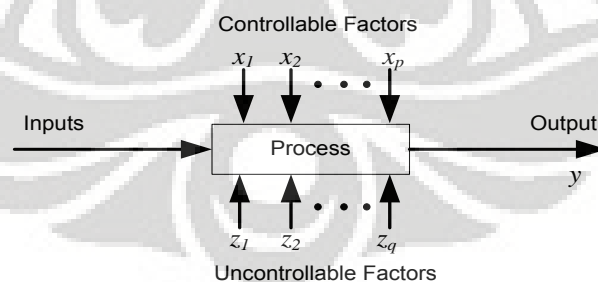
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Design and Analysis of Experiments (DOE)*

Design and Analysis of Experiments (DOE) atau bisa juga disebut desain eksperimen atau perancangan percobaan merupakan ilmu statistik yang banyak digunakan oleh industri-industri di dunia. Aplikasi dari DOE dapat dipakai dalam bidang manajemen, manufaktur, *engineering*, dan juga *science*. DOE adalah teknik ampuh yang melibatkan proses perencanaan dan desain suatu percobaan sehingga data yang tepat bisa dikumpulkan dan diolah secara statistik yang pada akhirnya dapat ditarik kesimpulan yang valid¹.

2.1.1 Tujuan *Design and Analysis of Experiments*

Dalam bidang teknik, perancangan percobaan memegang peranan penting dalam peluncuran produk baru, peningkatan proses manufaktur, dan peningkatan proses². Pada umumnya DOE digunakan untuk mendesain dan merancang suatu percobaan untuk mengetahui respon dan karakteristik suatu faktor dan elemen terhadap suatu variabel pengujian. Untuk mengetahui pengaruh elemen terhadap faktor yang diberikan, bisa diuji dengan memasukkan perubahan elemen tersebut terhadap faktor-faktor yang diberikan, baik yang telah direkayasa maupun faktor aslinya. Proses tersebut dapat digambarkan dalam sebuah model berikut:



Gambar 2.1 Model Umum Dalam Suatu Proses

(Sumber: Douglas C. Montgomery, 2005)

¹ Jiju Anthony, Steve Warwood, Kiran Fernandez, dan Hefin Rowlands, "*Process optimization using Taguchi Method of experimental design*", *Work Study*, Vol 50, No.2, 2001, hal. 51.

² Douglas C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, Fourth Edition, John Wiley & Sons, New York, 1997, hal.1.

Kita dapat menggambarkan proses sebagai kombinasi dari mesin-mesin, metode-metode, orang, dan sumber lainnya yang akan mentransformasi input menjadi output. Beberapa dari variabel proses x_1, x_2, \dots, x_p dapat dikendalikan, sedangkan variabel lain seperti z_1, z_2, \dots, z_q tidak dapat dikendalikan³.

Menurut Montgomery, tujuan dari dilakukannya perancangan percobaan adalah⁴ :

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

Selain keempat hal tersebut, alasan suatu percobaan dilakukan untuk mendapatkan model matematis untuk memprediksi respon-respon di waktu mendatang⁵. Model matematis yang biasanya digunakan adalah model linear dan metode *least squares*⁶.

2.1.2 Beberapa Metode Percobaan

Mark A. Fryman membagi jenis-jenis percobaan ke dalam 4 bagian, yaitu *trial and error, one factor at a time, full factorial, fractional factorial*⁷.

1. *Trial and Error*

Pendekatan *trial and error* merupakan metode dimana satu faktor dimanipulasi/diubah tanpa memperdulikan faktor lainnya⁸. Adapun kelemahan dari metode ini adalah tidak terlalu terbukti kebenarannya, memakan biaya yang tinggi, waktu yang lama, dan tidak efisien.

2. *One Factor at a Time (OFAT)*

OFAT sering dipakai oleh ahli teknik industri pada industri manufaktur umumnya. Metode OFAT disebut juga sebagai pendekatan tradisional

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*

⁵ Angela Dean dan Daniel Voss, *Design and Analysis of Experiments*, Springer-Verlag, New York, 1999, hal. 1.

⁶ *Ibid.*, hal. 5.

⁷ Mark A. Frayman, *Quality and Process improvement*, Delmar:New York, 2002, hal. 4.

⁸ *Ibid.*, hal 321.

dalam melakukan percobaan⁹. Dalam metode ini, satu faktor akan diubah-ubah sementara faktor lain ditetapkan pada nilai konstan. Percobaan ini membutuhkan intuisi yang tinggi, keberuntungan, dan pengalaman dari orang yang melakukan percobaan. Kelemahan dari percobaan ini adalah bahwa hasil yang diharapkan kadang tidak tercapai, memakan waktu yang lama, tidak efisien dan dapat memberikan kesimpulan yang salah dalam suatu percobaan¹⁰.

Akan tetapi, dari sekian banyak keuntungan yang bisa didapatkan dengan memakai metode DOE, pendekatan OFAT masih populer dipakai di beberapa industri untuk menentukan penyetelan parameter yang baik¹¹. Beberapa alasannya adalah¹² :

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

3. *Full Factorial*

Percobaan *full factorial* berbeda dengan dua percobaan sebelumnya dimana setiap kombinasi faktor diujicobakan pada level yang berbeda-

⁹ Jiju Anthony, "some key things industrial engineering should know about experimental design", *Logistic Information management*, vol 11, no.6, 1998, hal. 386.

¹⁰ *Ibid.*

¹¹ Legault, M, *Design new business*, Canadian Plastic, Vol. 55, no.6, hal.26.

¹² Jiju Antony, Tzu-yao Chou, dan Sid Ghosh, *Training for Design of Experiment, work study*, Vol. 53, no. 7, 2003, hal. 342.

beda. Metode ini akan memiliki keuntungan dibandingkan dua metode sebelumnya, sebab kesimpulan yang didapat akan lebih akurat karena setiap kombinasi faktor diujicobakan. Akan tetapi, kelemahan dari metode ini adalah waktu yang diperlukan serta biaya yang dikeluarkan akan besar dengan menjalankan semua kombinasi faktor¹³.

Pemakaian metode DOE seperti dalam *factorial design* dipercaya lebih akurat dan memiliki banyak kelebihan dibandingkan pendekatan OFAT (*One-Factor-at-a-time*). Adapun kelebihan metode DOE dibandingkan dengan metode OFAT (Jiju Antony, 2003)¹⁴:

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

¹³ *Ibid*, hal. 324.

¹⁴ *Ibid*, hal. 341.

4. *Fractional Factorial*

Karena banyaknya jumlah percobaan yang harus dilakukan pada *full factorial*, membuat metode tersebut tidak selalu bisa diterapkan pada semua eksperimen/percobaan. Apalagi dengan adanya keterbatasan waktu dalam melakukan percobaan. Maka dari itu, ada metode yang disebut *fractional factorial*. Metode ini akan menjalankan hanya sebagian dari setiap kombinasi yang mungkin¹⁵. Percobaan *fractional factorial* merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam pengembangan produk dan peningkatan proses¹⁶. Penggunaan utama dari metode ini adalah untuk menyeleksi kombinasi percobaan (*screening experiments*)¹⁷. Salah satu metode yang menggunakan *fractional factorial* adalah metode Taguchi. Metode Taguchi akan dijelaskan pada subbab selanjutnya.

