

**PENGENDALIAN PARAMETER PROSES *WATER TREATMENT* UNTUK  
MENGOPTIMALKAN KAPASITAS DAN KUALITAS *FEEDWATER*  
PADA *BOILER* DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI  
(Studi Kasus pada PT. Ekamas Fortuna, Jawa Timur)**

**SKRIPSI**

**Konsentrasi Sistem Manufaktur dan Jasa**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**WILUDDYANA GHOISI NAFIDA  
NIM. 0610670052-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2010**

## PENGANTAR

Puji dan syukur panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, petunjuk, dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah banyak membantu proses penyelesaian skripsi ini, oleh karena itu tak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Nasir Widha Setyanto, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan skripsi ini.
2. Bapak Arif Rahman, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan skripsi ini.
3. Bapak Achsan Ilma, Bapak Suyoto, Bapak Dedy Izzaful, Bapak Qomarul beserta seluruh anggota seksi *boiler* dan *water treatment* PT. Ekamas Fortuna yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian.
4. Kedua orang tua dan adik-adik atas motivasi dan dukungan yang menguatkan dalam pengerjaan skripsi ini.
5. Teman-teman dan seluruh pihak yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian serta masukan untuk penyelesaian laporan.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian lebih lanjut.

Malang, Agustus 2010

Penulis

## DAFTAR ISI

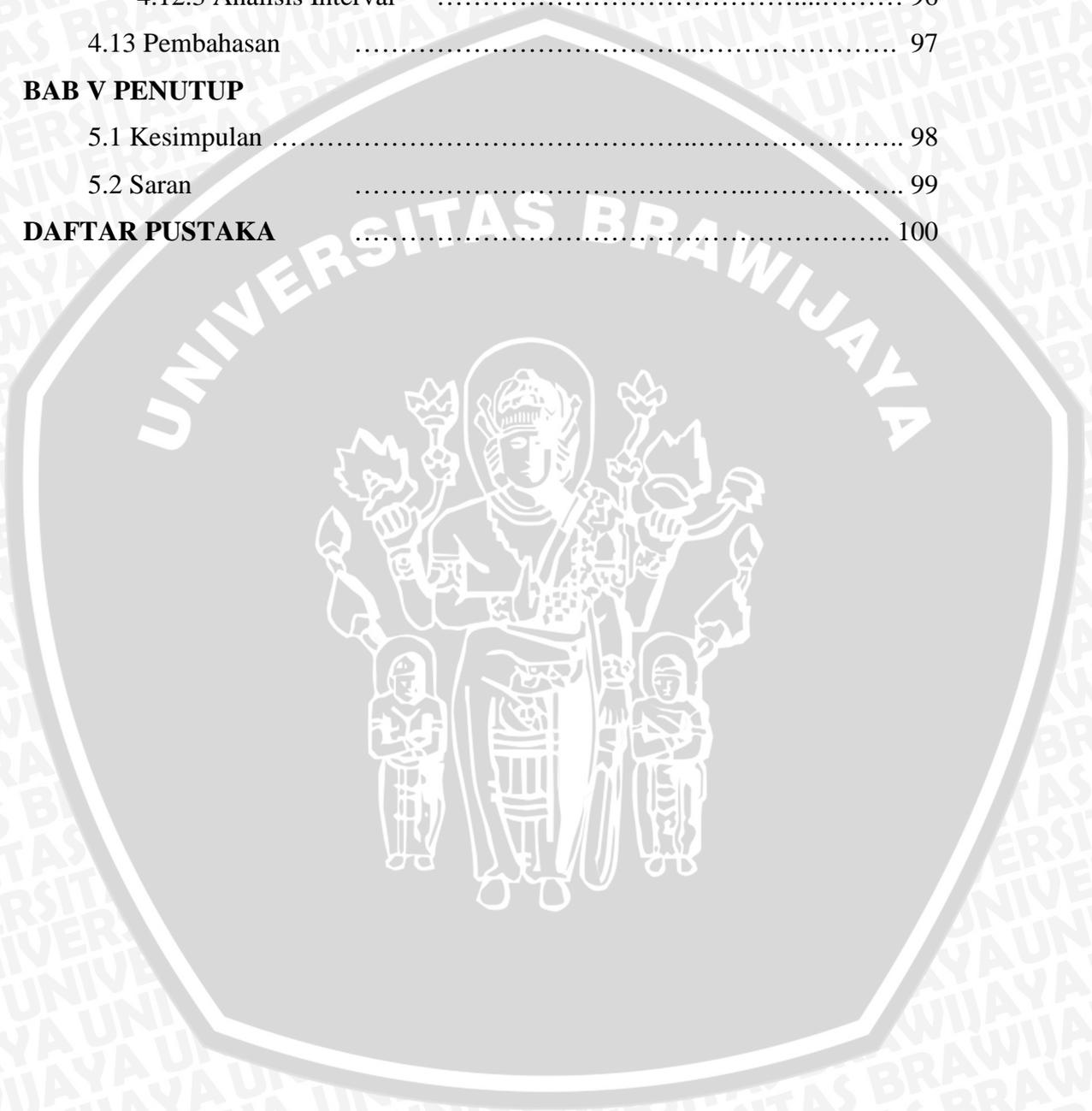
<b>PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>SUMMARY</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Asumsi .....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Terdahulu .....	5
2.2 <i>Boiler</i> .....	5
2.3 <i>Feedwater Boiler</i> .....	6
2.4 Metode Taguchi .....	9
2.4.1 Kualitas .....	9
2.4.2 Konsep Taguchi .....	11
2.4.3 <i>Loss Function</i> (Fungsi Kerugian) .....	11
2.4.4 <i>Signal-to-Noise Ratio</i> .....	14
2.5 <i>Robust Design</i> .....	15
2.6 Langkah Penelitian Taguchi .....	16
2.6.1 Fase-fase Penelitian Taguchi.....	16
2.6.2 Langkah-langkah Utama Penelitian .....	17
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Jenis Penelitian .....	25
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	25

3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	25
3.4 Sumber Data .....	25
3.5 Metode Pengumpulan Data.....	26
3.6 Langkah Penelitian.....	26
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	28

## BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Proses Produksi <i>Feedwater Boiler</i> .....	31
4.1.1 <i>Pre Water Treatment (Raw Water)</i> .....	32
4.1.2 <i>Soft Water Treatment</i> .....	33
4.2 Penetapan Karakteristik Kualitas .....	35
4.3 Pemilihan Faktor yang Berpengaruh Terhadap Kualitas.....	35
4.3.1 Faktor yang Berpengaruh Terhadap Nilai <i>Total Hardness</i> (TH).....	35
4.3.2 Faktor yang Berpengaruh Terhadap Nilai Derajat Keasaman (pH).....	39
4.4 Identifikasi Faktor Kontrol dan Faktor <i>Noise</i> .....	41
4.5 Penentuan Level Faktor .....	41
4.6 Perhitungan Derajat Kebebasan ( <i>degrees of freedom/dof</i> ).....	43
4.7 Pemilihan <i>Orthogonal Array (OA)</i> .....	44
4.8 Pelaksanaan Eksperimen .....	45
4.9 Analisis <i>Total Hardness</i> .....	46
4.9.1 Analisis Variansi .....	46
4.9.2 Perhitungan Persen Kontribusi .....	50
4.9.3 Pooling Faktor-faktor yang Tidak Signifikan .....	51
4.9.4 Perhitungan S/N Ratio .....	60
4.9.5 Analisis Regresi .....	63
4.9.6 Prediksi Level Faktor untuk Kondisi Optimal .....	65
4.10 Analisis Derajat Keasaman (pH) .....	67
4.10.1 Analisis Variansi .....	67
4.10.2 Perhitungan Persen Kontribusi .....	70
4.10.3 Pooling Faktor-faktor yang Tidak Signifikan .....	71
4.10.4 Perhitungan S/N Ratio .....	74

