

**DESAIN EKSPERIMEN TAGUCHI DALAM MENENTUKAN
PENYETELAN MESIN YANG OPTIMAL DALAM PROSES
PENGEMASAN CREAMER UNTUK MENGHASILKAN
KEKUATAN SEAL YANG TERBAIK**

SKRIPSI

**SURYANINGSIH
06 06 03 20 51**



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

**DESAIN EKSPERIMEN TAGUCHI DALAM MENENTUKAN
PENYETELAN MESIN YANG OPTIMAL DALAM PROSES
PENGEMASAN CREAMER UNTUK MENGHASILKAN
KEKUATAN SEAL YANG TERBAIK**

SKRIPSI

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

**SURYANINGSIH
06 06 03 20 51**



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

PERNYATAAN ORISINALITAS

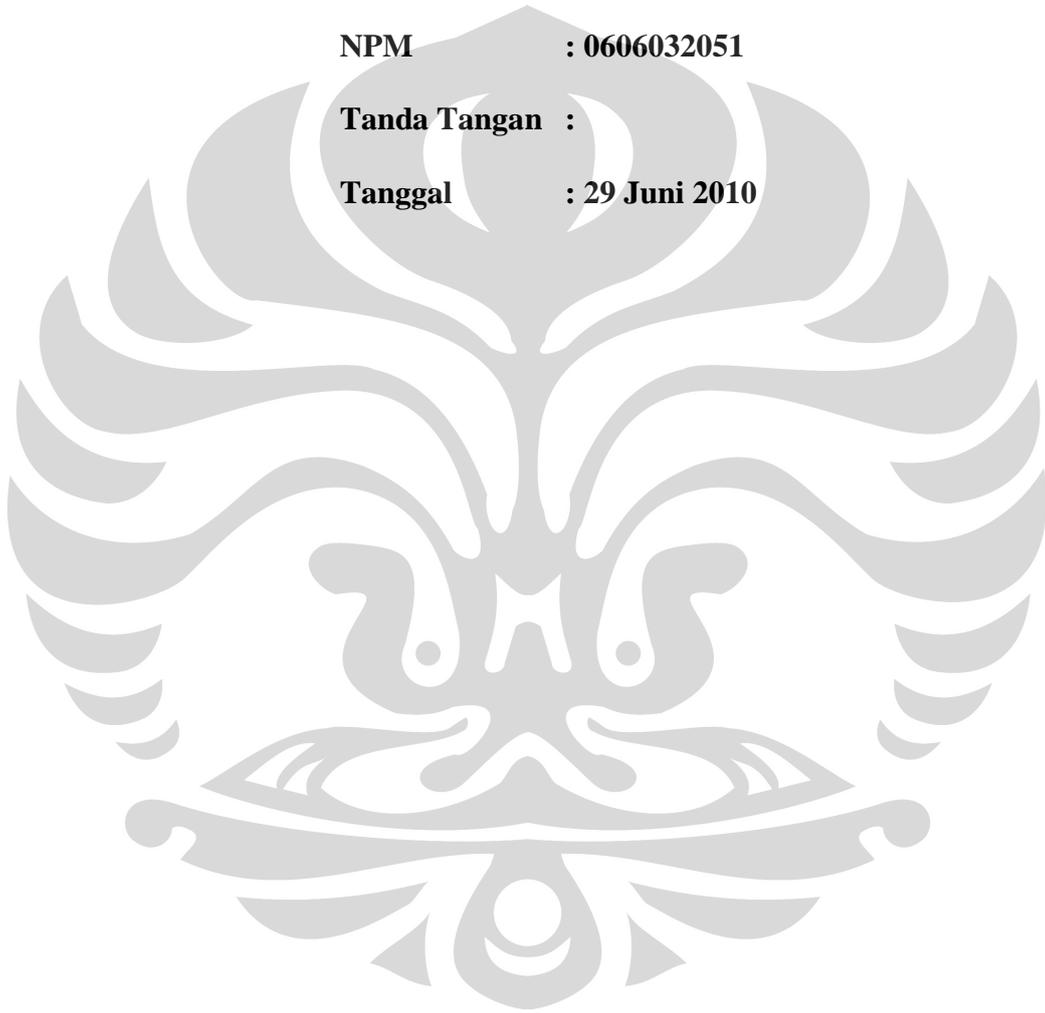
Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Suryaningsih

NPM : 0606032051

Tanda Tangan :

Tanggal : 29 Juni 2010



LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Suryaningsih
NPM : 0606032051
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Desain Eksperimen Taguchi dalam Menentukan
Penyetelan Mesin yang Optimal dalam Proses
Pengemasan Creamer untuk Menghasilkan
Kekuatan Seal yang Terbaik

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. Teuku Yuri M. Zagloel M.Eng. Sc. (.....)

Penguji 1 : Ir. Sri Bintang P.,MSISE.,PhD

Penguji 2 : Ir. Rahmat Nurcahyo,M.Eng.Sc.

Penguji 3 : Dendi P. Ishak,MSIE

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juni 2010

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-NYA, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi syarat untuk gelar Sarjana Teknik Jurusan Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Penulis juga tidak lupa ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak, antara lain :

- (1) Dr. Ir. Teuku Yuri M. Zagloel M.Eng. Sc. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Seluruh karyawan Samudra Montaz *Packaging Industry*, antara lain : Pak Inglez, Bu Susi, dan seluruh operator di Pondok Bambu yang sudah direpotkan pada saat pengambilan data, serta karyawan yang berada di Cikarang;
- (3) Papa dan Mama tercinta yang telah memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan baik moril dan materiil kepada penulis;
- (4) Saudara-saudara saya yang telah memberikannya agar penulis tetap semangat menyelesaikan skripsi ini, khususnya pada Ica yang selalu memberikan sedikit hiburan untuk penulis dengan mengabari perkembangan yang ada terjadi di rumah;
- (5) Mona Ariesta sebagai partner skripsi yang selalu menemani dari awal hingga akhir pembuatan skripsi ini;
- (6) Ema Farikhatin dan Ahmad Barlianta sebagai teman saling berbagi ilmu mengenai materi yang dibahas dalam skripsi ini;
- (7) Teman-teman Teknik Industri 2006 khususnya Ismi Mey Gunanti, Dinar Sukmaningati, Asa Vania Rahayu dan M. Aditia Eka Putra yang menjadi tempat curahan hati dan selalu mendukung saya dalam proses pengerjaan skripsi;

(8) Syrian F. Razie yang memberikan sedikit semangat kepada penulis saat mengalami masa-masa yang sulit, dan terima kasih atas kunjungannya kemarin;

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan akhir ini masih banyak kekurangan, baik dalam cara penulisan maupun pengumpulan dan pengolahan data. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dari para pembaca agar menjadi masukan untuk penulisan-penulisan selanjutnya. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi para pembaca dan membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Depok, 29 Juni 2010
Penulis

Suryaningsih
NPM. 06 06 032 051

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Suryaningsih

NPM : 0606032051

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 yang berjudul :

Desain Eksperimen Taguchi dalam Menentukan Penyetelan Mesin yang Optimal dalam Proses Pengemasan Creamer untuk Menghasilkan Kekuatan Seal yang Terbaik

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (datahouse), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari 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

(Suryaningsih)

ABSTRAK

Name : Suryaningsih
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Desain Eksperimen Taguchi dalam Menentukan Penyetelan
Mesin yang Optimal dalam Proses Pengemasan Creamer untuk
Menghasilkan Kekuatan Seal yang Terbaik

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian untuk menghasil sebuah penyetelan mesin pengemasan yang *output* dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan kekuatan *seal* yang kuat. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan metode Taguchi dan untuk mendapatkan kombinasinya, peneliti juga menggunakan *Artificial Neural Network*. Metode Taguchi digunakan untuk mendapatkan kombinasi yang optimal, sedangkan *Neural Network* digunakan untuk memprediksi hasil dari kombinasi yang diinginkan. Setelah mendapatkan kombinasi yang tepat, selanjutnya peneliti melakukan eksperimen konfirmasi. Eksperimen konfirmasi ini digunakan sebagai uji coba dari kombinasi yang telah dihasilkan.

Kata Kunci :

Desain proses, peningkatan kualitas proses, metode Taguchi, *Neural Network* untuk prediksi, eksperimen konfirmasi.

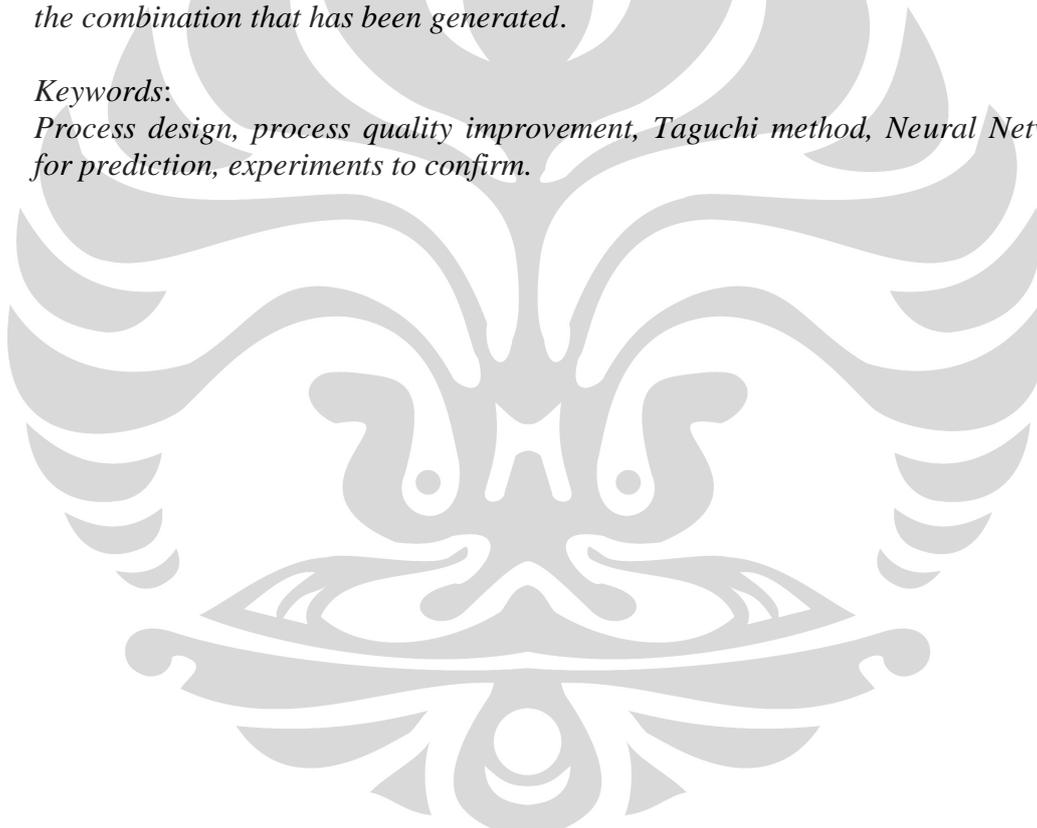
ABSTRACT

*Name : Suryaningsih
Study Program : Industrial Engineering
Title : Taguchi Experimental Design in Determining the Optimal Setup Machine Creamer Packaging Process to Produce the Right Seal Strength*

The research is research to produce an output adjustment packaging machine of this research is to produce a strong seal strength. In this study, researchers used the Taguchi method and to get the combination, researchers are also using Artificial Neural Network. Taguchi method is used to obtain the optimal combination, while the neural network is used to predict the outcome of the desired combination. After getting the right combination, then the researchers conducted experiments to confirm. Confirmation experiment was used as a test of the combination that has been generated.

Keywords:

Process design, process quality improvement, Taguchi method, Neural Network for prediction, experiments to confirm.

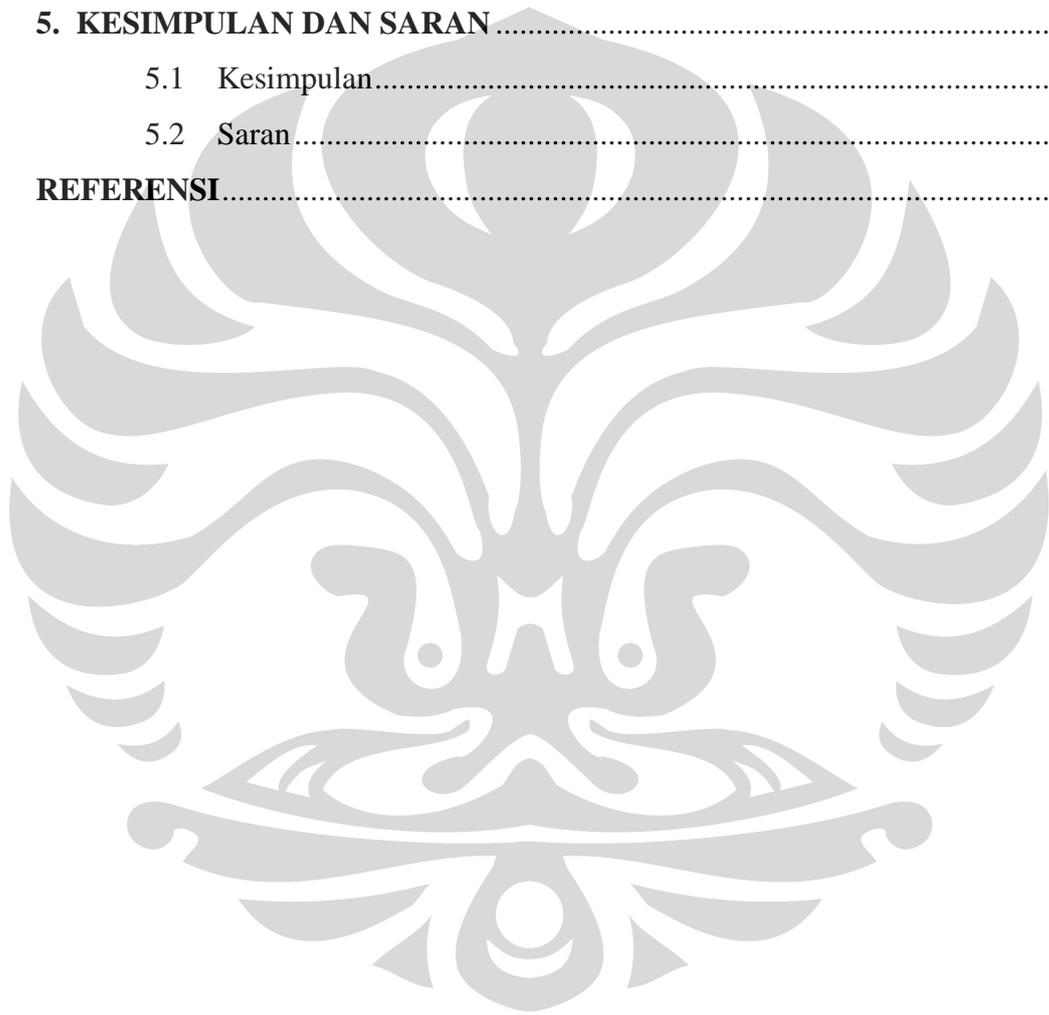


DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	3
1.3 Perumusan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.4.1 Tujuan Umum.....	5
1.4.2 Tujuan Khusus.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Metodologi Penelitian.....	6
1.7 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	8
1.8 Sistematika Penelitian.....	10
2. TINJAUAN LITERATUR.....	11
2.1 Rekayasa Kualitas.....	11
2.1.1 Kualitas.....	11
2.1.2 Rekayasa Kualitas.....	12
2.1.3 Pendekatan Taguchi Terhadap Rekayasa Kualitas.....	15
2.1.4 Tiga Langkah Pada Desain Proses.....	16
2.1.5 Penggunaan Noise.....	17
2.1.6 Hal-hal Penting Dalam Perencanaan Peningkatan Kualitas.....	18
2.2 Metode Taguchi Desain Eksperimen.....	18
2.2.1 Pendahuluan Desain Eksperimen.....	18
2.2.2 Pendahuluan Metode Taguchi.....	23
2.2.3 Taguchi <i>Loss function</i>	28

2.2.4	Signal to noise ratio (S/N Ratio)	30
2.2.6	Tahapan dalam Metode Taguchi	36
2.2.7	Taguchi Desain Parameter	39
2.2.8	Analisa dalam Hasil Eksperimen	41
2.3	<i>Artificial Neural Network</i>	45
2.3.1	<i>Artificial Intelligence</i>	45
3.	PENGUMPULAN DATA	58
3.1	Proses Produksi	58
3.2	Pengumpulan Data	61
3.3	Desain Parameter Taguchi	63
3.3.1	Penentuan Respon Kualitas	64
3.3.2	Penentuan Faktor	64
3.3.3	Penentuan Matriks <i>Orthogonal Array</i> (OA) dan Penempatan Kolom Faktor	65
3.4	Pembuatan Model Tiruan <i>Neural Network</i>	66
3.4.1	<i>Training</i> dan <i>Testing</i> Model NN	67
3.5	Pelaksanaan Eksperimen Menggunakan Model Tiruan Nn	77
3.5.1	Pelaksanaan Eksperimen Kekuatan <i>Upper Seal</i> Mesin Chin Fong	77
3.5.2	Pelaksanaan Eksperimen Kekuatan <i>Lower Seal</i> Mesin Chin Fong	79
3.5.3	Pelaksanaan Eksperimen Kekuatan <i>Upper Seal</i> Mesin Masema	80
3.5.4	Pelaksanaan Eksperimen untuk Kekuatan <i>Lower Seal</i> pada Mesin Masema	81
4.	PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA	83
4.1	Pengolahan Varians Rata-Rata Kekuatan <i>Seal</i>	83
4.1.1	Mesin Chin Fong	83
4.1.2	Mesin Masema	86
4.2	Analisa Varians Rata-Rata Kekuatan <i>Seal</i>	89
4.2.1	Mesin Chin Fong	89
4.2.2	Mesin Masema	93
4.3	Pengaruh Faktor Terhadap Variabilitas Kekuatan <i>Seal</i>	97

4.3.1	Mesin Chin Fong.....	97
4.3.2	Mesin Masema	105
4.4	Penyetelan Mesin yang Optimum	113
4.4.1	Mesin Chin Fong.....	113
4.4.2	Mesin Masema	114
4.5	Eksperimen Konfirmasi.....	116
4.5.1	Hasil Pengolahan Data Eksperimen Konfirmasi.....	117
5.	KESIMPULAN DAN SARAN	121
5.1	Kesimpulan.....	121
5.2	Saran	121
	REFERENSI.....	122



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Kualitas.....	27
Tabel 2.2 Perumusan <i>Loss function</i>	30
Tabel 2.3 Matriks <i>Orthogonal Array</i> L_4	34
Tabel 2.4 Rumus Perhitungan Tabel <i>ANOVA</i>	42
Tabel 2.5 Contoh tabel <i>Pareto ANOVA</i>	44
Tabel 3.1a Faktor dan Level untuk Mesin Chin Fong	61
Tabel 3.1b Faktor dan Level untuk Mesin Masema.....	62
Tabel 3.2 Kombinasi <i>Othogonal Array</i>	66
Tabel 3.3 Tipe Variabel Tiruan NN	68
Tabel 3.4a Tipe Variabel Tiruan NN untuk Kekuatan <i>Upper Seal</i>	68
Tabel 3.4a Tipe Variabel Tiruan NN untuk Kekuatan <i>Upper Seal</i>	68
Tabel 3.5 Parameter Model Tiruan NN untuk Mesin Chin Fong dan Masema	71
Tabel 3.6 Data Prediksi <i>Error</i> Model Tiruan NN	73
Tabel 3.7 Data Prediksi <i>Error</i> Model Tiruan NN	74
Tabel 3.8 Data Prediksi <i>Error</i> Model Tiruan NN	75
Tabel 3.9 Data Prediksi <i>Error</i> Model Tiruan NN	76
Tabel 3.10 Hasil Eksperimen Kekuatan <i>Seal Upper</i> pada Mesin Chin Fong	78
Tabel 3.11 Respon Rata-rata Kekuatan <i>Seal</i> dari Pengaruh Faktor	78
Tabel 3.12 Hasil Eksperimen Kekuatan <i>Lower Seal</i> pada Mesin Chin Fong	79
Tabel 3.13 Respon Rata-rata Kekuatan <i>Seal</i> dari Pengaruh Faktor	79
Tabel 3.14 Hasil Eksperimen Kekuatan <i>Upper Seal</i> pada Mesin Masema.....	80
Tabel 3.15 Respon Rata-rata Kekuatan Seal dari Pengaruh Fakto.....	80
Tabel 3.16 Hasil Eksperimen Kekuatan <i>Lower Seal</i> pada Mesin Masema.....	81
Tabel 3.17 Respon Rata-rata Kekuatan <i>Seal</i> dari Pengaruh Faktor	82
Tabel 4.1 <i>Sum of Square</i> Faktor	83
Tabel 4.2 <i>Mean Square</i> Faktor	84
Tabel 4.3 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan <i>Seal</i>	84
Tabel 4.4 <i>Sum of Square</i> Faktor	85
Tabel 4.5 <i>Mean Square</i> Faktor	85

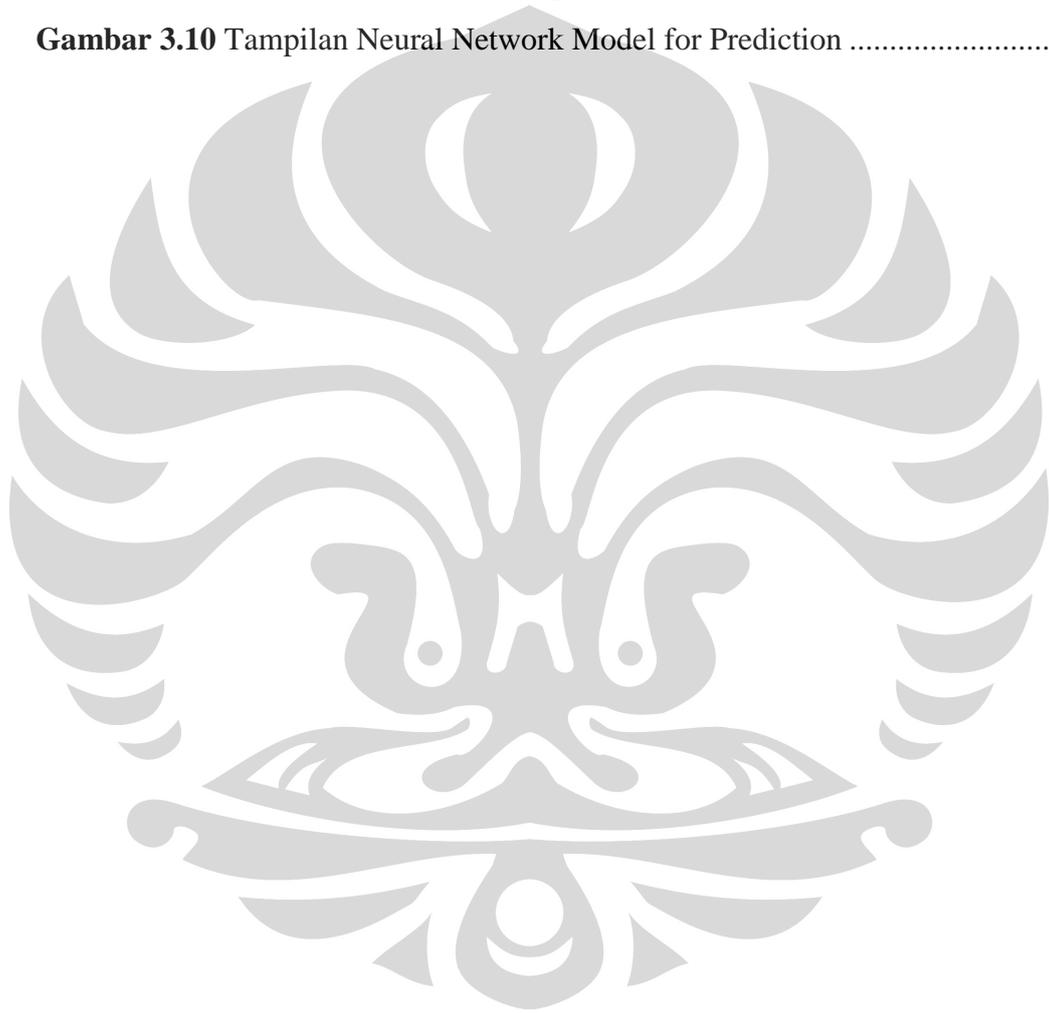
Tabel 4.6 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan <i>Seal</i>	86
Tabel 4.7 <i>Sum of Square</i> Faktor	86
Tabel 4.8 <i>Mean Square</i> Faktor	87
Tabel 4.9 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan <i>Seal</i>	87
Tabel 4.10 <i>Sum of Square</i> Faktor	87
Tabel 4.11 <i>Mean Square</i> Faktor	88
Tabel 4.12 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan <i>Seal</i>	88
Tabel 4.13 Analisis Varians	89
Tabel 4.14 Persen Kontribusi	90
Tabel 4.15 Analisis Varians	91
Tabel 4.16 Persen Kontribusi	92
Tabel 4.17 Analisis Varians	93
Tabel 4.18 Persen Kontribusi	94
Tabel 4.19 Analisis Varians	95
Tabel 4.20 Persen Kontribusi	96
Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Rasio S/N untuk <i>Upper Seal</i>	97
Tabel 4.22 Hasil Perhitungan Rasio S/N untuk <i>Lower Seal</i>	97
Tabel 4.23 Respon Kekuatan <i>Seal</i> dari Pengaruh Faktor	98
Tabel 4.23 <i>Sum of Square</i> Faktor	98
Tabel 4.24 <i>Mean Square</i> Faktor	99
Tabel 4.25 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan <i>Seal</i>	99
Tabel 4.26 Analisis Varians	100
Tabel 4.27 Persen Kontribusi	100
Tabel 4.28 Respon Kekuatan <i>Seal</i> dari Pengaruh Faktor	101
Tabel 4.29 <i>Sum of Square</i> Faktor	102
Tabel 4.30 <i>Mean Square</i> Faktor	102
Tabel 4.31 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan <i>Seal</i>	103
Tabel 4.32 Analisis Varians	103
Tabel 4.33 Persen Kontribusi	104
Tabel 4.34 Hasil Perhitungan Rasio S/N untuk <i>Upper Seal</i>	105
Tabel 4.35 Hasil Perhitungan Rasio S/N untuk <i>Lower Seal</i>	105

Tabel 4.36 Respon Kekuatan <i>Seal</i> dari Pengaruh Faktor	106
Tabel 4.37 <i>Sum of Square</i> Faktor	106
Tabel 4.38 <i>Mean Square</i> Faktor	107
Tabel 4.39 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan <i>Seal</i>	107
Tabel 4.40 Analisis Varians	108
Tabel 4.41 Persen Kontribusi	108
Tabel 4.42 Respon Kekuatan <i>Seal</i> dari Pengaruh Faktor	109
Tabel 4.43 <i>Sum of Square</i> Faktor	110
Tabel 4.44 <i>Mean Square</i> Faktor	110
Tabel 4.45 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan <i>Seal</i>	111
Tabel 4.46 Analisis Varians	111
Tabel 4.47 Persen Kontribusi	112
Tabel 4.48 Hasil Percobaan Konfirmasi Mesin Chin Fong.....	116
Tabel 4.49 Hasil Percobaan Konfirmasi Mesin Chin Fong.....	117
Tabel 4.50 Interpretasi Hasil Ukuran Kekuatan <i>Upper Seal</i> untuk Mesin Chin Fong	119
Tabel 4.51 Interpretasi Hasil Ukuran Kekuatan <i>Lower Seal</i> untuk Mesin Chin Fong	119
Tabel 4.52 Interpretasi Hasil Ukuran Kekuatan <i>Upper Seal</i> untuk Mesin Masema	120
Tabel 4.53 Interpretasi Hasil Ukuran Kekuatan <i>Lower Seal</i> untuk Mesin Masema	120

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian	9
Gambar 2.1 Aktivitas Quality Control pada Industri di Korea	15
Gambar 2.2 Tipe Noise dan Penanggulangannya.....	17
Gambar 2.3 Prosedur Desain Eksperimen.....	20
Gambar 2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Kualitas	27
Gambar 2.5 Kurva Kuadratik <i>Taguchi Loss function</i>	28
Gambar 2.6 Tiga Kategori Karakteristik Kualitas.....	30
Gambar 2.7 Diagram Sistem dengan Parameter	31
Gambar 2.8 Lambang <i>Orthogonal Array</i>	34
Gambar 2.9 Diagram Faktor-Faktor Pada Sistem	40
Gambar 2.10 Matriks <i>Orthogonal Array</i> dengan <i>Inner and Outer Array</i>	40
Gambar 2.11 Cabang dari Sistem Teori General	47
Gambar 2.12 Klasifikasi <i>Neural Network</i>	47
Gambar 2.13 Bentuk Dasar <i>Neuron</i>	49
Gambar 2.14 Arsitektur Dasar <i>Neural Network</i>	51
Gambar 2.15 Single-layer <i>Neural Network</i>	51
Gambar 2.16 <i>Multilayer Perceptron Neural Network</i>	52
Gambar 2.17 <i>Recurrent Network</i>	52
Gambar 2.18 Penggunaan <i>Single Layer Neural Network</i>	53
Gambar 2.19 Penggunaan <i>Multilayer Perceptron Neural Network</i>	53
Gambar 2.20 Proses <i>Multilayer Perceptron Neural Network</i>	54
Gambar 2.21 <i>Multilayer Perceptron Neural Network 3 Layer</i>	55
Gambar 3.1 Sketsa Mesin yang Diamati	59
Gambar 3.2 Proses Produksi	60
Gambar 3.3a Hasil <i>Packaging</i> dari Mesin Chin Fong	62
Gambar 3.3b Hasil <i>Packaging</i> dari Mesin Masema.....	63
Gambar 3.4 Alat Pengukur Kekuatan <i>Seal</i>	63
Gambar 3.5 <i>Network Architecture Options</i>	70
Gambar 3.6a Grafik Kesalahan Model pada <i>Training Process</i>	73

Gambar 3.6b Grafik Kesalahan Model pada <i>Validation Process</i>	73
Gambar 3.7a Grafik Kesalahan Model pada <i>Training Process</i>	74
Gambar 3.7b Grafik Kesalahan Model pada <i>Validation Process</i>	74
Gambar 3.8a Grafik Kesalahan Model pada <i>Training Process</i>	75
Gambar 3.8b Grafik Kesalahan Model pada <i>Validation Process</i>	75
Gambar 3.9a Grafik Kesalahan Model pada <i>Training Process</i>	76
Gambar 3.9b Grafik Kesalahan Model pada <i>Validation Process</i>	76
Gambar 3.10 Tampilan Neural Network Model for Prediction	77



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam persaingan dunia industri yang semakin ketat maka setiap perusahaan baik yang bergerak dalam bidang manufaktur maupun jasa selalu berusaha menjaga performa proses bisnisnya agar mampu menghasilkan produk/jasa yang dapat diterima oleh konsumen. Hal ini dimaksudkan untuk mencapai tujuan perusahaan yaitu mencapai profit yang setinggi tingginya. Untuk mencapai tujuan ini maka perusahaan harus mampu memberikan produk yang mampu memenuhi karakteristik kualitas yang diinginkan konsumen sehingga tercapai *customer satisfaction*. Jika produk tidak sesuai dengan karakteristik kualitas yang diinginkan oleh konsumen, maka perusahaan akan kehilangan pangsa pasarnya karena konsumen akan beralih ke perusahaan lain yang mampu memberikan produk yang memenuhi karakteristik kualitas yang diharapkan.

Sering kali kita mendengar dalam kehidupan sehari-hari banyak orang yang membicarakan mengenai kualitas. Yang mana kualitas itu memiliki banyak arti. Kualitas bisa mencakup jasa, proses, produk, lingkungan dan manusia. Kualitas juga bisa meliputi usaha untuk memenuhi atau juga melebihi harapan dari pelanggan atau kata lainnya memberikan *good satisfaction* kepada pelanggan. Kualitas merupakan kondisi yang berubah-ubah. Misalnya saja pada saat ini kualitas dari proses mesin A sangat bagus, bisa saja beberapa bulan mendatang kualitas dari mesin tersebut menjadi berkurang. Sedangkan menurut Taguchi, kualitas adalah sesuatu hal yang dilakukan untuk menghasilkan produk dan jasa yang dapat memenuhi kebutuhan dan harapan konsumen berkaitan dengan umur produk atau jasa.

Menghadapi kondisi yang terjadi, perusahaan harus berupaya menyesuaikan diri dengan keadaan yang sedang terjadi agar sebuah perusahaan dapat bertahan dalam persaingan yang ada. Tapi dengan usaha-usaha yang telah dilakukan oleh perusahaan, perusahaan masih saja bisa dipandang kalah bersaing dengan perusahaan lainnya oleh para pelanggan. Dan untuk itu, perusahaan harus lebih teliti lagi dalam memperhatikan penyebab-penyebab yang dapat

mengakibatkan perusahaan masih dianggap kalah bersaing dengan perusahaan lainnya. Jika diteliti penyebabnya adalah kesalahan-kesalahan kecil dalam proses operasi/produksi, keterlambatan proses, penyelesaian produksi terlalu dini dan cacat-cacat kecil pada output yang dipandang sebagai konsekuensi bisnis yang wajar.

Sejatinya perlu disadari bahwa setiap penyimpangan berapapun kecilnya tetap merupakan problema yang pada gilirannya rawan menimbulkan pengorbanan biaya, menurunkan laba perusahaan dan mengurangi kepuasan pelanggan. Maka lebih bijaksana apabila pihak manajemen memantau dan mengamati penyimpangan-penyimpangan yang terjadi beserta akar-akar penyebabnya, kemudian berupaya mengendalikannya. Banyak langkah antisipasi yang dapat diambil oleh pihak perusahaan antara lain dengan metode pengendalian kualitas. Namun metode pengendalian kualitas yang dilakukan hanya setelah produk tersebut diproduksi (metode inspeksi) dapat meningkatkan kepuasan konsumen namun hal ini dapat menimbulkan peningkatan biaya karena banyak produk yang diperbaiki atau dibuang karena diluar standar yang telah ditetapkan sebelumnya. Penggantian mesin produksi dengan yang lebih baru dan lebih baik juga tidak menjawab masalah karena akan menambah biaya investasi. Untuk mengatasi masalah perlu dilakukan rekayasa kualitas.