2.1.3 Prinsip Dasar Dalam *Design of Experiments* (DOE)

Statistik *Design of Experiments* didasari pada proses perencanaan percobaan, sehingga data yang sesuai akan didapatkan yang bisa dianalisa dengan menggunakan metode statistik, untuk menghasilkan kesimpulan yang valid dan objektif¹⁸. Pengolahan data dengan menggunakan statistik diperlukan untuk menganalisis terjadinya kesalahan percobaan (*experimental errors*). Ketika masalah melibatkan data yang merupakan subjek pada *experimental error*, maka metode statistik merupakan satu-satunya pendekatan objektif untuk menganalisis¹⁹. Perancangan percobaan dan pengolahan secara statistik merupakan dua hal yang berhubungan dan harus dipelajari bersama-sama²⁰. Tiga prinsip dasar dalam melakukan perancangan percobaan adalah *replication*, *blocking*, dan *randomization*²¹. Dua prinsip awal bertujuan untuk meningkatkan

¹⁵ Paul D. Berger dan Robert E. Murer, *Experimental design with applications in management, Engineering, and the science*, Thompson : New York, 2002, hal. 313.

¹⁶ Douglas C. Montgomery, *Op. Cit.*, hal. 372.

¹⁷ *Ibid.*

¹⁸ *Ibid.*, hal.12

¹⁹ *Ibid.*

²⁰ Angela Dean dan Daniel Voss, *Op. Cit.*, hal. 2.

²¹ *Ibid.*

keakuratan percobaan, dan prinsip yang terakhir bertujuan mengurangi terjadinya bias.

1. *Replication*

Dengan melakukan replikasi berarti melakukan pengulangan percobaan beberapa kali. Replikasi mempunyai dua peranan penting. Pertama, orang yang melakukan percobaan dapat memperoleh error. Kedua, replikasi juga berguna untuk mendapatkan perkiraan percobaan yang lebih akurat.

2. *Blocking*

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

3. *Randomization*

Randomization adalah teknik desain yang digunakan untuk menjaga terhadap pengaruh dari faktor pengganggu²². Tujuan melakukan randomisasi adalah untuk menghindari terjadinya bias. Dengan *randomization* dimaksudkan bahwa kedua alokasi dari material percobaan dan urutan percobaan individual yang dijalankan, ditentukan secara acak²³. Dengan melakukan hal ini, dapat mencegah terjadinya efek luar yang dapat mempengaruhi hasil percobaan.

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 menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk *robust* terhadap *noise*, karena itu sering disebut sebagai *robust design*. Definisi

²² Douglas C. Montgomery, *Op. Cit.*, hal.119.

²³ *Ibid.*

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.

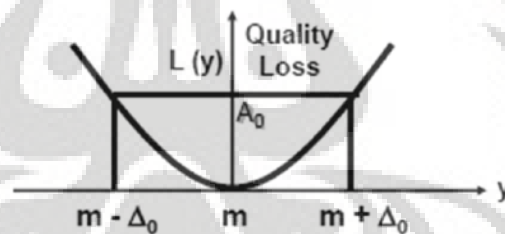
Metode Taguchi menitikberatkan pada pencapaian target tertentu dan mengurangi variasi suatu produk atau proses dengan menggunakan desain parameter. Pencapaian tersebut dilakukan dengan menggunakan ilmu statistika. Apabila ada sejumlah parameter yang diperkirakan mempengaruhi suatu proses, maka dengan prinsip statistika pada metode Taguchi ini dapat dihitung seberapa besar peran masing-masing parameter tersebut dalam mempengaruhi proses atau 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 desain parameter. Ada dua kontribusi utama metode Taguchi pada kualitas, yaitu *Taguchi Loss Function* dan *Orthogonal Arrays*.

2.2.2 Taguchi Loss Function

Seperti yang telah 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 kekecewaan 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 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* digunakan untuk 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 2.2 *Quality Loss Function*

(Sumber: Phadke, 1989)

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 ditetapkan sebagai basis informasi mengenai kerugian-kerugian pada terminologi moneter yang disebabkan spesifikasi produk yang jatuh diluar batas toleransi konsumen. Pada Taguchi digunakan istilah

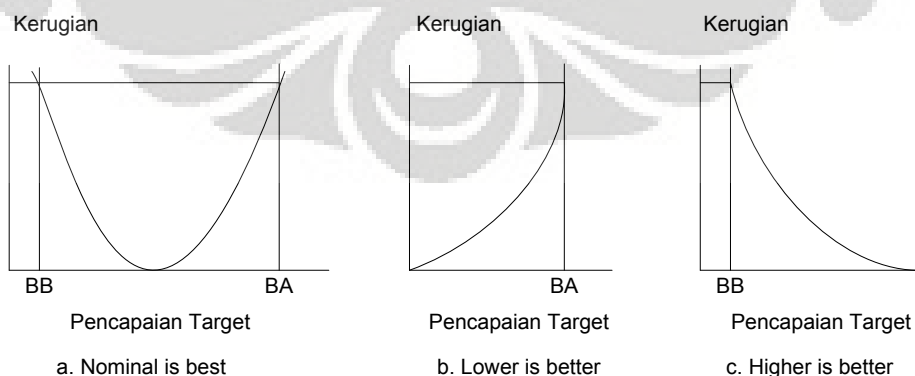
“customer tolerance” karena fungsi kerugian dilihat dari sudut pandang konsumen. Biasanya batas toleransi konsumen lebih besar dibandingkan toleransi spesifikasi dari pihak produsen. Untuk perhitungan k digunakan rumus sebagai berikut :

$$k = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \quad (2.1)$$

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.

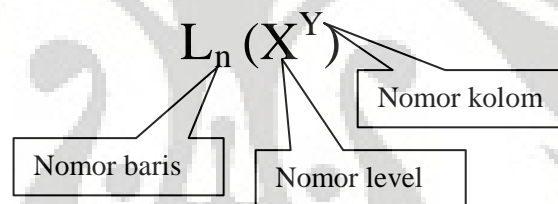


Gambar 2.3 *Quality Characteristic Taguchi*

(Sumber: Sung H. Park, 1996)

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 ke dalam 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 atau level yang tidak membawa pengaruh dari faktor atau level yang lain.



Gambar 2.5 Penulisan *Orthogonal Array*

(Sumber: Ranjit K. Roy, 1990)

Keterangan gambar:

- Notasi L menyatakan informasi mengenai *orthogonal array*.
- Nomor baris (n) menyatakan jumlah percobaan yang dibutuhkan ketika menggunakan *orthogonal array*.
- Nomor kolom (Y) menyatakan jumlah faktor yang diamati dalam *orthogonal array*.
- Nomor level (X) menyatakan jumlah level faktor.

Untuk dua level, tabel OA terdiri dari L_4 , L_8 , L_{12} , L_{16} , L_{32} , sedangkan untuk tiga level tabel OA terdiri dari L_9 , L_{18} , L_{27} . 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 dalam faktor, digunakan untuk memilih *orthogonal array*. Jika faktornya ditetapkan berlevel dua maka harus digunakan *orthogonal array* dua level, dan begitu seterusnya. *Orthogonal array* untuk L_4 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 levelnya 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 dalam 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 menganalisis data.

2.2.4.2 Penentuan dan Pemilihan *Orthogonal Array*

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

1. Derajat kebebasan

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. Perbandingan ini sendiri akan memberikan informasi tentang faktor dan level yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap karakteristik kualitas.