4.11 Analisis Gabungan .....	77
4.12 Eksperimen Konfirmasi .....	92
4.12.1 Eksperimen Konfirmasi <i>Total Hardness</i> .....	92
4.12.2 Eksperimen Konfirmasi Derajat Keasaman .....	94
4.12.3 Analisis Interval .....	96
4.13 Pembahasan .....	97
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	98
5.2 Saran .....	99
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	100



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Hal.
Tabel 1.1	Spesifikasi <i>Total Hardness</i> dan pH.....	3
Tabel 2.1	Karakteristik Kualitas .....	18
Tabel 2.2	Contoh <i>Orthogonal Array</i> $L_8(2^7)$ .....	20
Tabel 2.3	<i>Orthogonal Array</i> Standar dari Taguchi.....	20
Tabel 2.4	<i>Analysis of Variance</i> .....	23
Tabel 4.1	Nilai <i>Total Hardness</i> dan <i>Turbidity</i> pada <i>Raw Water</i> .....	36
Tabel 4.2	Analisis Korelasi antara TBD dan TH .....	37
Tabel 4.3	Nilai pH <i>Raw Water</i> , <i>Soft Water</i> , dan <i>Feedwater</i> .....	40
Tabel 4.4	Faktor Kontrol dan <i>Noise</i> untuk <i>Total Hardness</i> .....	41
Tabel 4.5	Faktor Kontrol dan <i>Noise</i> untuk pH .....	46
Tabel 4.6	Penentuan Faktor untuk Penelitian <i>Total Hardness</i> .....	42
Tabel 4.7	Level Faktor <i>Total Hardness</i> .....	42
Tabel 4.8	Penentuan Faktor untuk Penelitian pH .....	43
Tabel 4.9	Level Faktor Derajat Keasaman .....	43
Tabel 4.10	<i>Orthogonal Array</i> $L_9(4^3)$ .....	44
Tabel 4.11	<i>Orthogonal Array</i> $L_4(3^2)$ .....	44
Tabel 4.12	Hasil Eksperimen <i>Total Hardness</i> .....	45
Tabel 4.13	Hasil Eksperimen pH .....	45
Tabel 4.14	Rata-rata Hasil Eksperimen .....	46
Tabel 4.15	Annova Eksperimen <i>Total Hardness</i> .....	50
Tabel 4.16	Pooling Faktor .....	52
Tabel 4.17	Pooling Faktor B .....	54
Tabel 4.18	Pooling Faktor A .....	55
Tabel 4.19	Ringkasan Pooling Faktor.....	56
Tabel 4.20	Perbandingan <i>Rank</i> antara Tabel Respon dan ANNAVA.....	56
Tabel 4.21	Nilai S/N Ratio Ekperimen <i>Total Hardness</i> .....	61
Tabel 4.22	Tabel Respon S/N Ratio .....	62
Tabel 4.23	Analisis Regresi .....	64
Tabel 4.24	Rata-rata Hasil Ekperimen pH .....	67

Tabel 4.25 Tabel Respon Pengaruh Faktor .....	68
Tabel 4.26 Anova pH .....	70
Tabel 4.27 Pooling Faktor .....	72
Tabel 4.28 Pooling Faktor A .....	73
Tabel 4.29 Ringkasan Pooling Faktor.....	73
Tabel 4.30 Perbandingan Rank antara Tabel Respon dan ANNAVA.....	74
Tabel 4.31 Nilai S/N Ratio Eksperimen pH .....	74
Tabel 4.32 Tabel Respon Faktor untuk S/N Ratio .....	75
Tabel 4.33 Analisis Regresi pH <i>feedwater</i> .....	77
Tabel 4.34 ANOVA Faktor <i>Regeneration Time</i> Terhadap <i>Total Hardness</i> .....	78
Tabel 4.35 ANOVA Faktor <i>Regeneration Time</i> Terhadap pH .....	79
Tabel 4.36 ANOVA Faktor <i>Flow Rate Softener Tank</i> Terhadap <i>Total Hardness</i> ....	80
Tabel 4.37 ANOVA Faktor <i>Flow Rate Softener Tank</i> Terhadap pH.....	81
Tabel 4.38 ANOVA Faktor Tekanan <i>Pressure Tank</i> Terhadap <i>Total Hardness</i> .....	82
Tabel 4.39 ANOVA Faktor Tekanan <i>Pressure Tank</i> Terhadap pH.....	84
Tabel 4.40 Analisis Regresi pH <i>Soft Water</i> .....	85
Tabel 4.41 Level Faktor Sebelum Analisis per Faktor .....	86
Tabel 4.42 Level Faktor Setelah Analisis per Faktor .....	86
Tabel 4.43 Jadwal Operasional dengan Empat <i>Softener Tank</i> .....	87
Tabel 4. 44 Jadwal Operasional dengan Tiga <i>Softener Tank</i> .....	88
Tabel 4.45 Jadwal Operasional dengan Dua <i>Softener Tank</i> .....	90
Tabel 4.46 Perbandingan Faktor Antara Ketiga Alternatif Penggunaan <i>Softener</i> ....	91
Tabel 4.47 Level Faktor Optimum .....	91
Tabel 4.48 Interval Kepercayaan untuk Setiap Level Faktor.....	92
Tabel 4.49 Interval Kepercayaan untuk Setiap Level Faktor.....	94

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Hal.
Gambar 2.1	<i>Scaling</i> pada <i>Impeller Feedwater Pump</i> .....	7
Gambar 2.2	Korosi pada Pipa <i>Economizer</i> .....	8
Gambar 2.3	Fungsi Kerugian <i>Nominal the Best</i> .....	12
Gambar 2.4	Fungsi Kerugian <i>Smaller the Better</i> .....	13
Gambar 2.5	Fungsi Kerugian <i>Larger the Better</i> .....	13
Gambar 2.6	Hubungan antara Faktor dengan Respon.....	14
Gambar 2.7	<i>First Linear Graph for L16 Array</i> .....	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 4.1	Diagram Alir <i>Boiler Water</i> .....	31
Gambar 4.2	Diagram Alir <i>Pre Water Treatment</i> .....	32
Gambar 4.3	Diagram Alir <i>Soft Water</i> dan <i>Feedwater</i> .....	33
Gambar 4.4	<i>Softener Tank</i> .....	34
Gambar 4.5	Penyebab Nilai <i>Total Hardness (TH)</i> .....	38
Gambar 4.6	Penyebab Nilai pH .....	39
Gambar 4.7	Citra Satelit Lokasi Pabrik .....	57
Gambar 4.8	Evaluasi Curah Hujan Malang Raya Mei 2010.....	58
Gambar 4.9	Evaluasi Sifat Hujan Malang Raya Mei 2010 .....	59
Gambar 4.10	Grafik Respon Pengaruh Faktor .....	63
Gambar 4.11	Grafik Respon Pengaruh Faktor .....	65
Gambar 4.12	Grafik Respon Pengaruh Faktor .....	76
Gambar 4.13	Grafik Hubungan <i>Regeneration Time</i> dan <i>Total Hardness</i> .....	78
Gambar 4.14	Grafik Hubungan <i>Regeneration Time</i> dan pH.....	79
Gambar 4.15	Grafik Hubungan <i>Flow Rate Softener Tank</i> dan <i>Total Hardness</i> .....	80
Gambar 4.16	Grafik Hubungan <i>Flow Rate Softener Tank</i> dan <i>Total Hardness</i> dalam persamaan $\ln(e^y) = a_1x + a_0$ .....	81
Gambar 4.17	Grafik Hubungan <i>Flow Rate Softener Tank</i> dan pH.....	82
Gambar 4.18	Grafik Hubungan Tekanan <i>Pressure Tank</i> Terhadap <i>Total Hardness</i> .....	83
Gambar 4.19	Grafik Hubungan Tekanan <i>Pressure Tank</i> dan <i>Total Hardness</i> dalam persamaan $\ln(e^y) = a_1x + a_0$ .....	83

