

**PERANCANGAN EKSPERIMEN TAGUCHI DALAM
MENENTUKAN PENYETELAN YANG OPTIMAL PADA
PROSES PENGEMASAN UNTUK MENGURANGI VARIASI
BERAT ISI KEMASAN GULA PASIR DAN *CREAMER***

SKRIPSI

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

**MONA ARIESTA
0606029643**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Mona Ariesta

NPM : 0606029643

Tanda Tangan :

Tanggal : 29 Juni 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Mona Ariesta
NPM : 0606029643
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Perancangan Eksperimen Taguchi dalam Menentukan Penyetelan yang Optimal pada Proses Pengemasan untuk Mengurangi Variasi Berat Isi Kemasan Gula Pasir dan *Creamer*

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 : Prof. Dr. Ir. T. Yuri M. Zagloel, M.Eng.Sc ()

Penguji : Ir. Sri Bintang Pamungkas, MSISE, PhD ()

Penguji : Ir. Rahmat Nurcahyo, M. Eng. Sc ()

Penguji : Ir. Dendi P. Ishak, MSIE ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, 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. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Teuku Yuri MZ., M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing skripsi yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Seluruh dosen Teknik Industri UI yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
3. Bapak Irwan Soejanto selaku penulis buku “Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi” yang telah memberikan bantuan dan informasi kepada penulis mengenai metode analisis dalam skripsi ini.
4. Bapak Inglesjz, Bapak Budi, Bapak Sahria, Ibu Susilawati, Mas Tubagus, dan Mbak Yetti atas semua bantuan, informasi, dan bimbingannya selama berada di perusahaan.
5. Papa, Mama, Miko dan Iim yang telah memberikan perhatian dan dukungan moril yang sangat berarti bagi penulis.
6. Arif Amrizal atas segala bantuan dan dukungan yang selalu diberikan kepada penulis.
7. Rekan-rekan bimbingan penulis; Nuning, Ema, Ahmad, Shinta, Debbie dan Fikri yang telah memberikan dukungan, semangat, dan masukan kepada penulis.
8. Pak Mursyid, Ibu Har, Mbak Ana, Mbak Willy, Mas Latief, dan Mas Iwan atas bantuan dan kerjasamanya.
9. Seluruh teman-teman TI 2006 atas dukungan dan kebersamaan yang telah diberikan dari awal masa perkuliahan sampai selesainya skripsi ini.

10. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dari awal sampai selesainya penulisan skripsi ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2010

Penulis



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

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

Nama : Mona Ariesta
NPM : 0606029643
Program Studi : Teknik Industri
Departemen : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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:

Perancangan Eksperimen Taguchi dalam Menentukan Penyetelan yang Optimal pada Proses Pengemasan untuk Mengurangi Variasi Berat Isi Kemasan Gula Pasir dan Creamer

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, 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 : 29 Juni 2010

Yang menyatakan

(Mona Ariesta)

ABSTRAK

Nama : Mona Ariesta
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Perancangan Eksperimen Taguchi dalam Menentukan Penyetelan yang Optimal pada Proses Pengemasan untuk Mengurangi Variasi Berat Isi Kemasan Gula Pasir dan *Creamer*

Kualitas produk merupakan hal yang penting dan harus diperhatikan untuk mencapai kepuasan konsumen. Variasi dalam kualitas produk dapat menimbulkan berbagai kerugian tertentu baik untuk perusahaan yang memproduksi maupun konsumen yang menggunakan produk. Besarnya variasi berat isi kemasan gula pasir dan *creamer* dapat meningkatkan biaya produksi dan menimbulkan keluhan konsumen. Untuk mengurangi variasi tersebut, perlu dilakukan eksperimen menggunakan metode Taguchi. Dari eksperimen yang dilakukan, didapatkan faktor-faktor kontrol yang berpengaruh terhadap berat isi gula pasir dan *creamer* serta kombinasi level yang optimal untuk masing-masing faktor. Dengan menggunakan kombinasi optimal tersebut, proses pengemasan gula pasir dan *creamer* menjadi tidak sensitif terhadap berbagai faktor penyebab variasi sehingga variasi kualitasnya dapat dikurangi.

Kata Kunci:
Variasi Kualitas, Metode Taguchi, Proses Pengemasan

ABSTRACT

Name : Mona Ariesta
Study Program: Industrial Engineering
Title : Taguchi Design of Experiments in Determining the Optimal
Setting of the Packaging Process to Reduce the Content Weight
Variation of Sugar and Creamer

Product quality is the important thing that must be considered to achieve customer satisfaction. Variation in product quality can cause a variety of certain losses both for the company that produces and consumers who use the products. The amount of content weight variation of sugar and creamer can increase production costs or customer complaints. To reduce these variations, we need to do the experiment using the Taguchi method. From the experiments which are conducted, we can find control factors that influence the content weight of sugar and creamer and optimal combination of levels for each factor. By using this optimal combination, the packaging process of sugar and creamer become insensitive to the various factors causing variation so that quality variations can be reduced.

Key words:
Quality Variation, Taguchi Method, Packaging Process

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah	4
1.3 Perumusan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	6
1.6 Metodologi Penelitian.....	6
1.7 Sistematika Penulisan	11
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	13
2.1 Kualitas	13
2.1.1 Definisi Kualitas.....	13
2.1.2 Rekayasa Kualitas	15
2.2 Desain Eksperimen	16
2.3 Pendekatan Taguchi dalam Peningkatan Kualitas.....	18
2.3.1 Filosofi Taguchi	19
2.3.2 Konsep <i>Loss Function</i>	22
2.3.3 Tahapan dalam Desain Eksperimen Taguchi	28
2.3.4 <i>Orthogonal Array</i>	33
2.3.5 <i>S/N Ratio</i>	37
2.3.6 <i>Analysis of Variance (ANOVA)</i>	40
2.4 <i>Artificial Neural Network</i>	43
2.4.1 Sejarah <i>Artificial Neural Network</i>	43
2.4.2 Pengertian <i>Artificial Neural Network</i>	44
2.4.3 Komparasi Antara Jaringan Saraf Biologis dengan Jaringan Saraf Tiruan	44
2.4.4 Konsep Dasar <i>Artificial Neural Network</i>	47
2.4.5 Fungsi Aktivasi <i>Neural Network</i>	48
2.4.6 Arsitektur <i>Neural Network</i>	50
BAB 3 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	53
3.1 Gambaran Umum Proses Pengemasan	53
3.1.1 Proses Pengemasan Gula pasir dan <i>Creamer</i>	54
3.2 Desain Eksperimen Taguchi	56
3.2.1 Penentuan Variabel Tak Bebas (Respon Kualitas)	56
3.2.2 Penentuan Variabel Bebas (Faktor)	57
3.2.3 Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan.....	59

3.2.4 Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor	59
3.2.5 Pemilihan <i>Orthogonal Array</i>	60
3.3 Pengumpulan Data Aktual.....	62
3.4 Pengolahan Data.....	63
3.4.1 Proses Pembelajaran <i>ANN</i>	64
3.4.2 Pelaksanaan Eksperimen dengan Model Tiruan <i>ANN</i>	69
3.4.3 Perhitungan <i>S/N Ratio</i> Hasil Eksperimen	71
BAB 4 ANALISIS.....	73
4.1 Analisis Hasil Eksperimen Gula pasir.....	73
4.1.1 Pengaruh Faktor Terhadap Rata-Rata Berat Isi Gula pasir dalam Kemasan.....	73
4.1.2 Pengaruh Faktor Terhadap Variabilitas Berat Isi Gula pasir dalam Kemasan.....	78
4.1.3 Kombinasi Level Faktor yang Optimal Untuk Proses Pengemasan Gula pasir	84
4.1.4 Prediksi Rata-Rata Berat Gula pasir pada Kondisi Optimal	85
4.2 Analisis Hasil Eksperimen <i>Creamer</i>	86
4.2.1 Pengaruh Faktor Terhadap Rata-Rata Berat Isi <i>Creamer</i> dalam Kemasan.....	86
4.2.2 Pengaruh Faktor Terhadap Variabilitas Berat Isi <i>Creamer</i> dalam Kemasan.....	90
4.2.3 Kombinasi Level Faktor yang Optimal Untuk Proses Pengemasan <i>Creamer</i>	94
4.2.4 Prediksi Rata-Rata Berat <i>Creamer</i> pada Kondisi Optimal.....	95
4.3 Eksperimen Konfirmasi.....	95
4.3.1 Eksperimen Konfirmasi untuk Proses Pengemasan Gula pasir pada Mesin Sanko.....	96
4.3.2 Eksperimen Konfirmasi untuk Proses Pengemasan <i>Creamer</i> pada Mesin Chin Fong.....	98
BAB 5 KESIMPULAN	101
5.1 Kesimpulan.....	101
5.2 Saran	102
DAFTAR REFERENSI	103

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perumusan <i>Loss Function</i> untuk Setiap Karakteristik Kualitas	27
Tabel 2.2	Contoh <i>Orthogonal Array</i> $L_8(2^7)$	34
Tabel 2.3	<i>Orthogonal Array</i> dengan Interaksi	37
Tabel 2.4	Tabel <i>Two Way ANOVA</i>	43
Tabel 2.5	Keanalogian Jaringan Saraf Tiruan dan Jaringan Saraf Biologis.....	46
Tabel 3.1	Faktor Kontrol Proses Pengemasan Gula pasir Beserta Levelnya	60
Tabel 3.2	Faktor Kontrol Proses Pengemasan <i>Creamer</i> Beserta Levelnya.....	60
Tabel 3.3	Faktor Gangguan Beserta Levelnya	60
Tabel 3.4	<i>Orthogonal Array</i> $L_9(3^4)$	62
Tabel 3.5	Variabel Model Tiruan <i>ANN</i>	65
Tabel 3.6	Parameter Model Tiruan <i>ANN</i> dengan <i>Error</i> Terendah	67
Tabel 3.7	Data Prediksi <i>Error ANN</i> Proses Pengemasan Gula pasir	68
Tabel 3.8	Data Prediksi <i>Error ANN</i> Proses Pengemasan <i>Creamer</i>	69
Tabel 3.9	Hasil Eksperimen Proses Pengemasan Gula pasir	70
Tabel 3.10	Hasil Eksperimen Proses Pengemasan <i>Creamer</i>	71
Tabel 3.11	Perhitungan <i>S/N Ratio</i> Hasil Eksperimen Gula pasir	72
Tabel 3.12	Perhitungan <i>S/N Ratio</i> Hasil Eksperimen <i>Creame</i>	72
Tabel 4.1	<i>Main Effect Analysis</i> dari Rata-rata Hasil Eksperimen Gula pasir.....	74
Tabel 4.2	<i>Analysis of Variance</i> dari Rata-rata Hasil Eksperimen Gula pasir.....	75
Tabel 4.3	Level Faktor Kontrol yang Optimal Berdasarkan Rata-rata Hasil Eksperimen Gula pasir	78
Tabel 4.4	<i>S/N Ratio</i> Hasil Eksperimen Gula pasir	78
Tabel 4.5	<i>Main Effect Analysis</i> dari <i>S/N Ratio</i> Hasil Eksperimen Gula pasir	79
Tabel 4.6	<i>Analysis of Variance</i> dari <i>S/N Ratio</i> Hasil Eksperimen Gula pasir	80
Tabel 4.7	<i>ANOVA</i> Penggabungan (<i>Pooling Up</i>) Hasil Eksperimen Gula pasir .	81
Tabel 4.8	Level Faktor Kontrol yang Optimal Berdasarkan <i>S/N Ratio</i> Hasil Eksperimen Gula pasir	83
Tabel 4.9	Usulan Rancangan Penyetelan yang Optimal untuk Proses Pengemasan Gula pasir	84
Tabel 4.10	<i>Main Effect Analysis</i> dari Rata-rata Hasil Eksperimen <i>Creamer</i>	87
Tabel 4.11	<i>Analysis of Variance</i> dari Rata-rata Hasil Eksperimen <i>Creamer</i>	88
Tabel 4.12	Level Faktor Kontrol yang Optimal Berdasarkan Rata-rata Hasil Eksperimen <i>Creamer</i>	90
Tabel 4.13	<i>S/N Ratio</i> Hasil Eksperimen <i>Creamer</i>	90
Tabel 4.14	<i>Main Effect Analysis</i> dari <i>S/N Ratio</i> Hasil Eksperimen <i>Creamer</i>	91
Tabel 4.15	<i>Analysis of Variance</i> dari <i>S/N Ratio</i> Hasil Eksperimen <i>Creamer</i>	91
Tabel 4.16	<i>ANOVA</i> Penggabungan (<i>Pooling Up</i>) Hasil Eksperimen <i>Creamer</i>	92
Tabel 4.17	Level Faktor Kontrol yang Optimal Berdasarkan <i>S/N Ratio</i> Hasil Eksperimen <i>Creamer</i>	94
Tabel 4.18	Usulan Rancangan Penyetelan yang Optimal untuk Proses Pengemasan <i>Creamer</i>	95
Tabel 4.19	Hasil Eksperimen Konfirmasi Gula pasir.....	96
Tabel 4.20	Perbandingan Kondisi Proses Pengemasan Gula pasir Sebelum dan Setelah Eksperimen	97
Tabel 4.21	Hasil Eksperimen Konfirmasi <i>Creamer</i>	99

Tabel 4.22 Perbandingan Kondisi Proses Pengemasan *Creamer* Sebelum dan
Sesudah Eksperimen 99



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram Keterkaitan Masalah Proses Pengemasan Gula pasir dan <i>Creamer</i>	5
Gambar 1.2	Diagram Alir Metodologi Penelitian I.....	9
Gambar 1.3	Diagram Alir Metodologi Penelitian II.....	10
Gambar 1.4	Diagram Alir Metodologi Penelitian III	11
Gambar 2.1	Perbandingan Taguchi dan <i>Conventional Loss Function</i>	23
Gambar 2.2	<i>Taguchi Quality Loss Function</i>	25
Gambar 2.3	Kelompok <i>Loss Function</i>	26
Gambar 2.4	Tiga Kategori Karakteristik Kualitas.....	27
Gambar 2.5	Notasi <i>Orthogonal Array</i>	34
Gambar 2.6	Interaksi di antara 2 faktor.....	36
Gambar 2.7	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Respon Eksperimen.....	37
Gambar 2.8	Sel Saraf Biologis	45
Gambar 2.9	Neuron dalam <i>Artificial Neural Network</i>	47
Gambar 2.10	<i>Layout</i> Umum dari Sebuah <i>Feedforward Neural Network</i>	47
Gambar 2.11	<i>S-shaped Curve</i> Fungsi Aktivasi <i>Neural Network</i>	49
Gambar 2.12	Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan	51
Gambar 2.13	<i>Feed-forward Neural Network</i>	51
Gambar 2.14	<i>Recurrent/ Feedback Neural Network</i>	52
Gambar 3.1	Mesin Pengemasan	54
Gambar 3.2	<i>Flowchart</i> Proses Pengemasan	55
Gambar 3.3	Parameter Model Tiruan <i>ANN</i>	66
Gambar 3.4	Grafik Perubahan <i>Error</i> pada <i>Training Proses ANN</i> Gula pasir ...	68
Gambar 3.5	Grafik Perubahan <i>Error</i> pada <i>Validation Proses ANN</i> Gula pasir	68
Gambar 3.6	Grafik Perubahan <i>Error</i> pada <i>Training Proses ANN Creamer</i>	69
Gambar 3.7	Grafik Perubahan <i>Error</i> pada <i>Validation Proses ANN Creamer</i> ..	69
Gambar 3.8	Tampilan <i>Sheet Calc</i> pada <i>NNpred Software</i>	70
Gambar 4.1	<i>Main Effect Plot</i> Untuk Rata-rata Hasil Eksperimen Gula pasir ...	77
Gambar 4.2	<i>Main Effect Plot</i> Untuk <i>S/N Ratio</i> Hasil Eksperimen Gula pasir ..	83
Gambar 4.3	<i>Main Effect Plot</i> Untuk Rata-rata Hasil Eksperimen <i>Creamer</i>	89
Gambar 4.4	<i>Main Effect Plot</i> Untuk <i>S/N Ratio</i> Hasil Eksperimen <i>Creamer</i>	93

BAB 1

PENDAHULUAN

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

1.1 Latar Belakang

Kualitas produk merupakan hal yang penting dan harus diperhatikan oleh sebuah perusahaan. Suatu produk dikatakan berkualitas jika dapat memenuhi apa yang diinginkan konsumen sehingga menimbulkan kepuasan konsumen. Seperti yang diungkapkan oleh Juran (1964), pelanggan menentukan kualitas dari sebuah produk, produk atau jasa yang dapat memuaskan pelanggan dengan sangat baik merupakan produk yang berkualitas tinggi. Untuk sebagian besar produk, konsumen menetapkan berbagai karakteristik kualitas tertentu untuk mengukur kualitas produk tersebut. Konsumen akan merasa puas jika produk-produk yang dihasilkan oleh suatu perusahaan dapat memenuhi karakteristik kualitas yang mereka inginkan.

Setiap perusahaan selalu berusaha untuk menghasilkan produk yang berkualitas. Berbagai upaya pengendalian kualitas dilakukan untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan benar-benar sesuai dengan standar kualitas yang ada, salah satunya adalah melakukan inspeksi terhadap produk jadi yang dihasilkan. Kegiatan inspeksi ini merupakan salah satu bentuk usaha rekayasa kualitas secara *on-line*. Menurut Taguchi (1978), rekayasa kualitas dapat diartikan sebagai proses pengukuran yang dilakukan selama perancangan produk atau proses. Rekayasa kualitas mencakup seluruh aktivitas pengendalian kualitas dalam setiap fase dari penelitian dan pengembangan produk, perancangan proses produksi, dan kepuasan konsumen. Taguchi membedakan rekayasa kualitas menjadi dua macam yaitu rekayasa kualitas secara *off-line* dan *on-line*. Rekayasa kualitas secara *off-line* meliputi perancangan eksperimen untuk mengidentifikasi sumber dari variasi dan menentukan perancangan dan proses yang optimal. Sedangkan rekayasa kualitas secara *on-line* merupakan suatu aktivitas untuk

mengamati dan mengendalikan kualitas pada setiap proses produksi secara langsung. Usaha-usaha yang tercakup dalam rekayasa kualitas secara *on-line* adalah pengdiagnosaan dan penyesuaian proses, pengontrolan proses, dan inspeksi hasil proses. Usaha-usaha ini adalah pengendalian kualitas yang berlangsung saat proses produksi sedang berjalan.

Pada kegiatan inspeksi, tidak jarang ditemukan produk-produk cacat karena tidak sesuai dengan karakteristik atau standar kualitas yang telah ditetapkan sebelumnya. Sebagian besar produk cacat disebabkan oleh kesalahan di dalam proses produksinya. Proses produksi yang mudah terpengaruh oleh faktor-faktor gangguan yang ada berpotensi untuk menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan batas spesifikasi yang ditentukan. Kualitas produk yang dihasilkan pun bervariasi. Meskipun masih berada dalam batas spesifikasi yang ditetapkan, nilai kualitasnya bervariasi. Ada yang sangat dekat dengan target nilai, tetapi ada juga yang jauh sehingga dapat mengurangi kepuasan konsumen dalam memilih produk tersebut. Semakin besar variasi nilai kualitas yang dihasilkan, semakin kecil kemungkinan konsumen untuk mendapatkan produk yang benar-benar berkualitas baik. Hal ini dapat memicu keluhan dari konsumen karena ketidakpuasan yang mereka rasakan. Bahkan tidak jarang konsumen yang berpindah ke perusahaan atau produsen lain karena produk yang mereka dapat tidak memenuhi karakteristik kualitas yang diinginkan sehingga dapat mengurangi pendapatan perusahaan.

Perusahaan yang bergerak di bidang pengemasan juga memiliki beberapa karakteristik kualitas tertentu yang harus dipenuhi untuk mendapatkan kepuasan konsumen. Salah satu proses dalam perusahaan pengemasan adalah mengemas produk-produk yang berasal dari perusahaan lain dengan menggunakan kemasan yang telah ditentukan. Hasil prosesnya adalah produk-produk yang sudah dikemas untuk dapat disalurkan kepada konsumen. Setiap kemasan yang digunakan memiliki standar berat isi tertentu yang biasanya ditetapkan oleh perusahaan yang menjadi konsumen. Ketepatan berat isi setiap kemasan merupakan salah satu karakteristik kualitas yang harus dipenuhi untuk dapat mencapai kepuasan konsumen yang nantinya berpengaruh terhadap keuntungan perusahaan.

Dalam penelitian ini, proses yang menjadi objek adalah pengemasan produk gula pasir dengan menggunakan kemasan berbahan dasar kertas dan pengemasan produk *creamer* dengan menggunakan kemasan berbahan dasar plastik. Produk-produk tersebut juga memiliki standar berat isi setiap kemasan. Untuk dapat memastikan bahwa berat gula pasir dan *creamer* di dalam setiap kemasan sesuai dengan standar atau batas spesifikasi yang ditetapkan, dilakukan pengendalian kualitas berupa inspeksi terhadap produk-produk jadi yang sudah dikemas. Dalam inspeksi tersebut tidak jarang ditemukan variasi dari berat gula pasir dan *creamer* dalam setiap kemasan yang dapat menyebabkan timbulnya masalah atau kerugian. Variasi tersebut dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu berada di luar batas spesifikasi dan masih berada di dalam batas spesifikasi tetapi tidak sesuai dengan target nilainya.

Jika berat gula pasir dan *creamer* dalam setiap kemasan berada di luar batas spesifikasi, maka produk tersebut dapat dianggap cacat (*defect*). Produk-produk yang cacat ini dapat diproses kembali yaitu dengan melepas kemasannya, kemudian dikemas kembali dengan menggunakan kemasan yang baru. Dengan adanya pengulangan proses tersebut, produktivitas menjadi turun karena adanya waktu yang terbuang untuk pengulangan kembali sehingga *output* yang dihasilkan berkurang. Kerugian lain yang ditimbulkan adalah kemasan produk ada yang terbuang karena harus dibuka kembali untuk mengulangi proses pengemasannya. Kerugian tersebut tentu saja berpengaruh terhadap keuntungan yang diperoleh perusahaan.

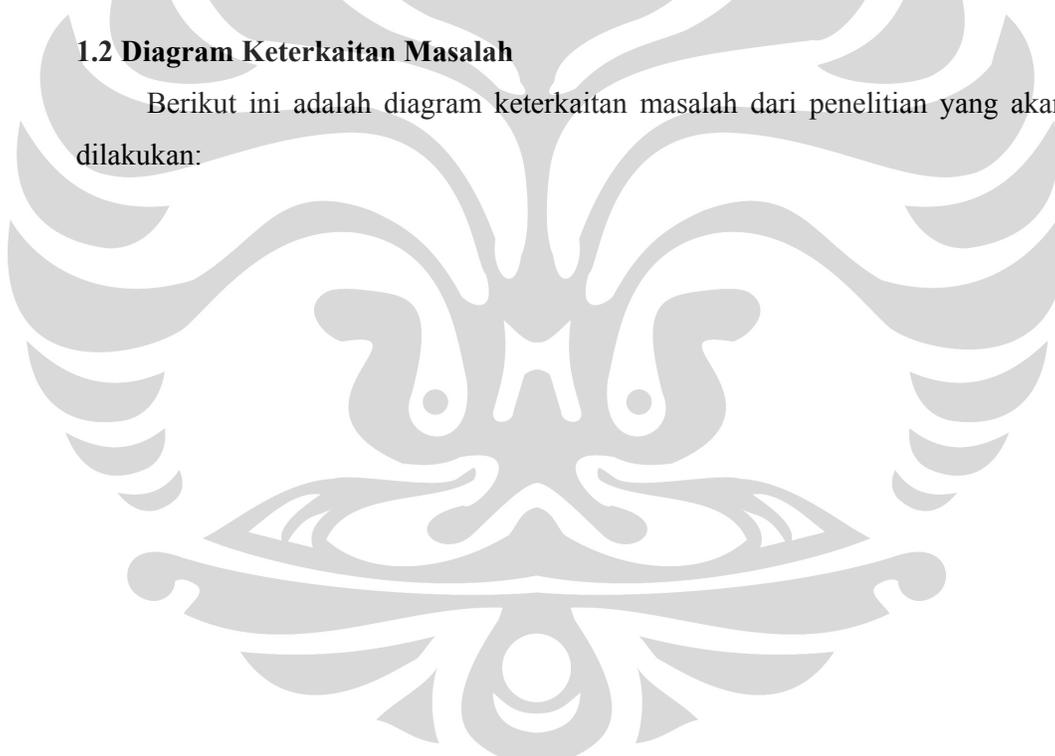
Variasi berat gula pasir dan *creamer* yang masih berada dalam batas spesifikasi juga dapat menimbulkan masalah. Dalam hal ini, ada dua kondisi yaitu nilai beratnya melebihi target atau kurang dari target. Jika beratnya melebihi target, perusahaan akan mengalami kerugian karena biaya produksi meningkat. Namun, jika beratnya kurang dari target, konsumen akan mengalami kerugian. Hal ini dapat menimbulkan keluhan dari konsumen yang menunjukkan ketidakpuasan mereka akan produk tersebut.

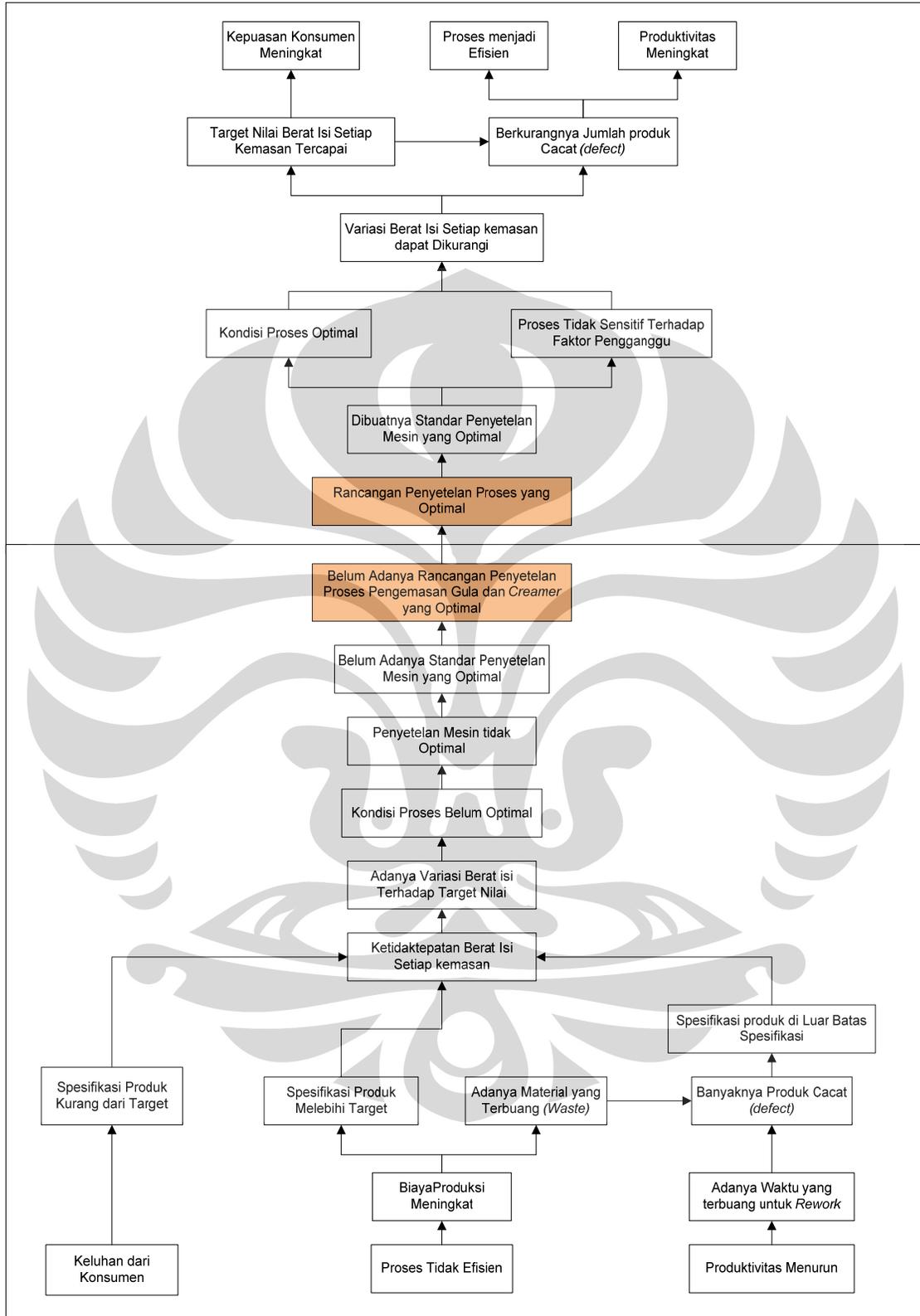
Variasi yang terjadi pada berat isi dalam setiap kemasan disebabkan karena tidak adanya penyetelan yang optimal dari proses yang dilakukan sehingga proses yang terjadi mudah terpengaruh oleh gangguan-gangguan yang ada. Tidak adanya

penyetelan yang optimal ini disebabkan karena belum adanya standar baku untuk proses pengemasan gula pasir dan *creamers* dengan mesin yang bersangkutan yang dapat dijadikan pedoman oleh operator. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk menentukan penyetelan yang optimal untuk proses pengemasan gula pasir dan *creamers* sehingga didapatkan standar baku proses yang nantinya dapat menjadi pedoman bagi operator. Penelitian ini dilakukan dengan metode Desain Eksperimen Taguchi yang juga dikenal dengan *Robust Design*, yaitu suatu metodologi teknikal untuk mengoptimalkan kondisi produk dan proses sehingga menjadi sangat tidak sensitif terhadap berbagai sumber penyebab variasi, dan menghasilkan produk berkualitas tinggi dengan biaya pengembangan dan pembuatan yang rendah (Park, 1996).

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Berikut ini adalah diagram keterkaitan masalah dari penelitian yang akan dilakukan:





Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah Proses Pengemasan Gula Pasir dan *Creamer*

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, pokok permasalahan yang akan dibahas adalah belum adanya rancangan penyetelan proses pengemasan gula pasir dan *creamers* yang optimal.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah menghasilkan rancangan penyetelan proses pengemasan yang optimal untuk mengurangi variasi berat isi kemasan gula pasir dan *creamers*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Objek yang diteliti adalah proses pengemasan gula pasir yang dilakukan dengan menggunakan mesin pengemasan Sanko dan proses pengemasan *creamers* yang dilakukan dengan menggunakan mesin pengemasan Chin Fong.
2. Standar berat isi kemasan gula pasir adalah 8 gram dan standar berat isi kemasan *creamers* adalah 3 gram.
3. Respon kualitas yang diukur adalah berat isi dalam setiap kemasan dalam satuan gram.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini dapat dibagi menjadi empat tahap, yaitu tahap awal, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data dan analisis, serta tahap kesimpulan dan saran.

1. Tahap awal penelitian meliputi:
 - Penetapan topik penelitian
 - Penetapan tujuan penelitian
 - Penetapan batasan masalah
 - Penentuan landasan teori yang dijadikan dasar dalam pelaksanaan penelitian.