Pertimbangan utama dalam melakukan percobaan adalah efisiensi dan biaya yang harus dikeluarkan. Maka sebisa mungkin digunakan orthogonal terkecil yang masih dapat memberikan informasi yang cukup untuk dilakukannya percobaan 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:

1. Untuk faktor utama, misal faktor utama A dan B :

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

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

2. Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

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

3. Nilai derajat kebebasan total

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

4. Nilai derajat kebebasan error

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

2. Interaksi antar faktor

Interaksi antara dua faktor berarti efek satu faktor pada respon tergantung level faktor lain. Antara interaksi faktor 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 hal 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 terpilih telah dihasilkan berdasarkan dua fase sebelumnya. Fase analisis adalah hal penting terakhir yang mana apakah peneliti akan dapat menghasilkan hasil yang positif atau tidak. 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 diselidiki.
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 diselidiki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan. Dalam seluruh percobaan tidak seluruh faktor yang

diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselidiki, sebab hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Hanya faktor-faktor yang dianggap penting saja yang diujikan. 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.
6. Penentuan jumlah level dan nilai faktor: pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan biaya pelaksanaan percobaan. Semakin banyak level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh akan lebih banyak, tetapi banyaknya level juga akan meningkatkan biaya percobaan.
7. Identifikasi interaksi antar faktor kontrol: interaksi muncul ketika dua faktor atau lebih mengalami perlakuan secara bersamaan akan menghasilkan 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. 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 2 level: pilih jenis OA untuk level 2 faktor
- Jika semua faktor adalah 3 level: pilih jenis OA untuk level 3 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 *control* maupun faktor gangguan dan interaksi-interaksinya pada *orthogonal array* terpilih dengan memperhatikan grafik linier dan tabel triangular. Grafik linier mengindikasikan berbagai kolom ke mana tujuan 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 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 tes 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 dengan 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*)

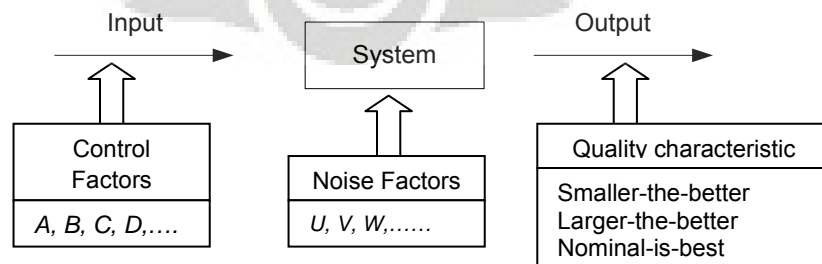
12. Analisis data: pada analisis, dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *layout* tertentu sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih.
13. Interpretasi hasil: interpretasi 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 atau proses tahan terhadap faktor pengganggu. Secara umum, desain parameter memiliki dua karakteristik, yaitu:

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



Gambar 2.6 Desain Parameter Taguchi

(Sumber: Sung H. Park, 1996)

2.2.6.2 Langkah-langkah dalam Desain Parameter

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

1. Karakteristik *Smaller-the-Better* dan *Larger-the-Better*
 - a. Menggambarkan faktor-faktor yang mempengaruhi respon kualitas produk atau proses dari eksperimen yang ingin dilakukan.
 - b. Memilih tabel OA yang sesuai untuk *inner* dan *outer array*, dan menempatkan faktor terkendali dan pengganggu ke dalam *array* tersebut.
 - c. Melakukan eksperimen, dan menghitung *S/N Ratio* untuk setiap baris dari *inner array*.
 - d. Mencari faktor-faktor yang signifikan yang mempengaruhi *S/N Ratio* 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 respon dari kondisi secara keseluruhan, dan melakukan tes konfirmasi pada kondisi optimum tersebut dapat mencapai respon kualitas yang diinginkan.
2. Karakteristik *Nominal-the-Best*
 - a. Menggambarkan faktor-faktor yang mempengaruhi respon kualitas produk atau proses dari eksperimen yang ingin dilakukan.
 - b. Memilih tabel OA yang sesuai untuk *inner* dan *outer array*, dan menempatkan faktor terkendali dan pengganggu ke dalam *array* tersebut.
 - c. Melakukan eksperimen, dan menghitung *S/N Ratio* dan sensitifitas untuk setiap baris dari *inner array*.
 - d. Mencari faktor kontrol yang signifikan mempengaruhi *S/N Ratio* dengan (Pareto) ANOVA, yang akan disebut *Dispersion control factor*. Dan mencari faktor terkendali 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 terkendali yang memaksimalkan *S/N Ratio*) dan *mean adjustment factor* (level-level dari faktor terkendali yang memberikan estimasi respon paling dekat dengan target).
- f. Mengestimasi rata-rata respon dari kondisi optimum secara keseluruhan dan melakukan tes konfirmasi pada kondisi optimum tersebut untuk memeriksa apakah kondisi optimum tersebut dapat mencapai respon kualitas yang diinginkan.

2.3 Analisa Dalam Hasil Eksperimen

2.3.1 Analisa Rata-rata (ANOM)

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

2.3.2 Analysis of Variance (ANOVA)

ANOVA adalah salah satu teknik yang memungkinkan untuk menguji perbedaan variasi pengaruh satu faktor dari sampel yang diambil. Dengan menggunakan ANOVA, bisa ditarik kesimpulan apakah sampel yang diambil memiliki kesamaan rata-rata atau tidak²⁴. 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 varian pada metode Taguchi digunakan sebagai metode statistik untuk menginterpretasikan data-data hasil percobaan. Analisis varians adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi

²⁴ Richard I. Levin dan David S. Rubin, *Statistics for Management*, Seventh Edition, Prentice-Hall, New Jersey, 1998, hal.536.

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 analisis 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-ratio* yang ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 2.5 Rumus Perhitungan ANOVA

Sumber variasi	<i>Sum of Square</i>	Derajat kebebasan	<i>Mean Square</i>	F_0
Faktor A	SS_A	$a-1$	—	—
Faktor B	SS_B	$b-1$	—	—
Interaksi (AxB)	SS_{AB}	$(a-1)(b-1)$	—	—
Residual	SS_E	$ab(n-1)$	—	
Total	SS_T	$abn-1$		

(Sumber: Douglas C. 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:

Dimana: n = jumlah level dari setiap *control factor*

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

= nilai rata-rata *S/N ratio* dari level ke- n pada sebuah *control factor*

b. Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan dihitung sesuai dengan rumus yang sudah dijelaskan pada subbab *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.

d. Uji-F

Uji-F dipergunakan untuk menilai pengaruh perbedaan dari 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 berbeda. Jika F-hitung lebih besar sama dengan F tabel, maka hipotesa alternatif diterima, bahwa terdapat perbedaan pengaruh faktor yang signifikan.

2.4 Measurement System Analysis (MSA)

Analisis Sistem Pengukuran (MSA) adalah metode statistik yang digunakan untuk menilai kinerja suatu sistem pengukuran. Sebuah sistem pengukuran terdiri dari peralatan, perlengkapan, prosedur, *gage*, instrumen, perangkat lunak, lingkungan, dan personil yang secara bersamaan memungkinkan untuk menghasilkan angka untuk mengukur karakteristik atau respon (Creveling, Slutsky, & Anti, 2003). Gage R & R adalah metode MSA untuk variabilitas komponen dalam suatu sistem pengukuran.