Gambar 4.20 Grafik Hubungan Tekanan *Pressure Tank* Terhadap pH..... 84

Gambar 4. 21 Interval Kepercayaan Rata-rata Prediksi dan Eksperimen Konfirmasi  
*Total Hardness* ..... 96

Gambar 4. 22 Interval Kepercayaan Rata-rata Prediksi dan Eksperimen Konfirmasi  
pH ..... 97



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT. Ekamas Fortuna yang bergerak di bidang *paper manufacture* memiliki tujuh *boiler* yang digunakan untuk mendapatkan *steam* untuk menurunkan kelembaban kertas yang diproduksi. *Boiler* ini menggunakan air Sungai Lesti, yang telah mengalami *treatment* sebelumnya, sebagai bahan bakunya.

Mendapatkan *feedwater* yang baik merupakan aspek yang penting dan fundamental untuk *boiler*, karena dengan *feedwater boiler* yang baik maka akan didapatkan beberapa keuntungan yaitu: membantu untuk memaksimalkan *life time* dari boiler itu sendiri, mereduksi biaya perawatan, dan menjaga performansi suhu yang optimal. *Feedwater* yang tidak sesuai dengan kualifikasi kualitas yang dibutuhkan oleh *boiler* akan menyebabkan timbulnya kerak, korosi, dan berbagai macam permasalahan yang mempengaruhi performansi *boiler*.

Korosi dapat menyebabkan keretakan dan kebocoran pada kelengkapan *boiler*. Korosi ini akan timbul pada bagian yang dilewati oleh *water line*, contohnya pompa, *valve*, dan pipa. Salah satu contoh kasus yang baru-baru ini dialami oleh PT. Ekamas Fortuna akibat *feedwater* yang kurang berkualitas adalah kebocoran akibat korosi di *economizers*. Sekitar 20% dari pipa yang ada di dalam *economizers* mengalami kebocoran akibat korosi.

Kerak (*scaling*) dapat menyebabkan penurunan *heat transfer* pada *boiler* dan juga menyebabkan kerusakan pada kelengkapan *boiler* seperti *valve* dan pompa. Contohnya di PT. Ekamas Fortuna, *impeller* pada *feedwater pump* mengalami *scaling*, bagian ini tidak dapat digunakan lagi, karena jika dipaksakan untuk tetap dipergunakan dikhawatirkan akan meledak.

*Feedwater* merupakan campuran dari *condensate water* dan *soft water*. *Condensate water* tidak diproduksi tetapi didapat dari kondensasi *steam* dari *dryer machine*. Sehingga kapasitasnya tidak dapat ditentukan bahkan bisa dibilang kecil, sehingga *soft water* harus disuplai lebih banyak untuk memenuhi target kapasitas. Sedangkan kualitas *feedwater* sendiri dipengaruhi oleh kualitas *soft water*, karena *condensate water* merupakan H<sub>2</sub>O murni yang tidak mempengaruhi kualitas *feedwater*. Berarti kualitas *soft water* yang kurang baik akan mempengaruhi *boiler*

sehingga bisa menyebabkan masalah seperti yang sudah dicontohkan di atas dan mempertinggi frekuensi *maintenance* yang seharusnya dapat diturunkan jika kualitasnya baik.

Beberapa bagian dari kelengkapan *boiler* yang dilalui *water line* seperti *softener*, *feedwater pump* atau *dozing pump* selama 3 tahun terakhir (2006-2010) mengalami rata-rata 12 kali *maintenance*. *Maintenance* ini adalah tindakan *maintenance* korektif yang dilaksanakan jika terjadi kerusakan yang membutuhkan pergantian *part* karena *part* sebelumnya sudah rusak. Selain *maintenance* korektif juga ada *maintenance* preventif yang dilaksanakan setiap pagi untuk mengecek kondisi kelengkapan *boiler*.

Untuk menghindari kerusakan-kerusakan tersebut maka kualitas *feedwater* harus dijaga. *Feedwater* memiliki spesifikasi kualitas yang terdiri dari dua parameter, yaitu *Total Hardness (TH)* dan derajat keasaman (pH). Kedua parameter ini dijaga kualitasnya sejak mulai dari *raw water*, *soft water*, *feedwater boiler*, hingga *water boiler*. Spesifikasi kualitasnya dapat dilihat dari Tabel 1.1

Tabel 1.1 Spesifikasi *Total Hardness* dan pH

<i>Raw water</i>	<i>Soft water</i>		<i>Feedwater</i>
pH	TH	pH	pH
6.5-8.5	≤2	6.5-8.5	7.0-9.0

Sumber: PT. Ekamas Fortuna

Tabel 1.1 menunjukkan bahwa spesifikasi *Total Hardness* sebesar 2 NTU, namun di lapangan spesifikasi ini menjadi lebih ketat yaitu sebesar 0 NTU. Nilai *Total Hardness* akan tetap setelah *soft water* karena penambahan *condensate water* tidak akan merubah nilai *Total Hardness*, namun sering terjadi lolosnya nilai *Total Hardness* pada *softener* yang dapat menyebabkan *scaling* pada pipa air *boiler* (*Bulletin Engineering Ekamas*, 2010:5).

Inspeksi *Total Hardness* pada keempat *softener tank* dilaksanakan setiap jam selama 24 jam dalam 7 hari. *Total Hardness* yang tidak nol (0) kira-kira sebesar 1,2 NTU hingga 2,6 NTU atau lebih, sedangkan kemunculan *Total Hardness* yang tidak nol ini rata-rata 1 hingga 2 kali sehari per *softener*.

Ada banyak faktor yang diperlukan untuk menjaga kualitas *feedwater*, salah satu contohnya adalah dengan pengaturan *flow rate*. *Flow rate* yang tinggi akan menyebabkan kerja mesin tidak efektif sehingga kualitas turun, namun *flow rate* yang rendah akan menyebabkan target kapasitas tidak dapat dipenuhi dan juga

pemborosan terhadap *chemical* yang digunakan. Selain itu volume resin yang tinggi akan menyebabkan pemborosan resin dan kesulitan saat *back wash*, sedangkan volume resin yang rendah akan menyebabkan kandungan terlarut tidak seluruhnya terikat oleh resin sehingga kualitas akan turun dan menyebabkan masalah di *boiler*.

