

**STUDI DESAIN EKSPERIMEN TAGUCHI PADA PROSES  
LAMINASI EKSTRUSI UNTUK OPTIMASI KEKUATAN  
IKATAN DENGAN MENGGUNAKAN MODEL JARINGAN  
SYARAF TIRUAN**

**SKRIPSI**

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

**INTAN NIRWANI  
0405070305**



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

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

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

**Nama : Intan Nirwani**

**NPM : 0405070305**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : Juli 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Intan Nirwani  
NPM : 0405070305  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul Skripsi : Studi Desain Eksperimen Taguchi pada Proses Laminasi Ekstrusi Untuk Optimasi Kekuatan Ikatan Dengan Menggunakan Model Jaringan Syaraf Tiruan

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 : Dr. Ir. T. Yuri M. Zagloel, MEngSC (.....)  
Penguji : Ir. Boy Nurtjahyo M., MSIE (.....)  
Penguji : Ir. Hj. Erlinda Muslim, MEE (.....)  
Penguji : Ir. Akhmad Hidayatno, MBT (.....)

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : Juli 2009

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, skripsi ini dapat diselesaikan. Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Abdul Rahman, Andriani Ratih, dan Bagus Maulana, keluarga yang selalu memberikan semangat, dan motivasi untuk tetap bertahan hidup;
- (2) Dr. Ir. T. Yuri M. Zagloel, MEngSC, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (3) Bapak Franky M. Hutapea, Bapak Roji, dan Bapak Budi dari PT SMPI, yang telah membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (4) Fatimah Al-Aina, teman senasib-seperjuangan berawal dari Depok, sampai Cikarang, juga Kalibata, Tol Lingkar Luar, Tol Dalam Kota, Tol Cikampek, atas kesetiaannya berada di samping saya sejak empat tahun yang lalu;
- (5) Dian Esti, Cindy Anggraini, Najwa Mustafa, dan Dwinta Utari, yang selalu menjadi tempat berbagi, tertawa, menangis, bercanda, menggila, bersama untuk selamanya;
- (6) Seluruh anak-anak TI 2005 atas kekompakannya dalam menjalani masa kuliah, terutama wanita-wanita TI 2005, keshia, elice, carissa, cica, lija, pipop, nangke, muthe, lia, dan yang lainnya;
- (7) Putera Anarta, teman yang pada akhirnya menjadi lebih dari teman, atas tenaga dan terutama hatinya yang selalu menjaga dan menemani selama ini;
- (8) Semua pihak yang tidak dapat disebut satu persatu yang telah membantu sampai skripsi ini dapat diselesaikan.

Akhir kata, Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 23 Juni 2009

Penulis

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

---

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

Nama : Intan Nirwani

NPM : 0405070305

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 Non-Eksklusif** (*Nonexclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**STUDI DESAIN EKSPERIMEN TAGUCHI PADA PROSES LAMINASI  
EKSTRUSI UNTUK OPTIMASI KEKUATAN IKATAN DENGAN  
MENGUNAKAN MODEL JARINGAN SYARAF TIRUAN**

beserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), 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 : Juli 2008

Yang menyatakan

( Intan Nirwani )

## ABSTRAK

Nama : Intan Nirwani  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul : Studi Desain Eksperimen Taguchi Pada Proses Laminasi Ekstrusi Untuk Optimasi Kekuatan Ikatan Dengan Menggunakan Model Jaringan Syaraf Tiruan

Peningkatan kualitas produk adalah salah satu aspek yang akan memuaskan pelanggan. Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas produk adalah dengan mengoptimasi hasil keluaran proses. Metode Taguchi telah menjadi metode yang memimpin rekayasa kualitas untuk optimasi proses. S/N Ratio yang digunakan oleh metode ini merepresentasikan efek faktorial dari variabel terkendali pada hasil keluaran, dan juga mempertimbangkan faktor pengganggu.

Penelitian ini menggambarkan sebuah pendekatan berdasarkan desain eksperimental Taguchi untuk memprediksi parameter-parameter optimum proses pada proses laminasi ekstrusi dan meramalkan respons kualitas dari kombinasi parameter-parameter proses menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dengan data historis proses, yang dikumpulkan selama produksi normal. Jaringan Syaraf Tiruan adalah sebuah teknologi penting dari Intelegensi Tiruan yang mana telah banyak digunakan untuk memonitor proses manufaktur melalui pengenalan pola hasil keluaran. Jaringan Syaraf Tiruan dilatih dengan menggunakan data historis untuk memodelkan proses aktual, sehingga model ini dapat mengestimasi respons kualitas untuk penyetelan eksperimen.

Kombinasi pendekatan ini mampu mengidentifikasi penyetelan parameter-parameter penting untuk menjamin peningkatan proses. Sebuah studi kasus mengilustrasikan pendekatan ini, menggunakan data produksi aktual dari mesin laminasi ekstrusi pada pabrik pembuat kemasan dengan kekuatan ikatan sebagai respons kualitas yang akan dioptimasi.

Hasil dari studi kasus ini membuktikan bahwa pendekatan ini dapat digunakan untuk meningkatkan pemahaman proses dan mengidentifikasi faktor-faktor signifikan. Batasan yang paling signifikan dari pendekatan ini ada pada ketersediaan data proses; bagaimanapun juga pengusaha pabrik dapat menggunakan pendekatan ini untuk mengoptimasi proses produksi tanpa eksperimen yang mahal dan memakan waktu.

**Kata Kunci:** Rekayasa Kualitas, Taguchi, Desain Eksperimen, Jaringan Syaraf Tiruan, Laminasi Ekstrusi, Kekuatan Ikatan

## ABSTRACT

Name : Intan Nirwani  
Study Program : Industrial Engineering  
Title : Taguchi Experimental Design For Bonding Strength Optimization In Extrusion Laminating Process Using Artificial Neural Network Model

The increased quality of a product is one of the main aspects that will satisfy customer. One way to improve the quality of a product is to optimize the process output. The Taguchi Method has been a leading tool in quality engineering for process optimization. The S/N ratio as utilized in this method represents the factorial effects of control variables to outputs while also taking noise factors into consideration.

This research paper describes an approach based on Taguchi experimental design to predict the optimum process parameters in extrusion laminating process and forecasts the responses at these parameters using Neural Networks (NN) with historical process data, collected during normal production. NN are an important technology of Artificial Intelligence which have been widely used for manufacturing process monitor using output pattern recognition. NN is trained by using historical data in order to model the actual process, so that the model is able to estimate process response for the experimental settings.

This combination approach identifies the important factor settings to ensure the process improvement. A case study illustrates this approach, using real production data from the laminating machine in a packaging plant with bonding strength as the quality response to be optimized.

The result proved that this technique can be used to gain process understanding and identify significant factors. The most significant limitation of this technique relies on process data availability; however manufacturers may use this technique to optimize processes without expensive and time-consuming experimentation.

Keywords: Quality Engineering, Taguchi, Design of Experiments, Artificial Neural Network, Extrusion Laminating, Bonding Strength

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR RUMUS .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	3
1.3 Perumusan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian .....	4
1.6 Metodologi Penelitian .....	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	9
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>10</b>
2.1 Rekayasa Kualitas .....	10
2.1.1 Kualitas.....	10
2.1.2 Pendekatan Taguchi Terhadap Rekayasa Kualitas.....	12
2.1.2.1 Kontrol Kualitas <i>Offline</i> dan <i>Online</i> .....	13
2.1.2.2 Tiga Langkah Pada Desain Proses.....	14
2.1.2.3 Penggunaan <i>Noise</i> .....	14
2.1.2.4 Hal-hal Penting dalam Perencanaan Peningkatan Kualitas .....	15
2.2 Metode Taguchi Desain Eksperimen .....	16
2.2.1 Pendahuluan Desain Eksperimen .....	16
2.2.1.1 Klasifikasi dari Desain Eksperimen.....	17
2.2.1.2 Peranan dari Desain Eksperimen .....	19
2.2.2 Pendahuluan Metode Taguchi .....	19
2.2.3 Taguchi <i>Loss Function</i> .....	21
2.2.4 <i>Signal to Noise Ratio</i> .....	24
2.2.5 <i>Orthogonal Array Experiments</i> .....	27
2.2.5.1 Struktur <i>Orthogonal Array</i> .....	27
2.2.5.2 Penentuan dan Pemilihan <i>Orthogonal Array</i> .....	29
2.2.6 Tahapan dalam Metode Taguchi .....	30
2.2.7 Taguchi Desain Parameter .....	33
2.2.7.1 Struktur Desain Parameter .....	33



2.2.7.2	Langkah-langkah dalam Desain Parameter .....	34
2.2.8	Analisa dalam Hasil Eksperimen .....	36
2.2.8.1	Analisa Variansi (ANOVA) .....	36
2.2.8.2	Pareto ANOVA .....	38
2.3	Artificial Neural Network (Jaringan Syaraf Tiruan) .....	39
2.3.1	Artificial Intelligence .....	39
2.3.2	Neural Network .....	41
2.3.2.1	Sejarah Neural Network .....	41
2.3.2.2	Pengertian Umum Neural Network .....	42
2.3.2.3	Keuntungan Penggunaan Neural Network .....	43
2.3.2.4	Bagian-bagian dari Neural Network .....	43
2.3.2.5	Fungsi Aktivasi Neural Network .....	44
2.3.2.6	Arsitektur Neural Network .....	45
2.3.2.7	Proses Pembelajaran pada Neural Network .....	48
2.3.2.8	Mekanisme Kerja Multilayer Perceptron Neural Network .....	49
2.3.2.9	Back Propagation Multilayer Perceptron Neural Network .....	53
2.4	Jurnal-jurnal Terkait .....	54
2.4.1	Wimalin Sukthomya dan James Tannok (2003) .....	54
2.4.2	C. Y. Song, Y. W. Park, H. R. Kim, K. Y. Lee, dan J. Lee (2007) .....	55
2.4.3	Mithat Zeydan (2007) .....	55
2.4.4	Levent Onal, Mithat Zeydan, Mahmut Korkmasz, dan Sheik Maeran (2009) .....	56
<b>3.</b>	<b>PENGUMPULAN DATA .....</b>	<b>58</b>
3.1	Proses Produksi Industri Packaging .....	58
3.1.1	Mesin Laminasi Ekstrusi EC-3 .....	60
3.1.2	Data Jenis Produk .....	62
3.2	Pengumpulan Data Historis .....	63
3.2.1	Identifikasi Parameter Penyetelan pada Mesin Laminasi Ekstrusi EC-3 .....	64
3.2.2	Data Historis Karakteristik Kualitas .....	68
3.3	Taguchi Desain Eksperimen .....	70
3.3.1	Penentuan Faktor dan Level .....	70
3.3.2	Desain Orthogonal Array .....	72
3.4	Model Jaringan Syaraf Tiruan .....	74
3.4.1	Data Historis Untuk Proses Pembelajaran .....	74
3.4.2	Desain Model Jaringan Syaraf Tiruan dan Proses Pembelajaran .....	75
3.4.3	Pemilihan Model Jaringan Syaraf Tiruan .....	79
<b>4.</b>	<b>PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA .....</b>	<b>83</b>
4.1	Pengolahan Data .....	83
4.1.1	Pengolahan Data Desain Eksperimen dengan Model Tiruan ..	83
4.1.2	Perhitungan Signal to Noise Ratio dan Nilai Rata-rata .....	85
4.1.3	Pembentukan Pareto ANOVA .....	86

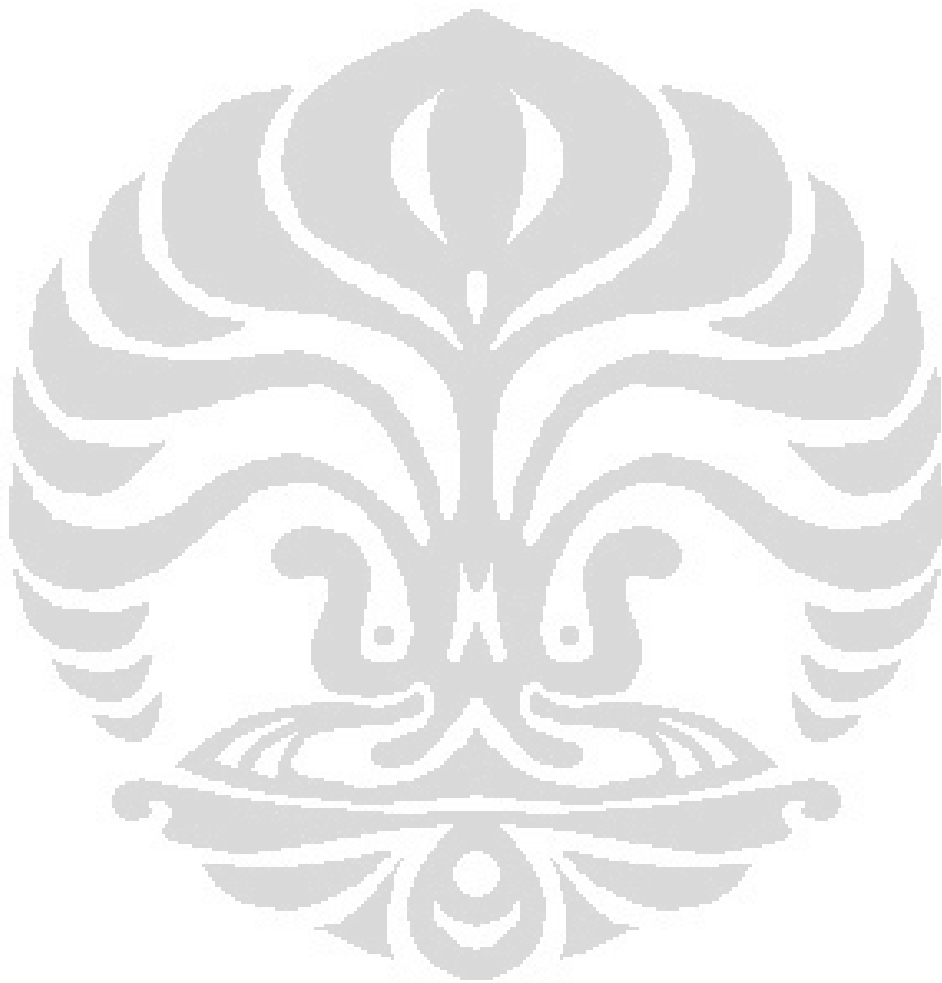
4.1.3.1	<i>Pareto ANOVA</i> untuk <i>S/N Ratio</i> .....	87
4.1.3.2	<i>Pareto ANOVA</i> untuk Kekuatan Ikatan .....	89
4.1.4	Pembentukan <i>Main Effects Plot</i> .....	91
4.1.4.1	<i>Main Effects Plot</i> untuk <i>S/N Ratio</i> .....	91
4.1.4.2	<i>Main Effects Plot</i> untuk Nilai Rata-rata Kekuatan Ikatan .....	94
4.2	Analisa .....	96
4.2.1	Analisa Pareto ANOVA .....	96
4.2.1.1	Analisa Pareto ANOVA untuk <i>S/N Ratio</i> .....	96
4.2.1.2	Analisa Pareto ANOVA untuk Kekuatan Ikatan .....	97
4.2.2	Analisa <i>Main Effects Plot</i> .....	99
4.2.2.1	Analisa <i>Main Effects Plot</i> untuk <i>S/N Ratio</i> .....	99
4.2.2.2	Analisa <i>Main Effects Plot</i> untuk Nilai Rata-rata Kekuatan Ikatan .....	101
4.2.3	Analisa Hasil Desain Penyetelan Parameter Optimal .....	103
4.2.3.1	Usulan Desain Penyetelan Parameter Optimal .....	104
4.2.3.2	Prediksi Nilai <i>S/N Ratio</i> .....	105
4.2.3.3	Prediksi Nilai Rata-rata Kekuatan Ikatan .....	106
4.2.3.4	Prediksi dengan Model Jaringan Syaraf Tiruan .....	107
<b>5.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>109</b>
5.1	Kesimpulan .....	109
5.2	Saran .....	109
	<b>DAFTAR REFERENSI</b> .....	<b>111</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram Keterkaitan Masalah .....	3
Gambar 1.2	Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	7
Gambar 1.3	Diagram Alir Metodologi Penelitian (Lanjutan) .....	8
Gambar 2.1	Aktivitas <i>Quality Control</i> pada Industri di Korea .....	13
Gambar 2.2	Tipe <i>Noise</i> dan Penanggulangannya .....	15
Gambar 2.3	Prosedur Desain Eksperimen .....	17
Gambar 2.4	Kurva Kuadratik <i>Taguchi Loss Function</i> .....	22
Gambar 2.5	Tiga Kategori Karakteristik Kualitas .....	23
Gambar 2.6	Diagram Sistem dengan Parameter .....	25
Gambar 2.7	Lambang <i>Orthogonal Array</i> .....	27
Gambar 2.8	Matriks <i>Orthogonal Array</i> $L_4$ .....	28
Gambar 2.9	Diagram Faktor-Faktor Pada Sistem .....	34
Gambar 2.10	Matriks <i>Orthogonal Array</i> dengan <i>Inner and Outer Array</i> .....	34
Gambar 2.11	Cabang dari Sistem Teori General .....	42
Gambar 2.12	Klasifikasi <i>Neural Network</i> .....	42
Gambar 2.13	Bentuk Dasar <i>Neuron</i> .....	44
Gambar 2.14	Arsitektur Dasar <i>Neural Network</i> .....	46
Gambar 2.15	<i>Single-layer Neural Network</i> .....	47
Gambar 2.16	<i>Multilayer Perceptron Neural Network</i> .....	47
Gambar 2.17	<i>Recurrent Network</i> .....	48
Gambar 2.18	Penggunaan <i>Single Layer Neural Network</i> .....	49
Gambar 2.19	Penggunaan <i>Multilayer Perceptron Neural Network</i> .....	50
Gambar 2.20	Proses <i>Multilayer Perceptron Neural Network</i> .....	50

Gambar 2.21	<i>Multilayer Perceptron Neural Network 3 Layer</i> .....	52
Gambar 3.1	Standar Operasi Prosedur Mesin EC-3 .....	61
Gambar 3.2	Gambar Sederhana Mesin EC-3 .....	62
Gambar 3.3	Laporan Pemeriksaan Mutu .....	63
Gambar 3.4	Sampel Artikel Produk .....	64
Gambar 3.5	<i>Drier Box</i> .....	65
Gambar 3.6	Rol Silikon dan <i>Press roll</i> .....	66
Gambar 3.7	<i>Cooling roll</i> .....	66
Gambar 3.8	<i>Ekstrusion Unit</i> .....	67
Gambar 3.9	Cetakan <i>T-Die</i> .....	68
Gambar 3.10	<i>Load Transducer</i> .....	69
Gambar 3.11	Kapabilitas Proses (Kekuatan Ikatan) .....	69
Gambar 3.12	<i>User Input</i> pada <i>NNpred</i> .....	77
Gambar 3.13	Data pada <i>NNpred</i> .....	77
Gambar 3.14	Data untuk Model Tiruan .....	80
Gambar 3.15	Grafik <i>Error</i> untuk Proses <i>Training</i> .....	81
Gambar 3.16	Grafik <i>Error</i> untuk Proses Validasi .....	81
Gambar 4.1	Lembar <i>Calc</i> pada <i>NNpred</i> .....	84
Gambar 4.2	Diagram <i>Pareto</i> untuk <i>S/N Ratio</i> .....	88
Gambar 4.3	Diagram <i>Pareto</i> untuk Nilai Rata-Rata Kekuatan Ikatan ...	90
Gambar 4.4	<i>Main Effects Plot S/N Ratio</i> Untuk Parameter A-F .....	92
Gambar 4.5	<i>Main Effects Plot S/N Ratio</i> Untuk Parameter G-T .....	93
Gambar 4.6	<i>Main Effects Plot</i> untuk Rata-Rata Kekuatan Ikatan untuk Parameter A sampai O .....	95

Gambar 4.7      *Main Effects Plot* untuk Rata-Rata Kekuatan Ikatan untuk  
Parameter P sampai T ..... 96



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perumusan Loss Function .....	24
Tabel 2.2	Rumus Perhitungan Tabel <i>ANOVA</i> .....	36
Tabel 2.3	Contoh tabel <i>Pareto ANOVA</i> .....	38
Tabel 3.1	Statistik Deskriptif Parameter Penyetelan .....	68
Tabel 3.2	Faktor Terkendali .....	71
Tabel 3.3	Faktor Pengganggu .....	72
Tabel 3.4	Desain <i>Orthogonal Array</i> .....	73
Tabel 3.5	Desain <i>Inner</i> dan <i>Outer Array</i> .....	74
Tabel 3.6	Daftar <i>Input</i> untuk Model Tiruan .....	75
Tabel 3.7	Daftar <i>Output</i> untuk Model Tiruan .....	75
Tabel 3.8	<i>Error Akhir</i> Model Tiruan .....	82
Tabel 4.1	Nilai Karakteristik Kualitas Hasil Eksperimen .....	85
Tabel 4.2	Nilai <i>S/N Ratio</i> dan Rata-Rata Tiap Hasil Eksperimen .....	86
Tabel 4.3	<i>Pareto ANOVA</i> untuk <i>S/N Ratio</i> .....	88
Tabel 4.4	<i>Pareto ANOVA</i> untuk Nilai Rata-Rata Kekuatan Ikatan .....	90
Tabel 4.5	Rata-Rata <i>S/N Ratio</i> untuk tiap Parameter <i>Level</i> .....	92
Tabel 4.6	Rata-Rata Kekuatan Ikatan untuk Tiap Parameter <i>Level</i> .....	94
Tabel 4.7	Hasil Usulan Desain Penyetelan Parameter .....	104
Tabel 4.8	Hasil Usulan Desain Penyetelan Parameter (Lanjutan) .....	105
Tabel 4.9	Prediksi dengan Model Jaringan Syaraf Tiruan .....	107

## DAFTAR RUMUS

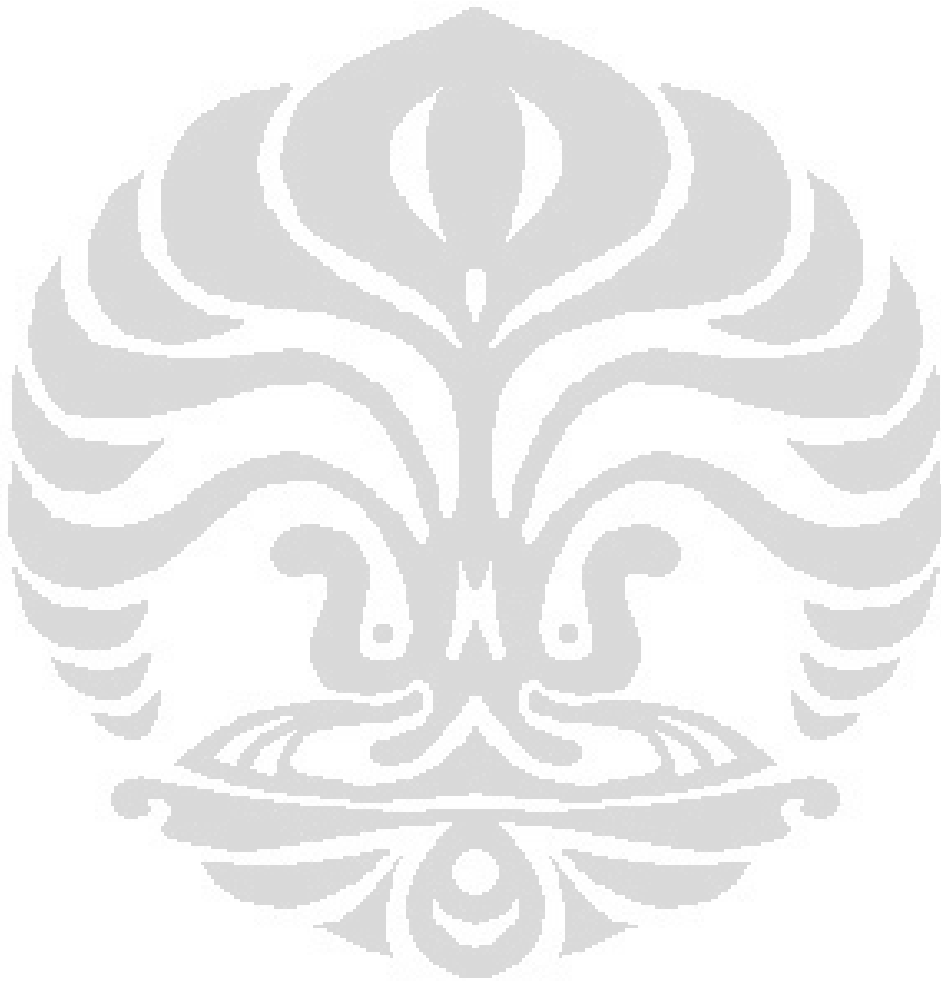
Rumus 2.3	Rumus Taguchi <i>Loss Function</i> .....	23
Rumus 2.4	Rumus <i>S/N Ratio Smaller-the-Better</i> .....	25
Rumus 2.3	Rumus <i>S/N Ratio Nominal-the-Better</i> .....	26
Rumus 2.4	Rumus Varians .....	26
Rumus 2.5	Rumus <i>S/N Ratio Larger-the-Better</i> .....	27
Rumus 2.6	Rumus <i>Sum of Squares</i> Total .....	37
Rumus 2.7	Rumus <i>Sum of Squares</i> Faktor Utama .....	37
Rumus 2.8	Rumus <i>Sum of Squares Error</i> .....	37
Rumus 2.9	Rumus Derajat Kebebasan Faktor A .....	37
Rumus 2.10	Rumus Derajat Kebebasan Faktor B .....	37
Rumus 2.11	Rumus Derajat Kebebasan Interaksi antar Faktor .....	37
Rumus 2.12	Rumus Derajat Kebebasan Total .....	37
Rumus 2.13	Rumus Derajat Kebebasan <i>Error</i> .....	37
Rumus 2.14	Rumus <i>Square of Difference</i> Faktor A ( $S_A$ ) .....	39
Rumus 2.15	Rumus $S'_A$ .....	39
Rumus 2.16	Rumus Rasio Kontribusi Faktor A .....	39
Rumus 2.17	Rumus Fungsi Penjumlah (Transformasi <i>Neuron</i> ) .....	44
Rumus 2.18	Rumus Fungsi Umum Aktivasi .....	44
Rumus 2.19	Rumus Fungsi Aktivasi Linear .....	45
Rumus 2.20	Rumus Gradien Fungsi Aktivasi Linear .....	45
Rumus 2.21	Rumus Fungsi Aktivasi Sigmoid .....	45
Rumus 2.22	Rumus Fungsi Gradien Aktivasi Sigmoid .....	45
Rumus 2.23	Rumus Fungsi Aktivasi Hiperbolik Tangen .....	45

Rumus 2.24	Rumus Fungsi Gradien Aktivasi Hiperbolik Tangen .....	45
Rumus 2.25	Rumus <i>Gradient Descent Back Propagation</i> .....	53
Rumus 2.26	Rumus <i>Gradient Descent Back Propagation</i> dengan Momentum .....	53
Rumus 2.27	Rumus <i>Variabel Learning Rate Back Propagation</i> .....	54
Rumus 2.28	Rumus <i>Variabel Learning Rate Back Propagation</i> dengan Momentum.....	54
Rumus 2.29	Rumus Proses <i>Update Nilai Weight CGX 1</i> .....	54
Rumus 2.30	Rumus Proses <i>Update Nilai Weight CGX 2</i> .....	54
Rumus 2.31	Rumus Proses <i>Update Nilai Weight CGX 3</i> .....	54
Rumus 2.32	Rumus Proses <i>Update Nilai Weight CGX 4</i> .....	54
Rumus 2.33	Rumus <i>Quasi-Newton Back Propagation</i> .....	54



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1            Data Historis Untuk Proses Pembelajaran
- Lampiran 2            Tabel *Error* Model Jaringan Syaraf Tiruan Tiap Iterasi



# 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 (Saifudin, 2008). Untuk mencapai tujuan ini maka perusahaan harus mampu memberikan produk yang mampu memenuhi karakteristik kualitas yang diinginkan konsumen. Metode-metode pengendalian kualitas yang dilakukan hanya setelah produk tersebut diproduksi (metode inspeksi) memang dapat memuaskan konsumen, tetapi hal ini mengakibatkan peningkatan biaya karena banyaknya produk yang diperbaiki atau dibuang karena diluar standar yang telah ditetapkan sebelumnya. Penggantian mesin produksi dengan yang lebih baru juga tidak menjawab masalah karena akan menambah investasi. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan dengan melakukan suatu rekayasa kualitas (Ilmi, 1999).

Metode rekayasa kualitas mulai diperkenalkan secara luas oleh Genichi Taguchi melalui publikasi jurnal *American Society for Quality Control* (1983). 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 (Wibowo, 2008). 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 rekayasa untuk mengoptimalkan kondisi produk dan proses yang sangat tidak sensitif terhadap berbagai penyebab variasi, dan kondisi yang menghasilkan produk berkualitas tinggi dengan biaya pengembangan dan produksi yang rendah (Park, 1996).

Keuntungan eksperimen dengan metode Taguchi ini yaitu dapat menghindari evaluasi terhadap interaksi banyak faktor yang menghabiskan waktu

dan mahal. Strategi metode ini adalah dengan menggunakan suatu matriks yang merupakan setting eksperimen dengan melibatkan seluruh faktor atau parameter proses pada satu waktu, disebut *Orthogonal Array* (Ross, 1989). Dengan strategi ini maka jumlah eksperimen dapat diperkecil.

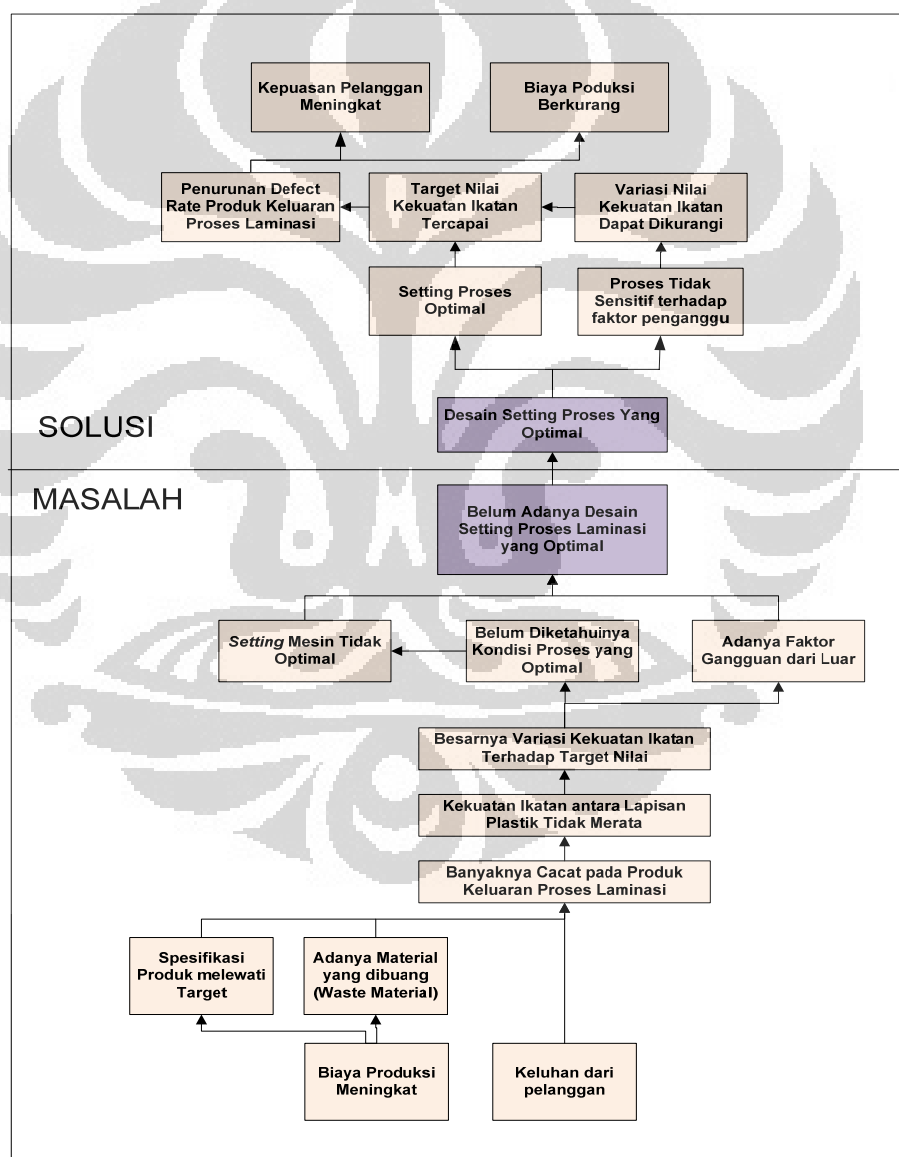
Pada penelitian ini, akan dilakukan suatu studi desain parameter-parameter proses dengan menggunakan metode Taguchi dan *Neural Network (NN)*, tanpa melakukan eksperimen aktual. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan data historis dalam pengolahan data. Data historis digunakan untuk melatih suatu syaraf jaringan tiruan untuk memodelkan suatu proses sesuai dengan yang sebenarnya dengan menggunakan metode *NN*, lalu eksperimen-eksperimen yang dibutuhkan dalam metode Taguchi dilaksanakan pada model tersebut. Oleh karena itu tidak diperlukan untuk melakukan eksperimen langsung yang dapat menghabiskan biaya cukup besar. *Neural network* itu sendiri adalah suatu teknologi penting dalam *Artificial Intelligence (AI)*, yang sudah banyak digunakan untuk memonitor suatu proses dengan menggunakan pengenalan pola keluaran (Sukthomya&Tannock, 2005). *Neural Network* juga sudah banyak digunakan memodelkan suatu proses manufaktur.

Proses yang diteliti adalah proses laminasi ekstrusi suatu pelapis termoplastik *Polypropylene (PP)* dengan ketebalan tertentu pada lembaran *Oriented Polypropylene Film (Film OPP)* yang merupakan hasil proses sebelumnya. Proses ekstrusi yang terjadi adalah dengan cara memasukkan butiran termoplastik *PP* ke dalam *hopper* yang lalu digerakkan dalam ruang pemanas (*heating chamber*) oleh suatu sekrup spiral. Di dalam ruang pemanas, termoplastik ini berubah menjadi massa yang kental, kemudian ditekan oleh sekrup keluar ekstruder melalui cetakan pipih (*T-Die*). Setelah keluar cetakan, *PP* ini melapisi lembaran film *OPP* yang bergerak dibawahnya. Lapisan yang masih lunak melekat pada lapisan bawahnya lalu ditekan dengan *Silicon Roll* pada rol berlapis krom yang didinginkan (*Cooling Roll*). Kekuatan ikatan dari kedua lapisan ini ditentukan oleh tekanan roll silikon, suhu dari *cooling roll*, serta temperature *PP* keluaran cetakan (Ilmi, 1999).

Permasalahan yang timbul adalah kekuatan ikatan lapisan hasil proses diatas bervariasi, dimana hal ini menjadi suatu permasalahan kualitas. Jika

kekuatan ikatannya kurang dari target walaupun masih dalam batas bawah toleransi, maka konsumen akan rugi, dan memberikan keluhan pada perusahaan. Juga jika melewati batas toleransi, maka perusahaan akan rugi karena produk dibuang (*waste material*). Oleh karena itu, dibutuhkan suatu studi desain parameter proses laminasi ekstrusi agar variansi dan rata-rata kekuatan ikatan tersebut dapat dioptimalkan.