Umumnya variabilitas pengukuran dinyatakan dalam varian (σ^2). Varian total suatu pengukuran berasal dari varian yang ditimbulkan produk (*part to part*) dan varian akibat kesalahan pengukuran (*gage*). Kesalahan sistem pengukuran dapat digolongkan dalam dua kategori, yaitu akurasi dan presisi. Akurasi adalah perbedaan antara nilai pengukuran dengan nilai aktual *part*. Presisi adalah variasi pengukuran *part* yang sama secara berulang dengan alat yang sama.

Gambar 2.7 menunjukkan masalah pengukuran yang sering dihadapi, yaitu pengukuran yang (1) akurat dan presisi, (2) presisi namun tidak akurat, (3) Akurat namun tidak presisi, dan (4) tidak akurat dan presisi.

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 Sejarah Singkat Perusahaan

PT. Bukaka Teknik Utama merupakan anak perusahaan dari NV. Haji Kalla, dengan pendirinya Drs. M. Yusuf Kalla. Nama Bukaka sendiri diambil dari nama suatu daerah di Ujung Pandang. Perusahaan ini didirikan di Jakarta berdasarkan akte pendirian No. 149, tanggal 25 Oktober 1978 yang dibuat dihadapan Haji Babasa Daeng Lalo, S.H. di Jakarta.

Ide pertama kali dari pendiri perusahaan ini adalah dengan diumumkannya Surat Keputusan Menteri Perindustrian No. 168/M/SK/9/1978 tentang penegasan memberlakukan kembali surat keputusan Menteri Perindustrian No. 307/M/SK/8/1976 tentang keputusan atau ketentuan keharusan mempergunakan komponen dalam negeri, dalam perakitan kendaraan bermotor. Pada mulanya PT. Bukaka Teknik Utama hanya melakukan perbaikan-perbaikan kendaraan dan peralatan teknis. Tetapi kemudian memproduksi mobil pemadam kebakaran yang merupakan pesanan dari Pemerintah. Beberapa tahun kemudian PT. Bukaka Teknik Utama men-*diversifikasikan* produknya kedalam beberapa jenis kendaraan khusus, seperti truk penyelamat (*rescue truck*), truk pemadat sampah (*garbage truck compactor*), dan truk penyedot (*vacum tank truck*).

Pada saat pertama didirikan PT. Bukaka Teknik Utama hanya mempunyai tanah seluas kurang lebih 3000 m² dengan bangunan 1000 m² yang terletak di Kampung Babakan Desa Cileungsi Kabupaten Bogor. Bengkel dibangun secara sederhana dengan berlantai tanah tanpa dinding, bengkel ini dilengkapi dengan beberapa alat sederhana dan beberapa karyawan. Adapun fasilitas bengkel yang dimiliki pada waktu itu antara lain:

1. Mesin las 200 ampere : 4 buah
2. Kompresor : 1 buah

3. Bor duduk 13 m/m : 1 buah
4. Tabung las karbit : 2 buah
5. Bor tangan dan gerinda: 2 buah
6. Listrik genset 60 kva : 1 buah
7. Karyawan : 12 orang

Oleh karena perkembangan PT. Bukaka Teknik Utama yang cukup pesat, maka diambil suatu langkah pemindahan lokasi perusahaan. Semula direncanakan di Cakung daerah Bekasi dengan luas kurang lebih 30.000 m², namun karena lokasi dipandang kurang strategis akhirnya ditemukan lokasi baru yang lebih strategis yaitu di daerah Kecamatan Cileungsi, Kabupaten Bogor. Sehingga pada bulan Maret 1982 PT. Bukaka Teknik Utama yang berlokasi di Babakan dipindahkan ke lokasi baru di Desa Limus Nunggal dengan menempati area seluas 6,7 Ha.

Dalam kurun waktu 15 tahun PT. Bukaka Teknik Utama telah menjadi perusahaan industri berat yang besar. PT. Bukaka Teknik Utama merupakan salah satu perusahaan nasional yang berkembang pesat, baik dalam bidang usaha maupun kemampuan teknologinya. Disamping itu PT. Bukaka Teknik Utama telah menjadi salah satu perusahaan produsen dan rekayasa alat-alat berat yang cukup maju di Indonesia. Adapun lokasi Perusahaan PT. Bukaka Teknik Utama yaitu:

- Pabrik : Jl. Raya Bekasi Narogan, Cibinong km. 19, 5 Cileungsi – Bogor.
Telp. (021) 8230401 – 8230403
Fax. (021) 8230409
- Kantor : Graha Bukaka Jl. Raya Pasar Minggu 17A (kode pos 12780)
Telp. (021) 7944288
Fax. 7944287

Selama kurun waktu 13 tahun PT. Bukaka Teknik Utama telah menjadi perusahaan yang sangat maju dan telah memproduksi berbagai macam barang-komponen. Bahan dalam setiap kurun waktu tertentu PT. Bukaka Teknik Utama selalu memunculkan produknya yang baru.

3.2 Perancangan Eksperimen

Topik penelitian ini seperti yang telah dijelaskan pada bab Pendahuluan adalah untuk:

- Memberikan solusi alternatif yang optimal dan menyediakan analisis yang lebih lengkap dan sistematis terhadap rencana investasi untuk penambahan mesin produksi.
- Menyediakan hasil analisis dengan metode DOE (*Design of Experiments*) untuk mengetahui respon dan pengaruh faktor yang diujikan.

Berdasarkan tujuan tersebut, maka perlu dibuat perancangan terhadap eksperimen yang akan dilakukan. Untuk itu perlu ditentukan faktor-faktor yang dapat dikendalikan maupun yang tidak dapat dikendalikan, serta menentukan level yang akan dipilih. Dalam menentukan faktor terkontrol, penulis melakukan *brainstorming* dengan responden dari beberapa seksi bagian seperti produksi, *marketing* dan *purchasing*. *Brainstorming* adalah bagian integral dalam metode Taguchi, karena *brainstorming* merupakan teknik yang paling ampuh dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh dalam sebuah percobaan.

Hal pertama yang dilakukan adalah menentukan terlebih dahulu faktor apa saja yang berpengaruh dalam internal perusahaan khususnya divisi OGE apabila melakukan investasi untuk pengadaan mesin produksi. Faktor *controllable* merupakan faktor dimana manajemen dapat secara langsung mengendalikan dan mendapat dampak langsung dari output. Faktor *controllable* merupakan faktor yang dapat disusun oleh manajemen untuk menghasilkan tingkatan-tingkatan tertentu dari performa sasaran metrik. Oleh karena itu, untuk menentukan faktor terkendali, harus difokuskan pada faktor yang mempengaruhi tingkah laku sistem dan hasil percobaan, yang mana dapat dilihat oleh para eksekutif perusahaan. Hal ini berarti faktor terkendali harus berada pada tingkat abstraksi yang konsisten untuk situasi keputusan dan sasaran yang diteliti. Dengan kata lain, untuk situasi keputusan yang spesifik, faktor terkendali harus memiliki skala tetap. Skala merupakan suatu parameter sistem yang menentukan tingkat detail yang dapat dilihat oleh pengamat. Dalam prosedur dibutuhkan 3 level spesifikasi faktor *controllable*.

- Level 1: Tingkat terendah yang dapat diterima dari performa manajerial

- Level 2: Kondisi operasional saat ini, diasumsikan tidak ada perubahan (disebut kondisi “Bisnis Seperti Biasa” /*Business as Usual* (BAU))
- Level 3: Tingkat tertinggi yang masih dapat dikendalikan oleh manajemen dan masih bisa dilakukan dengan usaha yang sangat kuat, tetapi tidak menutup kemungkinan untuk dilakukan.