Rekayasa kualitas merupakan pengetahuan antar cabang ilmu pengetahuan yang tertuju tidak hanya kepada memproduksi produk yang memuaskan untuk pelanggan tetapi juga mengurangi kerugian total yang ditimbulkan produk yaitu kerugian manufaktur ditambah kerugian kualitas (Park, 1996). Metode rekayasa kualitas mulai diperkenalkan secara luas oleh Genichi Taguchi pada tahun 1985 melalui publikasi jurnal *American Society for Quality Control*. Menurut Taguchi, desain produk dan proses memiliki dampak yang lebih besar dibandingkan dengan jalannya proses produksi dan inspeksi. Kualitas seharusnya dirancang kedalam produk dan bukannya untuk diinspeksikan kedalamnya. Sehingga metode Taguchi 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).

Metode Taguchi diaplikasikan oleh kebanyakan perusahaan manufaktur yang ada di Jepang dalam hal untuk memperbaiki kualitas produk dan proses yang dilakukan. Penekanan lebih diutamakan pada rancangan kualitas pada produk dan proses, bukan pada taraf inspeksi pada produk. Di dalam kualitas secara esensial Taguchi memakai alat-alat statistik, tetapi disederhanakan dengan mengidentifikasi beberapa petunjuk yang kuat untuk layout eksperimen dan menganalisis hasilnya. Pendekatannya lebih dari sebuah layout eksperimen, konsepnya adalah menghasilkan disiplin pengembangan kualitas yang kuat dan unik, yang berbeda dari praktek-praktek tradisional. Jadi Taguchi di sini menekan pentingnya perencanaan produk yang kokoh (*robust*) sehingga mampu berfungsi dengan baik pada taraf produksi maupun operasi produk.

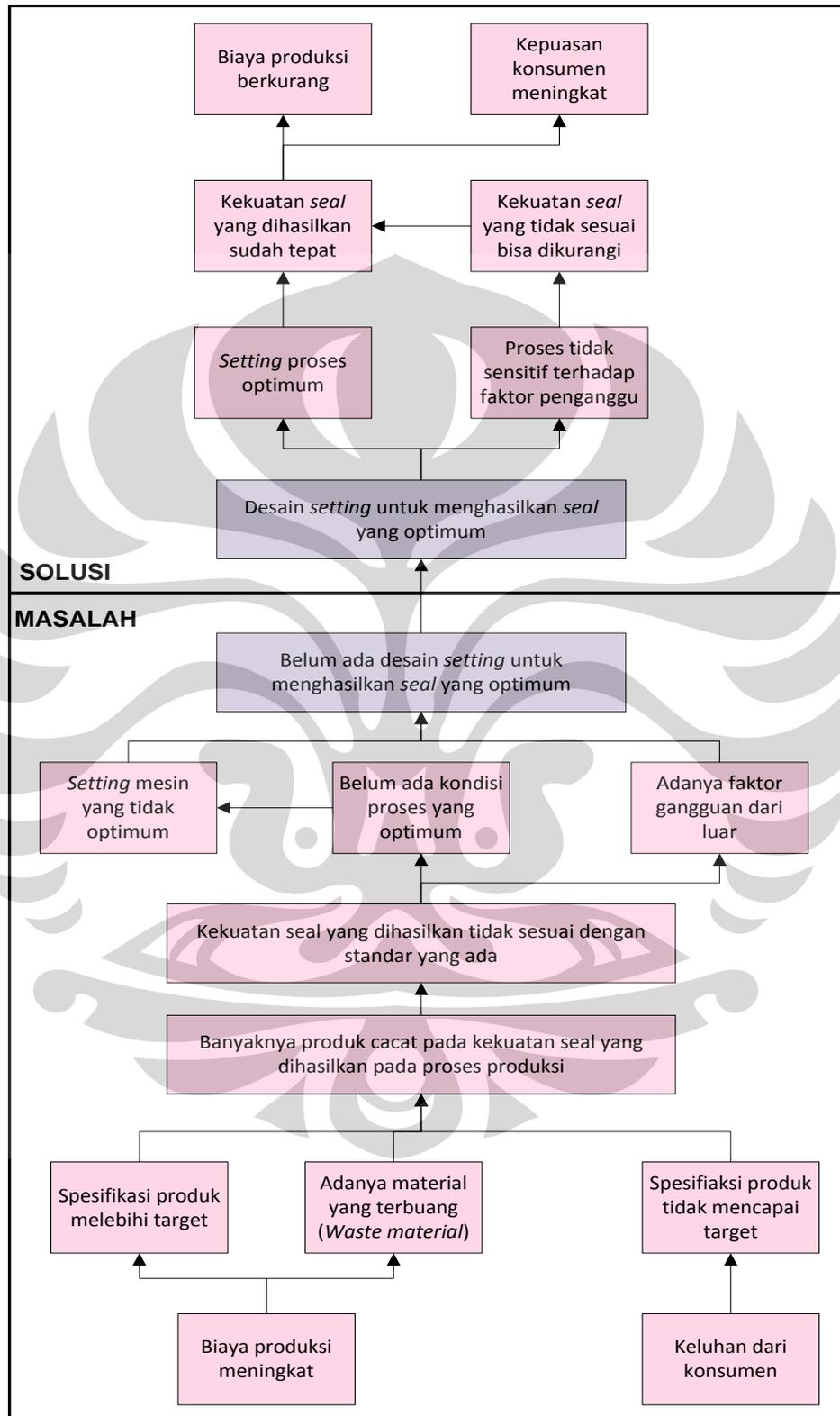
Penelitian ini merupakan studi kasus yang menganalisa proses pengemasan pada industri *packaging*. Proses tersebut dilakukan dengan menggunakan beberapa mesin yang memiliki karakteristik masing-masing. Dalam hal ini, yang menjadi masalah yang akan dibahas pada penelitian kali ini adalah mengenai kekuatan *seal* yang dihasilkan.

Permasalahan yang timbul adalah adanya gangguan-gangguan pada proses pengemasan sehingga dapat menghasilkan produk cacat (*defect*), yang menjadi suatu permasalahan kualitas. Produk cacat tersebut dapat menimbulkan kerugian biaya karena menjadi *waste material* yang harus dibuang. Selain itu, juga dapat menimbulkan kerugian waktu karena setiap ada produk cacat, operator harus menghentikan proses sehingga jumlah produksi pun berkurang.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Keluhan konsumen dan peningkatan biaya produksi merupakan gejala dari permasalahan yang telah timbul. Oleh karena itu diperlukan suatu analisa untuk mencari akar masalah yang sebenarnya. Diagram keterkaitan masalah, menganalisa suatu masalah dengan melihat keterkaitan antar gejala yang timbul dan mencari akar masalah sebenarnya. Penemuan akar masalah tersebut akan

dilanjutkan dengan pencarian solusi masalah, serta bagaimana solusi tersebut dapat menyelesaikan masalah yang telah ada sebelumnya.



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan diagram keterkaitan masalah yang telah dijabarkan pada poin-poin sebelumnya, maka perumusan masalah yang akan dibahas pada skripsi ini adalah masalah yang muncul karena kurangnya standar yang ditetapkan pada mesin yang digunakan pada proses pengemasan. Masalah yang akan dibahas pada skripsi ini adalah lebih kepada kekuatan *seal* yang dihasilkan. Untuk itu, skripsi ini akan membahas beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan *seal* yang dihasilkan. Dari faktor-faktor tersebut, maka akan didapatkan *setting* mesin yang sesuai dengan standar.

1.4 Tujuan Penelitian

1.4.1 Tujuan Umum

Adalah untuk mengurangi terjadinya kesalahan pada saat melakukan proses pengemasan terutama pada kekuatan *seal* yang dihasilkan.

1.4.2 Tujuan Khusus

1. Mengetahui faktor apa saja yang mempengaruhi kekuatan *seal* pembungkus gula
2. Mengetahui bagaimana *setting* mesin yang tepat untuk menghasilkan kekuatan *seal* yang baik
3. Mengurangi terjadinya kualitas yang menyimpang dari target yang telah ditentukan
4. Memberikan usulan desain *setting* kondisi operasional yang optimum berdasarkan metode Taguchi
5. Mengurangi *cost* yang akan muncul dari kesalahan-kesalahan produksi yang dihasilkan

1.5 Batasan Masalah

Pokok permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini yaitu mendefinisikan semua faktor-faktor kontrol pada proses pengemasan yang berpengaruh secara signifikan pada hasil keluaran. Tahap selanjutnya adalah merekayasa proses pengemasan dengan menggunakan metode Taguchi dan *Neural Network* agar terbentuk suatu rancangan proses yang optimal dan tahan

terhadap faktor pengganggu sehingga dapat diterapkan pada proses pengemasan di industri *packaging*. Oleh karena itu, diperlukan data-data yang juga mendukung pemecahan masalah tersebut.

Untuk mencapai tujuan penelitian ini maka ditentukan beberapa batasan masalah yaitu:

1. Penelitian dilakukan adalah pada proses pengemasan
2. Jenis produk yang diteliti prosesnya yaitu gula dan *creamer*
3. Mesin yang digunakan adalah mesin Sanko dan Ching Pong
4. Pengambilan sample dilakukan pada *batch* yang sama
5. Respons kualitas yang diteliti adalah jumlah produk cacat dan berat setiap item hasil pengemasan.

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

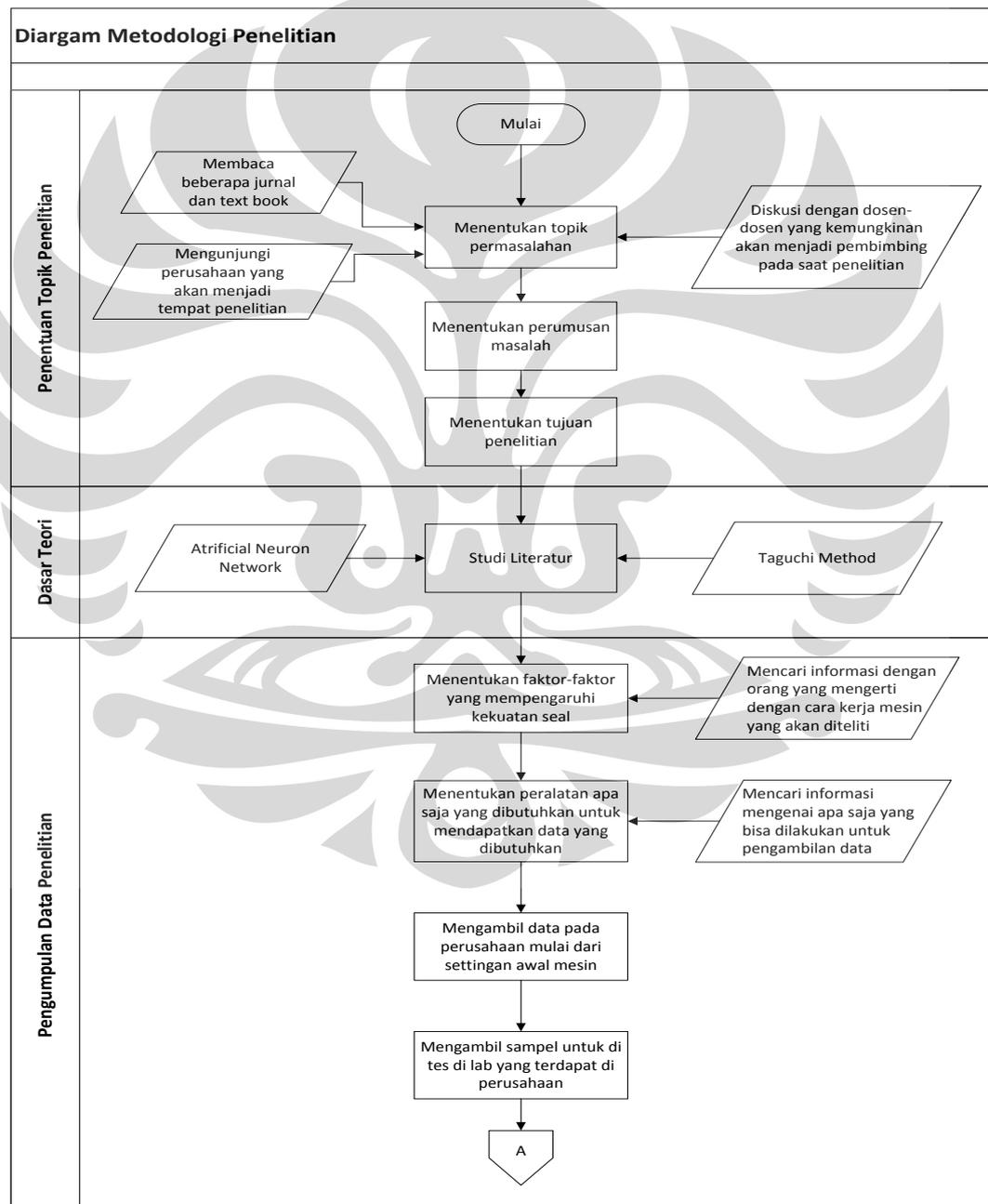
1. Tahap awal penelitian meliputi:
 - Penetapan topik penelitian
 - Penetapan tujuan penelitian
 - Penetapan batasan masalah
2. Studi Pendahuluan, studi pendahuluan meliputi mengenai hal-hal yang berhubungan dengan permasalahan quality control dan proses pengemasan barang.
3. Identifikasi Masalah, mengidentifikasi masalah yang muncul di perusahaan.
4. Perumusan masalah
5. Studi pustaka
6. Pra Desain Eksperimen
 - Penentuan karakteristik kualitas
Penentuan karakteristik kualitas berdasarkan S/N ratio
 - Penentuan faktor-faktor dominan

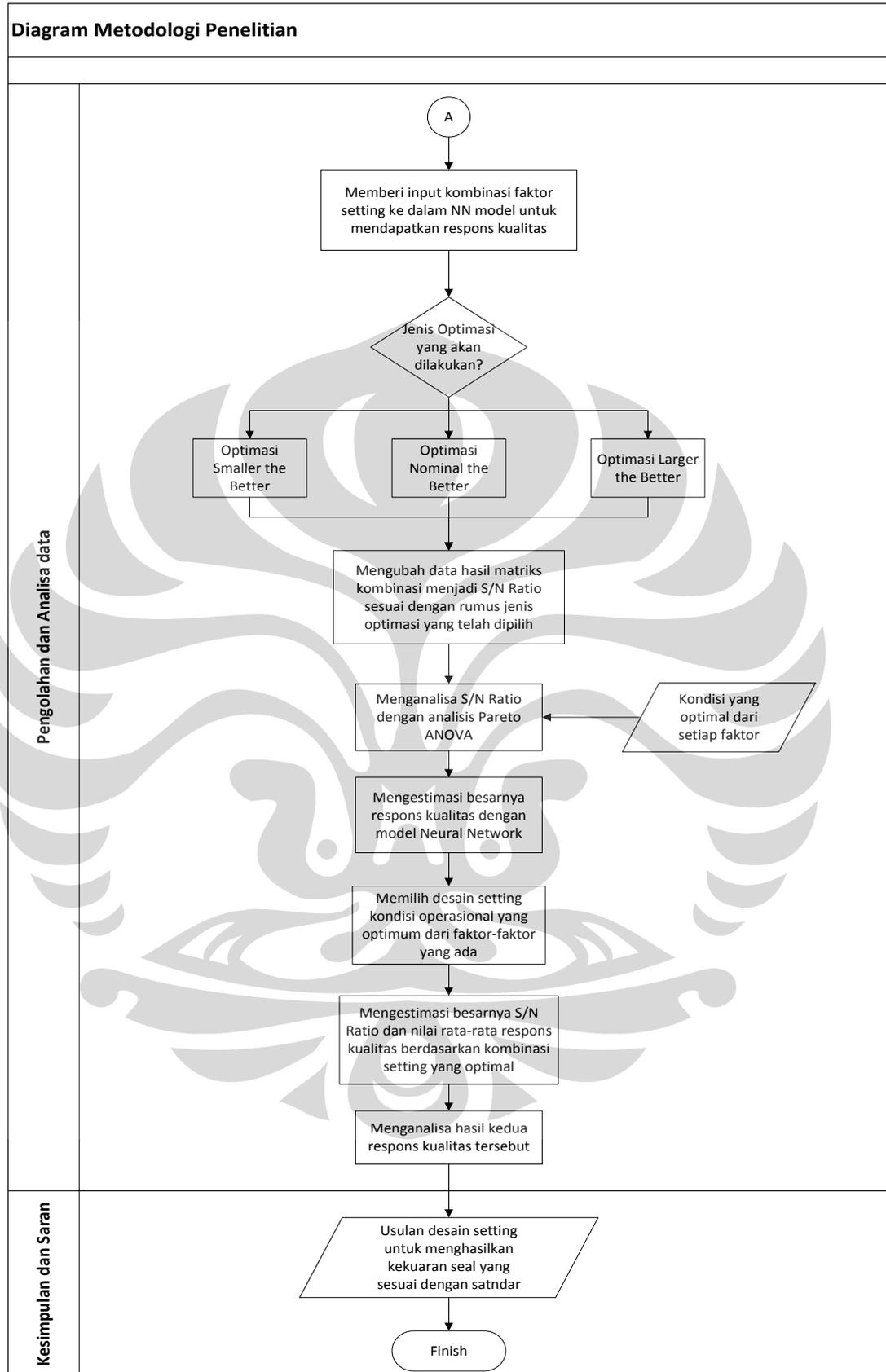
Penentuan faktor ini melalui brainstorming dengan pihak quality control dan menggunakan cause and effect diagram.

- Penetapan level-level faktor
 - Pemilihan orthogonal array
7. Tahap pengumpulan data terbagi menjadi dua, yaitu:
- Merancang parameter proses
 - menentukan respons kualitas, faktor-faktor *setting* dan level untuk setiap faktor tersebut berdasarkan data historis
 - menentukan jenis taguchi *orthogonal array* dan jumlah percobaan (*run*) yang harus dilakukan berdasarkan jumlah dari faktor dan level
 - Menempatkan faktor-faktor *setting* kedalam *orthogonal array* (*inner and outer array*) yang telah ditentukan
 - Membuat model tiruan proses pengemasan
 - Mengumpulkan dan memeriksa integritas data historis
 - Melakukan proses pembelajaran (*training process*) untuk membuat model *Neural Network* sesuai dengan proses sebenarnya.
8. Tahap ketiga atau tahap pengolahan data dan analisis, yaitu :
- Melakukan eksperimen sesuai jenis *Orthogonal array* yang telah dipilih ke dalam model tiruan NN untuk mendapatkan nilai respons kualitas
 - Memilih jenis optimasi yang akan dilakukan
 - Mengubah data hasil respons kualitas menjadi *S/N Ratio* sesuai dengan rumus jenis optimasi yang telah dipilih
 - Menganalisa *S/N Ratio* dengan analisis Pareto ANOVA untuk memperoleh faktor *setting* yang signifikan pada proses serta memperoleh level untuk kondisi yang optimal dari faktor-faktor tersebut
 - Mengestimasi ulang (*confirmation test*) besarnya respons kualitas berdasarkan kombinasi faktor *setting* yang optimal dengan model *Neural Network*

- Memilih desain *setting* kondisi operasional yang paling optimal
 - Mengestimasi besarnya *S/N Ratio* dan nilai rata-rata respons kualitas berdasarkan kombinasi faktor *setting* yang optimal
 - Menganalisa hasil kedua respons kualitas tersebut
9. Tahap terakhir adalah kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan yang akan memenuhi tujuan dari penelitian ini.

1.7 Diagram Alir Metodologi Penelitian





Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian

1.8 Sistematika Penelitian

Penulisan skripsi ini dibagi menjadi lima bab, yaitu:

BAB I yaitu pendahuluan. Pada pendahuluan, akan dijelaskan latar belakang permasalahan, diagram keterkaitan masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup atau batasan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II yaitu dasar teori. Pada dasar teori ini akan dijelaskan dasar teori yang digunakan pada penelitian ini. Yang akan dijelaskan itu lebih kepada metode taguchi yang menjadi dasar dari metode yang digunakan pada penelitian. Dasar teori ini didapatkan dari beberapa sumber, yaitu literatur artikel, *text box*, jurnal dan beberapa sumber lainnya yang berhubungan dengan objek dan metode yang digunakan pada penelitian ini.

BAB III yaitu pengumpulan data. Data yang dikumpulkan berupa data sekunder. Dalam bab ini akan menjelaskan variabel-variabel yang menjadi data pada penelitian. Bab ini juga akan menjelaskan identifikasi variabel-variabel tersebut.

BAB IV adalah pengolahan data dan analisa dari pengolahan data yang telah dilakukan dengan menggunakan metode penelitian yang telah ditetapkan. Pengolahan data dan analisis dilakukan untuk mengetahui kombinasi dari level dari masing-masing variabel yang telah di tentukan untuk menghasilkan suatu *setting* mesin yang sesuai untuk menghasilkan kekuatan *seal* yang diinginkan.

BAB V merupakan bagian terakhir yang memberikan kesimpulan atas penelitian yang telah dilakukan. Saran tentang hasil penelitian juga dibahas dalam bab ini.

BAB 2

TINJAUAN LITERATUR

Pada bab ini akan dijelaskan sedikit mengenai teori yang digunakan pada eksperimen. Akan dijelaskan beberapa hal mengenai rekayasa kualitas. Dan pada bab ini juga akan dijelaskan mengenai langkah apa saja yang akan dilakukan pada saat melakukan eksperimen.

2.1 Rekayasa Kualitas

2.1.1 Kualitas

Kualitas adalah penentuan pelanggan berdasarkan pengalaman nyata pelanggan dengan produk atau jasa, diukur terhadap persyaratan-nya - lain atau tak tertulis, sadar atau hanya merasakan, teknis operasional atau seluruhnya subjektif - dan selalu mewakili sasaran bergerak dalam pasar yang kompetitif (**Armand Feigenbaum : 1961**)

Dan ada beberapa definisi kualitas lainnya:

- **Scherkenbach (1991):** kualitas ditentukan oleh pelanggan; pelanggan menginginkan produk dan jasa yang sesuai dengan kebutuhan dan harapannya pada suatu tingkat harga tertentu yang menunjukkan nilai produk tersebut.
- **Elliot (1993):** kualitas adalah sesuatu yang berbeda untuk orang yang berbeda dan tergantung pada waktu dan tempat, atau dikatakan sesuai dengan tujuan.
- **Goetch dan Davis (1995):** kualitas adalah suatu kondisi dinamis yang berkaitan dengan produk, pelayanan, orang, proses yang memenuhi atau melebihi apa yang diharapkan.
- **Perbendaharaan istilah ISO 8402 dan dari Standar Nasional Indonesia (SNI 19-8402-1991):** kualitas adalah keseluruhan ciri dan karakteristik produk atau jasa yang kemampuannya dapat memuaskan kebutuhan, baik yang dinyatakan secara tegas maupun tersamar.

Kualitas menurut Taguchi yaitu kualitas rancangan dan kualitas kecocokan. Pada Metode Taguchi juga dijelaskan mengenai Sistem Kualitas secara menyeluruh yang mencakup konsep kualitas dan biaya kualitas sepanjang semau fase dari siklus hidup suatu produk, kemudian membahas

mengenai rekayasa kualitas secara *off-line* dan *on-line*, rekayasa kualitas di dalam perancangan produk, perancangan proses produksi dan rekayasa kualitas dalam pelayanan pelanggan.

Kualitas rancangan merupakan variasi tingkat kualitas yang ada pada suatu produk yang memang disengaja. Kualitas kecocokan adalah seberapa baik produk ini sesuai dengan spesifikasi dan kelonggaran yang disyaratkan rancangan itu. Kualitas kecocokan dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk pemilihan proses pembuatan, latihan dan pengawasan angkatan kerja, jenis jaminan kualitas (pengendalian proses uji, aktifitas pemeriksaan dan sebagainya) yang digunakan seberapa prosedur jaminan kualitas diikuti, dan motivasi angkatan kerja untuk mencapai kualitas.

Peningkatan kualitas kecocokan kerap kali dibuat dengan mengubah segi tertentu. Jaminan kualitas, seperti penggunaan prosedur pengendalian proses statistik, mengubah jenis prosedur pemeriksaan yang digunakan dan sebagainya. Jadi, kualitas kecocokan yang lebih tinggi kerap kali dicapai dengan pengurangan dalam biaya total, sebab ini mengakibatkan dalam produk yang harus dikerjakan lagi berkurang dan bagian produk yang tidak cocok lebih kecil. Tiap produk mempunyai sejumlah unsur yang bersama-sama menggambarkan kecocokan penggunaannya. Parameter-parameter ini biasanya dinamakan ciri-ciri kualitas. Ciri-ciri kualitas ini ada beberapa jenis, antara lain fisik, indera, dan orientasi waktu. Untuk ciri-ciri fisik, itu bisa digambarkan dengan panjang, berat, volume, dan kekentalan. Untuk ciri-ciri indera adalah rasa, penampulan dan warna. Sedangkan untuk orientasi waktu, bisa digambarkan dengan keandalan, pemeliharaan serta perawatan.

2.1.2 Rekayasa Kualitas

Rekayasa kualitas dapat diartikan sebagai proses pengukuran yang dilakukan selama perancangan produk/proses. Rekayasa kualitas mencakup seluruh aktivitas pengendalian kualitas dalam setiap fase dari penelitian dan pengembangan produk, perancangan proses produksi, dan kepuasan konsumen. Rekayasa kualitas dibedakan menjadi dua bagian :

2.1.2.1 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. Rekayasa kualitas secara off-line dibagi menjadi 3 (tiga) tahap :

Tahap I Perancangan Konsep

Tahap ini berhubungan dengan pemunculan ide dalam kegiatan perancangan dan pengembangan produk, dimana ide tersebut dari keinginan konsumen. Model atau metode yang digunakan pada tahap ini antara lain :

- *Quality Function Deployment* : menterjemahkan keinginan konsumen ke dalam istilah teknis.
- *Dinamic Signal-to-Noise Optimization* : teknik untuk mengoptimalkan *engineering function, resulting in robust, dan tunable technology*.
- *Theory of Inventive Problem Solving* : Suatu koleksi tool yang didapat dari analisa literature yang berguna untuk membangkitkan pemecahan masalah teknis yang inovatif.
- *Desaign of Experiments* : Eksperimen faktorial penuh dan faktorial parsial untuk dapat mengetahui efek dari beberapa parameter serentak.
- *Competitive Technology Assesment* : melakukan *benchmark* terhadap sifat *robustnees* dari teknologi pengembangan internal dan eksternal.
- *Pugh Concept Selection Process* : Mengumpulkan dan menyajikan informasi dari suatu *system expert*, dengan membandingkan beberapa keunggulan dan kualitas dari berbagai konsep untuk dikembangkan sehingga didapat konsep yang superior.

Tahap II Perancangan Parameter

Tahap ini berfungsi untuk mengoptimalisasi level dari faktor pengendali terhadap efek yang ditimbulkan oleh faktor lain sehingga produk yang ditimbulkan dapat tangguh terhadap noise. Karena itu perancangan parameter sering disebut sebagai *Robust Desaign*. Model atau metode yang digunakan dalam tahap ini antara lain :

- *Engineering Analysis* : Menggunakan pelatihan, pengalaman, dan percobaan untuk menemukan variabilitas dan respon yang efektif.

- *The System P-Diagram* : Suatu model yang tangguh untuk menggambarkan dan menggolongkan berbagai parameter yang mempengaruhi output system.
- *Dynamic and Static Signal-to-Noise Opetimization* : Mengoptimalkan suatu perancangan parameter untuk mengurangi variabilitas dengan menggunakan perhitungan rasio *signal-to-noise*.
- *Crossed Array Experiment* : Sebuah perancangan eksperimen khusus dengan cara memanfaatkan interaksi antara faktor kendali dan faktor derau sehingga membuat system lebih tangguh.

Tahap III Perancangan Toleransi

Merupakan tahap trakhir dimana dibuat matrik orthogonal, loss function, dan ANOVA untuk menyeimbangkan biaya dan kualitas dari suatu produk. Model atau metode yang digunakan pada tahap ini antara lain :

- *Quality Loss Function* : Persamaan yang menghubungkan variasi dari performan biaya produk dengan level deviasi dari target.
- *Analysis of Variance (ANOVA)* : Suatu teknis statistik yang secara kuantitatif menentukan kontribusi variasi total, yang dibentuk dari setiap faktor derau dan faktor kendali.
- *Design of Experiments* : Eksperimen faktorial penuh dan faktorial parsial untuk dapat mengetahui efek dari beberapa parameter seara serentak.

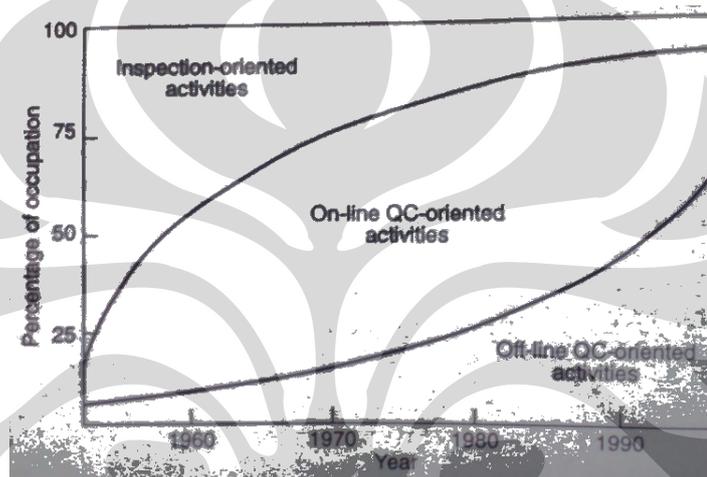
2.1.2.2 Rekayasa Kualitas secara On-Line

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 pula 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. Beberapa model yang digunakan dalam melakukan rekayasa kualitas secara *on-line* :

- *Statistical Process Control* : Melakukan pengamatan, pengendalian, dan pengujian pada tiap tahap proses produksi agar dapat terjadi penyimpangan yang cukup besar.

- *Static Signal-to-Noise Ratio* : Mereduksi variasi dengan menggunakan aplikasi dari robust design untuk memecahkan permasalahan dalam proses produksi.
- *Compensation* : Berbagai rencana pengendalian untuk menjaga agar proses yang terjadi sesuai dengan target.
- *Loss Function-Based Process Control* : Pengurangan terhadap seluruh biaya produksi termasuk biaya per unit, biaya inspeksi, dan biaya set-up yang diperlukan dalam pengendalian proses serta quality loss yang diakibatkan oleh sisa variasi pada *output*.



Gambar 2.1 Aktivitas Quality Control pada Industri di Korea

2.1.3 Pendekatan Taguchi Terhadap Rekayasa Kualitas

Menurut Park (1996), biaya dari suatu produk dapat dibagi menjadi dua bagian utama: sebelum penjualan dan setelah penjualan kepada pelanggan. Biaya yang timbul sebelum penjualan merupakan biaya manufaktur, dan biaya yang timbul setelah penjualan merujuk kepada kerugian kualitas (quality loss). Rekayasa kualitas merupakan pengetahuan antar cabang ilmu pengetahuan yang tertuju tidak hanya kepada memproduksi produk yang memuaskan untuk pelanggan tetapi juga mengurangi kerugian total (manufaktur ditambah kerugian kualitas). Jadi, rekayasa kualitas dapat diartikan sebagai proses pengukuran yang dilakukan selama perancangan produk/proses, mencakup seluruh aktivitas pengendalian kualitas dalam setiap fase dari penelitian dan pengembangan produk, perancangan proses produksi, dan kepuasan konsumen.

Taguchi menekankan bahwa variasi kualitas merupakan musuh utama di dalam rekayasa kualitas dan setiap usaha harus dilakukan untuk mengurangi variasi di dalam karakteristik kualitas. Taguchi menggunakan desain experimental 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 rakayasa 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. Dua alat dasar yang digunakan untuk desain yang kuat (Park, 1996), yaitu:

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

2.1.4 Tiga Langkah Pada Desain Proses

Selama fase desain produk dan proses, terdapat tiga langkah pada setiap fase desain, yaitu desain sistem, desain parameter, dan desain toleransi (Park, 1996).

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

2.1.5 Penggunaan Noise

Sumber yang tidak diinginkan dan tidak dapat dikontrol yang dapat menyebabkan penyimpangan dari target nilai di dalam karakteristik fungsional produk disebut noise dan dapat dibagi menjadi tiga tipe (Park, 1996):

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

Keseluruhan sistem kualitas sebaiknya didesain untuk memproduksi produk yang kuat dengan penerimaan terhadap semua faktor noise. Untuk mencapai kekuatan produk, usaha kontrol kualitas harus dimulai pada saat desain produk dan proses (*off-line QC*) dan harus dilanjutkan selama operasi produksi berlangsung (*on-line QC*).

Gambar 2.2 menyimpulkan cara untuk melawan variabilitas di dalam kualitas fungsional. Tahap desain produk disebut 'R & D' dan tahap desain proses disebut 'rekayasa produksi'. Gambar tersebut menunjukkan bahwa eksternal dan internal noise dapat dikurangi dengan sangat efektif pada tahap R&D. Bagaimanapun, unit-to-unit noise dapat diatasi di dalam keseluruhan tahap off-line dan on-line kontrol kualitas.