## 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

### 1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka pokok permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah adanya variansi kekuatan ikatan antara lapisan plastik pada proses laminasi. Untuk itu diperlukan rekayasa untuk menghasilkan proses dengan keluaran produk yang memiliki variansi kekuatan ikatan paling optimal atau tidak sensitif terhadap faktor-faktor pengganggu yang timbul selama proses. Disamping itu, konsumen juga menginginkan lapisan tersebut melekat kuat pada material yang dilapisinya secara merata. Hal tersebut dapat dicapai dengan menggunakan pendekatan metode Taguchi dan *Neural Network*. Dengan menggunakan pendekatan kedua metode tersebut, maka dapat diketahui kondisi parameter-parameter penyetelan pada mesin laminasi yang paling signifikan untuk mencapai variansi dan rata-rata kekuatan ikatan yang optimal.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan merekayasa desain penyetelan proses laminasi ekstrusi dengan menggunakan metode Taguchi dan *Neural Network* agar variansi dan rata-rata kekuatan ikatan proses tersebut optimal. Sedangkan tujuan khususnya adalah:

1. Membuat model dari proses laminasi dengan kekuatan ikatan sebagai karakteristik kualitas dengan pendekatan metode *Neural Network*.
2. Mengetahui sensitifitas setiap parameter penyetelan proses terhadap performa kekuatan ikatan.
3. Mengetahui kontribusi parameter-parameter penyetelan proses terhadap ketidak-sensitifan pada berbagai perubahan dan gangguan.
4. Memberikan usulan desain penyetelan proses berdasarkan metode taguchi

### 1.5 Batasan Penelitian

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

1. Penelitian dilakukan pada proses laminasi ekstrusi dengan menggunakan mesin laminasi ekstrusi plastik EC-3

2. Material yang dilapisi yang digunakan dalam penelitian adalah material lembaran film *oriented polypropylene* dengan ketebalan 20  $\mu$ , dan lebar 1140 mm
3. material pelapis yang digunakan dalam penelitian adalah resin *polypropylene* merek *cosmoplene* dengan persentase 90% ditambah pewarna merek *Haimaster 1777* dengan persentase 10%
4. Karakteristik kualitas yang diteliti adalah kekuatan ikatan lapisan laminasi dengan nilai target setinggi-tingginya
5. Kumpulan data historis yang digunakan untuk membuat model jaringan syaraf tiruan adalah sebanyak 652 kumpulan data dari November 2008 sampai April 2009.

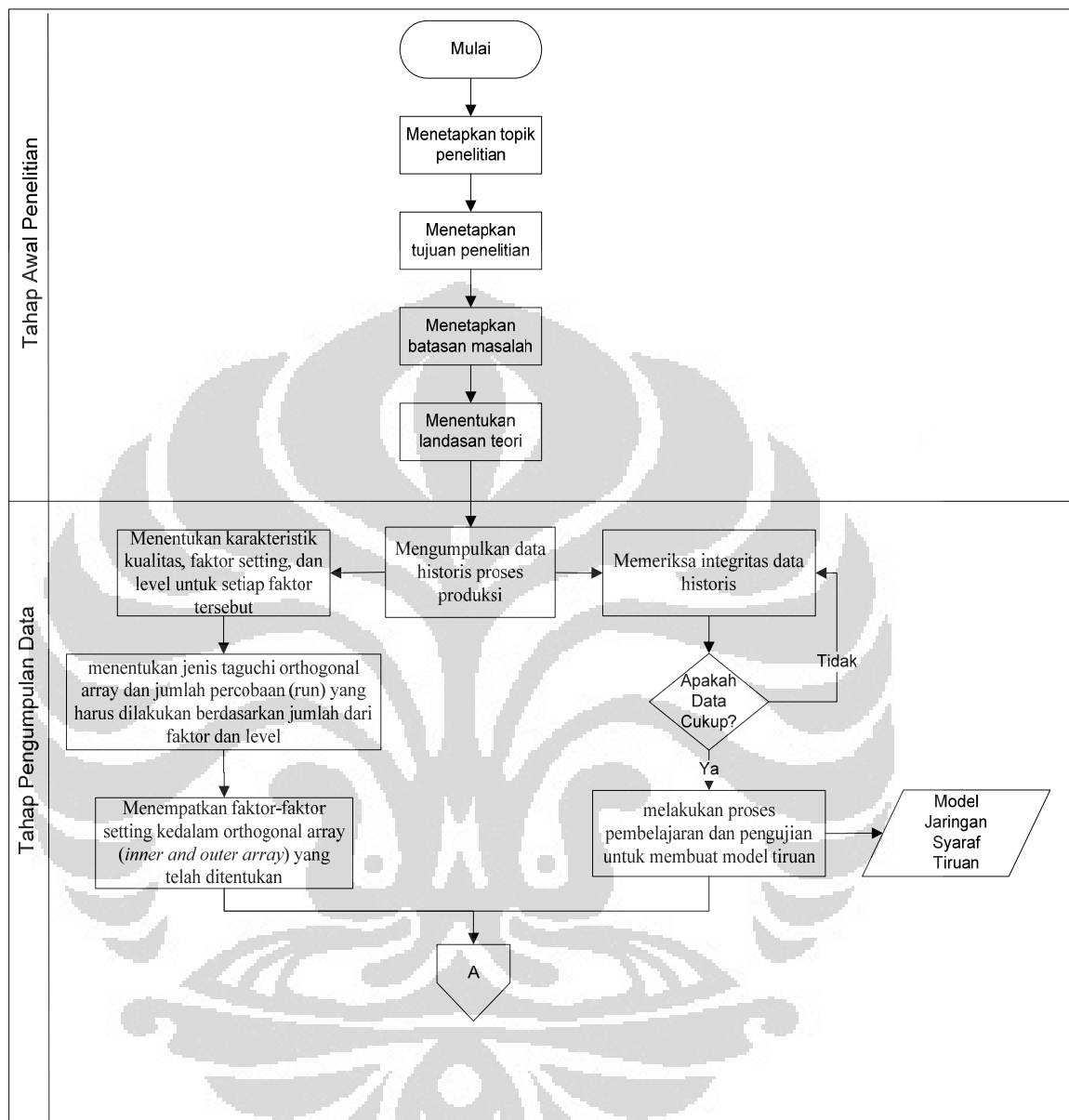
### 1.6 Metodologi Penelitian

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:
  - a. Penetapan topik penelitian
  - b. Penetapan tujuan penelitian
  - c. Penetapan batasan masalah
  - d. Penentuan landasan teori yang dijadikan dasar dalam pelaksanaan penelitian
2. Tahap pengumpulan data terbagi menjadi dua, yaitu:
  - a. Merancang desain parameter proses laminasi
    - menentukan karakteristik kualitas, parameter-parameter penyetelan dan *level* untuk setiap parameter tersebut berdasarkan data historis
    - menentukan jenis Taguchi *orthogonal array* dan jumlah percobaan (*run*) yang harus dilakukan berdasarkan jumlah dari parameter dan *level*

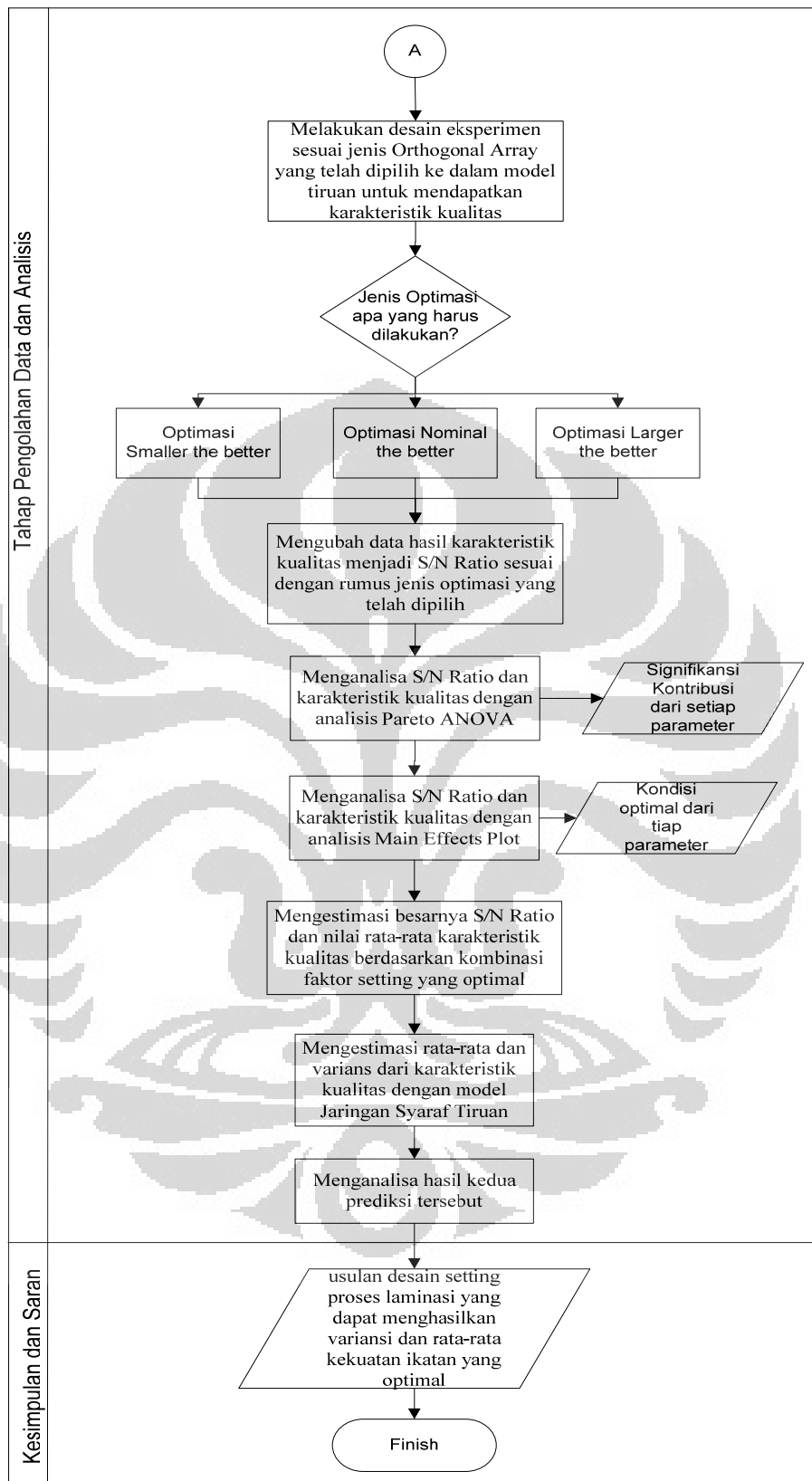
- Menempatkan parameter-parameter penyetelan ke dalam *orthogonal array (inner and outer array)* yang telah ditentukan
- b. Membuat model jaringan syaraf tiruan proses laminasi
- Mengumpulkan dan memeriksa integritas data historis
  - Melakukan proses pembelajaran untuk membuat model jaringan syaraf tiruan sesuai proses sebenarnya berdasarkan data historis.
3. Tahap ketiga atau tahap pengolahan data dan analisis, yaitu:
- a. Melakukan desain eksperimen sesuai jenis *Orthogonal Array* yang telah dipilih ke dalam model tiruan untuk mendapatkan nilai karakteristik kualitas
  - b. Memilih jenis optimasi yang akan dilakukan
  - c. Mengubah data hasil karakteristik kualitas menjadi *S/N Ratio* sesuai dengan rumus jenis optimasi yang telah dipilih
  - d. Menganalisa *S/N Ratio* dan rata-rata karakteristik kualitas dengan analisa *Pareto ANOVA* untuk memperoleh parameter-parameter penyetelan yang signifikan berkontribusi dalam proses
  - e. Menganalisa *S/N Ratio* dan rata-rata karakteristik kualitas dengan analisa *Main Effects Plot* untuk memperoleh kondisi optimal dari setiap parameter penyetelan dalam proses
  - f. Memprediksi besarnya *S/N Ratio* dan nilai rata-rata karakteristik kualitas berdasarkan kombinasi parameter-parameter penyetelan yang optimal
  - g. Memprediksi besarnya nilai rata-rata dan variasi karakteristik kualitas dengan model jaringan syaraf tiruan berdasarkan kombinasi parameter-parameter penyetelan yang optimal
  - h. Menganalisa hasil prediksi tersebut
4. Tahap terakhir adalah kesimpulan dan saran akan menghasilkan usulan desain penyetelan proses laminasi yang dapat menghasilkan variasi dan rata-rata kekuatan ikatan yang optimal.

Berikut ini adalah diagram alir metodologi penelitian ini:



**Gambar 1.2** Diagram Alir Metodologi Penelitian





**Gambar 1.3** Diagram Alir Metodologi Penelitian (Lanjutan)

## 1.7 Sistematika Penulisan

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

Bab 1 merupakan bab pendahuluan yang menjelaskan latar belakang penelitian, diagram keterkaitan masalah, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2 merupakan landasan teori yang berhubungan dengan penelitian ini. Landasan teori yang dibahas meliputi Rekayasa Kualitas, *Robust Design*, Desain Eksperimen Taguchi, Jaringan Syaraf Tiruan, dan Penelitian-penelitian Terkait.

Bab 3 berisi tentang pelaksanaan pengumpulan data. Pada bab ini akan dibahas profil singkat perusahaan PT SMPI, proses produksi laminasi mesin EC-3 pada PT SMPI, data historis yang berisi desain parameter pada proses laminasi, rancangan eksperimen dengan Taguchi, dan model tiruan proses laminasi dengan Jaringan Syaraf Tiruan.

Bab 4 berisi pengolahan data dan analisis. Pada bab ini dijelaskan mengenai pengolahan data, analisa data, dan hasil yang diperoleh berdasarkan pengolahan dan analisa data.

Bab 5 Kesimpulan. Pada bab ini berisikan kesimpulan dan usulan mengenai keseluruhan penelitian yang dilakukan.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Rekayasa Kualitas

#### 2.1.1 Kualitas

Pada Industri manufaktur, aktivitas yang berhubungan dengan kualitas dapat dibagi menjadi tahap (Park, 1996):

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

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

Terdapat tiga karakteristik kualitas yang berbeda di dalam keseluruhan sistem kualitas (Park, 1996):

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

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

## 1. Juran, (1964)

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

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

Kecocokan penggunaan produk yang memenuhi permintaan pelanggan adalah ciri-ciri produk berkualitas tinggi.

## 2. Crosby (1979)

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

## 3. Deming (1986)

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

## 4. Feigenbaum (1983)

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

## 5. Garvin

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

- Kualitas mencakup usaha memenuhi atau melebihi harapan pelanggan
- Kualitas mencakup produk, tenaga kerja, proses, dan lingkungan.

- Kualitas merupakan kondisi yang selalu berubah (misalnya apa yang dianggap merupakan kualitas saat ini mungkin dianggap kurang berkualitas pada masa mendatang).

#### 6. Taguchi (1987)

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

#### 2.1.2 Pendekatan Taguchi terhadap Rekayasa Kualitas

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). Rekayasa kualitas juga 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 (Ross, 1989).

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.

Menurut Park (1996), desain yang kuat (*robust design*) merupakan metodologi rekayasa untuk mengoptimalkan kondisi produk dan proses yang sangat tidak sensitif terhadap berbagai penyebab variasi, dan kondisi yang

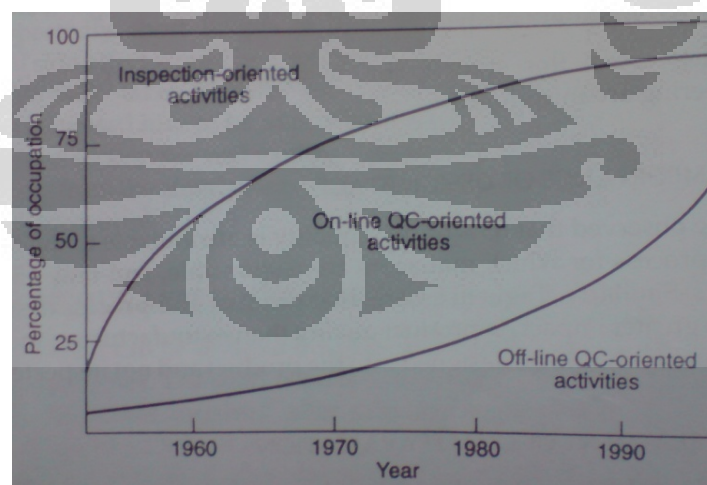
menghasilkan produk berkualitas tinggi dengan biaya pengembangan dan produksi yang rendah. Dua alat dasar yang digunakan untuk desain yang kuat (Park, 1996), yaitu:

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

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

Seperti telah disebutkan sebelumnya, tipe sistem kualitas pada perusahaan manufaktur terdiri dari tiga aspek yaitu: Kualitas desain, kualitas kesesuaian, dan kualitas servis. Taguchi (1987) membagi sistem kualitas menjadi dua bagian sebagai berikut:

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



**Gambar 2.1** Aktivitas *Quality Control* pada Industri di Korea

(Sumber: Robust Design and Analysis for Quality Engineering by Sung H. Park, 1996)

### 2.1.2.2 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.

### 2.1.2.3 Penggunaan *Noise*

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

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

**Gambar 2.2** Tipe *Noise* dan Penanggulangannya

(Sumber: Introduction to Quality Engineering by Taguchi, 1986)

#### 2.1.2.4 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*.

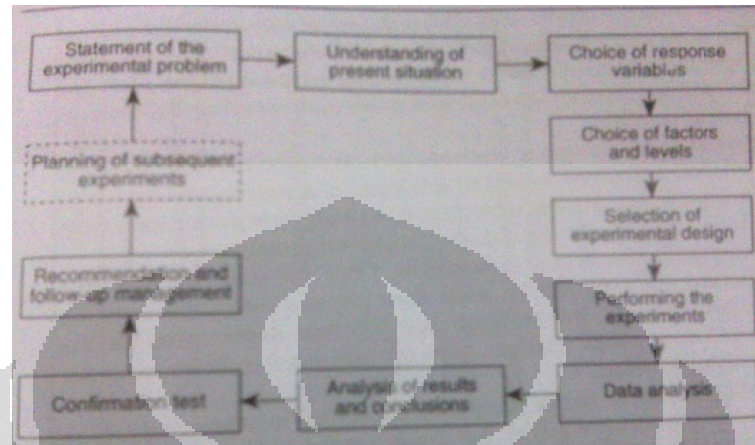
## **2.2 Metode Taguchi Desain Eksperimen**

### **2.2.1. Pendahuluan Desain Eksperimen**

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 (Park, 1996). Keduanya pun saling berkaitan satu sama lain. Gambar dibawah ini adalah garis besar dari prosedur desain eksperimen.



**Gambar 2.3** Prosedur Desain Eksperimen

(Sumber: Robust Design and Analysis for Quality Engineering by Sung H. Park, 1996)

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 apartus 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

Untuk mengurangi jumlah dari eksperimen *full factorial design*, dikenal dengan metode *fraction factorial design*. Sayangnya metode ini tidak memiliki aturan yang pasti dalam pemilihan eksperimen yang tepat dan juga dalam melakukan analisa hasil eksperimen yang telah dipilih tadi. Untuk itulah Dr. Genichi Taguchi melaksanakan riset DOE bertujuan agar metode DOE lebih mudah digunakan baik untuk dunia akademis maupun dunia industri manufaktur sehingga dapat menjalankan produk (Wibowo, 2008).

Metode Taguchi dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1987 saat mendapatkan tugas untuk memperbaiki sistem telekomunikasi di Jepang.

Metode ini merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dalam dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk *robust* terhadap *noise*, karena itu sering disebut sebagai *Robust Design*. Definisi kualitas menurut Taguchi adalah kerugian yang diterima oleh masyarakat sejak produk tersebut dikirimkan (Ross,1989). Filosofi Taguchi terhadap kualitas terdiri dari empat buah konsep, yaitu:

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

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

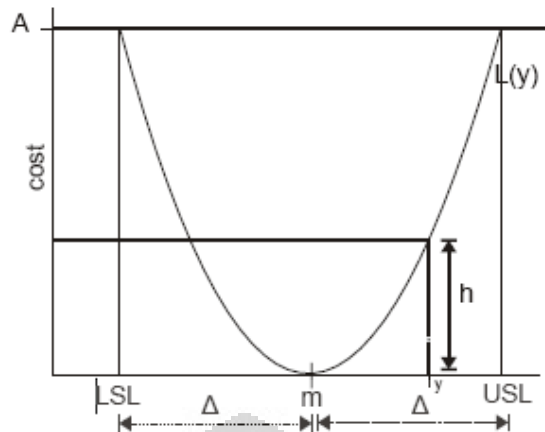
Metode Taguchi menitikberatkan pada pencapaian target tertentu dan mengurangi variasi suatu produk atau proses dengan menggunakan desain parameter. Pencapaian tersebut dilakukan dengan menggunakan ilmu statistika. Apabila ada sejumlah parameter yang diperkirakan mempengaruhi suatu proses, maka dengan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

metode Taguchi pada kualitas, yaitu *Taguchi Loss Function* dan *Orthogonal Arrays* (Wibowo, 2008).

### 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 (Taguchi, 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 2.4** Kurva Kuadratik *Taguchi Loss Function*

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

Keterangan Gambar:

- *LSL* = *Lower Spesification Limit*, batas bawah ukuran spesifikasi yang masih bisa ditolerir oleh customer (*customer tolerance*)
- *USL* = *Upper Spesification Limit*, batas atas ukuran spesifikasi yang masih bisa ditolerir oleh customer (*customer tolerance*)
- *m* = nilai spesifikasi yang diharapkan
- *y* = nilai spesifikasi suatu produk
- $L(y)$  = *Taguchi Loss Function*
- *h* = loss yang disebabkan dari deviasi *y* dan *m*
- $\Delta$  = 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

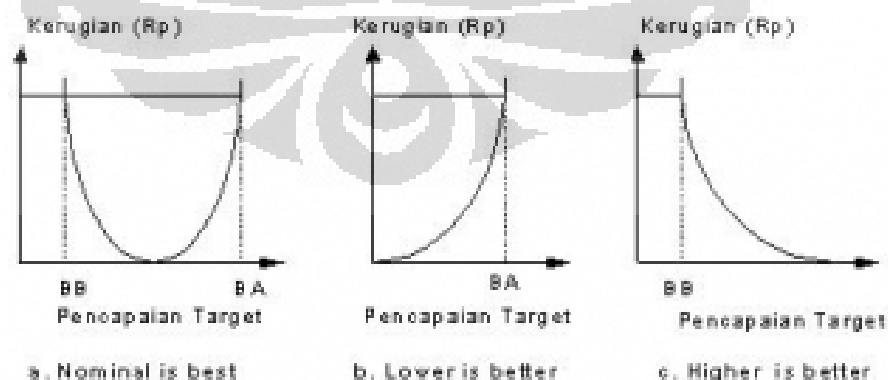
batas toleransi konsumen lebih besar dibandingkan toleransi spesifikasi dari pihak produsen. Untuk penghitungan  $k$  digunakan rumus sebagai berikut:

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

Besarnya nilai  $A_0$  dihitung dengan menjumlahkan seluruh komponen biaya yang timbul, misalnya biaya kehilangan waktu, biaya penggantian (perbaikan), transportasi, dan lain-lain. Sedangkan  $\Delta_0$  adalah selisih atau besarnya dari toleransi yang diberikan.

Berdasarkan pendekatan *loss function* ini, karakteristik kualitas yang terukur menurut Taguchi (2005) 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 2.5** Tiga Kategori Karakteristik Kualitas

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



Perumusan untuk loss function adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.1** Perumusan Loss Function

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

(Sumber: Taguchi Techniques for Quality Engineering by Phillip J. Ross, 1989)

Di mana: L = kerugian

m = target

y = hasil pengukuran

$S^2$  = variansi distribusi

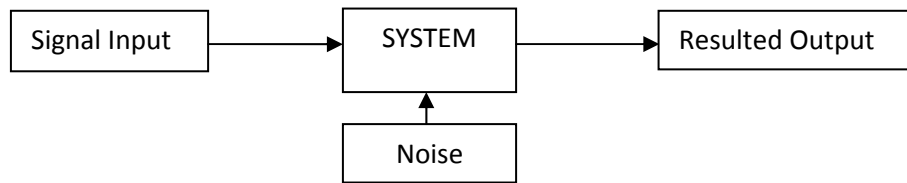
k = konstanta kerugian

$\bar{y}$  = 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, 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 2.6** Diagram Sistem dengan Parameter

(Sumber: Robust Design and Analysis for Quality Engineering by Sung H. Park, 1996)

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

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. Optimisasi jenis ini biasanya dipakai untuk mengoptimisasi suatu cacat pada produk. Dapat juga digunakan untuk menentukan waktu produksi tercepat (paling produktif). Untuk menghitungnya menggunakan rumus:

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

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 adalah:

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

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

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 adalah:

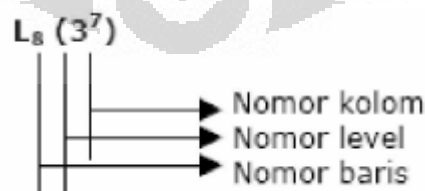
$$S/N \text{ Ratio} = -10 \times \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y^2} \right] \dots\dots\dots(2.5)$$

## 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 2.7** 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, 2005).

Banyaknya *level* yang digunakan didalam faktor digunakan untuk memilih *Orthogonal Array*. Jika faktornya ditetapkan ber-*level* dua maka harus digunakan orthogonal array dua *level*, begitu seterusnya. *Orthogonal Array* untuk  $L_4$  diperlihatkan pada tabel berikut.

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

**Gambar 2.8** Matriks *Orthogonal Array*  $L_4$

(Sumber: Taguchi's Quality Engineering Handbook, 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.

*Orthogonal Array* mempunyai beberapa manfaat (Wibowo, 2008), 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*, ada dua hal yang harus dipertimbangkan, yaitu:

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

*Orthogonal Array* sendiri dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis (Park, 1996). Penentuan jenis *OA* yang digunakan dapat 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 penentuan proses yang optimal. Tetapi Taguchi lebih mementingkan pengamatan pada *main effect* (penyebab utama) sehingga adanya interaksi diusahakan seminimal mungkin, tetapi tidak dihilangkan sehingga perlu dipelajari kemungkinan adanya interaksi.
8. 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 setting faktor pada *OA* dengan jumlah percobaan sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti randomisasi. Proses percobaan dilakukan dengan mengumpulkan data respon sebanyak jumlah baris pada matriks *OA* yang telah dipilih. Data respon yang telah diperoleh itu kemudian diubah menjadi *S/N Ratios* (Signal to Noise Ratios)

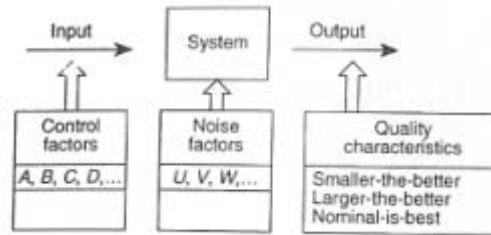
11. Analisis Data: Pada analisis dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *lay out* tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih.
12. Interpretasi Hasil: Interpretasi 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** Diagram Faktor-Faktor Pada Sistem

(Sumber: Robust Design and Analysis for Quality Engineering by Sung H. Park, 1996)

Type of array	Inner array ( $L_4$ )							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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	U
2	0	0	0	1	1	1	1	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$	$y_{14}$	$SN_1$
3	0	1	1	0	0	1	1	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{23}$	$y_{24}$	$SN_2$
4	0	1	1	1	1	0	0	$y_{31}$	$y_{32}$	$y_{33}$	$y_{34}$	$SN_3$
5	1	0	1	0	1	0	1	...	...	...	...	...
6	1	0	1	1	0	1	0	...	...	...	...	...
7	1	1	0	0	1	1	0	...	...	...	...	...
8	1	1	0	1	0	0	1	$y_{81}$	$y_{82}$	$y_{83}$	$y_{84}$	$SN_8$

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

(Sumber: Robust Design and Analysis for Quality Engineering by Sung H. Park, 1996)

### 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*

- Menggambarkan faktor-faktor yang mempengaruhi respons kualitas produk atau proses dari eksperimen yang ingin dilakukan
- Memilih tabel *OA* yang sesuai untuk *inner* dan *outer array*, dan menempatkan faktor kontrol dan pengganggu ke dalam *array-array* tersebut.
- Melakukan eksperimen, dan menghitung *S/N Ratio* untuk setiap baris dari *inner array*
- 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 2.2** 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	$abn-1$	$Ssy$		

(Sumber: Design and Analysis of Experiments 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.

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

*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.

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

#### b. Derajat Kebebasan

Perhitungan untuk memperoleh derajat kebebasan adalah sebagai berikut:

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

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

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

- Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

$$VA \times B = (kA - 1) (kB - 1) \dots \dots \dots (2.11)$$

- Nilai derajat kebebasan total

$$\begin{aligned} VT &= (kA - 1) + (kB - 1) + (kA - 1) (kB - 1) \\ &= (\text{Jumlah Percobaan}) - 1 \dots \dots \dots (2.12) \end{aligned}$$

- Nilai derajat kebebasan *error*

$$Ve = VT - VA - VB - V_{axB} \dots \dots \dots (2.13)$$

#### 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 ( $\mu$ ), 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.

### 2.2.8.3 Pareto ANOVA

*Pareto ANOVA* adalah sebuah metode *ANOVA* yang disederhanakan dengan menggunakan prinsip *Pareto*. Metode ini dapat digunakan dengan lebih mudah dan cepat untuk menganalisa desain parameter karena tidak membutuhkan sebuah tabel *ANOVA* pada umumnya, dan juga tidak menggunakan f-test. Metode ini juga membolehkan signifikansi dari faktor-faktor dan interaksinya untuk dievaluasi dengan menggunakan analisa *Pareto*, dan juga memungkinkan untuk memperoleh kondisi yang optimum dari setiap *level* pada factor (Park, 1996). Pada tabel dibawah ini dapat dilihat contoh dari tabel *Pareto ANOVA*.

**Tabel 2.3** 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 ( $\phi$ )		1	2	2	2	2	2	2	2	
S/ $\phi$		163.8	1285.5	151.0	883.9	128.4	425.5	776.9	1469.3	5284.3
Contribution ratio (%)		3.1	24.3	2.9	16.7	2.4	8.1	14.7	27.8	100.0
Pareto diagram	40 30 20 10	27.8	24.3	16.7	14.7	8.1	3.1	2.9	2.4	
Factor		I	B	D	H	G	A	C	F	
Cumulative contribution ratio (%)		27.8	52.1	68.8	83.5	91.6	94.7	97.6	100.0	
Optimum combination of sig. factor levels		$B_2, D_2, G_2, H_2, I_2$ (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 Sung H. Park, 1996)

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

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

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

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

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 (Jaringan Syaraf Tiruan)

### 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 (Rich&Knight, 1991). Dengan demikian, *AI* memberikan pendekatan yang sederhana dan terstruktur untuk merancang program pembuatan keputusan yang kompleks.

Menurut 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 rangkan meraih tujuan. Hal ini dilakukan, dalam bagia-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

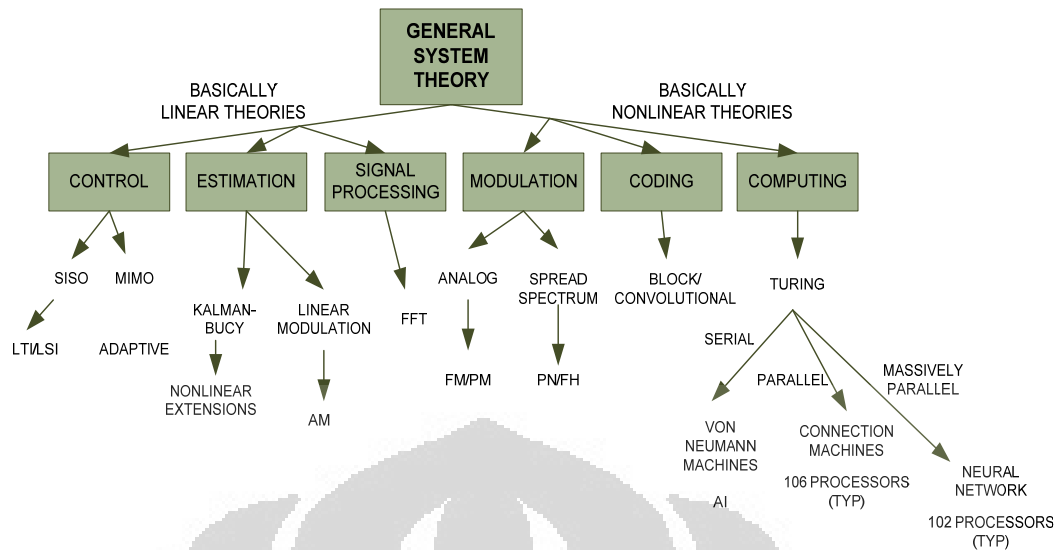
Saat akan meraih suatu tujuan, kita tidak hanya memecahkan masalah yang harus diselesaikan tetapi juga memperoleh pengetahuan baru pada saat yang bersamaan. Bagian dari kecerdasan yang membantu kita kepada fakta baru tersebut dinamakan mekanisme inferensi.

### 2.3.1 *Neural Network*

#### 2.3.2.1 Sejarah *Neural Network*

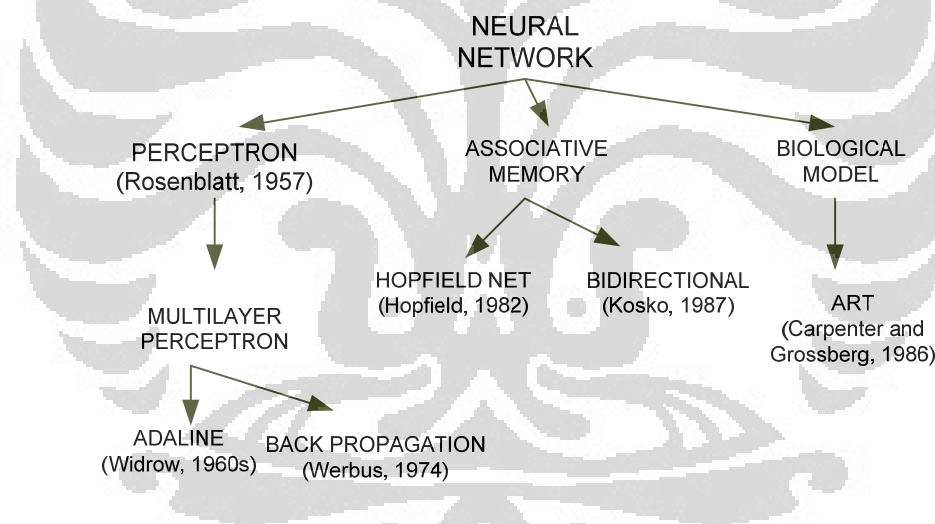
*Neural Network* merupakan bagian dari teori sistem dikarenakan bentuk matematisnya (Laurene, 1994). Gambar dibawah merupakan *road map* yang disederhanakan dari teori sistem sekarang. Bagian kiri dari bagan ini merupakan *conventional system processing*, yang merupakan alat dasar untuk merancang sebuah sistem elektronik yang modern. Bagian kanan bagan tersebut merupakan cabang dari teori komputasi.

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

(Sumber: Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications by F. Laurene, 1994)



**Gambar 2.12** Klasifikasi *Neural Network*

(Sumber: Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications by F. Laurene, 1994)

### 2.3.2.2 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 (Setiyawan, 2003). 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*.

### 2.3.2.3 Keuntungan Penggunaan *Neural Network*

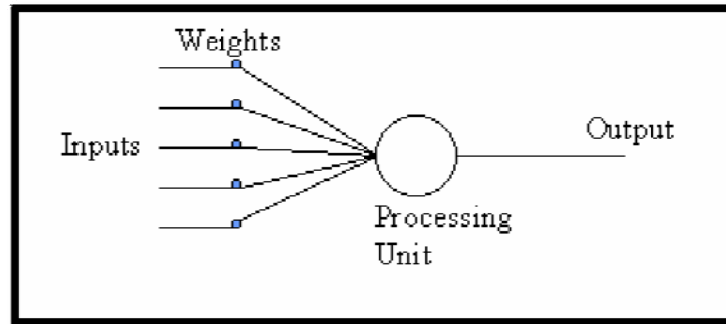
Menurut Setiyawan (2003), beberapa keuntungan dalam menggunakan *Neural Network* adalah sebagai berikut:

- 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 parallel.

### 2.3.2.4 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 (Setiyawan, 2003). *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 penjumlah (*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*

(Sumber: Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan oleh B. Setiyawan, 2003)

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

$$Net_k(t) = \sum_{i=0}^I w_i x_i(t) \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana,

$net_j$  : fungsi tranformasi *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.