Untuk saat ini PT. Ekamas Fortuna mengatur *flow rate softener tank* sebesar 21-23 m<sup>3</sup>/jam, dengan tekanan *pressure tank* sebesar 4-4.5 bar, *regeneration time* selama 50-55 menit, *total regeneration time* selama 70-75 menit, dan *softener capacity* sebesar 160-180 m<sup>3</sup>.

Agar kualitas *feedwater* boiler ini tetap terjaga, maka dibutuhkan pengendalian terhadap operasi agar optimal, contohnya dengan menentukan *flow rate* optimal, volume resin optimal, serta faktor-faktor berpengaruh lainnya harus diatur dalam kondisi optimal. Salah satu cara yang bisa digunakan adalah dengan menentukan faktor dan level yang menghasilkan kondisi optimal melalui eksperimen dengan menggunakan desain berdasarkan metode Taguchi. Metode Taguchi akan memberikan prediksi kondisi optimal pada pengolahan air untuk mendapatkan *feedwater* untuk *boiler* yang berkualitas.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana menentukan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses pengolahan *feedwater* untuk *boiler*?
2. Bagaimana menentukan kombinasi level faktor optimal sehingga mampu mengoptimalkan kualitas dan kapasitas *feedwater* untuk *boiler*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses pengolahan *feedwater* untuk *boiler*.
2. Menentukan kombinasi level faktor optimal sehingga mampu mengoptimalkan kualitas dan kapasitas *feedwater* untuk *boiler*.

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. parameter kualitas yang diamati adalah *Total Hardness* dan pH (derajat keasaman) dari *feedwater*.
2. biaya tidak disinggung dalam penelitian ini.
3. faktor yang diteliti adalah variabel independen

#### 1.5 Asumsi

1. Proses produksi berjalan normal
2. Mesin berjalan normal
3. *raw water* memenuhi spesifikasi kualitas *turbidity*

#### 1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini dapat ditinjau dari 2 pihak:

1. Pihak peneliti  
Mampu menerapkan ilmu yang diperoleh di bangku perkuliahan terhadap lingkungan kerja.
2. Bagi pihak manajemen
  - a. Sebagai masukan ataupun saran untuk meningkatkan kualitas *feedwater* untuk *boiler*.
  - b. Dapat memberi referensi bagi perusahaan dalam perencanaan proses pengelolaan *feedwater* untuk *boiler*.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Kartika Eka Sari (2009) dalam penelitiannya yang berjudul “Memperbaiki Kualitas Air Pengisi *Boiler* di Pabrik Gula Sragi dengan Cara Absorpsi Ion Kesadahan Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi” mencari waktu kontak optimum dan pH optimum untuk menurunkan kesadahan air sehingga memenuhi syarat sebagai pengisi boiler. Zeolit digunakan untuk mengabsorpsi ion-ion sadah (Ca dan Mg) yang terkandung dalam air Sungai Sragi, Pekalongan, setelah sebelumnya ditentukan waktu kontak optimum dan pH optimum.

Juni Raharjo dan Suryanata Rahardja (2001) melaksanakan penelitian untuk membandingkan metode Taguchi dengan metode lain. Dalam penelitiannya yang berjudul “Perbandingan Metode  $2^{k-p}$  Fractional Factorial dengan Metode Taguchi pada Proses Pembuatan *Fiber Glass*” menyimpulkan bahwa tak ada perbedaan antara metode  $2^{k-p}$  fractional factorial dengan metode Taguchi, walaupun *setting* optimal yang didapatkan sedikit berbeda namun tidak ada perbedaan mean untuk hasil optimal yang didapatkan dari kedua metode. Tetapi penerapan metode Taguchi lebih menghemat waktu dan biaya.

### 2.2 Boiler

*Boiler* atau ketel uap adalah suatu pesawat yang direncanakan untuk menghasilkan uap dengan cara mengubah air menjadi uap melalui pertolongan panas dari gas-gas hasil pembakaran. Pembakaran bahan bakar terjadi pada suatu *furnace* (dapur api) dan panas yang dihasilkan haruslah dimanfaatkan semaksimal mungkin, sehingga gas asap yang keluar dari cerobong mempunyai kalori yang serendah mungkin (Pratikto, 2008:1).

Menurut Wikipedia, *boiler* adalah sebuah tungku tertutup dimana air ataupun fluida lainnya dipanaskan. Fluida yang dipanaskan atau diuapkan keluar dari *boiler* untuk digunakan dalam berbagai proses lanjutan atau proses yang membutuhkan panas (<http://en.m.wikipedia.org/wiki/Boiler>).

*Boiler* atau ketel uap diklasifikasikan menjadi tiga golongan utama yaitu (Djokosetyardjo, 2003:195):

#### 1. Ketel-ketel Lorong Api dan Ketel-ketel Pipa Api

Yaitu ketel-ketel api dan gas asap yang digunakan untuk memanasi air dan uap, akan melalui silinder api, lorong-lorong api dan pipa-pipa ataupun tabung-tabung api (*fire cylinder, fire duct, fire pipes and fire tubes*), yang di bagian luarnya terdapat air atau uap.

Jenis ketel uap yang tergolong dalam ketel lorong api atau ketel pipa api adalah ketel-ketel uap kecil serta sederhana, yang hanya mampu memproduksi maksimum sebanyak 10 ton uap per jam, dengan tekanan maksimum  $24 \text{ kg/cm}^2$ .

#### 2. Ketel-ketel pipa Air yang Biasa

Yaitu ketel-ketel air atau uap di dalam pipa-pipa atau tabung-tabung, yang dipanasi oleh api atau asap di bagian luarnya. Ketel-ketel pipa air ini umumnya bertekanan sedang yaitu antara  $45 \text{ kg/cm}^2$ , dengan produksi uap mencapai 1.000 ton uap setiap jamnya. Jenis-jenis ketel ini mempunyai efisiensi total yang lebih besar dari ketel-ketel pipa api. Peralatan-peralatan pada ketel ini umumnya sudah tidak dioperasikan secara manual lagi.

#### 3. Ketel-ketel Pipa Air dengan Perencanaan Khusus

Ketel-ketel pipa air jenis ini direncanakan dengan dengan berbagai maksud antara lain:

- a. digunakan untuk tekanan-tekanan tinggi dan tekanan superkritis, melebihi  $225 \text{ kg/cm}^2$
- b. untuk dapat menggunakan bahan bakar nuklir
- c. untuk dapat menggunakan air dengan kualitas agak rendah
- d. untuk memperbesar beban tungku ketel atau atau untuk memperbesar angka perpindahan panasnya
- e. dan untuk maksud-maksud lainnya.