2. Tahap pengumpulan data meliputi:

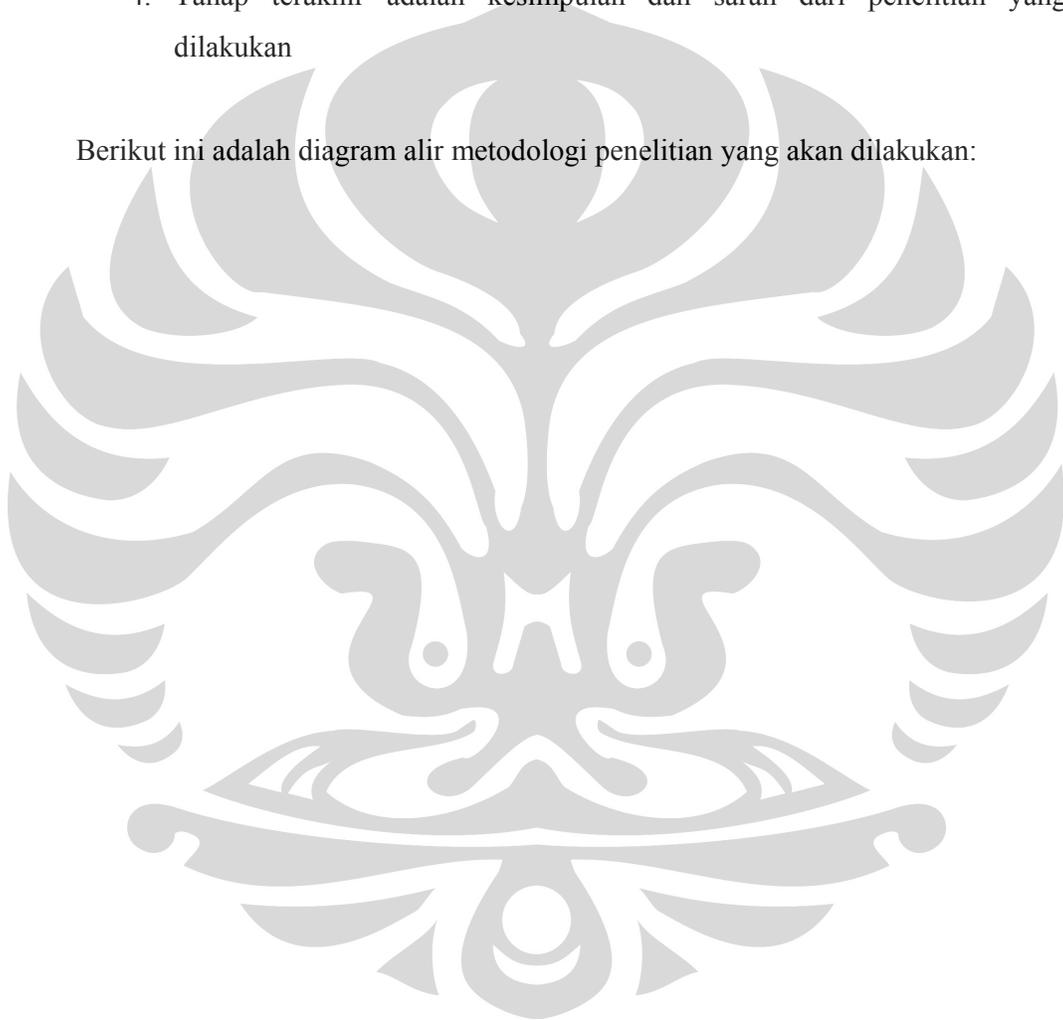
- Melakukan wawancara dengan para operator mesin pengemasan gula pasir dan *creamer*
- Mengumpulkan data historis dari bagian *quality control*
- Menentukan variabel tak bebas (respon kualitas) yang akan diselidiki
- Mengidentifikasi variabel bebas (faktor-faktor) yang mempengaruhi variabel tak bebas yang telah ditentukan
- Memisahkan faktor kontrol dan faktor gangguan. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat diatur, sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak bisa diatur atau dikendalikan
- Melakukan observasi langsung untuk menentukan jumlah level untuk setiap faktor kontrol, nilai level, dan nilai respon kualitas untuk masing-masing level
- Menentukan *Taguchi Orthogonal Array* yang sesuai tergantung dari jumlah faktor dan level yang digunakan
- Menempatkan faktor-faktor ke dalam *Orthogonal Array* yang telah ditentukan

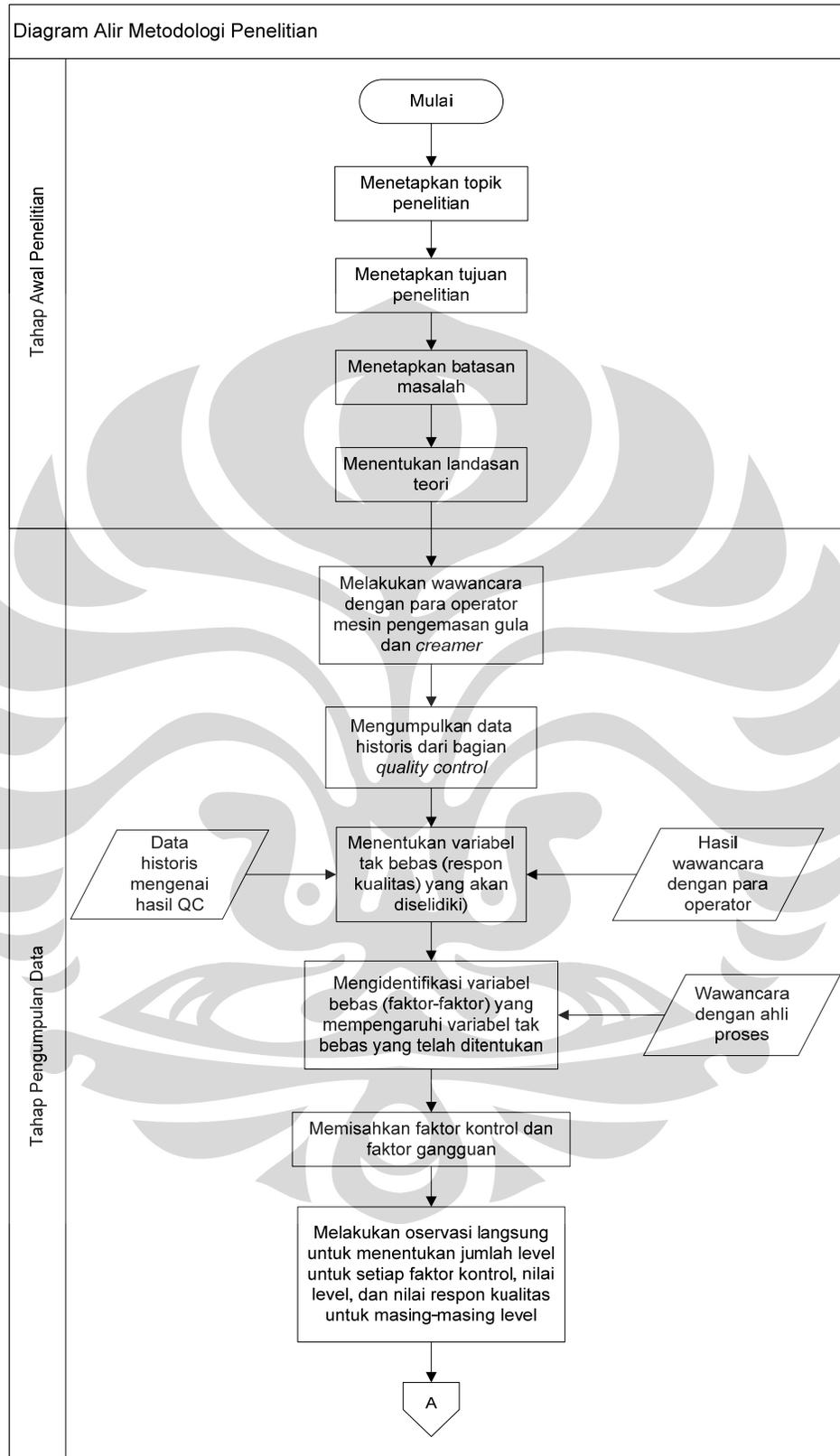
3. Tahap pengolahan data dan analisis meliputi:

- Menentukan jumlah replikasi eksperimen yang akan dilakukan
- Melakukan eksperimen berdasarkan kombinasi faktor dan level pada *Orthogonal Array* dengan menggunakan model tiruan *Neural Network* untuk mendapatkan nilai respon kualitas dari setiap kombinasi
- Memilih jenis optimasi yang akan dilakukan (*smaller is better*, *nominal is the best*, atau *larger is better*)
- Mentransformasikan nilai rata-rata dari setiap eksperimen ke dalam bentuk *S/N ratio* sesuai dengan jenis optimasi yang telah dipilih
- Menganalisis nilai rata-rata dan *S/N Ratio* dengan menggunakan *Main Effect Analysis* dan *Analysis of Variance (ANOVA)* untuk menentukan kontribusi dari setiap faktor dan mendapatkan faktor yang signifikan berpengaruh terhadap respon kualitas dan variabilitas respon kualitas
- Menentukan kombinasi faktor dan level yang optimal berdasarkan hasil analisis

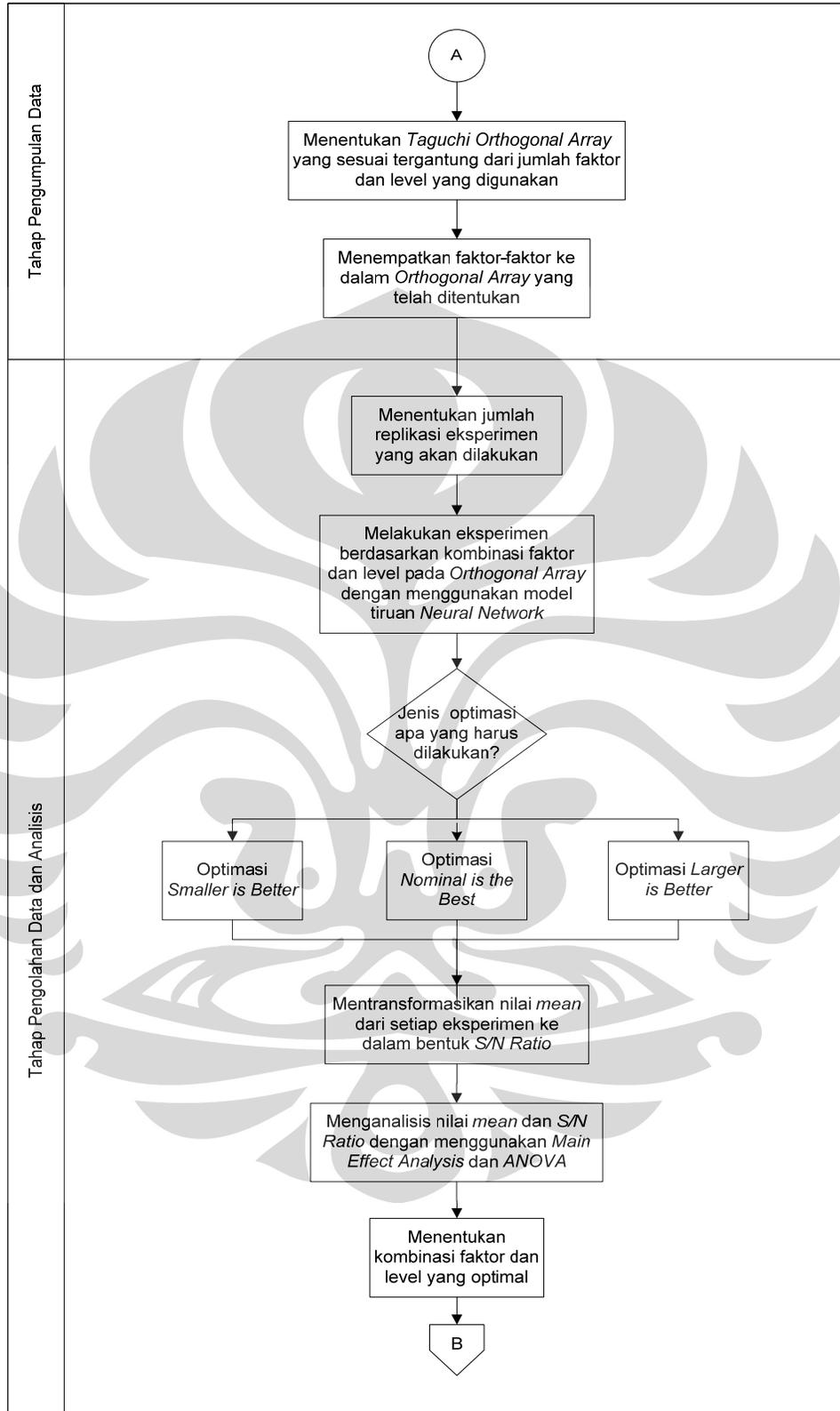
- Melakukan eksperimen konfirmasi dengan menggunakan kombinasi faktor dan level yang optimal
 - Menghitung rata-rata nilai respon kualitas yang diperoleh dari eksperimen konfirmasi dan mentransformasikannya ke dalam bentuk *S/N Ratio*
 - Menganalisis hasil kedua eksperimen
4. Tahap terakhir adalah kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan

Berikut ini adalah diagram alir metodologi penelitian yang akan dilakukan:





Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian I



Gambar 1.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian II



Gambar 1.4 Diagram Alir Metodologi Penelitian III

1.7 Sistematika Penulisan

Secara umum, pembahasan penelitian ini terbagi atas beberapa bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Merupakan bab pendahuluan yang menjelaskan latar belakang penelitian, diagram keterkaitan masalah, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 DASAR TEORI

Merupakan landasan teori yang berhubungan dengan penelitian ini. Landasan teori yang dibahas meliputi Kualitas, Rekayasa Kualitas, *Robust Design*, Desain Eksperimen Taguchi, dan *Neural Network*.

BAB 3 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Berisi tentang pelaksanaan pengumpulan dan pengolahan data. Pada bab ini akan dibahas profil singkat perusahaan PT. SMPI, proses pengemasan produk

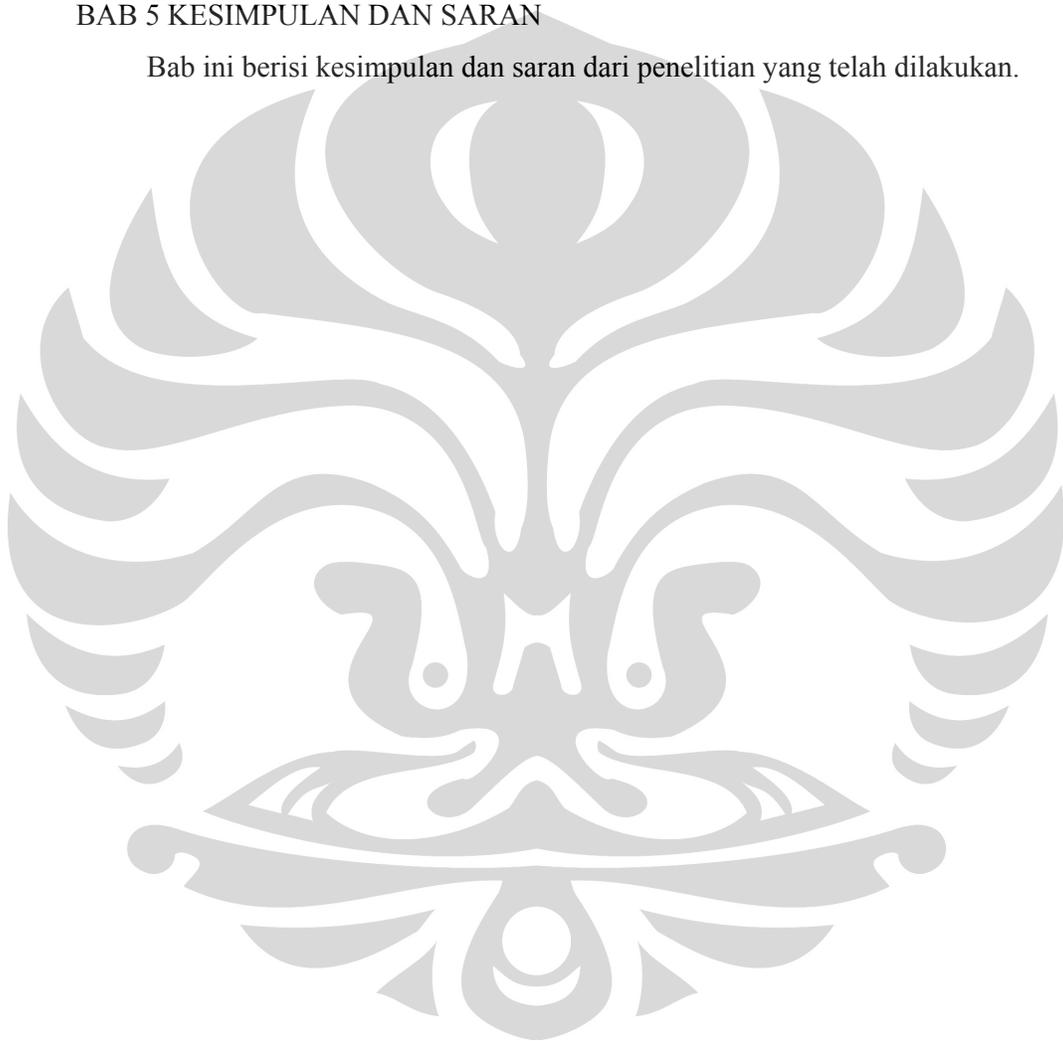
gula pasir dan *creamer* pada PT. SMPI, penentuan faktor dan level , pengumpulan data historis mengenai berat isi setiap kemasan yang dihasilkan pada periode yang lalu, pelaksanaan eksperimen, dan pengolahan data hasil eksperimen.

BAB 4 ANALISIS

Berisi analisis hasil eksperimen. Pada bab ini dijelaskan mengenai analisis-analisis yang dilakukan terhadap hasil eksperimen.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori yang berhubungan dengan penelitian ini. Teori-teori yang dibahas meliputi konsep kualitas dan rekayasa kualitas, konsep desain eksperimen, perancangan eksperimen dengan metode Taguchi, dan *Artificial Neural Network*. Selain itu, juga dibahas mengenai istilah-istilah yang digunakan dalam metode Taguchi seperti *Loss Function*, *Orthogonal Array*, *S/N Ratio*, dan *Analysis of Variance (ANOVA)*.

2.1 Kualitas

2.1.1 Definisi Kualitas

Kualitas memiliki berbagai macam pengertian. Garvin (1988) merupakan orang pertama yang mengelompokkan berbagai definisi kualitas yang ada dalam literatur. Di dalam bukunya, Garvin menggunakan lima pendekatan untuk mendefinisikan kualitas yaitu pendekatan transenden, pendekatan produk, pendekatan pelanggan, pendekatan manufaktur, dan pendekatan nilai.

- Pendekatan Transenden

Pada pendekatan transenden, Barbara Tuchman's (1980) mendefinisikan kualitas sebagai sebuah kondisi unggul yang mengimplikasikan kualitas bagus berbeda dari kualitas buruk. Contoh dari kualitas bagus yang paling nyata dapat dilihat pada seni dan sastra, seperti Beethoven's symphonies, Da Vinci's "Mona Lisa", Michelangelo's "David", dan Dickens's *David Copperfield*. Namun, contoh-contoh tersebut tidak merepresentasikan kualitas untuk setiap orang dan kurang objektif yang dapat menyebabkan masalah bagi seorang pekerja dalam sebuah lingkungan bisnis yang selalu berjuang untuk kualitas.

- Pendekatan Produk

Pendekatan produk mengidentifikasi fitur atau atribut spesifik yang dapat diukur untuk menunjukkan kualitas yang lebih tinggi. Misalnya, pelapis kulit untuk jok mobil dianggap memiliki kualitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan vynil, tidak adanya karatan pada permata yang

dilihat menggunakan kaca pembesar dengan 10 kali perbesaran menunjukkan kualitas yang lebih tinggi. Pendekatan ini memberikan pengukuran kualitas yang objektif, namun tetap memiliki kekurangan yaitu hanya mempertimbangkan ada atau tidaknya suatu atribut untuk menunjukkan kualitas yang lebih tinggi tanpa mempertimbangkan keadaan dari atribut itu sendiri.

- Pendekatan Pelanggan

Pelanggan menentukan kualitas dari sebuah produk. Produk atau jasa yang dapat memuaskan pelanggan dengan sangat baik merupakan produk yang berkualitas tinggi. Juran (1964) menyatakan pendekatan pelanggan sebagai kecocokan penggunaan produk (*fitness for use*). Hal ini bermaksud mempelajari bagaimana pelanggan berencana untuk menggunakan sebuah produk, kemudian membuat produk untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Definisi dengan pendekatan pelanggan ini menyamakan kepuasan konsumen dengan kualitas. Kepuasan konsumen mencerminkan sikap pelanggan.

- Pendekatan Manufaktur

Corby (1979) mendeskripsikan pendekatan manufaktur sebagai *conformance to requirement*, yaitu sesuai dengan yang distandarkan. Suatu produk memiliki kualitas apabila sesuai dengan standar kualitas yang telah ditentukan. Definisi ini memiliki keunggulan pasirn untuk memberikan pengukuran standar kualitas yang objektif dan dapat mengurangi biaya kualitas, namun tidak memperhatikan kesukaan konsumen. Dalam pengertian ini diasumsikan bahwa kepuasan konsumen tergantung pada ketepatan atau presisi dalam memenuhi spesifikasi target dari sebuah produk atau proses.

- Pendekatan Nilai

Definisi kualitas dalam pendekatan ini mulai memperkenalkan elemen harga. Broh (1982) menyatakan bahwa kualitas adalah keunggulan pasirn dalam harga yang sesuai dan pengendalian variasi dalam biaya yang sesuai. Pendekatan nilai mengansumsikan bahwa keputusan membeli oleh konsumen berdasarkan pada *trade off* antara kualitas dengan harga. Karena

banyak atribut kualitas yang bersifat subjektif, pendekatan ini tidak efektif dalam memperkenalkan kriteria yang objektif.

Meskipun tidak ada definisi kualitas yang diterima secara universal, dari definisi-definisi yang ada terdapat beberapa kesamaan, antara lain:

- Kualitas mencakup jasa, proses, produk, lingkungan, dan manusia.
- Kualitas meliputi usaha untuk memenuhi atau melebihi harapan dari pelanggan.
- Kualitas merupakan kondisi yang selalu berubah (misalnya saat ini dianggap mempunyai kualitas yang baik, mungkin pada masa mendatang dianggap kurang berkualitas).

2.1.2 Rekayasa Kualitas

Menurut Irwan Soejanto (2009), sebagian besar usaha rekayasa digunakan untuk melakukan eksperimen (baik perangkat keras, perangkat lunak atau simulasi), untuk menghasilkan informasi yang diperlukan dalam menarik kesimpulan. Menghasilkan informasi secara efisien adalah kunci untuk memasuki pasar, pengambilan keputusan, pengembangan produk dan penekanan biaya, serta menghasilkan produk yang berkualitas tinggi. Rekayasa kualitas adalah salah satu metode rekayasa yang dapat digunakan untuk tujuan tersebut.

Rekayasa kualitas dapat diartikan sebagai proses perbaikan kualitas secara terus menerus dalam perancangan produk dan proses. Dengan penerapan *tools* yang tepat, diharapkan produk yang dihasilkan juga akan sesuai dengan harapan konsumen dan spesifikasi yang telah disyaratkan perusahaan. Selain itu, terdapat sumber yang menyebutkan bahwa rekayasa kualitas juga dapat diartikan sebagai proses pengukuran yang dilakukan selama perancangan produk atau proses. Rekayasa kualitas mencakup seluruh aktivitas pengendalian kualitas dalam setiap fase dari penelitian dan pengembangan produk, perancangan proses produksi, dan kepuasan konsumen.

Menurut Taguchi (1978), terdapat dua jenis rekayasa kualitas, yaitu:

1. Rekayasa kualitas secara *off-line*

Pada bagian ini perancangan eksperimen merupakan peralatan yang sangat fundamental, dimana teknik ini mengidentifikasi sumber dari variasi dan

menentukan perancangan dan proses yang optimal. Pengendalian kualitas secara *off-line* adalah usaha-usaha yang bertujuan untuk mengoptimalkan desain proses dan produk, sebagai pendukung usaha pengendalian kualitas secara *on-line*. Usaha ini dilakukan baik sebelum maupun setelah proses.

2. Rekayasa kualitas secara *on-line*

Rekayasa kualitas secara *on-line* merupakan suatu aktivitas untuk mengamati dan mengendalikan kualitas pada setiap proses produksi secara langsung. Aktivitas ini sangat penting dalam menjaga agar biaya produksi menjadi rendah dan secara langsung juga dapat meningkatkan kualitas produk. Rekayasa kualitas secara *on-line* ini juga dapat mengontrol mesin-mesin produksi sehingga dapat mencegah terjadinya kerusakan pada mesin-mesin produksi tersebut. Usaha-usaha yang tercakup dalam pengendalian kualitas secara *on-line* adalah pengdiagnosaan dan penyesuaian proses, pengontrolan proses, dan inspeksi hasil proses. Usaha-usaha ini adalah pengendalian kualitas yang berlangsung saat proses produksi sedang berjalan.

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 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.

2.2 Desain Eksperimen

Montgomery (1991) mendefinisikan desain eksperimen sebagai suatu usaha sistematis dalam perancangan desain dengan cara mengkondisikan beberapa faktor. Menurut Iriawan (2006), secara umum tujuan desain eksperimen adalah untuk menentukan variabel *input* (faktor) yang berpengaruh terhadap respon, menentukan variabel *input* yang membuat respon mendekati nilai yang

diinginkan, dan menentukan variabel *input* yang menyebabkan variasi respon kecil. Konsep desain eksperimen telah digunakan sejak seorang warga Inggris, Sir R. A. Fisher melakukan eksperimen di bidang pertanian pada tahun 1920. Fisher berhasil mendesain eksperimen untuk menentukan perlakuan yang optimal bagi tanahnya untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

Terdapat banyak tipe dari desain eksperimen yang kemudian diklasifikasikan berdasarkan alokasi atau penempatan kombinasi faktor (perlakuan) dan derajat randomisasi eksperimen (Park, 1996). Klasifikasi tersebut antara lain:

1. *Factorial Design*

Desain ini digunakan untuk menginvestigasi seluruh kemungkinan kombinasi perlakuan yang terbentuk dari faktor-faktor yang telah dipertimbangkan. Urutan bagaimana kombinasi-kombinasi perlakuan tersebut dipilih adalah sepenuhnya secara acak. Yang termasuk dalam kelas ini adalah *single factor*, *two-factor*, dan *three-factor*, serta 2^k (k faktor dengan 2 level) dan 3^k (k faktor dengan 3 level) *factorial design*.

2. *Fractional Factorial Design*

Desain ini digunakan untuk menginvestigasi sebagian dari seluruh kemungkinan kombinasi perlakuan. Urutan bagaimana kombinasi-kombinasi perlakuan tersebut dipilih adalah sepenuhnya secara acak. Yang termasuk dalam kelas ini adalah desain *Orthogonal Arrays*, desain Plackett-Burman, desain Latin Square, dan desain Graeco-Latin Square. Desain ini digunakan ketika biaya untuk melaksanakan eksperimen tinggi dan memakan waktu lama.

3. *Randomized Complete Block Design, Split-plot Design, dan Nested Design*

Pada desain ini, seluruh kemungkinan kombinasi perlakuan yang ada dilakukan, tetapi terdapat beberapa bentuk larangan yang akan digunakan dalam randomisasi. Suatu desain dimana setiap blok mengandung seluruh kemungkinan perlakuan dan satu-satunya randomisasi perlakuan adalah di dalam blok tersebut, disebut *randomized complete block design*.

4. *Incomplete Block Design*

Jika setiap perlakuan tidak dihadirkan dalam setiap blok dalam suatu *randomized complete block design*, maka disebut *incomplete block design*. Desain ini digunakan ketika kita tidak bias menjalankan seluruh perlakuan pada setiap blok dikarenakan kekurangan perlengkapan eksperimen atau fasilitas yang tidak memadai.

5. *Response Surface Design* dan *Mixture Design*

Desain ini bertujuan untuk mengeksplorasi sebuah model regresi untuk menemukan sebuah hubungan fungsional antara variabel respon dan faktor-faktornya (variabel independen), dan juga untuk menemukan kondisi optimal dari faktor-faktor tersebut. Yang termasuk dalam kelas ini adalah *central composite design*, *rotatable design*, *simplex design*, *misxture design*, dan *Evolutionary Operation (EVOP) design*.

2.3 Pendekatan Taguchi dalam Peningkatan Kualitas

Setelah Perang Dunia kedua, tentara sekutu menemukan bahwa kualitas sistem telepon Jepang sangat buruk dan tidak dapat digunakan untuk tujuan komunikasi jangka panjang. Untuk memperbaiki sistem tersebut, komando tentara sekutu merekomendasikan agar Jepang membangun fasilitas riset yang sama dengan *Bell Laboratories* di *United States*. Kemudian orang Jepang mendirikan *Electrical Communication Laboratories (ECL)* dengan Dr. Taguchi sebagai orang yang bertanggung jawab dalam peningkatan produktivitas R&D dan kualitas produk. Dr. Taguchi mengamati bahwa sebagian besar waktu dan uang digunakan dalam pengujian dan eksperimen *engineering*. Sedikit penekanan perlu diberikan pada proses *brainstorming* yang kreatif untuk meminimalkan pengeluaran sumber daya tersebut.

Dr. Taguchi mulai mengembangkan metode baru untuk mengoptimalkan proses *engineering experiment*. Dia mengembangkan teknik yang sekarang dikenal dengan Metode Taguchi. Kontribusi terbesarnya bukan dalam formula matematika dalam desain eksperimen, melainkan dalam filosofi yang menyertainya. Pendekatannya lebih dari sekedar metode untuk mendesain eksperimen. Konsep tersebut menghasilkan disiplin peningkatan kualitas yang

kuat, unik dan berbeda dari praktek tradisional. Pendekatan Taguchi telah berhasil diterapkan dalam berbagai organisasi industri dan telah mengubah pandangan mereka dalam pengendalian kualitas. (Ranjit, 1990)

2.3.1 Filosofi Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk atau proses dan dalam waktu yang bersamaan dapat menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran itu dengan menjadikan produk atau proses tidak sensitif terhadap berbagai faktor seperti material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional. Metode Taguchi menjadikan produk atau proses bersifat kokoh (*robust*) terhadap faktor gangguan (*noise*), karenanya metode ini disebut juga sebagai perancangan kokoh (*robust design*).

Taguchi memiliki filosofi yang bagus dan berbeda untuk pengendalian kualitas dalam industri manufaktur. Filosofi Taguchi tersebut terdiri dari tiga konsep yang sangat sederhana dan fundamental (Ranjit, 1990), yaitu:

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

Metode Taguchi dicetuskan atas dasar observasi W. E. Deming yang menyatakan bahwa 85% dari kegagalan kualitas disebabkan oleh proses manufakturnya dan hanya 15% yang disebabkan oleh operator (pekerja). Oleh karena itu, Taguchi mengembangkan sistem manufaktur yang kokoh (*robust*) atau tidak sensitif terhadap variasi lingkungan, pemakaian mesin, dan faktor eksternal lainnya baik yang bersifat harian maupun musiman.