### 2.3.2.5 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:

$$O_k = f_{actv}(net_k) \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana,

$f_{actv}$  : fungsi aktivasi

$O_k$  : keluaran neuron

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 (Setiyawan, B., 2003), yaitu:

#### 1. Fungsi Aktivasi Linear

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

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

Gradien dari FA linear diberikan oleh persamaan:

$$\frac{\partial f_{actv}(n_j)}{\partial n_j} = 1 \dots\dots\dots (2.20)$$

#### 2. FA Sigmoid

$$f_{actv} ( n_j ) = sig ( n_j ) \\ = \frac{1}{1 + \exp^{-n_j}} \dots\dots\dots (2.21)$$

Gradien dari FA sigmoid diberikan oleh persamaan:

$$\frac{\partial f_{actv}(n_j)}{\partial n_j} = ( 1 - f_{actv}(n_j) ) f_{actv} ( n_j ) \dots\dots\dots (2.22)$$

#### 3. FA Hiperbolik Tangen

FA Hiperbolik Tangen merupakan fungsi unipolar yang ditunjukkan oleh persamaan:

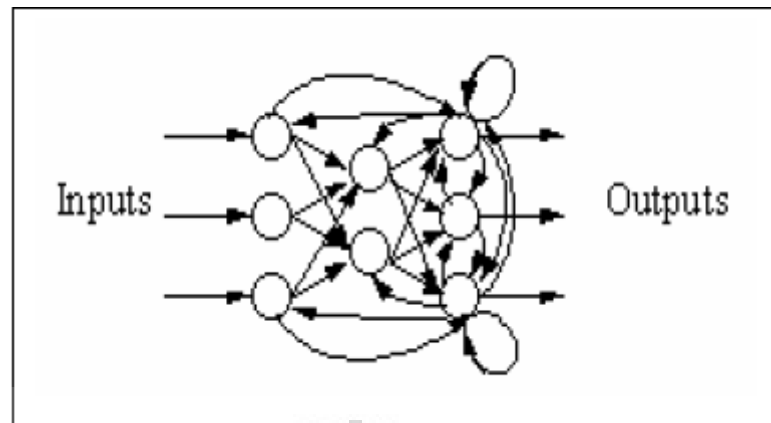
$$f_{actv} ( n_j ) = \tanh ( n_j ) \\ = \frac{1 - \exp^{-n_j}}{1 + \exp^{-n_j}} \dots\dots\dots (2.23)$$

Gradien dari FA Hiperbolik tangen diberikan oleh persamaan:

$$\frac{\partial f_{actv}(n_j)}{\partial n_j} = 1 - ( f_{actv}(n_j) )^2 \dots\dots\dots (2.24)$$

#### 2.3.2.6 Arsitektur *Neural Network*

Menurut Laurene (1994), bentuk dasar arsitektur suatu *Neural Network* adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.14** Arsitektur Dasar *Neural Network*

(Sumber: Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan oleh B. Setiyawan, 2003)

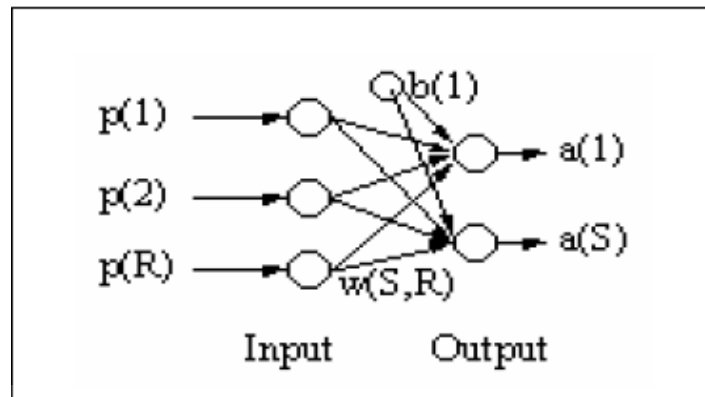
Sistem jaringan syaraf tiruan dapat juga dilihat sebagai sebuah grafik arah pembobot (*graph directed weighted*) dimana *neuronnya* dinyatakan sebagai titik dan arah pembobotannya dinyatakan sebagai penghubung antar *neuron*. Berdasarkan struktur sambungan dan aliran pengolahan sinyalnya, jaringan syaraf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



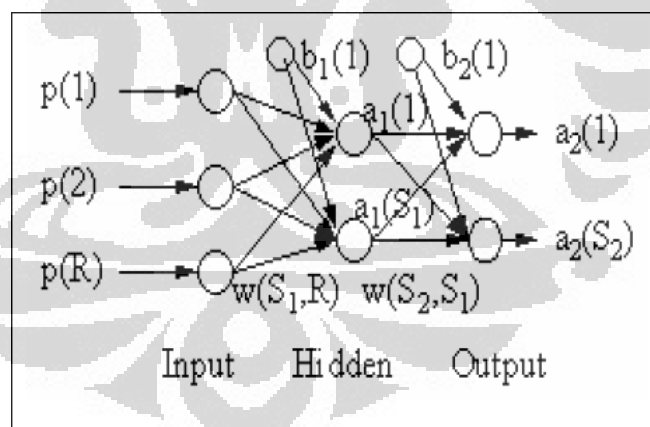
**Gambar 2.15** *Single-layer Neural Network*

(Sumber: Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan oleh B. Setiyawan, 2003)

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*.



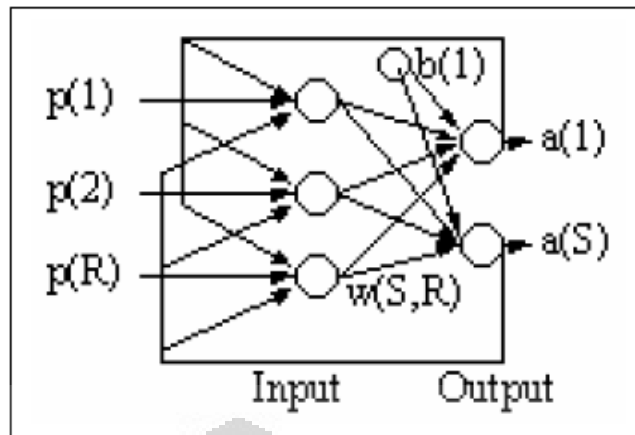
**Gambar 2.16** *Multilayer Perceptron Neural Network*

(Sumber: Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan oleh B. Setiyawan, 2003)

## 3. *Recurrent Neural Network*

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





**Gambar 2.17** *Recurrent Network*

(Sumber: Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan oleh B. Setiyawan, 2003)

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

### 2.3.2.7 Proses Pembelajaran 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 (Laurene, 1994). Tujuan dari pembelajaran ini sebenarnya untuk memperkecil tingkat suatu *error* dalam pengenalan suatu objek. Menurut Laurene (1994) 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 masukan 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.

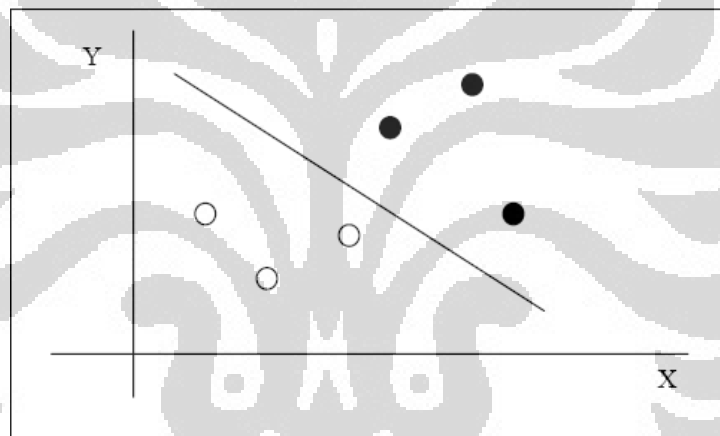
#### 2. *Unsupervised Learning*

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

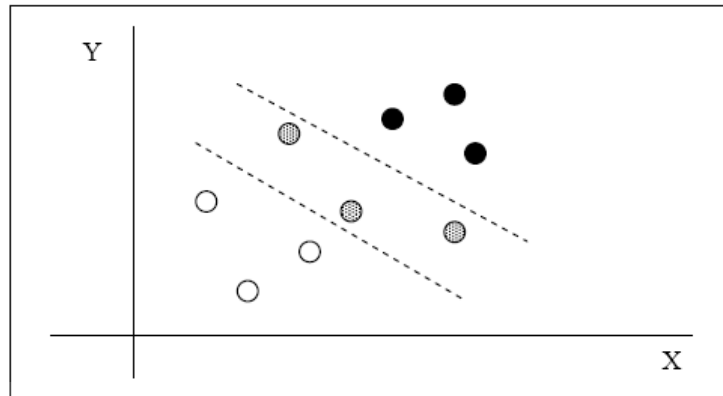
### 2.3.2.8 Mekanisme Kerja *Multilayer Perceptron Neural Network*

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 (Setiyawan, 2003).



**Gambar 2.18** Penggunaan *Single Layer Neural Network*  
(Sumber: Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan oleh B. Setiyawan, 2003)

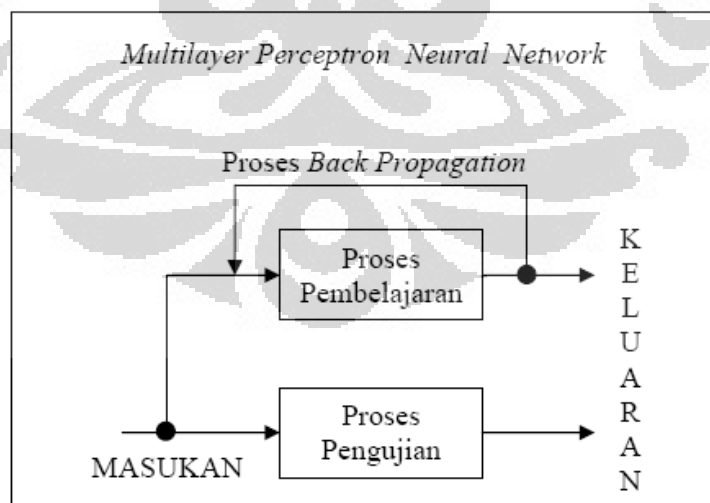
Gambar diatas menunjukkan bahwa *single layer Neural Network* digunakan untuk menganalisa dua bagian yang berbeda saja, yaitu agar dapat mengetahui posisi lingkaran hitam dan lingkaran yang berwarna putih. Lain halnya dengan dengan kondisi pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.19** Penggunaan *Multilayer Perceptron Neural Network*

(Sumber: Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan oleh B. Setiyawan, 2003)

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 (Setiyawan, B., 2003). Adapun Proses yang terjadi Pada *Multilayer Perceptron Neural Network*, adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.20** Proses *Multilayer Perceptron Neural Network*

(Sumber: Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan oleh B. Setiyawan, 2003)

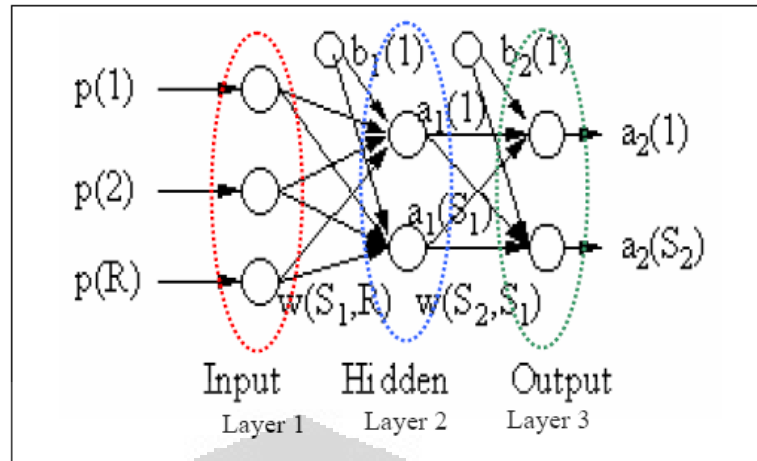
Berikut adalah penjelasan mengenai proses *Multilayer Perceptron Neural Network* menurut Setiyawan (2003):

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

(Sumber: Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan oleh B. Setiyawan, 2003)

### 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.

### 2.3.2.9 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 (Laurene, 1994).

#### 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.

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

Dimana  $\alpha$ , 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.

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

#### 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.

$$W_{k+1} = W_k - \alpha_{k+1} \cdot g_k + \mu \cdot W_{k-1} \dots\dots\dots(2.27)$$

$$\alpha_{k+1} = \beta \cdot \alpha_k \dots\dots\dots(2.28)$$

0.7 jika nilai *new error* > 1.04 (*old error*)

1.05 jika nilai *new error* < 1.04 (*old error*)

#### 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*.

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

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

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

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

#### 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:

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

$A_k$  merupakan *Hessian Matrix* untuk nilai *weight* dan *Bias*.

## 2.4 Penelitian yang Terkait

### 2.4.1 Wimalin Sukthomya dan James D.T. Tannock (2003)

Penelitian tersebut berjudul “*Taguchi experimental design for manufacturing process optimization using historical data and a Neural Network process model*”. Penelitian ini bersifat studi kasus, yang berkaitan dengan proses SPF pada produksi *hollow wide-cord fan blades* untuk mesin pesawat. Tujuan penelitian ini yaitu untuk menggambarkan metode untuk mengoptimalkan proses manufaktur dengan data historis proses yang dikumpulkan selama produksi normal berlangsung. Tujuan tersebut dicapai dengan dua teknik yang berbeda: pendekatan *Retrospective Taguchi* dan pendekatan *NN-Taguchi*. *Retrospective*

*Taguchi* memilih data untuk mendesain eksperimen menggunakan data historis sementara *NN-Taguchi* menggunakan data historis tersebut untuk mempelajari *NN* agar dapat mengestimasi tanggapan proses terhadap setting eksperimen. Penemuan pada penelitian ini yaitu kedua teknik tersebut mengidentifikasi setting faktor yang penting pada proses untuk memastikan bahwa proses telah meningkat dari sebelumnya. Studi kasus memperlihatkan bahwa kedua teknik ini dapat digunakan untuk mendapatkan pemahaman akan suatu proses dan mengidentifikasi faktor yang signifikan. Keterbatasan pada kedua teknik tersebut terkait dengan ketersediaan dan kualitas dari data historis proses, dimana data yang tersedia tidak menjelaskan semua variabel di dalam hasil proses. Namun para metode ini dapat diterapkan untuk mengoptimasi proses tanpa eksperimen yang mahal dan menghabiskan waktu.

#### 2.4.2 C. Y. Song, Y. W. Park, H. R. Kim, K. Y. Lee, and J Lee (2007)

Penelitian ini berjudul “*The use of Taguchi and approximation methods to optimize the laser hybrid welding of a 5052-H32 aluminium alloy plate*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kondisi pengelasan yang optimal untuk pengelasan *laser hybrid* pada 5052-H32 campuran aluminium. Metode desain parameter Taguchi diaplikasikan untuk menetapkan parameter pengelasan optimal yang dapat meminimalisasi tegangan dan tarikan residual. Hasil diperoleh dari *DoE* dan metode desain parameter Taguchi dengan simulasi pengelasan dibandingkan dengan hasil dari percobaan. Dengan menggunakan data *DoE*, dikonstruksikan model pendekatan seperti metode respon permukaan berdasarkan *polynomial* dan *radial basis function Neural Network*. Dengan menggunakan model pendekatan tersebut, hubungan antara kondisi pengelasan dengan respon *thermo* mekanik dapat dengan mudah diestimasi menurut variasi pada parameter.

#### 2.4.3 Mithat Zeydan (2007)

Penelitian ini berjudul “*Modelling the woven fabric strength using artificial Neural Network and Taguchi methodologies*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memodelkan hubungan multi-linear antara kain, benang, dan parameter kain

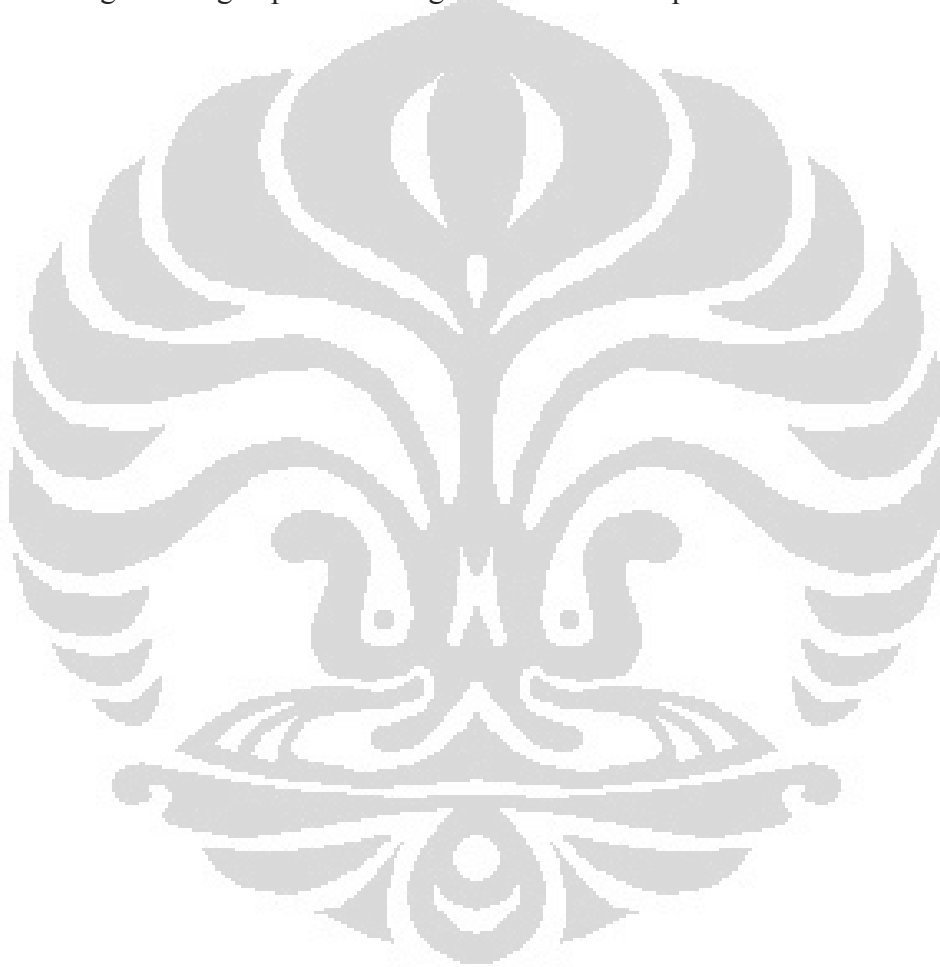


terhadap kekuatan kain menggunakan artificial *Neural Network* dan metode Taguchi *design of experiment* (TDoE). TDoE tersebut diaplikasikan untuk menentukan nilai desain optimum dan kontribusi dari tiap parameternya. Performa kekuatan (*robustness*) dari model diukur dengan akar dari rata-rata *error* kuadrat (*RMSE*). Alat ini akan memungkinkan pengguna untuk memprediksi kekuatan kain dari jumlah *input* yang diberikan. Dan juga menyediakan pengetahuan terkait dengan kontribusi dari kain, benang, dan parameter kain terhadap kekuatan kain. Kain yang dites pada penelitian ini terbuat dari berbagai tipe kain dan *level* maksimum/minimum untuk beberapa kain dan parameter yang terkait dengan benang. Model yang didapat dari TDoE dan ANN lalu dibandingkan dengan percobaan actual. Penemuan pada penelitian ini yaitu model yang berasal dari TDoE dan ANN menghasilkan pendekan yang lebih baik dengan nilai *RSME* yang lebih kecil dibandingkan dengan percobaan actual. Keterbatasan penelitian ini adalah data yang diambil dari pabrik hanya berkaitan dengan *jacquard woven fabric*. Nilai yang didapat adalah pertama, sebelum memulai proses produksi di pabrik, kita dapat dengan mudah memprediksi kekuatan kain *woven* dengan menggunakan faktor yang terdefinisi. Hal ini membuat model tersebut berguna pada fase perencanaan akan kain. Kedua, kontribusi dari faktor yang mempengaruhi kekuatan kain juga ditentukan. Model ANN dalam penelitian ini, membantu insinyur dari departemen perencanaan pada perusahaan dengan memudahkan perencanaan produksi kain tersebut dengan perkiraan kekuatan kain yang bagus sebelum permintaan produksi dilakukan.

#### 2.4.4 Levent Onal, Mithat Zeydan, Mahmut Korkmaz, Sheik Maeran (2009)

Penelitian ini berjudul “*Predicting the Seam Strength of Notched Webbing for Parachute Assemblies Using the Taguchi’s Design of Experiment and Artificial Neural Networks*”. Pada penelitian ini dipelajari efek dari faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan lapisan pada pemasangan parasut dengan metode Taguchi *Design of Experiment* (TDoE) dan *Artificial Neural Network* (ANN). Pada TDoE, faktor-faktor tersebut dibagi menjadi dua *level* dan dipergunakanlah desain *Orthogonal Array*  $L_8$ . Kontribusi dari tiap faktor dianalisa dengan menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) dan metode *signal-to-noise*.

Dari analisa tersebut ditemukankannya faktor-faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan lapisan. Selanjutnya dengan menggunakan *TDoE*, konfigurasi optimal dari *level* faktor tersebut didapatkan. *ANN* digunakan untuk memprediksi kekuatan lapisan dengan faktor yang dijadikan sebagai *input*. Prediksi dari metode *TDoE* dan *ANN* kemudian dibandingkan dengan kekuatan kain dari percobaan aktual. Dan sebagai hasilnya prediksi dengan menggunakan *TDoE-ANN* lebih akurat dilihat dari nilai *RMSE*-nya (*Root Mean Square Error*) dibandingkan dengan prediksi dengan metode *TDoE*-percobaan aktual.



## BAB 3

### PENGUMPULAN DATA

Bab tiga berisikan tentang pengumpulan data-data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini. Data-data yang dibutuhkan antara lain data-data proses produksi industri pembuat kemasan, data-data proses laminasi ekstrusi (mesin EC-3), data-data historis yang berisikan parameter-parameter penyetelan pada mesin EC-3 beserta hasil karakteristik kualitas yang dijaga performanya, dan yang terakhir pembuatan model jaringan syaraf tiruan (*Artificial Neural Network Model*).

#### 3.1 Proses Produksi Industri *Packaging*

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. Kemasan 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 customer, yaitu:

- *OPP (Oriented Poly Propylene)* Film
- PET (Poli Esther)
- Litho Paper
- Aluminium Foil
- Resin *PP*, *PE*, dan Masterbatch

- *Adhesive* (lem)

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

Secara garis besar proses produksi di PT SMPI terdiri dari:

1. *Printing* (pencetakan)

Dalam proses ini terdapat mesin *printing* yang berfungsi untuk mencetak gambar dan tulisan suatu produk pada permukaan fil atau kertas sesuai dengan pesanan customer.

2. *Laminating* (pelapisan)

Proses laminasi ini berfungsi untuk melapisi suatu kemasan berupa film atau kertas yang sudah dicetak pada mesin *printing*. Pada PT SMPI ini, proses laminasi dibagi atas dua jenis :

- a. *Dry laminating*

Adalah proses laminasi yang dilakukan dengan menggunakan *adhesive* (lem) yang dikeringkan dengan *dryer*.

- b. Ekstrusion *Laminating* (Laminasi Ekstrusi)

Adalah proses laminasi yang dilakukan dengan cara mencurahkan resin yang telah dicairkan atau menggunakan *adhesive* untuk laminasi tambahan dari bahan aluminium foil atau litho paper.

3. *Slitting* (pemotongan)

Pada proses ini hasil dari proses laminasi yang berbentuk roll jumbo dipotong menjadi beberapa bagian dengan menggunakan mesin *slitting*. Selain pemotongan, pada mesin ini dilakukan pemeriksaan atau pengecekan kualitas produk hasil proses pencetakan dan laminasi dengan cara mencari bagian bagian yang rusak untuk kemudian diberi tanda untuk dibuang.

4. *Bag Making*

Pada proses ini dilakukan penyekatan (*sealing*), pada sisi tengah (*center sealing*) maupun sisi samping (*side sealing*) dari kemasan yang sudah dicetak dan dilaminasi.

### 3.1.1 Mesin Laminasi Ekstrusi EC-3

Mesin laminasi ekstrusi EC-3 merupakan suatu alat yang sebagian besar menggunakan silinder yang berputar sebagai pengantar benda kerja ke beberapa bagian mesin untuk diproses. Beberapa bagian dari mesin laminasi ekstrusi tersebut antara lain :

1. *Unwinder Unit*

Bagian ini berfungsi untuk menempatkan gulungan kemasan hasil printing yang akan dilaminasi.

2. *Anchor Coating Unit*

Berfungsi untuk melapisi kemasan dengan adhesive dan kemudian dikeringkan. Proses pengeringan ini dilakukan oleh bagian yang disebut Drier Box.

3. *Ekstrusion Unit*

Berfungsi untuk mencairkan resin yang digunakan sebagai bahan pelapis kemasan yang sekaligus sebagai bahan perekat. Resin yang sudah cair ini kemudian keluar melalui bagian yang disebut *T-Die*.

4. *Laminating Unit*

Berfungsi untuk menyatukan hasil printing dengan cairan resin yang dicurahkan dengan bantuan perekat lem (adhesive).

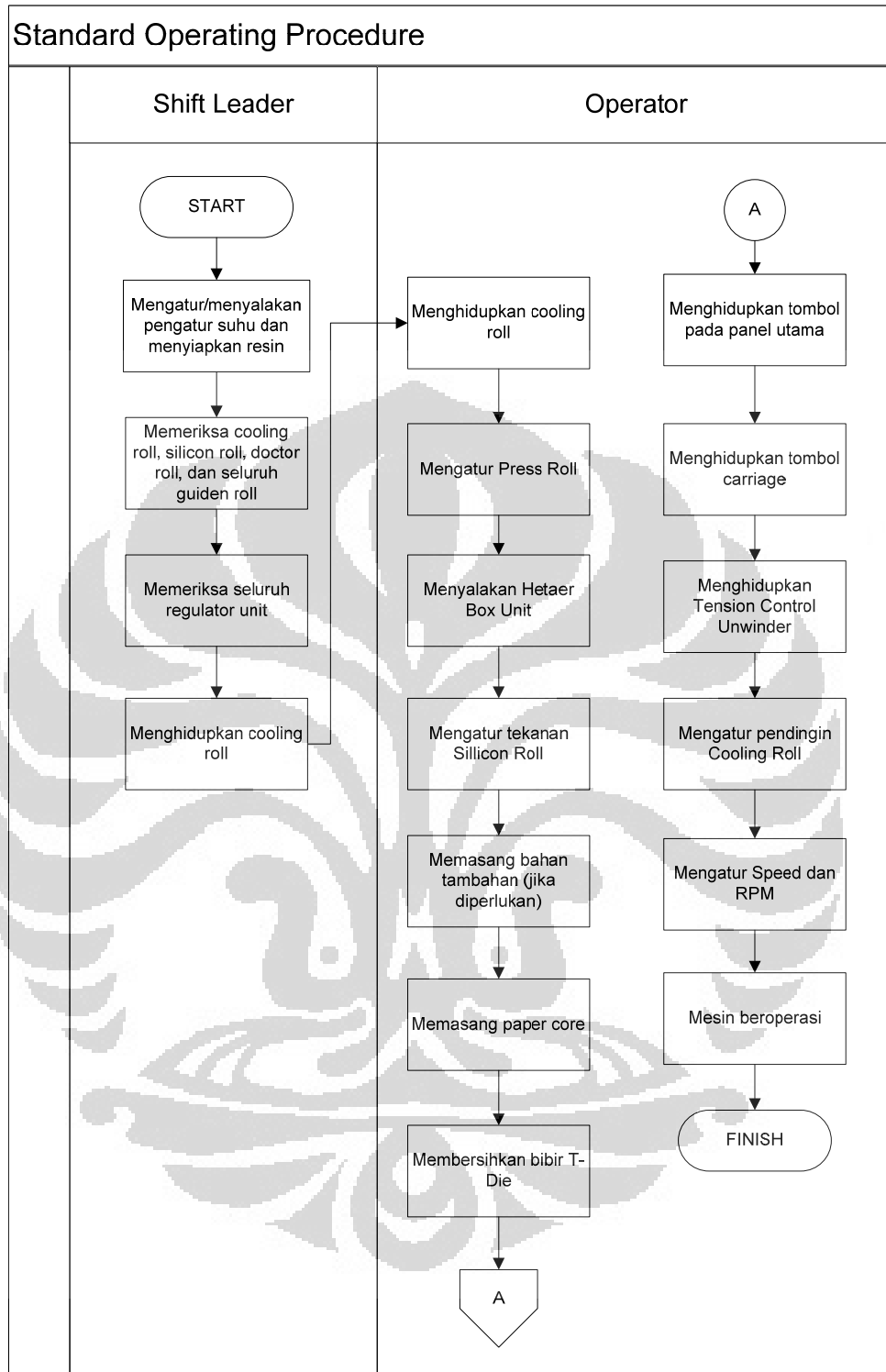
5. *Powder Spray*

Berfungsi untuk menyemprotkan tepung (powder) sebelum hasil laminasi digulung di rewinder unit sehingga gulungan tidak lengket.

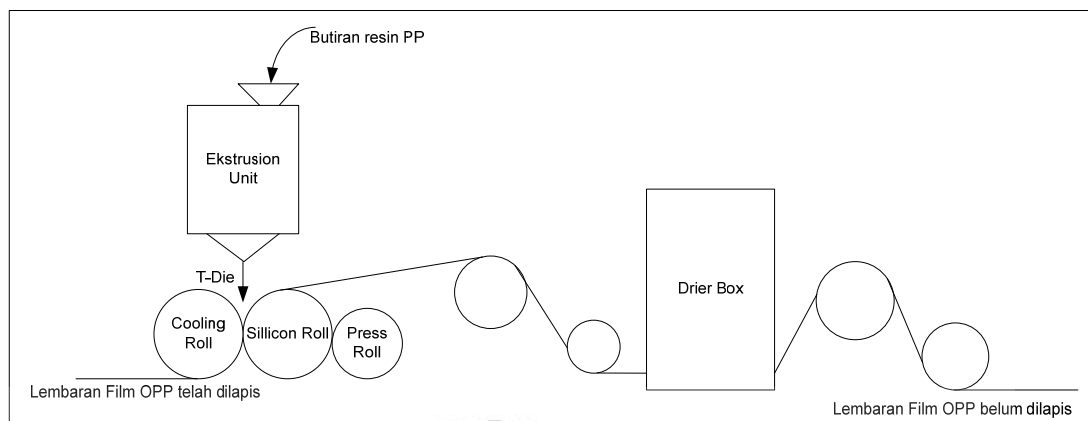
6. *Rewinder Unit*

Berfungsi untuk menggulung kemasan yang telah selesai diproses.

Pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 berikut ini menunjukkan gambar sederhana mesin EC-3 dan SOP instruksi kerja dari mesin EC-3 yang dapat menjelaskan secara lebih lanjut mengenai bagaimana proses mesin EC-3 berjalan.



**Gambar 3.1** Standar Operasi Prosedur Mesin EC-3



**Gambar 3.2** Gambar Sederhana Mesin EC-3

Berdasarkan kedua gambar diatas terlihat bahwa terdapat parameter-parameter penyetelan yang dapat dikendalikan pada bagian-bagian mesin laminasi ekstrusi EC-3. Parameter-parameter tersebut berupa angka-angka yang harus disetel terlebih dahulu seperti temperatur dan tekanan. Parameter-parameter tersebut adalah:

1. Temperatur pengeringan pada ruang pengering (*Drier Box*)
2. Temperatur pemanasan pada silinder ekstruder zone 1-7 (*Ekstrusion Unit*)
3. Temperatur pemanasan pada cetakan (*T-Die*) zona 1-9
4. Kecepatan putar sekrup spiral pada silinder ekstruder (*Ekstrusion Unit*)
5. Kecepatan lembaran film berjalan
6. Tekanan rol silikon dan *press roll* bagian M
7. Tekanan rol silikon dan *press roll* bagian G
8. Tegangan lembaran film *OPP* yang dilaminasi (*Tension Break*)
9. Temperatur pendinginan *cooling roll*

### 3.1.2 Data Jenis Produk

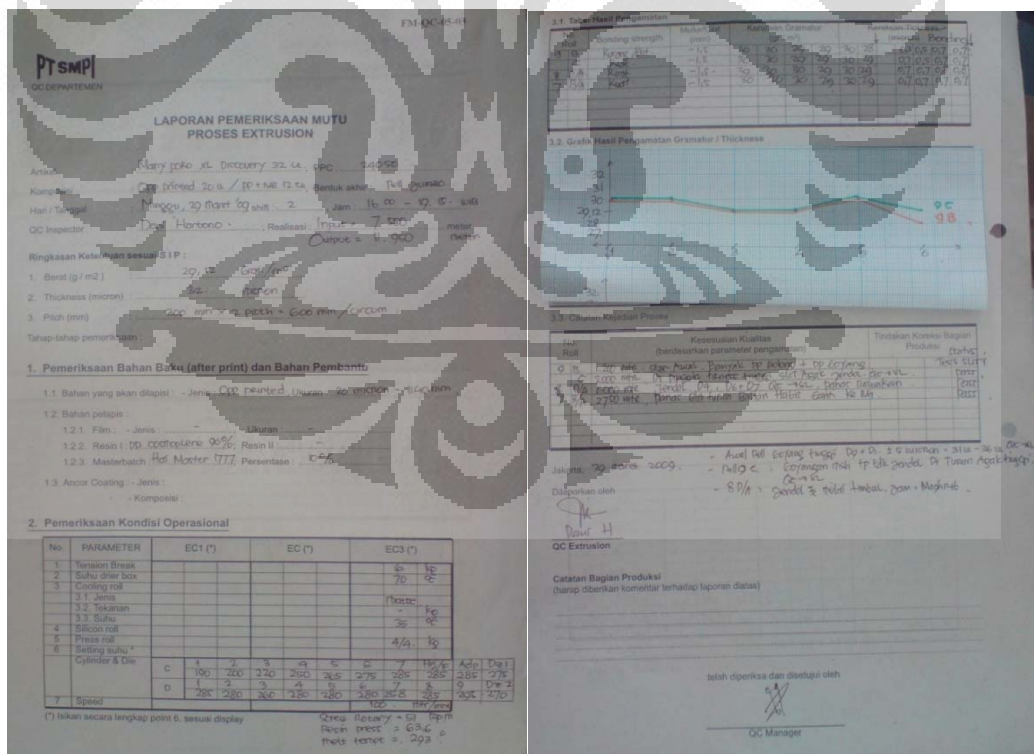
Adapun produk produk kemasan yang dihasilkan oleh perusahaan ini antara lain :

1. kemasan mie instan, seperti : Indomie Soto
2. Kemasan jamu, seperti : beras kencur jamu komplit, jahe wangi komplit, outer jamu komplit sido muncul, dll.
3. Kemasan ice cream, seperti : indo es krim meiji, dll
4. Kemasan snack, seperti : biscuit regal 125 gr, dll

- 5. Kemasan agar agar, seperti : agar agar bintang wallet, agar agar dunia wallet, dll
- 6. Kemasan minuman, seperti : lid cup air mineral, dll.
- 7. Kemasan lain-lain, seperti: Mami Poko Discovery, dll

**3.2 Pengumpulan Data Historis**

Data historis yang dikumpulkan merupakan data dari laporan pemeriksaan mutu yang dibuat oleh departemen *Quality Control* perusahaan. Laporan pemeriksaan mutu adalah laporan yang dibuat pada saat sistem pengendalian kualitas proses sedang berjalan, dan berisi mengenai parameter-parameter penyetelan yang digunakan pada saat proses produksi tersebut, dan juga pengukuran terhadap karakteristik kualitas hasil proses. Pemeriksaan ini dilakukan pada setiap  $\pm 500 - 1000$  m proses berjalan, yang sudah menjadi satu gulungan roll, dengan mengambil sample sebanyak satu putaran silinder ( $\pm 1-2$  m). Contoh laporan pemeriksaan mutu dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 3.3** Laporan Pemeriksaan Mutu



Pengumpulan data historis dibatasi hanya untuk artikel produk Mamy Poko Discovery (warna kuning) ukuran XL, L, dan M, dan Mamy Poko Open (warna biru) dengan ukuran XL, L, M, dan S, dari bulan November 2008 sampai April 2009, dengan struktur material yaitu:

1. Material yang dilapisi adalah material lembaran film *oriented polypropylene* dengan ketebalan 20  $\mu\text{m}$ , berat 18,2  $\text{gr}/\text{mm}^2$ , dan lebar 1010-1140 mm
2. Material pelapisnya adalah resin *polypropylene* merek *cosmoplene* dengan persentase 90% ditambah pewarna merek *Haimaster 1777* dengan persentase 10% dengan total tebal 12  $\mu\text{m}$  dan berat 10,92  $\text{gr}/\text{mm}^2$

Contoh gambar sample artikel produk yang diambil adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.4** Sampel Artikel Produk

Sedangkan karakteristik kualitas yang akan diambil data historisnya untuk diteliti adalah kekuatan ikatan antara kedua lapisan material yang dilaminasi (*bonding strength*).