### 2.3 Feedwater Boiler

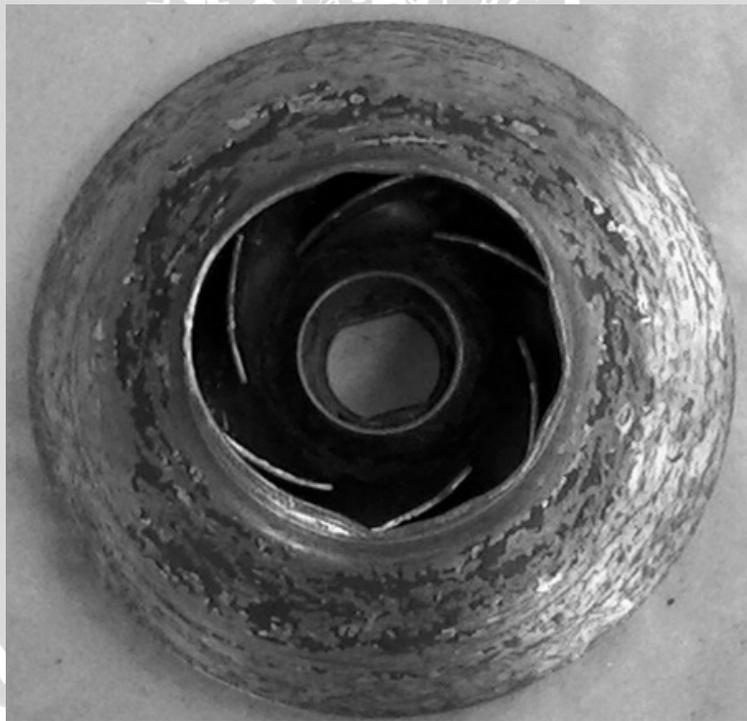
*Feedwater boiler* adalah air yang digunakan untuk menyuplai (*feed*) boiler untuk menghasilkan uap atau air panas (<http://en.m.wikipedia.org>). *Feedwater* ini

didapatkan dari *soft water* yang ditambah dengan *condensate water*. Air yang dibutuhkan untuk menyuplai *boiler* yang bertujuan untuk menghasilkan *steam* harus memiliki kualitas yang sangat tinggi dan hal itu membutuhkan banyak perlakuan (*treatment*). Air yang tidak melalui *treatment* memiliki kandungan yang akan menyebabkan boiler mengalami masalah-masalah seperti berikut:

### 1. *Scale and sludge formation*

Ada kombinasi produk korosi dari sistem, seperti berbagai oksida besi, dan endapan garam dari air. Endapan yang khas adalah kalsium karbonat yang sangat sulit larut, yang terbentuk ketika kalsium hydrogenkarbonat yang terlarut dalam air dipanaskan.

Ketika air menguap terus menerus konsentrasi garam terlarut meningkat. Ketika titik jenuh tercapai, garam mengendap. Jika endapannya lunak, terurai dan licin dinamakan *sludge* (lumpur). Di sisi lain, jika endapannya keras dan melekat maka itu adalah *scale* (kerak) (<http://wiki.answers.com>).



Gambar 2.1 *Scaling* pada *Impeller Feedwater Pump*  
Sumber: PT. Ekamas Fortuna

### 2. *Boiler Corrosion*

Korosi adalah salah satu penyebab utama yang mengurangi kehandalan dalam sistem pembangkit uap. Diperkirakan bahwa masalah-masalah akibat korosi sistem boiler membebani industri dengan biaya milyaran dolar per tahun.

Banyak masalah korosi terjadi di wilayah terpanas boiler seperti dinding air, layar, dan *superheater tube*. Masalah umum lainnya meliputi daerah *deaerators*, *feedwater*, pemanas, dan *economizers*. Penyebab paling umum dari korosi adalah gas-gas terlarut (terutama oksigen dan karbon dioksida) dan pH yang rendah (<http://www.gewater.com>).



Gambar 2.2 Korosi pada Pipa *Economizer*  
Sumber: PT. Ekamas Fortuna

### 3. *Caustic Embrittlement*

*Caustic embrittlement* pertama kali digunakan untuk menggambarkan retakan pelat baja lunak boiler terpaku karena endapan lokal hidroksida pekat pada suhu 200 hingga 250<sup>0</sup>C. Hal ini kemudian dikenal sebagai "*stress corrosion cracking*" (<http://www.corrosionclinic.com>).

*Caustic embrittlement* adalah hasil dari *cojoint* tiga komponen:

- 1) bahan yang rentan (baja karbon)
- 2) jenis bahan kimia tertentu (hidroksida pekat)
- 3) tegangan tarik (di sekitar lubang terpaku)

### 4. *Priming and foaming*

*Priming* adalah sisa-sisa dari berbagai jumlah tetesan air di dalam *steam* (busa dan kabut), yang akan menurunkan efisiensi energi dari *steam* dan menyebabkan deposit kristal garam di *super heater* dan turbin. *Priming* dapat disebabkan oleh konstruksi *boiler* yang tidak tepat atau fluktuasi yang tiba-tiba

dalam permintaan *steam*. *Priming* kadang-kadang diperparah oleh kotoran dalam *boiler water*. *Priming* berkaitan dengan viskositas air dan kecenderungannya untuk berbusa (*foaming*). Sifat ini diatur oleh alkalinitas, kemunculan zat-zat organik tertentu dan dengan total salinitas. Derajat *priming* juga tergantung pada desain *boiler* dan *steaming rate*. (<http://www.lenntech.com>).

*Feedwater* harus secara khusus dikondisikan untuk menghindari masalah pada *boiler*:

#### 1. korosi

Korosif komponen, terutama  $O_2$  dan  $CO_2$  harus dihilangkan, biasanya dengan menggunakan sebuah *deaerator*. Sisa dapat dihilangkan secara kimiawi, dengan menggunakan oksigen pemulung (*oxygen scavenger*). Selanjutnya *feedwater* harus dikondisikan basa dengan pH 9 atau lebih tinggi, untuk mengurangi oksidasi dan untuk mendukung pembentukan lapisan magnetit yang stabil di sisi permukaan air *boiler*, melindungi material di bawahnya dari korosi lebih lanjut. Hal ini biasanya dilakukan dengan pemberian dosis agen alkalic ke *feedwater*, seperti natrium hidroksida (kaustik soda) atau volatile amonia.

#### 2. deposit/sedimen/*fouling*

Deposit dapat mengurangi perpindahan panas di *boiler*, mengurangi laju aliran (*flow rate*) dan akhirnya menghambat tabung *boiler*. Garam non-volatile dan mineral yang akan tetap dalam bentuk soluted saat *feedwater* diuapkan harus disingkirkan, karena ini akan terkonsentrasi di fase cair dan memerlukan "*blow-down*" (*draining*) yang berlebihan untuk menghindari cair menjadi jenuh dan kristal padat rontok. Lebih buruk lagi adalah mineral yang membentuk *limescale*.

## 2.4 Metode Taguchi

### 2.4.1 Kualitas

Goetsch dan Davis (Tjiptono, 2003:4) mendefinisikan kualitas sebagai suatu kondisi dinamis yang berhubungan dengan produk, jasa, manusia proses dan lingkungan yang memenuhi atau melebihi harapan.

Kualitas menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 19-8402-1991) adalah keseluruhan ciri dan karekteristik produk atau jasa yang kemampuannya dapat memuaskan kebutuhan, baik yang dinyatakan secara tegas maupun tersamar. Istilah

kebutuhan diartikan sebagai spesifikasi yang tercantum dalam kontrak maupun kriteria-kriteria yang harus didefinisikan terlebih dahulu.