Taguchi meyakini bahwa cara yang lebih baik untuk meningkatkan kualitas adalah dengan mendesain dan membangun kualitas ke dalam produk. Perbaikan kualitas dimulai dari awal, misalnya selama tahap perancangan produk atau

proses, dan terus dilanjutkan ke dalam tahap produksi. Taguchi mengusulkan strategi “*off-line*” untuk melakukan perbaikan kualitas sebagai usaha untuk membangun kualitas ke dalam produk pada lini produksi. Dia mengamati bahwa kualitas yang buruk tidak dapat diperbaiki dengan proses inspeksi, penyaringan, dan perbaikan terhadap barang jadi. Tidak ada proses inspeksi yang dapat mengembalikan kualitas ke dalam produk, oleh karena itu, konsep kualitas harus didasarkan pada filosofi pencegahan. Desain produk harus kokoh sehingga menjadi kebal terhadap pengaruh faktor-faktor lingkungan dalam proses manufaktur. Taguchi menekankan bahwa kualitas merupakan salah satu hal yang harus didesain ke dalam produk.

Konsepnya yang kedua berhubungan dengan metode aktual yang mempengaruhi kualitas. Konsep tersebut menyatakan bahwa kualitas secara langsung berhubungan dengan deviasi sebuah parameter desain dari nilai target, bukan untuk ketepatan pada beberapa spesifikasi yang tetap. Sebuah produk yang dihasilkan dapat memiliki distribusi yang bersifat *skewed* di salah satu sisi pada rentang yang masih bisa diterima, tetapi hal tersebut memperlihatkan *lifetime* yang lebih pendek. Namun, dengan menspesifikkan sebuah nilai target dan mengembangkan proses manufaktur untuk mencapai target dengan deviasi seminimal mungkin, *lifetime*-nya bisa lebih ditingkatkan.

Konsep yang ketiga adalah mengenai pengukuran deviasi dari parameter desain sebagai biaya dari keseluruhan *life cycle* sebuah produk. Biaya tersebut dapat meliputi biaya *scrap*, *rework*, inspeksi, pengembalian, *service* garansi dan penggantian produk. Biaya-biaya tersebut dapat memberikan petunjuk tentang parameter-parameter utama yang harus dikontrol.

Peningkatan kualitas dalam pandangan Taguchi merupakan sebuah upaya yang terus-menerus. Taguchi melanjutkan usaha kerasnya untuk mengurangi variasi di sekitar nilai target. Produk yang menjadi objek dapat menunjukkan sebuah distribusi yang memiliki nilai rata-rata berbeda dari nilai target. Tahap pertama untuk perbaikan kualitas adalah untuk mencapai distribusi populasi yang sedekat mungkin dengan target. Untuk menyelesaikan ini, Taguchi mendesain eksperimen dengan menggunakan tabel spesial yang dikenal dengan *Orthogonal*

Arrays (OA). Penggunaan matriks tersebut membuat desain eksperimen menjadi mudah dan konsisten (Ranjit, 1990).

Tujuan kedua dari membuat produk yang sesuai dengan nilai ideal adalah untuk mengurangi variasi di sekitar target. Untuk mencapai hal ini, Dr. Taguchi menggunakan cara yang unik untuk memperlakukan faktor gangguan. Faktor gangguan, sesuai dengan istilahnya, adalah faktor-faktor yang mempengaruhi respon dari sebuah proses, tetapi tidak dapat dikontrol secara ekonomis. Faktor gangguan seperti kondisi cuaca, pemakaian mesin, dan lain-lain, biasanya adalah sumber utama dari variasi. Melalui penggunaan *outer array*, Taguchi memberikan cara yang efektif untuk mempelajari pengaruhnya dengan jumlah pengulangan yang sedikit. Hasil akhirnya adalah sebuah desain yang kokoh yang dipengaruhi oleh faktor gangguan seminimal mungkin atau memiliki nilai perbandingan *signal to noise* yang tinggi.

Untuk mencapai kualitas produk yang diinginkan melalui desain, Dr. Taguchi merekomendasikan proses yang terdiri dari tiga tahap (Ranjit, 1990) yaitu:

1. Perancangan sistem
2. Perancangan parameter
3. Perancangan toleransi

Fokus dari fase perancangan sistem adalah menentukan level yang cocok untuk faktor-faktor perancangan. Hal ini meliputi kegiatan merancang dan menguji sebuah sistem berdasar pada pernyataan *engineer* tentang material yang dipilih, komponen, dan nilai parameter produk atau proses berdasarkan teknologi yang ada. Biasanya hal ini mencakup inovasi dan pengetahuan dari bidang keilmuan dan teknologi yang ada.

Jika perancangan sistem membantu mengidentifikasi level kerja dari faktor desain (perancangan), perancangan parameter bertujuan untuk menentukan level dari faktor yang menghasilkan performan terbaik dari produk atau proses yang sedang dipelajari. Kondisi optimal dipilih sehingga pengaruh dari faktor-faktor yang tidak terkontrol (faktor gangguan) hanya menyebabkan variasi yang minimum dari performan sistem.

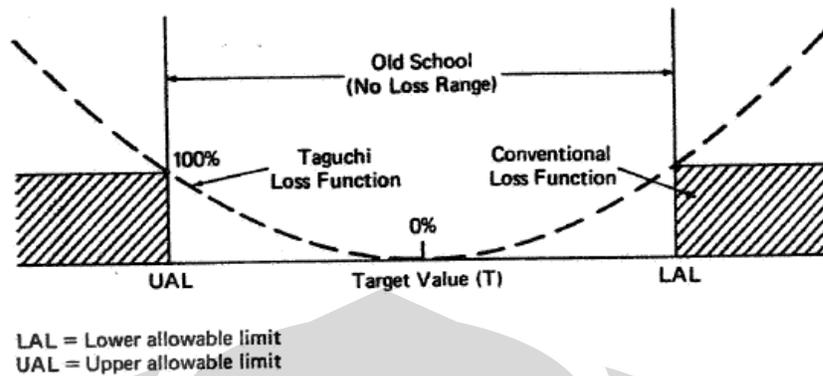
Perancangan toleransi adalah sebuah tahap yang digunakan untuk meningkatkan kualitas dengan mengetatkan toleransi pada parameter produk atau proses untuk mengurangi terjadinya variabilitas pada performansi produk.

2.3.2 Konsep *Loss Function*

Konsep *Loss Function* yang dicetuskan oleh Dr. Taguchi telah memaksa para *engineer* dan akuntan biaya pada masa lalu untuk lebih serius dalam memperhatikan praktek pengendalian kualitas. Konsep ini sederhana tapi efektif dalam penggunaannya. Taguchi mendefinisikan kualitas sebagai total kerugian yang diberikan kepada masyarakat sejak produk dikirimkan kepada konsumen. Kerugian diukur dalam bentuk uang dan meliputi semua biaya yang berlebih dari biaya sebuah produk yang sempurna.

Produk dengan desain dan struktur yang buruk akan mulai memberikan kerugian kepada masyarakat sejak fase persiapan (fase awal) dan berlanjut sampai fase penyempurnaan atau peningkatan performan fungsionalnya. Terdapat dua kategori utama kerugian yang diberikan kepada masyarakat mengenai kualitas produk. Kategori pertama berhubungan dengan kerugian yang terjadi sebagai hasil dari efek yang membahayakan masyarakat (misalnya: polusi) dan kategori kedua berhubungan dengan kerugian yang timbul karena variasi yang berlebihan dalam performan fungsional produk. *Taguchi loss function* mengacu pada kategori yang kedua.

Metode konvensional dalam perhitungan biaya kualitas berdasar pada jumlah komponen yang ditolak (*rejected*) atau diproses kembali (*reworked*). Metode evaluasi kualitas tersebut tidak mampu membedakan dua sampel yang berada dalam batas spesifikasi tetapi memiliki distribusi yang berbeda. Grafik di bawah ini memperlihatkan *loss function* sebagai sebuah fungsi deviasi dari nilai target atau nilai ideal atau nilai yang paling diinginkan dari parameter yang diukur. Parameter ini dapat berupa dimensi penting, warna produk, permukaan atau berbagai karakteristik lainnya yang berkontribusi dalam membentuk persepsi konsumen terhadap kualitas.



Gambar 2.1 Perbandingan Taguchi dan *Conventional Loss Function*

(Sumber: *A Primer on the Taguchi Method* by Ranjit Roy, 1990)

UAL dan LAL pada gambar 2.1 di atas menunjukkan batas atas dan batas bawah yang dapat diterima dari sebuah parameter desain. Normalnya, produk secara fungsional dapat diterima jika nilai parameternya berada dalam rentang antara batas UAL dan LAL. Tidak ada kerugian yang diperkirakan dan produk akan dikirimkan kepada konsumen. Namun, jika berada di luar batas tersebut, seperti yang terlihat pada area yang diarsir, berarti terjadi 100% kegagalan fungsional dan produk harus dibuang atau diroses kembali. Setiap usaha dilakukan untuk mengontrol proses manufaktur untuk menjaga agar produk berada dalam batas tersebut.

Namun, menurut Taguchi, performan akan mulai memburuk secara perlahan jika nilai parameter desain menyimpang dari nilai optimum. Oleh karena itu, Taguchi mengusulkan agar *loss function* diukur dari deviasi dari nilai ideal. Fungsi ini berlanjut terus seperti yang terlihat sebagai garis putus-putus pada gambar di atas. Performan produk mulai memburuk ketika parameter desain menyimpang dari nilai ideal atau nilai target. Definisi Taguchi tersebut secara jelas lebih menekankan pada kepuasan konsumen. Kepuasan konsumen yang optimum dapat dicapai dengan mengembangkan produk yang mencapai nilai target secara konsisten. Dengan demikian, aspek yang paling penting dalam filosofi pengendalian kualitas Taguchi adalah meminimalkan variasi di sekitar nilai target.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan mengenai *Loss Function* (Ranjit, 1990) :

- *Quality loss function* adalah fungsi yang kontinu dan merupakan pengukuran deviasi dari nilai target. Kesesuaian pada batas spesifikasi LAL dan UAL merupakan pengukuran yang tidak cukup untuk mendefinisikan *quality loss function*.
- Kerugian kualitas berhubungan dengan karakteristik performan produk dan dapat diminimalkan dengan mendesain kualitas ke dalam produk. Pencegahan akan kualitas yang buruk lebih murah daripada melakukan *rework* dan menghasilkan hasil yang lebih baik.
- Kerugian kualitas dihasilkan dari ketidakpuasan konsumen dan harus diukur secara sistem daripada secara diskrit pada salah satu titik proses manufaktur.
- Kerugian kualitas adalah sebuah kerugian finansial dan sosial.
- Meminimalkan kerugian kualitas adalah satu-satunya cara untuk menjadi kompetitif dan bertahan dalam lingkungan bisnis internasional sekarang ini.

Taguchi mendefinisikan *loss function* sebagai deviasi dari target karakteristik kualitas tertentu. Jika deviasi adalah nol, maka performan suatu produk atau proses berada pada nilai targetnya sehingga nilai kerugian juga nol. Jika Y merepresentasikan deviasi dari nilai target, *loss function* dirumuskan sebagai berikut:

$$L(Y) = k(Y - Y_0)^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

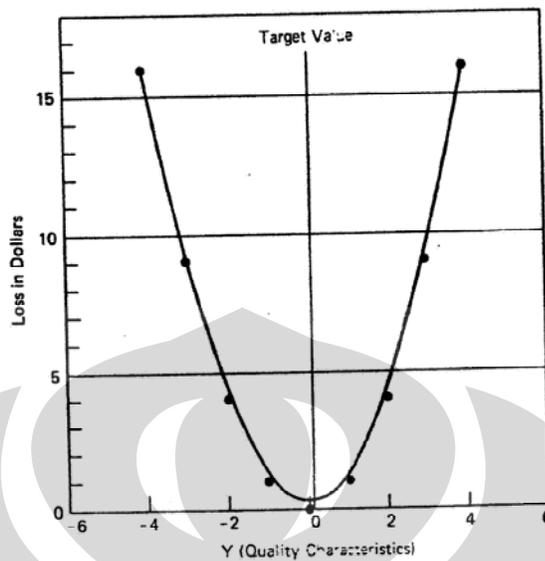
Y = Karakteristik kualitas, misalnya dimensi, performan, dan sebagainya

Y_0 = Nilai target untuk karakteristik kualitas

k = Konstanta yang nilainya tergantung pada struktur biaya dari sebuah proses manufaktur atau organisasi

$(Y - Y_0)$ merepresentasikan deviasi karakteristik kualitas Y dari nilai target Y_0 .

Formula *loss function* di atas dapat digambarkan seperti berikut ini:



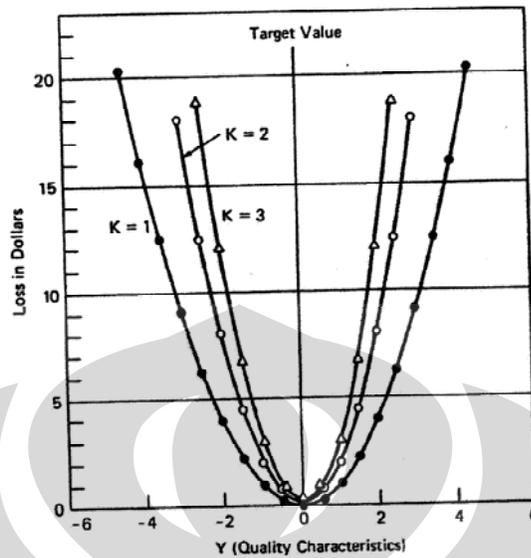
Gambar 2.2 Taguchi Quality Loss Function

(Sumber: *A Primer on the Taguchi Method* by Ranjit Roy, 1990)

Seperti yang terlihat pada grafik di atas, *loss function* memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Kerugian akan bernilai nol jika karakteristik kualitas sebuah produk mencapai nilai targetnya.
2. Nilai kerugian akan meningkat cepat jika karakteristik kualitas menyimpang dari nilai target.
3. *Loss function* harus dalam bentuk fungsi kontinyu dari deviasi dari nilai target.

Untuk nilai Y_0 tertentu, nilai k dapat bervariasi. Sebuah organisasi yang berkomitmen serius untuk mencapai standar yang lebih tinggi dalam sebuah kondisi optimum dapat mengembangkan berbagai kelompok kurva kerugian (*loss curve*) untuk masing-masing proses. Sebuah kelompok kurva dengan nilai k yang berbeda-beda dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.3 Kelompok *Loss Function*

(Sumber: *A Primer on the Taguchi Method* by Ranjit Roy, 1990)

Berbagai produk massal dapat menghasilkan variasi dalam karakteristik kualitasnya. Jika variasinya kecil, kualitas produk dapat diterima oleh konsumen. Penerimaan oleh konsumen memperlihatkan rentang variasi. Jika kualitas yang dihasilkan berada di luar rentang tersebut, konsumen tidak akan menerima produk dan tindakan perbaikan pada level desain atau proses harus dilakukan. Misalkan zona toleransi dapat dituliskan dengan notasi $\pm \Delta$, dan karakteristik kualitas dalam kondisi ekstrim dapat dinotasikan sebagai: $Y_0 + \Delta$ dan $Y_0 - \Delta$. Kualitas buruk yang melebihi kondisi ekstrim tersebut mengharuskan dilakukannya tindakan perbaikan, misalnya biaya garansi L_0 .

Jika L_0 merupakan kerugian pada $Y = Y_0 + \Delta$, maka *loss function*-nya menjadi:

$$L_0 = k(Y_0 + \Delta - Y_0)^2 \dots\dots\dots(2.2)$$

Sehingga dapat dirumuskan:

$$K = \frac{L_0}{\Delta^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

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

1. *Nominal is the best*

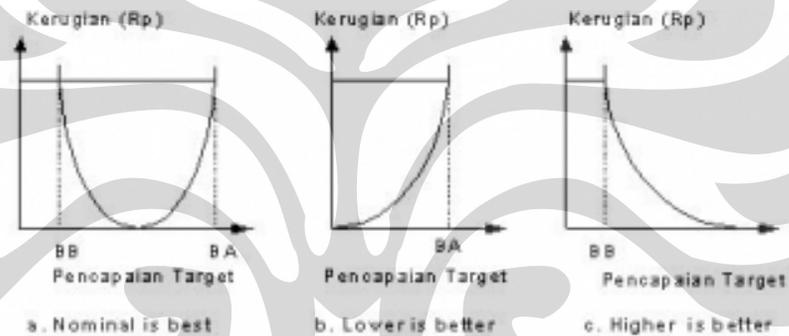
Merupakan karakteristik kualitas dengan nilai yang dapat positif maupun negatif. Nilai yang diukur berdasarkan nilai target yang telah ditetapkan. Jika pencapaian nilai mendekati target yang telah ditetapkan, maka kualitasnya semakin baik.

2. *Lower is better*

Merupakan karakteristik terukur yang non negatif dengan nilai ideal nol. Jika pencapaian nilai mendekati nol, maka kualitas akan semakin baik.

3. *Larger is better*

Merupakan karakteristik terukur dengan nilai non negatif dengan nilai ideal tak terhingga. Jika pencapaian nilai mendekati nilai tak terhingga, maka kualitas yang dihasilkan akan semakin baik.



Gambar 2.4 Tiga Kategori Karakteristik Kualitas

(Sumber: <http://qualityengineering.wordpress.com/2008/06/29/taguchi-loss-function/>)

Perumusan untuk *loss function* masing-masing karakteristik kualitas adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Perumusan *Loss Function* untuk Setiap Karakteristik Kualitas

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	$k(y^2)$	$k(S^2 + [\bar{y}^2])$

(Sumber: <http://qualityengineering.wordpress.com/2008/06/29/taguchi-loss-function/>)

Dimana: L	=	kerugian
y	=	hasil pengukuran
k	=	konstanta kerugian
m	=	target
S^2	=	variansi distribusi
\bar{y}	=	rata-rata distribusi

2.3.3 Tahapan dalam Desain Eksperimen Taguchi

Pada umumnya desain eksperimen Taguchi dibagi menjadi tiga tahap utama yang mencakup semua pendekatan eksperimen yaitu sebagai berikut (Irwan, 2009):

1. Tahap Perencanaan
2. Tahap Pelaksanaan
3. Tahap Analisis

Tahap perencanaan merupakan tahap terpenting karena pada tahap ini faktor dan levelnya dipilih. Dari eksperimen, dapat diperoleh informasi yang positif dan juga negatif. Informasi yang positif merupakan indikasi tentang faktor-faktor dan level-level manakah yang akan mengarah kepada peningkatan performansi produk atau proses. Informasi yang negatif merupakan indikasi tentang faktor-faktor manakah yang tidak berpengaruh terhadap peningkatan performansi produk atau proses, namun faktor-faktor yang berpengaruh tidak dapat ditemukan. Tahap pelaksanaan merupakan tahap terpenting berikutnya, ketika hasil-hasil pengujian dikumpulkan. Jika eksperimen terencana dan terlaksana dengan baik, analisis akan jauh lebih mudah dilakukan dan akan menghasilkan informasi positif tentang faktor dan level. Tahap analisis merupakan tahap terpenting terakhir yang berkaitan dengan apakah eksperimen akan memberikan hasil yang positif. Tahap-tahap dalam eksperimen Taguchi diuraikan dengan lebih rinci pada penjelasan berikut ini:

2.3.3.1 Tahap Perencanaan

Perencanaan eksperimen merupakan tahap terpenting yang meliputi perumusan masalah, penetapan tujuan eksperimen, penentuan variabel tak bebas

(respon kualitas), identifikasi faktor-faktor (variabel bebas), pemisahan faktor control dan faktor gangguan, penentuan jumlah level dan nilai level faktor, perhitungan derajat kebebasan, pemilihan *Orthogonal Array*, dan penempatan kolom untuk faktor dan interaksi ke dalam *Orthogonal Array*.

1. Perumusan Masalah

Langkah pertama adalah merumuskan/mendefinisikan masalah atau fokus yang akan diselidiki dalam eksperimen. Perumusan masalah harus spesifik dan jelas secara teknis serta dapat dituangkan ke dalam eksperimen yang akan dilakukan.

2. Tujuan Eksperimen

Tujuan yang melandasi eksperimen harus dapat menjawab apa yang telah dinyatakan pada perumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat pada masalah yang kita amati. Pencarian ini dilakukan secara sistematis.

3. Penentuan Variabel Tak Bebas

Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu eksperimen harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas mana yang akan diselidiki.

Dalam eksperimen Taguchi, variabel tak bebas adalah karakteristik yang terdiri dari tiga kategori, yaitu:

a. Karakteristik yang dapat diukur

Semua hasil akhir dapat diukur dengan skala kontinyu. Contoh: temperature, berat, tekanan, dan lain-lain.

b. Karakteristik atribut

Hasil akhir yang diamati tidak dapat diukur dengan skala kontinyu, tetapi dapat diklasifikasikan secara kelompok. Contoh: retak, buruk, baik, dan sebagainya.

c. Karakteristik dinamis

Merupakan fungsi representasi dari proses yang diamati. Proses yang diamati digambarkan sebagai *signal* dan *output* digambarkan sebagai hasil dari *signal*. Sebagai contoh adalah sistem transmisi otomatis dengan *input* putaran mesin dan *output* adalah perubahan getar.

4. Identifikasi Faktor-Faktor (Variabel Bebas)

Variabel bebas adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan dipilih faktor-faktor mana saja yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan. Beberapa metode dan *tools* yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang diteliti adalah *brainstorming*, *flowchart*, diagram sebab akibat, dan sebagainya.

5. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Faktor-faktor yang diamati terbagi atas faktor kontrol dan gangguan. Dalam metode Taguchi, kedua faktor tersebut perlu diselidiki dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau kendalikan walaupun dapat kita atur akan membutuhkan biaya yang besar.

6. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil eksperimen dan biaya pelaksanaan eksperimen. Makin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen akan lebih teliti karena data yang diperoleh lebih banyak. Tetapi banyaknya level akan meningkatkan jumlah pengamatan sehingga meningkatkan biaya eksperimen.

7. Perhitungan Derajat Kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati.

8. Pemilihan *Orthogonal Array*

Pemilihan *Orthogonal Array* tergantung dari nilai faktor dan interaksi yang diharapkan dan nilai level dari tiap-tiap faktor. Penentuan ini akan mempengaruhi total jumlah derajat kebebasan yang berguna untuk menentukan jenis *Orthogonal Array* yang dipilih.

9. Penempatan Kolom untuk Faktor dan Interaksi ke dalam *Orthogonal Array*

Untuk memudahkan di kolom mana saja diletakkan interaksi faktor pada setiap *Orthogonal Array*, Taguchi menentukan grafik linier dan Tabel Triangula pasir untuk masing-masing *Orthogonal Array*.

2.3.3.2 Tahap Pelaksanaan Eksperimen

Pada tahap pelaksanaan eksperimen, kita perlu menentukan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan eksperimen.

a. Jumlah Replikasi

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Replikasi dilakukan untuk tujuan:

- Menambah ketelitian eksperimen
- Mengurangi tingkat kesalahan pada eksperimen
- Memperoleh harga taksiran kesalahan eksperimen sehingga memungkinkan diadakannya uji signifikan hasil eksperimen.

b. Randomisasi

Dalam eksperimen, selain faktor-faktor yang diselidiki pengaruhnya terhadap variabel, juga terdapat faktor-faktor lain yang tidak terkendali atau tidak diinginkan (seperti kelelahan operator, naik atau turun daya mesin, dan lain-lain) yang dapat mempengaruhi hasil eksperimen. Pengaruh faktor-faktor tersebut diperkecil dengan menyebarkan pengaruh tersebut selama eksperimen melalui randomisasi (pengacakan) urutan percobaan. Secara umum randomisasi dimaksudkan untuk:

- Meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit eksperimen.
- Memberikan kesempatan yang sama pada semua unit eksperimen untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama.
- Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas satu sama lainnya.

Jika replikasi dilakukan dengan tujuan untuk memungkinkan dilakukan uji signifikan, maka randomisasi bertujuan untuk menjadikan uji tersebut valid dengan menghilangkan sifat bias.

Pelaksanaan eksperimen Taguchi adalah melakukan pengerjaan berdasarkan setting faktor pada *Orthogonal Array* dengan jumlah eksperimen sesuai jumlah replikasi dan urutan pada randomisasi. Pada proses eksperimen dilakukan pengumpulan data respon sebanyak jumlah baris pada *Orthogonal Array*. Data respon yang telah diperoleh dari eskperimen diubah menjadi *S/N Ratios (signal to noise ratios)*.

2.3.3.3 Tahap Analisis

Pada tahap analisis dilakukan pengumpulan dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu layout tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu eksperimen yang dipilih.

Perhitungan dan pengujian data dilakukan dengan metode statistik seperti *Main Effect Analysis* dan *ANOVA (Analysis of Variance)*.

2.3.3.4 Interpretasi Hasil Eksperimen

Interpretasi hasil merupakan langkah yang dilakukan setelah percobaan dan analisis dilakukan.

2.3.3.5 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi adalah percobaan yang dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang didapat. Tujuan eksperimen konfirmasi adalah untuk memverifikasi:

1. Dugaan yang dibuat pada saat model performasi penentuan faktor dan interaksinya.
2. Merancang parameter (faktor) yang optimum hasil analisis dari hasil percobaan pada performasi yang diharapkan.

Langkah-langkah eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut:

1. Merancang kondisi optimum untuk faktor dan level yang signifikan.

2. Membandingkan rata-rata dan variansi hasil percobaan konfirmasi dengan rata-rata dan variansi yang diharapkan.

Eksperimen konfirmasi dinyatakan berhasil jika:

1. Terjadi perbaikan dari hasil proses yang ada (setelah eksperimen Taguchi dilakukan).
2. Hasil dari eksperimen konfirmasi dekat dengan nilai yang diprediksikan.

2.3.4 *Orthogonal Array*

2.3.4.1 Pengertian *Orthogonal Array*

Orthogonal Array adalah suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom menunjukkan faktor yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris menunjukkan kombinasi level dari faktor dalam eksperimen. Matriks disebut ortogonal karena level-level dari faktor berimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor lain dalam eksperimen. Jadi, matriks ortogonal (*Orthogonal Array*) adalah matriks seimbang dari faktor dan level sedemikian hingga pengaruh suatu faktor atau level tidak baur dengan pengaruh faktor atau level lain. (Irwan, 2009)

2.3.4.2 Ortogonalitas

Dasar untuk mendesain eksperimen dengan menggunakan metodologi Taguchi adalah *Orthogonal Array*. Meskipun banyak tipe klasik dari desain, seperti *full factorial design* dan banyak jenis *fractional factorial design* yang dapat digunakan, *orthogonal array* telah mentradisi dengan teknik eksperimen Taguchi. *Orthogonal Array* sangat efisien dalam memperoleh jumlah data yang relatif kecil karena jumlah eksperimen yang dihasilkan lebih sedikit dan mampu menerjemahkan ke kesimpulan yang berarti dan jelas. Selain itu, desain eksperimen yang menggunakan *Orthogonal Array* lebih mudah untuk dimengerti dan petunjuknya sangat mudah untuk diikuti.

Ortogonal berarti keseimbangan dan tidak bercampur. Pada konteks matriks eksperimen, ortogonal berarti bebas statis. Jika kita menguji *Orthogonal Array* tertentu, kita akan melihat bahwa tiap level mempunyai nilai yang sama dalam hal kejadian pada tiap kolom. Seperti terlihat salah satu contoh *Orthogonal Array* di

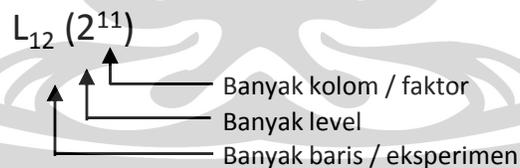
bawah. Pada setiap kolom *Orthogonal Array* tersebut, level 1 terjadi 4 kali dan level 2 juga terjadi 4 kali.

Tabel 2.2 Contoh *Orthogonal Array* $L_8(2^7)$

Eksperimen	KOLOM / FAKTOR						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

(Sumber: Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi oleh Irwan Soejanto, 2009)

Untuk memahami pengertian *Orthogonal Array*, kita perlu mengerti standar untuk menjelaskan tiap *Orthogonal Array*. Tiap matriks dapat dikenali dengan bentuk $L_A(B^C)$ dan dapat diilustrasikan seperti gambar 2.. Tulisan di bawah L, yaitu A menunjukkan banyaknya eksperimen (baris) atau kombinasi dari faktor yang dapat digunakan dalam eksperimen. B menunjukkan banyaknya level pada tiap kolom. Huruf C menjelaskan banyaknya faktor (kolom) yang ada dalam *Orthogonal Array*.



Gambar 2.5 Notasi *Orthogonal Array*

(Sumber: Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi oleh Irwan Soejanto, 2009)

Seperti terlihat pada gambar 2.5 di atas, *Orthogonal Array* $L_{12} (2^{11})$ terdiri dari 12 hasil eksperimen atau kombinasi faktor yang digunakan dalam eksperimen. Dalam $L_{12} (2^{11})$ tiap kolom terdiri dari 2 level, berarti tiap faktor memiliki 2 level. Tulisan 11 menunjukkan 11 kolom dalam matriks dan berarti sampai 11 faktor dan interaksi dapat digabungkan dalam eksperimen.

2.3.4.3 Pemilihan *Orthogonal Array*

Dalam menentukan jenis *OA*, ada dua hal yang harus dipertimbangkan, yaitu:

1. Jumlah *level* dan faktor yang akan diteliti
2. Interaksi dalam faktor

Orthogonal Array sendiri dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis (Park, 1996). Penentuan jenis *OA* yang digunakan dapat dilakukan dengan cara memilih salah satu dari keempat jenis *OA* tersebut yang paling sesuai dengan jumlah faktor dan *level* yang diteliti dan juga interaksinya. Empat jenis *OA* adalah sebagai berikut:

1. *Orthogonal Array* Standar

Tabel *OA* yang standar terdiri dari empat macam, yaitu untuk 2 *level*, 3 *level*, 4 *level*, dan 5 *level*. Untuk dua *level*, tabel *OA* terdiri dari $L_4(2^3)$, $L_8(2^7)$, $L_{16}(2^{15})$, $L_{32}(2^{31})$, dan $L_{64}(2^{63})$, sedangkan untuk tiga *level* tabel *OA* terdiri dari $L_9(3^4)$, $L_{27}(2^{13})$, $L_{81}(2^{40})$. Untuk 4 *level* tabel *OA* contohnya $L_{64}(4^{21})$, dan untuk 5 *level* contohnya $L_{25}(5^6)$.

2. *Extended Orthogonal Array* atau *Partially Orthogonal Array*

Ketika terlalu banyak faktor yang harus ditempatkan, dan interaksi dapat diabaikan, tabel *OA* standar dapat diperpanjang untuk menambah jumlah kolomnya untuk mengakomodasi lebih banyak faktor. Contohnya adalah $L_{12}(2^{11})$, dan $L_{27}(3^{22})$.