Faktor *uncontrollable* merupakan faktor yang tidak dapat dikendalikan oleh manajemen atau sangat memakan biaya tinggi untuk mengendalikan faktor dalam efek tidak terkendali, dan memiliki pengaruh langsung dan kuat terhadap hasil sasaran keputusan. Untuk faktor *uncontrollable* dibutuhkan 3 level kondisi lingkungan bisnis perusahaan yaitu:

- Level 1: Kondisi terburuk (*worst*) yang tidak terkendali, tetapi memungkinkan untuk terjadi.
- Level 2: Kondisi/Situasi (*current*) saat ini atau dinyatakan sebagai kondisi tetap.
- Level 3: Kondisi terbaik (*best*), tetapi realistis.

Nilai untuk setiap level pada faktor *controllable* dan *uncontrollable* disesuaikan dengan kondisi perusahaan yang telah berjalan, dan diperoleh dari hasil wawancara. Begitu pula standar persentase yang digunakan pada level 1 dan 3, didapatkan dari hasil wawancara kepada pihak perusahaan.

Untuk situasi bisnis Divisi OGE saat ini, ditetapkan dengan konfigurasi spesifik faktor *controllable* (2, 2, 2, 2), yang berarti dana pengembangan (*development budget*) pada level 2, harga pokok penjualan (*COGS*) pada level 2, utilisasi kapasitas (*capacity utilization*) pada level 2, dan subkontraktor (*subcontractor*) pada level 2. Sedangkan untuk faktor *uncontrollable* untuk situasi bisnis saat ini pada Divisi OGE yang mempengaruhi hasil dari investasi pada mesin produksi yaitu permintaan yang berubah (*demand based change*), perubahan tenaga kerja dengan kemampuan yang penting (*change in critical skill*), dan kerusakan mesin (*breakdown*), dengan konfigurasi spesifik untuk faktor *uncontrollable* adalah (2, 2, 2) yang berarti permintaan yang berubah (*demand base change*) pada level 2, perubahan tenaga kerja dengan kemampuan yang penting (*change in critical skill*) pada level 2, dan kerusakan mesin

(*breaksdown*) pada level 2. Setelah menentukan faktor-faktor yang akan digunakan, maka langkah selanjutnya yang akan dilakukan sesuai dengan tahapan dalam metode Taguchi adalah memilih desain *orthogonal array* (OA).

Tabel 3.3 Situasi Bisnis Perusahaan

Faktor Controllable	Level	Nilai	Faktor Uncontrollable	Level	Nilai
<i>Development Budget</i>	2	Rp 5 M	<i>Demand based change</i>	2	Tak ada perubahan
<i>COGS</i>	2	Rp. 15M	<i>Change in critical skill</i>	2	Tak ada perubahan
<i>Capacity Utilization</i>	2	60% <i>Utilization</i>	<i>Breaksdown</i>	2	Terjadi saat BEP tercapai, masa pakai berakhir tepat waktu
<i>Sub Contractor</i>	2	Tak ada Perubahan			

Pemilihan desain OA yang sesuai sangat menentukan keberhasilan sebuah eksperimen dan bergantung pada total derajat kebebasan (*degree of freedom*) untuk mempelajari efek faktor-faktor yang digunakan, tujuan eksperimen, sumber daya dan anggaran 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).

Dengan susunan data L_9 , cukup untuk memberikan hasil dari perlakuan dari seluruh susunan perlakuan *full factorial*, dengan jumlah $3^4 = 81$ perlakuan, dan untuk jumlah seluruh faktor tak terkendali, $81 \times 3 = 243$ kasus.

3.3 Persiapan dan Pengumpulan Data Eksperimen

Pada penelitian ini, menggunakan operator sebanyak 3 orang. Operator merupakan orang pihak perusahaan yang membuat prediksi yang mewakili dari setiap bagian, contohnya bagian marketing, produksi, dan lain-lain. Setiap operator akan membuat $12 \times 3 = 36$ prediksi (12 perlakuan dalam 3 lingkungan). Dan jumlah prediksi untuk seluruh operator adalah $36 \times 3 = 108$ prediksi. Untuk mempersiapkan operator-operator (responden) dalam mengerjakan seluruh susunan populasi data, pertama kali operator diminta untuk membuat prediksi

keuntungan perusahaan dari investasi mesin produksi pada perlakuan situasi BAU (*business as usual*) secara independen untuk 3 lingkungan yang tak terkendali yaitu tetap, terburuk, dan terbaik.

Operator diminta untuk saling tidak memperlihatkan hasil prediksi. Hal ini dimaksudkan untuk tidak menambah tekanan yang tidak diinginkan terhadap operator, yang dapat mengarah kepada pemusatan prediksi yang salah. Kemudian setiap operator mencatat tingkat kepercayaan mereka terhadap prediksi yang telah dibuat dengan membuat tanda silang di sepanjang garis tingkat kepercayaan diri.

Pada level 'biasa saja' dispesifikasikan dengan nilai 3, sedangkan 'percaya diri' bernilai 4. Dan level 'kurang percaya diri' memiliki nilai 2. Nilai maksimum dari tingkat kepercayaan diri adalah 5 pada level 'sangat percaya diri' dan nilai minimum 1 pada level 'Tidak percaya diri sama sekali'. Sedangkan untuk garis di antara setiap level, memiliki skala nilai dari 0,1 sampai 0,9.

Kemudian dilakukan kembali prediksi ulang pada perlakuan situasi BAU (*business as usual*) dan mencatat tingkat kepercayaan diri sekali lagi. Tujuan dari prosedur ini adalah untuk membangun pembelajaran organisasi yang mana terjadi pertukaran informasi antar anggota organisasi satu sama lainnya. Dengan adanya pembelajaran dari fase ini akan meningkatkan proses pengumpulan data selanjutnya.

Langkah berikutnya adalah pengisian prediksi profit atas perlakuan yang diberikan. Setiap operator membuat prediksi untuk seluruh perlakuan *orthogonal array* dalam 3 kondisi lingkungan yang berbeda, yaitu tetap, terburuk, dan terbaik. Kemudian setiap operator memberikan tingkat kepercayaan diri terhadap prediksi yang telah dibuat dengan menempatkan tanda silang pada ukuran tingkat kepercayaan diri, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Data yang telah didapatkan, dilakukan replikasi untuk kondisi BAU dan uji perlakuan (*test treatment*) pada waktu yang berbeda, hal ini dimaksudkan untuk menghindari pembuatan salinan prediksi dari hasil prediksi awal. Dan hasil prediksi akan berupa sejumlah angka dengan satuan miliar Rupiah.

BAB 4

PEMBAHASAN

Pada Bab ini akan dilakukan beberapa analisis terhadap hasil eksperimen yang telah dilakukan, antara lain *Analysis of Variance*, *Taguchi Analysis* dan *Gage R&R* dengan menggunakan program MINITAB.

4.1 Prediksi Untuk Kondisi Bisnis Perusahaan

Sebagai pengolahan data awal, dilakukan perhitungan terhadap rata-rata dan standar deviasi yang dihasilkan dalam prediksi terhadap kondisi bisnis perusahaan.