Department countermeasure		Type of noise			
		External	Internal	Unit-to-unit	
Off-line quality control	R & D	1. System design	○	○	○
		2. Parameter design	○	○	○
		3. Tolerance design	○	○	○
Production engineering		1. Process diagnosis	x	x	○
		2. Parameter design	x	x	○
		3. Tolerance design	x	x	○
On-line quality control	Production	1. Process diagnosis and adjustment	x	x	○
		2. Prediction and correction	x	x	○
		3. Measurement and action	x	x	○
Customer relations	After-sales service	x	x	x	

Source: Taguchi (1986)
 ○ Possible
 ○ Possible, but should be a last resort.
 x Impossible

Gambar 2.2 Tipe Noise dan Penanggulangannya

2.1.6 Hal-hal Penting Dalam Perencanaan Peningkatan Kualitas

Usaha peningkatan kualitas harus dilanjutkan berdasarkan pada beberapa hal penting (Park, 1996):

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

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

2.2 Metode Taguchi Desain Eksperimen

2.2.1 Pendahuluan 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 antara lain; pertama untuk menentukan variabel input (faktor) yang berpengaruh terhadap respon, kedua untuk menentukan variabel input yang membuat respon mendekati nilai yang diinginkan, ketiga untuk menentukan variabel input yang menyebabkan variasi respon kecil.

Pada tahun 1930, Dorian Shainin memperkenalkan sejumlah teknik desain eksperimen yang sederhana, mudah dipahami dan diaplikasikan, hemat biaya, kuat secara statistik, teknik desain tersebut adalah teknik klasik, taguchi, dan shainin/bothe.

Eksperimen merupakan suatu proses mencari sesuatu secara sistematis dalam waktu yang lama dengan menggunakan metode ilmiah serta aturan-aturan yang berlaku. Penerapan metode ilmiah dalam praktek eksperimen diperlukan suatu desain eksperimen yang sesuai dengan kondisi. Desain eksperimen harus mengikuti metode eksperimen. Desain eksperimen adalah semua proses yang diperlukan dalam perencanaan dan pelaksanaan eksperimen. Dalam pengertian yang lebih luas, desain eksperimen mencakup proses-proses berikut:

- a. Identifikasi dan pemilihan masalah eksperimen
- b. Pemilihan kerangka konseptual untuk masalah eksperimen serta hubungan-hubungan dengan penelitian sebelumnya
- c. Menformulasikan masalah eksperimen termasuk membuat spesifikasi dari tujuan, *scope*, dan hipotesa untuk diuji
- d. Membangun penyelidikan
- e. Memilih serta memberi definisi terhadap pengukuran variabel-variabel
- f. Memilih prosedur dan teknik sampling yang digunakan
- g. Menyusun alat serta teknik untuk mengumpulkan data
- h. Membuat *coding*, serta mengadakan *editing* dan *processing data*
- i. Menganalisa data serta pemilihan prosedur statistik untuk mengadakan generalisasi serta *inferensi statistik*
- j. Pelaporan hasil penelitian, termasuk proses penelitian, diskusi serta interpretasi data, generalisasi, kekurangan-kekurangan dalam penemuan, serta menganjurkan beberapa saran-saran dan kerja penelitian yang akan datang

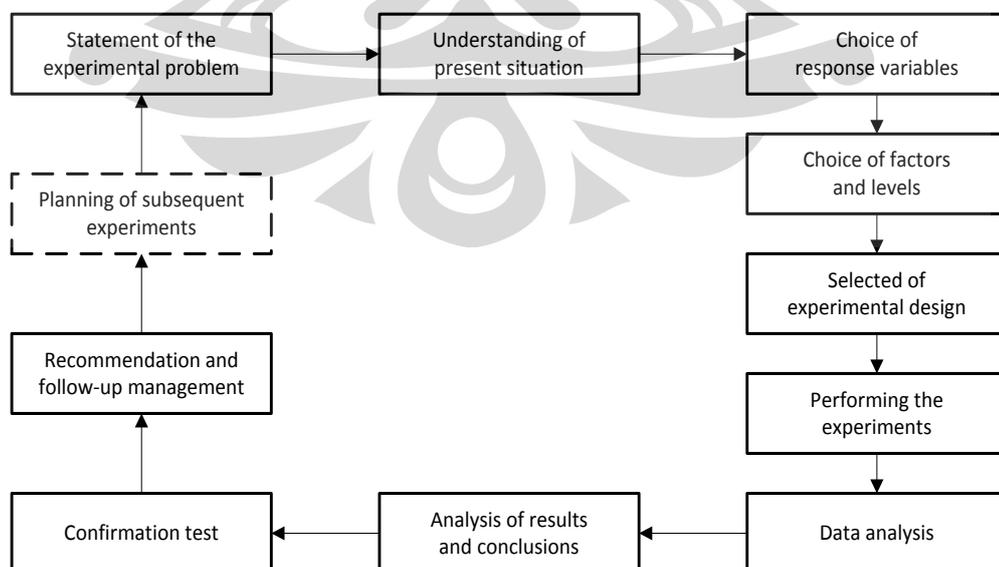
Dari proses di atas, jelas terlihat bahwa proese tersebut terdiri dari 2 bagian, yaitu:

- a. Perencanaan eksperimen
- b. Pelaksanaan eksperimen atau proses operasional penelitian

Proses perencanaan penelitian dimulai dari identifikasi, pemilihan serta rumusan masalah sampai dengan perumusan hipotesa serta kaitannya dengan teori dan kepustakaan yang ada. Proses selebihnya merupakan tahap operasional dari penelitian.

Eksperimen dilakukan peneliti atau insiyur dalam segala bidang untuk mempelajari efek dari beberapa kondisi atau untuk menemukan sesuatu yang baru. Jika sebuah eksperimen ingin dilakukan secara efisien, maka pendekatan ilmiah dalam perencanaannya harus dipertimbangkan. Desain eksperimen secara statistik merupakan proses merencanakan eksperimen, sehingga data yang paling cocok yang dikumpulkan, jumlah eksperimen minimum yang dilakukan untuk mendapatkan informasi teknikal yang diperlukan, dan metode statistik yang paling tepat yang akan digunakan untuk menganalisa (Wibowo, 2008).

Pendekatan statistikal untuk desain eksperimen diperlukan jika kita menginginkan untuk mengambil kesimpulan yang berarti dari data. Ada dua aspek dalam desain eksperimen: rancangan dari eksperimen tersebut dan analisa statistik dari data. Keduanya pun saling berkaitan satu sama lain. Gambar dibawah ini adalah garis besar dari prosedur desain eksperimen (Park, 1996).



Gambar 2.3 Prosedur Desain Eksperimen

Metode untuk merencanakan kondisi eksperimen yang melibatkan beberapa faktor pertama kali diperkenalkan oleh warga Inggris, Sir R. A. Fisher pada tahun 1920-an. Aplikasi awal bertujuan untuk mempelajari efek beberapa variabel seperti curah hujan, air irigasi, pupuk, dan sinar matahari dibutuhkan agar menghasilkan panen terbaik. Metode ini dikenal sebagai *Design of Experiment (DOE)*. Metode ini mengidentifikasi seluruh kombinasi yang mungkin dari sejumlah faktor yang tidak sedikit sehingga sebuah desain yang lengkap memerlukan gabungan sejumlah besar eksperimen (Wibowo, 2008). Namun seiring dengan berjalannya waktu dan ilmu pengetahuan, banyak peneliti-peneliti yang mulai mengembangkan metode *DOE* tersebut, salah satunya adalah Dr. Genichi Taguchi.

2.2.1.1 Klasifikasi dari Desain Eksperimen

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

1. *Factorial Design*

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

2. *Fractional Factorial Design*

Desain ini untuk menginvestigasi sebagian dari seluruh kemungkinan kombinasi perlakuan. Urutan dimana 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*
Seluruh kemungkinan kombinasi perlakuan dilakukan pada desain-desain ini, tetapi beberapa bentuk larangan akan digunakan dalam randomisasi.

Suatu desain dimana setiap block mengandung seluruh kemungkinan perlakuan, dan satu-satunya randomisasi perlakuan adalah didalam block tersebut, disebut *randomized complete block design*.

4. *Incomplete Block Design*

Jika setiap perlakuan tidak dihadirkan dalam setiap block dalam suatu *randomized complete block design*, maka disebut *incomplete block design*. Desain ini digunakan ketika kita tidak bisa menjalankan seluruh perlakuan pada setiap block dikarenakan kekurangan apatus 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 variable respons 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*.

2.2.1.2 Peranan dari Desain Eksperimen

Taguchi (1987) mendefinisikan desain eksperimen sebagai suatu teknik umum untuk memaksimalkan efisiensi akuisisi dari informasi teknikal melalui eksperimen. Kita dapat melihat eksperimen sebagai bagian dari proses pembelajaran iteratif ilmiah dan salah satu cara untuk belajar mengenai bagaimana sebuah system atau proses bekerja. Desain eksperimen memainkan suatu peranan utama di dalam banyak aktivitas-aktivitas rekayasa. Sebagai contoh, kegunaan atau peranan desain eksperimen adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan performa dari suatu proses manufaktur
2. Mengembangkan proses-proses baru
3. Menyaring faktor-faktor yang penting dalam proses
4. Desain aktivitas rekayasa seperti evaluasi atau perubahan suatu material
5. Membangun model empiris untuk mencari hubungan fungsional antara variabel respons dan variabel yang mempengaruhinya

Kegunaan desain eksperimen dalam aktivitas-aktivitas rekayasa dapat menghasilkan produk yang lebih mudah untuk dibuat, yang meningkatkan

performa proses, yang memiliki biaya rendah, dan waktu pengembangan yang lebih pendek.

2.2.2 Pendahuluan Metode Taguchi

Metode Taguchi diaplikasikan oleh perusahaan-perusahaan manufaktur Jepang dalam rangka memperbaiki kualitas produk dan proses. Penekanan lebih diutamakan pada perancangan kualitas proses dan produk, bukan pada taraf inspeksi pada produk. Di dalam perbaikan kualitas secara esensial Taguchi memakai alat-alat statistik, tetapi Taguchi menyederhanakannya dengan mengidentifikasi beberapa petunjuk yang kuat untuk layout eksperimen dan menganalisis hasilnya.

Metode Taguchi diperkenalkan oleh Dr. Genichi Taguchi (1940), seorang konsultan pengendalian kualitas, yang merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dalam dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk robust terhadap noise, karena itu sering disebut sebagai *Robust Design*.

Dalam metode Taguchi digunakan matriks yang disebut *orthogonal array* untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari *orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi level dari variable-variabel input untuk masing-masing eksperimen.

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

Metode Taguchi menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut *Orthogonal Array*. Matriks standar ini merupakan langkah untuk menentukan jumlah percobaan minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari metode

Orthogonal Array terletak pada pemilihan kombinasi level variabel-variabel input untuk masing-masing percobaan.

Ross (1996) menjelaskan bahwa filosofi metode taguchi terhadap kualitas terdiri dari tiga buah konsep, yaitu :

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

Metode Taguchi memperkenalkan pendekatan dengan menggunakan pendekatan desain eksperimen yang berguna untuk:

- a. Merancang suatu produk/merancang proses sehingga kualitasnya kokoh terhadap kondisi lingkungan
- b. Merancang/mengembangkan produk sehingga kualitasnya kokoh terhadap variasi komponen
- c. Meminimalkan variasi di sekitar target

Metode Taguchi menitikberatkan pada pencapaian target tertentu dan mengurangi variasi suatu produk atau proses dengan menggunakan desain parameter. Pencapaian tersebut dilakukan dengan menggunakan ilmu statistika. Apabila ada sejumlah parameter yang diperkirakan mempengaruhi suatu proses, maka dengan prinsip statistika pada metode Taguchi ini dapat dihitung seberapa besar peran masing-masing parameter tersebut dalam mempengaruhi proses ataupun hasil dari proses tersebut. Dengan menggunakan metode taguchi ini dapat ditarik kesimpulan parameter mana yang dominan mempengaruhi proses (*control factor*) dan parameter mana yang hanya merupakan gangguan (*noise*) saja. Dengan mengetahui parameter yang dominan, maka dapat dilakukan suatu optimasi pada parameter yang dominan tersebut, sehingga diperoleh proses yang optimum, karena itu disebut sebagai desain parameter. Ada dua kontribusi utama metode Taguchi pada kualitas, yaitu *Taguchi Loss function* dan *Orthogonal Arrays* (Wibowo, 2008).

2.2.2.1 Kelebihan dan Kekurangan Metode Taguchi

Roy (2001) menjelaskan bahwa kelebihan metode taguchi dibandingkan dengan desain eksperimen yang lain, meliputi ;

1. Metode taguchi lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan percobaan yang melibatkan banyak faktor tetapi jumlah unit percobaan yang diperlukan relatif kecil.
2. Metode taguchi memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk lebih konsisten dan kurang sensitif (robust) terhadap variabilitas yang disebabkan oleh faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan (noise). Hal ini disebabkan karena robust design memperhatikan pengaruh faktor kontrol dan faktor noise terhadap rata-rata dan variabilitas suatu performansi secara bersama-sama.
3. Metode taguchi menghasilkan kesimpulan mengenai faktor-faktor yang berpengaruh terhadap suatu respon dan kesimpulan mengenai taraf-taraf faktor terbaik yang akan menghasilkan respon yang optimum.

Metode Taguchi (robust design) memberikan cara yang sistematis dan efisien dalam mengoptimalkan performansi desain, kualitas dan biaya (Unal, 1991).

Metode Taguchi juga memiliki kekurangan-kekurangan dibandingkan dengan metode eksperimen lainnya, yaitu rancangan metode Taguchi mempunyai struktur yang sangat kompleks, di mana terdapat rancangan yang mengorbakan pengaruh interaksi dan ada pula rancangan yang mengorbakan pengaruh utama dan pengaruh interaksi yang cukup signifikan. Untuk mengatasinya perlu dilakukan pemilihan rancangan percobaan secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan dari eksperimen yang dilakukan.

2.2.2.2 Pemilihan Faktor dan Level

Tujuan eksperimen dalam pembuatan produk adalah untuk membuat carra meminimalkan penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai targetnya. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas dengan cara mengubah level-level dari faktor yang sesuai shingga penyimpangannya dapat dibuat lebih kecil dan karakteristik kualitasnya dapat mencapai target. Dengan kata lain, dengan desain eksperimen kita mencari

material terbaik, temperatur terbaik, tekanan terbaik, waktu siklus terbaik, dan sebagainya yang beroperasi bersama dalam proses untuk menghasilkan karakteristik kualitas yang diinginkan.

Faktor-faktor yang menyebabkan keragaman produk berfungsi baik disebut faktor gangguan. Terdapat 3 jenis gangguan, yaitu:

1. Gangguan Eksternal

Faktor gangguan eksternal diartikan sebagai sumber-sumber variabilitas yang berasal dari luar produk. Gangguan eksternal berkaitan dengan lingkungan atau kondisi yang mempengaruhi fungsi ideal dari produk.

2. Gangguan Internal

Gangguan internal berkaitan dengan faktor yang menyebabkan produk menjadi aus, sehingga tidak mencapai target.

3. Gangguan Antar Unit

Keragaman dari unit ke unit berkaitan dengan faktor yang menyebabkan perbedaan antara tiap produk yang telah dibuat dalam spesifikasi yang sama. Variasi ini tidak dapat dihindari dalam parameter produk dari suatu unit ke unit lainnya.

Faktor gangguan tidak dapat dihilangkan, karena faktor tersebut ada dalam sistem. Karena faktor gangguan tidak dapat dihilangkan, karakteristik kualitas dari produk tidak akan mencapai nilai target. Prinsip kekokohan berusaha untuk mengurangi kerugian dengan melakukan kontrol faktor terhadap faktor gangguan agar supaya spesifikasi produk dapat diidentifikasi dan membuat karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap gangguan. Terdapat 4 pendekatan untuk mengurangi *varians* (keragaman), yaitu:

- a. Carilah dan hilangkan penyebab perbedaan
- b. Toleransi dipersempit
- c. Gunakan perancangan kokoh
- d. Produk yang cacat dibuang

Cara terbaik untuk mengurangi keragaman produk adalah menerapkan perancangan kokoh. Metode ini terdiri atas pembuatan kinerja produk yang tidak sensitif terhadap faktor gangguan. Dalam banyak hal, toleransi tidak harus terlalu ketat, lingkungan kerja tidak harus dikendalikan secara ketat, material yang lebih

mudah dapat digunakan, kesemuanya itu membuat perancangan kokoh paling ekonomis dari ke empat metode tersebut. Perancangan kokoh dapat mencapai itu semuanya, dengan mengambil keuntungan parameter produk atau proses untuk mengeksploitasi hubungan linier yang tidak ada antara berbagai faktor dan karakteristik kualitas.

Karakteristik kualitas (variabel respon) adalah objek yang menarik dari produk atau proses. Sebagai contoh presentase kecacatan, kekasaran permukaan, keausan alat, kekuatan tekan, kuat tarik, kekuatan las, temperatur ruang, bahan bakar ekonomis, daya mesin dan sebagainya. Karakteristik kualitas dapat dikelompokkan menurut nilai targetnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

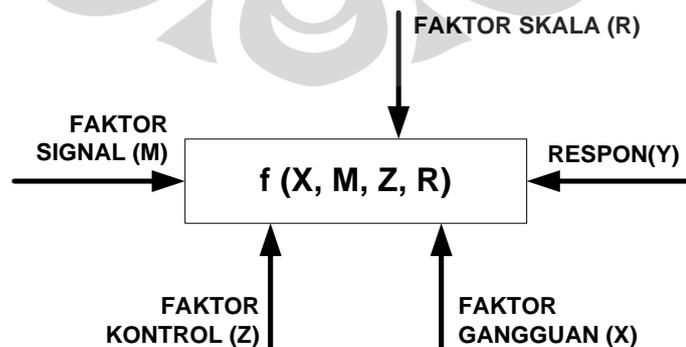
Tabel 2.1 Karakteristik Kualitas

KARAKTERISTIK	TARGET	CONTOH
<i>Smaller the best</i>	Tertuju pada nilai tertentu	Voltage
<i>Smaller the better</i>	Sekecil mungkin (zero). Semakin kecil, maka semakin baik	Persentase kecacatan, keausan alat, kekasaran permukaan
<i>Larger the better</i>	Sebesar mungkin (∞). Semakin besar, maka semakin baik	Kuat tekan, kuat tarik, kekuatan las

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

Faktor lainnya yang dapat mempengaruhi karakteristik kualitas (respon variabel) dari suatu produk. Faktor-faktor tersebut dapat diklasifikasikan atas:

1. Faktor Gangguan
2. Faktor Kontrol
3. Faktor Signal
4. Faktor Skala

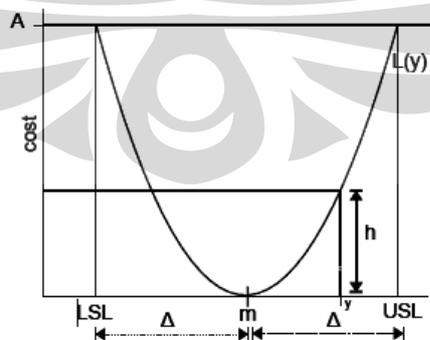


Gambar 2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Kualitas

2.2.3 Taguchi *Loss function*

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

Taguchi *Loss function* secara umum merupakan fungsi kerugian yang ditanggung oleh masyarakat (produsen dan konsumen) akibat kualitas yang dihasilkan (Tagucho, et al., 2005). Bagi produsen yaitu dengan timbulnya biaya kualitas sedangkan bagi konsumen adalah adanya ketidakpuasan atau kecewa atas produk yang dibeli atau dikonsumsi karena kualitas yang jelek. *Loss* merupakan sesuatu yang pasti terjadi saat suatu karakteristik kualitas fungsional produk menyimpang dari nilai nominalnya (target), sekecil apapun penyimpangan yang terjadi. Nilai *loss* akan meningkat saat nilai karakteristik kualitas melebar lebih jauh dari nilai targetnya. *Loss* yang terjadi akibat variasi dalam *output* proses ini nilainya sama dengan "kerugian terhadap masyarakat". *Loss function* menggambarkan biaya sosial yang timbul di antara produsen dan konsumen akibat penetapan karakteristik kualitas tertentu pada produk. *Loss function* digunakan dalam mengukur performansi karakteristik kualitas dalam pencapaian target, yaitu seberapa besar adanya variasi di sekitar target. *Loss function* juga dapat digunakan dalam evaluasi pengaruh yang ditimbulkan oleh suatu usaha perbaikan kualitas. *Taguchi Loss function* digambarkan dengan kurva kuadratik dari *loss cost* produk yang dihasilkan, seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.5 Kurva Kuadratik *Taguchi Loss function*

Keterangan Gambar:

- *LSL* = *Lower Spesification Limit*, batas bawah ukuran spesifikasi yang masih bisa ditolerir oleh customer (*customer tolerance*)

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

Grafik diatas menggambarkan fungsi kuadratik dari kerugian, dimana kerugian menurun secara perlahan ketika kualitas y mendekati nilai m , tetapi kerugian akan meningkat lebih cepat ketika kualitas y bergerak menjauhi nilai m . Fungsi seperti inilah yang dibutuhkan untuk menghitung kerugian kualitas. Pada *Taguchi Loss function* juga dikenal suatu koefisien yaitu koefisien kerugian kualitas (k). Koefisien ini dapat ditetapkan sebagai basis informasi mengenai kerugian-kerugian pada terminologi moneter yang disebabkan spesifikasi produk jatuh diluar batas toleransi konsumen. Pada Taguchi digunakan istilah “*customer tolerance*” karena fungsi kerugian dilihat dari sudut pandang konsumen. Biasanya batas toleransi konsumen lebih besar dibandingkan toleransi spesifikasi dari pihak produsen. Untuk penghitungan k digunakan rumus sebagai berikut (Park, 1996):

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

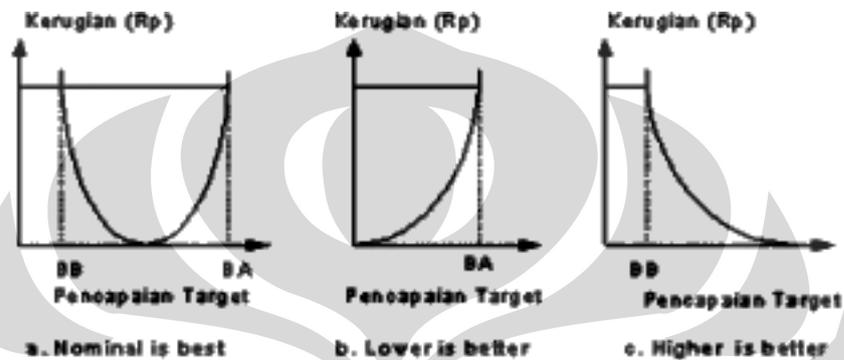
Besarnya nilai A_0 dihitung dengan menjumlahkan seluruh komponen biaya yang timbul, misalnya biaya kehilangan waktu, biaya penggantian (perbaikan), transportasi, dan lain-lain. Sedangkan Δ_0 adalah selisih atau besarnya dari toleransi yang diberikan.

Berdasarkan pendekatan *Loss function* ini, karakteristik kualitas yang terukur menurut Taguchi (1987) dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

1. *Nominal is the best*: Merupakan karakteristik kualitas dengan nilai yang dapat positif maupun negatif. Nilai yang diukur berdasarkan nilai target

yang telah ditetapkan. Pencapaian nilai mendekati target yang telah ditetapkan maka kualitas semakin baik.

2. *Lower is better*: Merupakan karakteristik terukur non negatif dengan nilai ideal nol. Pencapaian nilai mendekati nol maka kualitas akan semakin baik.
3. *Higher is better*: Merupakan karakteristik terukur dengan nilai non negatif dengan nilai ideal tak terhingga. Pencapaian nilai mendekati nilai tak terhingga maka kualitas yang dihasilkan akan semakin baik.



Gambar 2.6 Tiga Kategori Karakteristik Kualitas

Perumusan untuk *Loss function* adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Perumusan *Loss function*

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

(Sumber: *Taguchi Techniques for Quality Engineering* by Ross, 1989)

Keterangan :

L=kerugian

m =target

y = hasil pengukuran

S^2 = variansi distribusi

k = konstanta kerugian

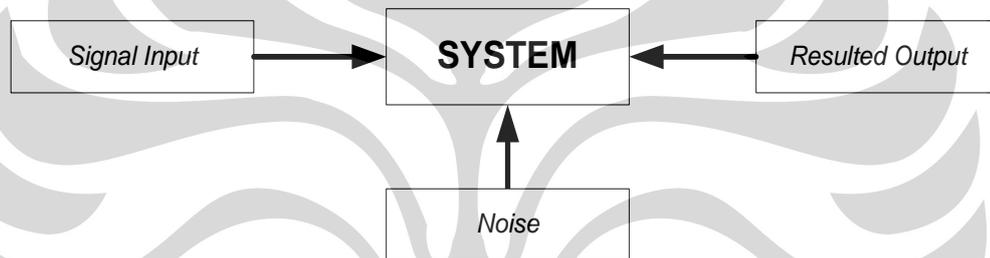
\bar{y} = rata-rata distribusi

2.2.4 Signal to noise ratio (S/N Ratio)

Dalam bidang Rekayasa Komunikasi, sebuah kuantitas disebut *Signal-to-noise (S/N Ratio)* telah banyak digunakan sebagai suatu pilihan karakteristik kualitas. Taguchi, dengan latar belakang rekayasa elektronika dan komunikasi,

memperkenalkan konsep ini ke dalam desain eksperimen. Aplikasi *S/N Ratio* ini berguna untuk meningkatkan kualitas lewat pengurangan variasi dan peningkatkan pengukuran (Taguchi et al., 2005)

Parameter-parameter terkendali yang mungkin berkontribusi untuk mengurangi variasi dan meningkatkan kualitas dapat diidentifikasi dengan menggunakan jumlah variasi pada keadaan sekarang dan pergeseran rata-rata respons kualitas. *S/N Ratio* mentransformasi data karakteristik kualitas menjadi sebuah bilangan yang merefleksikan jumlah variasi dan pergeseran rata-rata. Oleh karena itu, optimasi proses dilakukan oleh metode Taguchi adalah dengan memperhatikan nilai *S/N Ratio*. Prinsip dasarnya adalah pengaturan proses produksi mencapai kondisi yang optimum jika dapat memaksimalkan nilai *S/N Ratio* (Wibowo, 2008).



Gambar 2.7 Diagram Sistem dengan Parameter

Menurut Park (1996) *S/N Ratio* adalah suatu bilangan yang menggambarkan perbandingan antara *signal* dan *noise* dari suatu parameter kendali. Untuk menggunakan konsep ini pada desain eksperimen, maka nilai kekuatan signal dan noise digantikan dengan nilai estimasi rata-rata (μ^2) dan variasi (σ^2).

Nilai *S/N Ratio* didapat dari pengolahan data hasil percobaan untuk beberapa kombinasi *level* pada parameter kendali. Setiap kombinasi akan memiliki nilai tersendiri. Dari nilai tersebut dapat diketahui apakah parameter kendali tersebut cukup memberikan pengaruh yang signifikan pada sebuah proses permesinan sehingga dapat disebut sebuah *signal*. Atau parameter tersebut hanya memberikan pengaruh yang kecil sehingga dianggap sebagai *noise* atau gangguan saja. Jika target yang dituju adalah untuk meningkatkan respons *output*, maka yang dilakukan adalah mencari kombinasi dari parameter kendali yang nilai *S/N Ratio* dari setiap *level*nya memiliki nilai terbesar. Berdasarkan *taguchi Loss*

function, ada tiga jenis *S/N Ratios* yang biasa dipakai dalam optimisasi permasalahan statik, yaitu:

a. *Smaller the Better*

Merupakan karakteristik terukur non negatif dengan nilai ideal nol. Pencapaian nilai mendekati nol maka kualitas akan semakin baik. Optimasi jenis ini biasanya dipakai untuk mengoptimasi suatu cacat pada produk. Dapat juga digunakan untuk menentukan waktu produksi tercepat (paling produktif). Untuk menghitungnya menggunakan rumus (Park, 1996):

$$\frac{S}{N} \text{ Ratio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana, n = jumlah data

i = data respon pengukuran

b. *Nominal the Better*

Merupakan karakteristik kualitas dengan nilai yang dapat positif maupun negatif. Nilai yang diukur berdasarkan nilai target yang telah ditetapkan. Pencapaian nilai mendekati target yang telah ditetapkan maka kualitas semakin baik. Optimasi ini sering digunakan apabila nilai yang telah ditetapkan merupakan sesuatu yang mutlak atau sangat diharapkan. Jadi tidak boleh lebih besar atau lebih kecil dari nilai yang telah ditetapkan sebelumnya. Contohnya adalah dimensi pada komponen-komponen mekanik (pada industri manufaktur), perbandingan unsur kimiawi pada suatu campuran (pada industri kimia), dan lain-lain. Rumus yang dapat digunakan (Park, 1996):

$$S/N \text{ Ratio} = 10 \times \log \left[\frac{y^{-2}}{s^2} \right] \dots \dots \dots (2.3)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2}{n - 1} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana: s^2 = varian

n = jumlah pengulangan dari setiap kombinasi

X_i = nilai dari kombinasi ke- n

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

c. *Larger the Better*

Merupakan karakteristik terukur dengan nilai non negatif dengan nilai ideal tak terhingga. Pencapaian nilai mendekati nilai tak terhingga maka kualitas yang dihasilkan akan semakin baik. Optimasi jenis ini merupakan kebalikan dari optimasi *smaller the better*. Kasus yang biasanya dioptimasi adalah untuk mencari kecepatan penghasilan geram (MRR) yang paling besar, yang berarti semakin besar MRR maka semakin produktif proses produksi tersebut. Rumus yang digunakan (Park, 1996):

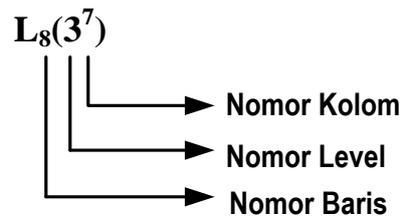
$$S/N \text{ Ratio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y^2} \right] \dots\dots\dots(2.5)$$

2.2.5 *Orthogonal Arrays Experiments*

2.2.5.1 *Struktur Orthogonal Array (OA)*

Metode Taguchi menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut *Orthogonal Arrays*, untuk menetapkan kombinasi faktor dan *level* mana yang akan digunakan dalam eksperimen yang efisien dan untuk menganalisa data hasil percobaan. *Orthogonal Array* adalah sebuah matriks *fractional factorial* yang menjamin suatu perbandingan yang seimbang antara *level-level* dari factor ataupun interaksinya dalam kombinasi yang dihasilkan. *Orthogonal array* digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari *Orthogonal Array* terletak pada pemilihan kombinasi *level* dari variabel-variabel *input* untuk masing-masing eksperimen (Ross, 1989).

Orthogonal Array adalah matriks angka-angka yang disusun kedalam sejumlah baris dan kolom. Setiap baris merepresentasikan *level* dari faktor pada setiap percobaan (*run*), dan setiap kolom merepresentasikan faktor atau kondisi tertentu yang dapat berubah dari suatu percobaan ke percobaan lainnya. *Array* disebut *orthogonal* karena setiap *level* dari masing-masing faktor adalah seimbang (*balance*) dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor yang lain dalam percobaan. *Orthogonal Array* merupakan suatu matriks faktor dan *level* yang tidak membawa pengaruh dari faktor atau *level* yang lain (Park, 1996)



Gambar 2.8 Lambang *Orthogonal Array*

Keterangan gambar:

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

Untuk dua *level*, tabel *OA* terdiri dari L_4 , L_8 , L_{12} , L_{16} , L_{32} , sedangkan untuk tiga *level* tabel *OA* terdiri dari L_9 , L_{18} , L_{27} (Taguchi et al., 2005).

Banyaknya *level* yang digunakan didalam faktor digunakan untuk memilih *Orthogonal Array*. Jika faktornya ditetapkan berlevel dua maka harus digunakan orthogonal array dua *level*, begitu seterusnya. *Orthogonal Array* untuk L_4 diperlihatkan pada **Tabel 2.3**.

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

Tabel 2.3 Matriks *Orthogonal Array* L_4

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

(Sumber: *Taguchi's Quality Engineering Handbook* by Taguchi et al., 2005)

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

Wibowo (2008) menuliskan bahwa *Orthogonal Array* mempunyai beberapa manfaat, yaitu:

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

2.2.5.2 Penentuan dan Pemilihan Orthogonal Array

Dalam menentukan jenis *OA*, 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 dengan cara memilih salah satu dari keempat jenis *OA* tersebut yang paling sesuai dengan jumlah faktor dan *level* yang diteliti dan juga interaksinya. Keempat 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 $L_{16}(8^1 \times 2^8)$

2.2.6 Tahapan dalam Metode Taguchi

Tahapan ini dibagi menjadi tiga fase utama yang meliputi keseluruhan pendekatan eksperimen. Tiga fase tersebut adalah (1) fase perencanaan, (2) fase pelaksanaan, dan (3) fase analisis. Fase perencanaan merupakan fase yang paling penting dari eksperimen untuk menyediakan informasi yang diharapkan. Fase perencanaan adalah ketika faktor dan *level*nya dipilih, dan oleh karena itu, merupakan langkah yang terpenting dalam eksperimen. Fase terpenting kedua adalah fase pelaksanaan, ketika hasil eksperimen telah didapatkan. Jika eksperimen direncanakan dan dilaksanakan dengan baik, analisis akan lebih mudah dan cenderung untuk dapat menghasilkan informasi yang positif tentang faktor dan *level*. Fase analisis adalah ketika informasi positif atau negatif berkaitan dengan faktor dan *level* yang telah dipilih dihasilkan berdasarkan dua fase sebelumnya. Fase analisis adalah hal penting terakhir yang mana apakah peneliti akan dapat menghasilkan hasil yang positif. Langkah utama untuk melengkapi desain eksperimen yang efektif adalah sebagai berikut (Ross, 1996):

1. Perumusan masalah: Perumusan masalah harus spesifik dan jelas batasannya dan secara teknis harus dapat dituangkan ke dalam percobaan yang akan dilakukan.
2. Tujuan eksperimen: Tujuan yang melandasi percobaan harus dapat menjawab apa yang telah dinyatakan pada perumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat pada masalah yang kita amati.
3. Memilih karakteristik kualitas atau respon yang akan dioptimasi (Variabel Tak Bebas): Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu

percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas yang akan diselediki.