3. *Mixed Orthogonal Array*

Tabel *OA* jenis ini mengandung dua jenis *level* yang berbeda. *OA* ini digunakan ketika ada banyak faktor dengan *level* berbeda, dan interaksi dapat diabaikan. Contohnya adalah $L_{18}(2^1 \times 3^7)$, $L_{32}(2^1 \times 4^9)$, $L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$, $L_{36}(2^3 \times 3^{13})$, $L_{50}(2^1 \times 5^{11})$, dan $L_{54}(2^1 \times 3^{25})$.

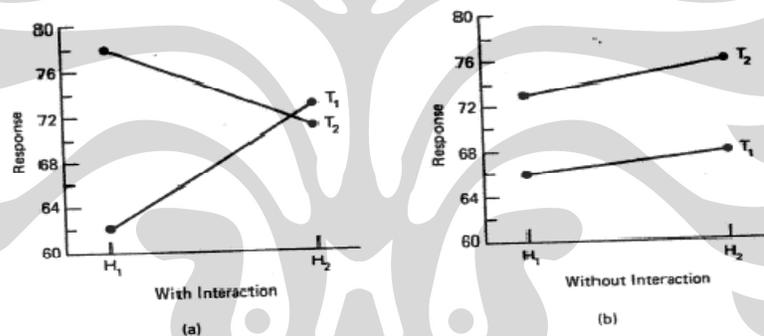
4. *Column-Merged Orthogonal Array*

Tabel *OA* ini dibentuk dari tabel *OA* standar dengan menggunakan metode penggabungan kolom. Contohnya adalah $L_8(4^1 \times 2^4)$, $L_{16}(4^1 \times 2^{12})$, $L_{16}(4^2 \times 2^9)$, $L_{16}(4^4 \times 2^3)$, $L_{16}(4^5)$, dan $L_{16}(8^1 \times 2^8)$

2.3.4.4 Desain dengan Interaksi

Istilah “interaksi” yang biasa dituliskan dengan notasi “x” di antara dua faktor yang berinteraksi, digunakan untuk mendeskripsikan kondisi dimana pengaruh satu faktor terhadap hasil eksperimen tergantung pada kondisi faktor lainnya. Dua faktor A dan B dikatakan berinteraksi (ditulis sebagai A x B) ketika perubahan pada level A berpengaruh pada B dan sebaliknya. Sebagai contoh, temperatur dan kelembaban memiliki interaksi yang kuat dalam hal pengaruhnya terhadap kenyamanan manusia. Peningkatan temperatur dapat menyebabkan sedikit ketidaknyamanan, tetapi ketidaknyamanan meningkat jika kelembaban meningkat.

Metode grafik dapat memperlihatkan adanya interaksi. Grafik tersebut dibuat dari data eksperimen. Seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.6 Interaksi di antara 2 faktor

(Sumber: *A Primer on the Taguchi Method* by Ranjit Roy, 1990)

Desain eksperimen dengan menggunakan *Taguchi OA* membutuhkan perhatian yang lebih untuk mendesain eksperimen dengan interaksi di antara faktornya. Dalam *Taguchi OA*, pengaruh interaksi bercampur dengan pengaruh utama dari sebuah faktor yang terletak pada kolom lainnya. Pada L₄ seperti yang terlihat pada tabel di bawah, faktor A dan B diletakkan pada kolom 1 dan 2, pengaruh interaksi A x B akan diletakkan di kolom 3. Jika interaksi A x B tidak ada, maka faktor ke 3 (C) dapat diletakkan di kolom 3. Pengaruh interaksi A x B akan bercampur dengan pengaruh utama faktor C.

Tabel 2.3 *Orthogonal Array* dengan Interaksi

EXPERIMENTS/ COLUMNS	A	B	A × B C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

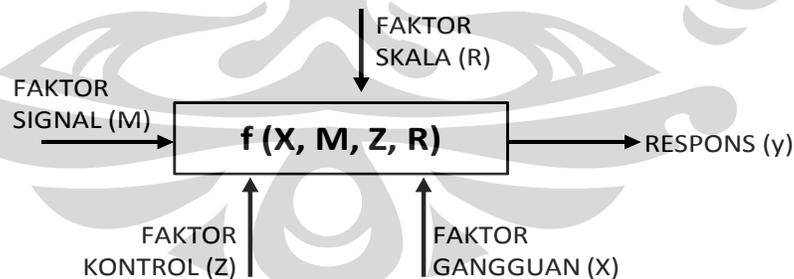
(Sumber: *A Primer on the Taguchi Method* by Ranjit Roy, 1990)

2.3.5 *S/N Ratio*

Metode Taguchi mengembangkan konsep *S/N Ratio* (*Signal to Noise Ratio*) untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor. Eksperimen yang demikian sering disebut eksperimen faktor ganda. *S/N Ratio* diformulasikan sedemikian hingga peneliti selalu dapat memilih nilai level faktor terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen.

2.3.5.1 Pentingnya *S/N Ratio*

Tujuan eksperimen faktor ganda dalam bentuk *robust design* adalah untuk meminimalkan sensitivitas karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan. Perancangan eksperimen kokoh (*robust*) dengan berbagai parameter yang mempengaruhi respon dapat dimodelkan seperti gambar berikut:



Gambar 2.7 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Respon Eksperimen

(Sumber: *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi* oleh Irwan Soejanto, 2009)

Model matematik eksperimen perancangan kokoh (*robust design*) adalah sebagai berikut:

$$y = f(X, M, Z, R) \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana y (respons) adalah fungsi X (gangguan), M (signal), Z (kontrol), dan R (skala).

Dalam kenyataan, fungsi tersebut dapat dipandang mempunyai 2 bagian, antara lain:

1. Bagian yang dapat diprediksi, yaitu $g(M, Z, R)$ yang biasa disebut signal.
2. Bagian yang tidak dapat diprediksi, yaitu $e(X, M, Z, R)$ yang biasa disebut gangguan.

Sehingga persamaan (2.4) dapat ditulis menjadi:

$$y = g(M, Z, R) + e(X, M, Z, R) \dots\dots\dots(2.5)$$

Tujuan dari *robust design* adalah untuk memaksimalkan bagian yang dapat diprediksi dan meminimalkan bagian yang tak dapat diprediksi.

Namun, persamaan (2.5) tidak dapat langsung digunakan, tetapi melalui eksperimen dapat dicari keragaman bagian yang dapat diprediksi (V_g) dan bagian yang tak dapat diprediksi (V_e). Kemudian dapat digunakan metode Taguchi untuk mengevaluasi kualitas dengan definisi:

$$\eta = \frac{\text{signal}}{\text{noise}} = \frac{\text{Keragaman bagian yang dapat diprediksi}}{\text{Keragaman bagian yang tidak dapat diprediksi}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Analog dengan teori komunikasi, diambil η (eta) dalam skala decibel (dB):

$$\eta = 10 \log_{10} \left(\frac{V_g}{V_e} \right) \dots\dots\dots(2.7)$$

Jika faktor signal konstan, permasalahan menjadi fungsi statis dan rasio S/N dapat didefinisikan sebagai:

$$\eta = -10 \log_{10} [\text{MSD}] \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana MSD adalah simpangan kuadrat rata-rata dari target

2.3.5.2 *S/N Ratio* untuk Setiap Karakteristik Kualitas

Dalam metode Taguchi, karakteristik kualitas yang diukur dapat dibedakan menjadi tiga kategori dan setiap kategori tersebut memiliki formula *S/N Ratio* yang berbeda-beda, yaitu sebagai berikut:

a. *Nominal is the best*

Jenis permasalahan tertuju pada nilai tertentu, karakteristik kualitas adalah kontinyu dan non negatif yaitu memiliki nilai antara 0 sampai ∞ . Nilai targetnya tidak nol dan terbatas. Rumus *S/N Ratio* yang dapat digunakan yaitu:

$$\eta = 10 \log \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right) \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

μ^2 = kuadrat nilai rata-rata dari setiap kombinasi (eksperimen)

σ^2 = varians setiap kombinasi (eksperimen)

b. Lower is better

Pada kategori ini, karakteristik kualitas adalah kontinyu dan tidak negatif, dan nilai yang diinginkan adalah nol. Contoh permasalahan *lower is better* adalah tingkat polusi dari pembangkit tenaga listrik, tingkat kebocoran arus terpadu dalam sirkuit, tingkat korosi logam, dan sebagainya. Rumus *S/N Ratio* yang dapat digunakan yaitu:

$$\eta = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n Y_i^2 \right) \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan:

n = jumlah pengula pasirngan dari suatu kombinasi

Y_i = data respon kombinasi ke- i

c. Larger is better

Pada kategori ini, karakteristik kualitas adalah kontinyu, non negatif dan dapat memiliki nilai dari 0 sampai ∞ . Nilai targetnya tidak nol, idealnya sebesar mungkin. Contoh permasalahan *larger is better* adalah kekuatan kawat, efisiensi bahan bakar, dan sebagainya. Rumus *S/N Ratio* yang dapat digunakan yaitu:

$$\eta = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

n = jumlah pengula pasirngan dari suatu kombinasi

Y_i = data respon kombinasi ke- i

2.3.6 Analysis of Variance (ANOVA)

Analysis of Variance (ANOVA) digunakan dalam mengolah dan menguji data hasil eksperimen. Teknik ini tidak langsung menganalisis data, tetapi hanya mengukur variabilitas atau varians dari data yang ada. Dengan *ANOVA*, dapat diketahui varians dari faktor terkontrol dan faktor gangguan. Dengan mencari sumber dari varians tersebut, kondisi operasi yang kokoh (*robust*) dapat diprediksi.

ANOVA pada metode Taguchi digunakan sebagai metode statistik dalam menginterpretasikan data-data hasil eksperimen. *ANOVA* adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. *ANOVA* yang digunakan pada desain parameter berguna untuk mengidentifikasi kontribusi faktor, sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. (Irwan, 2009)

2.3.6.1 Notasi dan Istilah dalam ANOVA

Pada *Analysis of Variance*, terdapat berbagai kuantitas seperti *degree of freedom*, *sum of squares*, *mean squares*, dan sebagainya yang disusun dalam format tabel standar. Pengertian dan hubungan kuantitas-kuantitas tersebut dijelaskan sebagai berikut:

a. Degree of Freedom (DOF)

DOF adalah sebuah konsep penting dan berguna yang sulit untuk didefinisikan. *DOF* adalah pengukuran jumlah informasi yang dapat diperoleh secara unik dari sebuah kelompok data yang diberikan. Perhitungan *DOF* untuk sebuah faktor adalah:

$$f_A = \text{jumlah level faktor } A - 1 \dots\dots\dots(2.12)$$

Untuk sebuah faktor A dengan empat level, data A_1 hanya dapat dibandingkan dengan data A_2 , A_3 , dan A_4 , dan bukan dengan dirinya sendiri. Sehingga faktor A memiliki 3 *DOF*.

Konsep *DOF* juga dapat digunakan pada eksperimen. Sebuah eksperimen dengan n percobaan dan r pengula pasirngan (repetisi) untuk setiap percobaan memiliki $n \times r$ total percobaan. Total *DOF*-nya menjadi:

$$f_T = n \times r - 1 \dots\dots\dots(2.13)$$

Demikian pula dengan *DOF* untuk sebuah *sum of square* adalah sama dengan jumlah unsur-unsur yang digunakan untuk menghitung *sum of square* tersebut dan *DOF* untuk eror (f_e) adalah:

$$f_e = f_T - f_A - f_B - f_c \dots\dots\dots(2.14)$$

b. *Sum of Squares (SS)*

Sum of square menjelaskan perbedaan kuadrat dari setiap data dengan rata-rata keseluruhan. SS_T digunakan untuk mencari SS_E yang pada skhinya digunakan untuk mengetahui apakah data yang didapatkan memiliki rata-rata populasi yang sama. (Montgomery,2005)

SS_T dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn} \dots\dots\dots(2.15)$$

Sum of squares untuk faktor A dirumuskan sebagai berikut:

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn} \dots\dots\dots(2.16)$$

Sum of squares of error menunjukkan jumlah kuadrat dari kesalahan residual nilai observasi yang didapatkan, yaitu dirumuskan sebagai berikut:

$$SS_E = SS_T - S_{subtotal (AB)} \dots\dots\dots(2.17)$$

Varians menunjukkan distribusi data terhadap rata-rata (*mean*) data tersebut. Karena data hanya mewakili sebuah bagian dari semua kemungkinan data, *DOF* juga digunakan dalam perhitungan sebagai berikut:

$$Variance = \frac{Sum\ of\ Squares}{Degrees\ of\ Freedom}$$

Atau $V = S_T/f \dots\dots\dots(2.18)$

c. *Mean Squares (MS)*

Mean Squares adalah hasil *sum of squares* berdasarkan *degree of freedom*-nya masing-masing, dihitung dengan cara membagi *sum of square* dengan *degree of freedom*. *MS* untuk faktor A dirumuskan sebagai berikut:

$$MS_A = \frac{SS_A}{f_A} \dots\dots\dots(2.19)$$

d. *F-Test*

F-Test digunakan 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 penetapan spekulasi dengan hipotesis nol (H_0) yaitu semua rata-rata populasi untuk semua faktor sama (tidak ada perbedaan) atau dengan kata lain tidak terdapat perbedaan pengaruh faktor, serta hipotesis alternatif (H_1) yaitu sekurang-kurangnya terdapat satu faktor yang berbeda. Jika hasil perhitungan *F* lebih besar sama dengan $F(\alpha; f_i, f_e)$ yang terdapat pada tabel *F*, maka hipotesis nol harus ditolak atau hipotesis alternatifnya diterima yang berarti bahwa terdapat perbedaan pengaruh faktor yang signifikan terhadap hasil.

2.3.6.2 *Two Way ANOVA*

ANOVA yang biasa digunakan dalam metode Taguchi adalah *Two Way ANOVA* atau yang biasa disebut *ANOVA* dua arah. *Two Way ANOVA* digunakan untuk data eksperimen yang terdiri dari dua faktor atau lebih dengan dua level atau lebih. Tabel *Two Way ANOVA* terdiri dari perhitungan *degree of freedom*, *sum of square*, *mean squares*, dan *F-ratio* seperti berikut:

Tabel 2.4 Tabel *Two Way ANOVA*

Sources of Variation	Degress of Freedom	Sum of Squares	Mean Squares	F-Ratio
A Treatments	$a - 1$	SS_A	MS_A	MS_A/MS_E
B Treatments	$b - 1$	SS_B	MS_B	MS_B/MS_E
Interaction	$(a - 1)(b - 1)$	SS_{AB}	MS_{AB}	MS_{AB}/MS_E
Error (within treatments)	$ab(n - 1)$	SS_E	MS_E	
Total	$abn - 1$	SS_y		

(Sumber: *Design and Analysis of Experiment* by Montgomery, 2005)

2.4 Artificial Neural Network

2.4.1 Sejarah Artificial Neural Network

Artificial Neural Network (jaringan saraf tiruan) pertama kali didesain oleh Warren Mc-Culloch dan Walter Pitts (1943). McCulloch-Pitts menemukan bahwa dengan mengkombinasikan banyak neuron sederhana sehingga menjadi sebuah sistem saraf merupakan sumber peningkatan tenaga komputasional. Bobot pada neuron McCulloch-Pitts diset sedemikian sehingga neuron tersebut melakukan sebuah fungsi logika sederhana yang khusus. Mc-Culloch dan Pitts menggunakan semacam fungsi aktivasi *threshold*.

Pada tahun 1958, Rosenblatt beserta Minsky dan Papert mulai mengembangkan model jaringan yang disebut dengan *perceptron*. Dalam model ini mereka mencoba untuk mengoptimalkan hasil iterasinya. Kemudian pada tahun 1960, Widrow dan Hoff mengembangkan model *perceptron* ini dengan memperkenalkan aturan pelatihan jaringan yang disebut aturan delta (sering juga disebut kuadrat rata-rata terkecil). Aturan tersebut akan mengubah bobot *perceptron* apabila keluaran yang dihasilkan tidak lagi sesuai dengan target yang telah ditetapkan. Hal inilah yang menyebabkan komputer dapat “belajar” dengan sendirinya, kecepatan belajarnya dapat diatur dengan menggunakan parameter tertentu.

Perkembangan selanjutnya dibuat oleh Rumelhart (1986) dengan mencoba mengembangkan sistem lapisan tunggal (*single layer*) pada *perceptron* menjadi sistem lapisan jamak (*multilayer*), yang kemudian disebut dengan sistem *backpropagation*. Setelah itu muncul beberapa model jaringan saraf tiruan lain yang dikembangkan oleh Kohonen (1972), Hopfield (1982), dan lain-lain.

2.4.2 Pengertian *Artificial Neural Network*

Artificial Neural Network atau yang biasa disebut jaringan saraf tiruan bisa dibayangkan seperti otak buatan di dalam cerita-cerita fiksi ilmiah. Otak buatan ini dapat berpikir seperti manusia, dan juga sepandai manusia dalam menyimpulkan sesuatu dari potongan-potongan informasi yang diterima. Ketika manusia berpikir, aktivitas-aktivitas yang terjadi adalah aktivitas mengingat, memahami, menyimpan, dan memanggil kembali apa yang pernah dipelajari oleh otak. Para ahli bedah otak sering membicarakan mengenai adanya pengaktifan neuron, pembuatan koneksi baru, atau pelatihan kembali pola-pola tingkah laku pada otak manusia. Sayangnya hingga saat ini bagaimana aktivitas tersebut berlangsung belum ada yang mengetahui dengan pasti. Itulah sebabnya mengapa jaringan saraf tiruan dikatakan hanya mengambil ide dari cara kerja jaringan saraf biologis. (Dyah Puspitaningrum, 2006)

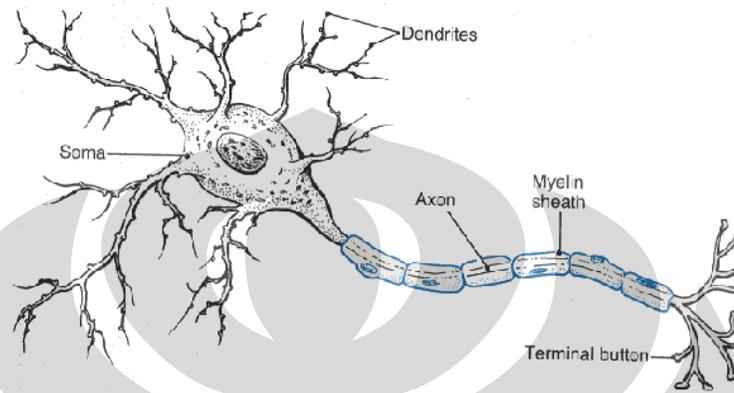
Salah satu contoh pengambilan ide dari jaringan saraf biologis adalah adanya elemen-elemen pemrosesan pada jaringan saraf tiruan yang saling terhubung dan beroperasi secara paralel. Ini meniru jaringan saraf biologis yang tersusun dari sel-sel saraf (neuron). Cara kerja dari elemen-elemen pemrosesan jaringan saraf tiruan juga sama seperti cara neuron meng-*encode* informasi yang diterimanya.

Hal yang perlu mendapat perhatian istimewa adalah bahwa jaringan saraf tiruan tidak diprogram untuk menghasilkan keluaran tertentu. Semua keluaran atau kesimpulan yang ditarik oleh jaringan didasarkan pada pengalamannya selama mengikuti proses pembelajaran. Pada proses pembelajaran, ke dalam jaringan saraf tiruan dimasukkan pola-pola *input* (dan *output*) lalu jaringan akan diajarkan untuk memberikan jawaban yang bisa diterima. (Dyah Puspitaningrum, 2006)

2.4.3 Komparasi Antara Jaringan Saraf Biologis dengan Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan saraf biologis merupakan kumpulan dari sel-sel saraf (neuron). Neuron mempunyai tugas mengolah informasi. Komponen-komponen utama dari sebuah neuron dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian, yaitu:

1. Dendrit, bertugas untuk menerima informasi.
2. Badan sel (soma), berfungsi sebagai tempat pengolahan informasi.
3. Akson (neurit), bertugas mengirimkan impuls-impuls ke sel saraf lainnya.



Gambar 2.8 Sel Saraf Biologis

(Sumber: http://www.mindcreators.com/Images/NB_Neuron.gif)

Seperti terlihat pada gambar di atas, sebuah neuron menerima impuls-impuls sinyal dari neuron yang lain melalui dendrit dan mengirimkan sinyal yang dibangkitkan oleh badan sel melalui akson. Akson dari sel saraf biologis ini bercabang-cabang dan berhubungan dengan dendrite dari sel saraf lainnya dengan cara mengirimkan impuls melalui sinapsis. Sinapsis adalah unit fungsional antara 2 sel saraf, misalnya A dan B, dimana yang satu adalah serabut akson dari neuron A dan satunya lagi adalah dendrite dari neuron B. Kekuatan sinapsis ini bisa menurun atau meningkat tergantung kepada seberapa besar tingkat propagasi (penyiaran) sinyal yang diterimanya.

Jaringan saraf tiruan disusun dengan asumsi yang sama seperti jaringan saraf biologis, yaitu sebagai berikut:

1. Pengolahan informasi terjadi pada elemen-elemen pemrosesan (neuron-neuron).
2. Sinyal antara dua buah neuron diteruskan melalui link-link koneksi.
3. Setiap link koneksi memiliki bobot terasosiasi.

4. Setiap neuron menerapkan sebuah fungsi aktivasi terhadap input jaringan (jumlah sinyal input berbobot). Tujuannya adalah untuk menentukan sinyal output. Fungsi aktivasi yang digunakan biasanya fungsi yang nonlinear.

Adapun cara belajar jaringan saraf tiruan yaitu ke dalam jaringan saraf tiruan diinputkan informasi yang sebelumnya telah diketahui hasil keluarannya. Penginputan informasi ini dilakukan lewat *nodes* atau unit-unit input. Bobot-bobot antar koneksi dalam suatu arsitektur diberi nilai awal dan kemudian jaringan saraf tiruan dijalankan. Bobot-bobot ini bagi jaringan digunakan untuk belajar dan mengingat suatu informasi. Pengaturan bobot dilakukan secara terus-menerus dan dengan menggunakan kriteria tertentu sampai diperoleh keluaran yang diharapkan. Keanalogian antara jaringan saraf tiruan dengan jaringan saraf biologis dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.5 Keanalogian Jaringan Saraf Tiruan dan Jaringan Saraf Biologis

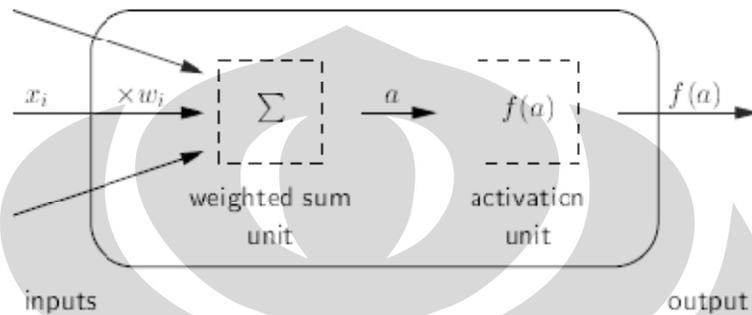
Jaringan Saraf Tiruan	Jaringan Saraf Biologis
<i>Node</i> atau unit	Badan sel (soma)
Input	Dendrit
Output	Akson
Bobot	Sinapsis

(Sumber: Pengantar Jaringan Saraf Tiruan oleh Diyah Puspitaningrum, 2006)

Hal yang ingin dicapai dengan melatih atau mengajari jaringan saraf tiruan adalah untuk mencapai keseimbangan antara kemampuan memorisasi dan generalisasi. Yang dimaksud dengan kemampuan memorisasi adalah kemampuan jaringan saraf tiruan untuk memanggil kembali secara sempurna sebuah pola yang telah dipelajari. Kemampuan generalisasi adalah kemampuan jaringan saraf tiruan untuk menghasilkan respons yang bisa diterima terhadap pola-pola *input* yang serupa (namun tidak identik) dengan pola-pola yang sebelumnya telah dipelajari. Hal ini sangat bermanfaat bila pada suatu saat ke dalam jaringan saraf tiruan diinputkan informasi baru yang belum pernah dipelajari, maka jaringan saraf tiruan itu masih akan tetap dapat memberikan tanggapan yang baik, memberikan keluaran yang paling mendekati. (Diyah Puspitaningrum, 2006)

2.4.4 Konsep Dasar *Artificial Neural Network*

Dasar arsitektur dari sebuah *Artificial Neural Network (ANN)* adalah neuron. Neuron adalah sebuah unit pemrosesan yang memiliki beberapa (biasanya lebih dari satu) *input* dan hanya satu *output* seperti terlihat pada gambar di bawah ini:

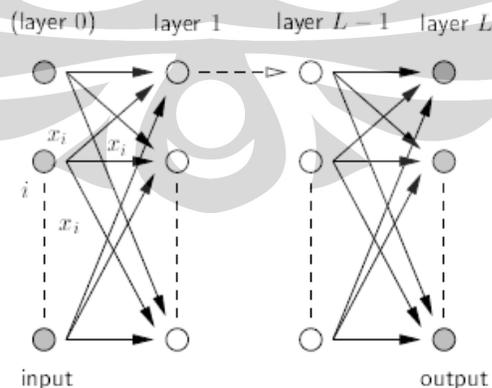


Gambar 2.9 Neuron dalam *Artificial Neural Network*

(Sumber: *The ANN Book* by R.M. Hristev, 1998)

Seperti yang terlihat pada gambar 2.9 di atas, pertama kali masing-masing input x_i diberi bobot dengan sebuah faktor w_i dan keseluruhan jumlah input dikalkulasikan sebagai $\sum_{\text{semua input}} w_i x_i = a$. Kemudian sebuah fungsi aktivasi f diberikan pada hasil a . Output dari neuron adalah dalam bentuk $f(a)$.

Secara umum, *ANN* dibangun dengan meletakkan neuron dalam lapisan-lapisan dan menghubungkan output neuron dari satu lapisan dengan input neuron lapisan berikutnya seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 2.10 Layout Umum dari Sebuah *Feedforward Neural Network*

(Sumber: *The ANN Book* by R.M. Hristev, 1998)

Jenis jaringan yang digambarkan pada gambar 2.10 di atas disebut *feedforward*, yang tidak memiliki *feedback* atau *loop*. Perlu diperhatikan bahwa tidak terdapat pemrosesan pada *layer 0*, fungsi *layer 0* hanya mendistribusikan input ke *layer* (lapisan) berikutnya. Pemrosesan data benar-benar dimulai pada *layer 1*. Output dari jaringan tersebut merupakan output dari lapisan terakhir yaitu *layer L*.

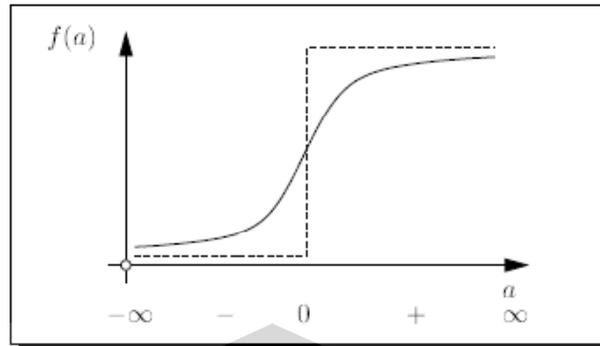
Variasi dalam neuron dapat saja terjadi. Output dari satu neuron bisa menjadi input dari beberapa neuron, termasuk dirinya sendiri. Jika output pada sebuah neuron dari satu lapisan menjadi input pada neuron dari lapisan sebelumnya, jaringan tersebut disebut *recurrent*, yang memiliki *feedback*. *Feedback* terjadi ketika output satu neuron pergi menuju neuron lainnya yang masih berada pada lapisan yang sama. Sehingga, untuk menghitung output, sebuah fungsi aktivasi diberikan pada jumlah input yang sudah diberi bobot. (Hristev,1998)

$$total\ input = a = \sum_{\text{semua input}} w_i \cdot x_i \dots\dots\dots(2.20)$$

$$output = \text{fungsi aktivasi} \left(\sum_{\text{semua input}} w_i \cdot x_i \right) = f(a) \dots\dots\dots(2.21)$$

2.4.5 Fungsi Aktivasi *Neural Network*

Neuron berperilaku sebagai fungsi. Neuron mentransformasi sebuah aktivasi input yang tidak dibatasi $x(t)$ pada suatu waktu t menjadi output signal $f(x(t))$. Biasanya sebuah *sigmodial* atau *S-shaped curve* digunakan untuk mendeskripsikan transformasinya, seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.11 *S-shaped Curve* Fungsi Aktivasi Neural Network

(Sumber: *The ANN Book* by R.M. Hristev, 1998)

Berdasarkan jenis neuron, fungsi aktivasi terdiri dari beberapa bentuk (Hristev, 1998), yaitu:

1. *Logistic*:

$$f(a) = \frac{1}{1+e^{-ca}} \dots\dots\dots(2.22)$$

dimana $c > 0$, $c = \text{constant}$, merupakan konstanta *scaling* positif. Derivatif aktivasinya adalah:

$$f' = \frac{df}{da} = cf(1-f) \dots\dots\dots(2.23)$$

Sehingga f meningkat secara monoton ($f > 0$). Fungsi ini merupakan salah satu yang sering digunakan.

2. *Hyperbolic-tangent*

$$f(a) = \tanh(ca) = \frac{e^{ca} - e^{-ca}}{e^{ca} + e^{-ca}} \dots\dots\dots(2.24)$$

dimana $c > 0$, $c = \text{constant}$, merupakan konstanta *scaling* positif. Derivatif aktivasinya adalah:

$$f' = \frac{df}{da} = c(1-f^2) > 0 \dots\dots\dots(2.25)$$

Sehingga f meningkat secara monoton ($f < 1$).

3. *Threshold*

$$f(a) = \begin{cases} 1 & \text{if } a \geq \frac{1}{c} \\ 0 & \text{if } a < 0 \\ ca & \text{otherwise } (x \in [0, 1/c]) \end{cases} \dots\dots\dots(2.26)$$

dimana $c > 0$, $c = \text{constant}$, merupakan konstanta *scaling* positif. Derivatif aktivasiya adalah:

$$f'(a) = \frac{df}{da} = \begin{cases} 0 & \text{if } a \in (-\infty, 0) \cup (1/c, \infty) \\ c & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots (2.27)$$

4. Exponential-distribution

$$f(a) = \max(0, 1 - e^{-ca}) \dots\dots\dots (2.28)$$

dimana $c > 0$, $c = \text{constant}$, merupakan konstanta *scaling* positif. Derivatif aktivasiya adalah:

$$f'(a) = \frac{df}{da} = ce^{-ca} \dots\dots\dots (2.29)$$

dan untuk $a > 0$, *supra-rhreshold signals* meningkat secara monoton ($f' > 0$).

5. Ratio-polynomial

$$f(a) = \max\left(0, \frac{a^n}{c+a^n}\right) \text{ for } n > 1 \dots\dots\dots (2.30)$$

dimana $c > 0$, $c = \text{constant}$. Derivatif aktivasiya adalah:

$$f' = \frac{df}{da} = \frac{cna^{n-1}}{(c+a^n)^2} \dots\dots\dots (2.31)$$

2.4.6 Arsitektur Neural Network

Pembagian arsitektur jaringan saraf tiruan (*Neural Network*) bisa dilihat dari kerangka kerja dan skema interkoneksi. Kerangka kerjanya bisa dilihat dari jumlah lapisan (*layer*) dan jumlah node pada setiap lapisan.