Prediksi ini merupakan estimasi profit yang bisa didapatkan oleh perusahaan, sebagai hasil dari susunan percobaan dalam kondisi lingkungan tetap, terburuk dan terbaik. Dari hasil percobaan, rata-rata prediksi dan standar deviasi setiap operator mengalami penurunan dari tahap 1 ke tahap 2. Hal ini menunjukkan penurunan bias dari prediksi BAU. Penurunan bias dari tahap 1 ke tahap 2 disebabkan adanya proses *counter argumentation*, yang dilakukan sebelum tahap 2 dimulai.

Pada proses ini, setiap operator menjelaskan kepada operator lain perihal alasan-alasan yang telah diberikan dalam membuat prediksi dan diharapkan terjadi pertukaran informasi mengenai alasan-alasan yang mempengaruhi hasil prediksi setiap operator. Dengan pertukaran informasi tersebut dapat membuat setiap operator memiliki sistem pengukuran pada level yang tidak jauh berbeda untuk menghasilkan prediksi terhadap kombinasi faktor dalam *orthogonal array* yang akan diujikan. Rangkuman alasan-alasan yang diberikan oleh operator dapat dilihat pada Tabel 4.2.

4.2 Tingkat Kepercayaan Diri (*Confidence Level*)

Prediksi sering dipengaruhi oleh tingkat kepercayaan diri seseorang. Oleh karena itu perlu dilakukan pengukuran rata-rata dan standar deviasi terhadap tingkat kepercayaan diri dari setiap operator. Hal ini dilakukan, agar kepercayaan diri yang berlebihan (*overconfidence*) dalam menghasilkan prediksi dapat

diketahui, dan dapat dihindari dengan adanya pertukaran informasi dari setiap operator. Dengan tingkat standar deviasi yang semakin kecil, diharapkan prediksi yang dihasilkan dari setiap operator lebih merata.

Pada Tabel 4.3, menunjukkan bahwa deviasi dari tingkat kepercayaan diri dari seluruh operator mengalami penurunan dari tahap 1 ke tahap 2, begitu pula terjadi penurunan bias dari tahap 2 ke tahap akhir.

4.3 Perhitungan Statistik ANOVA

Setelah melakukan pengolahan data awal terhadap prediksi BAU perusahaan dan tingkat kepercayaan diri operator, maka langkah selanjutnya adalah mengetahui besarnya pengaruh dari setiap variabel terkendali yang digunakan dalam menghasilkan prediksi. Untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap variabel terkendali terhadap proses, diperlukan sebuah analisa statistik yang kompeten dan sesuai. Salah satu analisa statistik yang mengakomodir tujuan tersebut dan sering digunakan dalam metode Taguchi adalah analisis varian (ANOVA). Dengan ANOVA, besarnya efek tersebut dapat diketahui dengan membandingkan nilai *sum of square* dari suatu variabel terkendali terhadap seluruh variabel terkendali yang digunakan. 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 variabel terkendali pada semua pengukuran respon. Analisis varian yang digunakan pada desain parameter berguna untuk membantu mengidentifikasi kontribusi variabel terkendali dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Tabel ANOVA terdiri dari perhitungan derajat bebas (db), jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat, dan F-rasio serta *p-value*.

Dari Tabel 4.4, COGS merupakan variabel terkendali yang dominan pada setiap kondisi lingkungan. Hal tersebut dikarenakan, sebagian besar dari pemasukan perusahaan digunakan untuk menghasilkan produk, sehingga membuat faktor *COGS* memiliki pengaruh yang paling dominan dibandingkan faktor lain. Pada kondisi lingkungan terbaik, *development budget* dan *capacity utilization* memiliki *p-value* lebih dari 0,6.

Hal ini bisa menjadi sebuah indikasi terhadap kesulitan yang dialami oleh operator dalam menghasilkan prediksi pada kondisi lingkungan terbaik. Dikarenakan, kondisi lingkungan Terbaik bukanlah suatu masalah yang berarti bagi perusahaan, sehingga kondisi lingkungan Terburuk dan Tetap, yang lebih mendominasi pemikiran mereka.

Hal ini juga dapat ditunjukkan perhitungan ANOVA untuk setiap kondisi lingkungan, dimana nilai regresi kuadrat pada kondisi lingkungan terbaik sangat rendah. Nilai R kuadrat mengindikasikan kesesuaian desain parameter terhadap data yang dihasilkan. Untuk meningkatkan nilai R kuadrat, maka diputuskan untuk melakukan perhitungan ANOVA tanpa melibatkan prediksi yang dihasilkan oleh operator 2.

Salah satu hal yang dapat menyebabkan operator 2 memberikan bias yang cukup besar terhadap prediksi adalah sistem pengukuran dalam menghasilkan prediksi, berbeda cukup jauh. Selain itu dapat disebabkan oleh pengalaman dari operator itu sendiri selama bekerja untuk perusahaan.

Dengan perhitungan ANOVA tanpa operator 2, faktor *COGS* dan *subcontractor* menjadi faktor terkendali yang memiliki pengaruh signifikan. Hal ini cukup membuktikan bahwa hasil prediksi yang dihasilkan operator 2 cukup memberikan bias yang cukup besar pada hasil perhitungan. Rangkuman dari perhitungan statistik ANOVA untuk 3 kondisi lingkungan yaitu tetap, terburuk, dan terbaik ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa dengan membandingkan nilai *p-value* masing-masing faktor dan interaksi dengan nilai kurang dari 0,05, dapat diketahui apakah interaksi faktor memberikan pengaruh yang signifikan terhadap prediksi yang dihasilkan oleh operator. Jika nilai *p-value* dari interaksi faktor tersebut lebih dari 0,05 maka dapat disimpulkan bahwa interaksi faktor tidak membawa pengaruh yang signifikan terhadap variabel respon (dalam hal ini adalah prediksi).

Dari ketiga kondisi lingkungan yang diujicobakan, hanya lingkungan tetap dan terbaik yang memiliki 2 faktor dengan pengaruh signifikan yaitu faktor *COGS* dan *subcontractor*. Untuk kondisi lingkungan tetap, *COGS* memiliki *p-value* 0.001, dan *subcontractor* dengan *p-value* 0,036.

Sedangkan untuk kondisi lingkungan terbaik, faktor COGS memiliki *p-value* 0,001 dan faktor *subcontractor* dengan *p-value* 0,015. Pada kondisi lingkungan terburuk tidak dilakukan perhitungan untuk interaksi antar faktor, karena faktor yang memiliki pengaruh signifikan hanya faktor COGS dengan *p-value* 0 (nol).

Karena untuk mengetahui interaksi faktor dibutuhkan 2 atau lebih faktor dengan *p-value* kurang dari 0,05 ($p < 0,05$) yang memiliki pengaruh signifikan terhadap prediksi. Perhitungan interaksi faktor menggunakan ANOVA untuk kondisi lingkungan tetap dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan 4.5, walaupun faktor COGS dan *subcontractor* pada kondisi lingkungan tetap ataupun lingkungan terbaik memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap prediksi, tetapi antar kedua faktor tidak menghasilkan interaksi yang dapat mempengaruhi prediksi, baik pada kondisi lingkungan tetap maupun terbaik. Dengan kata lain, faktor COGS dan *subcontractor* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap prediksi yang dihasilkan, dan apabila faktor COGS dan *subcontractor* terjadi interaksi, hal ini tidak akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap prediksi.

Pada Tabel 4.6, dapat menunjukkan rangkuman dari perhitungan interaksi faktor COGS dan *subcontractor* pada kondisi lingkungan tetap dan terbaik.