4. Memilih faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas (Variabel Bebas): Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan dipilih faktor-faktor yang akan diselediki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan. Dalam seluruh percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselediki, sebab hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Hanya faktor-faktor yang dianggap penting saja yang diselediki. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang akan diteliti adalah *brainstorming*, *flowcharting*, dan *cause effect diagram*.
5. Mengidentifikasi faktor terkontrol dan tidak terkontrol: Dalam metode Taguchi, faktor-faktor tersebut perlu diidentifikasi dengan jelas karena pengaruh antara kedua jenis faktor tersebut berbeda. Faktor terkontrol (*control factors*) adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Sedangkan faktor gangguan (*noise factors*) adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau dikendalikan, atau faktor yang tidak ingin kita atur atau kendalikan.
6. Penentuan jumlah *level* dan nilai faktor: Pemilihan jumlah *level* penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan ongkos pelaksanaan percobaan. Makin banyak *level* yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh akan lebih banyak, tetapi banyaknya *level* juga akan meningkatkan ongkos percobaan.
7. Identifikasi Interaksi antar Faktor Kontrol: Interaksi muncul ketika dua faktor atau lebih mengalami perlakuan secara bersama akan memberikan hasil yang berbeda pada karakteristik kualitas dibandingkan jika faktor mengalami perlakuan secara sendiri-sendiri. Kesalahan dalam penentuan interaksi akan berpengaruh pada kesalahan interpretasi data dan kegagalan dalam penentuab proses yang optimal. Tetapi Taguchi lebih mementingkan pengamatan pada *main effect* (penyebab utama) sehingga

adanya interaksi diusahakan seminimal mungkin, tetapi tidak dihilangkan sehingga perlu dipelajari kemungkinan adanya interaksi.

8. Pemilihan *Orthogonal Array* (OA): Dalam memilih jenis *Orthogonal Array* harus diperhatikan jumlah *level* faktor yang diamati yaitu
 - Jika semua faktor adalah dua *level*: pilih jenis OA untuk *level* dua faktor
 - Jika semua faktor adalah tiga *level*: pilih jenis OA untuk *level* tiga faktor
 - Jika beberapa faktor adalah dua *level* dan lainnya tiga *level*: pilih yang mana yang dominan dan gunakan *Dummy Treatment*, Metode Kombinasi, atau *Metode Idle Column*.
 - Jika terdapat campuran dua, tiga, atau empat *level* faktor: lakukan modifikasi OA dengan metode *Merging Column*
9. Penugasan untuk faktor dan interaksinya pada *Orthogonal Array*: Penugasan faktor-faktor baik faktor kontrol maupun faktor gangguan dan interaksi-interaksinya pada *Orthogonal Array* terpilih dengan memperhatikan grafik linier dan tabel triangular. Kedua hal tersebut merupakan alat bantu penugasan faktor yang dirancang oleh Taguchi. Grafik linier mengindikasikan berbagai kolom ke mana faktor-faktor tersebut. Tabel triangular berisi semua hubungan interaksi-interaksi yang mungkin antara faktor-faktor (kolom-kolom) dalam suatu OA.
10. Persiapan dan Pelaksanaan Percobaan: Persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi percobaan dan randomisasi pelaksanaan percobaan.
 - Jumlah Replikasi: Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Replikasi bertujuan untuk: 1) Mengurangi tingkat kesalahan percobaan, 2) Menambah ketelitian data percobaan, dan 3) Mendapatkan harga estimasi kesalahan percobaan sehingga memungkinkan diadakan test signifikansi hasil eksperimen.
 - Randomisasi: Secara umum randomisasi dimaksudkan untuk: 1) Meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan

pada semua unit percobaan, 2) Memberikan kesempatan yang sama pada semua unit percobaan untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh pada setiap perlakuan yang sama, dan 3) Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas (independen) satu sama lain.

Pelaksanaan percobaan Taguchi adalah pengerjaan berdasarkan *penyetelan* faktor pada *OA* dengan jumlah percobaan sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti randomisasi. Proses percobaan dilakukan dengan mengumpulkan data respon sebanyak jumlah baris pada matriks *OA* yang telah dipilih. Data respon yang telah diperoleh itu kemudian diubah menjadi *S/N Ratios (Signal to noise ratios)*

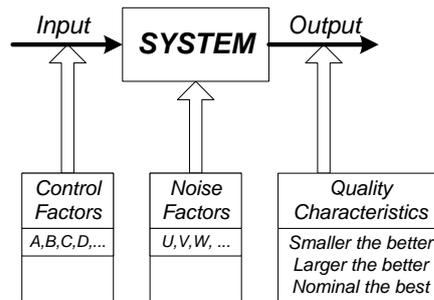
11. Analisis Data: Pada analisis dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *lay out* tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih.
12. Interpretasi Hasil: Interpretasi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

2.2.7 Taguchi Desain Parameter

2.2.7.1 Struktur Desain Parameter

Taguchi desain parameter adalah sebuah desain yang digunakan untuk meningkatkan kualitas tanpa menghilangkan penyebab dari variasi, dan untuk membuat sebuah produk tahan terhadap faktor pengganggu. Secara umum, desain parameter memiliki dua karakteristik (Park, 1996), yaitu:

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



Gambar 2.9 Digram Faktor-Faktor Pada Sistem

Type of array	Inner array (L_8)							Outer array (L_4)				
	Control factor assignment and column number							Raw data				SN ratio
								Experiment no.				
Experiment number	A	B	C	D	F	e	e	1	2	3	4	Noise factor assignment
1	1	2	3	4	5	6	7	0	0	1	1	U
2	1	3	2	4	5	6	7	0	1	0	1	V
3	1	4	3	2	5	6	7	1	0	1	0	W
4	1	5	4	3	2	6	7	1	1	0	0	
5	2	1	3	4	5	6	7	0	0	1	1	SN_1
6	2	2	3	4	5	6	7	0	1	0	1	SN_2
7	2	3	2	4	5	6	7	1	0	1	0	SN_3
8	2	4	3	2	5	6	7	1	1	0	0	SN_4

Gambar 2.10 Matriks *Orthogonal Array* dengan *Inner* and *Outer Array*

2.2.7.2 Langkah-Langkah dalam Desain Parameter

Beberapa langkah diperlukan untuk desain parameter dan analisa data, dibedakan berdasarkan tipe dari karakteristik kualitas-nya (Park, 1996), yaitu:

1. Karakteristik *Smaller-the-Better* dan *Larger-the-Better*
 - a. Menggambarkan faktor-faktor yang mempengaruhi respons kualitas produk atau proses dari eksperimen yang ingin dilakukan
 - b. Memilih tabel *OA* yang sesuai untuk *inner* dan *outer array*, dan menempatkan faktor kontrol dan pengganggu ke dalam *array-array* tersebut.
 - c. Melakukan eksperimen, dan menghitung *S/N Ratio* untuk setiap baris dari *inner array*
 - d. Mencari faktor-faktor signifikan yang mempengaruhi *S/N Ratios* dengan menggunakan *ANOVA* (atau *Pareto ANOVA*), dan mencari kondisi optimum untuk faktor-faktor yang signifikan.
 - e. Untuk faktor-faktor yang tidak signifikan, mencari kondisi optimum berdasarkan pertimbangan lain seperti ekonomi, kemampuan dan kemudahan operasi.

f. Mengestimasi rata-rata karakteristik dari kondisi optimum secara keseluruhan, dan melakukan tes konfirmasi pada kondisi optimum tersebut untuk memeriksa apakah kondisi optimum tersebut dapat mencapai respons kualitas yang diinginkan

2. Karakteristik *Nominal-the-Better*

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

2.2.8 Analisa dalam Hasil Eksperimen

2.2.8.1 Analisa Varians (ANOVA)

ANOVA atau analisis varian, digunakan untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses. Besarnya efek tersebut dapat diketahui dengan membandingkan nilai *sum of square* dari suatu parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali (Wibowo, 2008).

Analisis varians pada metode Taguchi digunakan sebagai metode statistik untuk menginterpretasikan data-data hasil percobaan. Analisis Varians adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. Analisis varians yang digunakan pada desain parameter berguna untuk membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. ANOVA yang digunakan dalam hasil eksperimen dengan Taguchi pada umumnya adalah analisa ANOVA dua arah. ANOVA dua arah adalah data percobaan yang terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih (Ross, 1989). Tabel ANOVA dua arah terdiri dari perhitungan derajat bebas (db), jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat, dan F-rasio yang ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 2.4 Rumus Perhitungan Tabel ANOVA

Sources of Variation	Degrees 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	$abn-1$	S_{yy}		

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

a. *Sum of Square (SS)*

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

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

Sum of squares untuk faktor utama adalah :

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

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

$$SS_E = SS_T - SS_m - S_{subtotal(AB)} \dots\dots\dots(2.8)$$

b. Derajat Kebebasan

Perhitungan untuk memperoleh derajat kebebasan adalah sebagai berikut:

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

$$\begin{aligned} V_A &= (\text{jumlah level faktor A}) - 1 \\ &= k_A - 1 \dots\dots\dots(2.9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_B &= (\text{jumlah level faktor B}) - 1 \\ &= k_B - 1 \dots\dots\dots(2.10) \end{aligned}$$

- Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

$$V_{A \times B} = (k_A - 1)(k_B - 1) \dots\dots\dots(2.11)$$

- Nilai derajat kebebasan total

$$\begin{aligned} V_T &= (k_A - 1) + (k_B - 1) + (k_A - 1)(k_B - 1) \\ &= (\text{Jumlah Percobaan}) - 1 \dots\dots\dots(2.12) \end{aligned}$$

- Nilai derajat kebebasan *error*

$$V_e = V_T - V_A - V_B - V_{A \times B} \dots\dots\dots(2.13)$$

c. *Mean Square (MS)*

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

d. Uji-F

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

2.2.8.2 *Pareto ANOVA*

Pareto ANOVA adalah sebuah metode *ANOVA* yang disederhanakan dengan menggunakan prinsip *Pareto*. Metode ini dapat digunakan dengan lebih mudah dan cepat untuk menganalisa desain parameter karena tidak membutuhkan

sebuah tabel ANOVA pada umumnya, dan juga tidak menggunakan f-test. Metode ini juga membolehkan signifikansi dari faktor-faktor dan interaksinya untuk dievaluasi dengan menggunakan analisa *Pareto*, dan juga memungkinkan untuk memperoleh kondisi yang optimum dari setiap *level* pada faktor (Park, 1996). Pada tabel dibawah ini dapat dilihat contoh dari tabel *Pareto ANOVA*.

Tabel 2.5 Contoh tabel *Pareto ANOVA*

Factors	A	B	C	D	F	G	H	I	Total	
Sum at factor level	0	139.5	88.6	82.4	96.2	83.6	77.1	80.1	100.6	T = 266.2
	1	126.7	68.1	87.4	69.1	96.1	88.2	78.8	63.2	
	2		109.5	96.4	100.9	86.5	100.9	107.3	102.4	
Squares of diff. (S)	163.8	2571.0	302.0	1767.7	256.8	850.9	1553.8	2938.6	10404.6	
Degrees of freedom (ϕ)	1	2	2	2	2	2	2	2		
S/ϕ	163.8	1285.5	151.0	883.9	128.4	425.5	776.9	1469.3	5284.3	
Contribution ratio (%)	3.1	24.3	2.9	16.7	2.4	8.1	14.7	27.8	100.0	
Pareto diagram	40	27.8	24.3	16.7	14.7	8.1	3.1	2.9	2.4	
	30 20 10									
Factor	I	B	D	H	G	A	C	F		
Cumulative contribution ratio (%)	27.8	52.1	68.8	83.5	91.6	94.7	97.6	100.0		
Optimum combination of sig. factor levels	B_2, D_2, G_2, H_2, I_2 (The optimal level of each significant factor is the level which maximizes the sum of SN ratios.)									
Remarks on optimum conditions	The significant factors are chosen from the left-hand side in the above Pareto diagram which cumulatively contribute about 90%.									

(Sumber: *Robust Design and Analysis for Quality Engineering* by Park, 1996)

Pada tabel tersebut, *square of difference* adalah kuadrat dari selisih antara *level-level* pada tiap faktor. Rasio kontribusi (*Contribution Ratio*) didapatkan dengan cara membandingkan kuadrat selisih setiap masing-masing faktor dengan total dari kuadrat selisih. Contohnya untuk faktor A adalah sebagai berikut (Park, 1996, p. :

$$S_A = (A_0 - A_1)^2 \dots\dots\dots(2.14)$$

$$S'_A = S_A/\Phi_A \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\text{Rasio Kontribusi} = (S'_A / S_T) \times 100\% \dots\dots\dots(2.16)$$

Faktor-faktor pada area yang diarsir pada diagram *Pareto* dianggap sebagai penyebab yang signifikan terhadap variasi. Dengan catatan, faktor-faktor signifikan yang terpilih diletakkan di sebelah kiri pada diagram *Pareto*, secara kumulatif memberikan kontribusi sekitar 90% (Park, 1996).

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

2.3 *Artificial Neural Network*

2.3.1 *Artificial Intelligence*

Artificial Intelligence (AI) merupakan suatu cara yang mudah untuk membuat suatu computer berpikir dengan cerdas. Hal ini dilakukan dengan mempelajari bagaimana manusia berfikir saat mereka sedang berusaha untuk membuat keputusan dan menyelesaikan masalah, membagi proses tersebut menjadi langkah-langkah dasar, dan merancang program komputer yang dapat memecahkan masalah dengan menggunakan langkah tersebut. Dengan demikian, *AI* memberikan pendekatan yang sederhana dan terstruktur untuk merancang program pembuatan keputusan yang kompleks (Rich dan Knight, 1991).

Kecerdasan Manusia merupakan sebuah fungsi kompleks yang para ilmuwan baru mampu untuk memahaminya, tetapi cukup bagi kita untuk membuat asumsi pasti tentang bagaimana kita berpikir dan untuk menerapkannya ke dalam desain program *AI*.

1. Tujuan

Tujuan adalah hasil terakhir dimana seluruh proses pemikiran kita diarahkan kepadanya. Tidak satupun dari pemikiran yang membimbing kita kepada sebuah hasil final ini berupa pemikiran acak atau berubah-ubah. Saat berkaitan dengan aktivitas fisik yang paling sederhana atau bahkan aktivitas mental yang paling kompleks, pikiran kita secara tajam focus kepada sebuah tujuan. Tanpa tujuan, kita tidak memiliki alasan untuk berpikir. Contoh dari tipe tujuan yang bervariasi adalah seperti berikut:

- Memetakan rute terpendek antara New York dan Boston
- Memutuskan tipe *wine* terbaik untuk diminum dengan ikan tertentu
- Mempelajari cara untuk mengikat tali sepatu
- Memutuskan bagaimana caranya menentukan apabila seorang anak mengerti konsep aritmatika

Saat merancang sistem *AI*, tujuan dari suatu sistem harus selalu diingat, karena kita berpikir hanya apabila ada sesuatu yang harus kita lakukan.

2. Fakta dan Aturan

Kita semua mengetahui bahwa pikiran manusia memiliki tempat penyimpanan pengetahuan yang sangat besar terkait pada susunan objek dan ide yang tidak terhitung jumlahnya. Apa yang disebut sebagai kecerdasan dapat dibagi menjadi koleksi akan fakta dan arti daripada penggunaan fakta tersebut dalam rangka meraih tujuan. Hal ini dilakukan, dalam bagian-bagian, dengan merumuskan suatu set peraturan terkait dengan semua fakta yang disimpan di dalam otak manusia. Sebagai contohnya:

Fakta/aturan set 1

Fakta 1: Kompor yang menyala itu panas

Aturan 1: Jika saya letakkan tangan saya di atas kompor yang menyala, maka tangan saya akan sakit

Semua aturan dapat diekspresikan dengan hubungan IF-THEN atau kondisional. Yaitu, bila sebuah kondisi terjadi, maka akan menghasilkan sebuah aksi atau tanggapan.

3. *Pruning*

Terdapat sebuah sistem yang lebih canggih yang mampu membimbing pemilihan akan tanggapan yang benar terhadap suatu situasi yang spesifik. Proses tersebut dinamakan *pruning*. *Pruning* mengeliminasi jalan kecil dari pikiran yang tidak relevan terhadap objek yang terdekat untuk meraih tujuan. Sehingga mekanisme *pruning* adalah memotong kata dari fakta-fakta dan aturan yang tidak dapat mengarahkan kita kepada tujuan.

4. Mekanisme Inferensi

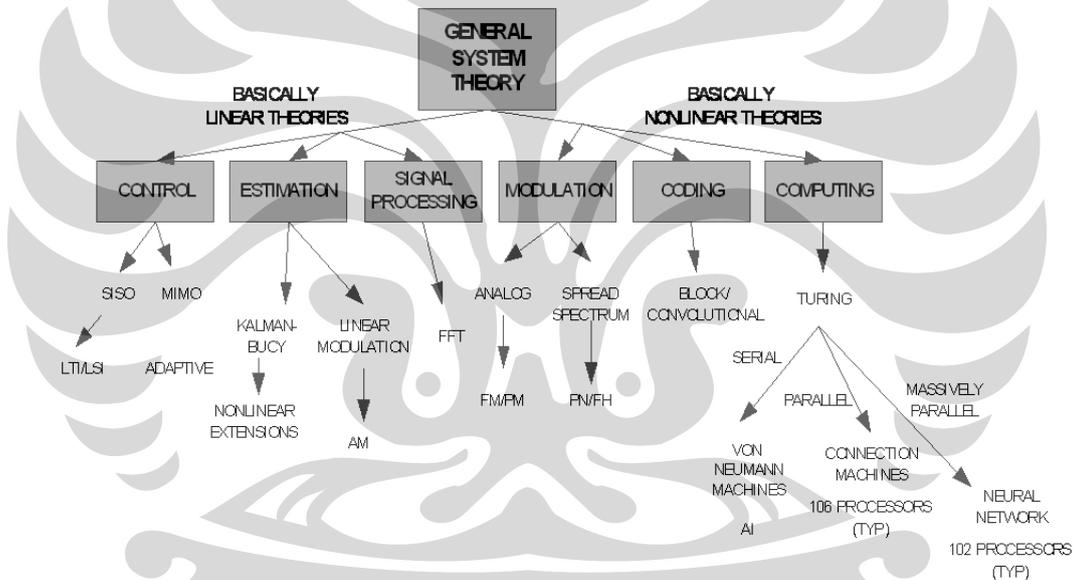
Saat akan meraih suatu tujuan, kita tidak hanya memecahkan masalah yang harus diselesaikan tetapi juga memperoleh pengetahuan baru pada saat yang bersamaan. Bagian dari kecerdasan yang membantu kita kepada fakta baru tersebut dinamakan mekanisme inferensi.

2.3.2 Sejarah Neural Network

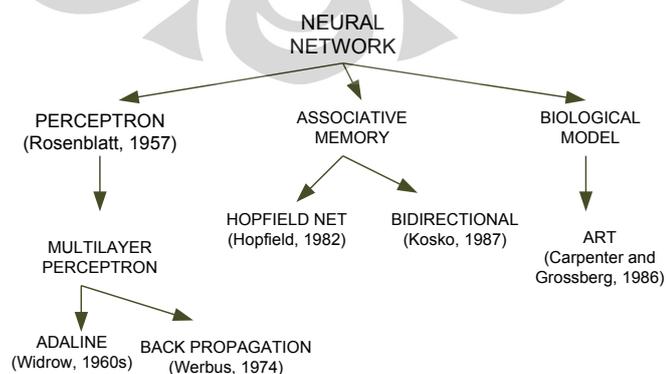
Neural Network merupakan bagian dari teori sistem dikarenakan bentuk matematisnya. Gambar dibawah merupakan road map yang disederhanakan dari

teori sistem sekarang. Bagian kiri dari bagan ini merupakan conventional system processing, yang merupakan alat dasar untuk merancang sebuah sistem elektronik yang modern. Bagian kanan bagan tersebut merupakan cabang dari teori komputasi (Laurene, 1994).

Para peneliti memperkenalkan NN dari berbagai disiplin. Robert L. Harvey mengemukakan bahwa dari sudut pandang arsitektural, teori NN memiliki tiga cabang utama, yaitu *Perceptron*, associative memory, dan biological model. Cabang *Perceptron* merupakan cabang yang tertua dan paling berkembang. Pada saat ini, sebagian besar NN adalah *Perceptron* dari satu bentuk atau bentuk lainnya. Cabang associative memory adalah sumber dari kebangkitan di dalam NN. Dan cabang biological model adalah cabang dengan perkembangan tercepat dan berkemungkinan memiliki dampak jangka panjang yang terbesar.



Gambar 2.11 Cabang dari Sistem Teori General



Gambar 2.12 Klasifikasi Neural Network

2.3.2.1 Pengertian Umum Neural Network

Neural Network (NN) adalah suatu prosesor yang melakukan pendistribusian secara besar-besaran, yang memiliki kecenderungan alami untuk menyimpan suatu pengenalan yang pernah dialaminya, dengan kata lain NN ini memiliki kemampuan untuk dapat melakukan pembelajaran dan pendeteksian terhadap sesuatu objek. Secara mendasar, sistem pembelajaran merupakan proses penambahan pengetahuan pada NN yang sifatnya kontinuitas sehingga pada saat digunakan pengetahuan tersebut akan dieksploitasikan secara maksimal dalam mengenali suatu objek. *Neuron* adalah bagian dasar dari pemrosesan suatu *Neural Network*. Dibawah ini merupakan bentuk dasar dari suatu *neuron* (Setiawan, 2003).

2.3.2.2 Keuntungan penggunaan Neural Network

Beberapa keuntungan dalam menggunakan *Neural Network* dalam penyelesaian suatu permasalahan adalah sebagai berikut:

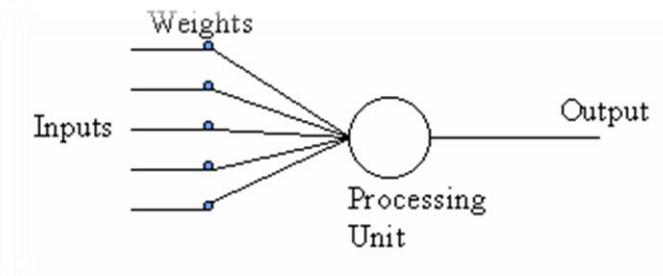
- Perangkat yang mampu untuk mengenali suatu objek secara non-linier.
- Mempermudah pemetaan input menjadi suatu hasil tanpa mengetahui proses sebenarnya.
- Mampu melakukan pengadaptasian terhadap pengenalan suatu objek
- Perangkat yang memiliki toleransi terhadap suatu kesalahan dalam pengenalan suatu objek.
- *Neural Network* mampu diimplementasikan pada suatu Hardware atau perangkat keras.
- Perangkat yang mampu diimplementasikan secara paralel.

2.3.2.3 Bagian-Bagian Dari Neuron

Dalam sistem jaringan syaraf tiruan, *neuron* akan bekerja dengan mengumpulkan sinyal dari *neuron* yang terhubung sebelumnya dan memprosesnya untuk menjadi masukan bagi *neuron* berikutnya. *Neuron* tersebut tersusun dari komponen-komponen sebagai berikut:

- Sekumpulan penghubung yang dikenal dengan *synapses* atau *connection link* yang dikarakterkan dengan sebuah pembobot (*weight/strength connection*)
- Sebuah pemjumlah (*summing/adder*) yang berfungsi untuk menjumlahkan semua sinyal masukannya

- Sebuah fungsi tidak dinamis (non-dynamical) yang dikenali dengan sebutan fungsi aktivasi (activation function)



Gambar 2.13 Bentuk Dasar *Neuron*

Persamaan dari fungsi penjumlahan atau fungsi transformasi *neuron* (*neuron transfer function*) adalah:

$$Net_k = \sum_{i=0}^I w_i x_i (t) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana,

net_j : fungsi transformasi *neuron*

x_i : masukan *neuron*

w_i : pembobot penghubung

t : variabel waktu

- Input merupakan masukan yang digunakan baik saat pembelajaran maupun dalam mengenali suatu objek.
- Weight, beban yang selalu berubah setiap kali diberikan input sebagai proses pembelajaran.
- Processing Unit merupakan tempat berlangsungnya proses pengenalan suatu objek berdasarkan pembebanan yang diberikan.
- Output, keluaran dari hasil pengenalan suatu objek.

2.3.2.4 Fungsi Aktivasi Neural Network

Dalam Gambar 2.13 dapat dijelaskan bahwa setelah pemetaan sinyal masukan *neuron* akan menghasilkan keluaran melalui fungsi aktivasi. Fungsi aktivasi mentransformasikan nilai keluarannya melalui pemetaan sinyal masukannya ke dalam sebuah nilai yang sama dengan nilai *neuron* lainnya.

Persamaan fungsi aktivasi sebuah *neuron* adalah:

$$O_k = f_{actv} (net_k) \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana,

f_{actv} : fungsi aktivasi

Ok : keluaran neutron

Pada fungsi aktivasi bipolar *neuron* akan menghasilkan nilai keluaran positif dan negative, sedangkan pada jenis unipolar hanya menghasilkan keluaran positif. Berdasarkan jenis *neuron*, fungsi aktivasi memiliki beberapa bentuk yaitu:

1. Fungsi Aktivasi Linear

FA yang paling sederhana adalah pemetaan secara linear yang ditunjukkan dengan persamaan:

$$f_{actv}(n_j) = n_j \dots \dots \dots (2.18)$$

Gradien dari FA linear diberikan oleh persamaan:

$$\frac{\partial f_{actv}(n_j)}{\partial n_j} = 1 \dots \dots \dots (2.19)$$

2. FA Sigmoid

$$f_{actv}(n_j) = sig(n_j) \\ = \frac{1}{1 + exp^{-n_j}} \dots \dots \dots (2.20)$$

Gradien dari FA sigmoid diberikan oleh persamaan:

$$\frac{\partial f_{actv}(n_j)}{\partial n_j} = (1 - f_{actv}(n_j)) f_{actv}(n_j) \dots \dots \dots (2.21)$$

3. FA Hiperbolik Tangen

FA Hiperbolik Tangen merupakan fungsi unipolar yang ditunjukkan oleh persamaan:

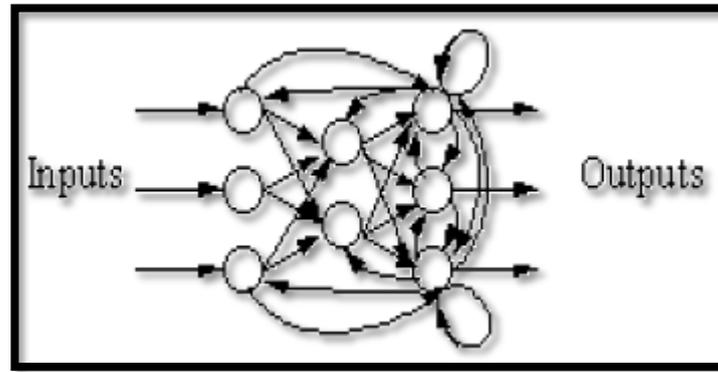
$$f_{actv}(n_j) = \tanh(n_j) = \frac{1 - exp^{-n_j}}{1 + exp^{-n_j}} \dots \dots \dots (2.22)$$

Gradien dari FA Hiperbolik tangen diberikan oleh persamaan:

$$\frac{\partial f_{actv}(n_j)}{\partial n_j} = 1 - (f_{actv}(n_j))^2 \dots \dots \dots (2.23)$$

2.3.2.5 Arsitektur Neural Network

Bentuk dasar arsitektur suatu *Neural Network* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.14 Arsitektur Dasar *Neural Network*

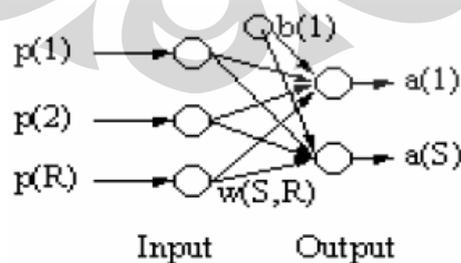
Sistem jaringan syaraf tiruan dapat juga dilihat sebagai sebuah grafik arah pembobot (*graph directed weighted*) dimana *neuronnya* dinyatakan sebagai titik dan arah pembobotannya dinyatakan sebagai penghubung antar *neuron*. Berdasarkan struktur sambungan dan aliran pengolahan sinyalnya, jaringan syaraf tiruan dapat dibagi menjadi jaringan maju (*feed forward architecture*) dan jaringan berulang (*recurrent architecture*).

- Jaringan maju dapat berupa lapisan tunggal (*single layer Perceptron*) dan lapisan jamak (*multilayer Perceptron*)
- Jaringan ulang ditandai dengan adanya lingkaran umpan balik (*feedback loop*). Jaringan ulang antara lain pada jaringan Hopfield (*Hopfield Network*) dan jaringan kompetitif (*competitive network*).

Bentuk-bentuk arsitektur *Neural Network* adalah sebagai berikut:

1. *Single-Layer Neural Network*

Neural Network jenis ini memiliki koneksi pada inputnya secara langsung ke jaringan output.

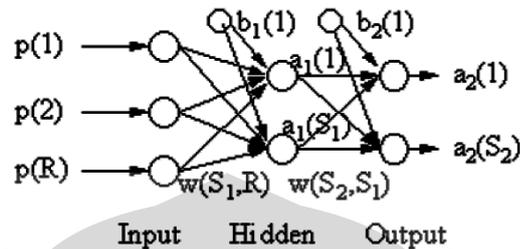


Gambar 2.15 Single-layer *Neural Network*

Jenis *Neural Network* ini sangatlah terbatas, hanya digunakan pada kasus-kasus yang sederhana.

2. *Multilayer Perceptron Neural Network*

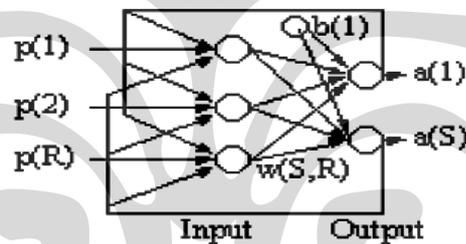
Jenis *Neural Network* ini memiliki layer yang dinamakan “hidden”, ditengah layer input dan output. Hidden ini bersifat variable, dapat digunakan lebih dari satu hidden layer.



Gambar 2.16 *Multilayer Perceptron Neural Network*

3. *Recurrent Neural Network*

Neural Network jenis ini memiliki ciri, yaitu adanya koneksi umpan balik dari output ke input.



Gambar 2.17 *Recurrent Network*

Kelemahan dari jenis ini adalah *Time Delay* akibat proses umpan balik dari output ke titik input.

2.3.2.6 *Proses Pembelajaran (Training) pada Neural Network*

Proses pembelajaran merupakan suatu metoda untuk proses pengenalan suatu objek yang sifatnya kontinuitas yang selalu direspon secara berbeda dari setiap proses pembelajaran tersebut. Tujuan dari pembelajaran ini sebenarnya untuk memperkecil tingkat suatu error dalam pengenalan suatu objek. Secara mendasar, *Neural Network* memiliki sistem pembelajaran yang terdiri atas beberapa jenis berikut:

1. *Supervised Learning*

Sistem pembelajaran pada metoda *Supervised learning* adalah sistem pembelajaran yang mana, setiap pengetahuan yang akan diberikan kepada sistem, pada awalnya diberikan suatu acuan untuk memetakan suatu

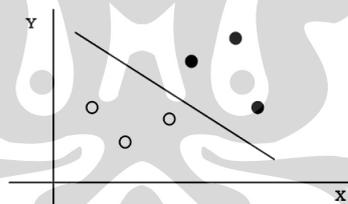
masuk menjadi suatu keluaran yang diinginkan. Proses pembelajaran ini akan terus dilakukan selama kondisi error atau kondisi yang diinginkan belum tercapai. Adapun setiap perolehan error akan dikalkulasikan untuk setiap pemrosesan hingga data atau nilai yang diinginkan telah tercapai.

2. *Unsupervised Learning*

Sistem pembelajaran pada *Neural Network*, yang mana sistem ini memberikan sepenuhnya pada hasil komputasi dari setiap pemrosesan, sehingga pada sistem ini tidak membutuhkan adanya acuan awal agar nilai dapat dicapai. Meskipun secara mendasar, proses ini tetap mengkalkulasikan setiap langkah pada setiap kesalahannya dengan mengkalkulasikan setiap nilai *weight* yang didapat

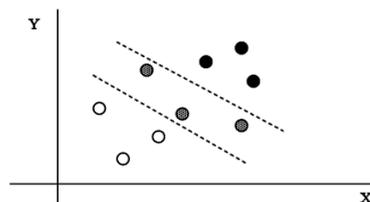
2.3.2.7 Mekanisme Kerja *Multilayer Perceptron Neural Network*

Sesuai dengan karakteristik *Neural Network*, pada dasarnya *Multilayer Perceptron* memiliki kecenderungan yang sama dengan jenis *Neural Network* lainnya, namun setiap jenis memiliki karakteristik masing-masing, seperti halnya *Single layer Neural Network*, biasanya hanya digunakan untuk memberikan solusi yang sifatnya hanya sederhana saja, sebagai contoh berikut ini.