Lapisan-lapisan penyusun jaringan saraf tiruan dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Lapisan input

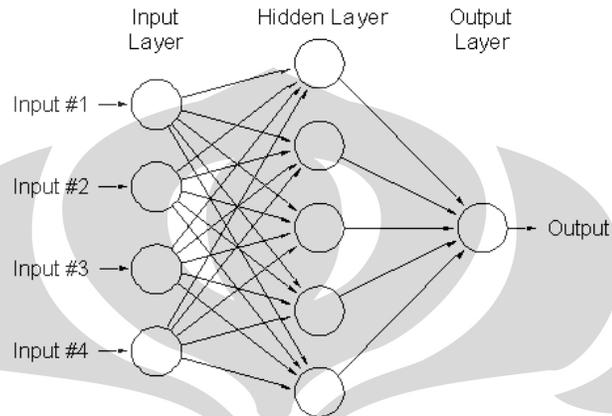
Node-node di dalam lapisan input disebut unit-unit input. Unit-unit input menerima input dari dunia luar. Input yang dimasukkan merupakan penggambaran dari suatu masalah.

2. Lapisan tersembunyi

Node-node di dalam lapisan tersembunyi disebut unit-unit tersembunyi. Output dari lapisan ini tidak secara langsung dapat diamati.

3. Lapisan output

Node-node pada lapisan output disebut unit-unit output. Keluaran atau output dari lapisan ini merupakan output jaringan saraf tiruan terhadap suatu permasalahan.



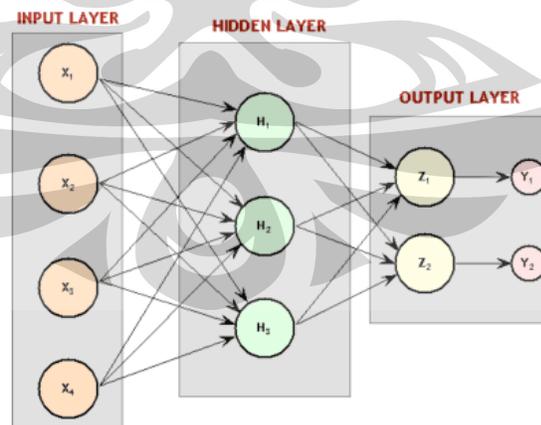
Gambar 2.12 Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan

(Sumber: Pengantar Jaringan Saraf Tiruan oleh Diyah Puspitaningrum, 2006)

Jaringan saraf tiruan dapat dibagi menjadi 2 kelompok yaitu:

1. Jaringan saraf tiruan umpan maju (*feed-forward network*)

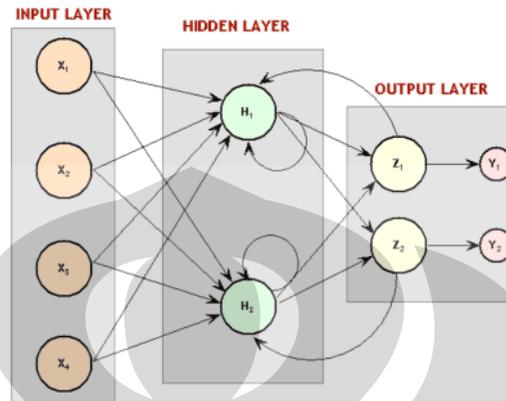
Jaringan saraf tiruan dengan arsitektur ini adalah graf yang bergerak maju dan tidak mempunyai loop.



Gambar 2.13 *Feed-forward Neural Network*

(Sumber: http://www.information-management.com/specialreports/2008_61/10000704-1.html)

2. Jaringan saraf tiruan berulang/umpan balik (*recurrent/feedback network*)
Ciri dari jaringan saraf tiruan yang memiliki arsitektur ini adalah adanya loop-loop koneksi umpan balik.



Gambar 2.14 *Recurrent/ Feedback Neural Network*

(Sumber: http://www.information-management.com/specialreports/2008_61/10000704-1.html)

Bentuk-bentuk arsitektur jaringan saraf tiruan adalah sebagai berikut:

1. Jaringan lapisan tunggal (*Single Layer Neural Network*)

Jaringan yang memiliki arsitektur jenis ini hanya memiliki satu buah lapisan bobot terkoneksi. Jaringan lapisan tunggal terdiri dari unit-unit input yang menerima sinyal dari luar, dan unit-unit output dimana kita bisa membaca respons dari jaringan saraf tiruan tersebut.

2. Jaringan multilapis (*Multilayer Neural Network*)

Jaringan multilapis merupakan jaringan dengan satu atau lebih lapisan tersembunyi. *Multilayer net* ini memiliki kemampuan lebih dalam memecahkan masalah bila dibandingkan dengan *single-layer net*, namun pelatihannya bisa lebih rumit.

3. Jaringan kompetitif

Pada jaringan ini sekumpulan neuron bersaing untuk mendapatkan hak menjadi aktif.

BAB 3

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai gambaran umum proses pengemasan di perusahaan tempat dilakukannya pengambilan data, tahap perencanaan eksperimen Taguchi, pengumpulan data, dan pengolahan data. Pada tahap perencanaan eksperimen Taguchi dijelaskan mengenai hal-hal yang harus dilakukan sebelum melaksanakan eksperimen. Pada pengumpulan data dibahas tentang data-data aktual yang dibutuhkan, sedangkan pada bagian pengolahan data dijelaskan mengenai pelaksanaan eksperimen dan pengolahan data hasil eksperimen.

3.1 Gambaran Umum Proses Pengemasan

Proses pengumpulan data pada skripsi ini dilakukan di suatu perusahaan yang bergerak di bidang *packaging* (pengemasan) yaitu PT. SMPI yang berlokasi di Pondok Bambu, Jakarta Timur. Secara umum proses produksi yang dilakukan di PT. SMPI Pondok Bambu meliputi proses pengemasan produk-produk seperti gula pasir, gula aren, kopi, *sweetener*, *creamer*, garam, merica, sedotan, dan tusuk gigi. Selain itu, juga terdapat proses *printing* (pencetakan) untuk kemasan berbahan dasar kertas dan *slitting* (pemotongan). Proses produksi yang dilakukan adalah berdasarkan pesanan sehingga urutan produksinya menjadi tidak rutin dan berubah-ubah sesuai dengan pesanan. Akibat urutan produksi yang berubah-ubah ini, sering dilakukan penyetelan ulang pada mesin-mesin yang digunakan baik untuk proses pengemasan maupun proses *printing* dan *slitting*.

Konsumen PT. SMPI Pondok Bambu ini terdiri dari berbagai jenis, antara lain:

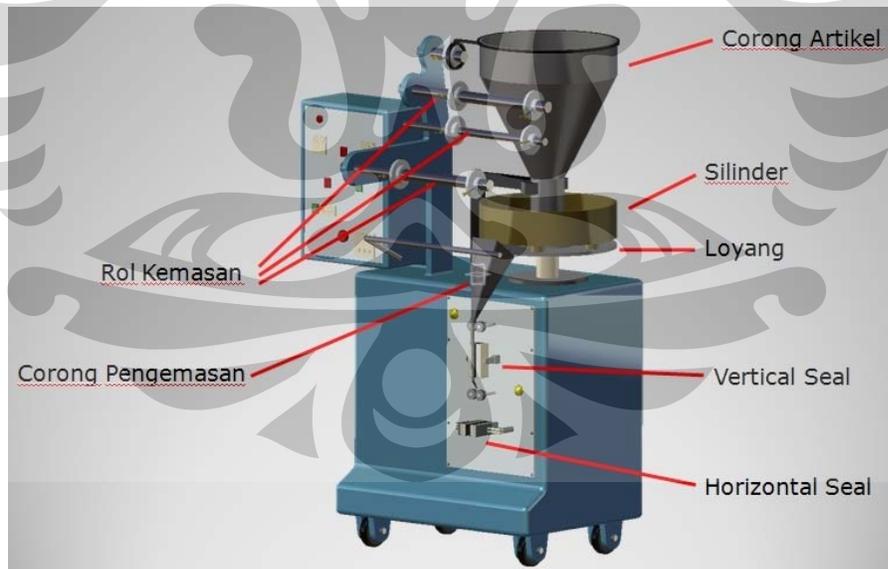
- a. Hotel, seperti: Hotel Ibis, Grand Zuri, Bumi Wiyata, Aston, The Ritz Carlton, Mulia Hotel, Hotel Nikko, dll
- b. Rumah sakit, seperti: Rumah Sakit Hermina, Rumah Sakit Panti Rapih, Rumah Sakit Mitra, RSPP, dll
- c. Cafe, seperti: The Café, Tamani Café, Themes Café, Noodle Café, dll

d. Restoran cepat saji (*fast food*), seperti: KFC, A&W, Burger King, Texas Chicken, dll

Mesin yang digunakan untuk proses pengemasan di PT. SMPI ada bermacam-macam antara lain mesin Erocima, mesin Sanko, mesin Chin Fong, mesin Masema, dan sebagainya. Mesin Erocima berbeda dari yang lainnya karena mesin ini memiliki 4 *line* produk sehingga dapat menghasilkan 4 produk di setiap waktunya. Hal ini berbeda dengan mesin Sanko, Chin Fong, dan Masema yang hanya memiliki 1 *line* produk sehingga jumlah produk yang dihasilkan oleh tiga jenis mesin tersebut dalam satu satuan waktu lebih sedikit dibandingkan dengan mesin Erocima.

3.1.1 Proses Pengemasan Gula Pasir dan *Creamer*

Proses pengemasan gula pasir dan *creamers* yang menjadi objek pada penelitian ini dilakukan dengan dua mesin yang berbeda. Proses pengemasan gula pasir dilakukan dengan mesin Sanko, sedangkan pengemasan *creamers* dilakukan dengan mesin Chin Fong. Berikut ini adalah gambar mesin pengemasan yang digunakan:

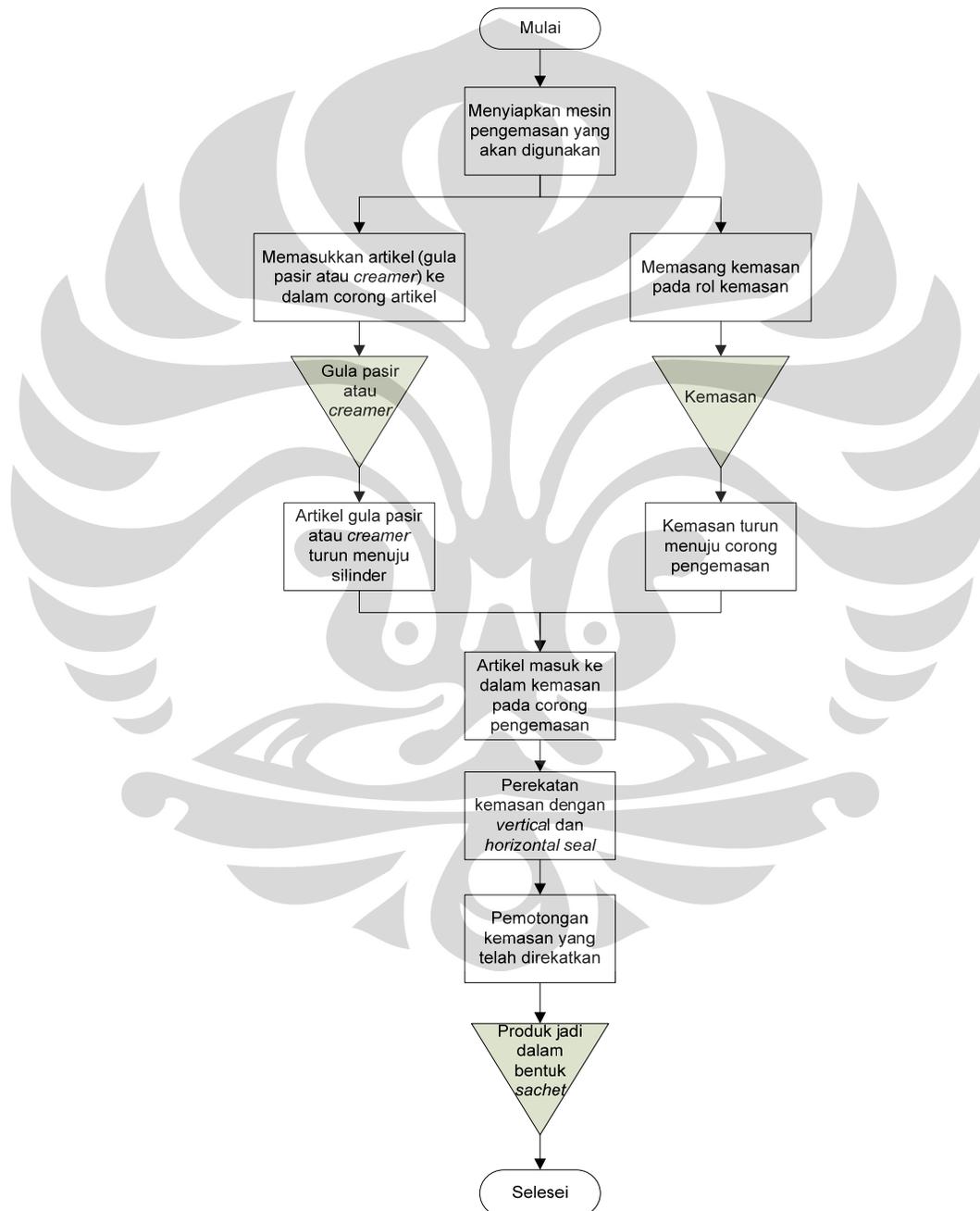


Gambar 3.1 Mesin Pengemasan

Pada dasarnya prinsip kerja mesin Sanko dan Chin Fong sama, perbedaannya hanya terletak pada sistem *sealing* yang digunakan. Pada mesin

Sanko, proses *vertical* dan *horizontal sealing* dilakukan sekaligus (secara bersamaan) sehingga pada mesinnya kedua jenis *seal* tersebut menjadi satu bagian sedangkan pada mesin Chin Fong kedua jenis *seal* tersebut terpisah seperti terlihat pada gambar 3.1 di atas.

Secara umum, proses pengemasan yang dilakukan dengan menggunakan mesin Sanko dan Chin Fong terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.2 Flowchart Proses Pengemasan

Seperti yang terlihat pada gambar 3.2 di atas, proses pengemasan gula pasir dan *creamer* dimulai dengan menyiapkan mesin pengemasan yang akan digunakan. Pada tahap ini, operator harus menyetel mesin dengan tepat agar produk yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan. Setelah mesin siap untuk digunakan, operator dapat memasukkan artikel yang akan dikemas berupa gula pasir atau *creamer* ke dalam corong artikel yang terletak di bagian atas mesin seperti yang terlihat pada gambar 3.1. Selain itu, operator juga harus memasang kemasan yang akan digunakan pada rol kemasan sesuai dengan urutan besinya sehingga kemasan dapat bergerak menuju corong pengemasan. Setelah artikel gula pasir atau *creamer* dimasukkan dan kemasan terpasang dengan baik, proses pengemasan tersebut akan berlangsung secara otomatis seperti yang tergambar pada *flowchart* di atas sehingga didapatkanlah produk jadi berupa gula pasir atau *creamer* yang sudah dikemas dalam bentuk *sachet*.

3.2 Desain Eksperimen Taguchi

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, desain eksperimen Taguchi terdiri dari tiga tahap yaitu perencanaan, pelaksanaan eksperimen, dan analisis. Tahap perencanaan eksperimen terdiri dari perumusan masalah, penentuan tujuan eksperimen, penentuan variabel tak bebas (respon kualitas), penentuan variabel bebas (faktor-faktor), pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan, penentuan jumlah level dan nilai level faktor, pemilihan *Orthogonal Array*, dan sebagainya. Perumusan masalah dan penentuan tujuan penelitian telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya, sehingga pada bab ini akan dijelaskan tahapan perencanaan selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

3.2.1 Penentuan Variabel Tak Bebas (Respon Kualitas)

Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain, disebut juga variabel respon. Dalam merencanakan suatu eksperimen harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas mana yang akan diselidiki. Pada penelitian ini, penentuan variabel tak bebas atau respon kualitas dilakukan dengan cara wawancara langsung dengan bagian *quality control* dan operator mesin. Dari wawancara tersebut didapatkan hasil bahwa

salah satu karakteristik yang menjadi ukuran kualitas produk yang dihasilkan adalah berat isi setiap kemasan (*sachet*). Dengan demikian, ditetapkan respon kualitas untuk penelitian ini adalah berat isi setiap kemasan gula pasir dan *creamer*. Berat isi tersebut memiliki target nilai yang telah ditetapkan yaitu 8 gram untuk gula pasir dan 3 gram untuk *creamer*.

3.2.2 Penentuan Variabel Bebas (Faktor)

Variabel bebas adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada penelitian ini, yang disebut variabel bebas adalah faktor-faktor yang mempengaruhi respon kualitas yang telah ditentukan yaitu berat isi setiap kemasan. Penentuan faktor pada penelitian ini dilakukan dengan cara pengamatan langsung terhadap objek penelitian yaitu proses pengemasan gula pasir dan *creamer*. Dari pengamatan langsung tersebut didapatkanlah gambaran umum mengenai faktor-faktor penyetelan yang berpengaruh terhadap berat isi gula pasir dan *creamer* dalam kemasan. Selain itu, juga dilakukan wawancara langsung dengan ahli proses yang benar-benar sudah memahami dan mengetahui seluk beluk mesin dan proses pengemasan. Dari pengamatan dan wawancara tersebut didapatkan faktor-faktor yang paling mempengaruhi respon kualitas (berat isi gula pasir dan *creamer* dalam kemasan) adalah:

1. Kecepatan Mesin

Kecepatan mesin (baik untuk mesin Sanko maupun Chin Fong) diukur dalam satuan *sachet* per menit. Kecepatan mesin ini menggambarkan kinerja mesin secara keseluruhan. Semakin tinggi kecepatan mesin berarti semakin cepat juga silinder berputar dan semakin cepat juga aliran artikel dan kemasan dalam proses tersebut. Jika kecepatan mesin terlalu tinggi, berat isi dalam setiap kemasan akan berkurang. Hal ini disebabkan karena banyak artikel yang tumpah atau tidak tepat masuk ke dalam corong pengemasan akibat silinder yang berputar terlalu cepat. Namun, jika kecepatan mesin terlalu rendah maka *output* (jumlah *sachet*) yang dihasilkan menjadi berkurang.

2. Jarak Silinder dengan Loyang

Silinder merupakan takaran jumlah artikel yang akan masuk ke dalam corong pengemasan sehingga sangat mempengaruhi berat setiap *sachet* yang dihasilkan. Setiap standar berat menggunakan silinder yang berbeda-beda sehingga operator tinggal memasang silinder sesuai dengan standar berat produk yang akan diproses, misalnya jika artikel yang akan diproses adalah gula pasir dengan standar berat 8 gram, maka silinder yang digunakan adalah silinder 8 gram, demikian juga untuk standar berat yang lainnya. Di bawah silinder tersebut terdapat loyang yang terbuat dari besi. Jarak silinder dengan loyang ini dapat diatur-atur sehingga juga mempengaruhi berat isi dalam kemasan. Semakin besar jarak silinder dengan loyang, maka artikel yang akan masuk ke dalam corong pengemasan akan semakin banyak. Demikian juga sebaliknya, semakin kecil jarak silinder dengan loyang (silinder dan loyang semakin rapat) maka semakin sedikit artikel yang bisa masuk ke corong pengemasan sehingga berat isi dalam setiap kemasan menjadi berkurang.

3. Kelembaban artikel

Kelembaban artikel gula pasir dan *creamer* juga mempengaruhi berat isi gula pasir dan *creamer* dalam kemasan. Artikel yang terlalu lembab (kadar airnya tinggi) akan menempel pada permukaan mesin yang dilewati sehingga jumlah yang masuk ke dalam setiap kemasan akan berkurang. Artikel yang menempel tersebut juga dapat membuat mesin menjadi rusak dan aus.

4. Temperatur ruang

Temperatur ruang dapat mempengaruhi mesin dan artikel gula pasir dan *creamer* yang akan diproses sehingga juga berpengaruh pada berat isi gula pasir dan *creamer* dalam setiap kemasan yang dihasilkan.

5. Kelembaban udara

Seperti halnya temperatur, kelembaban udara juga dapat mempengaruhi mesin dan artikel sehingga juga berpengaruh pada berat setiap *sachet* yang dihasilkan.

Proses pengemasan gula pasir dan *creamer* memiliki faktor-faktor yang sama karena prinsip kerja mesin pengemasan yang digunakan untuk kedua artikel tersebut sama.

3.2.3 Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Dalam metode Taguchi, faktor-faktor yang diamati terbagi atas faktor kontrol dan faktor gangguan. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan, sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau kendalikan, walaupun dapat kita atur akan membutuhkan biaya yang besar. Faktor kontrol dan faktor gangguan mendapatkan perlakuan yang berbeda pada *Orthogonal Array*. Faktor kontrol ditempatkan pada *inner array*, sedangkan faktor gangguan ditempatkan pada *outer array*-nya.

Dalam penelitian ini, terdapat 4 faktor kontrol, antara lain:

1. Temperatur ruang
2. Kelembaban artikel
3. Jarak silinder dengan loyang
4. Kecepatan mesin

Selain faktor-faktor kontrol, juga terdapat faktor gangguan (*noise*) yaitu kelembaban udara. Kelembaban udara menunjukkan kadar air yang terkandung dalam udara sehingga tidak dapat diatur atau dikendalikan. Tingkat kelembaban udara dapat berubah-ubah sehingga ditetapkan tiga macam kelembaban udara yaitu kelembaban udara pagi, kelembaban udara siang, dan kelembaban udara sore. Dengan demikian, dalam *orthogonal array* kelembaban udara direpresentasikan dengan waktu produksi, yaitu pagi, siang, dan sore.

3.2.4 Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil eksperimen dan biaya pelaksanaan eksperimen. Makin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen akan lebih teliti karena data yang diperoleh lebih banyak. Tetapi banyaknya level akan meningkatkan jumlah pengamatan sehingga meningkatkan biaya eksperimen. (Irwan, 2009)

Pada penelitian ini, jumlah level dan nilainya ditentukan dengan pengamatan langsung terhadap proses pengemasan gula pasir pada Mesin Sanko dan pengemasan *creamer* pada Mesin Chin Fong. Pada pengamatan tersebut dilakukan pencatatan *setting* mesin aktual sehingga dapat diketahui level penyetelan yang paling sering digunakan. Selain itu, juga dilakukan wawancara dengan para operator mesin untuk mengkonfirmasi hasil pengamatan yang diperoleh dengan pengalaman operator dalam menentukan *setting* mesin tersebut. Dari hasil pengamatan dan wawancara tersebut diperoleh level-level untuk setiap faktor. Setiap faktor kontrol dan faktor gangguan memiliki 3 level seperti yang terlihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3.1 Faktor Kontrol Proses Pengemasan Gula Pasir Beserta Levelnya

No	Faktor Kontrol	Level		
		1	2	3
A	Temperatur Ruang (°C)	27	28	30
B	Kelembaban Artikel (%)	0,09	0,14	0,21
C	Jarak Silinder dgn loyang (mm)	0	5	10
D	Kecepatan Artikel (sachet per menit)	95	105	115

Tabel 3.2 Faktor Kontrol Proses Pengemasan *Creamer* Beserta Levelnya

No	Faktor Kontrol	Level		
		1	2	3
A	Temperatur Ruang (°C)	24	25	26
B	Kelembaban Artikel (%)	2,5	2,8	3,5
C	Jarak Silinder dgn loyang (mm)	0	5	10
D	Kecepatan Artikel (sachet per menit)	58	60	62

Tabel 3.3 Faktor Gangguan Beserta Levelnya

No	Faktor Gangguan	Level		
		1	2	3
1	Waktu Produksi	Pagi	Siang	Sore

3.2.5 Pemilihan *Orthogonal Array*

Orthogonal Array adalah matriks seimbang dari faktor dan level sedemikian hingga pengaruh suatu faktor atau level tidak baur dengan pengaruh faktor atau level lain (Irwan, 2009). Pemilihan *Orthogonal Array* yang sesuai tergantung dari

jumlah faktor dan level yang digunakan dalam eksperimen. Pada penelitian ini, pemilihan *Orthogonal Array* dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab. Dari Minitab, didapatkan informasi bahwa *Orthogonal Array* standar yang mungkin digunakan untuk eksperimen dengan 4 faktor dan 3 level ada 2 macam yaitu $L_9(3^4)$ dan $L_{27}(3^{13})$.

Menurut Irwan Soejanto (2009), agar dapat menentukan *Orthogonal Array* yang sesuai dengan eksperimen, perlu dilakukan perhitungan derajat kebebasan faktor-faktor dan level-level untuk kemudian dibandingkan dengan derajat kebebasan *Orthogonal Array* yang akan dipilih. Perhitungan derajat kebebasannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Derajat kebebasan faktor dan level} &= (\text{jumlah faktor}) \times (\text{jumlah level} - 1) \\ &= 4 \times (3 - 1) \\ &= 8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Derajat kebebasan } L_9(3^4) &= (\text{jumlah faktor}) \times (\text{jumlah level} - 1) \\ &= 4 \times (3 - 1) \\ &= 8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Derajat kebebasan } L_{27}(3^{13}) &= (\text{jumlah faktor}) \times (\text{jumlah level} - 1) \\ &= 13 \times (3 - 1) \\ &= 26 \end{aligned}$$

Ketentuan dalam memilih *Orthogonal Array* yang cocok atau sesuai dengan eksperimen adalah derajat kebebasan pada *Orthogonal Array* standar harus lebih besar atau sama dengan derajat kebebasan faktor dan level eksperimen. Dengan demikian, *Orthogonal Array* yang cocok untuk eksperimen ini adalah $L_9(3^4)$. Eksperimen ini terdiri dari 4 faktor kontrol dan 1 faktor gangguan. Untuk memisahkan faktor kontrol dan faktor gangguan (*noise*) tersebut digunakan *Orthogonal Array* yang terdiri dari *inner array* dan *outer array*. Faktor kontrol ditempatkan pada kolom-kolom *inner array*, sedangkan faktor gangguan ditempatkan pada *outer array*-nya. Adapun rancangan *Orthogonal Array* untuk eksperimen ini terlihat pada tabel berikut:

Tabel 3.4 *Orthogonal Array* $L_9(3^4)$

Eksperimen	Inner Array				Outer Array		
	Faktor Kontrol				Output		
					Faktor Gangguan (<i>Noise</i>)		
1	2	3	4	N1	N2	N3	
1	1	1	1	1			
2	1	2	2	2			
3	1	3	3	3			
4	2	1	2	3			
5	2	2	3	1			
6	2	3	1	2			
7	3	1	3	2			
8	3	2	1	3			
9	3	3	2	1			

3.3 Pengumpulan Data Aktual

Pada penelitian ini, eksperimen yang akan dilaksanakan dimodelkan dengan suatu jaringan yang disebut dengan *Artificial Neural Network (ANN)*. Jaringan tersebut dapat memprediksi atau menyimpulkan sesuatu berdasarkan pengalaman atau apa yang sudah dipelajarinya sehingga diperlukan suatu proses pembelajaran sebelum jaringan tersebut dapat mengeluarkan *output* tertentu. *User* harus memasukkan *input-input* tertentu sesuai dengan proses yang akan dimodelkan ke dalam *ANN* agar *ANN* dapat mempelajari pola dari *input-input* tersebut dan menyimpannya dalam memori. Pada penelitian ini, proses yang akan dimodelkan adalah proses pengemasan gula pasir dan *creamer*. Dengan demikian, perlu dilakukan pengumpulan data aktual mengenai proses-proses tersebut untuk dijadikan *input* pada proses pembelajaran *ANN*. Data aktual yang dikumpulkan sesuai dengan faktor-faktor kontrol yang telah ditetapkan sebelumnya.

Pengumpulan data aktual dilakukan dengan mengamati proses pengemasan gula pasir dan *creamer* yang sedang berjalan. Kemudian dilakukan pencatatan mengenai penyetelan mesin aktual yang digunakan dan berat isi setiap kemasan gula pasir dan *creamer* yang dihasilkan. Dari hasil pencatatan tersebut diperoleh serangkaian data mengenai kombinasi faktor dan level yang digunakan saat ini (aktual) beserta berat isi setiap kemasan gula pasir dan *creamer* yang dihasilkan

dengan kondisi penyetelan mesin yang bersangkutan. Data-data tersebut akan menjadi *input* untuk proses pembelajaran ANN.

Pada proses pengemasan gula pasir di Mesin Sanko, jumlah data berat gula pasir yang dikumpulkan adalah sebanyak 216 data. Data tersebut disusun menjadi kombinasi-kombinasi faktor dan level. Setiap kombinasi faktor dan level tersebut memiliki 6 data *output*. Hal ini sesuai dengan metode *sampling* perusahaan yang dalam setiap pengambilan sampelnya selalu mengambil 6 *sachet* gula pasir yang keluar secara berurutan dari mesin pengemasan. Setiap *sachet* gula pasir tersebut kemudian ditimbang dengan timbangan digital untuk memperoleh nilai beratnya. Pengambilan 6 *sachet* tersebut didasarkan pada keadaan Mesin Sanko yang memiliki 6 buah lubang silinder yang selalu berputar. Dengan demikian, setiap *sachet* gula pasir yang diambil berasal dari silinder yang berbeda karena diambil secara berurutan. Demikian pula dengan proses pengemasan *creamer* di Mesin Chin Fong. Seperti pada proses pengemasan gula pasir, data *creamer* yang diambil juga sebanyak 216 data yang kemudian disusun menjadi kombinasi faktor dan level. Setiap kombinasi faktor dan level juga memiliki 6 data *output* karena Mesin Chin Fong yang digunakan untuk mengemas *creamer* juga memiliki 6 lubang silinder.

3.4 Pengolahan Data

Pada bagian pengolahan data ini akan dilakukan eksperimen berdasarkan kombinasi faktor dan level pada *Orthogonal Array* yang telah ditentukan. Namun, eksperimen yang sesungguhnya tidak dapat dilaksanakan karena berbagai keterbatasan sumber daya yang ada. Oleh karena itu, digunakanlah model tiruan *Artificial Neural Network (ANN)* atau yang biasa disebut Jaringan Saraf Tiruan untuk memodelkan eksperimen tersebut.

Artificial Neural Network (ANN) dapat diartikan sebagai susunan elemen-elemen penghitung yang disebut neuron atau titik yang saling terhubung guna dimodelkan untuk meniru fungsi otak manusia. Jaringan ini dapat menarik kesimpulan atau memberikan keluaran berdasar pada pengalamannya selama mengikuti proses pembelajaran. Pada proses pembelajaran, ke dalam *ANN* dimasukkan pola-pola *input* (dan *output*), lalu jaringan akan diajarkan untuk

memberikan jawaban yang bisa diterima (Dyah Puspitaningrum, 2006). Dengan demikian, sebelum kita melaksanakan eksperimen berdasarkan *Orthogonal Array* yang telah ditentukan, kita perlu memberikan pembelajaran kepada *ANN* yang akan digunakan.