Dari Tabel 4.6, dapat dilihat hasil interaksi faktor baik pada kondisi lingkungan tetap maupun kondisi lingkungan terbaik, tidak memberikan pengaruh signifikan, karena *p-value* yang dihasilkan interaksi faktor COGS dan *subcontractor* pada kondisi lingkungan tetap dan terbaik melebihi 0,05. Interaksi faktor dalam kondisi lingkungan tetap dan terbaik masing-masing menghasilkan *p-value* 0.17 dan 0.4, maka dapat disimpulkan bahwa interaksi faktor COGS dan *subcontractor* tidak memberikan pengaruh secara signifikan.

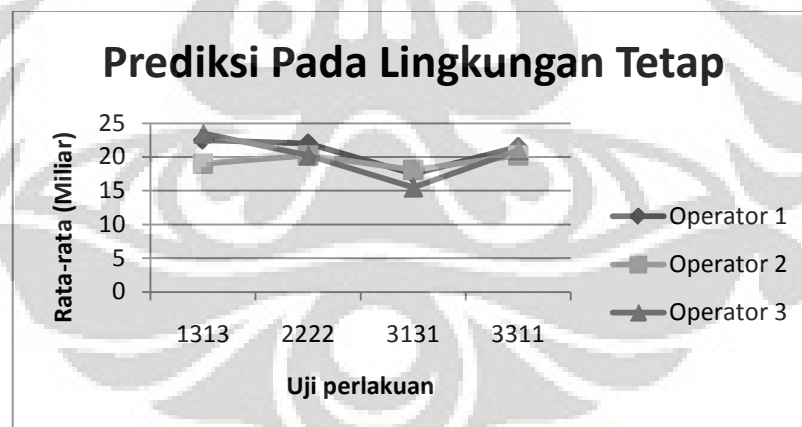
4.4 Perhitungan Gage Reproducibility & Repeatability (Gage R&R)

Dari data prediksi yang telah didapat, perlu dilakukan pengujian terhadap konsistensi dari operator dalam menghasilkan prediksi, untuk mengetahui kualitas data prediksi yang dihasilkan dari konsistensi operator dengan adanya pengaruh oleh sistem pengukuran. Sehingga, dapat ditentukan apakah data yang dihasilkan

sudah cukup baik atau belum. Analisis sistem pengukuran yang dipakai dalam penelitian adalah *Gage R&R*, yang merupakan cara untuk menganalisis sumber variasi dalam sistem pengukuran.

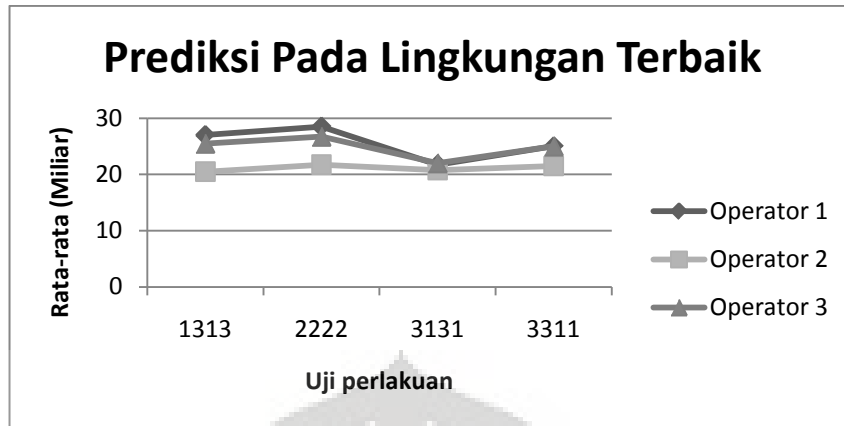
Dalam percobaan ini, sistem pengukuran melibatkan pengetahuan, kumpulan data, prosedur formal dan informal, serta jaringan kontak dari operator. Untuk menganalisis sumber variasi, dilakukan terhadap data prediksi untuk uji perlakuan yang terdapat pada Tabel 4.7, sedangkan untuk replikasi prediksi uji perlakuan terdapat pada Tabel 4.8. Replikasi uji perlakuan dilakukan pada waktu yang berbeda, hal ini untuk menghindari salinan data prediksi awal.

Dalam percobaan, *repeatability* merupakan variasi dalam prediksi yang dihasilkan oleh satu operator terhadap pemberian uji perlakuan yang sama secara berulang. Sedangkan *reproducibility* merupakan variasi dalam prediksi yang dihasilkan oleh operator yang berbeda terhadap pemberian uji perlakuan yang sama. Untuk repeatabilitas pada setiap kondisi lingkungan, menunjukkan bahwa selisih antara prediksi pada uji perlakuan dan replikasi uji perlakuan dari setiap operator, tidak terlalu jauh. Sedangkan pada *reproducibility* pada lingkungan tetap, terlihat terjadinya bias yang dihasilkan oleh operator 2 (Gambar 4.6).



Gambar 4.6 Grafik *Reproducibility* Prediksi Pada Lingkungan Tetap

Hal ini dapat semakin terlihat pada grafik *reproducibility* untuk lingkungan terbaik, dimana operator 2 memberikan bias negatif. Karena rata-rata prediksi yang dihasilkan oleh operator 2 lebih kecil dibandingkan rata-rata prediksi operator yang lain.



Gambar 4.7 Grafik *Reproducibility* Prediksi Pada Lingkungan Terbaik

Dengan bias yang dihasilkan oleh operator 2 terlalu besar, maka dalam perhitungan statistik gage R&R, operator 2 tidak diikutsertakan. Hasil perhitungan dan grafik statistik gage R&R tanpa operator 2 dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan 4.9.

Dari Gambar 4.9, dapat dilihat masing-masing kontribusi sumber variasi terhadap total variasi. Kontribusi *repeatability* terhadap total variasi sebesar 8.13%, untuk *reproducibility* memberikan kontribusi terhadap total variasi sebesar 7.95%, sedangkan dari variasi *part-part* (dalam kasus ini ‘perlakuan-perlakuan’) memberikan kontribusi sebesar 83.93%.

Informasi tersebut menunjukkan bahwa variasi terbesar disumbangkan oleh perbedaan ukuran antar perlakuan. Pada Gambar 4.8, *p-value* untuk interaksi variabel *treatment*operator* dapat menunjukkan adanya interaksi antara kedua variabel apabila *p-value* yang dihasilkan kurang dari 0.25. *P-value* yang dihasilkan oleh variabel *treatment*operator* adalah 0.117, sehingga kurang dari 0.25. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa terjadi interaksi antara kedua variabel tersebut.

4.5 Analisis Taguchi

Analisis Taguchi digunakan untuk menentukan faktor dengan hubungan signifikan terhadap data respon (prediksi) yang berupa tabel respon. Tabel respon menunjukkan rata-rata dari setiap karakteristik respon untuk setiap level dari faktor terkendali. Tabel respon dihasilkan dari susunan data menggunakan model

orthogonal array L₉. Tabel respon meliputi tingkat urutan (*rank*) berdasarkan pada delta, dengan membandingkan besarnya efek. Delta merupakan selisih antara rata-rata tertinggi dengan rata-rata terendah dari setiap faktor. Tingkat urutan disusun berdasarkan nilai delta, dimana urutan ke-1 untuk nilai delta tertinggi, urutan ke-2 untuk nilai delta tertinggi kedua, dan seterusnya.