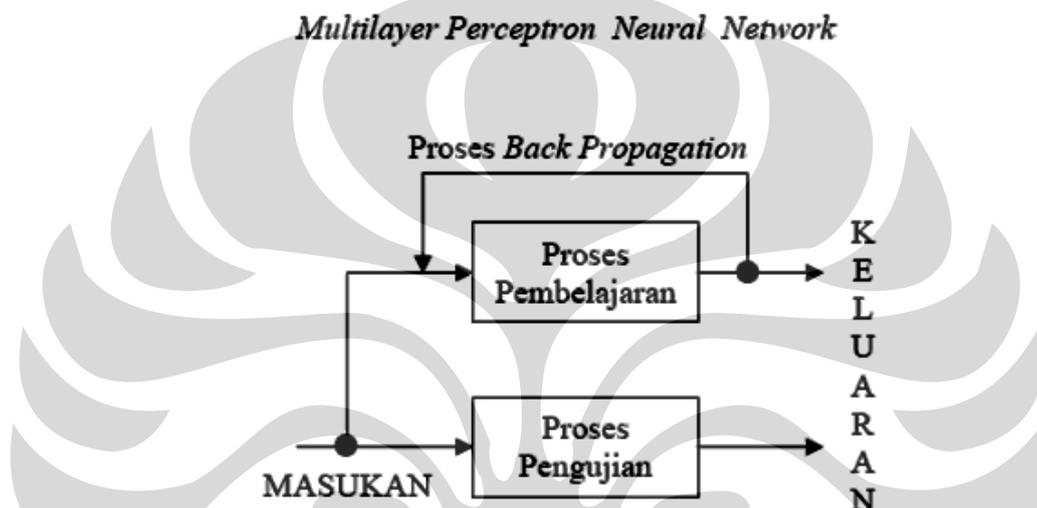
Gambar 2.18 Penggunaan *Single Layer Neural Network*

Gambar diatas menunjukkan bahwa *single layer Neural Network* digunakan untuk menganalisa dua bagian yang berbeda saja, yaitu agar dapat mengetahui posisi lingkaran hitam dan lingkaran yang berwarna putih. Lain halnya dengan dengan kondisi pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.19 Penggunaan *Multilayer Perceptron Neural Network*

Pada **Gambar 2.19**, menunjukkan bahwa dengan karakteristik *Single layer Neural Network* yang hanya mampu mendeteksi dua daerah saja membuat kasus ini sulit untuk dapat diselesaikan. *Multilayer Perceptron Neural Network* adalah jenis *Neural Network* yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi atau melakukan analisa untuk permasalahan yang sifatnya cukup atau bahkan sangat kompleks, seperti pada masalah Pemrosesan Bahasa, Pengenalan suatu Pola serta Pemrosesan suatu Image atau gambar. Adapun Proses yang terjadi Pada *Multilayer Perceptron Neural Network*, adalah sebagai berikut:

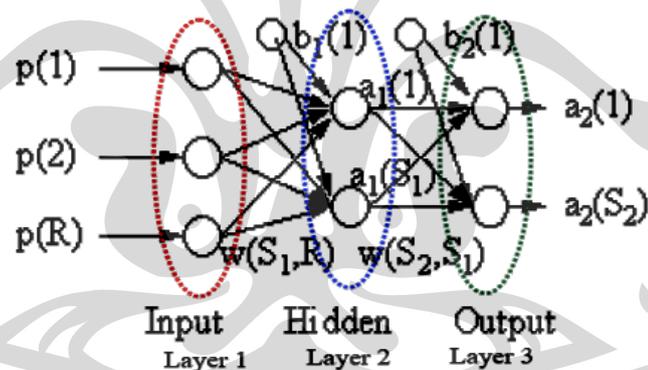


Gambar 2.20 Proses *Multilayer Perceptron Neural Network*

Berikut adalah penjelasan mengenai proses *Multilayer Perceptron Neural Network*:

1. **Masukan**
Proses ini merupakan bagian dari sistem kerja secara keseluruhan, karena proses masukan digunakan untuk menunjang pada proses pembelajaran serta proses pengujian. Pada proses ini, masukan diklasifikasikan berdasarkan keinginan dari pembuat, dimana bentuk masukan dapat berupa nilai logic atau bilangan biner (1 atau 0), atau juga bisa berupa nilai angka atau bilangan real (120.3 atau 100) bahkan dapat melakukan proses dengan menggunakan bilangan negatif.
2. **Proses Pembelajaran**
Pada bagian ini merupakan sisi kelebihan dari metoda *Neural Network*, dimana setiap permasalahan yang akan dihadapi dapat dipecahkan dengan

melalui tahapan pembelajaran, seperti halnya otak manusia yang secara sifat biologis, memiliki kemampuan untuk mempelajari hal-hal yang baru. Memang pada dasarnya, *Neural Network* ini dibuat untuk dapat mempelajari sesuatu hal yang baru sehingga mampu melakukan penganalisaan tanpa menggunakan suatu rumusan yang baku. Proses pembelajaran ini sangat mempengaruhi sensitifitas kemampuan dalam melakukan penganalisaan, semakin banyak bahan atau masukan sebagai pembelajaran maka akan semakin mudah dan sensitif dalam melakukan analisa. Biasanya untuk membahas hal-hal yang cukup kompleks, *Multilayer Perceptron Neural Network* memiliki hidden neuron yang digunakan untuk mengimbangi setiap permasalahan yang akan dihadapi, umumnya untuk melakukan penganalisaan pada hal-hal yang rumit, rancangan *Neural Network* yang dibuat minimal memiliki tiga layer seperti pada gambar dibawah ini, namun hal ini tergantung pada tingkat kompleksitas yang dihadapi.



Gambar 2.21 *Multilayer Perceptron Neural Network 3 Layer*

3. Proses Perhitungan saat pembelajaran

Proses ini melibatkan dua faktor penting, yaitu masukan dan keluaran yang ditentukan. Keluaran tersebut merupakan bagian dari sistem atau metoda pembelajaran yang dinamakan “Supervised Learning”, dengan demikian setiap masukan memiliki keluaran yang nantinya akan dijadikan sebagai acuan pembelajaran. Hal inilah yang membuat *Neural Network* melakukan penganalisaan, selain banyaknya masukan yang diberikan, proses pembelajaran yang dilakukan secara berulang pun akan menunjang kemampuan *Neural Network* saat menganalisa.

4. Keluaran

Bagian ini merupakan proses yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pembelajaran terhadap keluaran yang diinginkan, jika hasil yang diinginkan kurang sesuai maka kemungkinan yang terjadi adalah :

- Variabel masukan (informasi yang diberikan) kurang menunjang
- Kurangnya layer pada rancangan keseluruhan
- Jumlah *neuron* yang terlalu sedikit

Namun tidak menutup kemungkinan karena ketidaksesuaian penerapan saat proses pembelajaran dilakukan juga dapat mempengaruhi proses pembelajaran. Hal lainnya yang dapat mempengaruhi proses pencapaian target adalah pemilihan metoda Back Propagation, yang akan dijelaskan pada sub bab berikut.

2.3.2.8 Back Propagation Multilayer Perceptron Neural Network

Back Propagation adalah istilah dalam penggunaan metoda MLP-NN untuk melakukan proses update pada nilai vektor weight dan bias. Adapun bentuk metoda weight ini memiliki beberapa macam, antara lain adalah sebagai berikut.

1. *Gradient Descent Back Propagation* (GD)

Metoda ini merupakan proses update untuk nilai weight dan bias dengan arah propagasi fungsinya selalu menurunkan nilai weight sebelumnya. Bentuk vektor weight tersebut berlaku seperti metoda berikut.

$$W_{k+1} = W_k - \alpha \cdot g_k \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana α , merupakan Learning rate serta g , merupakan gradient yang berhubungan dengan nilai error yang diakibatkan oleh weight tersebut.

2. *Gradient Descent Back Propagation* dengan Momentum

Penggunaan Momentum pada metoda ini memberikan nilai tambah dimana hasil update diharapkan tidak berhenti pada kondisi yang dinamakan “Local Minimum”, sehingga proses penelusuran hingga mencapai nilai minimum yang paling puncak dalam pengertian nilai error yang paling kecil dapat tercapai. Adapun bentuk metoda penggunaan momentum ini adalah seperti dibawah ini.

$$W_{k+1} = W_k - \alpha \cdot g_k + \mu \cdot W_{k-1} \dots\dots\dots(2.25)$$

3. *Variabel Learning Rate Back Propagation* dengan Momentum

Penggunaan metoda ini bertujuan untuk mempercepat waktu penyelesaian sehingga proses mendapatkan nilai error yang paling kecil dapat tercapai dengan cepat serta penelusuran yang lebih singkat. Sebaliknya jika nilai yang digunakan dalam praktisnya maka hasil yang didapatkan biasanya akan memperlambat proses penelusuran nilai error yang paling kecil. Dalam penggunaan metoda ini para peneliti biasanya menggunakan cara memperbesar nilai dari *Variabel Learning Rate* saat hasil yang dicapai jauh dari target, dan sebaliknya saat hasil yang dicapai dekat dengan nilai target. Secara perhitungan metoda ini memang tidak begitu jauh dari metoda yang telah dijelaskan sebelumnya, namun perbedaannya adalah seperti dibawah ini.

$$W_{k+1} = W_k - \alpha_{k+1} \cdot g_k + \mu \cdot W_{k-1} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$\alpha_{k+1} = \beta \cdot \alpha_k \quad (4)$$

$$0.7 \text{ jika nilai new error} > 1.04 \text{ (old error)} \dots\dots\dots(2.27)$$

$$1.05 \text{ jika nilai new error} < 1.04 \text{ (old error)} \dots\dots\dots(2.28)$$

4. *Conjugate Gradient Back Propagation (CGX)*

Conjugate Gradient Back Propagation memiliki perbedaan dibandingkan dengan metoda GD yaitu pada saat melakukan proses update, dimana untuk metoda GD proses tersebut dilakukan setiap penggunaan rumus sedangkan pada proses CGX, update dilakukan setiap iterasi dilakukan.

Berikut ini merupakan proses update nilai weight.

$$W_{k+1} = W_k + \alpha \cdot p_k \dots\dots\dots(2.29)$$

$$\text{Dimana : } p_k = -g_k + \beta_k \cdot p_{k-1} \dots\dots\dots(2.30)$$

$$\beta = \frac{\Delta g_{k-1} \cdot g_k}{g_{k-1} \cdot g_{k-1}} \dots\dots\dots(2.31)$$

$$\Delta g_{k-1} = g_k - g_{k-1} \dots\dots\dots(2.32)$$

5. *Quasi-Newton Back Propagation (BPGS)*

Metoda Newton ini merupakan improvisasi dari metoda CGX, dimana pencapaian nilai konfigurasi dapat dilakukan lebih cepat. Metoda yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$W_{k+1} = W_k - A_k \cdot g_k \dots\dots\dots(2.33)$$

BAB 3 PENGUMPULAN DATA

Pengumpulan data untuk penulisan tugas akhir ini mengambil data eksperimen yang langsung didapat dari pengamatan langsung oleh peneliti. Data yang diambil untuk tugas akhir ini adalah data berupa faktor-faktor yang mempengaruhi penyetelan mesin pengemasan *creamer*. Untuk mesin yang diamati ada dua mesin, yaitu mesin MASEMA dan CHIN FONG. Pengambilan data yang dibutuhkan untuk tugas akhir ini dibantu langsung oleh para operator mesin yang bersangkutan.

3.1 Proses Produksi

PT SMPI adalah sebuah perusahaan manufaktur yang bergerak dalam bidang pembuatan packaging (kemasan) dari berbagai jenis produk hasil industri manufaktur lainnya seperti makanan, minuman, obat-obatan, dan lain-lain. Proses produksi yang dilakukan adalah berdasarkan pesanan (*job order*), dengan desain produk ditentukan oleh konsumen eksternal. Kegiatan produksi yang dilakukan tidak rutin dan berbeda-beda urutannya sesuai dengan jenis pesannya sehingga pengendalian produksinya menjadi lebih rumit. Berdasarkan proses produksinya, produk yang dihasilkan dibedakan atas dua jenis, yaitu :

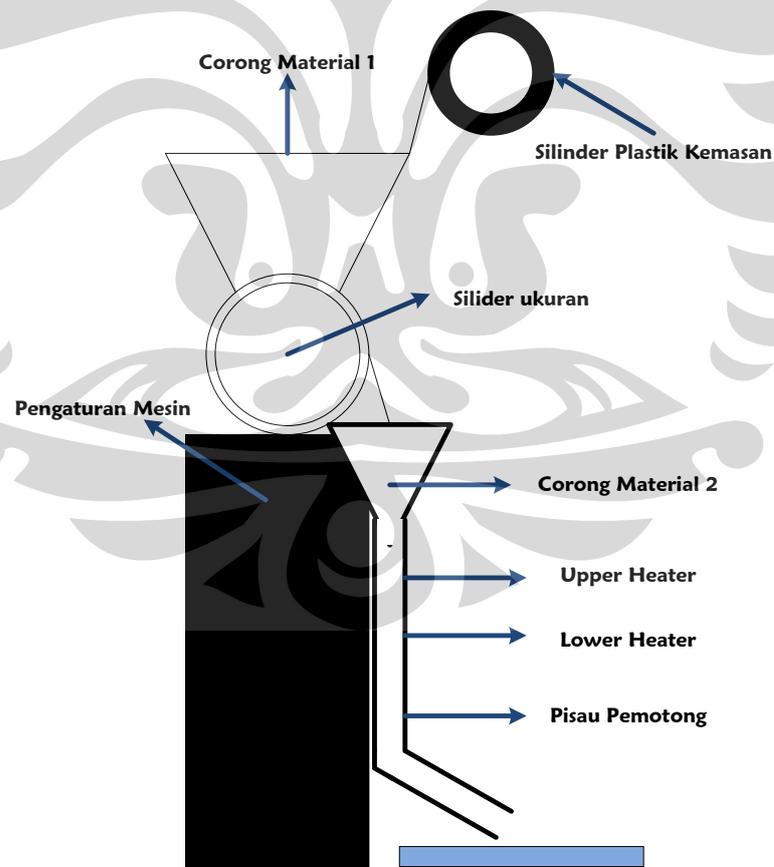
- a. Kemas bentuk (*Fine Flexible Packaging*), merupakan kemasan jadi yang masih dalam bentuk gulungan atau roll untuk diproses lebih lanjut oleh konsumen yang bersangkutan.
- b. Pengemasan (*packaging*), merupakan kemasan jadi yang sudah diproses lebih lanjut sehingga produk akhirnya berbentuk kantong (*bag*). Bahan baku yang digunakan di PT SMPI ini sesuai dengan permintaan dari pelanggan, yaitu :
 - PET (*Poli Esther*)
 - *Litho Paper*
 - *Aluminium Foil*

Pemakaian bahan baku tersebut disesuaikan dengan desain dan kesepakatan yang telah disetujui oleh customer yang tercantum dalam SIP (Standar Instruksi Pengerjaan).

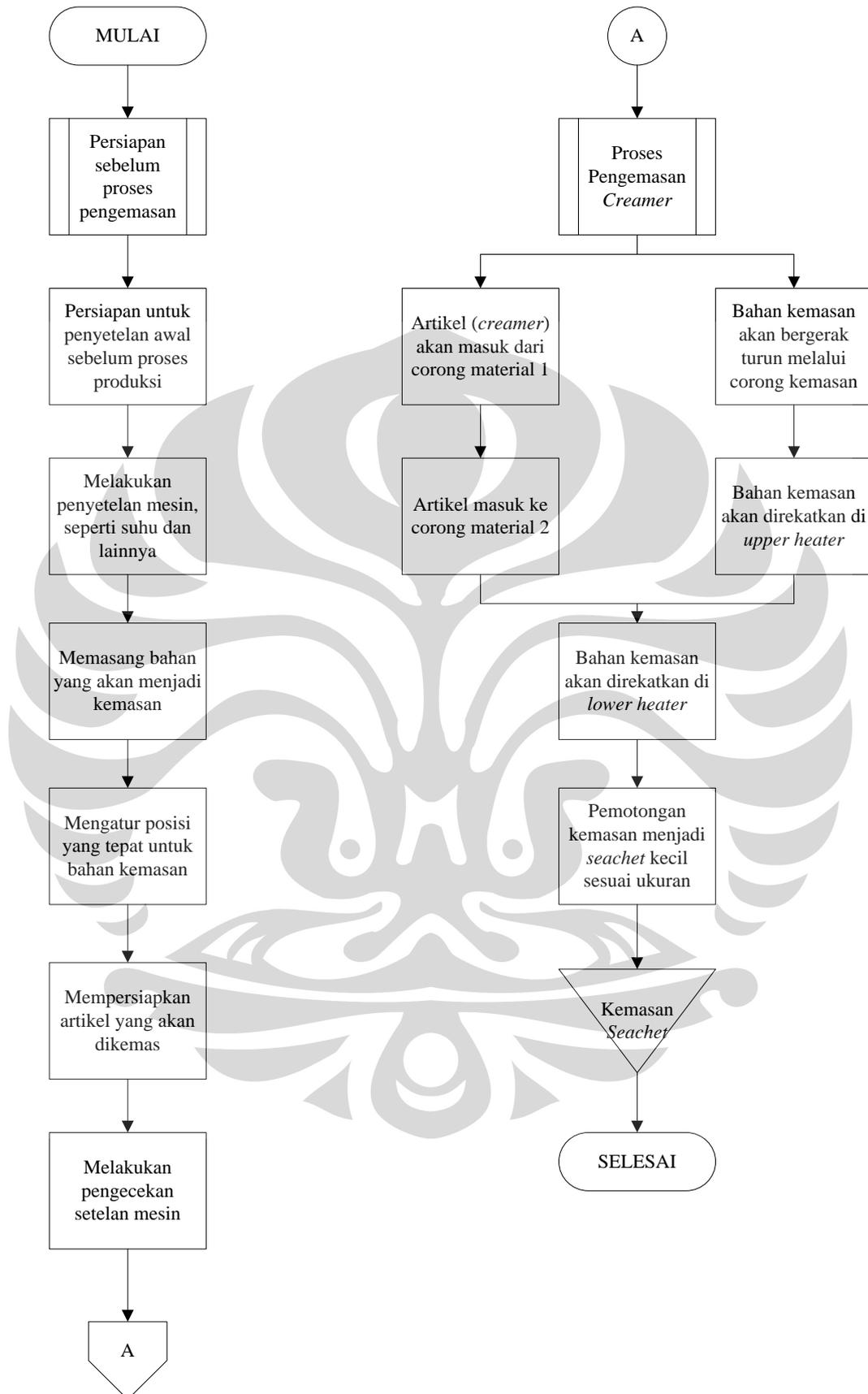
Untuk proses produksi pada kedua mesin ini sama saja. Pertama kali material akan dimasukkan ke dalam corong material. Dari corong material, material itu ke dalam silinder yang telah memiliki ukuran sesuai dengan pesanan. Lalu, material akan masuk ke dalam plastik kemasan melalui corong material 2, lalu plastik pun di rekatkan dengan menggunakan *heater*. Dan akan dipotong sesuai dengan ukurannya.

Pada pengaturan mesin, para pekerja akan mengatur suhu untuk mesin tersebut terlebih dahulu. Untuk awalnya, biasanya dibutuhkan waktu 2 jam untuk memanaskan mesin. Selain suhu, kecepatan putar mesin juga akan diatur.

Pada tahap penyetelan awal mesin, gulungan untuk bahan bungkusan juga dipasang. Pada saat pemasangan, juga diatur posisi yang tepat untuk bahan bungkusan tersebut. Posisi ini juga menentukan kelancaran dalam proses produksinya. Karena jika posisinya masih tidak tepat, maka saat proses produksi berjalan, maka akan mengalami ketidaklancaran.



Gambar 3.1 Sketsa Mesin yang Diamati



Gambar 3.2 Proses Produksi

3.2 Pengumpulan Data

Dari hasil pengamatan langsung dari proses produksi yang dilakukan, yang lebih diperhatikan di sini adalah apa saja faktor parameter yang mempengaruhi tugas akhir ini. Dari hasil pengamatan tersebut, didapatkan ada 4 faktor parameter yang mempengaruhi langsung kekuatan *seal*. Faktor-faktor itu antara lain: temperatur ruangan, kecepatan, *heater upper temperature*, dan *heater lower temperature*.

Dari hasil pengamatan yang di dapat, *output* yang ingin dihasilkan adalah mendapatkan kombinasi penyetelan mesin yang akan mendapatkan kekuatan *seal* yang optimal. Ketiga faktor yang telah didapatkan akan dijadikan sebagai *input* pengolahan data merupakan data rekapan dari penyetelan mesin yang menjadi objek respon kualitas pada tugas akhir ini. Pengambilan data untuk menghasilkan kekuatan *seal* yang optimal ini, dilakukan beberapa hal pada penyetelan mesinnya. Penyetelan mesin ini dilakukan sesuai dengan Standar Instruksi Penggunaan mesin-mesin tersebut. Untuk setiap faktor yang telah disebutkan tadi, akan dibagi lagi menjadi tiga level. Pembagian levelnya ini akan terlihat seperti **Tabel 3.1**. Level-level tersebut memang sudah sesuai dengan standar maksimum dan minimum dari mesin-mesin tersebut.

Untuk frekuensi dari penyetelan yang paling sering digunakan tidak memiliki patokan yang tepat. Penyetelan mesin dilakukan sesuai dengan *skill* dari operatornya. Jadi, untuk kedua mesin ini, belum terdapat setelan mesin yang menjadi patokan. Dan dari perubahan-perubahan setelan itu, maka hasil dari kekuatan *seal* yang dihasilkan berbeda-beda. Hal tersebutlah yang mengakibatkan terjadinya keanekaragaman untuk hasil kekuatan *seal*.

Tabel 3.1a Faktor dan Level untuk Mesin Chin Fong

Faktor	Level		
	1	2	3
Temperatur Ruangan (A)	24	25	26
Kecepatan Mesin (B)	58 per menit	60 per menit	62 per menit
Upper Temperature (C)	185	190	195
Lower Temperature (D)	115	125	135

(Sumber : Hasil Eksperimen Langsung oleh Penulis)

Tabel 3.1b Faktor dan Level untuk Mesin Masema

Faktor	Level		
	1	2	3
Temperatur Ruangan (A)	24	25	26
Kecepatan Mesin (B)	58 per menit	60 per menit	62 per menit
Upper Temperature (C)	125	133	135
Lower Temperature (D)	135	146	150

(Sumber : Hasil Eksperimen Langsung oleh Penulis)

Pada kedua mesin ini, bisa melakukan pengemasan untuk material apa saja, seperti gula pasir, gula aren, *creamer*, garam, dan lada. Tapi untuk tugas akhir ini, penulis hanya mengamati untuk material berupa *creamer*. Karena di sini *creamer* untuk bahan *packaging*nya menggunakan bahan *poly ester*, sedangkan untuk material yang lainnya menggunakan bahan *Litho paper*. Untuk pemilihan mesin ini sendiri, penulis melihat langsung bahwa kedua mesin ini yang memiliki frekuensi penyetulan mesin yang cukup sering.

Untuk kedua mesin ini, sebenarnya tidak ada perbedaan yang berarti. Cara kerja kedua mesin ini sama. Tapi ada 2 perbedaan yang mencolok untuk kedua mesin ini, yaitu:

1. Untuk mesin Chin Fong, untuk *heater upper temperature*nya, lebih tinggi dari pada *heater lower temperature*nya. Tapi kalau mesin Masema kebalikannya.
2. Sedangkan untuk hasil *packaging*nya, kedua mesin ini terdapat perbedaan. Perbedaannya bisa dilihat pada **Gambar 3.3** sebagai berikut.



Gambar 3.3a Hasil *Packaging* dari Mesin Chin Fong



Gambar 3.3b Hasil *Packaging* dari Mesin Masema

Untuk menghasilkan sebuah kekuatan *seal* yang sesuai dengan standarnya, untuk masing-masing bagian *seal* memiliki kekuatan yang berbeda. Dan untuk kekuatan *seal* masing-masing mesin juga berbeda-beda. Untuk menghitung kekuatan *seal* yang dihasilkan, hasil produk yang dihasilkan akan dihitung kekuatannya dengan menggunakan alat untuk menghitung kekuatan *seal*. Alat tersebut bisa dilihat pada **Gambar 3.4**. Kekuatan *seal* yang akan dihitung adalah kekuatan *seal* atas/bawah dan *seal* samping. Untuk seluruh hasil kekuatan *seal* masing-masing mesin, memiliki hasil yang berbeda-beda. Pada penelitian ini, konsep yang diambil adalah *Larger the Better*. Maksudnya adalah, semakin besar nilai dari kekuatan *seal* yang dihasilkan, maka nilai tersebut adalah hasil yang terbaik.



Gambar 3.4 Alat Pengukur Kekuatan *Seal*

3.3 Desain Parameter Taguchi

Tujuan utama penggunaan metode Taguchi (1987), ini adalah untuk mendapatkan desain produk atau proses terbaik sedemikian rupa hingga produk atau proses menjadi sangat tidak sensitif terhadap faktor-faktor penyebab

variabilitas. Desain parameter merupakan satu dari tiga langkah pada desain proses Taguchi, yang bertujuan untuk mengurangi variasi proses atau meningkatkan kapabilitas proses dengan menentukan kondisi operasional yang optimum, yaitu kondisi yang tahan terhadap semua faktor pengganggu. Pada penelitian ini, pelaksanaan desain parameter Taguchi terbagi dalam tahap pengumpulan data dan tahap pelaksanaan eksperimen (pengolahan data). Berikut ini merupakan tahap-tahap yang dilakukan pada saat pengumpulan data.

3.3.1 Penentuan Respon Kualitas

Pada penelitian tugas akhir ini, respon kualitas yang menjadi variabel dari keluaran proses yang menjadi indikasi akan tingkat kualitas dari proses ini adalah kekuatan *seal*. Kekuatan *seal* tersebut memiliki target atau nilainya masing-masing.

3.3.2 Penentuan Faktor

Metode Taguchi merupakan bagian dari metode *design of experiment* (DoE). Di dalam suatu eksperimen pasti terdapat faktor yang mempengaruhi respon kualitas. Faktor tersebut terbagi menjadi faktor yang *fixed* dan *random*. *Fixed factor* merupakan faktor yang dapat dikontrol dan setiap levelnya mengandung arti teknis. *Fixed factor* biasa disebut faktor kontrol. Sementara itu *random factor* merupakan faktor yang tidak dapat dikontrol secara teknis, dan disebut dengan faktor pengganggu (*noise factor*) (Taguchi, 1987).

Pada tahap penentuan faktor ini dilakukan wawancara langsung dengan QC *inspector* proses laminasi ekstrusi untuk mendapatkan asumsi tentang faktor-faktor yang paling mempengaruhi berat lapisan. Dari asumsi tersebut, terpilihlah beberapa faktor yang dianggap paling mempengaruhi respon kualitas yang menjadi objek penelitian kali ini. Faktor-faktor tersebut adalah:

3.3.2.1 Faktor Kontrol

Faktor kontrol yang dapat mempengaruhi kekuatan *seal* ini ada 4. Ketiga faktor itu adalah sebagai berikut:

1. *Upper Heater Temperature*, merupakan suhu untuk *heater* yang akan menghasilkan *seal* pada bagian samping
2. *Lower Heater Temperature*, merupakan suhu untuk *heater* yang akan menghasilkan *seal* pada bagian atas dan bawah

3. Kecepatan Mesin, merupakan kecepatan mesin dalam menghasilkan produk dalam jangka waktu tertentu. Untuk mencari kecepatan mesin ini, penulis menghitung berapa *sachet* yang dihasilkan mesin dalam jangka waktu 1 menit.
4. Suhu Ruangan, suhu ruangan ini bisa dilihat pada termometer ruangan yang tergantung pada ruangan di mana mesin yang diamati itu berada.

3.3.2.2 Faktor Pengganggu

Faktor gangguan atau *noise* merupakan faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada respon kualitas dari proses namun tidak dapat dikontrol (Taguchi dan Wu, 1979). Faktor gangguan pada penelitian ini adalah *external noise* atau faktor gangguan yang mempengaruhi kelembapan udara atau pekerja (*skill of worker*). Ada juga faktor gangguan yang berasal dari mesin itu sendiri, yaitu tekanan yang diberikan oleh *heater*. Tekanan yang diberikan juga bisa mempengaruhi, namun tekanan ini sulit untuk dihitung.

3.3.3. Penentuan Matriks *Orthogonal Array* (OA) dan Penempatan Kolom Faktor

Matriks orthogonal merupakan matriks fraksional *factorial* yang menjamin perbandingan yang seimbang dari level di tiap faktor atau interaksi dari faktor (Park, 1996). Matriks ini digunakan untuk menspesifikasi sampel dari grup. Matriks tersebut memungkinkan kita untuk menentukan grup spesifikasi selama sampel diproduksi. Penentuan matriks OA berdasarkan jumlah faktor dan level yang dipakai untuk penelitian. Penelitian ini hanya menggunakan sedikit faktor kontrolnya, yaitu sebanyak 3 faktor untuk masing-masing mesin dan untuk masing-masing jenis *seal*. Pada penelitian ini, tiap faktor terdiri dari 3 level. Maka dari jumlah faktor dan level tersebut, maka didapat bahwa untuk penelitian ini menggunakan OA yaitu $L_9(3^3)$.

Dari bentuk OA tersebut, maka akan didapatkan kombinasi eksperimen seperti yang tampak pada **Tabel 3.2**. Kombinasi OA ini didapatkan dari penggunaan program yang berada pada *software* Minitab. Pada **Tabel 3.3** terlihat bahwa eksperimen percobaan pada penelitian ini sebanyak 9 eksperimen.

Tabel 3.2 Kombinasi *Othogonal Array*

Eksperimen	Control Factor Assignment and Coloum Number		
	A	B	C
	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

3.4 Pembuatan Model Tiruan *Neural Network*

Neural network (NN) merupakan model matematik atau perhitungan yang bekerja berdasarkan jaringan syaraf biologis pada otak manusia (Laurene, 1994). Struktur dari NN memungkinkan mereka untuk mempelajari, membentuk fungsi pendekatan, dan mengklasifikasi pola. Tujuan digunakannya NN pada penelitian ini adalah untuk menghasilkan model tiruan atau pola dari proses laminasi ekstrusi yang mendekati dengan proses aslinya sehingga dapat menggantikan posisi eksperimen langsung dalam menghasilkan output eksperimen. Fungsi NN yang sesuai dengan fungsi tersebut adalah *NN-prediction*, yaitu untuk memprediksi suatu nilai keluaran yang berada di dalam jangkauan nilai model NN itu sendiri (Laurene, 1994).

Struktur jaringan yang digunakan pada model tiruan ini adalah *Multilayer Perceptron (MLP)* dan *Feed Forward*. *MLP* 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 kedepan melalui lapisan-lapisan berikutnya.

Untuk algoritma jaringan yang digunakan pada penelitian ini adalah algoritma *Back Propagation* dengan metode *Gradient Descent*. Algoritma ini akan digunakan untuk melatih jaringan *MLP* yang terbentuk, sesuai dengan rumusan pada dasar teori penelitian ini.

3.4.1 *Training* dan *Testing* Model NN

Proses pembelajaran (*Training*) dilakukan untuk membentuk model tiruan dari proses laminasi ekstrusi mesin tandem tersebut. *Training* model dibantu dengan penggunaan *software* NNpred (NN for *prediction*) dengan arsitektur dan algoritma yang sama dengan yang sudah ditentukan sebelumnya. *Software* ini adalah *Microsoft Office Excel* yang menggunakan *macros Visual Basic*, sehingga dapat melakukan seluruh penghitungan yang diperlukan pada saat proses pembelajaran, termasuk kesalahan yang dihasilkan model tiruan. Sementara itu *testing* model berfungsi untuk mengestimasi nilai kesalahan yang dihasilkan oleh model hasil *training* sebelumnya.

Pada saat proses pembelajaran tugas yang dilakukan tiap *neuron* cukup sederhana. Setiap *neuron* menjumlahkan seluruh *input* yang masuk ke dalam *neuron* tersebut berdasarkan bobot (atau kekuatan) antara hubungan *input* dan *neuron* tersebut, lalu dengan menggunakan sebuah fungsi aktivasi (fungsi pemetaan sinyal masukan *neuron*) *neuron* tersebut akan menghitung *output*nya sendiri. Selama proses pembelajaran, setiap satu set data yang diberikan kepada model menyesuaikan bobot-bobot tersebut untuk meminimalkan *error*, yaitu perbedaan antara *output* yang diproduksi oleh model dan *output* yang sebenarnya. Prosedur penyesuaian bobot ini dikendalikan oleh algoritma pembelajaran (persamaan perubahan bobot). Ketika *error* berkurang sampai pada *level* yang diinginkan, maka model dapat dikatakan berhasil dilatih.

3.4.1.1 Pemasukkan Data (*Data input*)

Pada tahap ini semua data faktor pada kondisi operasional baik faktor kontrol maupun faktor pengganggu serta respon kualitas dari proses dimasukkan kedalam tabel makros dari *software*. Semua faktor tersebut dijadikan variabel yang digolongkan menjadi beberapa tipe variabel yaitu Continuous untuk data yang kontinu, Categorical untuk data kategorikal, output untuk data respon kualitas dari proses dan omit untuk variabel yang tidak digunakan pada model

NN. Semua variabel input *training* dan *testing* model NN dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Tipe Variabel Tiruan NN

Variabel Model Tiruan	
Nama	Tipe
Temperatur Ruangan	Continuous
Kecepatan Mesin	Continuous
Temperatur Upper Heater	Continuous
Temperatur Lower Heater	Continuous
Kekuatan Upper Seal	Output
Kekuatan Lower Seal	Output

Dari tabel tersebut terlihat bahwa terdapat 2 *output*. Tapi pada penyetulan yang dilakukan, untuk *upper heater temperature* dengan *lower heater temperature* akan dipisah. Pada saat model tiruan NN dijalankan, jika *output* yang ingin dihasilkan adalah kekuatan *upper seal*, maka variabel tiruannya akan menjadi seperti yang tampak pada **Tabel 3.4a**. Dan jika *output* yang ingin dihasilkan adalah kekuatan *lower seal*, maka variabel tiruannya akan menjadi seperti yang tampak pada **Tabel 3.4b**.