### 3.2.1 Identifikasi Parameter Penyetelan pada Mesin Laminasi Ekstrusi EC-3

Pada sub bab 3.1.1 telah disebutkan seluruh parameter penyetelan yang terdapat pada mesin laminasi ekstrusi EC-3, namun tidak semuanya berpengaruh terhadap karakteristik kualitas yang diteliti (*Bonding strength*). Untuk

mengidentifikasi parameter penyetelan mana yang berpengaruh terhadap kekuatan ikatan lapisan maka dilakukan wawancara langsung dari ahli proses yang telah berpengalaman pada proses laminasi. Parameter-parameter penyetelan yang diduga mempengaruhi kekuatan ikatan adalah:

1. Temperatur Pengeringan pada *Drier Box*

Suhu *drier box* adalah suhu atau temperatur di dalam ruang pengeringan yang berfungsi untuk mengeringkan lembaran film *OPP* sebelum dilapisi dengan resin *PP*. Pengeringan ini dimaksudkan agar lembaran *OPP* dan resin *PP* dapat melekat lebih kuat, karena jika lembaran film kering maka dapat mengikat dengan lebih kuat dibanding jika terdapat uap air yang masih menempel.



**Gambar 3.5** *Drier Box*

2. Tekanan Roll Silikon dan *Press roll* (bagian M dan G)

Silikon dan *press roll* adalah dua buah roll yang berputar secara berlawanan yang berfungsi sebagai alat penekan lembaran film *OPP* dengan resin *PP* agar dapat melekat kuat, dibantu dengan *cooling roll*. Tekanan roll ini terbagi menjadi dua bagian, bagian M (luar) dan G (dalam). Semakin tinggi tekanan dari roll ini, memungkinkan untuk meningkatkan kekuatan ikatan kedua lembaran, namun dapat menyebabkan roll tersebut semakin aus.



**Gambar 3.6** Rol Silikon dan *Press roll*

3. Temperatur Pendinginan pada *Cooling roll*

*Cooling roll* adalah roll yang berfungsi untuk mendinginkan lembaran film yang baru saja dilapisi oleh resin *PP* agar temperatur lembaran hasil laminasi tidak terlalu panas ketika akan digulung. Selain itu *cooling roll* juga membantu silikon roll untuk menekan lembaran film *OPP* dengan resin *PP*. Semakin rendah temperatur *cooling roll*, maka dapat memungkinkan hasil laminasi menjadi semakin melekat kuat.



**Gambar 3.7** *Cooling roll*

#### 4. Temperatur pada Silinder Ekstruder (C1-C7)

Temperatur pada *ekstrusion* unit (Temperatur C) berfungsi untuk melelehkan butiran-butiran resin *PP* agar dapat menjadi lembaran kental yang dapat menempel dengan lembaran film *OPP*. Temperatur ini terbagi menjadi tujuh bagian yaitu C1 sampai C7 sesuai dengan urutan dari awal butiran resin *PP* masuk ke dalam ekstrusion unit sampai keluar dari mulut *T-Die*, dan memiliki temperatur yang berbeda-beda. Jika temperatur C terlalu tinggi, maka resin *PP* tidak dapat menyatu dengan baik, namun jika terlalu rendah, lapisan resin *PP* dapat mudah mengelupas.



**Gambar 3.8** *Ekstrusion Unit*

#### 5. Temperatur pada *T-Die* (D1-D9)

Temperatur pada *T-Die* (Temperatur D) berfungsi untuk menurunkan lelehan resin *PP* hasil dari mesin ekstrusi dan mengatur ketebalan dari turunnya lelehan tersebut. Semakin tinggi temperatur D, resin *PP* semakin tebal yang turun, sehingga dapat memungkinkan lapisan melekat semakin kuat. Namun jika temperatur semakin tinggi, dapat menyebabkan kerenggangan *T-Die* menjadi aus. Temperatur D terbagi menjadi 9 yaitu D1 sampai D9, berurutan dari *T-Die* bagian dalam sampai bagian luar.



**Gambar 3.9** Cetakan *T-Die*

Dari data-data historis yang telah dikumpulkan didapatkan analisa statistik deskriptif untuk setiap parameter penyetelan sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Statistik Deskriptif Parameter Penyetelan

STATISTIK DESKRIPTIF	SUHU DRIER BOX	SUHU COOLING ROLL	TEKANAN SILICON/PRESS ROLL M	TEKANAN SILICON/PRESS ROLL G
MEAN	65,14877301	34,65214724	4,770705521	4,71303681
STANDARD DEVIASI	4,362697804	1,752105161	0,586549801	0,676894493
VARIASI	19,03313213	3,069872494	0,344040669	0,458186155
MODUS	65	34	5	5
MINIMUM	45	25	3	3
MAXIMUM	72	38	6	5,5

STATISTIK DESKRIPTIF	TEMPERATUR SILINDER EKSTRUDER							TEMPERATUR T-DIE								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
MEAN	191,1	201,1	228,5	252,9	264,7	274,3	283,2	281,4	281,3	277	278,8	278,3	278,6	270,9	283,2	286,8
STANDARD DEVIASI	2,481	4,802	12,68	6,917	4,386	3,29	2,736	2,758	3,574	5,647	4,086	4,532	5,426	8,322	4,355	5,682
VARIASI	6,157	23,06	160,7	47,85	19,24	10,82	7,485	7,608	12,77	31,89	16,69	20,54	29,44	69,26	18,96	32,29
MODUS	190	200	220	250	260	275	285	280	280	280	280	280	280	280	280	285
MINIMUM	190	199	200	240	259	270	275	275	272	259	265	264	262	250	270	270
MAXIMUM	200	250	255	265	275	285	286	288	296	286	287	290	289	295	298	302

(Sumber: data historis PT SMPI yang telah diolah)

### 3.2.2 Data Historis Karakteristik Kualitas

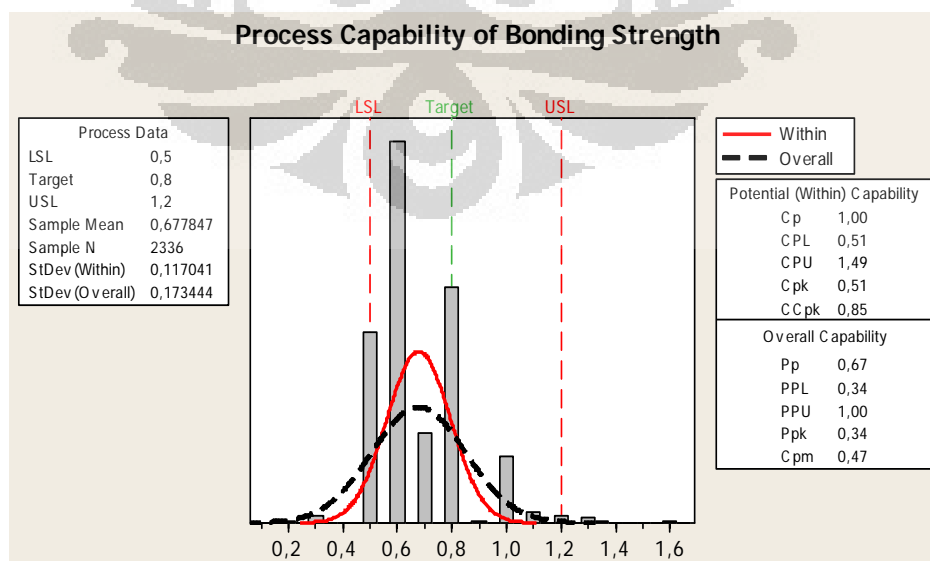
Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya karakteristik kualitas yang akan diteliti adalah kekuatan ikatan atau *bonding strength*. Pada laporan

pemeriksaan mutu, kekuatan ikatan didapatkan dari sampel sebanyak satu putaran silinder ( $\pm 1-2m$ ) lalu diambil potongan pada daerah tertentu (sesuai pada standar prosedur pemeriksaan mutu) dengan lebar 15 mm sebanyak 4 potongan yang kemudian masing-masing diuji kekuatan ikatan laminasinya berdasarkan standar ASTM E4/DIN 511221 dengan alat yang disebut *Load Transducer* merek *Hounsfield*, tipe U4000. Jadi, untuk setiap sampel produksi terdapat empat angka *bonding strength* dari empat daerah berbeda.



**Gambar 3.10** *Load Transducer*

Untuk menganalisa data historis kekuatan ikatan yang telah dikumpulkan, digunakan sebuah grafik kapabilitas proses yang dapat dilihat dibawah ini:



**Gambar 3.11** Kapabilitas Proses (Kekuatan Ikatan)

### 3.3 Taguchi Desain Eksperimen

Desain eksperimen dimulai dengan membuat desain parameter yang dibutuhkan untuk mengukur karakteristik performa kualitas (dalam hal ini kekuatan ikatan hasil laminasi atau *bonding strength*) yang diinginkan sesuai dengan tujuan eksperimen. Seperti yang telah diketahui pada bab terdahulu, penelitian yang dilakukan di PT SMPI ini adalah untuk menentukan desain penyetelan parameter proses laminasi ekstrusi untuk meminimumkan variasi dan menggeser nilai rata-rata dari karakteristik performa kualitas ke arah yang lebih tinggi, karena semakin tinggi nilai kekuatan ikatan, semakin bagus kualitasnya.

#### 3.1.1 Penentuan Faktor dan *Level*

Dari keseluruhan parameter penyetelan proses yang dapat dikendalikan, disusun suatu setting faktor-faktor eksperimen yaitu parameter proses yang berpengaruh pada variasi kekuatan ikatan saja yang diketahui berdasarkan informasi dari ahli proses yang telah berpengalaman pada proses ini di pabrik tempat dilakukannya penelitian. Desain eksperimen faktor-faktor yang dapat dikontrol untuk proses laminasi ekstrusi pada mesin EC-3 ini direncanakan menggunakan tiga *level*. Dimana *level 1* adalah nilai yang lebih rendah dari nilai keadaan normal proses, *level 2* adalah nilai keadaan normal proses sesuai prosedur pengoperasian yang telah ditetapkan pabrik (SOP), dan *level 3* adalah nilai yang lebih tinggi dari nilai keadaan normal proses

*Setting* faktor-faktor kontrol dalam eksperimen yang akan dilakukan dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 3.2** Faktor Terkendali

FAKTOR SETTING	LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3
A Suhu Drier Box (°C)	45	65	72
B Suhu Cooling Roll (°C)	25	34	38
C Tekanan Silicon/Press Roll G (Kg.f/cm <sup>2</sup> )	3	5	6
D Tekanan Silicon/Press Roll M (Kg.f/cm <sup>2</sup> )	3	5	5,5
E Temperatur C Zone 1 (°C)	190	195	200
F Temperatur C Zone 2 (°C)	199	220	250
G Temperatur C Zone 3 (°C)	200	230	255
H Temperatur C Zone 4 (°C)	240	255	265
I Temperatur C Zone 5 (°C)	260	270	275
J Temperatur C Zone 6 (°C)	270	280	285
K Temperatur C Zone 7 (°C)	275	280	286
L Temperatur T-Die Zone 1 (°C)	275	280	288
M Temperatur T-Die Zone 2 (°C)	272	280	296
N Temperatur T-Die Zone 3 (°C)	259	280	286
O Temperatur T-Die Zone 4 (°C)	265	280	287
P Temperatur T-Die Zone 5 (°C)	264	280	290
Q Temperatur T-Die Zone 6 (°C)	262	280	289
R Temperatur T-Die Zone 7 (°C)	250	280	295
S Temperatur T-Die Zone 8 (°C)	276	280	298
T Temperatur T-Die Zone 9 (°C)	270	280	302

Untuk mengamati gangguan yang ada, maka penelitian ini mempertimbangkan parameter yang merupakan faktor-faktor gangguan seperti temperatur ruangan, dan kelembaban ruangan yang tidak bisa dikontrol, serta faktor-faktor lain yang tidak nampak. Untuk itu, desain parameter mencakup proses produksi pada setiap shift, yaitu shift I (08:00-16:00), shift II (16:00-24:00), dan shift III (00:00-08:00). Dimana pada siang hari biasanya temperature ruangan lebih tinggi dan kelembaban lebih rendah, sebaliknya jika malam hari temperatur ruangan lebih tinggi dan kelembaban juga lebih tinggi.

*Setting* faktor-faktor pengganggu dalam eksperimen yang akan dilakukan dapat dilihat pada tabel berikut:



**Tabel 3.3** Faktor Pengganggu

Noise Factor	Level 1	Level 2	Level 3
Work Shift	Shift 1	Shift 2	Shift 3

### 3.1.2 Desain *Orthogonal Array*

Parameter penyetelan yang digunakan sebagai faktor yang dapat dikendalikan berjumlah 20 faktor dengan tiga *level* untuk setiap faktornya. Jika kita menggunakan DOE dengan metode full factorial maka jumlah eksperimen yang dibutuhkan adalah jumlah *level* dipangkatkan dengan jumlah faktor, yaitu 3486784401 eksperimen. Namun, jika menggunakan Metode Taguchi maka jumlah eksperimen yang harus dilakukan menjadi jauh lebih sedikit.

Jenis *Orthogonal Array* yang akan dipakai pada penelitian ini ditentukan berdasarkan jumlah faktor yang dikendalikan dan juga *level*-nya. Adapun OA yang cocok dengan persyaratan tersebut adalah  $L'_{27}$  yang termasuk dalam kategori *extended Orthogonal Array* atau disebut juga *partially orthogonal*, dimana OA ini memiliki dua puluh tujuh kali eksperimen dengan 22 (dua puluh dua) faktor dan 3 (tiga) tingkat pengujian/*level*. Desain  $L'_{27}$  dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

Tabel 3.4 Desain *Orthogonal Array*

Experiment Number	INNER ARRAY (L27)																					
	Control Factor Assignment and Column Number																					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	2	2	2	2	2	2	
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	2	2	2	3	3	3	1	1	
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	3	3	3	1	1	1	3	3	
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	3	1	2	3	1	
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	1	2	3	1	2	2	3	
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	3	1	
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	2	3	
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	1	2	3	2	3	
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	1	2	3	1	2	3	1	2	
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	1	
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	2	3	1	3	1	2	1	2	
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1	2	
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	1	3	1	3	2	2	1	
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	2	1	
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	2	1	3	3	2	1	1	3	
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	3	2	1	1	3	2	3	2	
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	1	3	
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	1	3	2	1	3	2	1	3	
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	1	3	2	2	1	3	2	1	
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	1	3	2	3	2	1	3	2	

(Sumber: Taguchi's Quality Engineering Handbook, 2005)

Desain eksperimen pada penelitian ini juga mempertimbangkan faktor-faktor pengganggu seperti yang sudah disebutkan sebelumnya. Penugasan faktor-faktor terkendali dilakukan didalam *inner array*, dan untuk faktor-faktor pengganggu didalam *outer array*. Jika ditambah dengan tiga *level* dari faktor pengganggu, maka bentuk dari *OA* menjadi seperti pada gambar dibawah ini:

Tabel 3.5 Desain Inner dan Outer Array

Experiment Number	INNER ARRAY (L27)																					OUTER ARRAY (ONE WAY LAYOUT)		
	Control Factor Assignment and Column Number																					Noise Factor Assignment		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Bonding Strength (N/mm)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	N1	N2	N3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1		
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2		
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	2	2	2	2	2	2		
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	2	2	2	3	3	3	1	1	1		
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3		
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3		
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	3	3	3	1	1	1	3	3	3		
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2		
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	3	1	2	3	1	2		
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	1	2	3	1	2	2	3	1		
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2		
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1		
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	1	2	3	2	3	1		
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	1	2		
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3		
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1	2	3		
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	1	3	1	3	2	2	1	3		
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3		
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	2	1	3	3	2	1	1	3	2		
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	3	2	1	1	3	2	3	2	1		
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	1	3	2		
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2		
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1		
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	1	3	2	2	1	3	2	1	3		
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	1	3	2	3	2	1	3	2	1		

### 3.4 Model Jaringan Syaraf Tiruan

#### 3.4.1 Data Historis untuk Proses Pembelajaran

Pada penelitian ini, untuk melakukan pendekatan metode *Neural Network* digunakan kumpulan data historis. Data historis ini digunakan untuk melatih sebuah model tiruan *Neural Network* agar dapat memodelkan proses produksi yang sebenarnya. Model tiruan *Neural Network* dilatih untuk mempelajari hubungan antara parameter-parameter penyetelan pada proses laminasi sebagai *input* dengan karakteristik kualitas sebagai *ouput* (kekuatan ikatan hasil proses laminasi).

Dari data historis yang telah dikumpulkan, terdapat sebanyak 652 set data yang lengkap nilai-nilai *input* dan *output*nya sesuai dengan proses laminasi yang diteliti. Setiap satu set data tersebut mencakup 21 data *input* dan 1 data *output*. Jenis data-data *input* dan *output* tersebut dapat dilihat pada tabel-tabel berikut:

**Tabel 3.6** Daftar *Input* untuk Model Tiruan

PARAMETER SETTING (INPUT)		JENIS DATA
1	Suhu Drier Box (°C)	continuous
2	Suhu Cooling Roll (°C)	continuous
3	Tekanan Silicon/Press Roll M (Kg.f/cm <sup>2</sup> )	continuous
4	Tekanan Silicon/Press Roll G (Kg.f/cm <sup>2</sup> )	continuous
5	Cylinder Die Temeperatur (°C)	1
6		2
7		3
8		4
9		5
10		6
11		7
12		8
13		9
14	T-Die Temeperatur (°C)	1
15		2
16		3
17		4
18		5
19		6
20		7
21	Work Shift (1, 2, 3)	categorical

**Tabel 3.7** Daftar *Output* untuk Model Tiruan

KARAKTERISTIK KUALITAS	JENIS DATA
Bonding Strength (N/mm)	continuous

Hasil data historis selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 1.

### 3.4.2 Desain Model Jaringan Syaraf Tiruan dan Proses Pembelajaran

Struktur jaringan yang digunakan pada penelitian ini adalah *Multilayer Perceptron (MLP)*. *MLP* terdiri dari lebih dari satu lapisan *neuron* atau elemen proses. Seluruh *output* pada setiap lapisan terhubung dengan seluruh *input* pada lapisan selanjutnya. 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. Lapisan

yang ada diantara kedua lapisan tersebut adalah lapisan tersembunyi (*Hidden layer*).

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.

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.

Proses pembelajaran *Neural Network* pada penelitian ini dilakukan dibantu dengan sebuah alat perangkat lunak (*software*) yaitu *NNpred (Neural Network Prediction)*. Software ini adalah *Microsoft Office Excel* yang menggunakan *macros Visual Basic*, sehingga dapat melakukan seluruh penghitungan yang diperlukan pada saat proses pembelajaran, termasuk *error* yang dihasilkan model tiruan.

Langkah awal dalam menggunakan alat perangkat lunak ini adalah memasukkan seluruh data dan jenisnya ke dalam tabel *user input* yang telah tersedia. Dilanjutkan dengan memilih struktur jaringan, parameter-parameter proses pembelajaran, dan parameter yang dibutuhkan lainnya di dalam tabel data. Setelah semua kolom pada tabel-tabel tersebut terisi, maka model dapat dibuat dan nilai *error* dapat diketahui.

Var Type	Cont	Cont	Cont	Cont	Cont	Cont	Cont	Cont	Cont
Var Name	DstIazBox	CoolingRoll	PressureM	PressureG	C1	C2	C3	C4	C5
	65	29	4,5	4,3	195	200	250	260	265
	65	29	4,5	4,3	195	200	250	260	265
	65	29	4,5	4,3	195	200	250	260	265
	60	25	4,5	4	195	200	250	260	275
	60	25	4,5	4	195	200	250	260	275
	60	25	4,5	4	195	200	250	260	275
	60	32	4,5	5	195	200	250	260	275
	60	32	4,5	5	195	200	250	260	275
	60	32	4,5	5	195	200	250	260	275
	60	32	4,5	5	195	200	250	260	275
	60	32	4,5	5	195	200	250	260	275
	60	35	4	4	190	200	220	250	260
	60	35	4	4	190	200	220	250	260
	60	35	4	4	190	200	220	250	260
	60	34	4	4	190	200	250	260	270
	60	34	4	4	190	200	250	260	270
	60	34	4	4	190	200	250	260	270
	60	34	4	4	190	200	250	260	270
	60	34	4	4	190	200	250	260	270
	65	30	4	5	200	210	250	260	270
	65	30	4	5	200	210	250	260	270
	65	37	5	5	200	210	250	260	270
	66	35	5	5	200	210	250	260	270
	66	35	5	5	200	210	250	260	270
	66	35	5	5	200	210	250	260	270
	66	35	5	5	200	210	250	260	270

Gambar 3.12 User Input pada NNpred

#### Network Architecture Options

Number of Inputs (between 2 and 50)

21

Number of Outputs (between 1 and 10)

4

Number of Hidden Layers (1 or 2)

1

Hidden Layer sizes (Maximum 20)

Hidden 1: 10  
Hidden 2: 10

Learning parameter (between 0 and 1)

0,4

Initial Wt Range (0 +/- w): w =

0,5

Momentum (between 0 and 1)

0,8

#### Training Options

Total #rows in your data (Minimum 10)

652

No. of Training cycles (Maximum 500)

500

Present Inputs in Random order while Training?

NO

Training Mode (Batch or Sequential)

Sequential

#### Save Network weights

With least Training Error

#### Training / Validation Set

Partition data into Training / Validation set

Build Model

If you want to partition, how do you want to select the Validation set?

Please choose one option

1

Option 1: Randomly select

10%

of data as Validation set (between 1% and 50%)

Please fill up the input necessary for the selected option

Option 2: Use last

5

rows of the data as validation set

Save model in a separate workbook?

NO

Gambar 3.13 Data pada NNpred

Dalam tabel data, terdapat parameter-parameter proses pembelajaran dan struktur jaringan yang harus ditentukan terlebih dahulu sesuai dengan aturan-aturan dari software ini dan juga literatur. Pengertian dari masing-masing parameter ini adalah sebagai berikut:

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.

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, atau sesuai dengan *error* proses pembelajaran yang terkecil.
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.

### 3.4.3 Pemilihan Model Jaringan Syaraf Tiruan

Setelah seluruh parameter terisi, maka proses pembelajaran dapat dimulai untuk membangun model tiruan sesuai dengan struktur jaringan dan parameter yang telah dipilih. Jika ternyata hasil *error* dari model tiruan yang telah dibuat masih terlalu besar, maka proses pembelajaran harus dilakukan kembali dengan menggunakan struktur dan parameter-parameter yang berbeda, begitu seterusnya sampai didapatkan *error* yang cukup kecil yang paling memungkinkan. Pemilihan struktur jaringan dan parameter-parameternya dilakukan berdasarkan proses *trial and error* dan juga dibantu dengan referensi dari literatur-literatur yang ada.

Setelah lebih dari seratus kali percobaan (*trial*) dilakukan, dipilih satu model tiruan *Neural Network* yang memiliki nilai *error* akhir terkecil. Model tiruan yang terpilih ini memiliki struktur jaringan dan parameter-parameter proses pembelajaran sebagai berikut:

1. Terdapat 21 data *input* yang terdiri dari 20 data *continuous* dan satu data *categorical*
2. Terdapat satu data output yang berupa data *continuous*
3. Terdapat satu lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dengan jumlah elemen proses sebanyak 8 *neuron*
4. Nilai awal pembobot yang digunakan adalah 0,5



5. *Learning parameter* yang digunakan adalah 0,3
6. Jumlah set data yang digunakan sebanyak 652 set data
7. Jumlah iterasi yang digunakan sebanyak 200 siklus
8. Jenis *training* yang digunakan adalah *sequential*
9. Pemilihan bobot akhir berdasarkan hasil *error* proses validasi yang terkecil
10. Dari 652 set data yang digunakan dalam proses pembelajaran, 90% dipilih secara acak untuk pembelajaran model dan 10% untuk validasi model

**Network Architecture Options**

Number of Inputs (between 2 and 50)	<input type="text" value="21"/>	Number of Outputs (between 1 and 10)	<input type="text" value="1"/>
Number of Hidden Layers (1 or 2)	<input type="text" value="1"/>	Hidden Layer sizes (Maximum 20)	Hidden 1: <input type="text" value="8"/> Hidden 2: <input type="text" value="2"/>
Learning parameter (between 0 and 1)	<input type="text" value="0,3"/>	Initial Wt Range (0 +/- w): w =	<input type="text" value="0,5"/>
Momentum (between 0 and 1)	<input type="text" value="0"/>		

**Training Options**

Total #rows in your data (Minimum 10)	<input type="text" value="652"/>	No. of Training cycles (Maximum 500)	<input type="text" value="200"/>
Present Inputs in Random order while Training ?	<input type="text" value="no"/>	Training Mode (Batch or Sequential)	<input type="text" value="Sequential"/>

**Save Network weights**

**Training / Validation Set**

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

Please fill up the input necessary for the selected option

Option 1 : Randomly select	<input type="text" value="10%"/>	of data as Validation set (between 1% and 50%)
Option 2: Use last	<input type="text" value="5"/>	rows of the data as validation set

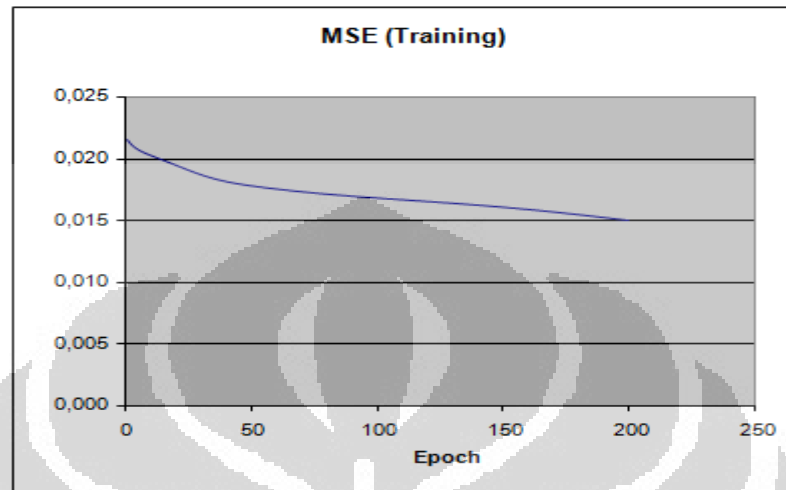
**Save model in a separate workbook?**

**Gambar 3.14** Data untuk Model Tiruan

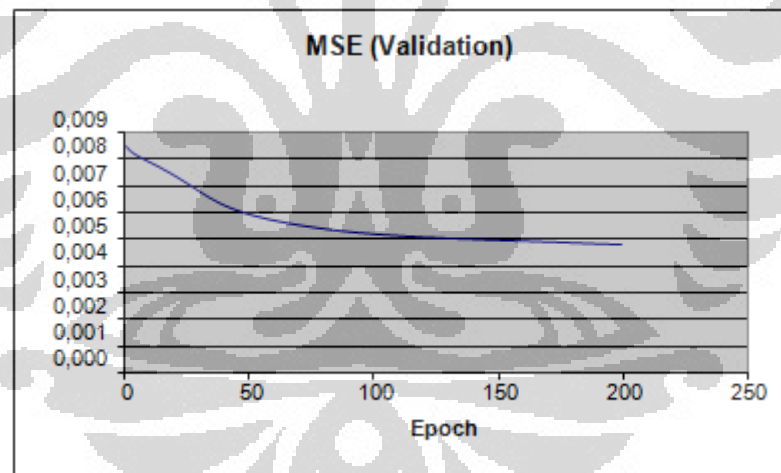
Model tiruan ini memiliki hasil *error* proses *training* dan *validation* yang terkecil dibandingkan dengan model-model tiruan yang lainnya. *Error* ini yang akan digunakan untuk memprediksi hasil *output* yang dapat menggantikan eksperimen aktual pada saat pengolahan data nanti. *NNpred* menghasilkan dua jenis *error* baik untuk proses pembelajaran dan validasi, yaitu:

1. *MSE (Mean Squared Error)*: Perbedaan kuadrat antara *output* aktual dengan yang diprediksi
2. *ARE (Absolute Relative Error)*: Nilai absolut dari  $[(\text{output aktual} - \text{output prediksi})/\text{output aktual}]$

*Error* pada setiap iterasi untuk kedua proses ini dapat dilihat di lembar *output* di *NNpred* dalam bentuk tabel dan juga grafik. Grafik *error* untuk model tiruan yang telah dipilih adalah sebagai berikut.



**Gambar 3.15** Grafik *Error* untuk Proses *Training*

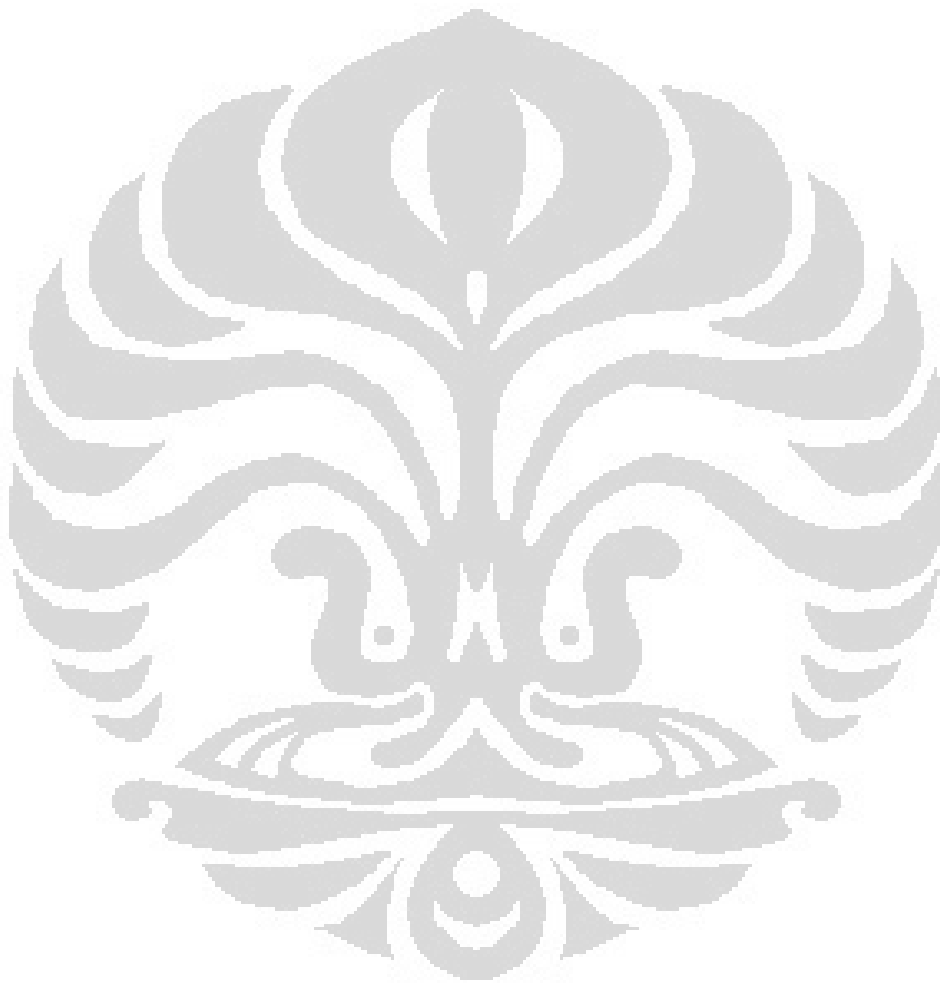


**Gambar 3.16** Grafik *Error* untuk Proses *Validasi*

Sedangkan untuk tabel *error* setiap iterasi dapat dilihat pada lampiran 2. Jadi, hasil *error* untuk model tiruan ini secara ringkas adalah sebagai berikut.

Tabel 3.8 *Error Akhir Model Tiruan*

Avg. error per Input (Original Scale) (Training Set)		Avg. error per Input (Original Scale) (Validation Set)	
MSE	ARE	MSE	ARE
0,015016806	0,146162391	0,004826328	0,089307666

(Sumber: Hasil Olahan *NNpred Software*)

## BAB 4

### PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

Bab empat berisikan tentang pengolahan data yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini, dan juga analisa yang dilakukan berdasarkan hasil pengolahan data tersebut. Pengolahan data dilakukan berdasarkan metode Taguchi desain parameter dengan menggunakan *Pareto ANOVA* dan *Main Effects Plot*, yang kemudian akan dianalisa untuk mendapatkan hasil usulan desain penyetelan parameter-parameter yang optimal pada mesin laminasi ekstrusi EC-3.

#### 4.1 Pengolahan Data

##### 4.1.1 Pengolahan Data Desain Eksperimen dengan Model Tiruan

Dalam penelitian ini desain eksperimen Taguchi dilakukan tanpa melaksanakan eksperimen aktual pada proses produksi. Eksperimen aktual digantikan dengan prediksi oleh model jaringan syaraf tiruan yang telah didapatkan sebelumnya. Setelah proses pembelajaran selesai, dalam *software Neural Network Prediction (NNpred)*, terdapat lembar *calc* yang dapat digunakan untuk menghitung prediksi hasil output (karakteristik kualitas) dari angka-angka input (parameter-parameter penyetelan) yang dimasukkan ke dalam model tiruan. Lembar ini memberikan informasi angka pembobot akhir pada setiap penghubung antar *neuron* yang disimpan oleh model. Lembar tersebut dapat dilihat dibawah ini.