Rata-rata level digunakan dalam tabel respon untuk menentukan setiap faktor yang memberikan hasil terbaik. Pada tabel respon untuk kondisi lingkungan tetap yang ditunjukkan dalam gambar 4.10, memperlihatkan bahwa faktor COGS berada pada urutan. Ini mengindikasikan faktor COGS mempunyai pengaruh yang besar untuk rata-rata prediksi dari setiap level, karena delta yang dihasilkan memiliki nilai tertinggi. Dan faktor *subcontractor* mempunyai pengaruh tertinggi berikutnya setelah COGS, diikuti oleh faktor *capacity utilization* dan *development budget*.

Walaupun faktor COGS memberikan pengaruh cukup besar pada rata-rata prediksi, standar deviasi yang dihasilkan juga paling tinggi dibandingkan faktor yang lain. Kontribusi standar deviasi terbesar dihasilkan pada level 3 untuk faktor COGS, yang menunjukkan distribusi masih tersebar dan operator mengalami kesulitan dalam menghasilkan prediksi pada level tersebut.

Sedangkan tabel respon untuk lingkungan terbaik (Gambar 4.11), menghasilkan urutan yang sama seperti yang dihasilkan pada kondisi lingkungan tetap dengan faktor COGS pada urutan pertama. Meskipun demikian, standar deviasi yang dihasilkan untuk faktor COGS lebih kecil dimana urutan standar deviasi untuk faktor tersebut ada pada urutan kedua.

Dalam kondisi lingkungan terburuk yang ditunjukkan dalam Gambar 4.12, menghasilkan tabel respon untuk rata-rata prediksi dengan faktor COGS sebagai urutan pertama yang memiliki pengaruh paling signifikan.

Dan faktor *capacity utilization* mempunyai pengaruh tertinggi berikutnya setelah COGS, diikuti oleh faktor *development budget* dan *subcontractor*. Dengan adanya faktor *capacity utilization* menempati urutan kedua, dapat mengindikasikan bahwa peningkatan utilisasi perusahaan lebih penting pada kondisi lingkungan yang buruk untuk menghasilkan profit yang lebih baik. Salah

satu cara untuk meningkatkan utilisasi perusahaan adalah dengan meningkatkan efisiensi dan efektivitas perusahaan baik dalam proses produksi maupun di luar proses produksi.

4.6 Pembuatan Alternatif

Pembuatan alternatif pada percobaan ini dilakukan untuk lingkungan tetap, karena kondisi tersebut lebih mendekati kondisi perusahaan saat ini. Berdasarkan hasil perhitungan ANOVA dan analisis Taguchi, maka dibentuk rekomendasi alternatif untuk meningkatkan rata-rata hasil prediksi dan dapat mempersempit distribusi. Dalam membuat rekomendasi, mempertimbangkan setiap faktor terkendali susunan urutan setiap faktor pada tabel respon, dan besarnya pengaruh setiap faktor yang dihasilkan pada perhitungan ANOVA. Susunan rekomendasi alternatif dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Rekomendasi Alternatif

Faktor	Profit		BAU	Rekomendasi <i>setting</i>
	Urutan	Level maksimal		
Development Budget	4	2	2	2
COGS	1	3	2	3
Capacity utilization	3	2	2	2
Subcontractor	2	3	2	3

Faktor COGS merupakan faktor dengan urutan tertinggi yang mempunyai pengaruh besar terhadap prediksi profit, maka faktor COGS dalam rekomendasi disusun pada level 3. Meskipun dalam mengubah faktor COGS dari level 2 ke level 3 akan membutuhkan usaha yang cukup besar dengan adanya rintangan. Untuk faktor *subcontractor*, dalam rekomendasi *setting* juga disusun pada level 3 karena memiliki pengaruh tertinggi kedua terhadap prediksi dalam kondisi lingkungan tetap. Sedangkan untuk faktor *capacity utilization* dan *development budget*, dalam rekomendasi *setting* disusun pada level 2 karena kecilnya pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap profit dan menyebabkan faktor tersebut berada pada urutan terendah yaitu 3 dan 4.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa faktor COGS (*Cost of Goods Sold*) dan faktor *subcontractor* memiliki pengaruh yang signifikan pada prediksi terhadap profit perusahaan, khususnya dalam kondisi lingkungan tetap dan terbaik. Walaupun demikian, interaksi antara kedua faktor terbukti tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap prediksi. Untuk rekomendasi setting, faktor COGS dan *subcontractor* disusun pada level 3 karena besarnya pengaruh terhadap profit. Dan faktor *capacity utilization* dan *development budget* disusun pada level 2.

5.2 Saran

- Menambah banyaknya faktor terkendali yang akan diteliti. Semakin banyak faktor-faktor yang dapat dikendalikan untuk memberikan hasil yang optimal, maka akan semakin baik perbaikan kualitas yang akan dihasilkan.
- Jika memungkinkan, menambah jumlah faktor level yang digunakan agar hasil menjadi lebih akurat. Walaupun demikian, akan menambah kompleksitas hasil prediksi.

DAFTAR REFERENSI

- Anthony, Jiju. (1998). "Some key things industrial engineering should know about experimental design". *Logistic Information Management*. Vol. 11.
- Berger, Paul D., dan Robert E. Murer. (2002). *Experimental design with applications in management, Engineering, and the science*. New York: Thompson.
- Dean, Angela., and Daniel Voss. (1999). *Design and Analysis of Experiments*. New York: Springer-Verlag.
- Frayman, Mark A. (2002). *Quality and Process improvement*. New York: Delmar.
- Ha, Siew Mun. (2007). *Measurement Systems Analysis in Process Industrie*. ISixsigma. LLC.
- Hendrardi, Cornelius T. (2006). *Statistik Six Sigma Dengan Minitab*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Levin, Richard I., dan David S. Rubin. (1998). *Statistics for Management*. Seventh Edition. New Jersey: Prentice-Hall.
- Montgomery, Douglas C. (1999). *Experimental design for product and process design development*. *Journal of the Royal Statistical Society D*. Vol. 48 No.2: 131-139.
- Montgomery, Douglas C. (2005). *Design and Analysis of Experiments*. Sixth Edition. New York: John Wiley & Sons.
- Park, S.H. (1996). *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*. London: Chapman & Hall.
- Phadke, Madhav S. (1989). *Quality Engineering Using Robust Design*. New Jersey: Prentice Hall.
- Pinem, Sinuk Malem. (2001). *Mengambil Keputusan Dengan Teorema Bayes*. USU.

- Ross, Philip J. (1989). *Taguchi techniques for quality engineering*. US: 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.
- Smith, James E., and Detlof von Winterfeldt. (2004). *Decision Analysis in Management Science*. *Management Science*, 50(5) May: 561-574.
- Tang, Victor., and Warren P. Seering. (2007). *Using Design of Experiments (DOE) for Decision Analysis*. USA. Massachusetts Institute of Technology.
- Taguchi, G. (1986). *Introduction to Quality Engineering*. Tokyo: Asian Productivity Organization.
- Taguchi, G., et al. (1999). *Robust Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Venkatachalam, Siva., and Jay Raja. (2003). *An Internet Based Gage R&R and Uncertainty Analysis System*. Kroasia: XVII IMEKO World Congres.
- Wysk, R. A., B. W. Niebel, P. H. Cohen, and T. W. Simpson. (2000). *Manufacturing Processes: Integrated Product and Process Design*. New York: McGraw Hill.