Tabel 3.4a Tipe Variabel Tiruan NN untuk Kekuatan *Upper Seal*

Variabel Model Tiruan	
Nama	Tipe
Temperatur Ruangan	Continuous
Kecepatan Mesin	Continuous
Temperatur Upper Heater	Continuous
Temperatur Lower Heater	Omit
Kekuatan Upper Seal	Output
Kekuatan Lower Seal	Omit

Tabel 3.4a Tipe Variabel Tiruan NN untuk Kekuatan *Upper Seal*

Variabel Model Tiruan	
Nama	Tipe
Temperatur Ruangan	Continuous
Kecepatan Mesin	Continuous
Temperatur Upper Heater	Omit
Temperatur Lower Heater	Continuous
Kekuatan Upper Seal	Omit
Kekuatan Lower Seal	Output

Hal ini terjadi karena untuk temperatur *upper heater* hanya memberi pengaruh kepada hasil dari kekuatan *upper seal*. Begitu juga dengan temperature *lower heater*, hanya memberi pengaruh kepada hasil kekuatan *lower seal*.

3.4.1.2 Penyetelan Parameter Model (User input)

Sebelum proses *training* dan *testing* dilakukan oleh model, perlu ditentukan terlebih dahulu parameter-parameter dari proses pemodelan tersebut. Parameter tersebut berfungsi untuk membentuk Arsitektur jaringan model yang kita inginkan serta nilai-nilai yang menyertainya untuk perhitungan. Untuk tampilan awal dari NNpred ini dapat dilihat pada **Gambar 3.5**. Dari satu set data historis yang dijadikan sebagai input training model ini, 90% data digunakan untuk *training* dan 10% data untuk *testing* model. Keseluruhan kombinasi optimal dari parameter tersebut didapat dengan cara *trial-and-error* hingga model *training* dan *testing* mendapatkan nilai *error* yang paling minimal. Berikut ini merupakan penjelasan dari masing-masing parameter tersebut:

1. Jumlah *Input*: Jumlah *input* yang dimasukkan sesuai dengan data yang dimiliki dan yang telah dimasukkan ke dalam tabel user *input* sebelumnya. *NNpred* hanya dapat membuat model dengan *input* sebanyak 2-50 *input*.
2. Jumlah *Output*: Jumlah *output* yang dimasukkan sesuai dengan data yang dimiliki dan yang telah dimasukkan ke dalam tabel user *input* sebelumnya. *NNpred* hanya dapat membuat model dengan *output* sebanyak 1-10 *output*.
3. Jumlah *Hidden layer*: *Hidden layer* adalah lapisan tersembunyi dalam struktur jaringan yang terletak antara lapisan *input* dan *output*. *NNpred* dapat membuat model dengan jumlah *hidden layer* sebanyak 1 atau 2 lapisan.
4. Ukuran *Hidden layer*: jumlah *neuron* (atau elemen proses) pada masing-masing *Hidden layer*. *NNpred* dapat memuat model dengan maksimum 20 *neuron* pada setiap lapisan dari *Hidden layer*.
5. *Learning Parameter*: konstanta sinyal belajar adaptif sebagai pengali sinyal *input* untuk mendapatkan bobot baru yang telah disesuaikan sesuai dengan persamaan perubahan bobot. *NNpred* dapat membuat model dengan besaran *Learning Parameter* antara 0-1.

6. *Initial Weight Range*: pembobot antara satu *neuron* dengan *neuron* setelahnya yang selalu berubah setiap kali diberikan *input* pada proses pembelajaran. Untuk nilai awal pembobot ini dapat ditentukan sendiri (w). *NNpred* dapat membuat model dengan *range* bobot antara 0 sampai $\pm w$.
7. *Momentum*: alternatif cara untuk mengubah bobot dengan memberikan momen inersia ke dalam persamaan perubahan pembobot. *NNpred* dapat membuat model dengan besaran *Momentum* antara 0-1.
8. *Total rows*: Jumlah data pada tabel *user input* yang akan dimasukkan untuk proses pembelajaran dan proses validasi pembuatan model tiruan. *NNpred* dapat membuat model dengan jumlah minimum sebanyak 10 data.
9. *Training Cycle*: jumlah iterasi yang diperlukan, atau satu siklus training vektor (*epoch*). *NNpred* dapat membuat model dengan jumlah maksimum iterasi sebanyak 500 kali.
10. *Training Mode*: Jenis proses pembelajaran yang akan dilakukan, yaitu *sequential* atau *batch*. *Sequential* berarti bobot akan disesuaikan setiap kali satu set *input* data masuk ke dalam jaringan, *batch* berarti bobot akan disesuaikan setelah seluruh set *input* data masuk ke dalam jaringan.

101	Network Architecture Options			
102				
103				
104	Number of Inputs (between 2 and 50)	3	Number of Outputs (between 1 and 10)	1
105				
106	Number of Hidden Layers (1 or 2)	1	Hidden Layer sizes (Maximum 20)	Hidden 1: 1 Hidden 2: 0
107				
108	Learning parameter (between 0 and 1)	0.5	Initial Wt Range (0 +/- w); w =	0.5
109				
110	Momentum (between 0 and 1)	0		
111				
112	Training Options			
113				
114	Total #rows in your data (Minimum 10)	63	No. of Training cycles (Maximum 500)	100
115				
116	Present Inputs in Random order while Training?	NO	Training Mode (Batch or Sequential)	Sequential
117				
118				
119	Save Network weights	With least Training Error		
120				
121	Training / Validation Set	Partition data into Training / Validation set		
122				Build Model
123	If you want to partition, how do you want to select the Validation set?			
124	Please choose one option	1	Option 1: Randomly select	10% of data as "validation" set (between 1% and 50%)
125	Please fill up the input necessary for the selected option		Option 2: Use last	5 rows of the data as "validation" set
126				
127	Save model in a separate workbook?	NO		
128				
129				
130				
131				
132				
133				
134				
135				
136				
137				
138	ReadMe UserInput Data Calc Output Profile			
139	Ready			

Gambar 3.5 *Network Architecture Options*

11. *Save Network weight*: Pemilihan bobot akhir dapat dilakukan berdasarkan tiga pilihan, yaitu sesuai siklus/iterasi yang terakhir, sesuai dengan *error* proses validasi yang terkecil (*with least validation error*), atau sesuai dengan *error* proses pembelajaran yang terkecil (*with least training error*).
12. *Training and Validation set*: *NNpred* memungkinkan pengguna untuk mempartisi data *input* menjadi dua proses, yaitu proses pembelajaran dan proses validasi model. Ada dua pilihan yang dapat digunakan dalam memilih data yang akan digunakan untuk validasi, yaitu memilih secara acak antara 1-50% dari data, atau menggunakan beberapa baris terakhir dari data.

3.4.1.3 Membuat Model Tiruan Proses (*Built Model*)

Tahap ini adalah inti dari proses *training* dan *testing* model NN. Setelah semua nilai parameter ditentukan, maka software akan melakukan proses *training* dan *testing*. Proses *training* terdiri dari beberapa putaran (*epoch*) yang telah ditentukan dan baru akan berhenti saat model telah meraih titik *error* yang terendah. Setiap kombinasi nilai parameter yang berbeda akan menghasilkan nilai *error* yang berbeda pula, sehingga sistem *trial and error* memang harus dilakukan untuk mendapatkan nilai *error* model yang terendah. Keluaran dari tahap terakhir ini adalah model tiruan dari proses laminasi ekstrusi pada mesin tandem yang menjadi objek penelitian. **Tabel 3.5** berikut ini merupakan parameter yang digunakan dalam membentuk model beserta nilainya yang merupakan hasil dari *trial-and error* model yang dilakukan. Kombinasi dari nilai parameter tersebut-lah yang menghasilkan nilai kesalahan yang paling rendah jika dibandingkan dengan kombinasi parameter lainnya.

Tabel 3.5 Parameter Model Tiruan NN untuk Mesin Chin Fong dan Masema

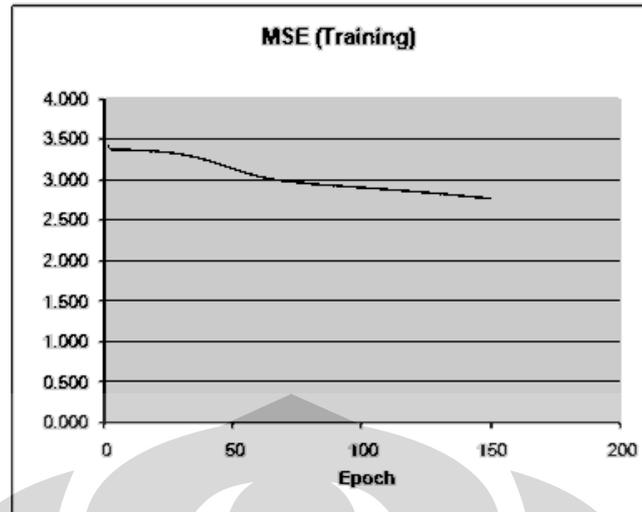
	Chin Fong (Upper - Seal)	Chin Fong (Lower - Seal)	Masema (Upper - Seal)	Masema (Lower - Seal)
<i>Network Architecture Options</i>				
<i>Number of Inputs</i>	3	3	3	3
<i>Number of Outputs</i>	1	1	1	1
<i>Learning Parameter</i>	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>Initial Wt Range</i>	0.5	0.5	0.5	0.5

<i>Momentum</i>	0	0	0	0
<i>Number of Hidden Layers</i>	1	1	1	1
<i>Hidden Layer Sizes</i>	1	1	1	1
	<i>Training Options</i>			
<i>Total rows</i>	63		63	
<i>Random inputs while training</i>	<i>No</i>		<i>No</i>	
<i>Number of training cycles</i>	150		150	
<i>Training mode</i>	<i>Sequential</i>		<i>Sequential</i>	
<i>Save Network Weight</i>	<i>With Least raining Error</i>		<i>With Least raining Error</i>	

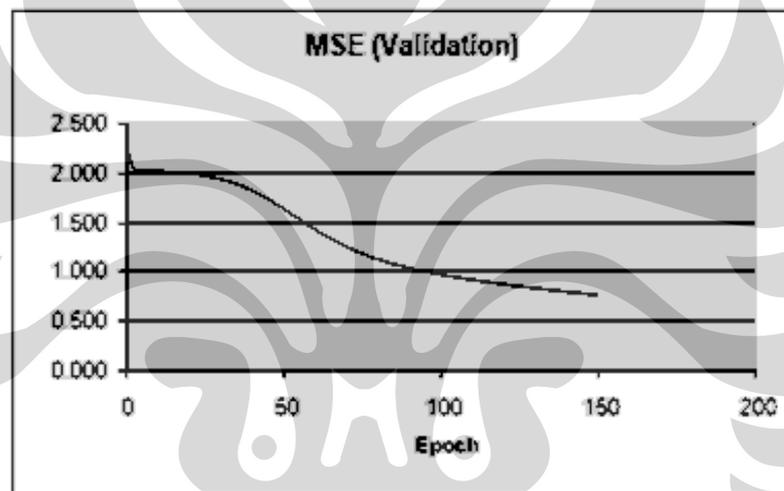
(Sumber : NNPred)

Setelah memasukkan semua data yang dibutuhkan dan mengatur model parameternya, maka NNPred sudah bisa digunakan. Dan setelah NNPred dijalankan, maka akan didapatkan grafik MSE (*Training*) dan MSE (*Validation*). Dari grafik tersebut, dapat dilihat berapa nilai MSE masing-masing. 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. Untuk menjelaskan proses perubahan nilai kesalahan model pada saat proses *training* dan *testing* hingga didapatkan nilai kesalahan model yang terkecil dapat dilihat pada gambar-gambar grafik yang tertera dibawah. Dan untuk melihat nilai MSE dan ARE akhir dari model tiruan yang akan digunakan untuk memprediksi nilai kekuatan *seal* yang dihasilkan, dapat dilihat pada tabel-tabel yang tertera di bawah.

Hasil Model Tiruan NN untuk mesin Chin Fong dengan *output* Kekuatan *Upper Seal*



Gambar 3.6a Grafik Kesalahan Model pada *Training Process*

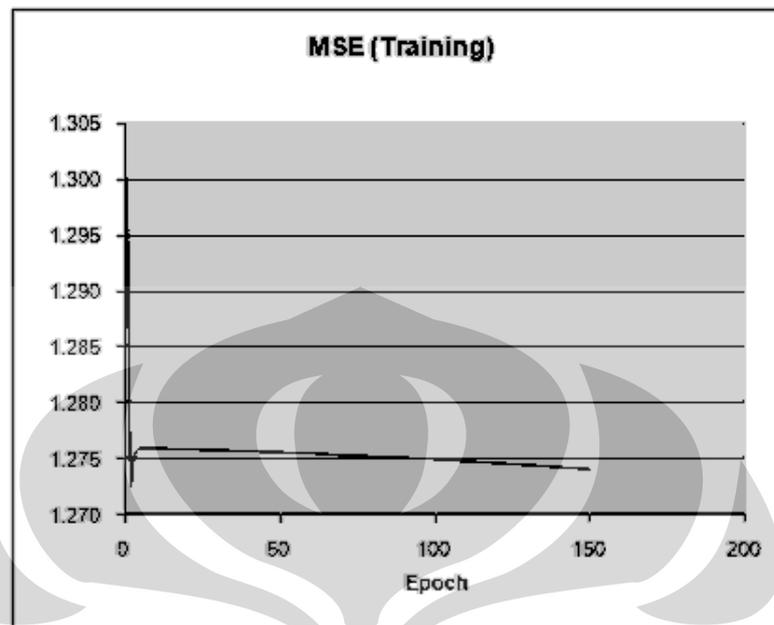


Gambar 3.6b Grafik Kesalahan Model pada *Validation Process*

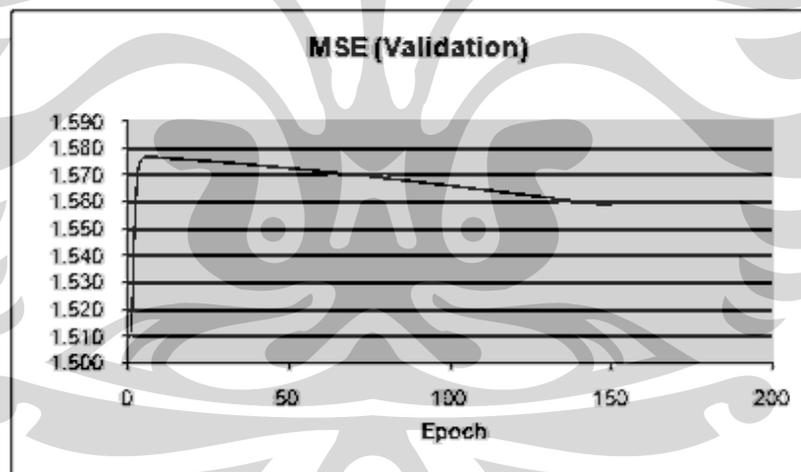
Tabel 3.6 Data Prediksi *Error Model Tiruan NN*

<i>Average Error per Input (Chin Fong - Upper Seal)</i>			
<i>Training Set</i>		<i>Validation Set</i>	
MSE (<i>Original Scale</i>)	ARE (%)	MSE (<i>Original Scale</i>)	ARE (%)
2.773	15.32%	0.767	8.73%

Hasil Model Tiruan NN untuk mesin Chin Fong dengan *output* Kekuatan *Lower Seal*



Gambar 3.7a Grafik Kesalahan Model pada *Training Process*

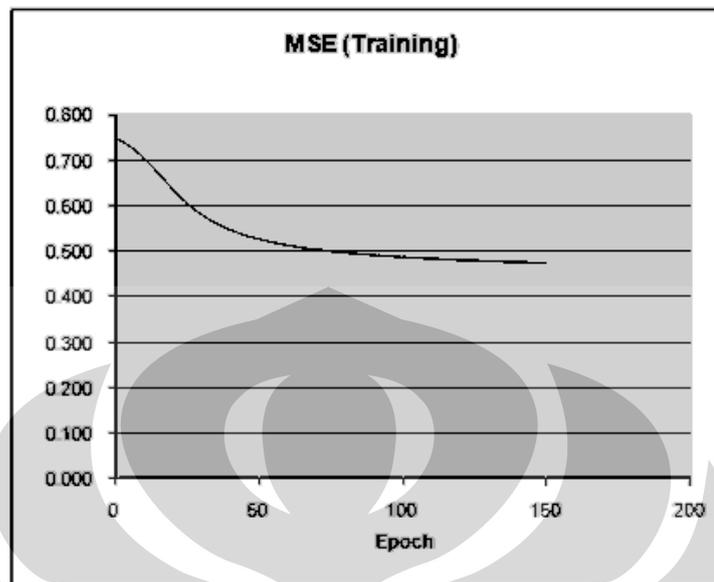


Gambar 3.7b Grafik Kesalahan Model pada *Validation Process*

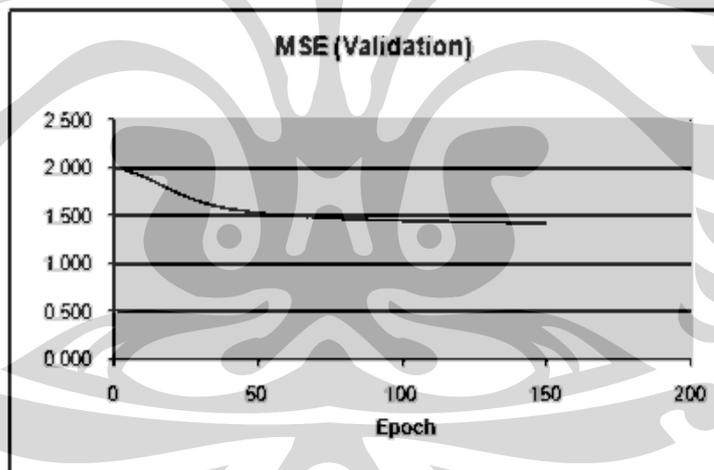
Tabel 3.7 Data Prediksi *Error* Model Tiruan NN

<i>Average Error per Input (Chin Fong - Upper Seal)</i>			
<i>Training Set</i>		<i>Validation Set</i>	
MSE (<i>Original Scale</i>)	ARE (%)	MSE (<i>Original Scale</i>)	ARE (%)
1.274	11.67%	1.559	14.83%

Hasil Model Tiruan NN untuk mesin Masema dengan *output* Kekuatan *Upper Seal*



Gambar 3.8a Grafik Kesalahan Model pada *Training Process*

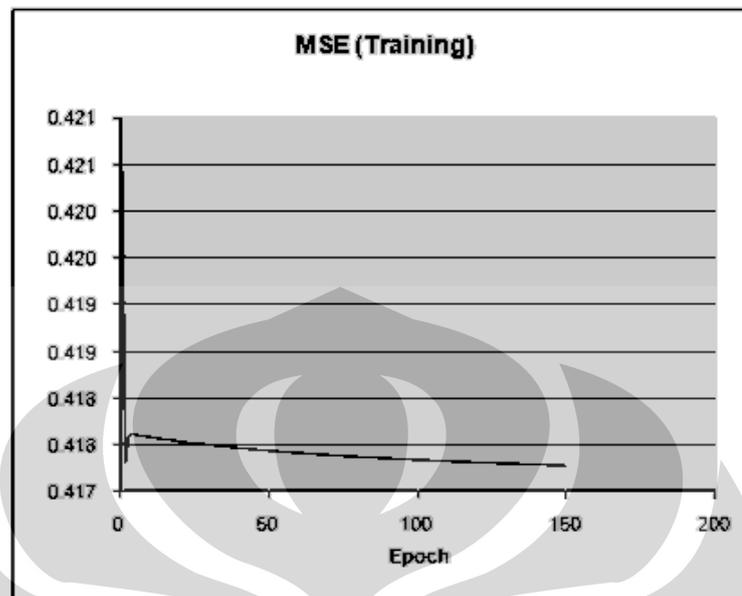


Gambar 3.8b Grafik Kesalahan Model pada *Validation Process*

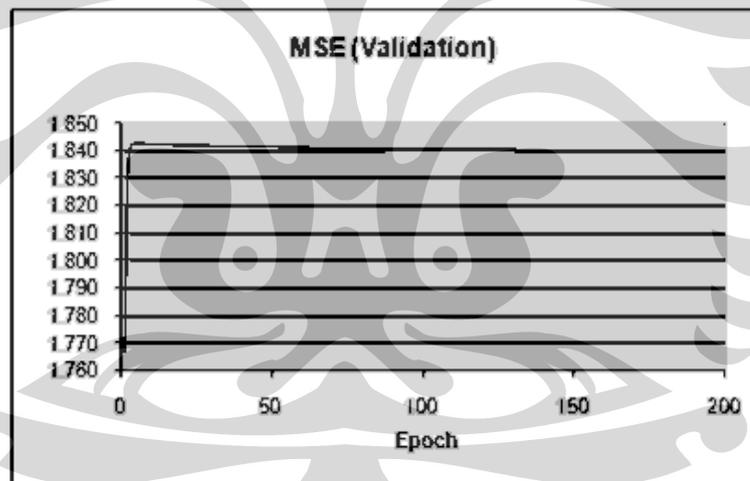
Tabel 3.8 Data Prediksi *Error* Model Tiruan NN

<i>Average Error per Input (Chin Fong - Upper Seal)</i>			
<i>Training Set</i>		<i>Validation Set</i>	
MSE (<i>Original Scale</i>)	ARE (%)	MSE (<i>Original Scale</i>)	ARE (%)
0.475	7.73%	1.411	16.50%

Hasil Model Tiruan NN untuk mesin Masema dengan *output* Kekuatan *Lower Seal*



Gambar 3.9a Grafik Kesalahan Model pada *Training Process*



Gambar 3.9b Grafik Kesalahan Model pada *Validation Process*

Tabel 3.9 Data Prediksi *Error* Model Tiruan NN

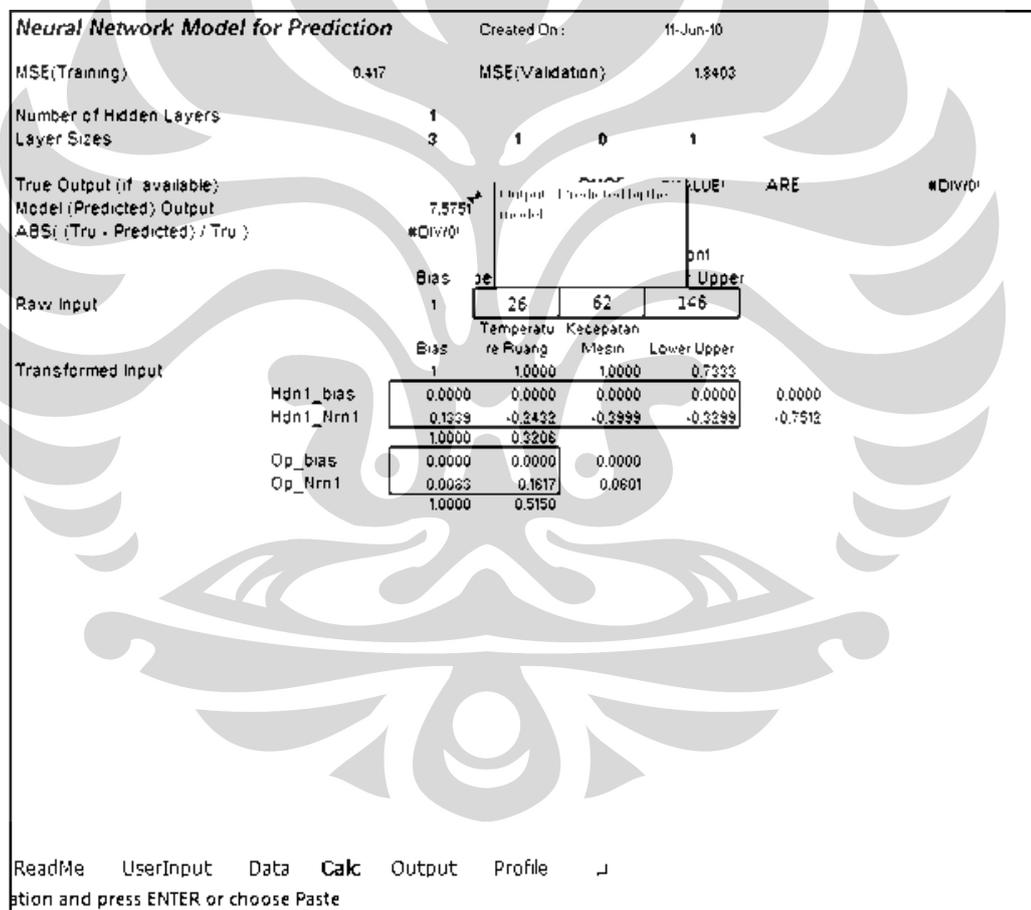
Average Error per Input (Chin Fong - Upper Seal)			
<i>Training Set</i>		<i>Validation Set</i>	
MSE (Original Scale)	ARE (%)	MSE (Original Scale)	ARE (%)
0.417	6.76%	1.840	11.88%

3.5 Pelaksanaan Eksperimen Menggunakan Model Tiruan Nn

Setelah pemilihan matriks *orthogonal array* dan penempatan faktor ke dalam matrik dilakukan, berikutnya adalah melakukan percobaan berdasarkan matriks tersebut. Hasil percobaan ini diperoleh dengan cara uji kekuatan *seal* yang sebelumnya dibuat sesuai dengan matriks kombinasi level faktor. Dengan menggunakan NNPred, hasil dari kekuatan *seal* dari kombinasi faktor dan level tersebut akan langsung didapatkan.

3.5.1 Pelaksanaan Eksperimen Kekuatan *Upper Seal* Mesin Chin Fong

Dari NNPred pada bagian *calculation*, hasil kekuatan *upper seal* akan langsung didapatkan. Tampilan bagian *calculation* tersebut adalah sebagai berikut



Gambar 3.10 Tampilan Neural Network Model for Prediction

Pada *raw input*, nilai dari kombinasi *orthogonal array* dimasukkan dan hasil atau *outputnya* akan muncul pada *Model (predicted) output*. Dan hasil dari

eksperimen tersebut, dari seluruh kombinasi tersebut adalah tercantum pada **Tabel 3.10**.

Tabel 3.10 Hasil Eksperimen Kekuatan *Seal Upper* pada Mesin Chin Fong

Eksperimen	Temperatur Ruang	Kecepatan Mesin	Upper Temperature	Hasil Eksperimen Kekuatan <i>Seal Upper</i>
1	1	1	1	8.7242
2	1	2	2	9.5030
3	1	3	3	10.7026
4	2	1	2	9.3004
5	2	2	3	10.4222
6	2	3	1	9.0818
7	3	1	3	10.1409
8	3	2	1	8.3326
9	3	3	2	8.9902
Rata-Rata				9.4664

Setelah mendapatkan hasil eksperimen dari NNPred tersebut, maka selanjutnya akan dicari faktor yang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan *seal* tersebut. Untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata kekuatan *seal*, dilakukan pengolahan data raspon hasil eksperimen yang diperoleh dari NNPred. Perhitungan nilai rata-rata kekuatan *seal* melalui kombinasi level dari masing-masing faktor dengan menggunakan rumus seperti berikut ini :

$$\bar{y}_{fi} = \frac{\sum y_{fi}}{n}$$

Dari penggunaan rumus di atas, maka akan didapatkan bagaimana pengaruh masing-masing faktor terhadap kekuatan *seal* seperti yang tampak pada tabel berikut ini :

Tabel 3.11 Respon Rata-rata Kekuatan *Seal* dari Pengaruh Faktor

	A	B	C
Level 1	9.643	9.388	8.713
Level 2	9.601	9.419	9.265
Level 3	9.155	9.592	10.422
Selisih	0.042	0.173	1.157
Ranking	3	2	1

Dari tabel di atas dapat dilihat faktor yang memberikan pengaruh terhadap hasil yang diinginkan. Untuk faktor A, adalah level 1, dan untuk faktor B dan C adalah level 3

3.5.2 Pelaksanaan Eksperimen Kekuatan *Lower Seal* Mesin Chin Fong

Sama seperti cara sebelumnya, untuk mencari kekuatan *Lower Seal* juga menggunakan NNPred pada bagian *calculation* juga bisa didapatkan. Dan hasil dari eksperimen tersebut, dari seluruh kombinasi tersebut adalah tercantum pada **Tabel 3.12**.

Tabel 3.12 Hasil Eksperimen Kekuatan *Lower Seal* pada Mesin Chin Fong

Eksperimen	Temperatur Ruang	Kecepatan Mesin	<i>Lower Temperature</i>	Hasil Eksperimen Kekuatan <i>Lower Seal</i>
1	1	1	1	7.4161
2	1	2	2	7.6340
3	1	3	3	7.5301
4	2	1	2	7.6304
5	2	2	3	7.6470
6	2	3	1	7.5350
7	3	1	3	7.5437
8	3	2	1	7.6443
9	3	3	2	7.6479
Rata-Rata				7.0842

Setelah mendapatkan hasil eksperimen dari NNPred tersebut, maka selanjutnya akan dicari faktor yang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan *seal* tersebut. Untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata kekuatan *seal*, dilakukan pengolahan data raspon hasil eksperimen yang diperoleh dari NNPred. Perhitungan nilai rata-rata kekuatan *seal* melalui kombinasi level dari masing-masing faktor dengan menggunakan rumus seperti berikut ini :

$$\bar{y}_{fi} = \frac{\sum y_{fi}}{n}$$

Dari penggunaan rumus di atas, maka akan didapatkan bagaimana pengaruh masing-masing faktor terhadap kekuatan *seal* seperti yang tampak pada tabel berikut ini :

Tabel 3.13 Respon Rata-rata Kekuatan *Seal* dari Pengaruh Faktor

	A	B	D
Level 1	7.527	7.530	7.532
Level 2	7.604	7.642	7.637
Level 3	7.612	7.571	7.574
Selisih	0.008	0.071	0.063
Ranking	3	2	1

Dari tabel di atas dapat dilihat faktor yang memberikan pengaruh terhadap hasil yang diinginkan. Untuk faktor A, adalah level 3, dan untuk faktor B dan C adalah level 2

3.5.3 Pelaksanaan Eksperimen Kekuatan *Upper Seal* Mesin Masema

Sama seperti cara sebelumnya, untuk mencari kekuatan *Upper Seal* pada mesin Masema juga menggunakan NNPred pada bagian *calculation* juga bisa didapatkan. Dan hasil dari eksperimen tersebut, dari seluruh kombinasi tersebut adalah tercantum pada **Tabel 3.14**.

Tabel 3.14 Hasil Eksperimen Kekuatan *Upper Seal* pada Mesin Masema

Eksperimen	Temperatur Ruang	Kecepatan Mesin	<i>Upper Temperature</i>	Hasil Eksperimen Kekuatan <i>Upper Seal</i>
1	1	1	1	5.6347
2	1	2	2	6.5997
3	1	3	3	7.2859
4	2	1	2	6.9513
5	2	2	3	7.9873
6	2	3	1	7.0797
7	3	1	3	7.9113
8	3	2	1	7.0429
9	3	3	2	7.2650
Rata-Rata				7.5810

Setelah mendapatkan hasil eksperimen dari NNPred tersebut, maka selanjutnya akan dicari faktor yang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan *seal* tersebut. Untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata kekuatan *seal*, dilakukan pengolahan data raspon hasil eksperimen yang diperoleh dari NNPred. Perhitungan nilai rata-rata kekuatan *seal* melalui kombinasi level dari masing-masing faktor dengan menggunakan rumus seperti berikut ini :

$$\bar{y}_{fi} = \frac{\sum y_{fi}}{n}$$

Dari penggunaan rumus di atas, maka akan didapatkan bagaimana pengaruh masing-masing faktor terhadap kekuatan *seal* seperti yang tampak pada tabel berikut ini :

Tabel 3.15 Respon Rata-rata Kekuatan Seal dari Pengaruh Faktor

	A	B	C
Level 1	6.507	6.832	6.586
Level 2	7.339	7.210	6.939
Level 3	7.406	7.210	7.728
Selisih	0.067	0.378	0.789
Ranking	3	2	1

Dari tabel di atas dapat dilihat faktor yang memberikan pengaruh terhadap hasil yang diinginkan. Untuk faktor A, B dan C adalah level 3

3.5.4 Pelaksanaan Eksperimen untuk Kekuatan *Lower Seal* pada Mesin Masema

Sama seperti cara sebelumnya, untuk mencari kekuatan *Lower Seal* pada mesin Masema juga menggunakan NNPred pada bagian *calculation* juga bisa didapatkan. Dan hasil dari eksperimen tersebut, dari seluruh kombinasi tersebut adalah tercantum pada **Tabel 3.16**.