Neural Network Model for Prediction

MSE(Training) 0.016 MSE(Validation) 0.0048

Number of Hidden Layers 1

Layer Sizes 20 8 0 1

True Output (if available) #N/A

Model (Predicted) Output #N/A

ABS((Tru - Predicted) / Tru) #N/A

Raw Input

Transformed Input

	Bias	DrieBox	CoolingRoll	Pres9	PresM	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	WorkShift	Cat	
Bias	1																							
Hdn1_bias	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Hdn1_Nim1	0.1030	0.4822	0.0473	-0.0490	-0.3794	-0.6061	-0.5640	0.3669	-0.2486	-0.3559	-0.0118	0.1796	0.0056	-0.9602	-0.7240	-0.5330	-0.0964	0.6008	-1.5642	-0.3917	-0.1485	0.0433	0.6229	-0.5863
Hdn1_Nim2	-0.9173	0.1990	-0.3630	-0.1935	-0.4234	-0.4237	-0.3337	-0.0059	-0.2784	-0.0796	0.2700	-0.3503	-0.1364	0.4003	0.0918	-0.2188	-0.4184	0.4170	-0.0920	-0.2082	0.1349	0.0980	0.3929	0.2728
Hdn1_Nim3	-0.2048	0.1131	-0.0789	-0.1482	-0.1727	-0.0401	0.3362	-0.3242	-0.3542	0.3088	0.2277	-0.0896	-0.0177	0.1853	0.0600	-0.0506	0.2517	-0.5441	-0.3146	-0.1516	-0.3472	0.2936	-0.3423	-0.4302
Hdn1_Nim4	-0.1864	-0.3897	-0.9330	-0.0948	-0.4234	-0.2763	-0.3886	0.0194	-0.3037	-0.8101	-0.8923	0.0816	0.9681	0.7081	-0.1691	-0.4800	-0.4878	0.0569	0.8057	0.0480	0.6228	-0.2361	0.4222	-0.7953
Hdn1_Nim5	-0.8104	0.2818	-0.4746	-0.0389	0.8024	-0.3347	-0.1070	0.2176	-0.6831	0.6713	0.4333	-0.3330	-0.9687	0.9149	-1.6531	0.7210	-0.0212	0.4137	0.3809	-0.9131	-0.3748	-0.3491	-0.2832	0.2859
Hdn1_Nim6	-0.6697	-0.1630	0.1914	-0.2966	-0.1691	-0.4363	-0.3144	-0.7557	0.2290	0.1221	0.2751	-0.2233	0.5208	-0.4896	-0.0394	-0.0290	0.3663	0.3120	-0.2543	-0.4091	-0.0227	0.2695	-0.2673	-0.3200
Hdn1_Nim7	0.1988	0.1683	0.1307	-0.8071	-0.6624	-0.3888	0.3794	0.1701	-0.6315	0.3188	-0.1769	-0.0833	-1.1590	-0.1072	-0.3257	0.1272	-0.0147	-0.3222	-0.1231	0.1011	0.2475	0.0168	-0.2361	-0.0428
Hdn1_Nim8	0.4168	-0.2343	0.6192	0.7003	-0.0548	-0.2885	-0.3807	0.0918	0.4408	-0.2847	-0.3708	0.1992	0.1699	-1.3581	1.0225	-0.4684	0.5915	0.1152	-1.0639	-0.3967	-0.0215	-0.0388	-0.0016	0.3083
Op_bias	1.0000	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Op_Nm1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	-0.0455	-1.4229	0.0101	0.1221	1.2994	1.6110	-0.9537	0.4038	-1.4937	#N/A														
	1.0000	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A

Gambar 4.1 Lembar Calc pada NNpred

Dengan menggunakan model ini, nilai karakteristik kualitas (*bonding strength*) yang dibutuhkan dalam desain eksperimen Taguchi (tabel *Orthogonal Array*) didapatkan tanpa eksperimen aktual. Baris pada *inner array* tabel *Orthogonal Array L'27* menandakan adanya 27 kombinasi *level* dari parameter penyetelan yang harus dimasukkan ke dalam model tiruan tersebut, sehingga dapat dihasilkan nilai kekuatan ikatan untuk setiap faktor pengganggu pada *outer array*. Setelah melakukan eksperimen sesuai tabel *Orthogonal Array*, maka didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.1 Nilai Karakteristik Kualitas Hasil Eksperimen

Experiment Number	INNER ARRAY (L27)																						OUTER ARRAY (ONE WAY LAYOUT)		
	Control Factor Assignment and Column Number																						Noise Factor Assignment		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Bonding Strength (N/mm)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	N1	N2	N3	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	0,6516	0,6583	0,6245
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	0,8313	0,8592	0,8213
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1,0801	1,0676	1,0409
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	2	2	2	3	3	3	1	1	1	0,7360	0,8243	0,7574
5	1	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	0,8695	0,8079	0,8104
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5550	0,4973	0,5186
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	0,5384	0,5432	0,5315
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	3	3	3	1	1	1	3	3	3	0,5790	0,6594	0,6247
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	0,4441	0,3824	0,4167
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	3	1	2	3	1	2	1,1514	1,0817	1,0895
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	1	2	3	1	2	2	3	1	0,4070	0,3736	0,3817
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	0,6379	0,6785	0,6709
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	0,7844	0,7268	0,7368
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	1	2	3	2	3	1	0,7765	0,8420	0,8096
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	1	2	3	1	2	3	1	2	3	0,5866	0,5082	0,5397
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	1	2	0,7398	0,7613	0,7321
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	1,0055	0,8466	0,9034
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1	2	3	0,7618	0,7662	0,7461
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	1	3	1	3	2	2	1	3	0,7596	0,8047	0,7670
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	0,8334	0,8166	0,8051
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	2	1	3	3	2	1	1	3	2	0,3934	0,3527	0,3662
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	3	2	1	1	3	2	3	2	1	0,8219	0,8278	0,8145
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	1	3	2	0,4862	0,4357	0,4535
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1,2438	1,2217	1,2217
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	0,5978	0,6012	0,6137
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	1	3	2	2	1	3	2	1	3	0,5500	0,4270	0,4627
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	1	3	2	3	2	1	3	2	1	0,7451	0,6585	0,6694

#### 4.1.2 Perhitungan *Signal to Noise Ratio* dan Nilai Rata-Rata

Selanjutnya setelah seluruh nilai karakteristik kualitas untuk kedua puluh tujuh eksperimen didapat, nilai-nilai tersebut akan dikonversikan ke dalam bilangan *Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)* sesuai dengan jenis optimasi yang dibutuhkan. Optimasi dapat dicapai ketika nilai kekuatan ikatan hasil laminasi semakin tinggi, oleh karena itu digunakan jenis optimasi *Larger The Better*. Untuk optimasi jenis ini, rumus *S/N Ratio* yang digunakan adalah sebagai berikut (Park, 1996, hal 22-23).

$$S/N \text{ Ratio} = - 10 \times \log [\text{MSD}]$$

$$\text{MSD} / \text{Mean-Squared Deviation} = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

Dimana:

$y_i$  = Nilai hasil pengamatan ke- $i$ . Disini ke-1 berarti N1, ke-2 berarti N2, dan ke-3 berarti N3

$n$  = pengulangan pengamatan pada faktor pengganggu. Disini  $n = 3$ , yaitu N1, N2, dan N3

Dengan menggunakan rumus tersebut, maka nilai *S/N Ratio* untuk tiap eksperimen dapat dihitung. Hasilnya ada pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.2** Nilai *S/N Ratio* dan Rata-Rata Tiap Hasil Eksperimen

Experiment Number	Bonding Strength (N/mm)			Total (Ti)	Mean ( $\bar{y}_i$ )	MSD	SN = -10 log (MSD)
	N1	N2	N3				
1	0,6516	0,6583	0,6245	1,9344	0,644804408	2,408947623	-3,818273573
2	0,8313	0,8592	0,8213	2,5118	0,837263644	1,428061948	-1,547470472
3	1,0801	1,0676	1,0409	3,1886	1,062870736	0,885830772	0,526492375
4	0,7360	0,8243	0,7574	2,3178	0,772597113	1,686863891	-2,270800417
5	0,8695	0,8079	0,8104	2,4878	0,829262869	1,459167262	-1,641050772
6	0,5550	0,4973	0,5186	1,5710	0,523650517	3,669143944	-5,645647499
7	0,5384	0,5432	0,5315	1,6131	0,537715661	3,459374866	-5,389976257
8	0,5790	0,6594	0,6247	1,8632	0,62105637	2,614881107	-4,174519473
9	0,4441	0,3824	0,4167	1,2431	0,414370832	5,890132575	-7,7012507
10	1,1514	1,0817	1,0895	3,3226	1,107524191	0,817152518	0,876968765
11	0,4070	0,3736	0,3817	1,1623	0,387446335	6,68782117	-8,252846517
12	0,6379	0,6785	0,6709	1,9873	0,662425827	2,283848172	-3,586672291
13	0,7844	0,7268	0,7368	2,2479	0,749308352	1,786911247	-2,521029824
14	0,7765	0,8420	0,8096	2,4281	0,809368384	1,531557227	-1,851332289
15	0,5866	0,5082	0,5397	1,6345	0,54484392	3,403611732	-5,31940012
16	0,7398	0,7613	0,7321	2,2332	0,744396817	1,806124348	-2,567476473
17	1,0055	0,8466	0,9034	2,7555	0,918489689	1,203241482	-0,803527958
18	0,7618	0,7662	0,7461	2,2741	0,75802636	1,74100911	-2,408010435
19	0,7596	0,8047	0,7670	2,3313	0,777104359	1,659065701	-2,19863585
20	0,8334	0,8166	0,8051	2,4551	0,818350778	1,49410906	-1,743822992
21	0,3934	0,3527	0,3662	1,1122	0,370724679	7,320728364	-8,645542926
22	0,8219	0,8278	0,8145	2,4642	0,821407128	1,482314811	-1,70940448
23	0,4862	0,4357	0,4535	1,3754	0,458481235	4,786560577	-6,800235596
24	1,2488	1,2217	1,2217	3,6922	1,230740082	0,660399396	1,801933327
25	0,5978	0,6012	0,6137	1,8127	0,604225686	2,740100239	-4,377664506
26	0,5500	0,4270	0,4627	1,4397	0,479905102	4,486832896	-6,519398954
27	0,7451	0,6585	0,6694	2,0730	0,691001549	2,113005974	-3,249007249
TOTAL					19,17736262		-91,53760316
RATA-RATA					0,71027269		-3,390281598

#### 4.1.3 Pembentukan *Pareto ANOVA*

Setelah mendapatkan nilai *S/N Ratio* pada setiap eksperimen dalam *Orthogonal Array*, maka selanjutnya dihitung kontribusi setiap faktor kontrol terhadap nilai total *S/N Ratio* dan terhadap nilai rata-rata kekuatan ikatan dengan menggunakan *Pareto ANOVA*. Hal ini dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian

ini, yaitu mengetahui parameter-parameter penyetelan yang berkontribusi terhadap *S/N Ratio* atau mengetahui ketidaksensitifan parameter-parameter ini terhadap perubahan dan gangguan, dan juga terhadap nilai rata-rata atau untuk mengetahui sensitifitas parameter-parameter ini terhadap kekuatan ikatan.

#### 4.1.3.1 *Pareto ANOVA* untuk *S/N Ratio*

Untuk menghitung kontribusi setiap parameter terhadap *S/N Ratio*, diperlukan perhitungan jumlah total *S/N Ratio* untuk masing-masing *level* pada setiap parameter. *S/N Ratio* dari masing-masing *level* pada setiap parameter tersebut kemudian dihitung selisih kuadratnya. Selisih kuadrat dari tiga *level* didapatkan dengan rumus sebagai berikut (Park, 1996, hal 134):

$$\text{Selisih Kuadrat untuk parameter A } (S_A) = (A_1 - A_2)^2 + (A_1 - A_3)^2 + (A_2 - A_3)^2$$

Dari selisih kuadrat inilah didapatkan persen kontribusi tiap faktor terhadap total *S/N Ratio*. Persen Kontribusi ini didapatkan dengan rumus sebagai berikut (Park, 1996, hal 135):

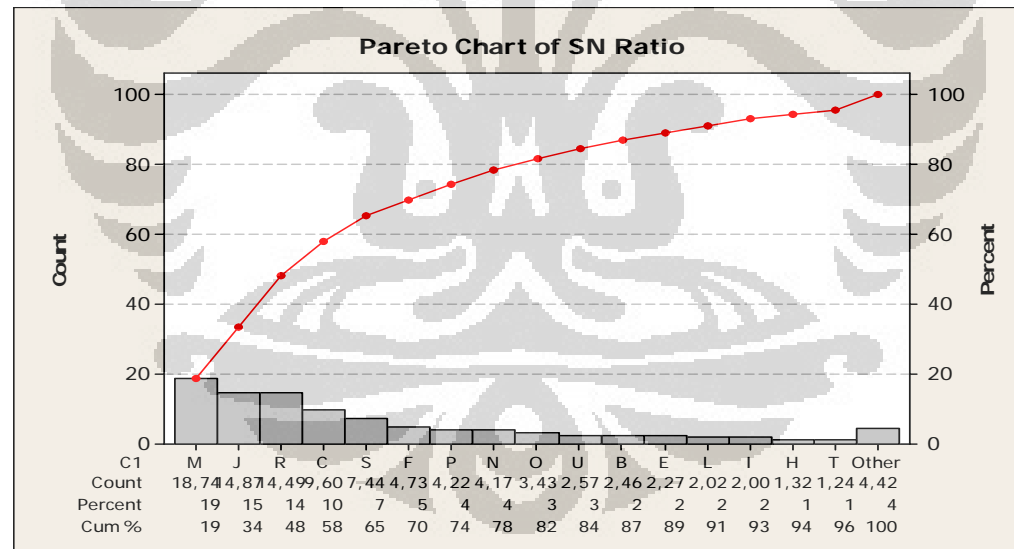
$$\text{Persen Kontribusi untuk parameter A} = [(S_A / \emptyset) / \text{Total } (S / \emptyset)] \times 100\%$$

Dimana,  $\emptyset$  adalah derajat kebebasan. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel *ANOVA* dibawah ini, yang dilengkapi dengan grafik *Pareto* untuk menggambarkan peringkat dari kontribusi tiap faktor.



Tabel 4.3 Pareto ANOVA untuk S/N Ratio

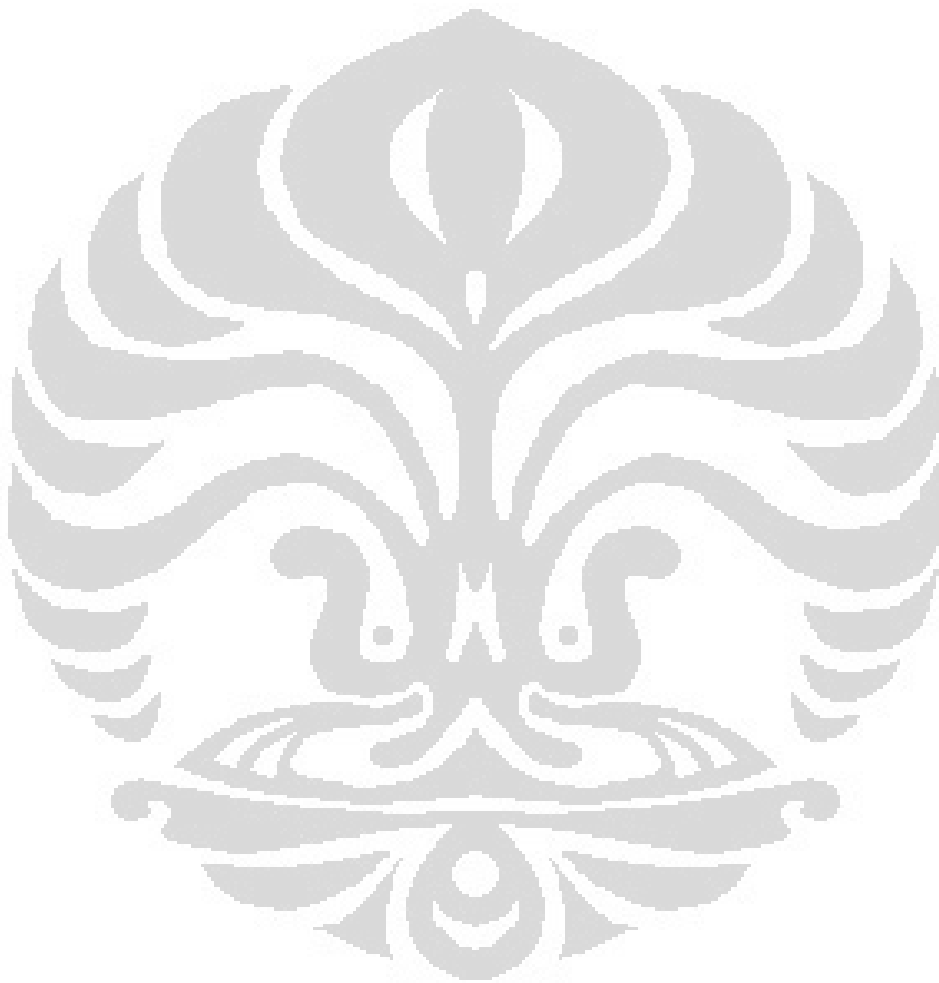
PARAMETER	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Total	
Sum at Factor Level	1	-31,662	-28,39	-17,326	-28,677	-23,976	-37,857	-32,479	-25,801	-28,346	-46,644	-28,791	-24,391	-46,175	-21,69	-36,23	-22,236	-30,385	-43,398	-38,656	-33,91	-27,474	-33,696	
	2	-26,433	-25,957	-34,666	-27,925	-33,334	-21,667	-26,963	-31,404	-36,589	-26,441	-33,042	-32,84	-31,742	-35,806	-32,579	-37,576	-33,876	-33,078	-18,967	-31,809	-26,589	-27,643	-2013,8
	3	-33,442	-37,191	-39,546	-34,936	-34,227	-32,014	-32,095	-34,333	-26,603	-18,453	-29,704	-34,306	-13,621	-34,041	-22,729	-31,726	-27,277	-15,062	-33,914	-25,819	-37,475	-30,198	
Sum Square of diff (S)	79,6285	209,577	818,197	88,9014	193,447	403,287	56,923	112,79	170,712	1266,7	30,0523	171,836	1596,44	354,928	292,611	359,596	65,383	1234,01	633,553	105,756	219,29	55,3979	8519	
DOF ( $\emptyset$ )	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
S/ $\emptyset$	39,8142	104,788	409,098	44,4507	96,7235	201,644	28,4615	56,3952	85,3558	633,348	15,0261	85,918	798,219	177,464	146,305	179,798	32,6915	617,007	316,776	52,8782	109,645	27,699	4259,5	
Contribution Ratio (%)	0,93471	2,4601	9,60436	1,04356	2,27077	4,73396	0,66819	1,32398	2,00389	14,869	0,35277	2,01709	18,7397	4,16631	3,4348	4,2211	0,7675	14,4854	7,43693	1,24142	2,57413	0,65029		



Gambar 4.2 Diagram Pareto untuk S/N Ratio

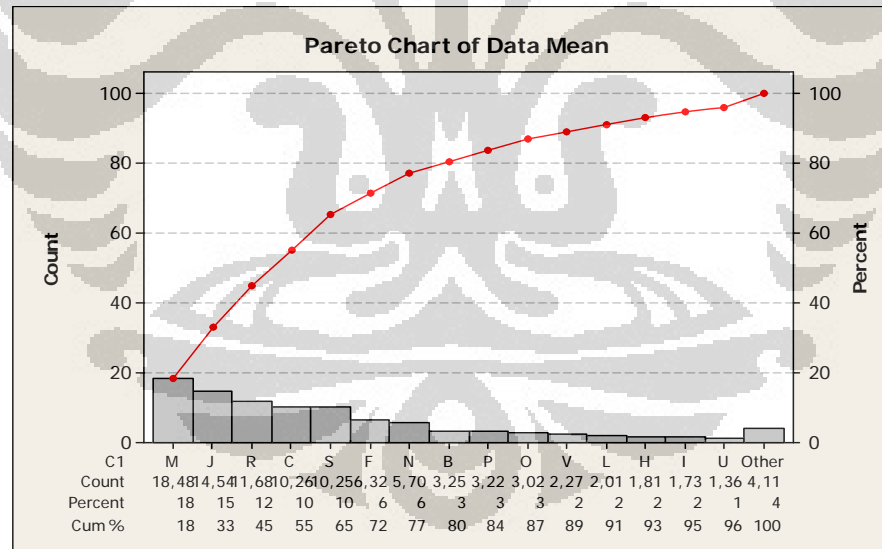
#### 4.1.3.2 *Pareto ANOVA* Untuk Nilai Rata-Rata Kekuatan Ikatan

Perhitungan persen kontribusi tiap parameter terhadap nilai rata-rata kekuatan ikatan dilakukan sama seperti perhitungan untuk *S/N Ratio*. Namun, perhitungan total tiap *level* yang dilakukan adalah terhadap jumlah total rata-rata (*mean*) kekuatan ikatan untuk masing-masing *level* pada tiap parameter. Tabel *ANOVA* dan grafik *Pareto* dapat dilihat bawah ini.



**Tabel 4.4 Pareto ANOVA untuk Nilai Rata-Rata Kekuatan Ikatan**

FACTOR		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	TOTAL
Sum at Factor Level	1	6,24359	6,66851	7,47648	6,42359	6,75908	5,67715	6,36289	6,84812	6,33646	5,11772	6,48994	6,87198	5,23716	7,21911	5,97574	6,98628	6,40497	5,51515	5,69089	6,22236	6,53076	6,003809	
	2	6,68183	6,73966	6,05804	6,5126	6,15962	7,18128	6,45562	6,24977	6,02852	6,72817	6,22863	6,24559	6,15544	5,94899	6,2246	5,93423	6,03973	6,14211	7,4881	6,33599	6,6525	6,888798	402,725
	3	6,25194	5,76919	5,64284	6,24117	6,25865	6,31893	6,35886	6,07947	6,81238	7,33147	6,45878	6,0598	7,78476	6,00926	6,97703	6,25686	6,73266	7,52011	5,99837	6,61902	5,9941	6,284755	
Sum Square of diff (S)		0,37693	1,75567	5,54659	0,11488	0,61959	3,41793	0,01798	0,97784	0,93576	7,85816	0,12222	1,08652	9,98817	3,08055	1,63066	1,74295	0,72093	6,31181	5,54383	0,25035	0,7363	1,227003	98,0626
DOF (∅)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
S/∅		0,18846	0,87783	2,77329	0,05744	0,30979	1,70896	0,00899	0,48892	0,46788	3,92908	0,06111	0,54326	4,99408	1,54027	0,81533	0,87148	0,36046	3,15591	2,77191	0,12518	0,36815	0,613502	27,0313
Contribution (%)		0,6972	3,24747	10,2596	0,21249	1,14606	6,32216	0,03325	1,80872	1,73088	14,5353	0,22608	2,00975	18,4752	5,69811	3,01624	3,22395	1,3335	11,675	10,2545	0,46308	1,36195	2,269597	



**Gambar 4.3 Diagram Pareto untuk Nilai Rata-Rata Kekuatan Ikatan**

#### 4.1.4 Pembentukan *Main Effects Plot*

Tujuan akhir dari penelitian ini adalah memberikan usulan desain penyetelan parameter yang optimal atau tidak sensitif terhadap gangguan dan menggeser nilai rata-rata kekuatan ikatan menjadi lebih tinggi, untuk itu diperlukan penentuan *level-level* yang optimal pada setiap parameter.

Untuk menentukan *level* yang optimal pada setiap parameter, ditentukan dari nilai rata-rata *S/N Ratio* yang paling tinggi diantara *level-level* tersebut, atau dapat juga ditentukan dari nilai rata-rata kekuatan ikatan yang paling tinggi. Untuk menganalisa *level* yang paling optimal tersebut digunakan grafik *Main Effects Plot*.

##### 4.1.4.1 *Main Effects Plot* untuk *S/N Ratio*

Untuk membuat *Main Effects Plot*, diperlukan perhitungan nilai rata-rata *S/N Ratio* pada masing-masing *level* dari setiap parameter. Nilai rata-rata *S/N Ratio* dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Park, 1996, hal 132).

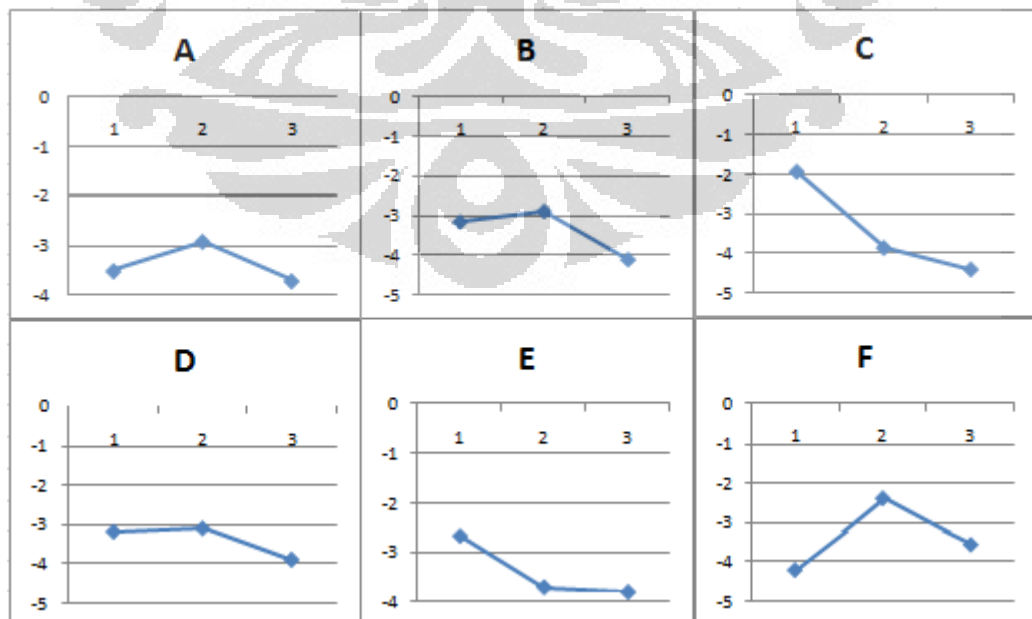
$$\text{Rata-rata } S/N \text{ Ratio untuk } A_1 = \frac{\text{Sum } S/N \text{ Ratio at Parameter Level } A_1}{\text{Number of Experiment with } A_1}$$

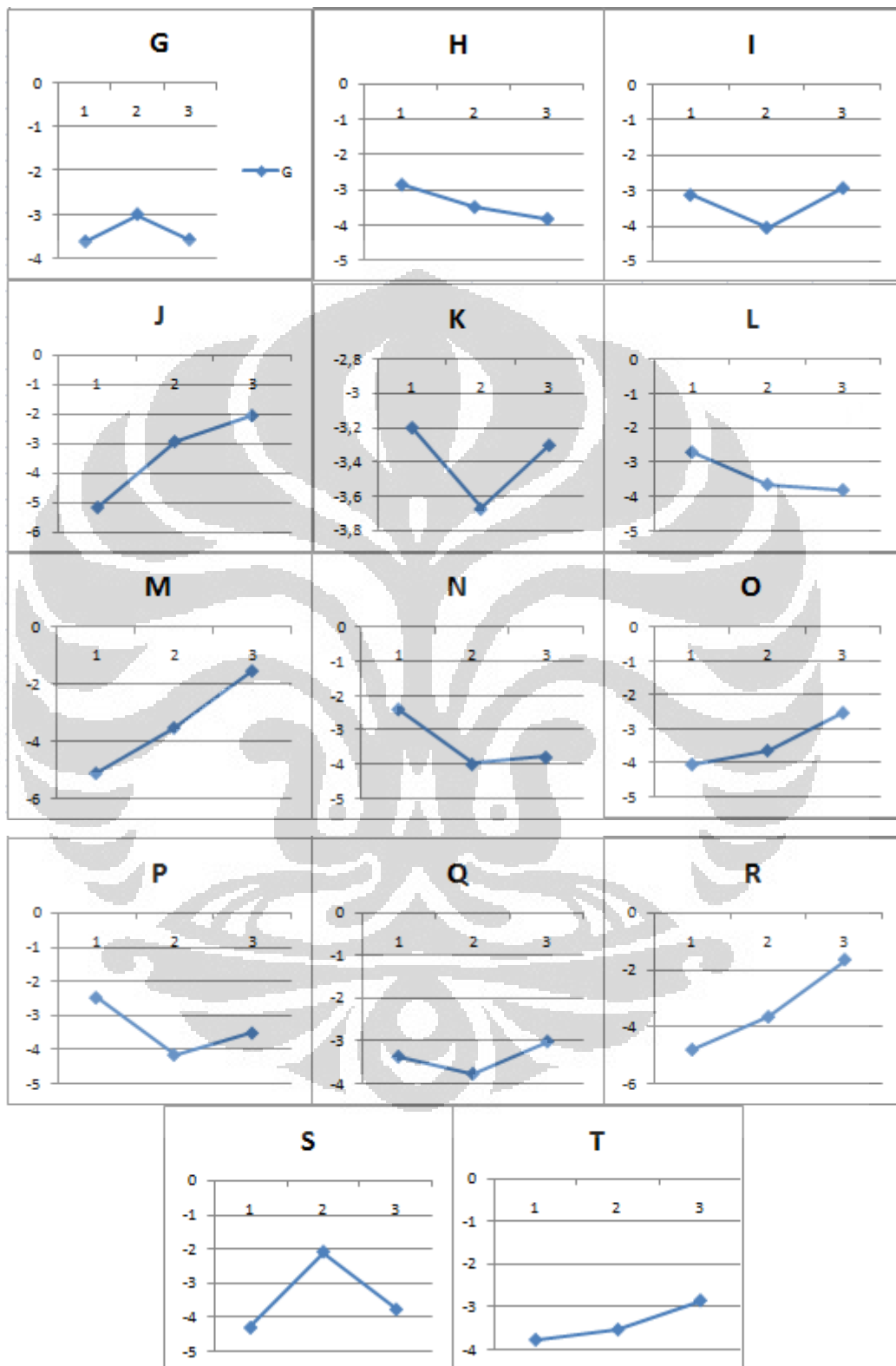
Dengan rumus tersebut, didapatkan rata-rata *S/N Ratio* untuk seluruh *level* dari setiap parameter. Hasilnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.5** Rata-Rata *S/N Ratio* untuk tiap Parameter *Level*

FACTOR	LEVEL		
	1	2	3
A	-3,5181	-2,9370	-3,7158
B	-3,1544	-2,8841	-4,1323
C	-1,9251	-3,8518	-4,3939
D	-3,1863	-3,1027	-3,8818
E	-2,6640	-3,7038	-3,8030
F	-4,2063	-2,4075	-3,5571
G	-3,6088	-2,9959	-3,5662
H	-2,8667	-3,4893	-3,8148
I	-3,1496	-4,0654	-2,9558
J	-5,1826	-2,9379	-2,0503
K	-3,1990	-3,6714	-3,3005
L	-2,7102	-3,6489	-3,8118
M	-5,1305	-3,5269	-1,5134
N	-2,4100	-3,9785	-3,7824
O	-4,0255	-3,6199	-2,5255
P	-2,4707	-4,1751	-3,5251
Q	-3,3761	-3,7640	-3,0308
R	-4,8220	-3,6753	-1,6735
S	-4,2951	-2,1075	-3,7682
T	-3,7677	-3,5344	-2,8688

Untuk menggambarkan nilai rata-rata *S/N Ratio* tiap parameter secara grafis sehingga lebih mudah dalam menganalisa level optimum, dapat dilihat pada grafik-grafik *Main Effects Plot* dibawah ini.

**Gambar 4.4** *Main Effects Plot S/N Ratio* Untuk Parameter A-F



Gambar 4.5 Main Effects Plot S/N Ratio Untuk Parameter G-T

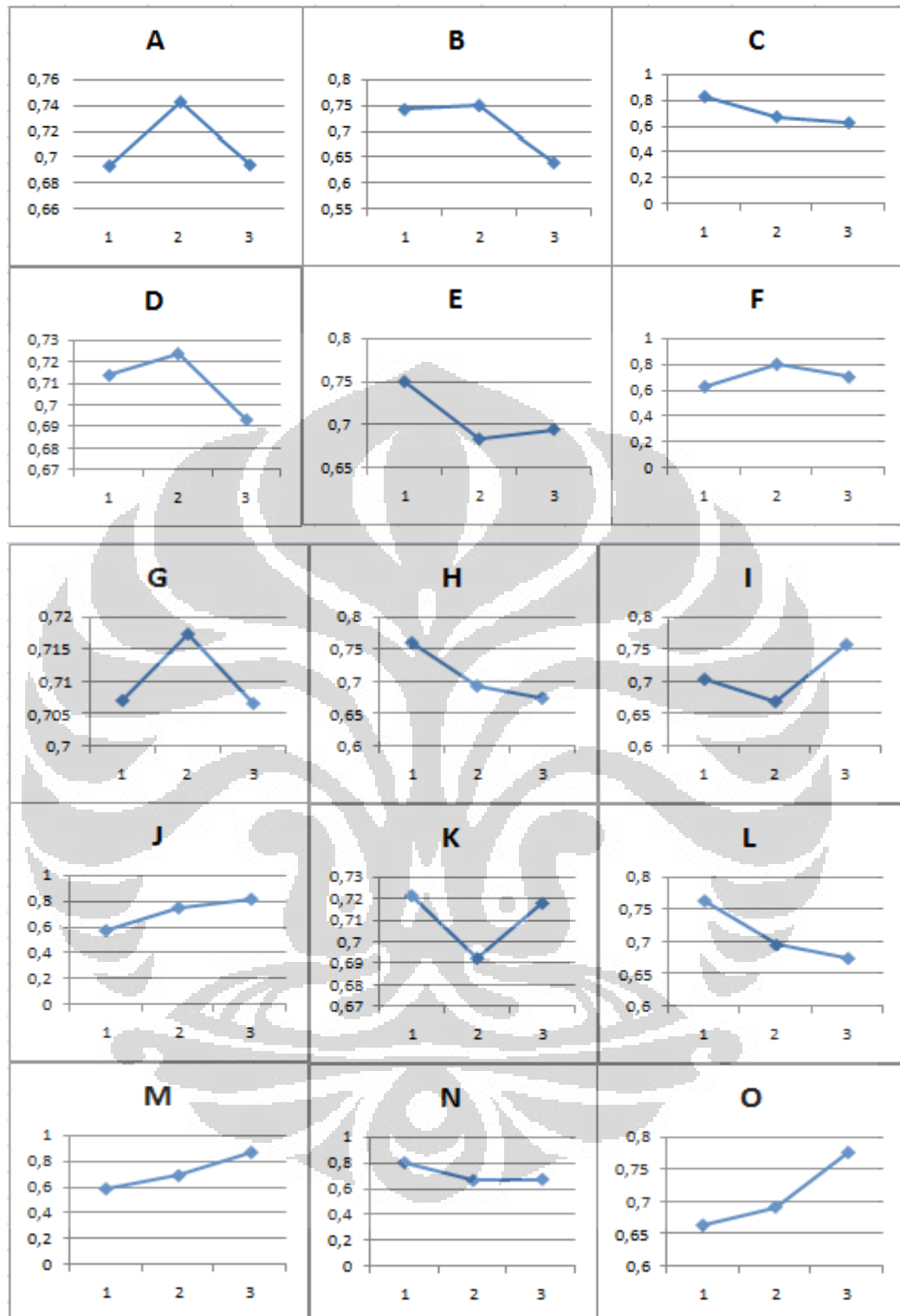
#### 4.1.4.2 Main Effects Plot untuk Nilai Rata-Rata Kekuatan Ikatan

Perhitungan dan cara yang digunakan untuk membuat *Main Effects Plot* nilai rata-rata kekuatan ikatan sama seperti untuk *S/N Ratio*, namun nilai rata-rata *S/N Ratio* diganti dengan nilai rata-rata kekuatan ikatan dari masing-masing *level* pada tiap parameter. Hasilnya dapat dilihat dibawah ini.

**Tabel 4.6** Rata-Rata Kekuatan Ikatan untuk Tiap Parameter *Level*

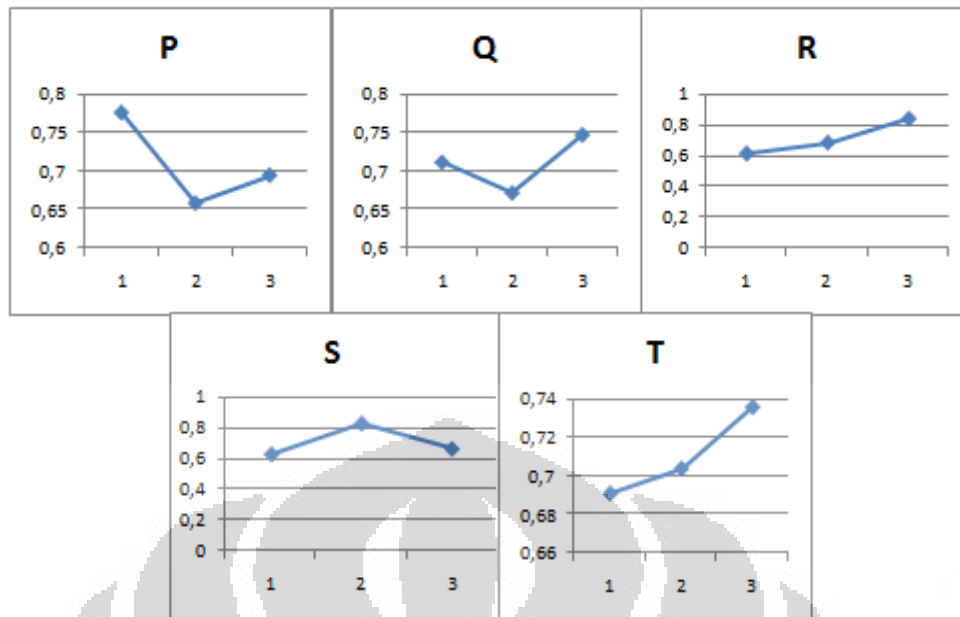
FACTOR	LEVEL		
	1	2	3
A	0,693732	0,742426	0,69466
B	0,740946	0,748851	0,641021
C	0,83072	0,673115	0,626983
D	0,713732	0,723623	0,693463
E	0,751009	0,684403	0,695406
F	0,630794	0,79792	0,702104
G	0,706988	0,717291	0,70654
H	0,760902	0,694419	0,675497
I	0,704051	0,669836	0,756931
J	0,568636	0,747575	0,814607
K	0,721105	0,69207	0,717643
L	0,763553	0,693954	0,673311
M	0,581907	0,683938	0,864973
N	0,802123	0,660999	0,667696
O	0,663971	0,691622	0,775225
P	0,776253	0,659359	0,695206
Q	0,711663	0,671082	0,748073
R	0,612794	0,682456	0,835567
S	0,632321	0,832011	0,666486
T	0,691373	0,703999	0,735446

Untuk menggambarkan rata-rata nilai kekuatan ikatan tiap parameter secara grafis, dapat dilihat pada grafik-grafik *Main Effects Plot* untuk tiap parameter dibawah ini.



**Gambar 4.6** *Main Effects Plot* untuk Rata-Rata Kekuatan Ikatan untuk Parameter A sampai O





**Gambar 4.7** *Main Effects Plot* untuk Rata-Rata Kekuatan Ikatan untuk Parameter P sampai T

## 4.2 Analisa

### 4.2.1 Analisa *Pareto ANOVA*

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, *Pareto ANOVA* digunakan untuk mengetahui signifikansi kontribusi dari setiap parameter terhadap *S/N Ratio* dan juga nilai rata-rata kekuatan ikatan.