3.4.1 Proses Pembelajaran *ANN*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, *ANN* perlu melakukan proses pembelajaran sebelum dapat memberikan kesimpulan atau keluaran mengenai suatu hal. Pada penelitian ini, model *ANN* yang digunakan adalah dalam bentuk software *NNpred (NN for prediction)*. Software ini adalah dalam bentuk *Microsoft Office Excel* yang menggunakan *Macros Visual Basic*. Struktur jaringan yang digunakan adalah *Multilayer Perceptron* dan *Feed Forward*. *Multilayer Perceptron* menandakan struktur model yang terdiri lebih dari satu lapisan *neuron* atau elemen proses. Seluruh *output* pada setiap lapisan terhubung dengan seluruh *input* pada lapisan selanjutnya yang dihubungkan oleh lapisan yang tersembunyi diantara kedua lapisan tersebut (*Hidden layer*). Lapisan yang pertama adalah lapisan *input*, dimana jaringan menerima parameter-parameter masukan yang digunakan baik saat pembelajaran maupun dalam mengenali suatu objek. Lapisan terakhir adalah lapisan *output*, dimana keluaran akan diterima sebagai hasil dari pengenalan suatu objek. Sementara *Feed forward* menandakan arah jalannya sinyal masukan (*input*) yang maju ke depan melalui lapisan-lapisan berikutnya.

Metode pembelajaran yang digunakan adalah metode pembelajaran terbimbing (*supervised learning method*) yaitu metode yang memasukkan target keluaran ke dalam data untuk proses pembelajarannya. Pada penelitian ini, data yang dimasukkan adalah berupa kombinasi faktor dan level proses aktual beserta target keluarannya yaitu berat isi gula pasir dan *creamer* dalam setiap kemasan.

Algoritma pelatihan yang digunakan adalah *Back Propagation* atau Propagasi Balik. Algoritma ini termasuk dalam metode pembelajaran terbimbing dan didesain untuk operasi pada jaringan *Multilayer Perceptron* dan *Feed Forward*. Prinsip kerja dari algoritma ini adalah ketika jaringan diberikan pola masukan sebagai pola pelatihan maka pola tersebut menuju ke unit-unit pada lapisan tersembunyi untuk diteruskan ke unit-unit lapisan keluaran. Kemudian

unit-unit lapisan keluaran memberikan tanggapan yang disebut sebagai keluaran jaringan. Saat keluaran jaringan tidak sama dengan keluaran yang diharapkan maka keluaran akan menyebar mundur (*backward*) pada lapisan tersembunyi diteruskan ke unit pada lapisan masukan. Oleh karena itu, mekanisme pembelajarannya dinamakan propagasi balik.

Tahap awal yang perlu dilakukan dalam menggunakan model tiruan *ANN* adalah memasukkan data *input*. Pada penelitian ini, data *input* yang dimasukkan terdiri dari 11 variabel dengan tipe yang berbeda-beda yaitu:

Tabel 3.5 Variabel Model Tiruan *ANN*

No	Nama Variabel	Tipe Variabel
1	Temperatur Ruang	Continuous
2	Kelembaban Artikel	Continuous
3	Jarak Silinder dengan Loyang	Continuous
4	Kecepatan Mesin	Continuous
5	Waktu Produksi	Categorical
6	Berat 1	Output
7	Berat 2	Output
8	Berat 3	Output
9	Berat 4	Output
10	Berat 5	Output
11	Berat 6	Output

Seperti terlihat pada tabel di atas, variabel 1-4 merupakan faktor-faktor kontrol, variabel 5 merupakan faktor gangguan (*noise*), sedangkan variabel 6-11 merupakan respon kualitasnya. Variabel 5 memiliki tipe *categorical* karena nilai variabel ini hanya 3 macam yaitu pagi, siang, dan sore. Variabel dengan tipe *output* ada 6 macam karena setiap kombinasi faktor dan level memiliki 6 *output* berat gula pasir atau *creamer* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada penelitian ini, digunakan 2 model tiruan *ANN* yang terdiri *ANN* untuk eksperimen proses pengemasan gula pasir dan *ANN* untuk eksperimen proses pengemasan *creamer*. Walaupun demikian, jumlah dan jenis variabel yang digunakan untuk

kedua jenis model tersebut sama, perbedaannya hanya terletak pada nilai setiap variabelnya.

Setelah memasukkan data *input*, tahap selanjutnya adalah penyetelan parameter model. Parameter model yang perlu disetel terlihat pada gambar di bawah ini:

Network Architecture Options

Number of Inputs (between 2 and 50)	5	Number of Outputs (between 1 and 10)	6
Number of Hidden Layers (1 or 2)	1	Hidden Layer sizes (Maximum 20)	Hidden 1: 2, Hidden 2: 0
Learning parameter (between 0 and 1)	0,5	Initial Wt Range (0 +/- w): w =	0,5
Momentum (between 0 and 1)	0		

Training Options

Total #rows in your data (Minimum 10)	36	No. of Training cycles (Maximum 500)	100
Present Inputs in Random order while Training?	NO	Training Mode (Batch or Sequential)	Sequential

Save Network weights With least Training Error

Training / Validation Set Partition data into Training / Validation set

If you want to partition, how do you want to select the Validation set?
Please choose one option: 1

Option 1: Randomly select 10% of data as Validation set (between 1% and 50%)
Option 2: Use last 5 rows of the data as validation set

Save model in a separate workbook? NO

Build Model

Gambar 3.3 Parameter Model Tiruan ANN

Seperti terlihat pada gambar di atas, 11 variabel yang dimasukkan terbagi menjadi 5 *input* dan 6 *output*. *NNpred* hanya bisa membuat model dengan *input* sebanyak 2-50 *input* dan *output* sebanyak 1-10 *ouput*. Jumlah *hidden layer* yang digunakan adalah 1. *Hidden layer* merupakan lapisan tersembunyi yang terletak di antara lapisan *input* dan lapisan *output ANN*. Setiap *hidden layer* yang digunakan ditetapkan memiliki 2 neuron (elemen pemroses) sehingga *hidden layer sizes*-nya adalah 2. *NNpred* hanya bisa membuat model dengan jumlah *hidden layer* 1 atau 2 dengan maksimum 20 *hidden layer sizes*. Selain itu, kita juga harus menentukan jumlah *Training Cycles* atau biasa disebut dengan *Epoch*. *Epoch* adalah jumlah interaksi yang diperlukan dalam proses pembelajaran *ANN*. *NNpred* hanya bisa membuat model dengan jumlah maksimum iterasi sebanyak 500 kali.

Setelah penyetelan parameter *ANN* selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah memulai proses pembelajarannya dengan menekan tombol “*Build Model*” pada menu *NNpred*. Pada saat proses pembelajaran ini, *ANN* mengalikan sejumlah

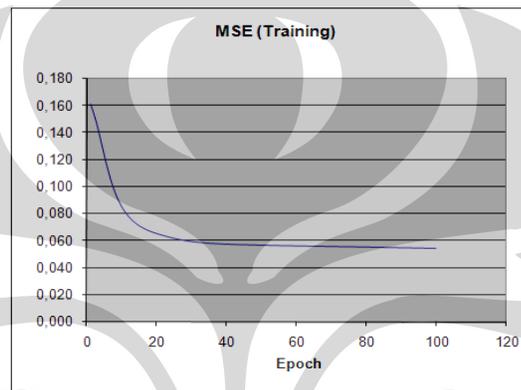
sinyal masukan (a) dengan masing-masing penimbang yang bersesuaian (w). Kemudian dilakukan penjumlahan dari seluruh hasil perkalian tersebut dan keluaran yang dihasilkan ditransformasikan ke dalam fungsi pengaktif untuk mendapatkan tingkat derajat sinyal keluarannya yang dapat diulis dalam bentuk $F(a,w)$.

Proses pembelajaran *ANN* ini dilakukan berulang kali dan akan berhenti jika *ANN* tersebut telah mendapatkan nilai *error* yang terkecil. Pada saat pengulangan proses pembelajaran tersebut, nilai parameter yang disetel di awal tadi dapat diganti-ganti. Setiap kombinasi parameter model menghasilkan nilai *error* yang berbeda-beda dan penggantian nilai parameter tersebut dilakukan berulang kali sampai didapatkan kombinasi parameter yang menghasilkan nilai *error* terkecil. Berikut ini adalah kombinasi parameter model yang menghasilkan nilai *error* terkecil dari beberapa proses pembelajaran yang dilakukan:

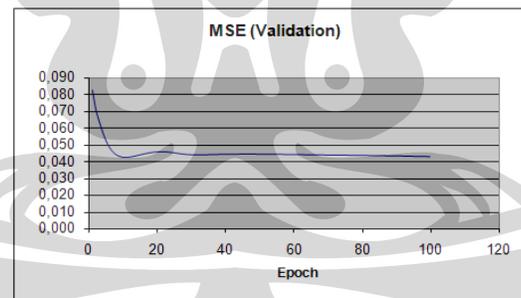
Tabel 3.6 Parameter Model Tiruan *ANN* dengan *Error* Terendah

<i>Network Architecture Options</i>		
Jenis Eksperimen	Gula pasir	<i>Creamer</i>
<i>Number of Inputs</i>	5	5
<i>Number of Hidden Layers</i>	1	1
<i>Number of Outputs</i>	6	6
<i>Learning Parameter</i>	0.5	0,5
<i>Momentum</i>	0	0
<i>Hidden layer sizes</i>	2	2
<i>Initial Weight Range</i>	0.5	0,5
<i>Training Options</i>		
<i>Total rows</i>	36	36
<i>Random inputs while training</i>	No	No
<i>Number of training cycles</i>	100	100
<i>Training mode</i>	<i>Sequential</i>	<i>Sequential</i>
<i>Save Network Weight</i>	<i>With Least Training Error</i>	<i>With Least Training Error</i>

Model tiruan *NN* yang digunakan untuk memprediksi nilai keluaran proses (respon kualitas) memiliki dua macam satuan untuk memprediksi kesalahan (*NN Pred Tutorial*, 2002). *MSE (Mean Squared Error)* menghitung selisih antara *actual output* dengan *predicted output*. Sementara *ARE (Absolute Relative Error)* merupakan persentase dari selisih tersebut. Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan perubahan nilai kesalahan (*error*) dalam iterasi proses pembelajaran yang dilakukan *ANN* beserta nilai *error* terkecil yang diperoleh.



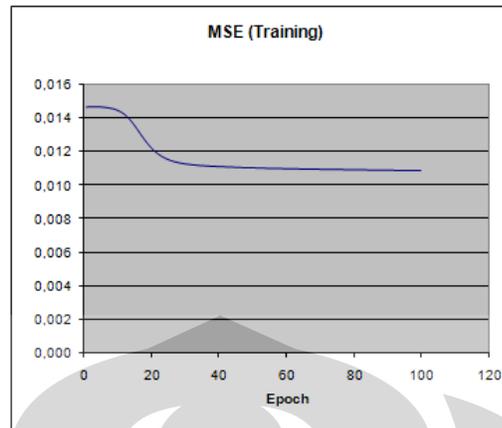
Gambar 3.4 Grafik Perubahan *Error* pada *Training Proses ANN Gula Pasir*



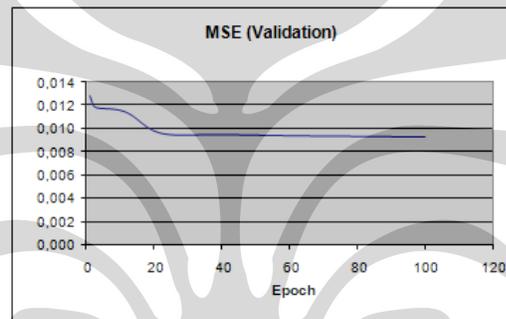
Gambar 3.5 Grafik Perubahan *Error* pada *Validation Proses ANN Gula Pasir*

Tabel 3.7 Data Prediksi *Error ANN* Proses Pengemasan Gula Pasir

<i>Average Error per Input (Gula pasir)</i>			
<i>Training Set</i>		<i>Validation Set</i>	
<i>MSE (Original Scale)</i>	<i>ARE (%)</i>	<i>MSE (Original Scale)</i>	<i>ARE (%)</i>
0,055	2,55%	0,043	2,30%



Gambar 3.6 Grafik Perubahan *Error* pada *Training Proses ANN Creamer*



Gambar 3.7 Grafik Perubahan *Error* pada *Validation Proses ANN Creamer*

Tabel 3.8 Data Prediksi *Error ANN* Proses Pengemasan *Creamer*

Average Error per Input (Creamer)			
<i>Training Set</i>		<i>Validation Set</i>	
MSE (<i>Original Scale</i>)	ARE (%)	MSE (<i>Original Scale</i>)	ARE (%)
0,011	3,26	0,009	2,87

3.4.2 Pelaksanaan Eksperimen dengan Model Tiruan ANN

Setelah selesai melakukan proses pembelajaran dan memperoleh nilai *error* terkecil, *ANN* siap digunakan untuk memodelkan eksperimen yang tidak dapat dilaksanakan secara aktual. Model *ANN* tersebut dapat memprediksi nilai keluaran dari proses yang dimodelkan. Pada penelitian ini, eksperimen telah didesain dengan menggunakan *Orthogonal Array L9* yang terdiri dari 9 kombinasi faktor kontrol dan levelnya yang terdapat pada *inner array*. Sedangkan pada *outer array*,

terdapat tiga level faktor pengganggu (*noise*) untuk setiap kombinasi faktor kontrol sehingga jumlah eksperimen yang perlu dilakukan adalah sebanyak 27 eksperimen. Untuk mendapatkan nilai keluaran (*output*) dari eksperimen tersebut, kita hanya perlu memasukkan nilai level dari setiap kombinasi faktor-faktor berdasarkan *Orthogonal Array* yang telah ditentukan ke dalam *sheet calc* pada *NNpred software*. Setelah itu, model tiruan tersebut akan mengeluarkan nilai keluaran dari setiap kombinasi yang dimasukkan. Berikut ini adalah tampilan *sheet calc* pada *NNpred software*:

Gambar 3.8 Tampilan *Sheet Calc* pada *NNpred Software*

Rata-rata hasil eksperimen proses pengemasan gula pasir dan *creamer* dapat dilihat pada tabel-tabel di bawah ini:

Tabel 3.9 Hasil Eksperimen Proses Pengemasan Gula Pasir

Eksperimen	Temperatur Ruang (°C)	Kelembaban Artikel (%)	Jarak Silinder dengan Loyang (mm)	Kecepatan Mesin (sachet per menit)	Berat Gula (gram)		
					Waktu Produksi		
					Pagi	Siang	Sore
1	27	0,09	0	95	7,1790	7,0185	7,2184
2	27	0,14	5	105	7,4639	7,3660	7,6118
3	27	0,21	10	115	7,7762	7,7047	7,8135
4	28	0,09	5	115	7,6687	7,6030	7,7588
5	28	0,14	10	95	7,5426	7,5219	7,6837
6	28	0,21	0	105	7,1776	7,0162	7,2337
7	30	0,09	10	105	7,7121	7,7066	7,7893
8	30	0,14	0	115	7,3370	7,1984	7,4736
9	30	0,21	5	95	7,2476	7,1174	7,3382

Tabel 3.10 Hasil Eksperimen Proses Pengemasan *Creamer*

Eksperimen	Temperatur Ruang (°C)	Kelembaban Artikel (%)	Jarak Silinder dengan Loyang (mm)	Kecepatan Mesin (sachet per menit)	Berat Creamer (gram)		
					Waktu Produksi		
					Pagi	Siang	Sore
1	24	2,5	0	58	2,82635	2,784862	2,755913
2	24	2,8	5	60	2,827777	2,790958	2,75497
3	24	3,5	10	62	2,816152	2,789159	2,749064
4	25	2,5	5	62	2,832463	2,800194	2,757946
5	25	2,8	10	58	2,895772	2,859623	2,837971
6	25	3,5	0	60	2,787311	2,765226	2,737413
7	26	2,5	10	60	2,894313	2,858451	2,841914
8	26	2,8	0	62	2,806317	2,782866	2,74458
9	26	3,5	5	58	2,870813	2,834783	2,796618

3.4.3 Perhitungan *S/N Ratio* Hasil Eksperimen

Setelah mendapatkan nilai *output* untuk setiap kombinasi faktor dan level, langkah selanjutnya adalah mentransformasikan hasil eksperimen tersebut ke dalam *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 dan variasi (Park,1996). Melalui perhitungan *S/N Ratio* ini, salah satu tujuan eksperimen Taguchi yaitu meminimalkan sensitivitas karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan (*noise*) dapat dicapai. Semakin tinggi nilai *S/N Ratio* maka kualitas suatu produk atau proses semakin baik karena nilai *S/N Ratio* yang tinggi menunjukkan semakin kecilnya variasi karakteristik kualitas di sekitar nilai target atau semakin kokoh/kuatnya suatu proses terhadap faktor gangguan (*noise*) yang ada.

Setiap kategori karakteristik kualitas yaitu *larger is better*, *nominal is the best*, dan *smaller is better* memiliki formula *S/N Ratio* yang berbeda-beda. Penelitian ini termasuk dalam kategori *nominal is the best* karena respon kualitasnya memiliki nilai target yang telah ditetapkan. Nilai target untuk berat gula pasir adalah 8 gram sedangkan nilai target untuk berat *creamers* adalah 3 gram. Jika pencapaian nilai mendekati nilai target yang telah ditetapkan, maka kualitasnya semakin baik. Formula perhitungan *S/N Ratio* untuk karakteristik kualitas *nominal is the best* yaitu:

$$\eta = 10 \log \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right) \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan:

μ^2 = kuadrat nilai rata-rata dari setiap kombinasi (eksperimen)

σ^2 = varians setiap kombinasi (eksperimen)

Hasil perhitungan *S/N Ratio* untuk setiap kombinasi faktor dan level pada eksperimen proses pengemasan gula pasir dan *creamer* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.11 Perhitungan *S/N Ratio* Hasil Eksperimen Gula Pasir

Eksperimen	Temperatur Ruang (°C)	Kelembaban Artikel (%)	Jarak Silinder dengan Loyang (mm)	Kecepatan Mesin (sachet per menit)	Total	Mean	Variance	<i>S/N Ratio</i>
1	27	0,09	0	95	128,50	7,1386	0,0110	36,6657
2	27	0,14	5	105	134,65	7,4806	0,0117	36,8143
3	27	0,21	10	115	139,77	7,7648	0,0033	42,5599
4	28	0,09	5	115	138,18	7,6768	0,0053	40,4297
5	28	0,14	10	95	136,49	7,5827	0,0063	39,5741
6	28	0,21	0	105	128,57	7,1425	0,0116	36,4241
7	30	0,09	10	105	139,25	7,7360	0,0025	43,8039
8	30	0,14	0	115	132,05	7,3363	0,0147	35,6497
9	30	0,21	5	95	130,22	7,2344	0,0111	36,7435

Tabel 3.12 Perhitungan *S/N Ratio* Hasil Eksperimen *Creamer*

Eksperimen	Temperatur Ruang (°C)	Kelembaban Artikel (%)	Jarak Silinder dengan Loyang (mm)	Kecepatan Mesin (sachet per menit)	Mean	Variance	<i>S/N Ratio</i>
1	24	2,5	0	58	2,7890	0,0017	36,6102
2	24	2,8	5	60	2,7912	0,0017	36,6553
3	24	3,5	10	62	2,7848	0,0016	36,7973
4	25	2,5	5	62	2,7969	0,0017	36,6626
5	25	2,8	10	58	2,8645	0,0012	38,4840
6	25	3,5	0	60	2,7633	0,0015	36,9328
7	26	2,5	10	60	2,8649	0,0011	38,7511
8	26	2,8	0	62	2,7779	0,0016	36,8744
9	26	3,5	5	58	2,8341	0,0015	37,2342

BAB 4

ANALISIS

Bab ini berisi tentang analisis-analisis yang dilakukan terhadap hasil eksperimen. Analisis tersebut terdiri dari analisis hasil eksperimen gula pasir dan analisis hasil eksperimen *creamer*. Analisis-analisis yang dilakukan meliputi *Main Effect Analysis* dan *Analysis of Variance (ANOVA)*. Selain itu, juga dijelaskan mengenai eksperimen konfirmasi yang dilakukan dengan menggunakan hasil analisis-analisis tersebut baik untuk proses pengemasan gula pasir maupun proses pengemasan *creamer*.

4.1 Analisis Hasil Eksperimen Gula Pasir

Hasil eksperimen yang telah diperoleh selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan kombinasi level yang paling optimal yang dapat membuat proses tidak sensitif terhadap faktor gangguan yang ada. Karena desain eksperimen Taguchi memiliki dua tujuan utama yaitu meminimalkan deviasi respon kualitas dari nilai target dan mengurangi variasi respon kualitas tersebut, maka analisis yang dilakukan ada dua macam yaitu analisis pengaruh faktor terhadap rata-rata respon kualitas (untuk meminimalkan deviasi) dan pengaruh faktor terhadap variabilitas respon kualitas (untuk mengurangi variasi respon kualitas).

4.1.1 Pengaruh Faktor Terhadap Rata-Rata Berat Isi Gula Pasir dalam Kemasan

Untuk mengetahui pengaruh faktor terhadap rata-rata berat isi gula pasir dalam kemasan, perlu dilakukan analisis langsung terhadap data hasil eksperimen. Analisis tersebut terdiri dari *Main Effect Analysis* dan *Analysis of Variance (ANOVA)*.

4.1.1.1 *Main Effect Analysis* dari Rata-rata Hasil Eksperimen Gula Pasir

Main Effect Analysis dari rata-rata hasil eksperimen gula pasir bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata berat isi gula pasir dalam kemasan. Pada analisis ini dilakukan perhitungan terhadap rata-rata

berat gula pasir untuk setiap level faktor dalam eksperimen. Misalnya, untuk faktor temperatur ruang, dilakukan perhitungan rata-rata berat gula pasir di saat temperatur ruang diset pada level 1 (27°C) yaitu pada eksperimen ke-1, 2, dan 3, kemudian juga dihitung rata-rata berat gula pasir di saat temperatur ruang diset pada level 2 (28°C) yaitu pada eksperimen ke-4, 5, dan 6, serta ketika temperatur ruang diset pada level 3 (30°C) yaitu pada eksperimen ke-7,8, dan 9. Setelah mendapatkan rata-rata berat gula pasir untuk ketiga level tersebut, kemudian dihitung juga selisih antara nilai rata-rata yang terbesar dengan terkecil untuk mengetahui pengaruh faktor terhadap rata-rata berat isi gula pasir dalam kemasan. Berikut ini adalah hasil perhitungan *Main Effect Analysis* dari rata-rata hasil eksperimen:

Tabel 4.1 *Main Effect Analysis* dari Rata-rata Hasil Eksperimen Gula Pasir

No	Faktor	Rata-rata Level 1	Rata-rata Level 2	Rata-rata Level 3	Selisih	Peringkat
1	Temperatur Ruang	7,4613	7,4674	7,4356	0,0318	4
2	Kelembaban Artikel	7,5172	7,4666	7,3806	0,1366	3
3	Jarak Silinder	7,2058	7,4639	7,6945	0,4887	1
4	Kecepatan Mesin	7,3186	7,4530	7,5927	0,2741	2

Dari tabel di atas, dapat kita lihat bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap rata-rata berat isi gula pasir adalah jarak silinder dengan loyang. Hal ini terlihat dari selisih antara rata-rata terbesar dan terkecilnya yang memiliki nilai paling tinggi dibandingkan dengan tiga faktor lainnya yaitu sebesar 0,4887 gram. Faktor yang paling berpengaruh peringkat kedua adalah kecepatan mesin dengan nilai selisih sebesar 0,2741 gram. Sedangkan faktor yang memiliki pengaruh terkecil adalah temperatur ruang yang memiliki nilai selisih paling kecil dibandingkan dengan faktor-faktor lainnya yaitu sebesar 0,0318 gram.

4.1.1.2 *Analysis of Variance (ANOVA)* dari Rata-rata Hasil Eksperimen Gula Pasir

Analysis of Variance (ANOVA) pada metode Taguchi digunakan sebagai suatu metode statistik untuk menginterpretasikan data-data hasil eksperimen. *ANOVA* adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif

memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. *ANOVA* yang biasa digunakan pada metode Taguchi adalah *Two Way ANOVA* (*ANOVA* dua arah). *Two Way ANOVA* digunakan untuk data eksperimen yang terdiri dari dua faktor atau lebih dengan dua level atau lebih. Tabel *Two Way ANOVA* terdiri dari perhitungan *degree of freedom (dof)*, *sum of square (SS)*, *mean squares (MS)*, dan *F-ratio*.

Pada eksperimen ini, *ANOVA* digunakan untuk mengidentifikasi kontribusi dari setiap faktor kontrol terhadap berat isi gula pasir yang menjadi respon kualitasnya. Dari analisis ini dapat diketahui faktor-faktor mana saja yang berpengaruh secara signifikan terhadap berat isi gula pasir serta faktor-faktor yang tidak berpengaruh. Hasil perhitungan *ANOVA* terhadap rata-rata berat isi gula pasir disajikan pada tabel berikut ini:

Tabel 4.2 *Analysis of Variance* dari Rata-rata Hasil Eksperimen Gula Pasir

Source	Dof	SS	MS	F-ratio	Pure SS	Percent
A	2	0,0051	0,0026	0,2576	-0,0148	-0,88%
B	2	0,0858	0,0429	4,3104	0,0659	3,91%
C	2	1,0758	0,5379	54,0323	1,0559	62,70%
D	2	0,3380	0,1690	16,9780	0,3181	18,89%
Error	18	0,1792	0,0100			15,37%
Total	26	1,6840				

Tabel 4.2 menunjukkan *ANOVA* dari rata-rata hasil eksperimen. Pada tabel tersebut, faktor-faktor kontrol diwakili dengan huruf A, B, C, dan D. Huruf A menunjukkan temperatur ruang, B menunjukkan kelembaban artikel, C menunjukkan jarak silinder dengan loyang, dan D menunjukkan kecepatan mesin. Tabel tersebut terdiri dari sumber variasi yang terletak pada kolom paling kiri, yang merupakan 4 faktor kontrol dalam eksperimen beserta *error*-nya. Kolom-kolom berikutnya yaitu *dof* yang merupakan derajat kebebasan dari setiap faktor, *SS* merupakan jumlah kuadrat yang menggambarkan variasi dalam hasil eksperimen, *MS* merupakan jumlah kuadrat rata-rata, *F-ratio* merupakan nilai F faktor yang akan dibandingkan dengan F tabel, *Pure SS* merupakan jumlah kuadrat murni dari setiap faktor, serta kolom terakhir merupakan persen kontribusi dari setiap sumber (faktor) terhadap rata-rata hasil eksperimen.

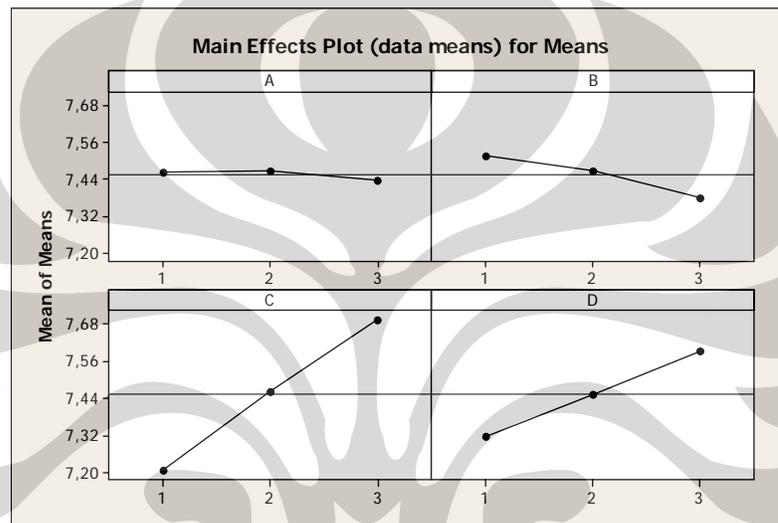
Untuk mengambil kesimpulan dari tabel *ANOVA* di atas, dilakukan pengujian yang disebut dengan uji-F. Pengujian dimulai dengan penetapan spekulasi atau hipotesis nol (H_0) yaitu semua rata-rata populasi untuk semua faktor sama (tidak ada perbedaan) atau dengan kata lain tidak terdapat perbedaan pengaruh faktor, serta hipotesis alternatif (H_1) yaitu sekurang-kurangnya terdapat satu faktor yang berbeda. Jika hasil perhitungan *F-ratio* suatu faktor lebih besar sama dengan $F(\alpha;f_i,f_e)$ yang terdapat pada tabel F, maka hipotesis nol harus ditolak atau hipotesis alternatifnya diterima yang berarti bahwa terdapat perbedaan pengaruh faktor yang signifikan terhadap hasil.

Dari tabel F, diperoleh bahwa nilai $F(0,05;2,18)$ adalah 3,55 dan $F(0,10;2,18)$ adalah 2,62. $F(0,05;2,18)$ digunakan untuk pengujian dengan tingkat kepercayaan 95% sedangkan $F(0,10;2,18)$ digunakan untuk pengujian dengan tingkat kepercayaan 90%. Pada tabel 4.2 di atas, dapat kita lihat bahwa faktor B, C, dan D memiliki *F-ratio* yang lebih besar dari $F(0,05;2,18)$ dan $F(0,10;2,18)$. Dengan demikian, pada faktor B, C, dan D kita dapat menolak H_0 atau menerima H_1 yang berarti bahwa faktor B (kelembaban artikel), C (jarak silinder dengan loyang), dan D (kecepatan mesin) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap berat isi gula pasir pada tingkat kepercayaan 90 atau 95 persen. Namun, faktor A memiliki *F-ratio* yang kurang dari 3,55 dan 2,62 sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor A (temperatur ruang) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap berat isi gula pasir. Dari kolom terakhir, dapat dilihat bahwa faktor C (jarak silinder dengan loyang) memiliki pengaruh yang paling besar terhadap berat isi gula pasir yaitu sebesar 62,70%. Hal ini sesuai dengan hasil *Main Effect Analysis* yang menunjukkan bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap rata-rata berat isi gula pasir adalah jarak silinder dengan loyang.