Tabel 3.16 Hasil Eksperimen Kekuatan *Lower Seal* pada Mesin Masema

Eksperimen	Temperatur Ruang	Kecepatan Mesin	<i>Lower Temperature</i>	Hasil Eksperimen Kekuatan <i>Lower Seal</i>
1	1	1	1	7.3581
2	1	2	2	7.5960
3	1	3	3	7.7422
4	2	1	2	7.5998
5	2	2	3	7.7258
6	2	3	1	7.3205
7	3	1	3	7.7396
8	3	2	1	7.3589
9	3	3	2	7.5751
Rata-Rata				7.5573

Setelah mendapatkan hasil eksperimen dari NNPred tersebut, maka selanjutnya akan dicari faktor yang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan *seal* tersebut. Untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata kekuatan *seal*, dilakukan pengolahan data raspon hasil eksperimen yang diperoleh dari NNPred. Perhitungan nilai rata-rata kekuatan *seal* melalui kombinasi level dari masing-masing faktor dengan menggunakan rumus seperti berikut ini :

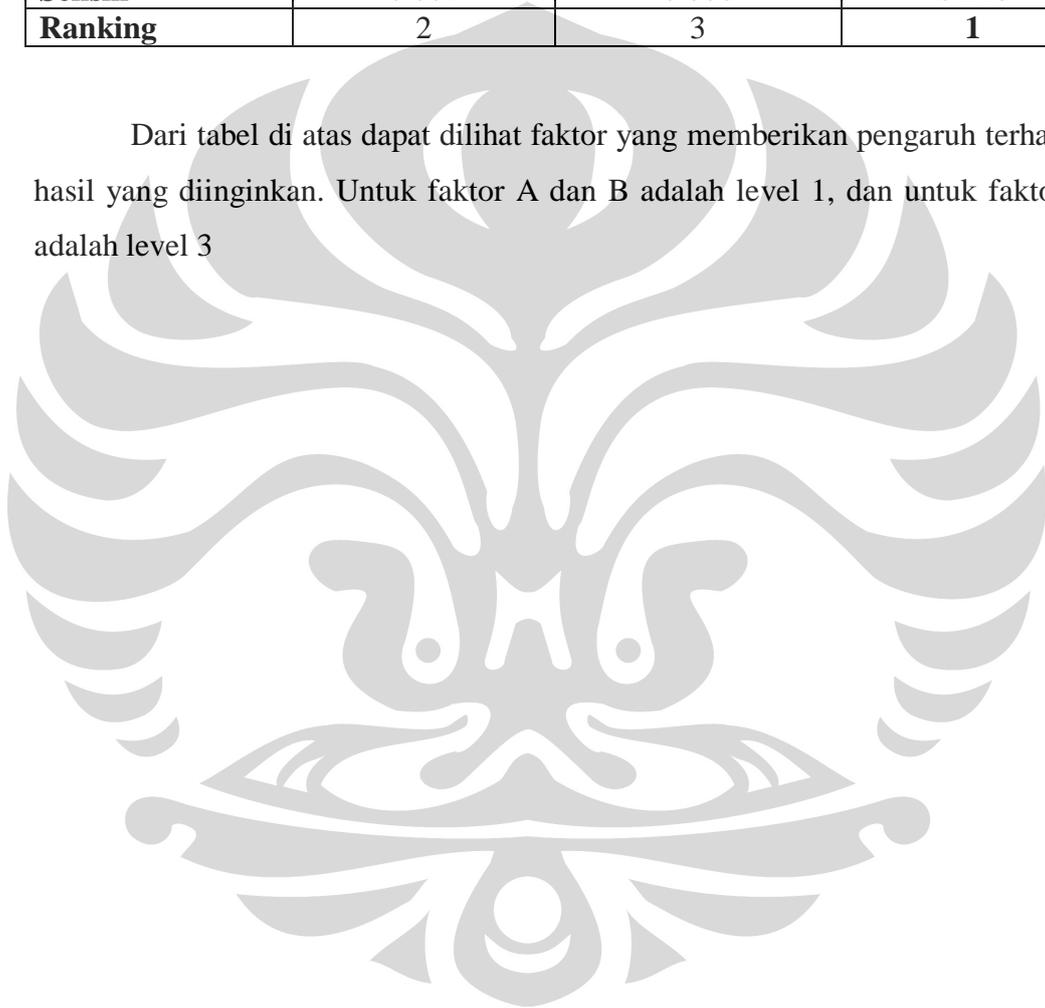
$$\bar{y}_{fi} = \frac{\sum y_{fi}}{n}$$

Dari penggunaan rumus di atas, maka akan didapatkan bagaimana pengaruh masing-masing faktor terhadap kekuatan *seal* seperti yang tampak pada tabel berikut ini :

Tabel 3.17 Respon Rata-rata Kekuatan *Seal* dari Pengaruh Faktor

	A	B	D
Level 1	7.565	7.566	7.346
Level 2	7.549	7.560	7.590
Level 3	7.558	7.546	7.736
Selisih	0.007	0.006	0.146
Ranking	2	3	1

Dari tabel di atas dapat dilihat faktor yang memberikan pengaruh terhadap hasil yang diinginkan. Untuk faktor A dan B adalah level 1, dan untuk faktor C adalah level 3



BAB 4
PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

Pada tahap pengolahan data, akan terbagi beberapa tahap pengolahannya. Yang pertama adalah pengolahan untuk menghasilkan kombinasi dari nilai rata-rata kekuatan *seal* yang dihasilkan dari eksperimen. Lalu yang kedua, pengolahan data untuk melihat variabilitas dari faktor-faktor terhadap kekuatan *seal* yang dihasilkan.

4.1 Pengolahan Varians Rata-Rata Kekuatan Seal

Dari hasil ekperimen dengan menggunakan model tiruan NN, maka didapatkan nilai rata-rata dari kekuatan *seal*nya. Dari nilai rata-rata tersebut akan dicari kombinasi faktor dan level yang akan digunakan atau yang lebih optimum untuk mengurangi terjadinya variasi pada kekuatan *seal*. Dengan melakukan model analisis varian dua arah yang terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kebebasan, jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat, dan F-Rasio.

4.1.1 Mesin Chin Fong

4.1.1.1 Kekuatan Upper Seal

Yang pertama kali dicari adalah nilai dari *Sum of Square* dari masing-masing level untuk masing-masing faktor. Perhitungan menggunakan rumus:

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i...}^2 - \frac{y^2 \dots}{abn} \dots \dots \dots (4.1)$$

Dengan menggunakan rumus tersebut, maka didapatkan nilai SS untuk masing-masing level sebagai berikut:

Tabel 4.1 *Sum of Square* Faktor

	<i>Sum of Square</i>
A	0.07188
B	0.44030
C	4.56455

Untuk mencari derajat kebebasan masing-masing faktor, dapat menggunakan rumus:

$$V_{ff} = \text{banyak level} - 1 \dots \dots \dots (4.2)$$

Karena masing-masing faktor memiliki label yang sama, maka derajat kebebasan masing-masing faktor juga sama.

$$V_{A,B,C} = 3 - 1 = 2$$

Jadi derajat kebebasan masing-masing faktor adalah 2.

Dari derajat kebebasan masing-masing faktor, lalu menghitung *mean square* masing-masing faktor tersebut dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MS_{ff} = \frac{SS_{ff}}{V_{ff}} \dots\dots\dots(4.3)$$

Dengan menggunakan rumus *Mean Square* tersebut, maka didapatkan nilai untuk masing-masing faktor seperti pada tabel berikut ini

Tabel 4.2 Mean Square Faktor

	<i>Mean Square</i>
A	0.22015
B	0.03594
C	2.28228

Setelah itu, perhitungan selanjutnya adalah mencari nilai SS_e dengan rumus berikut. Dan hasil keseluruhannya bisa dilihat pada **Tabel 4.3**.

$$SS_m = n \times \bar{y}^2 \dots\dots\dots(4.4)$$

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_B + SS_C \dots\dots\dots(4.5)$$

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{faktor} \dots\dots\dots(4.6)$$

Tabel 4.3 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan Seal

Sumber	v	SS	MS
A	2	0.07188	0.22015
B	2	0.44030	0.03594
C	2	4.56455	2.28228
Error	4	0.06	0.029936
Total	6	5.08	-

4.1.1.2 Kekuatan Lower Seal

Yang pertama kali dicari adalah nilai dari *Sum of Square* dari masing-masing level untuk masing-masing faktor. Perhitungan menggunakan rumus:

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i\dots}^2 - \frac{y^2\dots}{abn} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dengan menggunakan rumus tersebut, maka didapatkan nilai SS untuk masing-masing level sebagai berikut:

Tabel 4.4 *Sum of Square* Faktor

	<i>Sum of Square</i>
A	0.01331
B	0.01916
D	0.01697

Untuk mencari derajat kebebasan masing-masing faktor, dapat menggunakan rumus:

$$V_{ff} = \text{banyak level} - 1 \dots\dots\dots (4.2)$$

Karena masing-masing faktor memiliki lebel yang sama, maka derajat kebebasan masing-masing faktor juga sama.

$$V_{A,B,C} = 3 - 1 = 2$$

Jadi derajat kebebasan masing-masing faktor adalah 2.

Dari derajat kebebasan masing-masing faktor, lalu menghitung *mean square* masing-masing faktor tersebut dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MS_{ff} = \frac{SS_{ff}}{V_{ff}} \dots\dots\dots (4.3)$$

Dengan menggunakan rumus *Mean Square* tersebut, maka didapatkan nilai untuk masing-masing faktor seperti pada tabel berikut ini

Tabel 4.5 *Mean Square* Faktor

	<i>Mean Square</i>
A	0.00665
B	0.00958
D	0.00848

Setelah itu, perhitungan selanjutnya adalah mencari nilai SS_e dengan rumus berikut. Dan hasil keseluruhannya bisa dilihat pada **Tabel 4.6**.

$$SS_m = n \times \bar{y}^2 \dots\dots\dots (4.4)$$

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_B + SS_C \dots\dots\dots (4.5)$$

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{faktor} \dots\dots\dots (4.6)$$

Tabel 4.6 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan Seal

Sumber	v	SS	MS
A	2	0.01331	0.00665
B	2	0.01916	0.00958
D	2	0.01697	0.00848
Error	4	0.001923	0.00096153
Total	6	0.049440	-

4.1.2 Mesin Masema

4.1.2.1 Kekuatan Upper Seal

Yang pertama kali dicari adalah nilai dari *Sum of Square* dari masing-masing level untuk masing-masing faktor. Perhitungan menggunakan rumus:

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i...}^2 - \frac{y^2 \dots}{abn} \dots \dots \dots (4.1)$$

Dengan menggunakan rumus tersebut, maka didapatkan nilai SS untuk masing-masing level sebagai berikut:

Tabel 4.7 *Sum of Square* Faktor

	<i>Sum of Square</i>
A	1.50711
B	0.28520
C	2.05289

Untuk mencari derajat kebebasan masing-masing faktor, dapat menggunakan rumus:

$$V_{ff} = \text{banyak level} - 1 \dots \dots \dots (4.2)$$

Karena masing-masing faktor memiliki label yang sama, maka derajat kebebasan masing-masing faktor juga sama.

$$V_{A,B,C} = 3 - 1 = 2$$

Jadi derajat kebebasan masing-masing faktor adalah 2.

Dari derajat kebebasan masing-masing faktor, lalu menghitung *mean square* masing-masing faktor tersebut dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MS_{ff} = \frac{SS_{ff}}{V_{ff}} \dots \dots \dots (4.3)$$

Dengan menggunakan rumus *Mean Square* tersebut, maka didapatkan nilai untuk masing-masing faktor seperti pada tabel berikut ini

Tabel 4.8 *Mean Square* Faktor

	<i>Mean Square</i>
A	0.75355
B	0.14260
C	1.02645

Setelah itu, perhitungan selanjutnya adalah mencari nilai SS_e dengan rumus berikut. Dan hasil keseluruhannya bisa dilihat pada **Tabel 4.9**.

$$SS_m = n \times \bar{y}^2 \dots\dots\dots(4.4)$$

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_B + SS_C \dots\dots\dots(4.5)$$

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{faktor} \dots\dots\dots(4.6)$$

Tabel 4.9 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan Seal

Sumber	v	SS	MS
A	2	1.50711	0.75355
B	2	0.28520	0.14260
C	2	2.05289	1.02645
Error	4	0.08	0.04145
Total	6	3.85	-

4.1.2.2 Kekuatan Lower Seal

Yang pertama kali dicari adalah nilai dari *Sum of Square* dari masing-masing level untuk masing-masing faktor. Perhitungan menggunakan rumus:

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i\dots}^2 - \frac{y^2 \dots}{abn} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dengan menggunakan rumus tersebut, maka didapatkan nilai SS untuk masing-masing level sebagai berikut:

Tabel 4.10 *Sum of Square* Faktor

	<i>Sum of Square</i>
A	0.00042
B	0.00063
D	0.23305

Untuk mencari derajat kebebasan masing-masing faktor, dapat menggunakan rumus:

$$V_{ff} = \text{banyak level} - 1 \dots\dots\dots (4.2)$$

Karena masing-masing faktor memiliki label yang sama, maka derajat kebebasan masing-masing faktor juga sama.

$$V_{A,B,C} = 3 - 1 = 2$$

Jadi derajat kebebasan masing-masing faktor adalah 2.

Dari derajat kebebasan masing-masing faktor, lalu menghitung *mean square* masing-masing faktor tersebut dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MS_{ff} = \frac{SS_{ff}}{V_{ff}} \dots\dots\dots (4.3)$$

Dengan menggunakan rumus *Mean Square* tersebut, maka didapatkan nilai untuk masing-masing faktor seperti pada tabel berikut ini

Tabel 4.11 Mean Square Faktor

	<i>Mean Square</i>
A	0.00021
B	0.00032
D	0.11652

Setelah itu, perhitungan selanjutnya adalah mencari nilai SS_e dengan rumus berikut. Dan hasil keseluruhannya bisa dilihat pada **Tabel 4.12**.

$$SS_m = n \times \bar{y}^2 \dots\dots\dots (4.4)$$

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_B + SS_D \dots\dots\dots (4.5)$$

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{faktor} \dots\dots\dots (4.6)$$

Tabel 4.12 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan Seal

Sumber	v	SS	MS
A	2	0.00042	0.00021
B	2	0.00063	0.00032
D	2	0.23305	0.11652
Error	4	0.00041	0.000209
Total	6	0.23410	-

4.2 Analisa Varians Rata-Rata Kekuatan Seal

4.2.1 Mesin Chin Fong

4.2.1.1 Kekuatan Upper Seal

Untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi kekuatan *seal*, maka akan dicari nilai dari F-rasio untuk masing-masing faktor. Nilai F-rasio ini dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F - rasio = \frac{MS_{faktor}}{MS_e} \dots \dots \dots (4.7)$$

Dan untuk nilai F-rasio sebagai perbandingannya adalah $F_{(0,10;2;4)} = 4.32$

Tabel 4.13 Analisis Varians

Sumber	v	SS	MS	F – Rasio
A	2	0.07188	0.22015	7.3540
B	2	0.44030	0.03594	1.2005
C	2	4.56455	2.28228	76.2383
Error	4	0.06	0.029936	-
Total	6	5.08	-	-

Pengujian hipotesa dan kesimpulan yang diperoleh dari **Tabel 4.13** adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 7.3540 > F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 tidak diterima, artinya ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 1.2005 < F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor C terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor C terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 76.2383 > F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 tidak diterima, artinya ada pengaruh faktor C terhadap kekuatan *seal*.

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor, terlebih dahulu dicari nilai SS'_{ff} baru didapatkan

%kontribusi masing-masing faktor. Untuk mendapatka nilai tersebut, dapat menggunakan rumus berikut.

$$SS'_A = SS_A - MS_e (V_A) \dots\dots\dots(4.7)$$

$$\rho_{ff} = \frac{SS'_{ff}}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(4.8)$$

Untuk melihat hasilnya, dapat dilihat pada **Tabel 4.14** berikut:

Tabel 4.14 Persen Kontribusi

Sumber	v	SS	MS	SS'	% ρ
A	2	0.07188	0.22015	0.380	0.047%
B	2	0.44030	0.03594	0.012	0.001%
C	2	4.56455	2.28228	4.505	0.555%
Error	4	0.06	0.029936	-	-
Total	6	5.08	-	-	-

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa hanya faktor C yang memberikan kontribusi terbesar pada nilai rata-rata kekuatan *seal*, yaitu sebesar 0.555%.

Setelah mendapatkan %kontribusi masing-masing faktor, rata-rata proses $\mu_{prediksi}$ pada kondisi optimal dapat dihitung sebagai pengaruh kondisi optimal terhadap rata-rata hasil eksperimen.

Secara matematis :

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} &= \bar{y} + (\bar{A}_L - \bar{y}) + (\bar{B}_L - \bar{y}) + (\bar{C}_L - \bar{y}) \dots\dots\dots(4.9) \\ &= 10.7238634 \end{aligned}$$

Selanjutnya, mencari interval kepercayaan untuk level faktor dengan menggunakan data pada **Tabel 4.14**. Metode perhitungan interval kepercayaan (CI) untuk level faktor, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Cl &= \pm \sqrt{F_{\alpha, v_1, v_2} \times V_e \times \frac{1}{n}} \dots\dots\dots(4.10) \\ &= \pm \sqrt{4.54477 \times 4 \times \frac{1}{3}} = \mathbf{2.4616} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} - Cl &\leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + Cl \\ 8.2622 &\leq 10.72386 \leq 13.1855 \end{aligned}$$

4.2.1.2 Kekuatan Lower Seal

Untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi kekuatan *seal*, maka akan dicari nilai dari F-rasio untuk masing-masing faktor. Nilai F-rasio ini dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F - rasio = \frac{MS_{faktor}}{MS_e} \dots\dots\dots(4.7)$$

Dan untuk nilai F-rasio sebagai perbandingannya adalah $F_{(0,10;2;4)} = 4.32$

Tabel 4.15 Analisis Varians

Sumber	v	SS	MS	F – Rasio
A	2	0.01331	0.00665	6.921098
B	2	0.01916	0.00958	9.961163
D	2	0.01697	0.00848	8.827041
Error	4	0.001923	0.00096153	-
Total	6	0.049440	-	-

Pengujian hipotesa dan kesimpulan yang diperoleh dari **Tabel 4.15** adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 6.921098 > F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 tidak diterima, artinya ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 9.961163 > F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 tidak diterima, artinya ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor D terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor D terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 8.827041 > F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 tidak diterima, artinya ada pengaruh faktor D terhadap kekuatan *seal*.

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor, terlebih dahulu dicari nilai SS'_{ff} baru didapatkan %kontribusi masing-masing faktor. Untuk mendapatkan nilai tersebut, dapat menggunakan rumus berikut.

$$SS'_A = SS_A - MS_e (V_A) \dots\dots\dots(4.7)$$

$$\rho_{ff} = \frac{SS'_{ff}}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(4.8)$$

Untuk melihat hasilnya, dapat dilihat pada **Tabel 4.16** berikut:

Tabel 4.16 Persen Kontribusi

Sumber	v	SS	MS	SS'	% ρ
A	2	0.01331	0.00665	0.01139	0.0022%
B	2	0.01916	0.00958	0.01723	0.0033%
D	2	0.01697	0.00848	0.01505	0.0029%
Error	4	0.001923	0.00096153	-	-
Total	6	0.049440	-	-	-

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa hanya faktor B yang memberikan kontribusi terbesar pada nilai rata-rata kekuatan *seal*, yaitu sebesar 0.0033%.

Setelah mendapatkan %kontribusi masing-masing faktor, rata-rata proses $\mu_{prediksi}$ pada kondisi optimal dapat dihitung sebagai pengaruh kondisi optimal terhadap rata-rata hasil eksperimen.

Secara matematis :

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} &= \bar{y} + (\bar{A}_L - \bar{y}) + (\bar{B}_L - \bar{y}) + (\bar{D}_L - \bar{y}) \dots\dots\dots(4.9) \\ &= 7.665454131 \end{aligned}$$

Selanjutnya, mencari interval kepercayaan untuk level faktor dengan menggunakan data pada **Tabel 4.16**. Metode perhitungan interval kepercayaan (CI) untuk level faktor, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} CI &= \pm \sqrt{F_{\alpha, V1, V2} \times V_e \times \frac{1}{n}} \dots\dots\dots(4.10) \\ &= \pm \sqrt{4.54477 \times 4 \times \frac{1}{3}} = \pm \mathbf{2.4616} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} - CI &\leq \mu_{prediksi} &\leq \mu_{prediksi} + CI \\ 5.2038 &\leq 7.66545 &\leq 10.1271 \end{aligned}$$

4.2.2 Mesin Masema

4.2.1.1 Kekuatan Upper Seal

Untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi kekuatan *seal*, maka akan dicari nilai dari F-rasio untuk masing-masing faktor. Nilai F-rasio ini dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F - rasio = \frac{MS_{faktor}}{MS_e} \dots\dots\dots(4.7)$$

Dan untuk nilai F-rasio sebagai perbandingannya adalah $F_{(0,10;2;4)} = 4.32$

Tabel 4.17 Analisis Varians

Sumber	v	SS	MS	F – Rasio
A	2	1.50711	0.75355	18.177745
B	2	0.28520	0.14260	3.4399496
C	2	2.05289	1.02645	24.76067
Error	4	0.08	0.04145	-
Total	6	3.85	-	-

Pengujian hipotesa dan kesimpulan yang diperoleh dari **Tabel 4.17** adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 18.177745 > F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 tidak diterima, artinya ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 3.4399496 < F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor C terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor C terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 24.76067 > F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 tidak diterima, artinya ada pengaruh faktor C terhadap kekuatan *seal*.

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor, terlebih dahulu dicari nilai SS'_{ff} baru didapatkan % kontribusi masing-masing faktor. Untuk mendapatkan nilai tersebut, dapat menggunakan rumus berikut.

$$SS'_A = SS_A - MS_e (V_A) \dots\dots\dots(4.7)$$

$$\rho_{ff} = \frac{SS'_{ff}}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(4.8)$$

Untuk melihat hasilnya, dapat dilihat pada **Tabel 4.18** berikut:

Tabel 4.18 Persen Kontribusi

Sumber	v	SS	MS	SS'	% ρ
A	2	1.50711	0.75355	0.8560	0.208%
B	2	0.28520	0.14260	0.2527	0.061%
C	2	2.05289	1.02645	4.0323	0.980%
Error	4	0.08	0.04145	-	-
Total	6	3.85	-	-	-

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa hanya faktor C yang memberikan kontribusi terbesar pada nilai rata-rata kekuatan *seal*, yaitu sebesar 0.980%.

Setelah mendapatkan %kontribusi masing-masing faktor, rata-rata proses $\mu_{prediksi}$ pada kondisi optimal dapat dihitung sebagai pengaruh kondisi optimal terhadap rata-rata hasil eksperimen.

Secara matematis :

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} &= \bar{y} + (\bar{A}_L - \bar{y}) + (\bar{B}_L - \bar{y}) + (\bar{C}_L - \bar{y}) \dots\dots\dots(4.9) \\ &= 8.176105769 \end{aligned}$$

Selanjutnya, mencari interval kepercayaan untuk level faktor dengan menggunakan data pada **Tabel 4.18**. Metode perhitungan interval kepercayaan (CI) untuk level faktor, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Cl &= \pm \sqrt{F_{\alpha, V1, V2} \times V_e \times \frac{1}{n}} \dots\dots\dots(4.10) \\ &= \pm \sqrt{4.54477 \times 4 \times \frac{1}{3}} = \pm \mathbf{2.4616} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} - Cl &\leq \mu_{prediksi} &\leq \mu_{prediksi} + Cl \\ 5.7145 &\leq 8.1761 &\leq 10.6378 \end{aligned}$$

4.2.1.2 Kekuatan Lower Seal

Untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi kekuatan *seal*, maka akan dicari nilai dari F-rasio untuk masing-masing faktor. Nilai F-rasio ini dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F - rasio = \frac{MS_{faktor}}{MS_e} \dots\dots\dots(4.7)$$

Dan untuk nilai F-rasio sebagai perbandingannya adalah $F_{(0,10;2;4)} = 4.32$

Tabel 4.19 Analisis Varians

Sumber	v	SS	MS	F – Rasio
A	2	0.00042	0.00021	1.000064
B	2	0.00063	0.00032	1.507346
D	2	0.23305	0.11652	556.8323
Error	4	0.00041	0.000209	-
Total	6	0.23410	-	-

Pengujian hipotesa dan kesimpulan yang diperoleh dari **Tabel 4.19** adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 1.000064 < F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 1.507346 < F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor D terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor D terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 556.8323 > F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 tidak diterima, artinya ada pengaruh faktor D terhadap kekuatan *seal*.

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor, terlebih dahulu dicari nilai SS'_{ff} baru didapatkan % kontribusi masing-masing faktor. Untuk mendapatkan nilai tersebut, dapat menggunakan rumus berikut.

$$SS'_A = SS_A - MS_e (V_A) \dots\dots\dots(4.7)$$

$$\rho_{ff} = \frac{SS'_{ff}}{SS_T} \times 100\% \dots \dots \dots (4.8)$$

Untuk melihat hasilnya, dapat dilihat pada **Tabel 4.20** berikut:

Tabel 4.20 Persen Kontribusi

Sumber	v	SS	MS	SS'	% p
A	2	0.00042	0.00021	0.000211	0.0000407%
B	2	0.00063	0.00032	0.000563	0.0001085%
D	2	0.23305	0.11652	0.000418	0.0000806%
Error	4	0.00041	0.000209	-	-
Total	6	0.23410	-	-	-

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa hanya faktor B yang memberikan kontribusi terbesar pada nilai rata-rata kekuatan *seal*, yaitu sebesar 0.0001085%.

Setelah mendapatkan %kontribusi masing-masing faktor, rata-rata proses $\mu_{prediksi}$ pada kondisi optimal dapat dihitung sebagai pengaruh kondisi optimal terhadap rata-rata hasil eksperimen.

Secara matematis :

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} &= \bar{y} + (\bar{A}_L - \bar{y}) + (\bar{B}_L - \bar{y}) + (\bar{D}_L - \bar{y}) \dots \dots \dots (4.9) \\ &= 7.362416926 \end{aligned}$$

Selanjutnya, mencari interval kepercayaan untuk level faktor dengan menggunakan data pada **Tabel 4.20**. Metode perhitungan interval kepercayaan (CI) untuk level faktor, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} CI &= \pm \sqrt{F_{\alpha, v_1, v_2} \times V_e \times \frac{1}{n}} \dots \dots \dots (4.10) \\ &= \pm \sqrt{4.54477 \times 4 \times \frac{1}{3}} = \pm \mathbf{2.4616} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} - CI &\leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI \\ 4.9008 &\leq 7.36242 \leq 9.8241 \end{aligned}$$

4.3 Pengaruh Faktor Terhadap Variabilitas Kekuatan Seal

4.3.1 Mesin Chin Fong

4.3.1.1 Menghitung Rasio S/N

Data eksperimen sebelumnya akan diubah dalam bentuk rasio S/N (*Signal to Noise*) untuk mencari faktor yang berpengaruh pada variasi karakteristik kualitas di mana S/N untuk karakteristik kualitas adalah semakin besar, semakin baik (*larger-the-better*) adalah:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \dots \dots \dots (4.11)$$

Karakteristik kualitas yang menjadi tujuan perbaikan kualitas adalah memaksimalkan variabilitas kekuatan seal. Kualitas ukuran kekuatan seal dinyatakan baik jika ukuran kekuatan seal yang diharapkan adalah kekuatan yang tertinggi. Kekuatan memiliki karakteristik kualitas semakin tinggi nilai kekuatan seal akan semakin baik. Dan hasil perhitungan dengan menggunakan rasio S/N dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Rasio S/N untuk *Upper Seal*

Eksperimen	Temperatur Ruang	Kecepatan Mesin	Upper Temperature	S/N Rasio Upper Seal
1	1	1	1	9.407244
2	1	2	2	9.778624
3	1	3	3	10.29491
4	2	1	2	9.685012
5	2	2	3	10.17959
6	2	3	1	9.581731
7	3	1	3	10.06075
8	3	2	1	9.207809
9	3	3	2	9.537714
Rata-Rata				9.7482

Tabel 4.22 Hasil Perhitungan Rasio S/N untuk *Lower Seal*

Eksperimen	Temperatur Ruang	Kecepatan Mesin	Lower Temperature	S/N Rasio Lower Seal
1	1	1	1	8.701775
2	1	2	2	8.827534
3	1	3	3	8.768032
4	2	1	2	8.825486
5	2	2	3	8.834904

6	2	3	1	8.770839
7	3	1	3	8.77586
8	3	2	1	8.833393
9	3	3	2	8.835409
Rata-Rata				8.7970

4.3.1.2 Kekuatan Upper Seal

Tabel 4.23 Respon Kekuatan Seal dari Pengaruh Faktor

	A	B	C
Level 1	9.826925	9.717669	9.398928
Level 2	9.815443	9.722007	9.667117
Level 3	9.602091	9.804784	10.17841
Selisih	0.011	0.083	0.538
Ranking	3	2	1

Dari tabel di atas dapat dilihat faktor yang memberikan pengaruh terhadap hasil yang diinginkan. Untuk faktor A, adalah level 1, dan untuk faktor B dan C adalah level 3

Yang pertama kali dicari adalah nilai dari *Sum of Square* dari masing-masing level untuk masing-masing faktor. Perhitungan menggunakan rumus:

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i...}^2 - \frac{y^2 \dots}{abn} \dots \dots \dots (4.1)$$

Dengan menggunakan rumus tersebut, maka didapatkan nilai SS untuk masing-masing level sebagai berikut:

Tabel 4.23 *Sum of Square* Faktor

	Sum of Square
A	760.2012
B	760.2103
C	759.9259

Untuk mencari derajat kebebasan masing-masing faktor, dapat menggunakan rumus:

$$V_{ff} = \text{banyak level} - 1 \dots \dots \dots (4.2)$$

Karena masing-masing faktor memiliki label yang sama, maka derajat kebebasan masing-masing faktor juga sama.

$$V_{A,B,C} = 3 - 1 = 2$$

Jadi derajat kebebasan masing-masing faktor adalah 2.

Dari derajat kebebasan masing-masing faktor, lalu menghitung *mean square* masing-masing faktor tersebut dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MS_{ff} = \frac{SS_{ff}}{v_{ff}} \dots\dots\dots(4.3)$$

Dengan menggunakan rumus *Mean Square* tersebut, maka didapatkan nilai untuk masing-masing faktor seperti pada tabel berikut ini

Tabel 4.24 Mean Square Faktor

	<i>Mean Square</i>
A	380.1006
B	380.1052
C	379.9630

Setelah itu, perhitungan selanjutnya adalah mencari nilai SS_e dengan rumus berikut. Dan hasil keseluruhannya bisa dilihat pada **Tabel 4.25**.

$$SS_m = n \times \bar{y}^2 \dots\dots\dots(4.4)$$

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_B + SS_C \dots\dots\dots(4.5)$$

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{faktor} \dots\dots\dots(4.6)$$

Tabel 4.25 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan Seal

Sumber	v	SS	MS
A	2	760.201	380.101
B	2	760.210	380.105
C	2	759.926	379.963
Error	4	568.79	284.40
Total	6	856.31	-

Untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi kekuatan *seal*, maka akan dicari nilai dari F-rasio untuk masing-masing faktor. Nilai F-rasio ini dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F - rasio = \frac{MS_{faktor}}{MS_e} \dots\dots\dots(4.7)$$

Dan untuk nilai F-rasio sebagai perbandingannya adalah $F_{(0,10;2;4)} = 4.32$

Tabel 4.26 Analisis Varians

Sumber	v	SS	MS	F – Rasio
A	2	760.201	380.101	1.3365
B	2	760.210	380.105	1.3365
C	2	759.926	379.963	1.3360
Error	4	568.79	284.40	-
Total	6	856.31	-	-

Pengujian hipotesa dan kesimpulan yang diperoleh dari **Tabel 4.26** adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 1.3365 < F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 1.3365 < F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor C terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor C terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 1.3360 > F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya ada pengaruh faktor C terhadap kekuatan *seal*.

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor, terlebih dahulu dicari nilai SS'_{ff} baru didapatkan %kontribusi masing-masing faktor. Untuk mendapatkan nilai tersebut, dapat menggunakan rumus berikut.

$$SS'_A = SS_A - MS_e (V_A) \dots\dots\dots(4.7)$$

$$\rho_{ff} = \frac{SS'_{ff}}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(4.8)$$

Untuk melihat hasilnya, dapat dilihat pada **Tabel 4.27** berikut:

Tabel 4.27 Persen Kontribusi

Sumber	v	SS	MS	SS'	% ρ
A	2	760.201	380.101	5.35	0.624%
B	2	760.210	380.105	5.35	0.624%
C	2	759.926	379.963	5.34	0.624%
Error	4	568.79	284.40	-	-
Total	6	856.31	-	-	-

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa tidak terlihat adanya faktor yang signifikan. Setelah mendapatkan %kontribusi masing-masing faktor, rata-rata proses $\mu_{prediksi}$ pada kondisi optimal dapat dihitung sebagai pengaruh kondisi optimal terhadap rata-rata hasil eksperimen.

Secara matematis :

$$\mu_{prediksi} = \bar{y} + (\bar{A}_L - \bar{y}) + (\bar{B}_L - \bar{y}) + (\bar{C}_L - \bar{y}) \dots \dots \dots (4.9)$$

$$= 10.3023$$

Selanjutnya, mencari interval kepercayaan untuk level faktor dengan menggunakan data pada **Tabel 4.27**. Metode perhitungan interval kepercayaan (CI) untuk level faktor, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, V1, V2} \times V_e \times \frac{1}{n_{eff}}} \dots \dots \dots (4.10)$$

$$= \sqrt{4.54477 \times 4 \times \frac{1}{3}} = \mathbf{2.4616}$$

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

$$7.8407 \leq 10.3023 \leq 12.7640$$

4.3.1.3 Kekuatan Lower Seal

Tabel 4.28 Respon Kekuatan *Seal* dari Pengaruh Faktor

	A	B	D
Level 1	8.76578	8.767707	8.768669
Level 2	8.81041	8.831944	8.829476
Level 3	8.81488	8.791427	8.792932
Selisih	0.004	0.041	0.021
Ranking	3	2	1

Dari tabel di atas dapat dilihat faktor yang memberikan pengaruh terhadap hasil yang diinginkan. Untuk faktor A, adalah level 3, dan untuk faktor B dan C adalah level 2

Yang pertama kali dicari adalah nilai dari *Sum of Square* dari masing-masing level untuk masing-masing faktor. Perhitungan menggunakan rumus:

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y^2_{i\dots} - \frac{y^2 \dots}{abn} \dots \dots \dots (4.1)$$

Dengan menggunakan rumus tersebut, maka didapatkan nilai SS untuk masing-masing level sebagai berikut:

Tabel 4.29 *Sum of Square* Faktor

	<i>Sum of Square</i>
A	777.850
B	777.850
D	820.722

Untuk mencari derajat kebebasan masing-masing faktor, dapat menggunakan rumus:

$$V_{ff} = \text{banyak level} - 1 \dots\dots\dots (4.2)$$

Karena masing-masing faktor memiliki lebel yang sama, maka derajat kebebasan masing-masing faktor juga sama.

$$V_{A,B,C} = 3 - 1 = 2$$

Jadi derajat kebebasan masing-masing faktor adalah 2.