Definisi kualitas menurut Taguchi (Soejanto, 2008:14) adalah seberapa besar kerugian di dalam suatu masyarakat dari saat suatu produk dikirimkan. Kerugian tersebut akan menjadi biaya ketidakpuasan konsumen yang merugikan reputasi perusahaan. Dalam hal ini, konsumen adalah bagian yang paling penting dari sebuah lini proses dimana kualitas produk dan pelayanan akan menjamin kembalinya konsumen, dan oleh karena itu akan memperbaiki reputasi dan meningkatkan market share perusahaan.

Taguchi membagi konsep kualitas menjadi empat yaitu sebagai berikut:

1. kualitas seharusnya didesain pada produk mulai dari awal proses tidak hanya dengan proses inspeksi ataupun *screening* yang biasa disebut *off-line strategy*, karena kualitas produk tidak bisa dikembalikan dengan berapapun jumlah inspeksi yang dilakukan akan tetapi konsep kualitas seharusnya dikembangkan sebagai filosofi persiapan.
2. kualitas paling bagus bisa dicapai dengan meminimasi deviasi dari target bukan kesalahan untuk menguatkan spesifikasinya. Produk seharusnya didesain sehingga tahan terhadap faktor-faktor lingkungan yang tak terkontrol seperti noise, kelembaban dalam fase manufaktur, temperatur dan lain-lain. Dengan mengkhhususkan pada target parameter kritis dan menjamin proses manufaktur mencapai nilai target dengan sedikit deviasi (penyimpangan) maka kualitasnya semakin tinggi.
3. kualitas tidak hanya didasarkan pada performen permukaan atau karakteristik dari produk. Kenampakan produk hanya memvariasikan harga dan kesan di pasaran. Performen dan karakteristik produk dapat dihubungkan dengan kualitas tetapi bukan merupakan dasar kualitas dan malah merupakan ukuran kapabilitas sebuah produk.
4. biaya kualitas seharusnya diukur sebagai fungsi dari variasi performansi produk. Dari parameter desain yang diberikan, deviasi target yang diukur sebagai istilah dari siklus hidup biaya produk. Hal ini termasuk biaya pengerjaan kembali, inspeksi, warranty servicing, returns dan penggantian produk.

Metode Taguchi bukan satu-satunya metode manajemen kualitas. Masih banyak metode lainnya yang biasanya digunakan oleh peneliti, yaitu:

1. ISO 9000 adalah suatu rangkaian dari lima standar mutu internasional yang menyediakan kerangka kerja untuk manajemen mutu dalam organisasi manufaktur. Sasarannya adalah untuk meletakkan dasar untuk bahasa standar dalam pendokumentasian kebutuhan dan prosedur mutu organisasi (Ariani, 1999:39).
2. *Six Sigma* adalah sebuah konsep statistik yang menjawab kebutuhan konsumen akan suatu kualitas yang tinggi dan proses bisnis yang bebas defect dengan tidak lebih dari 3,4 kegagalan (*error*) dari satu juta kesempatan. *Six Sigma* adalah sebuah culture yang berfokus untuk menaikkan *consumer satisfaction*, menurunkan *Cost*, dan memperbaiki *Profitabilitas* dengan cara menekan pemahaman, pengukuran dan perbaikan proses secara terus menerus (Pande dalam Kusuma, 2008:6).
3. *Total Quality Management (TQM)* diartikan sebagai perpaduan semua fungsi dari perusahaan ke dalam falsafah holistik yang dibangun berdasarkan konsep kualitas, teamwork, produktivitas, dan pengertian serta kepuasan pelanggan (Ishikawa dalam Pawitra dalam Tjiptono & Diana, 2003:4).
4. Kaizen adalah suatu istilah dalam Bahasa Jepang yang dapat diartikan sebagai perbaikan terus-menerus (*continous improvement*). Kaizen merupakan suatu kesatuan pandangan yang komprehensif dan terintegrasi yang meliputi: berorientasi kepada pelanggan, gugus kendali mutu, system saran, otomatisasi, disiplin di tempat kerja, pemeliharaan produktivitas secara menyeluruh dan terpadu, kanban, penyempurnaan dan perbaikan mutu, tepat waktu, tanpa cacat, kegiatan kelompok kecil-kecil, hubungan kerjasama antara manajer dan karyawan, pengembangan produk baru (Ariani, 1999:84).
5. QFD (*Quality Function Deployment*) adalah metode perencanaan dan pengembangan produk secara tersruktur yang memungkinkan tim pengembangan mendefinisikan secara jelas kebutuhan dan harapan pelanggan, dan mengevaluasi kemampuan produk atau jasa secara sistematis untuk memenuhi proses yang memungkinkan organisasi untuk memenuhi harapan pelanggan (Ariani, 1999:88).

#### 2.4.2 Konsep Taguchi

Metode Taguchi dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 saat mendapatkan tugas untuk memperbaiki sistem telekomunikasi di Jepang. Metode ini merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dalam dapat menekan biaya dan resources seminimal mungkin.

Metode Taguchi merupakan metode pengendalian mutu *off line* (*off line quality control methods*), yaitu pengendalian mutu dengan memperhatikan pada desain produk atau mengadakan perbaikan dalam desain produk (Ariani, 1999:106). Sedangkan pengendalian mutu proses statistik dikatakan sebagai metode pengendalian mutu *on line* (*on line quality control methods*) yang tidak memperhatikan pada desain tetapi pada perbaikan standar pengendalian mutu atau proses.

Metode Taguchi dapat kita gambarkan sebagai peninjauan luas dengan pendekatan yang berbeda untuk menjamin mutu produk yang dihasilkan, yang pada dasarnya terdiri dari sederetan penelitian mengenai desain eksperimen yang dilakukan.

Dengan menggunakan metode Taguchi ini dapat dilakukan perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya. Selain itu Taguchi digunakan untuk merekayasa atau memperbaiki produktivitas selama penelitian dan pengembangan, supaya produk-produk berkualitas tinggi dapat dihasilkan dengan cepat dan pada biaya rendah

#### 2.4.3 Loss Function (Fungsi Kerugian)

Secara umum, tujuan dari pengendalian mutu adalah untuk mengendalikan variasi yang terjadi dan masalah-masalah yang ditimbulkan dari adanya variasi tersebut. Akan tetapi, karena tidak adanya metode yang bisa mengevaluasi mutu ataupun kerugian mutu secara kuantitatif, sehingga masalah yang timbul dari pengendalian mutu dan pemecahannya sering diperlakukan secara subyektif. Oleh karena itu digunakan fungsi kerugian mutu yang diperkenalkan oleh Taguchi yang dapat mengevaluasi secara kuantitatif variasi-variasi tersebut.

Yang dimaksud dengan fungsi kerugian mutu ini adalah untuk menghitung kerugian mutu yang terjadi. Bila mutu suatu produk semakin dekat dengan nilai

target, maka mutu yang dihasilkan semakin baik dan kerugian yang timbul semakin kecil, begitu pula sebaliknya bila mutu suatu produk semakin jauh dari target maka kerugian akan semakin besar. Untuk mencapai target tidaklah mudah karena produk yang sama akan digunakan oleh konsumen yang berbeda, pada kondisi dan tujuan yang berbeda pula.