4.1.1.3 Penentuan Level Faktor yang Optimal Berdasarkan Rata-rata Berat Isi Gula Pasir

Dari hasil perhitungan *Analysis of Variance (ANOVA)* pada tabel 4.2, disimpulkan bahwa faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap rata-rata berat isi gula pasir dalam kemasan adalah faktor B (kelembaban artikel), C (jarak silinder dengan loyang), dan D (kecepatan mesin), sedangkan faktor A

(temperatur ruang) tidak memiliki pengaruh yang signifikan. Dengan demikian, penentuan level faktor yang optimal lebih diutamakan untuk tiga faktor tersebut (faktor B, C, dan D), sementara faktor A dapat diset pada level manapun. Untuk menentukan level faktor yang paling optimal, kita dapat menggunakan hasil perhitungan *Main Effect Analysis* dari rata-rata hasil eksperimen gula pasir. Untuk mempermudah dalam menentukan setting faktor yang paling optimal tersebut, berikut ini adalah *Main Effect Plot* rata-rata hasil eksperimen gula pasir untuk setiap level faktornya:



Gambar 4.1 *Main Effect Plot* Untuk Rata-rata Hasil Eksperimen Gula Pasir

Dari gambar 4.1, dapat dilihat bahwa setiap faktor memiliki perilaku yang berbeda-beda pada setiap levelnya. Ada faktor yang nilai rata-ratanya paling tinggi pada level 1, namun ada juga yang tertinggi pada level 3. Dikarenakan nilai target berat isi gula pasir adalah 8 gram dan rata-rata *mean* pada *Main Effect Analysis* berkisar antara 7,21- 7,69 gram maka level yang optimal adalah level dengan rata-rata *mean* tertinggi sehingga dekat dengan nilai target. Seperti terlihat pada *Main Effect Plot* di atas, faktor B (kelembaban artikel) memiliki rata-rata *mean* tertinggi pada level 1, faktor C (jarak silinder dengan loyang) pada level 3, dan faktor D (kecepatan mesin) pada level 3. Sehingga didapatkanlah level yang optimal untuk setiap faktor yang berpengaruh signifikan terhadap rata-rata adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Level Faktor Kontrol yang Optimal Berdasarkan Rata-rata Hasil Eksperimen Gula Pasir

Label	Faktor Kontrol	Level Optimal	Nilai Level
B	Kelembaban Artikel	1	0,09%
C	Jarak Silinder dengan Loyang	3	10 mm
D	Kecepatan Mesin	3	115chet per menit

4.1.2 Pengaruh Faktor Terhadap Variabilitas Berat Isi Gula Pasir dalam Kemasan

Selain mengetahui pengaruh faktor terhadap rata-rata, pada eksperimen Taguchi kita juga perlu mengidentifikasi pengaruh faktor terhadap variabilitas respon kualitas, sehingga dapat diketahui faktor mana saja yang paling berpengaruh terhadap adanya variasi respon kualitas. Untuk mencapai tujuan tersebut, data hasil eksperimen harus ditransformasikan ke dalam bentuk *S/N* (*Signal to Noise*) ratio.

Perhitungan *S/N Ratio* untuk eksperimen ini telah dijelaskan pada bagian pengolahan data pada bab sebelumnya. Hasil perhitungan *S/N Ratio* untuk hasil eksperimen gula pasir dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.4 *S/N Ratio* Hasil Eksperimen Gula Pasir

Eksperimen	Temperatur Ruang (°C)	Kelembaban Artikel (%)	Jarak Silinder dengan Loyang (mm)	Kecepatan Mesin (sachet per menit)	<i>S/N Ratio</i>
1	27	0,09	0	95	36,6657
2	27	0,14	5	105	36,8143
3	27	0,21	10	115	42,5599
4	28	0,09	5	115	40,4297
5	28	0,14	10	95	39,5741
6	28	0,21	0	105	36,4241
7	30	0,09	10	105	43,8039
8	30	0,14	0	115	35,6497
9	30	0,21	5	95	36,7435

Seperti halnya rata-rata hasil eksperimen, *S/N Ratio* juga dianalisis menggunakan *Main Effect Analysis* dan *Analysis of Variance (ANOVA)* untuk mengetahui pengaruh faktor-faktor kontrol terhadap variabilitas berat isi gula pasir dalam kemasan.

4.1.2.1 *Main Effect Analysis* dari *S/N Ratio* Hasil Eksperimen Gula Pasir

Main Effect Analysis dari *S/N Ratio* hasil eksperimen gula pasir bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap variabilitas berat isi gula pasir dalam kemasan. Seperti halnya *Main Effect Analysis* pada rata-rata, analisis ini dilakukan dengan menghitung rata-rata *S/N Ratio* hasil eksperimen untuk setiap level faktor dalam eksperimen. Hasil perhitungan *Main Effect Analysis* dari *S/N Ratio* hasil eksperimen gula pasir disajikan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 4.5 *Main Effect Analysis* dari *S/N Ratio* Hasil Eksperimen Gula Pasir

No	Faktor	<i>S/N Ratio</i> Level 1	<i>S/N Ratio</i> Level 2	<i>S/N Ratio</i> Level 3	Selisih	Peringkat
1	Temperatur Ruang	38,6800	38,8093	38,7324	0,1293	4
2	Kelembaban Artikel	40,2998	37,3461	38,5758	2,9537	2
3	Jarak Silinder	36,2465	37,9958	41,9793	5,7328	1
4	Kecepatan Mesin	37,6611	39,0141	39,5464	1,8853	3

Hasil *Main Effect Analysis* dari *S/N Ratio* agak berbeda dengan *Main Effect Analysis* rata-rata. Seperti terlihat pada tabel 4.5, faktor jarak silinder merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap berat isi gula pasir karena memiliki selisih terbesar atau perbedaan yang paling signifikan antara *S/N Ratio* terbesar dengan *S/N Ratio* terkecilnya yaitu sebesar 5,7328. Faktor yang paling berpengaruh setelah jarak silinder adalah kelembaban artikel dengan nilai selisih sebesar 2,9537. Faktor dengan nilai selisih terkecil adalah temperatur ruang yang berarti bahwa temperatur ruang merupakan faktor yang paling tidak berpengaruh terhadap adanya variasi berat isi gula pasir. Namun, hasil *Main Effect Analysis* ini perlu dikonfirmasi dengan *Analysis of Variance* sehingga dapat diketahui kontribusi masing-masing faktor terhadap variabilitas respon kualitas (berat isi gula pasir dalam kemasan).

4.1.2.2 *Analysis of Variance (ANOVA)* dari *S/N Ratio* Hasil Eksperimen Gula Pasir

Untuk mengkonfirmasi hasil *Main Effect Analysis* dan mengetahui kontribusi dari setiap faktor terhadap variabilitas berat isi gula pasir, perlu dilakukan *Analysis of Variance (ANOVA)* terhadap *S/N Ratio* hasil eksperimen gula pasir. Sebagaimana *ANOVA* yang dilakukan terhadap rata-rata berat isi gula pasir, *ANOVA* yang dilakukan pada *S/N Ratio* juga terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat, jumlah kuadrat rata-rata, *F-ratio*, jumlah kuadrat murni, dan persen kontribusi setiap faktor. Berikut ini adalah hasil perhitungan *ANOVA* terhadap *S/N Ratio* hasil eksperimen gula pasir:

Tabel 4.6 *Analysis of Variance* dari *S/N Ratio* Hasil Eksperimen Gula Pasir

Source	Dof	SS	MS
A	2	0,0254	0,0127
B	2	13,2087	6,6044
C	2	51,7926	25,8963
D	2	5,6685	2,8342
Error	0		
Total	8	70,6951	

Dari hasil *ANOVA* yang terlihat pada tabel 4.2, kita tidak bisa melakukan uji F karena nilai *error*nya sama dengan nol. Untuk menentukan nilai *error*nya, perlu dilakukan metode *pooling up* Taguchi, yaitu penggabungan beberapa faktor ke dalam *error*. Penggabungan faktor sebagai *error* dimulai dari faktor dengan *Sum of Squares (SS)* terkecil dari faktor-faktor kontrolnya. *SS* faktor tersebut dapat digabung dengan *SS error* sampai derajat kebebasan *error* sama dengan atau lebih dari setengah derajat kebebasan total.

Faktor yang memiliki *SS* terkecil adalah faktor A sehingga *SS* faktor A perlu digabungkan dengan *SS error*. Penggabungan tersebut menyebabkan struktur tabel *ANOVA* berubah seperti yang terlihat di bawah ini:

Tabel 4.7 ANOVA Penggabungan (*Pooling Up*) Hasil Eksperimen Gula Pasir

Source	Dof	SS	MS	F-ratio	Pure SS	Percent
A				Pooled		
B	2	13,2087	6,6044	520,0809	13,1833	18,65%
C	2	51,7926	25,8963	2039,2857	51,7672	73,23%
D	2	5,6685	2,8342	223,1905	5,6431	7,98%
Error	2	0,0254	0,0127			0,14%
Total	8	70,6951				

Tabel 4.7 merupakan tabel *ANOVA* dari *S/N Ratio* hasil eksperimen gula pasir dengan penggabungan (*pooling*) yaitu setelah faktor A digabungkan ke dalam *error*. Dengan hasil penggabungan tersebut kita sudah bisa melakukan uji F karena nilai *error*-nya sudah tidak sama dengan nol. Dari tabel F diperoleh nilai $F(0,05;2,2)$ yang digunakan untuk uji F dengan tingkat kepercayaan 95% adalah sebesar 19,0, sedangkan nilai $F(0,10;2,2)$ untuk uji F dengan tingkat kepercayaan 90% adalah sebesar 9,0. Dari tabel 4.6 di atas dapat kita lihat bahwa semua faktor yaitu B, C, dan D memiliki nilai *F-ratio* yang lebih besar dari $F(0,05;2,2)$ dan $F(0,10;2,2)$ sehingga pada tingkat kepercayaan 95% dan 90%, kita dapat menolak H_0 yang berarti bahwa terdapat perbedaan pengaruh faktor yang signifikan terhadap *S/N Ratio* atau variabilitas berat isi gula pasir dalam kemasan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor B, C, dan D berpengaruh secara signifikan terhadap variabilitas berat isi gula pasir dalam kemasan.

Walaupun sama-sama berpengaruh secara signifikan terhadap nilai *S/N Ratio*, ketiga faktor tersebut memiliki persen kontribusi yang berbeda-beda terhadap adanya variasi berat isi gula pasir. Faktor C (jarak silinder dengan loyang) memiliki kontribusi atau pengaruh paling besar dibandingkan dengan kedua faktor lainnya yaitu sebesar 73,23%. Faktor B (kelembaban artikel) memiliki kontribusi sebesar 18,65% dan faktor D (kecepatan mesin) sebesar 7,98%.

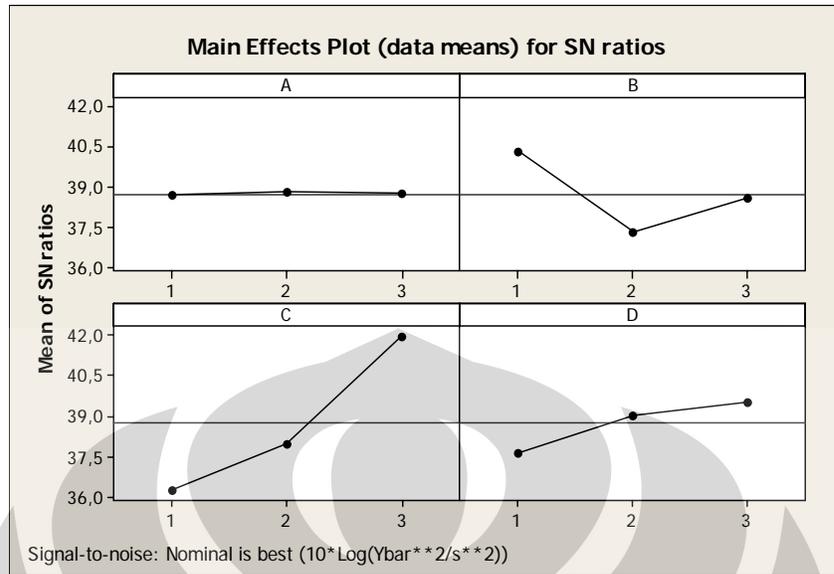
Hasil *ANOVA* ini memiliki persamaan dan perbedaan dengan *ANOVA* untuk rata-rata. Persamaannya terletak pada faktor yang memiliki pengaruh paling besar. Faktor C (jarak silinder dengan loyang) merupakan faktor yang paling berpengaruh secara signifikan baik terhadap rata-rata maupun terhadap variabilitas berat isi gula pasir meskipun persen kontribusinya berbeda. Persen

kontribusi faktor C terhadap rata-rata berat gula pasir adalah 62,70% sedangkan terhadap variabilitas, faktor C memiliki pengaruh yang lebih besar yaitu 73,23%. Dengan demikian, faktor jarak silinder dengan loyang ini sangat penting untuk diperhatikan dan harus diset dengan parameter penyetelan yang tepat agar berat isi gula pasir yang dihasilkan memiliki deviasi dan variasi seminimal mungkin di sekitar nilai target.

Perbedaan dari kedua *ANOVA* tersebut adalah tentang kontribusi faktor D (kecepatan mesin) dan faktor B (kelembaban artikel). Faktor D (kecepatan mesin) merupakan faktor kedua yang paling berpengaruh terhadap rata-rata berat isi gula pasir setelah faktor C, namun faktor tersebut memiliki pengaruh yang tidak begitu besar terhadap variabilitas berat gula pasir. Persen kontribusi faktor D terhadap rata-rata adalah sebesar 18,89% sedangkan terhadap variabilitas berat gula pasir, faktor D hanya berpengaruh sebesar 7,98%. Dibandingkan dengan faktor D, faktor B (kelembaban artikel) memiliki pengaruh yang lebih besar yaitu 18,65%. Namun, faktor B (kelembaban artikel) hanya berpengaruh sebesar 3,91% terhadap rata-rata berat isi gula pasir. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun jenis faktor yang mempengaruhi rata-rata dan variabilitas berat gula pasir adalah sama, namun tingkat pengaruh faktor-faktor tersebut berbeda-beda.

4.1.2.3 Penentuan Level Faktor yang Optimal Berdasarkan *S/N Ratio* Hasil Eksperimen Gula Pasir

Berdasarkan hasil *Analysis of Variance* yang dilakukan terhadap *S/N Ratio* hasil eksperimen gula pasir, terdapat tiga faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabilitas berat isi gula pasir yaitu faktor B (kelembaban artikel), C (jarak silinder dengan loyang), dan D (kecepatan mesin). Penentuan level yang optimal untuk ketiga faktor tersebut dilakukan berdasarkan hasil *Main Effect Analysis* untuk *S/N Ratio*. Berikut ini adalah *Main Effect Plot* dari *S/N Ratio* hasil eksperimen gula pasir:



Gambar 4.2 Main Effect Plot Untuk *S/N Ratio* Hasil Eksperimen Gula Pasir

Untuk mencapai salah satu tujuan eksperimen Taguchi yaitu meminimalkan variasi di sekitar nilai target, maka level yang paling optimal adalah level yang memiliki nilai rata-rata *S/N Ratio* tertinggi dari setiap faktornya. Semakin tinggi nilai *S/N Ratio* menunjukkan semakin kecil pula variasi yang terjadi yang berarti semakin tidak sensitifnya suatu proses terhadap faktor-faktor gangguan (*noise*) penyebab variasi. Dari *Main Effect Plot* di atas, faktor B memiliki *S/N Ratio* tertinggi pada level 1, faktor C pada level 3, dan faktor D pada level 3. Dengan demikian, level yang optimal untuk faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabilitas berat isi gula pasir adalah sebagai berikut:

Tabel 4.8 Level Faktor Kontrol yang Optimal Berdasarkan *S/N Ratio* Hasil Eksperimen Gula Pasir

Label	Faktor Kontrol	Level Optimal	Nilai Level
B	Kelembaban Artikel	1	0,09%
C	Jarak Silinder dengan Loyang	3	10 mm
D	Kecepatan Mesin	3	115 sachet per menit

4.1.3 Kombinasi Level Faktor yang Optimal Untuk Proses Pengemasan Gula Pasir

Dari analisis-analisis yang telah dilakukan, didapatkanlah dua rancangan penyetelan yang optimal yaitu kombinasi level yang dapat meminimalkan deviasi respon kualitas dari nilai target (berdasarkan analisis rata-rata) dan kombinasi level yang dapat mengurangi variasi di sekitar nilai target (berdasarkan analisis *S/N Ratio*). Dikarenakan hanya akan ada satu rancangan penyetelan yang mungkin digunakan pada proses pengemasan gula pasir, maka perlu dipilih satu kombinasi level yang dapat mengakomodir kedua tujuan tersebut. Kombinasi level yang dihasilkan harus dapat meminimalkan deviasi dari nilai target dan sekaligus dapat mengurangi variasi di sekitar target.

Dari analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap rata-rata berat isi gula pasir sama dengan faktor yang berpengaruh signifikan terhadap variabilitas berat isi gula pasir tersebut yaitu terdiri dari faktor kelembaban artikel, jarak silinder dengan loyang, dan kecepatan mesin. Sedangkan faktor temperatur ruang tidak berpengaruh baik terhadap rata-rata maupun variabilitas berat isi gula pasir. Dari tabel 4.3 dan 4.8, dapat kita lihat bahwa level faktor yang optimal berdasarkan analisis rata-rata sama persis dengan level faktor yang optimal berdasarkan analisis *S/N Ratio*. Dengan demikian, kombinasi level faktor yang dapat meminimalkan deviasi di sekitar target sama dengan kombinasi level yang dapat mengurangi variasi sehingga kombinasi tersebut dapat digunakan sebagai parameter penyetelan mesin yang optimal yang dapat menghasilkan produk gula pasir kemasan *sachet* dengan berat yang tidak terlalu bervariasi dan nilainya mendekati target yaitu 8 gram. Adapun kombinasi level optimal yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.9 Usulan Rancangan Penyetelan yang Optimal untuk Proses Pengemasan Gula Pasir

Label	Faktor Kontrol	Level Optimal	Nilai Level
A	Temperatur Ruang	2	28°C
B	Kelembaban Artikel	1	0,09%
C	Jarak Silinder dengan Loyang	3	10 mm
D	Kecepatan Mesin	3	115sachet per menit

4.1.4 Prediksi Rata-Rata Berat Gula Pasir pada Kondisi Optimal

Kombinasi level faktor yang optimal untuk proses pengemasan gula pasir telah diperoleh seperti yang terlihat pada tabel 4.9 yaitu faktor A pada level 2, B pada level 1, C pada level 3, dan D pada level 3. Sehingga model persamaan rata-rata berat isi gula pasir yang dihasilkan pada kondisi optimal adalah sebagai berikut:

$$\mu_{prediksi} = \bar{Y} + (\bar{A}_2 - \bar{Y}) + (\bar{B}_1 - \bar{Y}) + (\bar{C}_3 - \bar{Y}) + (\bar{D}_3 - \bar{Y}) \dots \dots \dots (4.1)$$

Dimana, \bar{Y} adalah rata-rata (*mean*) berat isi gula pasir dari keseluruhan hasil eksperimen, \bar{A}_2 adalah rata-rata berat isi gula pasir untuk faktor A di level 2, \bar{B}_1 adalah rata-rata berat isi gula pasir untuk faktor B di level 1, \bar{C}_3 adalah rata-rata berat isi gula pasir untuk faktor C di level 3, dan \bar{D}_3 adalah rata-rata berat isi gula pasir untuk faktor D di level 3. Nilai rata-rata berat isi gula pasir untuk faktor pada level tertentu diambil dari hasil perhitungan *Main Effect Analysis* pada tabel 4.1. Dengan menggunakan persamaan di atas, diperoleh prediksi rata-rata berat isi gula pasir pada kondisi optimal ($\mu_{prediksi}$) adalah 7,907 gram.

Selanjutnya dihitung interval kepercayaan berat isi gula pasir pada tingkat kepercayaan 90% dengan rumus:

$$CI = \pm \sqrt{F(0,10; 1: 18) \times MSe \times \frac{1}{n_{eff}}} \dots \dots \dots (4.2)$$

$$n_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan perkiraan rata - rata}} \dots \dots \dots (4.3)$$

Dimana, *CI* adalah *Confidence Interval* (interval kepercayaan), $F(0,10; 1: 18)$ adalah nilai F tabel dengan *nominator* 1 dan *denominator* 18 pada tingkat kepercayaan 90% (angka 18 menunjukkan derajat kebebasan *error* pada *ANOVA* rata-rata hasil eksperimen gula pasir) dan *MSe* adalah jumlah kuadrat rata-rata *error*. Dengan menggunakan persamaan di atas, diperoleh nilai interval kepercayaan berat isi gula pasir pada tingkat kepercayaan 90% adalah sebesar \pm

0,099. Sehingga prediksi rata-rata berat isi gula pasir pada kondisi optimal terletak pada rentang:

$$\mu_{prediksi} - CI \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI$$

yaitu: $7,807 \leq 7,907 \leq 8,007$

4.2 Analisis Hasil Eksperimen *Creamer*

Sebagaimana analisis yang dilakukan terhadap hasil eksperimen gula pasir, analisis hasil eksperimen *creamer* juga terdiri dari dua macam, yaitu analisis pengaruh faktor terhadap rata-rata respon kualitas (untuk meminimalkan deviasi) dan pengaruh faktor terhadap variabilitas respon kualitas (untuk mengurangi variasi respon kualitas). Berbeda dengan gula pasir yang memiliki nilai target 8 gram, *creamer* memiliki nilai target yang lebih kecil yaitu 3 gram.

4.2.1 Pengaruh Faktor Terhadap Rata-Rata Berat Isi *Creamer* dalam Kemasan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap rata-rata berat isi *creamer* dalam kemasan sehingga dapat menjadi acuan dalam menentukan kombinasi level faktor yang optimal yang dapat meminimalkan deviasi di sekitar nilai target. Seperti halnya analisis pada hasil eksperimen gula pasir, analisis ini juga terdiri dari *Main Effect Analysis* dan *Analysis of Variance (ANOVA)* terhadap rata-rata hasil eksperimen *creamer*.

4.2.1.1 *Main Effect Analysis* dari Rata-rata Hasil Eksperimen *Creamer*

Main Effect Analysis dari rata-rata hasil eksperimen *creamer* bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata berat isi *creamer* dalam kemasan. Pada analisis ini dilakukan perhitungan terhadap rata-rata berat *creamer* untuk setiap level faktor dalam eksperimen. Berikut ini adalah hasil perhitungan *Main Effect Analysis* dari rata-rata hasil eksperimen *creamer*:

Tabel 4.10 *Main Effect Analysis* dari Rata-rata Hasil Eksperimen *Creamer*

No	Faktor	Rata-rata Level 1	Rata-rata Level 2	Rata-rata Level 3	Selisih	Peringkat
1	Temperatur Ruang	2,7884	2,8082	2,8256	0,0373	3
2	Kelembaban Artikel	2,8169	2,8112	2,7941	0,0229	4
3	Jarak Silinder	2,7768	2,8074	2,8380	0,0613	1
4	Kecepatan Mesin	2,8292	2,8065	2,7865	0,0427	2

Dari hasil perhitungan *Main Effect Analysis* di atas, dapat kita lihat bahwa faktor yang memiliki nilai selisih terbesar adalah faktor jarak silinder dengan loyang. Hal ini menunjukkan bahwa faktor tersebut paling berpengaruh terhadap rata-rata berat isi *creamer* dibandingkan dengan tiga faktor lainnya. Faktor jarak silinder dengan loyang memiliki nilai selisih antara rata-rata terbesar dan terkecilnya sebesar 0,0613. Faktor yang paling berpengaruh kedua setelah jarak silinder adalah kecepatan mesin dengan nilai selisih sebesar 0,0427 sedangkan faktor yang paling tidak berpengaruh adalah kelembaban artikel dengan nilai selisih sebesar 0,0373. Namun, dari hasil *Main Effect Analysis*, kita belum bisa mengambil kesimpulan mengenai faktor mana saja yang berpengaruh secara signifikan terhadap rata-rata berat isi *creamer*. Oleh karena itu, kita juga perlu melakukan *Analysis of Variance (ANOVA)* terhadap rata-rata berat isi *creamer* dalam kemasan.

4.2.1.2 *Analysis of Variance (ANOVA)* dari Rata-rata Hasil Eksperimen *Creamer*

Analysis of Variance (ANOVA) bertujuan untuk mengetahui faktor mana saja yang berpengaruh secara signifikan serta kontribusi faktor tersebut terhadap respon kualitas (berat isi *creamer* dalam kemasan). Seperti *ANOVA* pada analisis hasil eksperimen gula pasir, tabel *ANOVA* untuk rata-rata hasil eksperimen *creamer* juga terdiri dari derajat kebebasan (*dof*), jumlah kuadrat (*SS*), jumlah kuadrat rata-rata (*MS*), *F-ratio*, jumlah kuadrat murni (*Pure SS*), dan persen kontribusi setiap faktor. Hasil perhitungan *ANOVA* dari rata-rata hasil eksperimen *creamer* dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

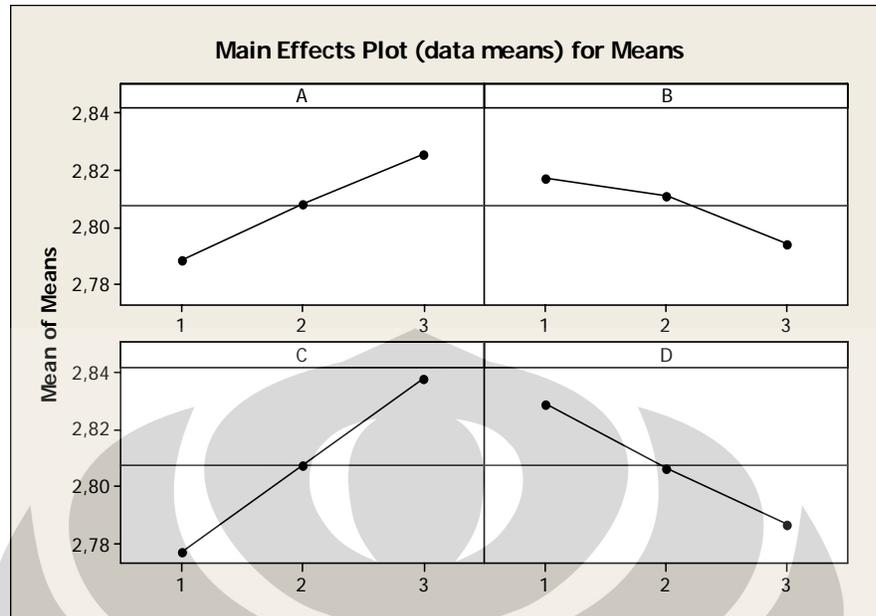
Tabel 4.11 *Analysis of Variance* dari Rata-rata Hasil Eksperimen *Creamer*

Source	Dof	SS	MS	F-ratio	Pure SS	Percent
A	2	0,0057	0,0028	2,5579	0,0034	6,48%
B	2	0,0025	0,0013	1,1523	0,0003	0,63%
C	2	0,0169	0,0085	7,6381	0,0147	27,60%
D	2	0,0082	0,0041	3,7064	0,0060	11,25%
Error	18	0,0199	0,0011			
Total	26	0,0532				

Sebagaimana pada analisis hasil eksperimen gula pasir, jenis-jenis faktor kontrol pada tabel *ANOVA* diwakili dengan huruf A, B, C, dan D. Huruf A menunjukkan faktor temperatur ruang, B menunjukkan kelembaban artikel, C menunjukkan jarak silinder dengan loyang, dan D menunjukkan kecepatan mesin. Seperti terlihat pada tabel 4.11, faktor C memiliki nilai *F-ratio* dan kontribusi terbesar dibandingkan dengan faktor A, B, dan D. Nilai F tabel yang digunakan untuk uji F pada *ANOVA* tersebut sama dengan yang digunakan pada *ANOVA* hasil eksperimen gula pasir yaitu 3,55 untuk pengujian pada tingkat kepercayaan 95% $F(0,05;2,18)$ dan 2,62 untuk pengujian pada tingkat kepercayaan 90% $(F_{0,10;2:18})$. Dari hasil uji F dapat disimpulkan bahwa faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap rata-rata berat isi *creamer* pada tingkat kepercayaan 95% dan 90% adalah faktor C (jarak silinder dengan loyang) dan faktor D (kecepatan mesin). Hal ini terlihat dari nilai *F-ratio* kedua faktor tersebut yang lebih besar dari $F(0,05;2,18)$ dan $(F_{0,10;2:18})$. Faktor C memiliki kontribusi atau pengaruh sebesar 27,60% sedangkan faktor D berpengaruh sebesar 11,25% terhadap rata-rata berat isi *creamer*.

4.2.1.3 Penentuan Level Faktor yang Optimal Berdasarkan Rata-rata Berat Isi *Creamer*

Untuk menentukan level faktor optimal yang dapat meminimalkan deviasi berat isi *creamer* dari nilai targetnya, kita dapat menggunakan hasil *Main Effect Analysis* dari rata-rata hasil eksperimen *creamer* yang digambarkan dengan *Main Effect Plot* berikut ini:



Gambar 4.3 Main Effect Plot Untuk Rata-rata Hasil Eksperimen Creamer

Dari hasil *Analysis of Variance (ANOVA)* pada tabel 4.11, disimpulkan bahwa faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap rata-rata berat isi creamer adalah faktor C (jarak silinder dengan loyang) dan faktor D (kecepatan mesin). Oleh karena itu, dua faktor tersebut harus di-*setting* pada level yang tepat agar deviasi berat creamer yang dihasilkan dapat diminimalkan. Karena karakteristik kualitas yang digunakan pada penelitian ini adalah *nominal the best*, yaitu memiliki nilai target tertentu, maka level yang dipilih untuk meminimalkan deviasi dari nilai target adalah level dengan nilai rata-rata paling mendekati target. Karena nilai target berat isi creamer adalah 3 gram dan rata-rata *mean* pada *Main Effect Analysis* berkisar antara 2,78-2,84 gram, maka level yang dipilih sebagai level optimal adalah level dengan rata-rata *mean* tertinggi sehingga diperoleh deviasi seminimal mungkin. Seperti yang terlihat pada gambar 4.3, faktor C (jarak silinder dengan loyang) memiliki nilai rata-rata tertinggi pada level 3, sedangkan faktor D (kecepatan mesin) pada level 1. Dengan demikian, level yang optimal untuk faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap rata-rata berat isi creamer adalah sebagai berikut:

Tabel 4.12 Level Faktor Kontrol yang Optimal Berdasarkan Rata-Rata Hasil Eksperimen *Creamer*

Label	Faktor Kontrol	Level Optimal	Nilai Level
C	Jarak Silinder dengan Loyang	3	10 mm
D	Kecepatan Mesin	1	58 sachet per menit

4.2.2 Pengaruh Faktor Terhadap Variabilitas Berat Isi *Creamer* dalam Kemasan

Untuk mencapai tujuan kedua eksperimen Taguchi yaitu meminimalkan variasi di sekitar target, kita perlu mengidentifikasi pengaruh faktor terhadap adanya variasi (variabilitas) berat isi *creamers* sehingga dapat diketahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap terjadinya variasi tersebut. Dalam menganalisis pengaruh faktor terhadap variabilitas, kita dapat menggunakan *S/N Ratio* hasil eksperimen *creamers* yang telah dihitung pada bagian pengolahan data dengan karakteristik kualitas *nominal is the best*, yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.13 *S/N Ratio* Hasil Eksperimen *Creamer*

Eksperimen	Temperatur Ruang (°C)	Kelembaban Artikel (%)	Jarak Silinder dengan Loyang (mm)	Kecepatan Mesin (sachet per menit)	<i>S/N Ratio</i>
1	24	2,5	0	58	36,6102
2	24	2,8	5	60	36,6553
3	24	3,5	10	62	36,7973
4	25	2,5	5	62	36,6626
5	25	2,8	10	58	38,4840
6	25	3,5	0	60	36,9328
7	26	2,5	10	60	38,7511
8	26	2,8	0	62	36,8744
9	26	3,5	5	58	37,2342

Untuk mengidentifikasi pengaruh faktor terhadap variabilitas berat isi *creamers* dalam kemasan, *S/N Ratio* hasil eksperimen *creamers* juga dianalisis menggunakan *Main Effect Analysis* dan *Analysis of Variance (ANOVA)*.