Dari derajat kebebasan masing-masing faktor, lalu menghitung *mean square* masing-masing faktor tersebut dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MS_{ff} = \frac{SS_{ff}}{V_{ff}} \dots\dots\dots (4.3)$$

Dengan menggunakan rumus *Mean Square* tersebut, maka didapatkan nilai untuk masing-masing faktor seperti pada tabel berikut ini

Tabel 4.30 *Mean Square* Faktor

	<i>Mean Square</i>
A	388.925
B	388.925
D	410.361

Setelah itu, perhitungan selanjutnya adalah mencari nilai SS_e dengan rumus berikut. Dan hasil keseluruhannya bisa dilihat pada **Tabel 4.31**.

$$SS_m = n \times \bar{y}^2 \dots\dots\dots (4.4)$$

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_B + SS_C \dots\dots\dots (4.5)$$

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{faktor} \dots\dots\dots (4.6)$$

Tabel 4.31 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan *Seal*

Sumber	v	SS	MS
A	2	777.850	388.925
B	2	777.850	388.925
D	2	820.722	410.361
Error	4	1679.92	839.96
Total	6	696.51	-

Untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi kekuatan *seal*, maka akan dicari nilai dari F-rasio untuk masing-masing faktor. Nilai F-rasio ini dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F - rasio = \frac{MS_{faktor}}{MS_e} \dots \dots \dots (4.7)$$

Dan untuk nilai F-rasio sebagai perbandingannya adalah $F_{(0,10;2;4)} = 4.32$

Tabel 4.32 Analisis Varians

Sumber	v	SS	MS	F – Rasio
A	2	777.850	388.925	0.5462
B	2	777.850	388.925	0.5462
D	2	820.722	410.361	0.5763
Error	4	1679.92	839.96	-
Total	6	696.51	-	-

Pengujian hipotesa dan kesimpulan yang diperoleh dari **Tabel 4.32** adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 0.5462 < F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 0.5462 < F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor D terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor D terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 0.5763 > F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya ada pengaruh faktor D terhadap kekuatan *seal*.

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor, terlebih dahulu dicari nilai SS'_{ff} baru didapatkan %kontribusi masing-masing faktor. Untuk mendapatkan nilai tersebut, dapat menggunakan rumus berikut.

$$SS'_A = SS_A - MS_e (V_A) \dots\dots\dots(4.7)$$

$$\rho_{ff} = \frac{SS'_{ff}}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(4.8)$$

Untuk melihat hasilnya, dapat dilihat pada **Tabel 4.33** berikut:

Tabel 4.33 Persen Kontribusi

Sumber	V	SS	MS	SS'	% ρ
A	2	777.850	388.925	2.18	0.255%
B	2	777.850	388.925	2.18	0.255%
D	2	820.722	410.361	2.27	0.265%
Error	4	1679.92	839.96	-	-
Total	6	696.51	-	-	-

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa hanya faktor D yang memberikan kontribusi terbesar pada nilai rata-rata kekuatan *seal*, yaitu sebesar 0.265%. Setelah mendapatkan %kontribusi masing-masing faktor, rata-rata proses $\mu_{prediksi}$ pada kondisi optimal dapat dihitung sebagai pengaruh kondisi optimal terhadap rata-rata hasil eksperimen.

Secara matematis :

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} &= \bar{y} + (\bar{A}_L - \bar{y}) + (\bar{B}_L - \bar{y}) + (\bar{D}_L - \bar{y}) \dots\dots\dots(4.9) \\ &= 8.8823 \end{aligned}$$

Selanjutnya, mencari interval kepercayaan untuk level faktor dengan menggunakan data pada **Tabel 4.33**. Metode perhitungan interval kepercayaan (CI) untuk level faktor, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Cl &= \sqrt{F_{\alpha, V1, V2} \times V_e \times \frac{1}{n_{eff}}} \dots\dots\dots(4.10) \\ &= \sqrt{4.54477 \times 4 \times \frac{1}{3}} = \mathbf{2.4616} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} - Cl &\leq \mu_{prediksi} &\leq \mu_{prediksi} + Cl \\ 6.4206 &\leq 8.8823 &\leq 11.3439 \end{aligned}$$

4.3.2 Mesin Masema

4.3.2.1 Menghitung Rasio S/N

Data eksperimen sebelumnya akan diubah dalam bentuk rasio S/N (*Signal to Noise*) untuk mencari faktor yang berpengaruh pada variasi karakteristik kualitas di mana S/N untuk karakteristik kualitas adalah semakin besar, semakin baik (*larger-the-better*) adalah:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \dots \dots \dots (4.11)$$

Karakteristik kualitas yang menjadi tujuan perbaikan kualitas adalah memaksimalkan variabilitas kekuatan *seal*. Kualitas ukuran kekuatan *seal* dinyatakan baik jika ukuran kekuatan *seal* yang diharapkan adalah kekuatan yang tertinggi. Kekuatan memiliki karakteristik kualitas semakin tinggi nilai kekuatan *seal* akan semakin baik. Dan hasil perhitungan dengan menggunakan rasio S/N dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.34 Hasil Perhitungan Rasio S/N untuk *Upper Seal*

Eksperimen	Temperatur Ruang	Kecepatan Mesin	Upper Temperature	S/N Rasio Upper Seal
1	1	1	1	7.508723
2	1	2	2	8.195222
3	1	3	3	8.624826
4	2	1	2	8.420652
5	2	2	3	9.023982
6	2	3	1	8.500134
7	3	1	3	8.982473
8	3	2	1	8.477511
9	3	3	2	8.612331
Rata-Rata				9.4664

Tabel 4.35 Hasil Perhitungan Rasio S/N untuk *Lower Seal*

Eksperimen	Temperatur Ruang	Kecepatan Mesin	Lower Temperature	S/N Rasio Lower Seal
1	1	1	1	8.66766
2	1	2	2	8.80582
3	1	3	3	8.88862
4	2	1	2	8.80804
5	2	2	3	8.87945
6	2	3	1	8.64542

7	3	1	3	8.88716
8	3	2	1	8.66812
9	3	3	2	8.79391
Rata-Rata				9.4664

4.3.2.2 Kekuatan Upper Seal

Tabel 4.36 Respon Kekuatan Seal dari Pengaruh Faktor

	A	B	C
Level 1	8.109591	8.303949	8.162123
Level 2	8.648256	8.565572	8.409402
Level 3	8.690772	8.579097	8.877094
Selisih	0.042	0.013	0.111
Ranking	3	2	1

Dari tabel di atas dapat dilihat faktor yang memberikan pengaruh terhadap hasil yang diinginkan. Untuk faktor A, B dan C adalah level 3

Yang pertama kali dicari adalah nilai dari *Sum of Square* dari masing-masing level untuk masing-masing faktor. Perhitungan menggunakan rumus:

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y^2_{i...} - \frac{y^2...}{abn} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dengan menggunakan rumus tersebut, maka didapatkan nilai SS untuk masing-masing level sebagai berikut:

Tabel 4.37 *Sum of Square* Faktor

	<i>Sum of Square</i>
A	783.209
B	783.263
C	785.262

Untuk mencari derajat kebebasan masing-masing faktor, dapat menggunakan rumus:

$$V_{ff} = \text{banyak level} - 1 \dots\dots\dots(4.2)$$

Karena masing-masing faktor memiliki lebel yang sama, maka derajat kebebasan masing-masing faktor juga sama.

$$V_{A,B,C} = 3 - 1 = 2$$

Jadi derajat kebebasan masing-masing faktor adalah 2.

Dari derajat kebebasan masing-masing faktor, lalu menghitung *mean square* masing-masing faktor tersebut dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MS_{ff} = \frac{SS_{ff}}{v_{ff}} \dots\dots\dots(4.3)$$

Dengan menggunakan rumus *Mean Square* tersebut, maka didapatkan nilai untuk masing-masing faktor seperti pada tabel berikut ini

Tabel 4.38 Mean Square Faktor

	<i>Mean Square</i>
A	391.605
B	391.632
C	392.631

Setelah itu, perhitungan selanjutnya adalah mencari nilai SS_e dengan rumus berikut. Dan hasil keseluruhannya bisa dilihat pada **Tabel 4.39**.

$$SS_m = n \times \bar{y}^2 \dots\dots\dots(4.4)$$

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_B + SS_C \dots\dots\dots(4.5)$$

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{faktor} \dots\dots\dots(4.6)$$

Tabel 4.39 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan Seal

Sumber	v	SS	MS
A	2	783.209	391.605
B	2	783.263	391.632
C	2	785.262	392.631
Error	4	1702.49	851.24
Total	6	649.25	-

Untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi kekuatan *seal*, maka akan dicari nilai dari F-rasio untuk masing-masing faktor. Nilai F-rasio ini dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F - rasio = \frac{MS_{faktor}}{MS_e} \dots\dots\dots(4.7)$$

Dan untuk nilai F-rasio sebagai perbandingannya adalah $F_{(0,10;2;4)} = 4.32$

Tabel 4.40 Analisis Varians

Sumber	v	SS	MS	F – Rasio
A	2	783.209	391.605	0.5500
B	2	783.263	391.632	0.5500
C	2	785.262	392.631	0.5514
Error	4	1702.49	851.24	-
Total	6	649.25	-	-

Pengujian hipotesa dan kesimpulan yang diperoleh dari **Tabel 4.40** adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 0.5500 < F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 0.5500 < F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor C terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor C terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 0.5514 > F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya ada pengaruh faktor C terhadap kekuatan *seal*.

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor, terlebih dahulu dicari nilai SS'_{ff} baru didapatkan %kontribusi masing-masing faktor. Untuk mendapatkan nilai tersebut, dapat menggunakan rumus berikut.

$$SS'_A = SS_A - MS_e (V_A) \dots\dots\dots(4.7)$$

$$\rho_{ff} = \frac{SS'_{ff}}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(4.8)$$

Untuk melihat hasilnya, dapat dilihat pada **Tabel 4.41** berikut:

Tabel 4.41 Persen Kontribusi

Sumber	v	SS	MS	SS'	% ρ
A	2	783.209	391.605	2.20	0.257%
B	2	783.263	391.632	2.20	0.257%
C	2	785.262	392.631	2.21	0.258%
Error	4	1702.49	851.24	-	-
Total	6	649.25	-	-	-

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa tidak faktor C merupakan faktor yang signifikan. Setelah mendapatkan %kontribusi masing-masing faktor, rata-rata proses $\mu_{prediksi}$ pada kondisi optimal dapat dihitung sebagai pengaruh kondisi optimal terhadap rata-rata hasil eksperimen.

Secara matematis :

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} &= \bar{y} + (\bar{A}_L - \bar{y}) + (\bar{B}_L - \bar{y}) + (\bar{C}_L - \bar{y}) \dots \dots \dots (4.9) \\ &= 9.1812 \end{aligned}$$

Selanjutnya, mencari interval kepercayaan untuk level faktor dengan menggunakan data pada **Tabel 4.27**. Metode perhitungan interval kepercayaan (CI) untuk level faktor, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} CI &= \sqrt{F_{\alpha, V1, V2} \times V_e \times \frac{1}{n_{eff}}} \dots \dots \dots (4.10) \\ &= \sqrt{4.54477 \times 4 \times \frac{1}{3}} = \mathbf{2.4616} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} - CI &\leq \mu_{prediksi} &\leq \mu_{prediksi} + CI \\ 6.7196 &\leq 9.1812 &\leq 11.6429 \end{aligned}$$

4.3.1.2 Kekuatan Lower Seal

Tabel 4.42 Respon Kekuatan Seal dari Pengaruh Faktor

	A	B	D
Level 1	8.787368	8.787621	8.660402
Level 2	8.777637	8.784462	8.802591
Level 3	8.783063	8.775985	8.885075
Selisih	0.004	0.003	0.082
Ranking	3	2	1

Dari tabel di atas dapat dilihat faktor yang memberikan pengaruh terhadap hasil yang diinginkan. Untuk faktor A dan B adalah level 1, dan untuk faktor C adalah level 2.

Yang pertama kali dicari adalah nilai dari *Sum of Square* dari masing-masing level untuk masing-masing faktor. Perhitungan menggunakan rumus:

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y^2_{i...} - \frac{y^2_{...}}{abn} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dengan menggunakan rumus tersebut, maka didapatkan nilai SS untuk masing-masing level sebagai berikut:

Tabel 4.43 *Sum of Square* Faktor

	<i>Sum of Square</i>
A	778.103
B	778.103
D	778.094

Untuk mencari derajat kebebasan masing-masing faktor, dapat menggunakan rumus:

$$V_{ff} = \text{banyak level} - 1 \dots\dots\dots(4.2)$$

Karena masing-masing faktor memiliki lebel yang sama, maka derajat kebebasan masing-masing faktor juga sama.

$$V_{A,B,C} = 3 - 1 = 2$$

Jadi derajat kebebasan masing-masing faktor adalah 2.

Dari derajat kebebasan masing-masing faktor, lalu menghitung *mean square* masing-masing faktor tersebut dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MS_{ff} = \frac{SS_{ff}}{V_{ff}} \dots\dots\dots(4.3)$$

Dengan menggunakan rumus *Mean Square* tersebut, maka didapatkan nilai untuk masing-masing faktor sperti pada tabel berikut ini

Tabel 4.44 *Mean Square* Faktor

	<i>Mean Square</i>
A	389.051
B	389.051
D	389.047

Setelah itu, perhitungan selanjutnya adalah mencari nilai SS_e dengan rumus berikut. Dan hasil keseluruhannya bisa dilihat pada **Tabel 4.45**.

$$SS_m = n \times \bar{y}^2 \dots\dots\dots(4.4)$$

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_B + SS_C \dots\dots\dots(4.5)$$

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{faktor} \dots\dots\dots(4.6)$$

Tabel 4.45 Analisa Varians Rata-rata Kekuatan Seal

Sumber	v	SS	MS
A	2	778.103	389.051
B	2	778.103	389.051
D	2	778.094	389.047
Error	4	1640.00	820.00
Total	6	694.30	-

Untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi kekuatan *seal*, maka akan dicari nilai dari F-rasio untuk masing-masing faktor. Nilai F-rasio ini dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F - rasio = \frac{MS_{faktor}}{MS_e} \dots\dots\dots(4.7)$$

Dan untuk nilai F-rasio sebagai perbandingannya adalah $F_{(0,10;2;4)} = 4.32$

Tabel 4.46 Analisis Varians

Sumber	v	SS	MS	F – Rasio
A	2	778.103	389.051	0.5464
B	2	778.103	389.051	0.5464
D	2	778.094	389.047	0.5464
Error	4	1640.00	820.00	-
Total	6	694.30	-	-

Pengujian hipotesa dan kesimpulan yang diperoleh dari **Tabel 4.46** adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 0.5464 < F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 0.5464 < F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh faktor B terhadap kekuatan *seal*.

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor D terhadap kekuatan *seal*

H_1 : Ada pengaruh faktor D terhadap kekuatan *seal*

Kesimpulan : $F_{hitung} = 0.5464 > F_{(0,10;2;4)} = 4.32$; maka H_0 diterima, artinya ada pengaruh faktor D terhadap kekuatan *seal*.

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor, terlebih dahulu dicari nilai SS'_{ff} baru didapatkan %kontribusi masing-masing faktor. Untuk mendapatkan nilai tersebut, dapat menggunakan rumus berikut.

$$SS'_A = SS_A - MS_e (V_A) \dots\dots\dots(4.7)$$

$$\rho_{ff} = \frac{SS'_{ff}}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(4.8)$$

Untuk melihat hasilnya, dapat dilihat pada **Tabel 4.47** berikut:

Tabel 4.47 Persen Kontribusi

Sumber	v	SS	MS	SS'	% p
A	2	778.103	389.051	2.19	0.255%
B	2	778.103	389.051	2.19	0.255%
D	2	778.094	389.047	2.19	0.255%
Error	4	1640.00	820.00	-	-
Total	6	694.30	-	-	-

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa tidak terlihat adanya faktor yang signifikan. Setelah mendapatkan %kontribusi masing-masing faktor, rata-rata proses $\mu_{prediksi}$ pada kondisi optimal dapat dihitung sebagai pengaruh kondisi optimal terhadap rata-rata hasil eksperimen.

Secara matematis :

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} &= \bar{y} + (\bar{A}_L - \bar{y}) + (\bar{B}_L - \bar{y}) + (\bar{D}_L - \bar{y}) \dots\dots\dots(4.9) \\ &= 8.8904 \end{aligned}$$

Selanjutnya, mencari interval kepercayaan untuk level faktor dengan menggunakan data pada **Tabel 4.33**. Metode perhitungan interval kepercayaan (CI) untuk level faktor, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Cl &= \sqrt{F_{\alpha, V1, V2} \times V_e \times \frac{1}{n_{eff}}} \dots\dots\dots(4.10) \\ &= \sqrt{4.54477 \times 4 \times \frac{1}{3}} = \mathbf{2.4616} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} - Cl &\leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + Cl \\ 6.4287 &\leq 8.8904 \leq 11.3520 \end{aligned}$$

4.4 Penyetelan Mesin yang Optimum

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka akan didapatkan penyetelan yang optimum untuk masing-masing mesin. Hal itu akan dijelaskan pada sub bab berikut ini.

4.4.1 Mesin Chin Fong

4.4.1.1 Upper Seal

Untuk mendapatkan penyetelan mesin yang optimum, maka dibandingkan dengan respon rata-rata dan S/N rasio. Perbandingan untuk *upper seal*, yang akan dibandingkan adalah hasil perhitungan **Tabel 3.11** dan **Tabel 4.23**.

Tabel 3.11 Respon Rata-rata Kekuatan *Seal* dari Pengaruh Faktor

	A	B	C
Level 1	9.643	9.388	8.713
Level 2	9.601	9.419	9.265
Level 3	9.155	9.592	10.422
Selisih	0.042	0.173	1.157
Ranking	3	2	1

Tabel 4.23 Respon Kekuatan *Seal* dari Pengaruh Faktor

	A	B	C
Level 1	9.826925	9.717669	9.398928
Level 2	9.815443	9.722007	9.667117
Level 3	9.602091	9.804784	10.17841
Selisih	0.011	0.083	0.538
Ranking	3	2	1

Dari kedua tabel di atas, tampak bahwa untuk menghasilkan penyetelan mesin yang optimum untuk menghasilkan kekuatan *seal* yang maksimal adalah

1. Faktor A Level 1
2. Faktor B Level 3
3. Faktor C Level 3

4.4.1.2 Lower Seal

Untuk mendapatkan penyetelan mesin yang optimum, maka dibandingkan dengan respon rata-rata dan S/N rasio. Perbandingan untuk *Lower seal*, yang akan dibandingkan adalah hasil perhitungan **Tabel 3.13** dan **Tabel 4.28**.

Tabel 3.13 Respon Rata-rata Kekuatan *Seal* dari Pengaruh Faktor

	A	B	D
Level 1	7.527	7.530	7.532
Level 2	7.604	7.642	7.637
Level 3	7.612	7.571	7.574
Selisih	0.008	0.071	0.063
Ranking	3	2	1

Tabel 4.28 Respon Kekuatan *Seal* dari Pengaruh Faktor

	A	B	D
Level 1	8.76578	8.767707	8.768669
Level 2	8.81041	8.831944	8.829476
Level 3	8.81488	8.791427	8.792932
Selisih	0.004	0.041	0.021
Ranking	3	2	1

Dari kedua tabel di atas, tampak bahwa untuk menghasilkan penyetelan mesin yang optimum untuk menghasilkan kekuatan *seal* yang maksimal adalah

1. Faktor A Level 3
2. Faktor B Level 2
3. Faktor D Level 2

Karena kedua hasil ini merupakan hasil pada satu mesin, maka kedua hasil tersebut akan dikombinasikan. Kombinasi tersebut dihasilkan dengan melihat bagaimana % kontribusi masing-masing faktor. Dari hal tersebut, didapatkan kombinasi penyetelan mesin sebagai berikut:

1. Faktor A Level 3
2. Faktor B Level 2
3. Faktor C Level 3
4. Faktor D Level 2

4.4.2 Mesin Masema

4.4.2.1 Upper Seal

Untuk mendapatkan penyetelan mesin yang optimum, maka dibandingkan dengan respon rata-rata dan S/N rasio. Perbandingan untuk *upper seal*, yang akan dibandingkan adalah hasil perhitungan **Tabel 3.15** dan **Tabel 4.36**.

Tabel 3.15 Respon Rata-rata Kekuatan *Seal* dari Pengaruh Faktor

	A	B	C
Level 1	6.507	6.832	6.586
Level 2	7.339	7.210	6.939
Level 3	7.406	7.210	7.728
Selisih	0.067	0.378	0.789
Ranking	3	2	1

Tabel 4.36 Respon Kekuatan *Seal* dari Pengaruh Faktor

	A	B	C
Level 1	8.109591	8.303949	8.162123
Level 2	8.648256	8.565572	8.409402
Level 3	8.690772	8.579097	8.877094
Selisih	0.042	0.013	0.111
Ranking	3	2	1

Dari kedua tabel di atas, tampak bahwa untuk menghasilkan penyetelan mesin yang optimum untuk menghasilkan kekuatan *seal* yang maksimal adalah

1. Faktor A Level 3
2. Faktor B Level 3
3. Faktor C Level 3

4.4.2.2 Lower Seal

Untuk mendapatkan penyetelan mesin yang optimum, maka dibandingkan dengan respon rata-rata dan S/N rasio. Perbandingan untuk *Lower seal*, yang akan dibandingkan adalah hasil perhitungan **Tabel 3.17** dan **Tabel 4.28**.

Tabel 3.17 Respon Rata-rata Kekuatan *Seal* dari Pengaruh Faktor

	A	B	D
Level 1	7.565	7.566	7.346
Level 2	7.549	7.560	7.590
Level 3	7.558	7.546	7.736
Selisih	0.007	0.006	0.146
Ranking	2	3	1

Tabel 4.28 Respon Kekuatan *Seal* dari Pengaruh Faktor

	A	B	D
Level 1	8.787368	8.787621	8.660402
Level 2	8.777637	8.784462	8.802591

Level 3	8.783063	8.775985	8.885075
Selisih	0.004	0.003	0.082
Ranking	3	2	1

Dari kedua tabel di atas, tampak bahwa untuk menghasilkan penyetelan mesin yang optimum untuk menghasilkan kekuatan *seal* yang maksimal adalah

1. Faktor A Level 1
2. Faktor B Level 1
3. Faktor D Level 3

Karena kedua hasil ini merupakan hasil pada satu mesin, maka kedua hasil tersebut akan dikombinasikan. Kombinasi tersebut dihasilkan dengan melihat bagaimana % kontribusi masing-masing faktor. Dari hal tersebut, didapatkan kombinasi penyetelan mesin sebagai berikut:

1. Faktor A Level 3
2. Faktor B Level 3
3. Faktor C Level 3
4. Faktor D Level 3

4.5 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan berdasarkan hasil dari eksperimen sebelumnya. Eksperimen ini bertujuan untuk membuktikan hal yang didapat sebelumnya. Pada eksperimen konfirmasi, faktor dan level ditetapkan seperti faktor dan level pada kondisi yang optimal. Untuk konfirmasi ini, diambil 11 sampel dengan level pada kondisi optimum. Berikut ini merupakan hasil eksperimen dari kondisi yang optimum.

Tabel 4.48 Hasil Percobaan Konfirmasi Mesin Chin Fong

Eksperimen	Hasil Ekspserimen <i>Upper Seal</i>	Eksperimen	Hasil Ekspserimen <i>Lower Seal</i>
1	10.666	1	7.142
2	8.333	2	7.166
3	10.166	3	7.166
4	13.500	4	8.000
5	11.166	5	8.000
6	9.833	6	7.166

7	11.000	7	8.166
8	11.666	8	8.500
9	11.000	9	7.833
10	11.833	10	6.976
11	9.666	11	8.833

Tabel 4.49 Hasil Percobaan Konfirmasi Mesin Chin Fong

Eksperimen	Hasil Ekspserimen <i>Upper Seal</i>	Eksperimen	Hasil Ekspserimen <i>Lower Seal</i>
1	8.166	1	7.833
2	9.333	2	8.000
3	7.974	3	7.666
4	8.666	4	7.000
5	8.212	5	8.333
6	9.000	6	8.666
7	8.000	7	7.666
8	7.998	8	7.500
9	8.166	9	8.333
10	7.833	10	7.000
11	8.231	11	6.666

4.5.1 Hasil Pengolahan Data Eksperimen Konfirmasi

Hasil eksperimen konfirmasi yang telah dilakukan tersebut harus berada dalam interval kepercayaan konfirmasi. Berikut adalah perhitungan interval kepercayaan pada eksperimen konfirmasi

1. Interval kepercayaan rata-rata untuk eksperimen konfirmasi adalah

$$\begin{aligned}
 Cl &= \pm \sqrt{F_{0.10;1;4} \times V_e \times \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \\
 &= \pm \sqrt{4.5447 \times 4 \times \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{11} \right)} = \pm 2.7771
 \end{aligned}$$

2. Interval kepercayaan rasio S/N eksperimen konfirmasi adalah

$$\begin{aligned}
 Cl &= \pm \sqrt{F_{0.10;1;4} \times V_e \times \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \\
 &= \pm \sqrt{4.5447 \times 4 \times \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{11} \right)} = \pm 2.7771
 \end{aligned}$$

4.5.1.1 Mesin Chin Fong

Sebelumnya, terlebih dahulu dicari nilai rata-rata dan nilai rasio S/N dari hasil eksperimen tersebut. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Nilai rata - rata (mean)} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \\ &= \frac{118.823}{11} = 10.802 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai rasio } \frac{S}{N} &= -10 \log \left[\frac{1}{10} \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \right] \\ &= -10 \log 0.9257 = 10.3351 \end{aligned}$$

a. Upper Seal

Interval kepercayaan untuk rata-rata adalah

$$\begin{aligned} 10.802 - 2.7771 &\leq \mu_{konfirmasi} \leq 10.802 + 2.7771 \\ 8.025 &\leq \mu_{konfirmasi} \leq 13.579 \end{aligned}$$

Interval kepercayaan variabilitas adalah

$$\begin{aligned} 10.3351 - 2.7771 &\leq \mu_{konfirmasi} \leq 10.3351 + 2.7771 \\ 7.558 &\leq \mu_{konfirmasi} \leq 13.112 \end{aligned}$$

b. Lower Seal

Interval kepercayaan untuk rata-rata adalah

$$\begin{aligned} 7.723 - 2.7771 &\leq \mu_{konfirmasi} \leq 7.723 + 2.7771 \\ 4.946 &\leq \mu_{konfirmasi} \leq 10.500 \end{aligned}$$

Interval kepercayaan variabilitas adalah

$$\begin{aligned} 8.878 - 2.7771 &\leq \mu_{konfirmasi} \leq 8.878 + 2.7771 \\ 6.101 &\leq \mu_{konfirmasi} \leq 11.655 \end{aligned}$$

4.5.1.2 Mesin Masema

Sebelumnya, terlebih dahulu dicari nilai rata-rata dan nilai rasio S/N dari hasil eksperimen tersebut. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Nilai rata - rata (mean)} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \\ &= \frac{118.823}{11} = 8.166 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai rasio } \frac{S}{N} &= -10 \log \left[\frac{1}{10} \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \right] \\ &= -10 \log 0.12245 = 9.12025 \end{aligned}$$

a. *Upper Seal*

Interval kepercayaan untuk rata-rata adalah

$$\begin{aligned} 8.325 - 2.7771 &\leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 8.325 + 2.7771 \\ 5.548 &\leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 11.102 \end{aligned}$$

Interval kepercayaan variabilitas adalah

$$\begin{aligned} 9.204 - 2.7771 &\leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 9.204 + 2.7771 \\ 6.427 &\leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 11.891 \end{aligned}$$

b. *Lower Seal*

Interval kepercayaan untuk rata-rata adalah

$$\begin{aligned} 7.697 - 2.7771 &\leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 7.697 + 2.7771 \\ 4.920 &\leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 10.474 \end{aligned}$$

Interval kepercayaan variabilitas adalah

$$\begin{aligned} 8.863 - 2.7771 &\leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 8.863 + 2.7771 \\ 6.086 &\leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 11.640 \end{aligned}$$

Dari eksperimen konfirmasi di atas, dapat kita lihat bagaimana perbedaannya seperti yang tampak pada tabel-tabel berikut ini.

Tabel 4.50 Interpretasi Hasil Ukuran Kekuatan *Upper Seal* untuk Mesin Chin Fong

Respon Kualitas Kekuatan Seal		Prediksi	Optimasi
Eksperimen Taguchi	Rata-Rata (μ)	10.724	10.724 ± 2.4616
	Variabilitas (S/N)	10.302	10.302 ± 2.4616
Eksperimen Konfirmasi	Rata-Rata (μ)	10.802	10.802 ± 2.7771
	Variabilitas (S/N)	10.335	10.335 ± 2.7771

Tabel 4.51 Interpretasi Hasil Ukuran Kekuatan *Lower Seal* untuk Mesin Chin Fong

Respon Kualitas Kekuatan Seal		Prediksi	Optimasi
Eksperimen Taguchi	Rata-Rata (μ)	7.665	7.665 ± 2.4616
	Variabilitas (S/N)	8.882	8.882 ± 2.4616
Eksperimen Konfirmasi	Rata-Rata (μ)	7.723	7.723 ± 2.7771
	Variabilitas (S/N)	8.878	8.878 ± 2.7771

Tabel 4.52 Interpretasi Hasil Ukuran Kekuatan *Upper Seal* untuk Mesin Masema

Respon Kualitas Kekuatan Seal		Prediksi	Optimasi
Eksperimen Taguchi	Rata-Rata (μ)	8.176	8.176 ± 2.4616
	Variabilitas (S/N)	9.181	9.181 ± 2.4616
Eksperimen Konfirmasi	Rata-Rata (μ)	8.325	8.325 ± 2.7771
	Variabilitas (S/N)	9.204	9.204 ± 2.7771

Tabel 4.53 Interpretasi Hasil Ukuran Kekuatan *Lower Seal* untuk Mesin Masema

Respon Kualitas Kekuatan Seal		Prediksi	Optimasi
Eksperimen Taguchi	Rata-Rata (μ)	7.362	7.362 ± 2.4616
	Variabilitas (S/N)	8.890	8.890 ± 2.4616
Eksperimen Konfirmasi	Rata-Rata (μ)	7.697	7.697 ± 2.7771
	Variabilitas (S/N)	8.863	8.863 ± 2.7771

Berdasarkan interpretasi hasil perhitungan kekuatan *seal* yang tertera pada tabel-tabel di atas, yaitu eksperimen Taguchi dan eksperimen konfirmasi mengalami peningkatan. Dengan demikian, hal ini membuktikan bahwa kombinasi yang dihasilkan dapat meningkatkan kekuatan *seal*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pengolahan data dan analisa data di atas, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu sebagai berikut:

- a) Untuk mendapatkan setelan mesin Chin Fong untuk menghasilkan kekuatan *seal* yang optimum, setelan mesinnya adalah seperti berikut ini :
 1. Faktor A Level 3 (26°C)
 2. Faktor B Level 2 (60 sc per menit)
 3. Faktor C Level 3 (195°)
 4. Faktor D Level 2 (125°)
- b) Untuk mendapatkan setelan mesin Masema untuk menghasilkan kekuatan *seal* yang optimum, setelan mesinnya adalah seperti berikut ini:
 1. Faktor A Level 3 (26°C)
 2. Faktor B Level 3 (62 sc per menit)
 3. Faktor C Level 3 (135°)
 4. Faktor D Level 3 (150°)

5.2 Saran

Saran untuk perusahaan dalam meningkatkan kekuatan *seal* pada pengemasan, khususnya pada pengemasan *creamers*, kombinasi dari faktor-faktor yang tertera diatas dapat digunakan.

Saran untuk peneliti berikutnya yang ingin melanjutkan penelitian ini, sebaiknya peneliti bisa memasukkan respon kualitas lainnya yang juga memiliki faktor yang sama dengan faktor kualitas yang lainnya. Hal tersebut bisa menghasilkan kualitas yang lebih baik.

REFERENSI

- Al Aina, Fatimah. (2009). Optimasi Berat Lapisan dengan Metode Desain Parameter Taguchi dan Model Proses Neural Network pada Industri Pembuatan Kemasan Produk. *Skripsi Program Studi Teknik Industri, Program Sarjana TI-UI, Depok.*
- Hazura, Mohamed, Hisyam Lee, Muhammad, dan Sarahintu, Mazalan. (2008). *The Use of Taguchi Method to Determine Factors Affecting the Performance of Destination Sequence Distance Vector Routing Protocol in Mobile Ad Hoc Networks*: Journal of Mathematics and Statistics 4 (4): 194-198,2008.
- Mandayani, Ni Nyoman. (2004). *Penerapan Metode Taguchi dalam Mengurangi Cacat Pecah pada Kerupuk Bawang*: Studi Kasus di PT Pengembangan Raya.
- Soejanto, Irwan. (2009) *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Yogyakarta: Graha Ilmu
- Taguchi, Genichi. (2001). *Taguchi Method*. T.F. Cheng.
- Wahjudi, Didik, San, Gan Shu, dan Pramono, Yohan. (2001). *Optimasi Proses Injeksi dengan Metode Taguchi*: Jurnal Teknik Mesin Vol. 3, No. 1, April 2001: 24-28 Universitas Kristen Petra, Surabaya.