Ada 3 karakteristik fungsi kerugian mutu yang sudah standar digunakan, yaitu:

1. Nominal terbaik (*Nominal the Best*)

Fungsi ini digunakan bilamana karakteristik mutu dapat diukur dan mempunyai nilai target tertentu, biasanya bukan nol dan kerugian mutunya simetrik pada kedua sisi target seperti yang digambarkan dalam Gambar 2.1.

Fungsinya adalah sebagai berikut (Soejanto, 2008:15):

$$L(y) = k(y - m)^2 \quad (2-1)$$

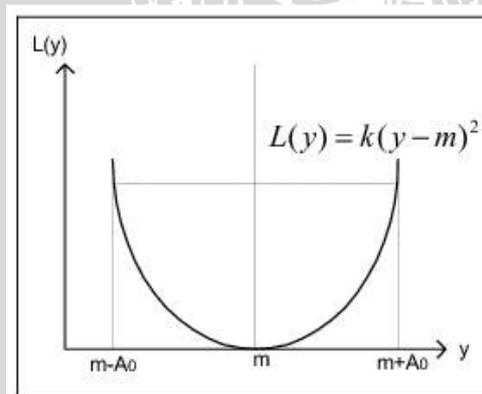
Dimana :

$y$  = nilai dari karakteristik mutu

$L(y)$  = nilai kerugian yang terjadi dalam rupiah atau dollar ketika karakteristik mutu sama dengan  $y$

$m$  = nilai target dari  $y$

$k$  = koefisien dari biaya



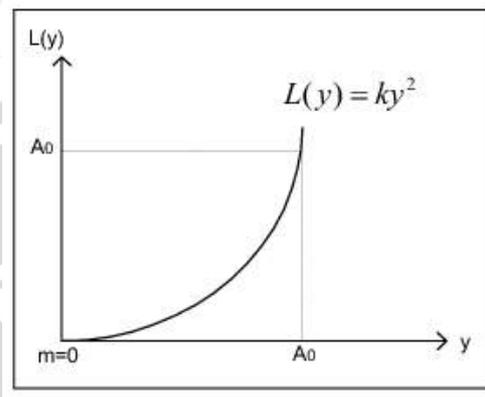
Gambar 2.3 Fungsi Kerugian *Nominal the Best*  
Sumber: Tunggal (2004:8)

2. Semakin kecil semakin baik ( *Smaller the Better* )

Fungsi ini digunakan bilamana karakteristik mutunya semakin kecil semakin baik, idealnya nol. Fungsinya sebagai berikut (Soejanto, 2008:18):

$$L(y) = ky^2 \quad (2-2)$$

Fungsi tersebut digambarkan dalam Gambar 2.2.



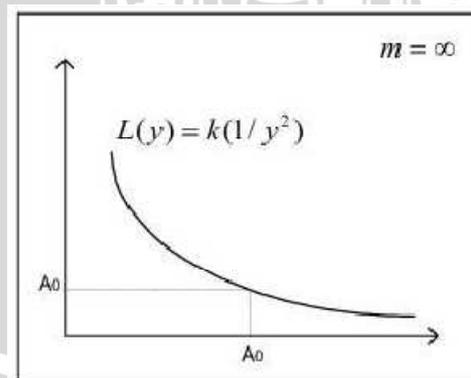
Gambar 2.4 Fungsi Kerugian *Smaller the Better*  
Sumber: Tunggal (2004:8)

3. Semakin besar semakin baik ( *Larger the Better* )

Fungsi ini digunakan bilamana karakteristik mutunya semakin baik sampai tak terhingga. Fungsinya adalah sebagai berikut (Soejanto, 2008:20):

$$L(y) = k ( 1 / y^2 ) \quad (2-3)$$

Fungsi tersebut digambarkan dalam Gambar 2.3 di bawah ini.

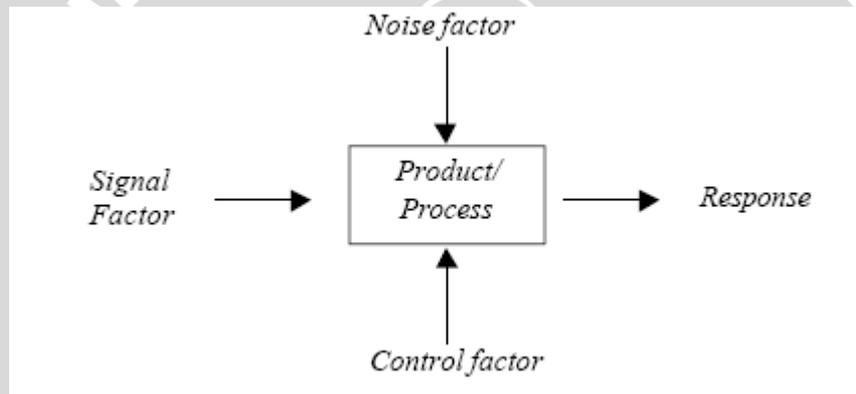


Gambar 2.5 Fungsi Kerugian *Larger the Better*  
Sumber: Tunggal (2004:9)

#### 2.4.4 Signal-to-Noise Ratio

Taguchi telah mengembangkan konsep *signal-to-noise ratio* (*S/N ratio*) untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor. Eksperimen yang demikian sering disebut eksperimen faktor ganda. Ratio S/N diformulasikan sehingga peneliti selalu dapat memilih nilai level faktor terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen. Jadi, metode perhitungan ratio S/N tergantung pada karakteristik kualitas, apakah responnya *smaller-the better*, *larger-the-better*, atau *nominal-the-best* (Soejanto, 2008:113).

Rasio ini merupakan komponen yang sangat penting dalam perancangan parameter dan digunakan untuk menentukan kondisi optimal dari perancangan parameter. Gambar 2.4 menggambarkan hubungan antara faktor sinyal, factor *noise* dan faktor kendali terhadap respon produk atau proses.



Gambar 2.6 Hubungan antara Faktor dengan Respon  
Sumber: Rahardjo (2001:3)

Untuk mengevaluasi ketangguhan sistem maka *Signal to Noise Ratio* (SNR) dapat digunakan dengan rumusan (Rahardjo, 2001:3):

a. *Smaller the better*

$$SNR = -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2-3)$$

b. *Nominal the best*

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\mu^2}{\sigma^2} \quad (2-4)$$

Dimana  $\mu^2$  dan  $\sigma^2$  didapatkan dari rumus di bawah ini:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (2-5)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$$

c. *Larger the better*

$$SNR = -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2-7)$$

## 2.5 Robust Design

Salah satu tujuan eksperimen adalah untuk menyusun satu kombinasi faktor-faktor yang kokoh (*robust*) terhadap adanya faktor-faktor pengganggu (*noise*), dimana faktor-faktor noise ini tidak dapat atau sulit dikendalikan dan menyebabkan timbulnya variabilitas yang tinggi pada produk. Dengan adanya kombinasi yang optimal dari faktor-faktor kontrol maka produk akan tahan dengan adanya gangguan tersebut.