#### 4.2.1.1 Analisa *Pareto ANOVA* untuk *S/N Ratio*

Dari pengolahan data yang telah dilakukan, diketahui parameter-parameter yang berkontribusi terhadap peningkatan *S/N Ratio*, yaitu parameter-parameter yang tidak sensitif terhadap perubahan atau gangguan yang menyebabkan variasi. Dapat dilihat dari tabel *ANOVA*, persen kontribusi didapatkan dari selisih nilai *S/N Ratio* untuk masing-masing *level* pada setiap parameter. Selisih ini menunjukkan efek perubahan yang diberikan masing-masing *level* dari tiap parameter terhadap peningkatan *S/N Ratio* (Semakin tinggi nilai *S/N Ratio*, semakin kecil pengaruh variasi pada keadaan suatu *level* parameter tersebut). Semakin besar efek yang diberikan berarti parameter tersebut signifikan berkontribusi terhadap peningkatan *S/N Ratio* keseluruhan.

Pada grafik *Pareto* dapat dilihat kumulatif persen kontribusi dari seluruh parameter penyetelan. Parameter yang dianggap signifikan kontribusinya (memiliki efek terbesar terhadap *S/N Ratio*) dipilih dari sisi sebelah kiri yang mana berkontribusi kumulatif sekitar 90%. Parameter-parameter tersebut secara berurutan adalah:

1. Temperatur *T-Die Zone 2* (M)
2. Temperatur *Cylinder Zone 6* (J)
3. Temperatur *T-Die Zone 7* (R)
4. Tekanan *Silicon/Press Roll G* (C)
5. Temperatur *T-Die Zone 8* (S)
6. Temperatur *Cylinder Zone 2* (F)
7. Temperatur *T-Die Zone 5* (P)
8. Temperatur *T-Die Zone 3* (N)
9. Temperatur *T-Die Zone 4* (O)
10. Suhu *Cooling Roll* (B)
11. Temperatur *Cylinder Zone 1* (E)
12. Temperatur *T-Die Zone 1* (L)

Dapat disimpulkan bahwa, untuk meningkatkan *S/N Ratio* atau meminimalkan variasi yang berasal dari faktor pengganggu, maka diperlukan penyetelan optimal pada parameter-parameter tersebut yang signifikan berkontribusi terhadap nilai *S/N Ratio*. Sedangkan untuk parameter-parameter yang tidak disebutkan diatas dianggap parameter yang tidak signifikan berkontribusi terhadap nilai *S/N Ratio*.

#### 4.2.1.2 Analisa *Pareto ANOVA* untuk Nilai Rata-Rata Kekuatan Ikatan

Untuk menghitung persen kontribusi tiap parameter terhadap nilai rata-rata kekuatan ikatan adalah dengan menggunakan rumus yang sama dengan yang digunakan untuk menghitung persen kontribusi terhadap *S/N Ratio*. Parameter-parameter yang berkontribusi terhadap nilai rata-rata kekuatan ikatan berarti parameter-parameter tersebut memberikan efek kepada peningkatan performa nilai kekuatan ikatan (Semakin besar nilai rata-rata kekuatan ikatan, semakin baik kualitas hasil laminasi). Semakin besar efek perubahan yang diberikan oleh

masing-masing *level* dari suatu parameter berarti parameter tersebut secara signifikan berkontribusi terhadap peningkatan nilai rata-rata kekuatan ikatan atau parameter tersebut semakin sensitif terhadap nilai kekuatan ikatan.

Parameter yang dianggap signifikan kontribusinya (memiliki efek terbesar terhadap nilai rata-rata kekuatan) dipilih dari sisi sebelah kiri yang mana berkontribusi kumulatif sekitar 90%. Parameter-parameter tersebut secara berurutan adalah:

1. Temperatur *T-Die Zone 2* (M)
2. Temperatur *Cylinder Zone 6* (J)
3. Temperatur *T-Die Zone 7* (R)
4. Tekanan *Silicon/Press Roll G* (C)
5. Temperatur *T-Die Zone 8* (S)
6. Temperatur *Cylinder Zone 2* (F)
7. Temperatur *T-Die Zone 3* (N)
8. Suhu *Cooling Roll* (B)
9. Temperatur *T-Die Zone 5* (P)
10. Temperatur *T-Die Zone 4* (O)
11. Temperatur *T-Die Zone 1* (L)

Dari penjelasan diatas, dapat disimpulkan bahwa untuk pencapaian performa nilai kekuatan ke arah target yang semakin tinggi adalah dengan melakukan penyetelan yang optimal terhadap parameter-parameter tersebut yang signifikan berkontribusi terhadap rata-rata kekuatan ikatan. Sedangkan untuk parameter-parameter yang tidak disebutkan diatas dianggap parameter yang tidak signifikan berkontribusi terhadap nilai kekuatan ikatan.

Secara keseluruhan, parameter-parameter yang signifikan berkontribusi terhadap nilai kekuatan ikatan sama dengan yang signifikan berkontribusi terhadap *S/N Ratio*, kecuali satu yaitu temperatur *Cylinder Zone 1* (parameter E) yang hanya berkontribusi terhadap *S/N Ratio*. Hal ini berarti parameter tersebut hanya dapat meminimalkan variasi saja, tetapi tidak dapat memaksimalkan nilai rata-rata kekuatan ikatan sebagaimana yang diinginkan. Namun, untuk parameter-parameter signifikan lainnya, selain dapat meminimalkan variasi, mereka juga

dapat memaksimalkan nilai rata-rata kekuatan ikatan, jika penyetelan yang optimal telah dilakukan.

#### 4.2.1 Analisa *Main Effects Plot*

Untuk mencapai tujuan akhir penelitian ini, yaitu memberikan usulan desain penyetelan parameter-parameter yang optimal, maka diperlukan nilai-nilai *level* dari setiap parameter yang paling optimal. Optimal disini memiliki arti bahwa *level* pada parameter tersebut dapat meminimalkan variasi serta memaksimalkan nilai rata-rata ke arah nilai yang paling memungkinkan. *Level* yang optimal ini adalah *level* pada masing-masing parameter yang memiliki nilai rata-rata *S/N Ratio* terbesar atau nilai rata-rata kekuatan ikatan terbesar.

##### 4.2.1.1 Analisa *Main Effects Plot* untuk *S/N Ratio*

Seperti yang sudah diketahui sebelumnya, terdapat tiga *level* untuk tiap parameter yaitu, *level 1* nilai yang lebih rendah daripada standar, *level 2* sesuai dengan nilai standar, dan *level 3* nilai yang lebih tinggi dari standar. Berdasarkan tabel 4.5, grafik 4.4, dan 4.5 pada pengolahan data dapat dianalisa pengaruh perubahan *level* pada tiap parameter terhadap perubahan nilai *S/N Ratio* dan untuk menentukan *level* paling optimal yang dapat memaksimalkan nilai *S/N Ratio*. Berikut ini adalah analisa masing-masing *level* dari parameter-parameter sesuai dengan urutan persen kontribusinya terhadap nilai *S/N Ratio*:

1. Dengan menaikkan temperatur *T-Die Zone 2* dari *level* standar 280°C menjadi 296°C akan meningkatkan nilai *S/N Ratio* sebesar 57,09%, sedangkan menurunkannya menjadi 272 °C akan menurunkan *S/N Ratio* sebesar 45,47%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 296°C.
2. Dengan menaikkan temperatur *Cylinder Zone 6* dari *level* standar 280°C menjadi 285°C akan meningkatkan nilai *S/N Ratio* sebesar 30,21%, sedangkan menurunkannya menjadi 270 °C akan menurunkan *S/N Ratio* sebesar 76,4%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 285°C.
3. Dengan menaikkan temperatur *T-Die Zone 7* dari *level* standar 280°C menjadi 295°C akan meningkatkan nilai *S/N Ratio* sebesar 54,46%,

sedangkan menurunkannya menjadi 250 °C akan menurunkan *S/N Ratio* sebesar 31,2%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 295°C.

4. Dengan menaikkan Tekanan *Silicon/Press Roll G* dari *level* standar 5 Kg.f/cm<sup>2</sup> menjadi 6 Kg.f/cm<sup>2</sup> akan menurunkan nilai *S/N Ratio* sebesar 14,07%, sedangkan menurunkannya menjadi 3 Kg.f/cm<sup>2</sup> akan meningkatkan *S/N Ratio* sebesar 50,02%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 3 Kg.f/cm<sup>2</sup>.
5. Dengan menaikkan temperatur *T-Die Zone 8* dari *level* standar 280°C menjadi 298°C akan menurunkan nilai *S/N Ratio* sebesar 78,8%, sedangkan menurunkannya menjadi 276 °C akan menurunkan *S/N Ratio* sebesar 103,8%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 280°C. Jadi, *level* yang dipilih adalah 280°C
6. Dengan menaikkan temperatur *Cylinder Zone 2* dari *level* standar 220°C menjadi 250°C akan menurunkan nilai *S/N Ratio* sebesar 47,75%, sedangkan menurunkannya menjadi 199°C akan menurunkan *S/N Ratio* sebesar 74,71%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 220°C
7. Dengan menaikkan temperatur *T-Die Zone 5* dari *level* standar 280°C menjadi 290°C akan meningkatkan nilai *S/N Ratio* sebesar 15,56%, sedangkan menurunkannya menjadi 264°C akan meningkatkan *S/N Ratio* sebesar 40,82%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 264°C
8. Dengan menaikkan temperatur *T-Die Zone 3* dari *level* standar 280°C menjadi 286°C akan meningkatkan nilai *S/N Ratio* sebesar 4,92%, sedangkan menurunkannya menjadi 259°C akan meningkatkan *S/N Ratio* sebesar 39,42%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 259°C
9. Dengan menaikkan temperatur *T-Die Zone 4* dari *level* standar 280°C menjadi 287°C akan meningkatkan nilai *S/N Ratio* sebesar 30,23%, sedangkan menurunkannya menjadi 265°C akan menurunkan *S/N Ratio* sebesar 11,2%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 287°C.
10. Dengan menaikkan suhu *cooling roll* dari *level* standar 34°C menjadi 38°C akan menurunkan nilai *S/N Ratio* sebesar 43,28%, sedangkan menurunkannya menjadi 25°C akan menurunkan *S/N Ratio* sebesar 9,37%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 34°C.

11. Dengan menaikkan temperatur *Cylinder Zone 1* dari *level* standar 195°C menjadi 200°C akan menurunkan nilai *S/N Ratio* sebesar 2,67%, sedangkan menurunkannya menjadi 190°C akan meningkatkan *S/N Ratio* sebesar 28,07%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 190°C
12. Dengan menaikkan temperatur *T-Die Zone 1* dari *level* standar 280°C menjadi 288°C akan menurunkan nilai *S/N Ratio* sebesar 4,46%, sedangkan menurunkannya menjadi 275°C akan meningkatkan *S/N Ratio* sebesar 25,72%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 275°C

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa untuk memaksimalkan *S/N Ratio* atau dengan kata lain meminimalkan variasi yang disebabkan oleh faktor pengganggu, maka penyetelan yang dilakukan untuk setiap parameternya diusulkan sesuai dengan *level-level* yang dianggap optimal sesuai dengan penjelasan tersebut.

Untuk parameter-parameter yang tidak disebutkan diatas (parameter yang tidak signifikan berkontribusi), penyetelan pada *level* manapun yang dilakukan tidak akan memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap *S/N Ratio*. Jadi, pemilihan *level* dapat mempertimbangkan alasan lain seperti kemudahan pelaksanaan atau dari segi ekonomis.

#### 4.2.1.2 Analisa *Main Effects Plot* untuk Nilai Rata-Rata Kekuatan Ikatan

Berdasarkan tabel 4.6 dan grafik 4.6 dan 4.7 pada pengolahan data dapat dianalisa pengaruh perubahan *level* pada tiap parameter terhadap perubahan nilai rata-rata kekuatan ikatan dan untuk menentukan *level* paling optimal yang dapat memaksimalkan nilai rata-rata kekuatan ikatan. Berikut ini adalah analisa masing-masing *level* dari parameter-parameter sesuai dengan urutan persen kontribusinya terhadap nilai kekuatan ikatan:

1. Dengan menaikkan temperatur *T-Die Zone 2* dari *level* standar 280°C menjadi 296°C akan meningkatkan nilai kekuatan ikatan sebesar 26,46%, sedangkan menurunkannya menjadi 272°C akan menurunkan nilai kekuatan ikatan sebesar 14,91%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 296°C.
2. Dengan menaikkan temperatur *Cylinder Zone 6* dari *level* standar 280°C menjadi 285°C akan meningkatkan nilai kekuatan ikatan sebesar 8,96%,

sedangkan menurunkannya menjadi 270°C akan menurunkan nilai kekuatan ikatan sebesar 23,93%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 285°C.

3. Dengan menaikkan temperatur *T-Die Zone 7* dari *level* standar 280°C menjadi 295°C akan meningkatkan nilai kekuatan ikatan sebesar 22,43%, sedangkan menurunkannya menjadi 250°C akan menurunkan nilai kekuatan ikatan sebesar 10,2%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 295°C.
4. Dengan menaikkan Tekanan *Silicon/Press Roll G* dari *level* standar 5 Kg.f/cm<sup>2</sup> menjadi 6 Kg.f/cm<sup>2</sup> akan menurunkan nilai kekuatan ikatan sebesar 6,85%, sedangkan menurunkannya menjadi 3 Kg.f/cm<sup>2</sup> akan meningkatkan kekuatan ikatan sebesar 23,41%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 3 Kg.f/cm<sup>2</sup>.
5. Dengan menaikkan temperatur *T-Die Zone 8* dari *level* standar 280°C menjadi 298°C akan menurunkan nilai kekuatan ikatan sebesar 19,89%, sedangkan menurunkannya menjadi 276°C akan menurunkan kekuatan ikatan sebesar 24%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 280°C.
6. Dengan menaikkan temperatur *Cylinder Zone 2* dari *level* standar 220°C menjadi 250°C akan menurunkan nilai kekuatan ikatan sebesar 12%, sedangkan menurunkannya menjadi 199°C akan menurunkan kekuatan ikatan sebesar 20,95%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 220°C
7. Dengan menaikkan temperatur *T-Die Zone 3* dari *level* standar 280°C menjadi 286°C akan meningkatkan nilai kekuatan ikatan sebesar 1%, sedangkan menurunkannya menjadi 259°C akan meningkatkan kekuatan ikatan sebesar 21,35%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 259°C
8. Dengan menaikkan suhu *cooling roll* dari *level* standar 34°C menjadi 38°C akan menurunkan nilai kekuatan ikatan sebesar 14,39%, sedangkan menurunkannya menjadi 25°C akan menurunkan kekuatan ikatan sebesar 1,05%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 34°C.
9. Dengan menaikkan temperatur *T-Die Zone 5* dari *level* standar 280°C menjadi 290°C akan meningkatkan nilai kekuatan ikatan sebesar 5,43%, sedangkan menurunkannya menjadi 264°C akan meningkatkan kekuatan ikatan sebesar 17,73%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 264°C

10. Dengan menaikkan temperatur *T-Die Zone 4* dari *level* standar 280°C menjadi 287°C akan meningkatkan nilai kekuatan ikatan sebesar 12,08%, sedangkan menurunkannya menjadi 265°C akan menurunkan kekuatan ikatan sebesar 4%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 287°C.
11. Dengan menaikkan temperatur *T-Die Zone 1* dari *level* standar 280°C menjadi 288°C akan menurunkan nilai kekuatan ikatan sebesar 2,97%, sedangkan menurunkannya menjadi 275°C akan meningkatkan kekuatan ikatan sebesar 10%. Jadi, *level* yang dipilih adalah 275°C.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa untuk memaksimalkan nilai rata-rata kekuatan ikatan hasil laminasi ekstrusi, maka penyetelan yang dilakukan untuk setiap parameternya diusulkan sesuai dengan *level-level* yang dianggap optimal sesuai dengan penjelasan tersebut. Untuk parameter-parameter yang tidak disebutkan diatas (parameter yang tidak signifikan berkontribusi), penyetelan pada *level* manapun yang dilakukan tidak akan memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap nilai kekuatan ikatan. Jadi, pemilihan *level* dapat mempertimbangkan alasan lain seperti kemudahan pelaksanaan atau dari segi ekonomis.

Setelah dilakukan analisa baik untuk *S/N Ratio* maupun nilai kekuatan ikatan, kombinasi *level-level* optimal yang didapatkan untuk keduanya ternyata sama. Hal ini berarti kombinasi tersebut dapat memaksimalkan nilai *S/N Ratio* sekaligus juga memaksimalkan nilai kekuatan ikatan hasil laminasi. Hal ini memudahkan penelitian dalam mencapai tujuan yaitu memberikan usulan desain penyetelan parameter yang optimal.

#### 4.2.3 Analisa Hasil Desain Penyetelan Parameter Optimal

Dari analisa-analisa sebelumnya, hasil yang didapatkan adalah parameter-parameter yang berkontribusi baik terhadap peningkatan nilai *S/N Ratio* dan juga nilai kekuatan, serta kombinasi *level* dari parameter-parameter tersebut yang optimal. Hasil inilah yang kemudian akan dijadikan usulan desain penyetelan untuk mesin laminasi ekstrusi EC-3. Dari usulan desain penyetelan yang optimal ini diprediksi nilai *S/N Ratio* dan nilai kekuatan ikatan hasil laminasi, agar dapat



membuktikan terjadinya peningkatan dari desain sebelumnya (yaitu desain penyetelan standar yang sudah ada).

#### 4.2.3.1 Usulan Desain Penyetelan Parameter

Usulan desain penyetelan merupakan kombinasi dari *level-level* optimal yang didapatkan dari analisa sebelumnya, baik untuk parameter-parameter yang signifikan berkontribusi terhadap nilai *S/N Ratio* maupun terhadap nilai rata-rata kekuatan ikatan, serta juga untuk parameter-parameter yang kontribusinya tidak signifikan terhadap keduanya. Seperti yang sudah dianalisa sebelumnya, kombinasi *level-level* optimal untuk *S/N Ratio* dan untuk nilai kekuatan ikatan adalah sama, oleh karena itu pemilihan kombinasi optimal untuk diusulkan menjadi lebih mudah. Hasil dari usulan desain penyetelan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.7** Hasil Usulan Desain Penyetelan Parameter

	PARAMETER	LEVEL	SETTING
A	Suhu Drier Box (°C)	2	65
B	Suhu Cooling Roll (°C)	2	34
C	Tekanan Silicon/Press Roll G (Kg.f/cm <sup>2</sup> )	1	3
D	Tekanan Silicon/Press Roll M (Kg.f/cm <sup>2</sup> )	2	5
E	Temperatur C Zone 1 (°C)	1	190
F	Temperatur C Zone 2 (°C)	2	220
G	Temperatur C Zone 3 (°C)	2	230
H	Temperatur C Zone 4 (°C)	1	240
I	Temperatur C Zone 5 (°C)	3	275
J	Temperatur C Zone 6 (°C)	3	285
K	Temperatur C Zone 7 (°C)	1	275
L	Temperatur T-Die Zone 1 (°C)	1	275
M	Temperatur T-Die Zone 2 (°C)	3	296
N	Temperatur T-Die Zone 3 (°C)	1	259
O	Temperatur T-Die Zone 4 (°C)	3	287
P	Temperatur T-Die Zone 5 (°C)	1	264
Q	Temperatur T-Die Zone 6 (°C)	3	289
R	Temperatur T-Die Zone 7 (°C)	3	295
S	Temperatur T-Die Zone 8 (°C)	2	280
T	Temperatur T-Die Zone 9 (°C)	3	302

**Tabel 4.8** Hasil Usulan Desain Penyetelan Parameter (Lanjutan)

Keterangan:	
	Parameter yang signifikan berkontribusi terhadap SN Ratio dan kekuatan ikatan
	Parameter yang signifikan berkontribusi terhadap SN Ratio
	Parameter yang tidak signifikan berkontribusi

#### 4.2.3.2 Prediksi Nilai *S/N Ratio*

Setelah didapatkan hasil usulan desain penyetelan, maka nilai *S/N Ratio* untuk desain penyetelan tersebut akan diprediksi. Hal ini dilakukan untuk membuktikan bahwa usulan desain penyetelan ini dapat memberikan nilai *S/N Ratio* yang lebih baik, atau dengan kata lain artinya desain tersebut tidak sensitif (*robust*) terhadap faktor gangguan atau perubahan yang menyebabkan variasi (dapat mengurangi variasi yang terjadi).

Prediksi nilai *S/N Ratio* didapatkan dengan cara menghitung setiap efek dari *level* yang optimal dari tiap parameter yang dapat mengubah rata-rata nilai *S/N Ratio*. Perhitungan tersebut menggunakan persamaan sebagai berikut (Ross, 1989, hal 118).

$$\begin{aligned}
 S/N \text{ Ratio optimal} = & \bar{T} + (\bar{A}_2 - \bar{T}) + (\bar{B}_2 - \bar{T}) + (\bar{C}_1 - \bar{T}) + (\bar{D}_2 - \bar{T}) + (\bar{E}_1 - \\
 & \bar{T}) + (\bar{F}_2 - \bar{T}) + (\bar{G}_2 - \bar{T}) + (\bar{H}_1 - \bar{T}) + (\bar{I}_3 - \bar{T}) + (\bar{J}_3 - \bar{T}) + (\bar{K}_1 - \bar{T}) + \\
 & (\bar{L}_1 - \bar{T}) + (\bar{M}_3 - \bar{T}) + (\bar{N}_1 - \bar{T}) + (\bar{O}_3 - \bar{T}) + (\bar{P}_1 - \bar{T}) + (\bar{Q}_3 - \bar{T}) + \\
 & (\bar{R}_3 - \bar{T}) + (\bar{S}_2 - \bar{T}) + (\bar{t}_3 - \bar{T})
 \end{aligned}$$

Dimana,  $\bar{T}$  adalah rata-rata nilai *S/N Ratio* dari keseluruhan hasil eksperimen,  $\bar{A}_2$  adalah rata-rata nilai *S/N Ratio* untuk parameter A *level* 2 (kondisi optimum), dan  $(\bar{A}_2 - \bar{T})$  merepresentasikan efek dari parameter A *level* 2 dalam mengubah nilai *S/N Ratio* dari  $\bar{T}$  menjadi  $\bar{A}_2$ . Begitu pula untuk parameter-parameter lainnya.

Dengan menggunakan persamaan tersebut, nilai *S/N Ratio* untuk desain penyetelan ini dapat diprediksi. Rata-rata nilai *S/N Ratio* untuk tiap *level* optimum untuk tiap parameter dapat dilihat pada tabel 4.5 pada pengolahan data, dan rata-rata nilai *S/N Ratio* dari keseluruhan hasil eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.2.

Sehingga, prediksi nilai *S/N Ratio* untuk usulan desain penyetelan yang optimum ini adalah:

$$S/N \text{ Ratio optimal} = 13,1169 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan persamaan ini pula, nilai *S/N Ratio* untuk desain penyetelan kondisi standar atau kondisi awal dalam pabrik (*level 2* untuk setiap parameternya) dapat dihitung dan dibandingkan dengan nilai *S/N Ratio* optimal.

$$S/N \text{ Ratio initial} = -3,6618 \text{ dB}$$

Dapat ditarik kesimpulan bahwa, nilai *S/N Ratio* dari usulan desain penyetelan yang optimal jauh meningkat jika dibandingkan dengan nilai *S/N Ratio* untuk desain penyetelan kondisi yang awal. Hal ini berarti usulan desain penyetelan lebih tahan atau lebih tidak sensitif terhadap faktor pengganggu, dan memiliki variasi yang lebih kecil, jika dibandingkan dengan desain penyetelan kondisi awal.

#### 4.2.3.3 Prediksi Nilai Rata-Rata Kekuatan Ikatan

Selain memprediksi nilai *S/N Ratio*, dari usulan desain penyetelan tersebut juga dapat diprediksi nilai rata-rata (*mean*) kekuatannya dengan menggunakan persamaan yang sama seperti diatas. Dimana,  $\bar{T}$  adalah rata-rata nilai (*mean*) kekuatan ikatan dari keseluruhan hasil eksperimen,  $\bar{A}_2$  adalah rata-rata nilai kekuatan ikatan untuk parameter A *level 2* (kondisi optimum), dan  $(\bar{A}_2 - \bar{T})$  merepresentasikan efek dari parameter A *level 2* dalam mengubah nilai rata-rata kekuatan ikatan dari  $\bar{T}$  menjadi  $\bar{A}_2$ . Begitu pula untuk parameter-parameter lainnya. Rata-rata nilai kekuatan ikatan untuk tiap *level* optimum untuk tiap parameter dapat dilihat pada tabel 4.6 pada pengolahan data, dan rata-rata nilai kekuatan ikatan dari keseluruhan hasil eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.2. Sehingga, prediksi nilai rata-rata kekuatan ikatan untuk usulan desain penyetelan yang optimum ini adalah:

$$\text{Kekuatan Ikatan Optimum} = 1,926 \text{ N/mm}$$

Dengan menggunakan persamaan ini, nilai kekuatan ikatan untuk desain penyetelan kondisi standar atau kondisi awal dalam pabrik (*level 2* untuk setiap parameternya) juga dapat dihitung dan dibandingkan dengan nilai kekuatan ikatan yang optimal.

Kekuatan Ikatan Initial = 0,676 N/mm

Dapat ditarik kesimpulan bahwa usulan desain penyetelan yang optimal, selain dapat meningkatkan nilai *S/N Ratio* juga meningkatkan nilai kekuatan ikatan, jika dibandingkan dengan desain penyetelan kondisi awal. Hal ini menunjukkan bahwa usulan desain penyetelan ini, selain tidak sensitif terhadap faktor pengganggu yang menyebabkan variasi (memiliki variasi yang kecil), juga memiliki kualitas hasil laminasi yang bagus karena memiliki nilai kekuatan ikatan yang tinggi.

#### 4.2.3.4 Prediksi dengan Model Jaringan Syaraf Tiruan

Prediksi nilai kekuatan ikatan untuk hasil usulan desain penyetelan juga dapat dilakukan dengan menggunakan model jaringan syaraf tiruan yang telah didapatkan pada bab terdahulu. Kelebihan prediksi dengan model tiruan ini adalah nilai kekuatan ikatan yang diprediksi sama seperti melaksanakan eksperimen aktual pada pabrik dengan menyertakan faktor pengganggu. Hal ini berarti nilai kekuatan ikatan yang didapat ada tiga buah, yaitu untuk kondisi faktor pengganggu *level 1* (work shift 1), *level 2* (work shift 2), dan *level 3* (work shift 3). Sehingga, selain dapat membuktikan tingginya nilai rata-rata kekuatan ikatan, juga dapat membuktikan besarnya variasi yang terjadi diantara ketiga kondisi tersebut.

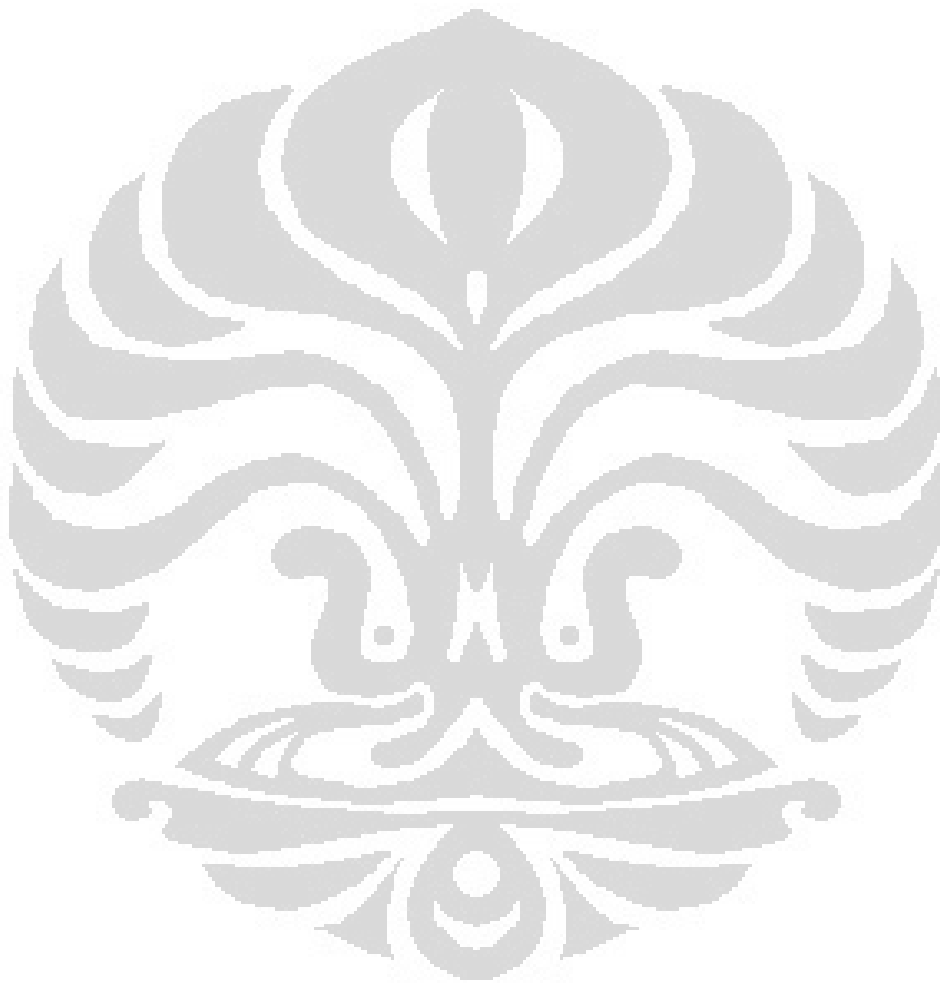
Perhitungan prediksi nilai kekuatan ikatan dengan model tiruan dilakukan dalam lembar *calc* seperti pada pengolahan data, dengan memasukkan angka-angka *input* parameter berdasarkan kondisi optimal yang telah didapat untuk usulan desain penyetelan. Hasil dari prediksi dengan model tiruan adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.9** Prediksi dengan Model Jaringan Syaraf Tiruan

Kekuatan Ikatan (N/mm)		
Shift 1	Shift 2	Shift 3
1,287	1,286	1,273

Dari hasil prediksi yang didapat, dapat dihitung mean dan variance-nya, yaitu, mean sebesar 1,2822 N/mm dan variance sebesar 0,000058. Hal ini membuktikan bahwa usulan desain penyetelan adalah optimal karena memiliki nilai rata-rata kekuatan ikatan yang tinggi dan variance yang sangat kecil.

Sehingga, usulan desain penyetelan ini dapat dinyatakan tidak sensitif terhadap faktor pengganggu yang menyebabkan variasi dan juga memiliki kualitas hasil laminasi yang bagus.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan merupakan hasil dari penelitian ini sesuai dengan tujuan penelitian yang telah dibuat sebelumnya, maka kesimpulan yang didapatkan adalah sebagai berikut:

1. Model Jaringan Syaraf Tiruan yang berhasil dibuat untuk proses laminasi ekstrusi berdasarkan kumpulan data historis kondisi operasional mesin EC-3 memiliki nilai error untuk proses pembelajaran sebesar 0,015 dan 0,146 serta untuk proses validasi sebesar 0,0048 dan 0,089.
2. Terdapat sebelas parameter penyetelan yang secara signifikan berkontribusi terhadap nilai kekuatan ikatan (sensitif terhadap peningkatan performa kekuatan ikatan).
3. Terdapat dua belas parameter penyetelan yang secara signifikan berkontribusi terhadap nilai *S/N Ratio* (terhadap ketidak-sensitifan proses pada faktor gangguan yang menyebabkan variasi).
4. Usulan desain penyetelan untuk proses laminasi ekstrusi pada mesin EC-3, yang didapat berdasarkan kombinasi dari level-level optimal untuk setiap parameter penyetelan proses (dapat dilihat pada tabel 4.7). Desain ini mengoptimalkan nilai *S/N Ratio* (dengan nilai 13,1169 dB) agar proses semakin tidak sensitif terhadap gangguan yang menyebabkan variasi, dan juga mengoptimalkan nilai rata-rata kekuatan ikatan hasil proses (dengan nilai 1,282 N/mm).

#### 5.2 Saran

Untuk penelitian-penelitian selanjutnya, penulis memberikan saran yaitu:

1. Usulan desain penyetelan ini agar dicoba langsung dengan eksperimen aktual pada proses laminasi ekstrusi mesin EC-3, sehingga signifikansi peningkatan kualitas yang terjadi dapat dihitung dan dianalisa

2. Perlunya diadakan studi eksperimen Taguchi untuk proses laminasi ekstrusi dengan karakteristik kualitas ketebalan lapisan atau berat lapisan dengan menggunakan metode *multiple response*.
3. Jika penerapan hasil eksperimen telah dilakukan, sebaiknya dilanjutkan dengan melakukan proses SPC untuk melihat apakah secara statistik penyetelan proses yang didapat dari hasil eksperimen masih dalam kontrol kualitas. Salah satunya adalah dengan melakukan studi kemampuan proses. Karena dengan studi kemampuan proses dapat diketahui apakah penyetelan proses tersebut mampu untuk menghasilkan produk dengan spesifikasi yang telah ditentukan
4. Menjaga kelayakan lingkungan kerja, karena lingkungan merupakan salah satu sumber variasi. Menjaga kelayakan lingkungan kerja dapat dilakukan dengan menjaga kelayakan tingkat penerangan, sirkulasi udara, kestabilan sumber energi yang digunakan, menjaga tingkat kebisingan, dan suhu udara di sekitar lingkungan kerja. Dengan tingkat kelayakan dan kenyamanan yang lebih baik diharapkan kinerja operator akan lebih baik.

**DAFTAR REFERENSI**

- Ilmi, Bahrul. (1999). *Studi Desain Eksperimental Metode Taguchi untuk Proses Laminasi Ekstrusi Polypropylene Pada Film Oriented Polyproplene*. Tesis Magister Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Laurene, F. (1994). *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Application.*, New Jersey: Prentice Hall.
- Mansur, Rahadian A. (2002). *Penerapan Metode Taguchi Pada Proses Pencampuran BO Kompon T-816 Untuk Menentukan Penyetelan Proses Optimum di Pabrik Ban PT GTM*. Skripsi Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.
- Montgomery, D. C. (2005). *Design and Analysis of Experiments*. Newyork: John Willey and Sons, Inc.
- Onal, L., Zeydan, M., Korkmaz, M., & Maeran, S. (2009). "Predicting the Seam Strength of Notched Webbing for Parachute Assemblies Using the Taguchi's Design of Experiment and Artificial Neural Networks". *Textile Research Journal*, 2009, Vol 79, No 5, hal. 468.
- Park, Sung H. (1996). *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*. London: Chapman&Hall.
- Rich, E., & Knight, K. (1991). *Artificial Intelligence*. Singapore: McGraw-Hill.
- Ross, Phillip J. (1989). *Taguchi Techniques For Quality Engineering*. Singapore: McGraw-Hill.



Saifudin, Muhamad. (2008). *Perbaikan Metode Pengendalian Kualitas Laminasi Pada Mesin EC-3 dan Dry Laminating di PT SMPI*. Skripsi Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

Setiyawan, B. (2003). *Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Song, C. Y., Park, Y.W., Kim H.R., Lee, K. Y., and Lee, J. (2007). "The use of Taguchi and approximation methods to optimize the laser hybrid welding of a 5052-H32 aluminium alloy plate". *Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 222 Part B, hal 508-518.

Sukthomya W., & Tannock, J. D. T. (2005). "Taguchi Experimental Design for Manufacturing Process Optimisation Using Historical Data and a Neural Network Process Model", *The International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol 22, No 5, hal 485-502.

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

Taguchi, G. (1987). *System of Experimental Design*. vols 1 and 2. White Plains, NY, Quality Resources, and Dearborn, MI, American Supplier Institute.

Taguchi, G. (2005). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. Newyork: John Willey and Sons, Inc.

Wibowo, Leo. (2008). *Rekayasa Kualitas*. June 29, 2008.

<<http://qualityengineering.wordpress.com/2008/06/29/rekayasa-kualitas/>>

Wibowo, Leo. (2008). *Design of Experiments*. June 29, 2008.

<<http://qualityengineering.wordpress.com/2008/06/29/design-of-experiments/>>,

Wibawa, Leo. (2008). *Metode Taguchi*. June 29, 2008.