4.2.2.1 *Main Effect Analysis* dari *S/N Ratio* Hasil Eksperimen *Creamer*

Seperti *Main Effect Analysis* yang dilakukan terhadap hasil eksperimen gula pasir, pada analisis ini dilakukan perhitungan rata-rata *S/N ratio* hasil eksperimen

creamer untuk setiap level faktor dalam eksperimen. Berikut ini adalah hasil perhitungan *Main Effect Analysis* dari *S/N Ratio* hasil eksperimen *creamer*:

Tabel 4.14 *Main Effect Analysis* dari *S/N Ratio* Hasil Eksperimen *Creamer*

No	Faktor	<i>S/N Ratio</i> Level 1	<i>S/N Ratio</i> Level 2	<i>S/N Ratio</i> Level 3	Pengaruh Faktor	Peringkat
1	Temperatur Ruang	36,6876	37,3598	37,6199	0,9323	2
2	Kelembaban Artikel	37,3413	37,3379	36,9881	0,3532	4
3	Jarak Silinder	36,8058	36,8507	38,0108	1,2050	1
4	Kecepatan Mesin	37,4428	37,4464	36,7781	0,6683	3

Dari hasil perhitungan *Main Effect Analysis* di atas, dapat dikatakan bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap variabilitas berat isi *creamer* adalah jarak silinder dengan loyang, sedangkan yang paling tidak berpengaruh adalah faktor kelembaban artikel. Hal ini terlihat dari faktor jarak silinder yang memiliki selisih terbesar yaitu 1,2050, sedangkan faktor kelembaban artikel memiliki selisih terkecil yaitu 0,3532. Namun, hasil *Main Effect Analysis* tersebut perlu dikonfirmasi dengan hasil *Analysis of Variance (ANOVA)* sehingga dapat diketahui faktor-faktor mana saja yang benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap variabilitas berat isi *creamer* dalam kemasan.

4.2.2.2 *Analysis of Variance (ANOVA)* dari *S/N Ratio* Hasil Eksperimen *Creamer*

Analysis of Variance (ANOVA) dari *S/N Ratio* hasil eksperimen *creamer* dilakukan untuk mengkonfirmasi hasil *Main Effect Analysis* dan mengetahui kontribusi atau pengaruh setiap faktor kontrol terhadap adanya variasi berat isi *creamer* dalam kemasan. Berikut ini adalah hasil perhitungan *ANOVA* dari *S/N Ratio* hasil eksperimen *creamer*:

Tabel 4.15 *Analysis of Variance* dari *S/N Ratio* Hasil Eksperimen *Creamer*

Source	Dof	SS	MS
A	2	1,38864	0,69432
B	2	0,24708	0,12354
C	2	2,79982	1,39991
D	2	0,88842	0,44421
Error	0		
Total	8	5,32395	

Dari hasil *ANOVA* di atas, kita belum bisa melakukan uji F karena derajat kebebasan *error*-nya sama dengan nol sehingga nilai *F-ratio* masing-masing faktor tidak dapat dihitung. *F-ratio* diperoleh dengan membagi kuadrat rata-rata (*Mean Square*) setiap faktor dengan *MS error*. Oleh karena itu, perlu dilakukan *pooling up* yaitu penggabungan faktor-faktor dengan SS terkecil ke dalam *error*. Dari tabel 4.15, dapat kita lihat bahwa faktor yang memiliki jumlah kuadrat (*SS*) terkecil adalah faktor B (kelembaban artikel) sehingga derajat kebebasan (*dof*) dan jumlah kuadrat (*SS*) faktor B perlu digabungkan ke dalam *error*.

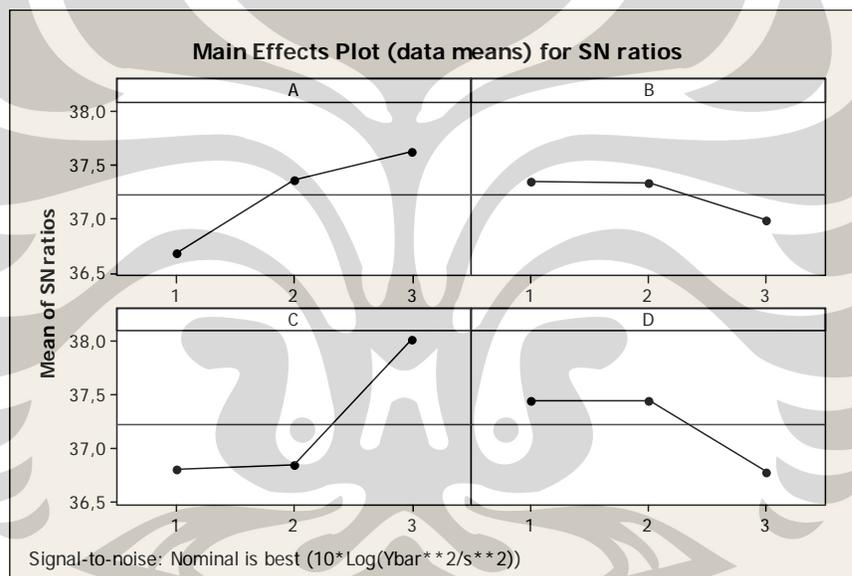
Tabel 4.16 *ANOVA* Penggabungan (*Pooling Up*) Hasil Eksperimen *Creamer*

Source	Dof	SS	MS	F-ratio	Pure SS	Percent
A	2	1,3886	0,6943	5,6202	1,1416	21,44%
B				Pooled		
C	2	2,7998	1,3999	11,3316	2,5527	47,95%
D	2	0,8884	0,4442	3,5957	0,6413	12,05%
Error	2	0,2471	0,1236			18,56%
Total	8	5,3240				

Tabel 4.16 menunjukkan perubahan struktur tabel *ANOVA* dari *S/N Ratio* hasil eksperimen *creamer* setelah dilakukan *pooling up* (penggabungan) faktor B ke dalam *error*. Dengan demikian, uji F sudah bisa dilakukan karena *F-ratio* setiap faktor sudah bisa dihitung. Dengan menggunakan $F(0,05;2,2)$ untuk pengujian dengan tingkat kepercayaan 95% dan $F(0,10;2,2)$ untuk pengujian dengan tingkat kepercayaan 90%, dapat disimpulkan bahwa faktor C (jarak silinder dengan loyang) berpengaruh secara signifikan terhadap variabilitas berat isi *creamer* pada tingkat kepercayaan 90% karena *F-ratio* faktor C lebih besar dari $F(0,10;2,2)$ tetapi lebih kecil dari $F(0,05;2,2)$. Nilai $F(0,05;2,2)$ adalah 19,0 sedangkan nilai $F(0,10;2,2)$ adalah 9,0. Namun, faktor A dan D tidak berpengaruh secara signifikan baik pada tingkat kepercayaan 90% maupun 95% karena nilai *F-ratio* kedua faktor tersebut masih kurang dari 9.

4.2.2.3 Penentuan Level Faktor yang Optimal Berdasarkan *S/N Ratio* Hasil Eksperimen *Creamer*

Hasil *Analysis of Variance (ANOVA)* dari *S/N Ratio* hasil eksperimen *creamer* menyatakan bahwa faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabilitas berat isi *creamer* hanya faktor C (jarak silinder dengan loyang), sedangkan faktor-faktor lainnya tidak berpengaruh. Dengan demikian, faktor C harus di-*setting* pada level yang tepat agar dapat mengurangi terjadinya variasi respon kualitas (berat isi *creamer* dalam kemasan). Penentuan level yang optimal dilakukan berdasarkan hasil *Main Effect Analysis* dari *S/N Ratio* hasil eksperimen *creamer* yang terlihat pada *Main Effect Plot* berikut ini:



Gambar 4.4 *Main Effect Plot* Untuk *S/N Ratio* Hasil Eksperimen *Creamer*

Untuk memperoleh *setting* faktor yang dapat meminimalkan variasi, maka level yang dipilih adalah level dengan nilai *S/N Ratio* paling tinggi karena *S/N Ratio* yang tinggi menunjukkan variasi yang kecil. Rumus perhitungan *S/N Ratio* untuk karakteristik *nominal is the best* mencakup perbandingan kuadrat rata-rata dengan varians, sehingga semakin kecil nilai varians maka semakin tinggi juga nilai *S/N Ratio* yang diperoleh. Varians merupakan nilai yang merepresentasikan besarnya variasi yang terjadi di antara nilai respon kualitas. Dari *Main Effect Plot* di atas, dapat kita lihat bahwa faktor C (jarak silinder dengan loyang) memiliki

nilai *S/N Ratio* tertinggi pada level 3 yaitu 10 mm sehingga untuk meminimalkan variasi berat isi *creamer* yang dihasilkan, jarak silinder mesin yang digunakan untuk mengemas *creamer* perlu disetel pada level 3 (10 mm).

Tabel 4.17 Level Faktor Kontrol yang Optimal Berdasarkan *S/N Ratio* Hasil Eksperimen *Creamer*

Label	Faktor Kontrol	Level Optimal	Nilai Level
C	Jarak Silinder dengan Loyang	3	10 mm

4.2.3 Kombinasi Level Faktor yang Optimal Untuk Proses Pengemasan *Creamer*

Kombinasi level faktor yang optimal adalah kombinasi yang dapat menghasilkan nilai respon kualitas yang mendekati target dengan variasi seminimal mungkin. Kombinasi tersebut dapat ditentukan dengan menggabungkan kombinasi level yang diperoleh berdasarkan rata-rata dan yang diperoleh berdasarkan *S/N Ratio*. Dari hasil *ANOVA* untuk rata-rata dan *S/N Ratio* hasil eksperimen *creamer*, dapat disimpulkan bahwa faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap rata-rata berat isi *creamer* adalah jarak silinder dengan loyang dan kecepatan mesin. Sedangkan faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabilitas adalah jarak silinder dengan loyang. Dengan demikian, faktor jarak silinder dengan loyang berpengaruh secara signifikan baik terhadap rata-rata maupun variabilitas berat isi *creamer*.

Dari tabel 4.12 dan 4.17, dapat kita lihat bahwa faktor jarak silinder dengan loyang memiliki level optimal yang sama antara hasil analisis berdasarkan rata-rata dan *S/N Ratio* yaitu pada level 3, sedangkan level yang optimal untuk kecepatan mesin adalah level 1. Untuk faktor temperatur ruang dan kelembaban artikel, level optimalnya juga dapat dilihat dari hasil *Main Effect Analysis* untuk rata-rata dan *S/N Ratio*. Dengan demikian, kombinasi level yang optimal untuk proses pengemasan *creamer* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.18 Usulan Rancangan Penyetelan yang Optimal untuk Proses Pengemasan *Creamer*

Label	Faktor Kontrol	Level Optimal	Nilai Level
A	Temperatur Ruang	3	26°C
B	Kelembaban Artikel	1	2,50%
C	Jarak Silinder dengan Loyang	3	10 mm
D	Kecepatan Mesin	1	58 sachet per menit

4.2.4 Prediksi Rata-Rata Berat *Creamer* pada Kondisi Optimal

Kombinasi level faktor yang optimal untuk proses pengemasan *creamers* telah diperoleh seperti yang terlihat pada tabel 4.18 yaitu faktor A pada level 3, B pada level 1, C pada level 3, dan D pada level 1. Sehingga model persamaan rata-rata berat isi *creamers* yang dihasilkan pada kondisi optimal adalah sebagai berikut:

$$\mu_{prediksi} = \bar{Y} + (\bar{A}_3 - \bar{Y}) + (\bar{B}_1 - \bar{Y}) + (\bar{C}_3 - \bar{Y}) + (\bar{D}_1 - \bar{Y}) \dots \dots \dots (4.4)$$

Dimana, \bar{Y} adalah rata-rata (*mean*) berat isi *creamers* dari keseluruhan hasil eksperimen, \bar{A}_3 adalah rata-rata berat isi *creamers* untuk faktor A di level 3, \bar{B}_1 adalah rata-rata berat isi *creamers* untuk faktor B di level 1, \bar{C}_3 adalah rata-rata berat isi *creamers* untuk faktor C di level 3, dan \bar{D}_1 adalah rata-rata berat isi *creamers* untuk faktor D di level 1. Dengan menggunakan persamaan di atas, diperoleh prediksi rata-rata berat isi *creamers* pada kondisi optimal ($\mu_{prediksi}$) adalah 2,888 gram.

Selanjutnya dihitung interval kepercayaan berat isi *creamers* pada tingkat kepercayaan 90% dengan persamaan (4.2) dan (4.3) sehingga diperoleh nilai interval kepercayaan berat isi *creamers* pada tingkat kepercayaan 90% adalah sebesar $\pm 0,033$. Sehingga prediksi rata-rata berat isi *creamers* pada kondisi optimal terletak pada rentang:

$$\mu_{prediksi} - CI \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI$$

yaitu: $2,854 \leq 2,888 \leq 2,921$

4.3 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan menggunakan kombinasi level dan faktor yang paling optimal yang telah diperoleh dari hasil eksperimen

sebelumnya. Eksperimen ini bertujuan untuk membuktikan bahwa kombinasi level dan faktor yang diperoleh benar-benar dapat mencapai tujuan eksperimen Taguchi yaitu meminimalkan deviasi dari nilai target dan mengurangi variasi respon kualitas yang dihasilkan.

4.3.1 Eksperimen Konfirmasi untuk Proses Pengemasan Gula Pasir pada Mesin Sanko

Eksperimen konfirmasi untuk proses pengemasan gula pasir dilakukan dengan usulan penyetelan yang optimal yang diperoleh dari hasil eksperimen gula pasir yaitu faktor A (temperatur ruang) pada level 2 (28°C), faktor B (kelembaban artikel) pada level 1 (0,09%), faktor C (jarak silinder dengan loyang) pada level 3 (10 mm), dan faktor D (kecepatan mesin) pada level 3 (115 sachet per menit). Hasil eksperimen yang dilakukan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.19 Hasil Eksperimen Konfirmasi Gula Pasir

Eksperimen	Berat Isi Gula Pasir (gram)						Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	
1	7,89	7,84	7,84	7,88	7,90	7,81	7,86
2	8	7,92	7,89	7,9	7,87	8,02	7,93
3	7,91	7,86	7,92	8,03	7,96	7,85	7,92
4	8	8,05	7,98	7,96	7,89	7,93	7,97
5	7,84	7,82	7,88	7,9	7,94	7,92	7,88
6	8,03	7,99	7,88	7,89	7,87	7,93	7,93

Dari hasil eksperimen konfirmasi tersebut, dapat dihitung nilai rata-rata dan *S/N Ratio*-nya. Nilai rata-rata diperoleh dengan membagi rata-rata setiap eksperimen dengan total jumlah eksperimen sehingga diperoleh nilai rata-rata hasil eksperimen konfirmasi gula pasir sebesar 2,92 gram. Nilai *S/N Ratio*-nya dihitung dengan menggunakan rumus *S/N Ratio* untuk karakteristik kualitas *nominal is the best* sehingga didapatkanlah *S/N Ratio* dari hasil eksperimen konfirmasi gula pasir sebesar 45,83 dB.

Seperti halnya interval kepercayaan untuk prediksi rata-rata, interval kepercayaan untuk nilai rata-rata hasil eksperimen konfirmasi dihitung dengan persamaan:

$$CI = \pm \sqrt{F(0,10; 1: 18) \times MSe \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]} \dots\dots\dots(4.5)$$

Dengan persamaan di atas, diperoleh interval kepercayaan untuk rata-rata hasil eksperimen konfirmasi pada tingkat kepercayaan 90% adalah sebesar $\pm 0,1140$, sehingga nilai rata-rata hasil eksperimen konfirmasi terletak pada rentang:

$$\mu_{konfirmasi} - CI \leq \mu_{konfirmasi} \leq \mu_{konfirmasi} + CI$$

yaitu: $7,79 \leq 7,92 \leq 8,03$

Jika dibandingkan dengan prediksi nilai rata-rata berat isi gula pasir pada kondisi optimal yang telah dihitung sebelumnya, nilai rata-rata hasil eksperimen konfirmasi berada dalam interval kepercayaan prediksi rata-rata tersebut. Prediksi rata-rata berat isi gula pasir pada kondisi penyetelan yang optimal adalah $7,807 \leq 7,907 \leq 8,007$. Dapat kita lihat bahwa nilai rata-rata hasil eksperimen konfirmasi yaitu 7,92 berada dalam rentang tersebut.

Setelah mendapatkan nilai rata-rata dan *S/N Ratio* hasil eksperimen konfirmasi, kita dapat membandingkan keadaan proses pengemasan gula pasir sebelum dan sesudah dilaksanakannya eksperimen Taguchi.

Tabel 4.20 Perbandingan Kondisi Proses Pengemasan Gula Pasir Sebelum dan Sesudah Eksperimen

Berat Isi Gula Pasir	Sebelum Eksperimen	Setelah Eksperimen
Minimal	6,56 gram	7,81 gram
Maksimal	8,39 gram	8,05 gram
Rata-rata (Mean)	7,40 gram	7,92 gram
Modus	7,02 gram	7,89 gram
S/N Ratio	25,37 dB	46,65 dB

Tabel 4.20 memperlihatkan perbandingan kondisi proses pengemasan gula pasir sebelum dan sesudah dilaksanakannya eksperimen Taguchi. Nilai yang dibandingkan meliputi nilai minimal dan maksimalnya, rata-rata (*mean*), modus, serta *S/N Ratio*-nya. Dari tabel tersebut dapat kita lihat bahwa sebelum dilaksanakannya eksperimen, nilai minimal berat isi gula pasir yang dihasilkan

oleh proses pengemasan dengan mesin Sanko adalah 6,56 gram sedangkan maksimalnya 8,39 gram. Setelah dilaksanakannya eksperimen nilai minimal tersebut naik menjadi 7,81 gram sedangkan maksimalnya turun menjadi 8,05 gram. Dari kondisi tersebut, terbukti bahwa setelah dilaksanakannya eksperimen Taguchi, berat isi gula pasir yang dihasilkan menjadi semakin dekat dengan nilai target yaitu 8 gram dan rentang antara nilai terbesar dan terkecilnya menjadi lebih kecil.

Dari nilai rata-rata pada tabel 4.20, dapat kita lihat bahwa setelah eksperimen nilai rata-rata berat isi gula pasir meningkat menjadi 7,92 gram. Demikian pula dengan modulusnya. Sebelum eksperimen, berat isi gula pasir yang paling sering terjadi adalah 7,02 gram sedangkan setelah eksperimen nilai tersebut meningkat menjadi 7,89 gram. Demikian pula halnya dengan *S/N Ratio* yang mengalami peningkatan dari 25,37 dB menjadi 46,65 dB. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kombinasi level dan faktor optimal yang diperoleh dari hasil eksperimen Taguchi terbukti dapat meminimalkan deviasi berat isi gula pasir dari nilai targetnya yaitu 8 gram, serta mengurangi variasi berat isi gula pasir tersebut yang terlihat dari nilai *S/N Ratio* yang mengalami peningkatan.

4.3.2 Eksperimen Konfirmasi untuk Proses Pengemasan *Creamer* pada Mesin Chin Fong

Eksperimen konfirmasi pada proses pengemasan *creamer* dilakukan dengan usulan penyetelan optimal yang diperoleh dari hasil eksperimen *creamer* yaitu faktor A (temperatur ruang) pada level 3 (26°C), faktor B (kelembaban artikel) pada level 1 (2,5%), faktor C (jarak silinder dengan loyang) pada level 3 (10 mm), dan faktor D (kecepatan mesin) pada level 1 (58 sachet per menit). Sebagaimana eksperimen konfirmasi pada proses pengemasan gula pasir, eksperimen konfirmasi untuk *creamer* juga dilakukan sebanyak 6 kali dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.21 Hasil Eksperimen Konfirmasi *Creamer*

Eksperimen	Berat Isi <i>Creamer</i> (gram)						Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	
1	2,94	2,92	2,85	2,93	2,89	2,90	2,91
2	2,90	2,87	2,85	2,90	2,88	2,84	2,87
3	2,90	2,86	2,84	2,88	2,86	2,86	2,87
4	2,98	2,87	2,99	2,91	2,85	2,84	2,91
5	3	2,85	2,92	2,86	2,86	2,9	2,90
6	2,84	2,88	2,95	2,9	2,87	2,91	2,89

Setelah dilakukan pengolahan data hasil eksperimen konfirmasi *creamer*, diperoleh nilai rata-rata berat isi *creamer* sebesar 2,89 gram dan *S/N Ratio* sebesar 44,91 dB. Sedangkan untuk interval kepercayaan pada tingkat kepercayaan 90% yang dihitung dengan persamaan (4.5) diperoleh nilai sebesar $\pm 0,0408$, sehingga nilai-nilai rata hasil eksperimen konfirmasi *creamer* terletak dalam rentang:

$$\mu_{konfirmasi} - CI \leq \mu_{konfirmasi} \leq \mu_{konfirmasi} + CI$$

yaitu: $2,85 \leq 2,89 \leq 2,92$

Nilai rata-rata eksperimen konfirmasi *creamer* tersebut juga terletak dalam interval kepercayaan prediksi rata-rata berat isi *creamer* pada kondisi optimal yaitu $2,854 \leq 2,888 \leq 2,921$. Seperti yang dapat kita lihat, nilai rata-rata sebesar 2,89 terletak dalam rentang tersebut.

Nilai rata-rata dan *S/N Ratio* hasil eksperimen konfirmasi tersebut dapat dibandingkan dengan nilai rata-rata dan *S/N Ratio* proses pengemasan *creamer* sebelum dilaksanakannya eksperimen Taguchi.

Tabel 4.22 Perbandingan Kondisi Proses Pengemasan *Creamer* Sebelum dan Sesudah Eksperimen

Berat Isi <i>Creamer</i>	Sebelum Eksperimen	Setelah Eksperimen
Minimal	2,56 gram	2,84 gram
Maksimal	3,02 gram	3,00 gram
Rata-rata (Mean)	2,81 gram	2,89 gram
Modus	2,93 gram	2,9 gram
S/N Ratio	27,29 dB	44,91 dB

Tabel 4.22 memperlihatkan perbandingan kondisi proses pengemasan *creamers* sebelum dan sesudah dilaksanakannya eksperimen Taguchi. Sama dengan eksperimen gula pasir, nilai yang dibandingkan meliputi nilai minimal dan maksimalnya, rata-rata (*mean*), modus, serta *S/N Ratio*-nya. Dari tabel tersebut dapat kita lihat bahwa sebelum dilaksanakannya eksperimen, nilai minimal berat isi *creamers* yang dihasilkan oleh proses pengemasan dengan mesin Chin Fong adalah 2,56 gram sedangkan maksimalnya 3,02 gram. Setelah dilaksanakannya eksperimen nilai minimal tersebut naik menjadi 2,84 gram sedangkan maksimalnya turun menjadi 3,00 gram. Dari kondisi tersebut, terbukti bahwa setelah dilaksanakannya eksperimen Taguchi, berat isi *creamers* yang dihasilkan menjadi semakin dekat dengan nilai target yaitu 3 gram dan rentang antara nilai terbesar dan terkecil menjadi lebih kecil.

Dari nilai rata-rata pada tabel 4.22, dapat kita lihat bahwa setelah eksperimen nilai rata-rata berat isi *creamers* meningkat menjadi 2,89 gram. Namun, tidak demikian dengan nilai modusnya. Sebelum eksperimen, berat isi *creamers* yang paling sering terjadi adalah 2,93 gram sedangkan setelah eksperimen nilai tersebut turun menjadi 2,90 gram. Walaupun demikian, nilai penurunannya cukup kecil dan tidak terlalu signifikan. Dari kondisi tersebut, terlihat bahwa nilai modus berat isi *creamers* sebelum dan sesudah eksperimen sudah mulai mendekati target yaitu 3 gram.

Setelah dilaksanakannya eksperimen Taguchi, *S/N Ratio* untuk berat isi *creamers* juga mengalami peningkatan dari 27,29 dB menjadi 44,91 dB. Dengan demikian, seperti halnya pada eksperimen gula pasir, kombinasi level dan faktor optimal yang diperoleh dari hasil eksperimen Taguchi yang dilakukan terhadap proses pengemasan *creamers* terbukti dapat meminimalkan deviasi berat isi *creamers* dari nilai targetnya yaitu 3 gram, serta mengurangi variasi berat isi *creamers* tersebut yang terlihat dari nilai *S/N Ratio* yang mengalami peningkatan.

BAB 5 KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari eksperimen Taguchi yang telah dilaksanakan, diperoleh rancangan penyetelan proses pengemasan gula pasir dan *creamer* yang optimal. Rancangan penyetelan tersebut adalah berupa kombinasi level dan faktor yang dapat menghasilkan berat isi gula pasir dan *creamer* yang mendekati nilai target serta memiliki variasi seminimal mungkin. Dari analisis yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa faktor yang berpengaruh signifikan terhadap rata-rata dan variabilitas berat isi gula pasir dalam kemasan adalah kelembaban artikel, jarak silinder dengan loyang, dan kecepatan mesin. Rancangan penyetelan yang optimal untuk faktor-faktor tersebut adalah kelembaban artikel diset pada level 1 (0,09%), jarak silinder dengan loyang diset pada level 3 (10 mm), dan kecepatan mesin pada level 3 (115 *sachet* per menit).

Faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap rata-rata berat isi *creamer* adalah jarak silinder dengan loyang dan kecepatan mesin, sedangkan faktor yang berpengaruh signifikan terhadap variabilitas berat isi *creamer* adalah jarak silinder dengan loyang. Rancangan penyetelan yang optimal untuk faktor-faktor tersebut adalah jarak silinder dengan loyang diset pada level 3 (10 mm) dan kecepatan mesin diset pada level 1 (58 *sachet* per menit).

Dari eksperimen konfirmasi, rancangan penyetelan yang optimal tersebut dapat meningkatkan berat isi gula pasir menjadi 7,92 gram dan berat isi *creamer* menjadi 2,89 gram. *S/N Ratio* proses pengemasan gula pasir pada kondisi optimal mengalami peningkatan menjadi 46,65 dB dan *S/N Ratio* proses pengemasan *creamer* juga meningkat menjadi 44,91 dB. Dengan demikian, kombinasi level dan faktor optimal yang diperoleh dari hasil eksperimen Taguchi terbukti dapat meminimalkan deviasi berat isi gula pasir dan *creamer* dari nilai targetnya serta mengurangi variasi berat isi gula pasir dan *creamer* tersebut.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Sebaiknya desain eksperimen Taguchi dilakukan secara aktual agar hasil yang diperoleh lebih valid dan benar-benar dapat menggambarkan proses yang sebenarnya. Namun, eksperimen tersebut tentu membutuhkan waktu dan biaya yang lebih besar.
2. Dalam melaksanakan eksperimen Taguchi untuk suatu proses tertentu, sebaiknya ditinjau kembali respon-respon kualitas yang menggambarkan kualitas proses tersebut. Jika suatu proses memiliki lebih dari satu respon kualitas, sebaiknya respon-respon kualitas tersebut dianalisis dalam satu eksperimen, misalnya dengan *Multi-Response Taguchi* sehingga dapat diketahui pengaruh antara respon kualitas yang satu dengan lainnya.
3. Sebaiknya juga dilakukan perumusan *Taguchi Loss Function* untuk proses yang diteliti agar dapat dihitung kerugian secara finansial yang ditimbulkan akibat kondisi proses yang belum optimal serta keuntungan yang diperoleh setelah melaksanakan eksperimen Taguchi. Namun, dalam perumusan *Loss Function* tersebut, kita harus mengidentifikasi biaya yang ditimbulkan akibat adanya variasi kualitas yang untuk beberapa proses tertentu, hal tersebut sulit untuk dilakukan.

DAFTAR REFERENSI

- Al Aina, F. (2009). Optimasi Berat Lapisan dengan Metode Desain Parameter Taguchi dan Model Proses Neural Network Pada Industri Pembuatan Kemasan Produk. *Skripsi Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Indonesia*, Depok.
- Departemen TI UI. (n.d.). *Seri peningkatan kualitas pembelajaran TI UI-diagram keterkaitan masalah dalam skripsi dan tesis*. Maret 13, 2009.
- Hristev, R.M. (1998). *The ANN Book*, GNU General Public License.
- Ilmi, B. (1999). Studi Desain Eksperimental Metode Taguchi untuk Proses Laminasi Ekstrusi Polypropylene Pada Film Oriented Polypropylene. *Tesis Program Studi Teknik Mesin, Program Pasca Sarjana BIT-UI*, Depok.
- Montgomery, D.C. (2005). *Design and analysis of experiment*, New York: John Willey and Sons, Inc.
- Muchtiar, Y. (2002). Penggunaan Metode Taguchi untuk Merancang Kualitas Proses Injection Molding. *Tesis Program Studi Teknik Industri, Program Pasca Sarjana BIT-UI*, Depok.
- Ng, K.W, et al. (2009). Parametrical Optimization of Laser Surface Alloyed NiTi Shape Memory Alloy with Co and Nb by the Taguchi method. *International Journal of Mechanical Engineering*, 223, 969-979.
- Park, S.H. (1996). *Robust design and analysis for quality engineering*, London: Chapman&Hall.
- Puspitaningrum, Diyah. (2009). *Pengantar Jaringan Saraf Tiruan*, Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Rahmati, S, et al. (2007). Dimensional Accuracy Analysis of Wax Pattern Created by RTV Silicone Rubber Molding Using the Taguchi Approach. *Rapid Prototyping Journal*, 13, 2, 115-122.
- Rao, Ashok, et al. (1996). *Total Quality Management: A Cross Functional Perspective*, Kanada: John Willey and Sons, Inc.
- Ross, P. J. (1989). *Taguchi techniques for quality engineering*, Singapore: McGraw-Hill.

- Roy, Ranjit. (1990). *A Primer on the Taguchi Method*, New York: Van Nostrand Reinhold.
- Soejanto, Irwan. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Taguchi, G., et al. (2005). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*, Kanada: John Willey and Sons, Inc.
- Wang, C.C, et al. (2007). Optimizing the Rapid Prototyping Process by Intregrating the Taguchi Method with the Gray Relational Analysis, *Rapid Prototyping Journal*, 13, 5, 304-315.
- Wibowo, L. (2008, June 29). ANOVA.
<http://qualityengineering.wordpress.com/>
- Wibowo, L. (2008, June 29). Design-of-Experiment.
<http://qualityengineering.wordpress.com/>
- Wibowo, L. (2008, June 29). Metode Taguchi.
<http://qualityengineering.wordpress.com/>
- Wibowo, L. (2008, June 29). Orthogonal Array.
<http://qualityengineering.wordpress.com/>
- Yosua. (2009). Peningkatan Kualitas di Lini Produksi Plastic Painting dengan Metode Taguchi. *Skripsi Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Indonesia*, Depok.
- Zeydan, M. (2008). Modelling the Woven Fabric Strength Using Artificial Neural network and Taguchi Methodologies. *The International Journal of Clothing Science and Technology*, 20, 2, 104-118.