<<http://qualityengineering.wordpress.com/2008/06/29/metode-Taguchi/>>

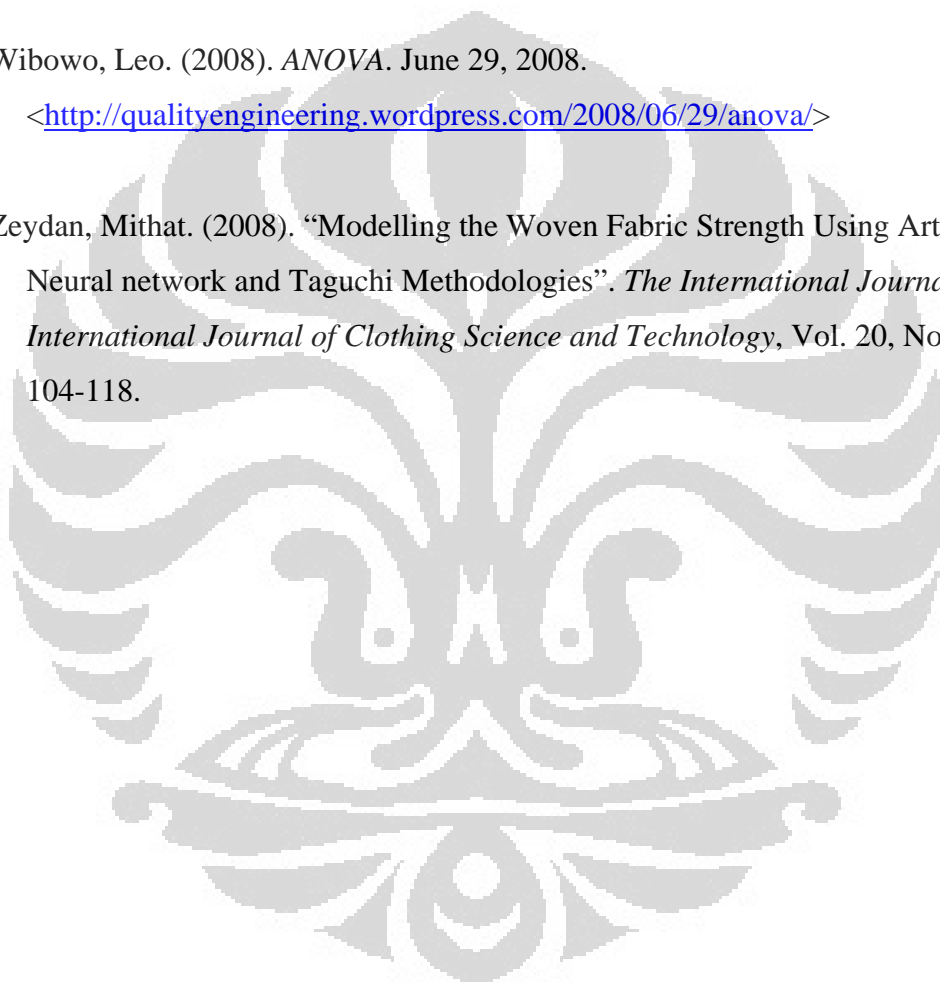
Wibowo, Leo. (2008). *Orthogonal Array*. June 29, 2008.

<<http://qualityengineering.wordpress.com/2008/06/29/orthogonal-arrays/>>

Wibowo, Leo. (2008). *ANOVA*. June 29, 2008.

<<http://qualityengineering.wordpress.com/2008/06/29/anova/>>

Zeydan, Mithat. (2008). "Modelling the Woven Fabric Strength Using Artificial Neural network and Taguchi Methodologies". *The International Journal of International Journal of Clothing Science and Technology*, Vol. 20, No. 2, hal 104-118.



## Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																				OUTPUT	
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)							T-Die Temeperatur (°C)									Work Shift	Bonding Strength (N/mm)
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
65	29	4,5	4,3	195	200	250	260	265	275	285	280	280	280	280	270	280	258	280	295	3	0,5
65	29	4,5	4,3	195	200	250	260	265	275	285	280	280	280	280	270	280	258	280	295	3	0,6
65	29	4,5	4,3	195	200	250	260	265	275	285	280	280	280	280	270	280	258	280	295	3	0,6
60	25	4,5	4	195	200	250	260	275	280	285	280	281	277	280	279	280	258	291	296	2	0,5
60	25	4,5	4	195	200	250	260	275	280	285	280	281	277	280	279	280	258	291	296	2	0,5
60	25	4,5	4	195	200	250	260	275	280	285	280	281	277	280	279	280	258	291	296	2	0,7
60	32	4,5	5	195	200	250	260	275	280	285	280	281	268	280	279	280	258	298	296	2	0,5
60	32	4,5	5	195	200	250	260	275	280	285	280	281	268	280	279	280	258	298	296	2	0,5
60	32	4,5	5	195	200	250	260	275	280	285	280	281	268	280	279	280	258	298	296	2	0,6
60	32	4,5	5	195	200	250	260	275	280	285	280	281	268	280	279	280	258	298	296	2	0,6
60	35	4	4	190	200	220	250	260	270	280	280	283	278	280	280	262	295	298	270	1	0,5
60	35	4	4	190	200	220	250	260	270	280	280	283	278	280	280	262	295	298	270	1	0,5
60	35	4	4	190	200	220	250	260	270	280	280	283	278	280	280	262	295	298	270	1	0,7
60	34	4	4	190	200	250	260	270	280	280	280	278	280	280	280	280	262	289	298	1	0,5
60	34	4	4	190	200	250	260	270	280	280	280	278	280	280	280	280	262	289	298	1	0,5
60	34	4	4	190	200	250	260	270	280	280	280	278	280	280	280	280	262	289	298	1	0,5
60	34	4	4	190	200	250	260	270	280	280	280	278	280	280	280	280	262	289	298	1	0,5
60	34	4	4	190	200	250	260	270	280	280	280	278	280	280	280	280	262	289	298	1	0,5
60	34	4	4	190	200	250	260	270	280	280	280	278	280	280	280	280	262	289	298	1	0,5
65	30	4	5	200	210	250	260	270	280	285	280	280	273	277	272	280	261	290	296	1	0,8
65	30	4	5	200	210	250	260	270	280	285	280	280	273	277	272	280	261	290	296	1	0,8
65	37	5	5	200	210	250	260	270	280	285	280	283	275	275	275	278	262	298	298	3	0,6
66	35	5	5	200	210	250	260	270	280	285	280	280	273	277	275	286	261	290	296	3	0,6
66	35	5	5	200	210	250	260	270	280	285	280	280	273	277	275	286	261	290	296	3	0,5
66	35	5	5	200	210	250	260	270	280	285	280	280	273	277	275	286	261	290	296	3	0,5
66	35	5	5	200	210	250	260	270	280	285	280	280	273	277	275	286	261	290	296	3	0,6
66	35	5	5	200	210	250	260	270	280	285	280	280	273	277	275	286	261	290	296	3	0,6
65	30,6	5	5	200	212	250	260	270	279	285	280	280	273	277	275	280	261	290	296	1	0,6
65	30,6	5	5	200	212	250	260	270	279	285	280	280	273	277	275	280	261	290	296	1	0,5
65	37	5	5	200	210	250	260	270	280	285	280	283	275	275	275	278	262	298	298	2	0,7
65	37	5	5	200	210	250	260	270	280	285	280	283	275	275	275	278	262	298	298	2	0,5
65	37	5	5	200	210	250	260	270	280	285	280	283	275	275	275	278	262	298	298	2	0,5
65	37	5	5	200	210	250	260	270	280	285	280	283	275	275	275	278	262	298	298	2	0,7
68	35	5	5	200	210	250	260	270	280	285	280	280	273	277	275	280	260	293	299	3	0,5
68	35	5	5	200	210	250	260	270	280	285	280	280	273	277	275	280	260	293	299	3	0,5

### Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran (Lanjutan)

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																					OUTPUT
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)							T-Die Temeperatur (°C)									Work Shift	Bonding Strength (N/mm)
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
68	35	5	5	200	210	250	260	270	280	285	280	280	273	277	275	280	260	293	299	3	0,6
68	35	5	5	200	210	250	260	270	280	285	280	280	273	277	275	280	260	293	299	3	0,6
68	35	5	5	200	210	250	260	270	280	285	280	280	273	277	275	280	260	293	299	3	0,6
71	34	3,5	3,5	196	202	250	250	265	275	285	280	282	280	280	269	270	257	293	299	2	0,7
71	34	3,5	3,5	196	202	250	250	265	275	285	280	282	280	280	269	270	257	293	299	2	0,7
71	34	3,5	3,5	196	202	250	250	265	275	285	280	282	280	280	269	270	257	293	299	2	0,7
70	34	4	3,5	190	200	250	265	270	275	285	280	282	275	280	264	265	250	287	295	3	0,6
70	34	4	3,5	190	200	250	265	270	275	285	280	282	275	280	264	265	250	287	295	3	0,6
70	34	3,5	3	190	200	250	265	270	275	285	280	280	280	280	280	280	263	283	295	3	0,5
70	34	3,5	3	190	200	250	265	270	275	285	280	280	280	280	280	280	263	283	295	3	0,5
68	32	4,5	3,5	190	200	220	250	265	275	285	280	276	280	280	285	280	286	283	293	2	0,5
68	32	4,5	3,5	190	200	220	250	265	275	285	280	276	280	280	285	280	286	283	293	2	0,6
68	32	4,5	3,5	190	200	220	250	265	275	285	280	276	280	280	285	280	286	283	293	2	0,6
68	34	3	3	190	202	220	250	265	275	285	280	280	280	280	285	280	268	283	293	1	0,8
68	34	3	3	190	202	220	250	265	275	285	280	280	280	280	285	280	268	283	293	1	0,8
68	34	3	3	190	202	220	250	265	275	285	280	280	280	280	285	280	268	283	293	1	0,8
68	33	3,5	3	190	200	220	250	260	280	280	280	283	278	284	285	279	266	282	285	2	0,5
68	33	3,5	3	190	200	220	250	260	280	280	280	283	278	284	285	279	266	282	285	2	0,5
60	35	3	3	190	200	220	250	265	275	280	280	280	275	283	285	280	267	282	285	1	0,7
60	35	3	3	190	200	220	250	265	275	280	280	280	275	283	285	280	267	282	285	1	0,7
60	35	3	3	190	200	220	250	265	275	280	280	280	275	283	285	280	267	282	285	1	0,7
65	35	3,5	3	190	200	250	265	275	280	285	280	275	275	283	285	285	268	285	288	2	0,5
65	35	3,5	3	190	200	250	265	275	280	285	280	275	275	283	285	285	268	285	288	2	0,7
65	35	3,5	3	190	200	250	265	275	280	285	280	275	275	283	285	285	268	285	288	2	0,7
68	30	3	3	190	200	250	265	275	280	285	282	272	277	278	278	275	270	285	290	2	0,5
68	30	3	3	190	200	250	265	275	280	285	282	272	277	278	278	275	270	285	290	2	0,7
68	30	3	3	190	200	250	265	275	280	285	282	272	277	278	278	275	270	285	290	2	0,5
68	30	3	3	190	200	250	265	275	280	285	282	272	277	278	278	275	270	285	290	2	0,5
68	30	3	3	190	200	250	265	275	280	285	282	272	277	278	278	275	270	285	290	2	0,5
65	30	3	3	190	200	250	265	270	275	285	280	282	277	272	275	273	257	285	296	3	0,7
65	30	3	3	190	200	250	265	270	275	285	280	282	277	272	275	273	257	285	296	3	0,7
65	30	3	3	190	200	250	265	270	275	285	280	282	277	272	275	273	257	285	296	3	0,7
70	36	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	282	280	280	280	270	283	283	2	0,6
70	36	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	282	280	280	280	270	283	283	2	0,6
70	36	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	282	280	280	280	270	283	283	2	0,6

### Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran (Lanjutan)

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																					OUTPUT
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)							T-Die Temeperatur (°C)									Work Shift	Bonding Strength (N/mm)
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
70	36	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	282	280	280	280	270	283	283	2	0,5
70	36	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	282	280	280	280	270	283	283	2	0,6
70	35	5	5	191	202	220	255	265	275	285	280	287	284	280	277	275	270	279	284	1	0,6
70	35	5	5	191	202	220	255	265	275	285	280	287	284	280	277	275	270	279	284	1	0,6
70	35	5	5	191	202	220	255	265	275	285	280	287	284	280	277	275	270	279	284	1	0,6
70	37	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	284	280	278	275	265	280	282	3	0,5
70	37	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	284	280	278	275	265	280	282	3	0,6
70	37	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	284	280	278	275	265	280	282	3	0,5
70	37	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	284	280	278	275	265	280	282	3	0,5
70	37	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	284	280	278	275	265	280	282	3	0,6
70	37	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	284	280	278	275	265	280	282	3	0,5
70	37	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	280	287	284	280	283	280	272	283	284	2	0,5
70	37	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	280	287	284	280	283	280	272	283	284	2	0,5
70	37	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	280	287	284	280	283	280	272	283	284	2	0,5
70	37	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	280	287	284	280	283	280	272	283	284	2	0,5
70	37	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	280	287	284	280	283	280	272	283	284	2	0,5
70	37	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	280	287	284	280	283	280	272	283	284	2	0,5
70	37	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	280	287	284	280	283	280	272	283	284	2	0,5
72	37	4	5	190	200	255	265	275	285	285	280	285	280	280	280	280	270	285	285	3	0,6
72	37	4	5	190	200	255	265	275	285	285	280	285	280	280	280	280	270	285	285	3	0,8
72	37	4	5	190	200	255	265	275	285	285	280	285	280	280	280	280	270	285	285	3	1
72	37	4	5	190	200	255	265	275	285	285	280	285	280	280	280	280	270	285	285	3	0,8
72	37	4	5	190	200	255	265	275	285	285	280	285	280	280	280	280	270	285	285	3	0,5
72	37	4	5	190	200	220	255	265	275	285	285	283	280	283	280	283	278	280	280	2	0,5
72	37	4	5	190	200	220	255	265	275	285	285	283	280	283	280	283	278	280	280	2	0,5
70	37	4	5	190	200	220	255	264	275	285	280	285	283	280	283	280	270	281	278	2	0,5
70	37	4	5	190	200	220	255	264	275	285	280	285	283	280	283	280	270	281	278	2	0,6
70	37	4	5,5	190	200	220	255	264	275	285	280	285	283	280	283	280	278	281	280	1	0,5
70	37	4	5,5	190	200	220	255	264	275	285	280	285	283	280	283	280	278	281	280	1	0,5
70	37	4	5,5	190	200	220	255	264	275	285	280	285	283	280	283	280	278	281	280	1	0,5
70	37	4	5,5	190	200	220	255	264	275	285	280	285	283	280	283	280	278	281	280	1	0,5
70	37	4	5,5	190	200	220	255	264	275	285	280	285	283	280	283	280	278	281	280	1	0,6
70	37	4	5,5	190	200	220	255	264	275	285	280	285	283	280	283	280	278	281	280	1	0,5
70	37	4	5,5	190	200	220	255	264	275	285	280	285	283	280	283	280	278	281	280	1	0,6
70	37	4	5,5	190	200	220	255	264	275	285	280	285	283	280	283	280	278	281	280	1	0,5

### Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran (Lanjutan)

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																					OUTPUT		
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)									T-Die Temeperatur (°C)									Work Shift	Bonding Strength (N/mm)
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
70	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	283	285	290	288	280	285	284	3	0,5		
70	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	283	285	290	288	280	285	284	3	0,5		
70	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	283	285	290	288	280	285	284	3	0,5		
70	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	283	285	290	288	280	285	284	3	0,6		
70	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	283	285	290	288	280	285	284	3	0,5		
70	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	283	285	290	288	280	285	284	3	0,5		
70	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	283	285	290	288	280	285	284	3	0,6		
70	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	283	285	290	288	280	285	284	3	0,6		
70	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	283	285	290	288	280	285	284	3	0,6		
65	37	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	285	289	284	287	287	285	280	282	289	2	0,5		
65	37	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	285	289	284	287	287	285	280	282	289	2	0,6		
65	37	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	285	289	284	287	287	285	280	282	289	2	0,5		
65	37	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	285	289	284	287	287	285	280	282	289	2	0,6		
65	37	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	285	289	284	287	287	285	280	282	289	2	0,6		
65	37	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	285	289	284	287	287	285	280	282	289	2	0,6		
65	37	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	285	289	284	287	287	285	280	282	289	2	0,6		
68	36	5,5	5,5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	281	283	280	280	275	282	289	2	0,3		
68	36	5,5	5,5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	281	283	280	280	275	282	289	2	0,3		
68	36	5,5	5,5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	281	283	280	280	275	282	289	2	0,5		
68	36	5,5	5,5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	281	283	280	280	275	282	289	2	0,5		
68	36	5,5	5,5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	281	283	280	280	275	282	289	2	0,5		
68	36	5,5	5,5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	281	283	280	280	275	282	289	2	0,5		
68	36	5,5	5,5	190	200	220	250	265	275	285	280	283	281	283	280	280	275	282	289	2	0,5		
70	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	280	279	280	275	275	275	285	285	1	0,6		
70	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	280	279	280	275	275	275	285	285	1	0,6		
70	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	280	279	280	275	275	275	285	285	1	0,6		
70	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	280	279	280	275	275	275	285	285	1	0,6		
70	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	280	279	280	275	275	275	285	285	1	0,6		
70	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	280	279	280	275	275	275	285	285	1	0,6		
70	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	280	279	280	275	275	275	285	285	1	0,8		
65	35	5,5	5,5	190	250	255	265	275	275	285	280	280	279	280	279	270	270	282	289	3	0,6		
65	35	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	275	276	279	280	278	270	270	282	289	3	0,5		
65	35	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	275	276	279	280	278	270	270	282	289	3	0,5		
65	35	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	275	276	279	280	278	270	270	282	289	3	1,1		
65	35	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	275	276	279	280	278	270	270	282	289	3	0,5		
65	35	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	275	276	279	280	278	270	270	282	289	3	0,5		

### Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran (Lanjutan)

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																				OUTPUT	
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)							T-Die Temeperatur (°C)							Work Shift	Bonding Strength (N/mm)		
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7			8	9
65	35	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	275	276	279	280	278	270	270	282	289	3	0,5
65	35	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	275	276	279	280	278	270	270	282	289	2	0,6
65	35	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	275	276	279	280	278	270	270	282	289	2	0,6
65	35	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	275	276	279	280	278	270	270	282	289	2	0,6
65	35	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	275	276	279	280	278	270	270	282	289	2	0,5
65	35	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	275	276	279	280	278	270	270	282	289	2	0,5
65	35	5,5	5,5	190	200	220	255	265	275	285	275	276	279	280	278	270	270	282	289	2	0,6
65	34	5	5,5	191	202	220	255	264	275	285	283	278	278	281	280	284	277	282	289	1	0,5
65	34	5	5,5	191	202	220	255	264	275	285	283	278	278	281	280	284	277	282	289	1	0,6
65	34	5	5,5	191	202	220	255	264	275	285	283	278	278	281	280	284	277	282	289	1	0,5
65	34	5	5,5	191	202	220	255	264	275	285	283	278	278	281	280	284	277	282	289	1	0,6
65	34	5	5,5	191	202	220	255	264	275	285	283	278	278	281	280	284	277	282	289	1	0,5
65	34	5	5,5	191	202	220	255	264	275	285	283	278	278	281	280	284	277	282	289	1	0,6
65	34	5	5,5	191	202	220	255	264	275	285	283	278	278	281	280	284	277	282	289	1	0,6
69	37	5	5	190	200	220	255	265	275	285	283	280	280	282	285	283	263	287	290	3	0,1
69	37	5	5	190	200	220	255	265	275	285	283	280	280	282	285	283	263	287	290	3	0,1
69	37	5	5	190	200	220	255	265	275	285	283	280	280	282	285	283	263	287	290	3	0,3
69	37	5	5	190	200	220	255	265	275	285	283	280	280	282	285	283	263	287	290	3	0,3
65	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	283	280	280	282	285	283	263	287	290	2	0,5
65	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	283	280	280	282	285	283	263	287	290	2	0,5
65	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	283	280	280	282	285	283	263	287	290	2	0,5
65	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	283	280	280	282	285	283	263	287	290	2	0,5
65	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	283	271	280	280	280	270	280	288	3	0,5
65	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	283	271	280	280	280	270	280	288	3	0,5
65	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	283	271	280	280	280	270	280	288	3	0,5
65	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	283	271	280	280	280	270	280	288	3	0,6
65	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	283	271	280	280	280	270	280	288	3	0,5
65	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	283	271	280	280	280	270	280	288	2	0,8
65	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	283	271	280	280	280	270	280	288	2	0,7
65	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	283	271	280	280	280	270	280	288	2	0,5
65	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	283	271	280	280	280	270	280	288	2	0,5
65	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	283	271	280	280	280	270	280	288	2	0,5
65	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	283	271	280	280	280	270	280	288	2	0,5

### Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran (Lanjutan)

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																				OUTPUT	
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)							T-Die Temeperatur (°C)							Work Shift	Bonding Strength (N/mm)		
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7			8	9
65	38	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	283	271	280	280	280	270	280	288	2	0,5
65	36	5	5	191	202	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	280	2	0,6
65	36	5	5	191	202	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	1	0,5
65	36	5	5	191	202	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	1	0,5
65	36	5	5	191	202	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	1	0,8
65	36	5	5	191	202	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	1	0,5
65	36	5	5	191	202	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	1	0,6
65	36	5	5	191	202	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	1	0,6
65	36	5	5	191	202	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	1	0,6
65	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	3	0,6
65	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	3	0,5
65	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	3	0,6
65	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	3	0,8
65	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	3	0,6
65	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	3	0,6
65	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	3	0,8
65	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	3	0,8
65	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	287	282	270	280	280	280	273	283	288	3	0,8
64	34	5	5	190	200	220	250	260	275	285	285	280	275	280	280	280	270	280	285	1	0,5
64	34	5	5	190	200	220	250	260	275	285	285	280	275	280	280	280	270	280	285	1	0,5
64	34	5	5	190	200	220	250	260	275	285	285	280	275	280	280	280	270	280	285	1	0,5
64	34	5	5	190	200	220	250	260	275	285	285	280	275	280	280	280	270	280	285	1	0,7
64	34	5	5	190	200	220	250	260	275	285	285	280	275	280	280	280	270	280	285	1	0,6
64	34	5	5	190	200	220	250	260	275	285	285	280	275	280	280	280	270	280	285	1	0,6
64	34	5	5	190	200	220	250	260	275	285	285	280	275	280	280	280	270	280	285	1	0,6
64	34	5	5	190	200	220	250	260	275	285	285	280	275	280	280	280	270	280	285	1	0,6
64	34	5	5	190	200	220	250	260	275	285	285	280	275	280	280	280	270	280	285	1	0,6
64	34	5	5	190	200	220	250	260	275	285	285	280	275	280	280	280	270	280	285	1	0,6
60	34	5	5	190	200	220	250	260	275	285	285	280	275	280	280	280	270	283	287	3	0,5
60	34	5	5	190	200	220	250	260	275	285	285	280	275	280	280	280	270	283	287	3	0,5
60	34	5	5	190	200	220	250	260	270	280	285	287	280	275	270	270	270	283	285	3	0,6
60	34	5	5	190	200	220	250	260	270	280	285	287	280	275	270	270	270	283	285	3	0,6
60	34	5	5	190	200	220	250	260	270	280	285	287	280	275	270	270	270	283	285	3	0,6
60	34	5	5	190	200	220	250	260	270	280	285	287	280	275	270	270	270	283	285	3	0,6
60	34	5	5	190	200	220	250	260	270	280	285	287	280	275	270	270	270	283	285	2	0,8
60	34	5	5	190	200	220	250	260	270	280	285	287	280	275	270	270	270	283	285	2	0,7
60	34	5	5	190	200	220	250	260	270	280	285	287	280	275	270	270	270	283	285	2	0,7



### Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran (Lanjutan)

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																					OUTPUT
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)							T-Die Temeperatur (°C)									Work Shift	Bonding Strength (N/mm)
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
60	34	5	5	190	200	220	250	260	270	280	285	287	280	275	270	270	270	283	285	2	0,7
60	34	5	5	190	200	220	250	260	270	280	285	287	280	275	270	270	270	283	285	2	0,6
60	34	5	5	190	200	220	250	260	270	280	285	287	280	275	270	270	270	283	285	2	0,6
60	34	5	5	190	200	220	250	260	270	280	285	287	280	275	270	270	270	283	285	2	0,6
60	35	5	5	190	200	220	250	260	270	280	280	284	280	275	277	280	280	283	286	1	0,6
60	35	5	5	190	200	220	250	260	270	280	280	284	280	275	277	280	280	283	286	1	0,8
60	35	5	5	190	200	220	250	260	270	280	280	284	280	275	277	280	280	283	286	1	0,6
60	35	5	5	190	200	220	250	260	270	280	280	284	280	275	277	280	280	283	286	1	0,6
60	35	5	5	190	200	220	250	260	270	280	280	284	280	275	277	280	280	283	286	1	0,6
60	34	5	5	190	200	220	250	260	270	280	280	284	280	275	275	277	280	285	285	1	0,6
60	34	5	5	190	200	220	250	260	270	280	280	284	280	275	275	277	280	285	285	1	0,6
60	34	5	5	190	202	220	250	260	270	280	280	285	280	275	275	282	280	280	283	3	0,6
60	34	5	5	190	202	220	250	260	270	280	280	285	280	275	275	282	280	280	283	3	0,6
60	34	5	5	190	202	220	250	260	270	280	280	285	280	275	275	282	280	280	283	3	0,6
60	34	5	5	190	202	220	250	260	270	280	280	285	280	275	275	282	280	280	283	3	0,8
60	34	5	5	190	202	220	250	260	270	280	280	285	280	275	275	282	280	280	283	3	0,6
60	34	5	5	190	202	220	250	260	270	280	280	285	280	275	275	282	280	280	283	3	0,6
60	34	5	5	190	202	220	250	260	270	280	280	285	286	275	275	282	280	280	283	2	0,7
60	34	5	5	190	202	220	250	260	270	280	280	285	286	275	275	282	280	280	283	2	0,8
60	34	5	5	190	202	220	250	260	270	280	280	285	286	275	275	282	280	280	283	2	0,7
60	34	5	5	190	202	220	250	260	270	280	280	285	286	275	275	282	280	280	283	2	0,8
60	34	5	5	190	202	220	250	260	270	280	280	285	286	275	275	282	280	280	283	2	0,6
60	34	5	5	190	202	220	250	260	270	280	280	285	286	275	275	282	280	280	283	2	0,8
60	34	5	5	190	202	220	250	260	270	280	280	285	286	275	275	282	280	280	283	2	0,6
60	34	5	5	190	202	220	250	260	270	280	280	285	286	275	275	282	280	280	283	2	0,8
60	34	5	5	190	202	220	250	260	270	280	280	285	286	275	275	282	280	280	283	2	0,6
60	33	5	5	190	200	220	250	260	270	280	280	280	280	275	275	280	280	280	283	1	0,5
60	33	5	5	190	200	220	250	260	270	280	280	280	280	275	275	280	280	280	283	1	0,5
60	33	5	5	190	200	220	250	260	270	280	280	280	280	275	275	280	280	280	283	1	0,5
60	33	5	5	190	200	220	250	260	270	280	280	280	280	275	275	280	280	280	283	1	0,6
60	33	5	5	190	200	220	250	260	270	280	280	280	280	275	275	280	280	280	283	1	0,7
60	33	5	5	190	200	220	250	260	270	280	280	280	280	275	275	280	280	280	283	1	0,6
60	33	5	5	190	200	220	250	260	270	280	280	280	280	275	275	280	280	280	283	1	0,5
60	33	5	5	190	200	220	250	260	270	280	280	280	280	275	275	280	280	280	283	1	0,5



### Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran (Lanjutan)

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																				OUTPUT	
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)							T-Die Temeperatur (°C)									Work Shift	Bonding Strength (N/mm)
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
65	34	4	4	190	200	230	250	260	270	280	280	277	277	275	273	280	280	285	285	2	0,8
65	34	4,5	4,5	190	200	220	250	260	270	280	280	277	277	275	273	280	280	285	285	2	0,6
65	34	4,5	4,5	190	200	220	250	260	270	280	280	277	277	275	273	280	280	285	285	2	0,6
65	34	4,5	4,5	190	200	220	250	260	270	280	280	277	277	275	273	280	280	285	285	2	0,7
45	34	4,5	4,5	190	200	220	250	260	270	280	280	277	277	276	273	279	280	285	285	1	0,6
45	34	4,5	4,5	190	200	220	250	260	270	280	280	277	277	276	273	279	280	285	285	1	0,6
45	34	4,5	4,5	190	200	220	250	260	270	280	280	277	277	276	273	279	280	285	285	1	0,6
45	34	4,5	4,5	190	200	220	250	260	270	280	280	277	277	276	273	279	280	285	285	1	0,6
45	34	4,5	4,5	190	200	220	250	260	270	280	280	277	277	276	273	279	280	285	285	1	0,6
45	34	4,5	4,5	190	200	220	250	260	270	280	280	277	277	276	273	279	280	285	285	1	0,6
45	34	4,5	4,5	190	200	220	250	260	270	280	280	277	277	276	273	279	280	285	285	1	0,6
55	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	288	286	283	277	275	275	278	288	288	3	0,8
55	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	288	286	283	277	275	275	278	288	288	3	0,8
55	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	288	286	283	277	275	275	278	288	288	3	0,8
55	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	288	286	283	277	275	275	278	288	288	3	0,8
55	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	288	286	283	277	275	275	278	288	288	3	0,8
65	34	6	5	190	200	220	250	260	270	280	288	285	282	277	277	275	280	289	288	3	0,6
65	34	6	5	190	200	220	250	260	270	280	288	285	282	277	277	275	280	289	288	3	0,6
65	34	6	5	190	200	220	250	260	270	280	288	285	282	277	277	275	280	289	288	3	0,6
67	34	5,5	5,5	190	200	230	240	265	275	280	283	282	282	282	280	282	280	280	280	3	0,5
67	34	5,5	5,5	190	200	230	240	265	275	280	283	282	282	282	280	282	280	280	280	3	0,5
67	34	5,5	5,5	190	200	230	240	265	275	280	283	282	282	282	280	282	280	280	280	3	0,5
67	34	5,5	5,5	190	200	230	240	265	275	280	283	282	282	282	280	282	280	280	280	3	0,5
65	30	3,5	3,5	190	200	250	265	270	275	284	280	282	277	272	275	278	257	285	296	2	0,5
65	34	3,5	3,5	191	202	240	265	270	275	284	280	282	277	275	275	273	261	283	292	1	0,6
65	34	3,5	3,5	191	202	240	265	270	275	284	280	282	277	275	275	273	261	283	292	1	0,6
65	34	3,5	3,5	191	202	249	265	270	275	284	280	282	277	275	275	273	261	283	292	1	0,6
65	34	3,5	3,5	191	202	249	265	270	275	284	280	282	277	275	275	273	261	283	292	1	0,6
65	34	3,5	3,5	191	202	249	265	270	275	284	280	282	277	275	275	273	261	283	292	1	0,6
65	34	3,5	3,5	191	202	249	265	270	275	284	280	282	277	275	275	273	261	283	292	1	0,8
65	34	3,5	3,5	191	202	249	265	270	275	284	280	282	277	275	275	273	261	283	292	1	0,8
68	31	5,5	3,5	190	250	250	265	270	275	286	280	282	283	286	285	283	259	285	293	1	0,5
68	31	5,5	3,5	190	250	250	265	270	275	286	280	282	283	286	285	283	259	285	293	1	0,5

### Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran (Lanjutan)

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																				OUTPUT	
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)							T-Die Temeperatur (°C)									Work Shift	Bonding Strength (N/mm)
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
68	31	5,5	3,5	190	250	250	265	270	275	286	280	282	283	286	285	283	259	285	293	1	0,6
68	31	5,5	3,5	190	250	250	265	270	275	286	280	282	283	286	285	283	259	285	293	1	0,6
65	35	5	4	190	200	250	265	275	280	285	280	283	283	285	280	280	270	285	288	3	0,5
65	35	5	4	190	200	250	265	275	280	285	280	283	283	285	280	280	270	285	288	3	0,5
65	35	5	4	190	200	250	265	275	280	285	280	283	283	285	280	280	270	285	288	3	0,5
65	35	5	4	190	200	250	265	275	280	285	280	283	283	285	280	280	270	285	288	3	0,5
70	37	5	4,5	191	202	250	265	270	275	285	286	283	259	277	281	287	269	285	289	2	0,6
70	37	5	4,5	191	202	250	265	270	275	285	286	283	259	277	281	287	269	285	289	2	0,5
70	37	5	4,5	191	202	250	265	270	275	285	286	283	259	277	281	287	269	285	289	2	0,5
70	37	5	4,5	191	202	250	265	270	275	285	286	283	259	277	281	287	269	285	289	2	0,5
70	37	5	4,5	191	202	250	265	270	275	285	286	283	259	277	281	287	269	285	289	2	0,5
70	37	5	4	190	200	250	265	270	275	285	286	283	261	279	282	287	267	285	285	1	0,5
70	37	5	4	190	200	250	265	270	275	285	286	283	261	279	282	287	267	285	285	1	0,6
70	37	5	4	190	200	250	265	270	275	285	286	283	261	279	282	287	267	285	285	1	0,5
70	37	5	4	190	200	250	265	270	275	285	286	283	261	279	282	287	267	285	285	1	0,5
70	37	5	4	190	200	250	265	270	275	285	286	283	261	279	282	287	267	285	285	1	0,5
70	37	5	4	190	200	250	265	270	275	285	286	283	261	279	282	287	267	285	285	1	0,5
70	37	5	4	190	200	250	265	270	275	285	286	283	261	279	282	287	267	285	285	1	0,5
70	37	5	4	190	200	250	265	270	275	285	286	283	261	279	282	287	267	285	285	1	0,5
70	37	5	4	190	200	250	265	270	275	285	286	283	261	279	282	287	267	285	285	1	0,5
70	37	5	4	190	200	250	265	270	275	285	286	283	261	279	282	287	267	285	285	1	0,5
70	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	270	270	269	275	260	280	285	3	0,5
70	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	270	270	269	275	260	280	285	3	0,5
70	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	270	270	269	275	260	280	285	3	0,5
72	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	270	269	275	275	258	283	285	1	0,5
72	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	270	269	275	275	258	283	285	1	0,6
72	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	270	269	275	275	258	283	285	1	0,5
72	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	270	269	275	275	258	283	285	1	0,6
72	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	270	269	275	275	258	283	285	1	0,5
72	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	270	269	275	275	258	283	285	1	0,5
72	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	270	269	275	275	258	283	285	1	0,5
70	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	280	275	269	275	268	285	280	3	0,5
70	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	280	275	269	275	268	285	280	3	0,5
70	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	280	275	269	275	268	285	280	3	0,5
70	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	280	275	269	275	268	285	280	3	0,5
70	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	280	275	269	275	268	285	280	3	0,5
70	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	280	275	269	275	268	285	280	3	0,5

### Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran (Lanjutan)

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																					OUTPUT
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)							T-Die Temeperatur (°C)							Work Shift	Bonding Strength (N/mm)		
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7			8	9
70	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	280	275	269	275	268	285	280	3	0,5
70	35	4,5	5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	280	275	269	275	268	285	280	3	0,5
70	36	4	4,5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	280	281	274	280	264	281	288	2	0,6
70	36	4	4,5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	280	281	274	280	264	281	288	2	0,5
70	36	4	4,5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	280	281	274	280	264	281	288	2	0,5
70	36	4	4,5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	280	281	274	280	264	281	288	2	0,5
70	36	4	4,5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	280	281	274	280	264	281	288	2	0,6
70	36	4	4,5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	280	281	274	280	264	281	288	2	0,6
70	36	4	4,5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	280	281	274	280	264	281	288	2	0,5
70	36	4	4,5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	280	281	274	280	264	281	288	2	0,6
70	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	285	280	280	282	276	282	270	282	284	1	0,6
70	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	285	280	280	282	276	282	270	282	284	1	0,6
70	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	285	280	280	282	276	282	270	282	284	1	0,8
70	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	285	280	280	282	276	282	270	282	284	1	0,6
70	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	285	280	280	282	276	282	270	282	284	1	0,6
70	35	5	5	190	200	220	255	265	275	285	285	280	280	282	276	282	270	282	284	1	0,6
70	37	4	5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	281	282	277	280	261	278	285	3	0,5
70	37	4	5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	281	282	277	280	261	278	285	3	0,6
70	37	4	5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	281	282	277	280	261	278	285	3	0,5
70	37	4	5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	281	282	277	280	261	278	285	3	0,6
70	37	4	5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	281	282	277	280	261	278	285	3	0,6
70	37	4	5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	281	282	277	280	261	278	285	3	0,5
70	37	4	5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	281	282	277	280	261	278	285	3	0,5
70	37	4	5	190	200	250	265	270	275	285	280	285	281	282	277	280	261	278	285	3	0,5
70	37	4	4,5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	275	284	282	289	265	280	283	2	0,5
70	37	4	4,5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	275	284	282	289	265	280	283	2	0,5
70	37	4	4,5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	275	284	282	289	265	280	283	2	0,5
70	37	4	4,5	190	200	250	265	270	275	285	280	280	275	284	282	289	265	280	283	2	0,5
70	36	4	4,5	191	202	250	265	270	275	285	280	296	270	284	282	289	270	280	283	2	0,8
70	36	4	4,5	191	202	250	265	270	275	285	280	296	270	284	282	289	270	280	283	2	0,8
70	36	4	4,5	191	202	250	265	270	275	285	280	296	270	284	282	289	270	280	283	2	0,9
70	36	4	4,5	191	202	250	265	270	275	285	280	296	270	284	282	289	270	280	283	2	0,8
70	36	4	4,5	191	202	250	265	270	275	285	280	296	270	284	282	289	270	280	283	2	0,8
70	36	4	4,5	191	202	250	265	270	275	285	280	296	270	284	282	289	270	280	283	2	0,9
70	36	4	4,5	191	202	250	265	270	275	285	280	296	270	284	282	289	270	280	283	2	1
70	36	4	4,5	191	202	250	265	270	275	285	280	296	270	284	282	289	270	280	283	2	1
72	36	4,5	5	190	200	220	255	265	275	285	280	280	280	283	284	284	275	282	280	3	0,6
72	36	4,5	5	190	200	220	255	265	275	285	280	280	280	283	284	284	275	282	280	3	0,5

### Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran (Lanjutan)

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																				OUTPUT	
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)							T-Die Temeperatur (°C)									Work Shift	Bonding Strength (N/mm)
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
72	36	4,5	5	190	200	220	255	265	275	285	280	280	280	283	284	284	275	282	280	3	0,6
72	36	4,5	5	190	200	220	255	265	275	285	280	280	280	283	284	284	275	282	280	3	0,5
72	36	4,5	5	190	200	220	255	265	275	285	280	280	280	283	284	284	275	282	280	3	0,6
72	36	4,5	5	190	200	220	255	265	275	285	280	280	280	283	284	284	275	282	280	3	0,5
72	36	5	5	190	202	220	255	265	275	285	280	280	284	283	284	284	275	284	284	3	0,6
72	36	5	5	190	202	220	255	265	275	285	280	280	284	283	284	284	275	284	284	3	0,6
72	36	5	5	190	202	220	255	265	275	285	280	280	284	283	284	284	275	284	284	3	0,5
72	36	5	5	190	203	220	256	265	275	285	280	280	283	283	283	284	276	284	284	2	0,6
72	36	5	5	190	203	220	256	265	275	285	280	280	283	283	283	284	276	284	284	2	0,5
72	36	5	5	190	203	220	256	265	275	285	280	280	283	283	283	284	276	284	284	2	0,5
72	36	5	5	190	203	220	256	265	275	285	280	280	283	283	283	284	276	284	284	2	0,6
72	36	5	5	190	203	220	256	265	275	285	280	280	283	283	283	284	276	284	284	2	0,5
72	36	5	5	190	203	220	256	265	275	285	280	280	283	283	283	284	276	284	284	2	0,6
72	36	5	5,5	191	201	219	256	265	275	285	280	281	286	287	284	285	275	285	285	1	0,6
72	36	5	5,5	191	201	219	256	265	275	285	280	281	286	287	284	285	275	285	285	1	0,8
72	36	5	5,5	191	201	219	256	265	275	285	280	281	286	287	284	285	275	285	285	1	0,6
72	36	5	5,5	191	201	219	256	265	275	285	280	281	286	287	284	285	275	285	285	1	0,6
72	36	5	5,5	191	201	219	256	265	275	285	280	281	286	287	284	285	275	285	285	1	0,5
72	36	5	5,5	191	201	219	256	265	275	285	280	281	286	287	284	285	275	285	285	1	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	280	280	277	278	286	275	285	285	2	0,3
65	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	280	280	277	278	286	275	285	285	2	0,3
65	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	280	280	277	278	286	275	285	285	2	0,5
65	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	280	280	277	278	286	275	285	285	2	0,5
65	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	280	280	277	278	286	275	285	285	2	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	285	280	280	277	278	286	275	285	285	2	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	280	275	275	278	278	279	278	280	280	2	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	280	275	275	278	278	279	278	280	280	2	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	280	275	275	278	278	279	278	280	280	2	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	280	275	275	278	278	279	278	280	280	2	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	280	275	275	278	278	279	278	280	280	2	0,5
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	280	275	275	278	278	279	278	280	280	2	0,5
65	35	4,5	5	190	200	220	250	260	275	285	283	282	269	265	277	282	271	280	285	1	0,6
65	35	4,5	5	190	200	220	250	260	275	285	283	282	269	265	277	282	271	280	285	1	0,6
65	35	4,5	5	190	200	220	250	260	275	285	283	282	269	265	277	282	271	280	285	1	0,6
65	35	4,5	5	190	200	220	250	260	275	285	283	282	269	265	277	282	271	280	285	1	0,6
65	35	4,5	5	190	200	220	250	260	275	285	283	282	269	265	277	282	271	280	285	1	0,5

### Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran (Lanjutan)

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																				OUTPUT	
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)							T-Die Temeperatur (°C)							Work Shift	Bonding Strength (N/mm)		
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7			8	9
65	35	4,5	5	190	200	220	250	260	275	285	283	282	269	265	277	282	271	280	285	1	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	281	280	276	274	280	273	280	280	280	2	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	281	280	276	274	280	273	280	280	280	2	0,7
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	281	280	276	274	280	273	280	280	280	2	0,7
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	281	280	276	274	280	273	280	280	280	2	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	281	280	276	274	280	273	280	280	280	2	0,5
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	281	280	276	274	280	273	280	280	280	2	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	281	280	276	274	280	273	280	280	280	2	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	281	280	276	274	280	273	280	280	280	2	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	281	280	276	274	280	273	280	280	280	2	0,5
60	35	5	5	190	199	200	250	260	275	285	282	281	275	278	280	282	273	281	281	1	0,6
60	35	5	5	190	199	200	250	260	275	285	282	281	275	278	280	282	273	281	281	1	0,6
60	35	5	5	190	199	200	250	260	275	285	282	281	275	278	280	282	273	281	281	1	0,6
60	35	5	5	190	199	200	250	260	275	285	282	281	275	278	280	282	273	281	281	1	0,6
60	35	5	5	190	199	200	250	260	275	285	282	281	275	278	280	282	273	281	281	1	0,8
60	35	5	5	190	199	200	250	260	275	285	282	281	275	278	280	282	273	281	281	1	0,8
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	280	280	273	278	277	282	273	280	280	3	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	280	280	273	278	277	282	273	280	280	3	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	280	280	273	278	277	282	273	280	280	3	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	280	280	273	278	277	282	273	280	280	3	0,7
65	35	5	5	190	200	220	250	260	270	285	280	280	273	278	277	273	279	279	280	3	0,5
65	35	5	5	190	200	220	250	260	270	285	280	280	273	278	277	273	279	279	280	3	0,5
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	283	280	273	278	277	282	278	280	280	2	0,5
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	283	280	273	278	277	282	278	280	280	2	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	283	280	273	278	277	282	278	280	280	2	0,5
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	283	280	273	278	277	282	278	280	280	2	0,5
65	35	5,5	5,5	190	200	220	250	269	275	285	282	280	275	279	278	281	273	280	280	1	0,3
65	35	5,5	5,5	190	200	220	250	269	275	285	282	280	275	279	278	281	273	280	280	1	0,6
65	35	5,5	5,5	190	200	220	250	269	275	285	282	280	275	279	278	281	273	280	280	1	0,5
65	35	5,5	5,5	190	200	220	250	269	275	285	282	280	275	279	278	281	273	280	280	1	0,5
65	35	5,5	5,5	190	200	220	250	269	275	285	282	280	275	279	278	281	273	280	280	1	0,6
65	35	5,5	5,5	190	200	220	250	269	275	285	282	280	275	279	278	281	273	280	280	1	0,6
65	35	5,5	5,5	190	200	220	250	269	275	285	282	280	275	279	278	281	273	280	280	1	0,5
65	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	280	277	278	286	278	270	280	280	3	0,5
65	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	280	277	278	286	278	270	280	280	3	0,5

### Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran (Lanjutan)

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																					OUTPUT
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)							T-Die Temeperatur (°C)									Work Shift	Bonding Strength (N/mm)
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
65	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	280	277	278	286	278	270	280	280	3	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	265	275	285	280	280	277	278	286	278	270	280	280	3	0,6
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	284	280	275	280	280	278	270	276	280	1	0,5
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	284	280	275	280	280	278	270	276	280	1	0,3
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	284	280	275	280	280	278	270	276	280	1	0,5
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	284	280	275	280	280	278	270	276	280	1	0,2
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	284	280	275	280	280	278	270	276	280	1	0,5
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	284	280	275	280	280	278	270	276	280	1	0,5
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	284	280	275	280	280	278	270	276	280	1	0,2
65	35	5	5	190	200	220	250	260	275	285	284	280	275	280	280	278	270	276	280	1	0,5
65	34	6	5	190	200	220	250	260	270	280	288	283	280	275	277	275	280	288	288	2	1,3
65	34	6	5	190	200	220	250	260	270	280	288	283	280	275	277	275	280	288	288	2	0,8
65	34	6	5	190	200	220	250	260	270	280	288	283	280	275	277	275	280	288	288	2	1
65	34	6	5	190	200	220	250	260	270	280	288	283	280	275	277	275	280	288	288	2	0,8
65	34	6	5	190	200	220	250	260	270	280	288	283	280	275	277	275	280	288	288	2	0,8
65	32	5	5	190	200	240	250	260	270	280	288	280	280	280	280	280	280	280	288	1	0,6
65	32	5	5	190	200	240	250	260	270	280	288	280	280	280	280	280	280	280	288	1	0,6
65	32	5	5	190	200	240	250	260	270	280	288	280	280	280	280	280	280	280	288	1	1
65	32	5	5	190	200	240	250	260	270	280	288	280	280	280	280	280	280	280	288	1	1
65	32	5	5	190	200	240	250	260	270	280	288	280	280	280	280	280	280	280	288	1	0,6
65	32	5	5	190	200	240	250	260	270	280	288	280	280	280	280	280	280	280	288	1	0,6
65	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	280	280	280	280	280	280	280	283	288	2	0,6
65	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	280	280	280	280	280	280	280	283	288	2	0,6
65	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	280	280	280	280	280	280	280	283	288	2	0,6
65	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	280	280	280	280	280	280	280	283	288	2	0,7
65	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	280	280	280	280	280	280	280	283	288	2	0,8
65	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	280	280	280	280	280	280	280	283	288	2	0,8
65	33,4	5	4	195	200	220	250	265	275	285	285	282	285	285	286	274	256	288	300	3	0,5
65	33,4	5	4	195	200	220	250	265	275	285	285	282	285	285	286	274	256	288	300	3	0,6
65	33,4	5	4	195	200	220	250	265	275	285	285	282	285	285	286	274	256	288	300	3	0,5
65	33,4	5	4	195	200	220	250	265	275	285	285	282	285	285	286	274	256	288	300	3	0,5
65	33,4	5	4	195	200	220	250	265	275	285	285	282	285	285	286	274	256	288	300	3	0,6
65	33,4	5	4	195	200	220	250	265	275	285	285	282	285	285	286	274	256	288	300	3	0,5
65	34	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	282	285	285	286	274	256	288	302	2	0,5
65	34	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	282	285	285	286	274	256	288	302	2	0,5
65	34	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	282	285	285	286	274	256	288	302	2	0,5



### Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran (Lanjutan)

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																					OUTPUT		
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)									T-Die Temeperatur (°C)									Work Shift	Bonding Strength (N/mm)
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
65	34	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	282	285	285	286	274	256	288	302	2	0,6		
65	34	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	282	285	285	286	274	256	288	302	2	0,5		
65	34	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	282	285	285	286	274	256	288	302	2	0,5		
58	33	4,5	3,5	195	200	220	255	270	280	285	285	287	281	285	286	274	256	287	299	3	0,6		
58	33	4,5	3,5	195	200	220	255	270	280	285	285	287	281	285	286	274	256	287	299	3	0,6		
58	33	4,5	3,5	195	200	220	255	270	280	285	285	287	281	285	286	274	256	287	299	3	0,6		
58	33	4,5	3,5	195	200	220	255	270	280	285	285	287	281	285	286	274	256	287	299	3	0,5		
58	33	4,5	3,5	195	200	220	255	270	280	285	285	287	281	285	286	274	256	287	299	3	0,5		
60	34	5	4,5	195	200	220	255	270	280	285	285	287	281	283	280	274	256	287	299	2	1,33		
60	34	5	4,5	195	200	220	255	270	280	285	285	287	281	283	280	274	256	287	299	2	1,33		
58	34	4	3,5	195	200	220	250	270	280	285	285	287	281	281	279	274	256	287	298	2	0,6		
58	34	4	3,5	195	200	220	250	270	280	285	285	287	281	281	279	274	256	287	298	2	0,8		
58	34	4	3,5	195	200	220	250	270	280	285	285	287	281	281	279	274	256	287	298	2	0,8		
60	33,4	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	285	275	276	277	278	260	280	295	2	0,5		
60	33,4	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	285	275	276	277	278	260	280	295	2	0,5		
60	33,4	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	285	275	276	277	278	260	280	295	2	0,5		
60	33,4	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	285	275	276	277	278	260	280	295	2	0,5		
60	33,4	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	285	275	276	277	278	260	280	295	2	0,5		
60	33	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	285	275	276	276	278	263	280	295	3	0,6		
60	33	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	285	275	276	276	278	263	280	295	3	0,5		
60	33	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	285	275	276	276	278	263	280	295	3	0,6		
60	33	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	285	275	276	276	278	263	280	295	3	0,6		
60	33	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	285	275	276	276	278	263	280	295	3	0,5		
60	33	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	285	275	276	276	278	263	280	295	3	0,5		
60	33	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	285	275	276	276	278	263	280	295	3	0,5		
60	33	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	285	275	276	276	278	263	280	295	3	0,5		
60	33	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	285	275	276	276	278	263	280	295	3	0,5		
60	33	5	4	195	200	220	255	270	280	285	285	285	275	276	276	278	263	280	295	3	0,5		
61	31	5	4	195	200	220	250	260	270	280	280	280	278	278	275	278	265	280	283	2	0,5		
61	31	5	4	195	200	220	250	260	270	280	280	280	278	278	275	278	265	280	283	2	0,5		
61	31	5	4	195	200	220	250	260	270	280	280	280	278	278	275	278	265	280	283	2	0,5		
61	31	5	4	195	200	220	250	260	270	280	280	280	278	278	275	278	265	280	283	2	0,5		
61	31	5	4	195	200	220	250	260	270	280	280	280	278	278	275	278	265	280	283	2	0,6		
61	31	5	4	195	200	220	250	260	270	280	280	280	278	278	275	278	265	280	283	2	0,6		
61	31	5	4	195	200	220	250	260	270	280	280	280	278	278	275	278	265	280	283	2	0,6		
61	31	5	4	195	200	220	250	260	270	280	280	280	278	278	275	278	265	280	283	2	0,6		
65	35	5	4,5	195	200	220	250	265	275	285	280	280	260	280	280	280	255	290	295	2	0,5		
65	35	5	4,5	195	200	220	250	265	275	285	280	280	260	280	280	280	255	290	295	2	0,5		

### Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran (Lanjutan)

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																					OUTPUT
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)							T-Die Temeperatur (°C)									Work Shift	Bonding Strength (N/mm)
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
65	35,7	5	4	195	200	220	250	265	275	285	280	280	260	278	278	280	255	290	295	1	0,5
65	35,7	5	4	195	200	220	250	265	275	285	280	280	260	278	278	280	255	290	295	1	0,5
65	35,7	5	4	195	200	220	250	265	275	285	280	280	260	278	278	280	255	290	295	1	0,5
65	35,7	5	4	195	200	220	250	265	275	285	280	280	260	278	278	280	255	290	295	1	0,5
65	35,7	5	4	195	200	220	250	265	275	285	280	280	260	278	278	280	255	290	295	1	0,5
65	34	5	3	195	200	220	250	265	275	285	280	280	260	280	280	277	255	290	295	3	0,6
65	34	5	3	195	200	220	250	265	275	285	280	280	260	280	280	277	255	290	295	3	0,6
65	34	5	3	195	200	220	250	265	275	285	280	280	260	280	280	277	255	290	295	3	0,6
65	34	5	3	195	200	220	250	265	275	285	280	280	260	280	280	277	255	290	295	3	0,6
65	34	5	3	195	200	220	250	265	275	285	280	280	260	280	280	277	255	290	295	3	0,6
65	35	4	3	190	200	220	250	265	275	285	280	280	277	270	270	280	260	285	295	1	0,5
65	35	4	3	190	200	220	250	265	275	285	280	280	277	270	270	280	260	285	295	1	0,5
65	35	4	3	190	200	220	250	265	275	285	280	280	277	270	270	280	260	285	295	1	0,5
65	35	4	3	190	200	220	250	265	275	285	280	280	277	270	270	280	260	285	295	1	0,5
65	35	5	4	195	200	220	250	265	275	285	280	280	280	275	275	280	260	284	295	1	0,5
65	35	5	4	195	200	220	250	265	275	285	280	280	280	275	275	280	260	284	295	1	0,5
65	35	5	3	195	200	220	250	265	275	285	280	280	280	280	280	280	252	293	275	3	0,6
65	35	5	3	195	200	220	250	265	275	285	280	280	280	280	280	280	252	293	275	3	0,6
65	33	4	4	200	210	250	260	270	280	285	280	285	273	277	275	280	262	298	298	2	0,5
65	33	4	4	200	210	250	260	270	280	285	280	285	273	277	275	280	262	298	298	2	0,7
65	33	4	4	200	210	250	260	270	280	285	280	285	273	277	275	280	262	298	298	2	0,5
65	33	4	4	200	210	250	260	270	280	285	280	285	273	277	275	280	262	298	298	2	0,7
70	36	4	4	200	210	250	260	270	280	285	280	282	275	275	270	278	265	295	295	2	0,5
70	36	4	4	200	210	250	260	270	280	285	280	282	275	275	270	278	265	295	295	2	0,5
70	36	4	4	200	210	250	260	270	280	285	280	282	275	275	270	278	265	295	295	2	0,6
69	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	280	280	280	284	280	280	280	280	280	2	0,5
69	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	280	280	280	284	280	280	280	280	280	2	0,5
69	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	280	280	280	284	280	280	280	280	280	2	0,5
69	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	280	280	280	284	280	280	280	280	280	2	0,5
69	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	280	280	280	284	280	280	280	280	280	2	0,5
69	34	5	5	190	200	240	250	260	270	280	280	280	280	284	280	280	280	280	280	2	0,5
67	35	5,5	5,5	190	200	230	240	265	275	280	280	280	265	284	283	284	282	283	285	2	1,2
67	35	5,5	5,5	190	200	230	240	265	275	280	280	280	265	284	283	284	282	283	285	2	1,1

### Lampiran 1: Data Historis untuk Proses Pembelajaran (Lanjutan)

PARAMETER PENYETELAN (INPUT)																				OUTPUT	
Suhu Drier Box (°C)	Suhu Cooling Roll (°C)	Tekanan Silicon/Press Roll		Cylinder Die Temeperatur (°C)							T-Die Temeperatur (°C)							Work Shift	Bonding Strength (N/mm)		
		G	M	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7			8	9
67	35	5,5	5,5	190	200	230	240	265	275	280	280	280	265	284	283	284	282	283	285	2	1,1
67	36	5	5,5	190	200	230	240	265	275	280	280	280	265	284	283	284	283	283	285	1	1,5
67	36	5	5,5	190	200	230	240	265	275	280	280	280	265	284	283	284	283	283	285	1	1,1
67	36	5	5,5	190	200	230	240	265	275	280	280	280	265	284	283	284	283	283	285	1	1
67	36	5	5,5	190	200	230	240	265	275	280	280	280	265	284	283	284	283	283	285	1	1,1
67	36	5	5,5	190	200	230	240	265	275	280	280	280	265	284	283	284	283	283	285	1	0,8
67	36	5	5,5	190	200	230	240	265	275	280	280	280	265	284	283	284	283	283	285	1	0,8
67	34	5	5,5	190	200	231	240	265	275	280	280	281	280	284	284	284	282	283	285	3	0,6
67	34	5	5,5	190	200	231	240	265	275	280	280	281	280	284	284	284	282	283	285	3	0,5
67	34	5	5,5	190	200	231	240	265	275	280	280	281	280	284	284	284	282	283	285	3	0,6
67	34	5	5,5	190	200	231	240	265	275	280	280	281	280	284	284	284	282	283	285	3	0,6
67	34	5	5,5	190	200	231	240	265	275	280	280	281	280	284	284	284	282	283	285	3	0,8
67	34	5	5,5	190	200	231	240	265	275	280	280	281	280	284	284	284	282	283	285	3	0,6
65	33	5	5	190	200	230	240	259	270	275	280	279	279	277	273	263	266	277	282	3	0,6
65	33	5	5	190	200	230	240	259	270	275	280	279	279	277	273	263	266	277	282	3	0,6
65	33	5	5	190	200	230	240	259	270	275	280	279	279	277	273	263	266	277	282	3	0,6
65	33	5	5	190	200	230	240	259	270	275	280	279	279	277	273	263	266	277	282	3	0,6
65	34	5,5	5,5	190	200	230	240	260	270	280	280	280	278	276	275	262	270	270	282	1	0,6
65	34	5,5	5,5	190	200	230	240	260	270	280	280	280	278	276	275	262	270	270	282	1	0,3
65	34	5,5	5,5	190	200	230	240	260	270	280	280	280	278	276	275	262	270	270	282	1	0,6
65	34	5,5	5,5	190	200	230	240	260	270	280	280	280	278	276	275	262	270	270	282	1	0,6
65	34	5,5	5,5	190	200	230	240	260	270	280	280	280	278	276	275	262	270	270	282	1	0,6
65	34	5,5	5,5	190	200	230	240	260	270	275	280	279	279	279	273	263	266	277	282	2	0,6
65	34	5,5	5,5	190	200	230	240	260	270	275	280	279	279	279	273	263	266	277	282	2	0,6
65	34	5,5	5,5	190	200	230	240	260	270	275	280	279	279	279	273	263	266	277	282	2	0,5
65	34	5,5	5,5	190	200	230	240	260	270	275	280	279	279	279	273	263	266	277	282	2	0,6
65	33	5,5	5,5	190	200	230	240	260	270	280	280	274	270	276	275	262	270	279	282	1	0,6
65	33	5,5	5,5	190	200	230	240	260	270	280	280	274	270	276	275	262	270	279	282	1	0,5
65	33	5,5	5,5	190	200	230	240	260	270	280	280	274	270	276	275	262	270	279	282	1	0,5
65	33	5,5	5,5	190	200	230	240	260	270	280	280	274	270	276	275	262	270	279	282	1	0,6
65	33	5,5	5,5	190	200	230	240	260	270	280	280	274	270	276	275	262	270	279	282	1	0,6
65	33	4,5	4,5	190	200	230	240	260	270	280	280	275	272	276	275	265	270	278	282	1	0,5
65	33	4,5	4,5	190	200	230	240	260	270	280	280	275	272	276	275	265	270	278	282	1	0,6
65	33	4,5	4,5	190	200	230	240	260	270	280	280	275	272	276	275	265	270	278	282	1	0,6
65	33	4,5	4,5	190	200	230	240	260	270	280	280	275	272	276	275	265	270	278	282	1	0,6



Lampiran 2: Tabel *Error* Model Jaringan Syaraf Tiruan

Epoch	Avg. error per Input (Original Scale) (Training Set)		Avg. error per Input (Original Scale) (Validation Set)	
	MSE (Original Scale)	ARE (%)	MSE (Original Scale)	ARE (%)
1	0,021475	0,1708011	0,008476	0,118707
2	0,021206	0,1690496	0,008365	0,117744
3	0,021004	0,1676432	0,008282	0,117015
4	0,020845	0,1665391	0,008214	0,116620
5	0,020714	0,1657242	0,008156	0,116200
6	0,020602	0,1650210	0,008103	0,115738
7	0,020502	0,1644635	0,008053	0,115413
8	0,020411	0,1641544	0,008005	0,115136
9	0,020326	0,1639224	0,007959	0,114801
10	0,020245	0,1636757	0,007912	0,114412
11	0,020166	0,1634606	0,007865	0,114035
12	0,020089	0,1632671	0,007818	0,113710
13	0,020012	0,1630583	0,007771	0,113367
14	0,019935	0,1628415	0,007722	0,112976
15	0,019857	0,1626403	0,007673	0,112541
16	0,019779	0,1624285	0,007623	0,112063
17	0,019701	0,1621948	0,007572	0,111546
18	0,019622	0,1619403	0,007520	0,111092
19	0,019542	0,1616973	0,007467	0,110591
20	0,019462	0,1614487	0,007413	0,110235
21	0,019382	0,1612578	0,007358	0,109922
22	0,019301	0,1611089	0,007302	0,109641
23	0,019222	0,1610166	0,007245	0,109521
24	0,019142	0,1609273	0,007187	0,109379
25	0,019064	0,1608177	0,007128	0,109203
26	0,018987	0,1606931	0,007069	0,108993
27	0,018912	0,1605487	0,007009	0,108749
28	0,018838	0,1603878	0,006949	0,108482
29	0,018766	0,1602392	0,006889	0,108277
30	0,018696	0,1600722	0,006830	0,108042
31	0,018628	0,1598879	0,006771	0,107779
32	0,018564	0,1596873	0,006712	0,107492
33	0,018502	0,1594724	0,006655	0,107182
34	0,018442	0,1592444	0,006599	0,106852
35	0,018385	0,1590109	0,006545	0,106506
36	0,018331	0,1588629	0,006493	0,106147
37	0,018280	0,1587044	0,006443	0,105776
38	0,018232	0,1585366	0,006395	0,105396
39	0,018185	0,1583637	0,006349	0,105010

Lampiran 2: Tabel *Error* Model Jaringan Syaraf Tiruan (Lanjutan)

Epoch	Avg. error per Input (Original Scale) (Training Set)		Avg. error per Input (Original Scale) (Validation Set)	
	MSE (Original Scale)	ARE (%)	MSE (Original Scale)	ARE (%)
40	0,018142	0,1582084	0,006305	0,104619
41	0,018100	0,1580604	0,006263	0,104224
42	0,018060	0,1579450	0,006224	0,103828
43	0,018023	0,1578447	0,006186	0,103430
44	0,017986	0,1577481	0,006150	0,103033
45	0,017952	0,1576706	0,006116	0,102636
46	0,017919	0,1575932	0,006083	0,102241
47	0,017887	0,1575076	0,006052	0,101848
48	0,017856	0,1574141	0,006023	0,101457
49	0,017826	0,1573136	0,005994	0,101069
50	0,017796	0,1572066	0,005967	0,100683
51	0,017768	0,1571076	0,005940	0,100319
52	0,017740	0,1570057	0,005915	0,099958
53	0,017713	0,1569049	0,005890	0,099601
54	0,017687	0,1568038	0,005866	0,099246
55	0,017661	0,1566980	0,005843	0,098894
56	0,017636	0,1565874	0,005821	0,098545
57	0,017611	0,1564730	0,005799	0,098199
58	0,017586	0,1563584	0,005778	0,097856
59	0,017562	0,1562473	0,005757	0,097517
60	0,017538	0,1561332	0,005737	0,097182
61	0,017515	0,1560161	0,005718	0,096849
62	0,017492	0,1559003	0,005698	0,096559
63	0,017469	0,1557824	0,005680	0,096273
64	0,017447	0,1556621	0,005662	0,095989
65	0,017425	0,1555396	0,005644	0,095707
66	0,017403	0,1554154	0,005627	0,095426
67	0,017382	0,1552899	0,005610	0,095147
68	0,017361	0,1551628	0,005593	0,094871
69	0,017340	0,1550370	0,005577	0,094596
70	0,017320	0,1549142	0,005561	0,094324
71	0,017300	0,1547903	0,005546	0,094055
72	0,017280	0,1546659	0,005531	0,093788
73	0,017260	0,1545410	0,005516	0,093524
74	0,017241	0,1544156	0,005502	0,093262
75	0,017222	0,1542916	0,005488	0,093007
76	0,017203	0,1541702	0,005474	0,092761
77	0,017185	0,1540486	0,005461	0,092517
78	0,017167	0,1539271	0,005448	0,092276

Lampiran 2: Tabel *Error* Model Jaringan Syaraf Tiruan (Lanjutan)

Epoch	Avg. error per Input (Original Scale) (Training Set)		Avg. error per Input (Original Scale) (Validation Set)	
	MSE (Original Scale)	ARE (%)	MSE (Original Scale)	ARE (%)
79	0,017149	0,1538058	0,005435	0,092038
80	0,017131	0,1536845	0,005422	0,091803
81	0,017113	0,1535639	0,005410	0,091571
82	0,017096	0,1534435	0,005399	0,091343
83	0,017079	0,1533322	0,005387	0,091117
84	0,017062	0,1532343	0,005376	0,090895
85	0,017046	0,1531369	0,005365	0,090676
86	0,017029	0,1530420	0,005354	0,090481
87	0,017013	0,1529480	0,005344	0,090295
88	0,016997	0,1528544	0,005333	0,090110
89	0,016981	0,1527621	0,005323	0,089940
90	0,016966	0,1526733	0,005314	0,089798
91	0,016950	0,1525850	0,005304	0,089658
92	0,016935	0,1525058	0,005295	0,089559
93	0,016920	0,1524315	0,005286	0,089470
94	0,016904	0,1523573	0,005277	0,089382
95	0,016889	0,1522834	0,005269	0,089295
96	0,016875	0,1522097	0,005260	0,089210
97	0,016860	0,1521387	0,005252	0,089164
98	0,016845	0,1520699	0,005244	0,089144
99	0,016831	0,1520018	0,005236	0,089130
100	0,016817	0,1519343	0,005229	0,089116
101	0,016802	0,1518667	0,005222	0,089103
102	0,016788	0,1517995	0,005214	0,089090
103	0,016774	0,1517326	0,005207	0,089078
104	0,016760	0,1516660	0,005200	0,089066
105	0,016746	0,1515998	0,005194	0,089054
106	0,016732	0,1515339	0,005187	0,089043
107	0,016718	0,1514682	0,005181	0,089032
108	0,016704	0,1514027	0,005175	0,089022
109	0,016690	0,1513379	0,005169	0,089012
110	0,016676	0,1512729	0,005163	0,089002
111	0,016663	0,1512084	0,005157	0,088993
112	0,016649	0,1511440	0,005151	0,088985
113	0,016635	0,1510801	0,005146	0,088976
114	0,016621	0,1510163	0,005140	0,088968
115	0,016608	0,1509527	0,005135	0,088961
116	0,016594	0,1508895	0,005130	0,088954
117	0,016580	0,1508276	0,005125	0,088947

Lampiran 2: Tabel *Error* Model Jaringan Syaraf Tiruan (Lanjutan)

Epoch	Avg. error per Input (Original Scale) (Training Set)		Avg. error per Input (Original Scale) (Validation Set)	
	MSE (Original Scale)	ARE (%)	MSE (Original Scale)	ARE (%)
118	0,016566	0,1507673	0,005120	0,088940
119	0,016553	0,1507073	0,005115	0,088934
120	0,016539	0,1506471	0,005110	0,088929
121	0,016525	0,1505872	0,005106	0,088923
122	0,016511	0,1505273	0,005101	0,088918
123	0,016497	0,1504675	0,005097	0,088913
124	0,016483	0,1504075	0,005092	0,088908
125	0,016469	0,1503478	0,005088	0,088904
126	0,016455	0,1502879	0,005084	0,088900
127	0,016440	0,1502304	0,005080	0,088902
128	0,016426	0,1501758	0,005076	0,088914
129	0,016412	0,1501209	0,005072	0,088926
130	0,016397	0,1500660	0,005068	0,088939
131	0,016383	0,1500110	0,005064	0,088951
132	0,016368	0,1499590	0,005060	0,088964
133	0,016353	0,1499104	0,005056	0,088976
134	0,016338	0,1498617	0,005053	0,088989
135	0,016323	0,1498124	0,005049	0,089002
136	0,016308	0,1497631	0,005045	0,089015
137	0,016293	0,1497132	0,005042	0,089028
138	0,016277	0,1496631	0,005038	0,089041
139	0,016262	0,1496126	0,005035	0,089054
140	0,016246	0,1495617	0,005032	0,089067
141	0,016231	0,1495105	0,005028	0,089080
142	0,016215	0,1494586	0,005025	0,089093
143	0,016199	0,1494064	0,005022	0,089107
144	0,016182	0,1493536	0,005018	0,089120
145	0,016166	0,1493006	0,005015	0,089133
146	0,016149	0,1492468	0,005012	0,089146
147	0,016133	0,1491924	0,005008	0,089159
148	0,016116	0,1491374	0,005005	0,089172
149	0,016099	0,1490820	0,005002	0,089185
150	0,016082	0,1490259	0,004999	0,089197
151	0,016064	0,1489693	0,004996	0,089210
152	0,016047	0,1489118	0,004993	0,089222
153	0,016029	0,1488539	0,004989	0,089234
154	0,016011	0,1487951	0,004986	0,089247
155	0,015993	0,1487368	0,004983	0,089258
156	0,015975	0,1486789	0,004980	0,089270



Lampiran 2: Tabel *Error* Model Jaringan Syaraf Tiruan (Lanjutan)

Epoch	Avg. error per Input (Original Scale) (Training Set)		Avg. error per Input (Original Scale) (Validation Set)	
	MSE (Original Scale)	ARE (%)	MSE (Original Scale)	ARE (%)
157	0,015957	0,1486202	0,004977	0,089282
158	0,015938	0,1485673	0,004973	0,089293
159	0,015919	0,1485185	0,004970	0,089304
160	0,015900	0,1484691	0,004967	0,089315
161	0,015881	0,1484189	0,004964	0,089325
162	0,015862	0,1483681	0,004961	0,089335
163	0,015842	0,1483163	0,004957	0,089345
164	0,015822	0,1482641	0,004954	0,089355
165	0,015803	0,1482113	0,004951	0,089364
166	0,015783	0,1481573	0,004948	0,089373
167	0,015762	0,1481031	0,004944	0,089381
168	0,015742	0,1480507	0,004941	0,089389
169	0,015721	0,1479974	0,004938	0,089396
170	0,015701	0,1479433	0,004934	0,089403
171	0,015680	0,1478887	0,004931	0,089410
172	0,015658	0,1478332	0,004928	0,089416
173	0,015637	0,1477769	0,004924	0,089422
174	0,015616	0,1477197	0,004921	0,089427
175	0,015594	0,1476615	0,004917	0,089431
176	0,015572	0,1476027	0,004914	0,089435
177	0,015551	0,1475430	0,004910	0,089438
178	0,015529	0,1474867	0,004907	0,089441
179	0,015506	0,1474335	0,004903	0,089443
180	0,015484	0,1473794	0,004900	0,089444
181	0,015462	0,1473243	0,004896	0,089445
182	0,015439	0,1472681	0,004893	0,089445
183	0,015416	0,1472112	0,004889	0,089444
184	0,015394	0,1471529	0,004885	0,089443
185	0,015371	0,1470938	0,004882	0,089440
186	0,015348	0,1470359	0,004878	0,089437
187	0,015324	0,1469780	0,004874	0,089434
188	0,015301	0,1469191	0,004871	0,089429
189	0,015278	0,1468593	0,004867	0,089424
190	0,015254	0,1467982	0,004863	0,089418
191	0,015231	0,1467362	0,004860	0,089411
192	0,015207	0,1466728	0,004856	0,089403
193	0,015184	0,1466087	0,004852	0,089394
194	0,015160	0,1465429	0,004849	0,089384
195	0,015136	0,1464764	0,004845	0,089374

Lampiran 2: Tabel *Error* Model Jaringan Syaraf Tiruan (Lanjutan)

Epoch	Avg. error per Input (Original Scale) (Training Set)		Avg. error per Input (Original Scale) (Validation Set)	
	MSE (Original Scale)	ARE (%)	MSE (Original Scale)	ARE (%)
196	0,015112	0,1464087	0,004841	0,089362
197	0,015089	0,1463468	0,004837	0,089350
198	0,015065	0,1462865	0,004834	0,089337
199	0,015041	0,1462249	0,004830	0,089323
200	0,015017	0,1461624	0,004826	0,089308