Sesuai dengan penjelasan di atas, maka faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik proses atau produk dapat kita bagi menjadi dua yaitu sebagai berikut:

### 1. Faktor kontrol

Yaitu faktor yang sudah ditetapkan nilainya oleh perancangnya dan nilainya dapat dikontrol. Sebab faktor kontrol biasanya mempunyai satu level atau lebih. Pada akhir eksperimen, level yang sesuai dari faktor kontrol dapat dipilih. Suatu aspek dari desain yang *robust* adalah memilih *setting* level kontrol yang optimal, yang membuat karakteristik tidak sensitif terhadap *noise*.

### 2. Faktor *noise*

Adalah faktor yang dapat menyebabkan penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai target. Faktor ini tidak dapat atau sulit untuk dikontrol dan dapat memakan biaya yang sangat besar sehingga tidak ekonomis untuk dikontrol.

Faktor *noise* tidak dapat dihilangkan, karena mereka ada dalam sistem. Karena faktor *noise* tidak dapat dihilangkan, karakteristik kualitas dari produk tidak akan mencapai nilai target. Prinsip kekokohan berusaha untuk mengurangi kerugian dengan melakukan kontrol faktor terhadap faktor *noise* agar spesifikasi produk dapat

diidentifikasi dan membuat karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap *noise* (Soejanto, 2008:31).

Dalam upaya untuk meningkatkan kualitas dan memperkecil variabilitas yang terjadi, Taguchi memperkenalkan upaya-upaya yang dapat ditempuh guna menghasilkan produk dan tingkat variabilitas yang kecil, dengan mengatur parameter-parameter yang mempengaruhinya pada tingkat yang paling kurang sensitif terhadap faktor gangguan (*noise*). Cara ini dikenal dengan desain parameter Taguchi yang ditunjukkan terutama untuk meningkatkan kualitas tanpa menghilangkan penyebab timbulnya variabilitas.

Selain itu dikenal pula desain sistem, yaitu upaya dimana konsep-konsep, ide-ide, metode-metode baru dan lain-lain dimunculkan untuk memberikan peningkatan produk kepada pemakainya sebagai salah satu cara untuk memenangkan persaingan yaitu dengan terus mengembangkan teknologi baru, sehingga dalam hal ini konsep-konsep metode ataupun penemuan baru sangat bermanfaat dalam desain sistem.

Dikenal pula desain toleransi yaitu peningkatan kualitas dengan mengetatkan toleransi pada parameter produk atau proses untuk mengurangi terjadinya variabilitas pada performansi produk. Eksperimen yang dilakukan pada penelitian menerapkan langkah-langkah prinsip desain parameter, yaitu melakukan eksperimen guna menentukan faktor dominan yang berpengaruh terhadap peningkatan kualitas produk dan menentukan kombinasi faktor-faktor dimana kombinasi tersebut berpengaruh terhadap penyebab timbulnya variabilitas.

## **2.6 Langkah Penelitian Taguchi**

Langkah-langkah ini dibagi menjadi tiga fase utama yang meliputi keseluruhan pendekatan eksperimen (<http://qualityengineering.wordpress.com>). Tiga fase tersebut adalah:

### **2.6.1 Fase-fase Penelitian Taguchi**

#### **1. Fase perencanaan,**

Fase perencanaan merupakan fase yang paling penting dari eksperimen untuk menyediakan informasi yang diharapkan. Fase perencanaan adalah ketika faktor dan levelnya dipilih, dan oleh karena itu, merupakan langkah yang terpenting dalam eksperimen.

## 2. Fase pelaksanaan, dan

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.

## 3. Fase analisis.

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.

### 2.6.2 Langkah-langkah Utama Taguchi

Langkah utama untuk melengkapi desain eksperimen yang efektif adalah sebagai berikut:

#### 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 (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.

Ada 5 macam karakter kualitas yaitu:

- a. *Larger the better* (LTB)
- b. *Smaller the better* (STB)
- c. *Nominal the best* (NTB)
- d. *Signed Target*
- e. *Classified Attribute*

Perbedaan di antara kelima karakteristik kualitas tersebut dijelaskan dalam Tabel 2.1 di bawah ini beserta dengan contohnya.

Tabel 2.1 Karakteristik Kualitas

KARAKTERISTIK	TARGET	CONTOH
<i>Larger the better</i>	Sebesar mungkin ( $\infty$ )	Bahan bakar yang ekonomis, kekuatan las
<i>Smaller the better</i>	Sekecil mungkin (0)	Keausan alat, kekerasan permukaan
<i>Nominal the best</i>	Terpusat pada nilai tertentu	Voltage TV
<i>Signed Target</i>	0, zero	<i>Residual current</i>
<i>Classified Attribute</i>	-	Rendah-menengah-tinggi, baik-jelek

Sumber: Soejanto (2008:32)

#### 4. Memilih faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas (Variabel Bebas)

Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan dipilih faktor-faktor yang akan diselediki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan. Dalam seluruh percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselediki, sebab hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Hanya faktor-faktor yang dianggap penting saja yang diselediki. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang akan diteliti adalah *brainstorming*, *flowcharting*, dan *cause effect diagram*.

#### 5. Mengidentifikasi faktor terkontrol dan tidak terkontrol

Dalam metode Taguchi, faktor-faktor tersebut perlu diidentifikasi dengan jelas karena pengaruh antara kedua jenis faktor tersebut berbeda. Faktor terkontrol (*control factors*) adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Sedangkan faktor gangguan (*noise factors*) adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau dikendalikan, atau faktor yang tidak ingin kita atur atau kendalikan.

## 6. Penentuan jumlah level dan nilai faktor

Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan ongkos pelaksanaan percobaan. Makin banyak level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh akan lebih banyak, tetapi banyaknya level juga akan meningkatkan ongkos percobaan.

## 7. Identifikasi interaksi antar faktor kontrol

Interaksi muncul ketika dua faktor atau lebih mengalami perlakuan secara bersama akan memberikan hasil yang berbeda pada karakteristik kualitas dibandingkan jika faktor mengalami perlakuan secara sendiri-sendiri. Kesalahan dalam penentuan interaksi akan berpengaruh pada kesalahan interpretasi data dan kegagalan dalam penentuan proses yang optimal. Tetapi Taguchi lebih mementingkan pengamatan pada *main effect* (penyebab utama) sehingga adanya interaksi diusahakan seminimal mungkin, tetapi tidak dihilangkan sehingga perlu dipelajari kemungkinan adanya interaksi.

## 8. Perhitungan derajat kebebasan (*degrees of freedom/dof*)

Derajat kebebasan (*degrees of freedom*) adalah sebuah konsep yang mendeskripsikan seberapa besar eksperimen yang mesti dilakukan dan seberapa banyak informasi yang didapatkan dari eksperimen tersebut (Soejanto, 2008:52). Bentuk persamaan umum dari derajat kebebasan dalam menentukan jumlah faktor yang akan diamati adalah sebagai berikut:

$$DOF_{exp} = (\text{banyaknya eksperimen} - 1) \quad (2-8)$$

Derajat kebebasan untuk menghitung jumlah level yang harus diuji atau diadakan pengamatan pada seluruh faktor, bentuk persamaannya adalah sebagai berikut:

$$DOF_{fl} = (\text{banyaknya level} - 1) \quad (2-9)$$

Persamaan derajat kebebasan untuk mengetahui derajat kebebasan dari sebuah matriks eksperimen atau total derajat kebebasan adalah:

$$\text{Total } DOF_{fl} = (\text{banyaknya faktor})(DOF_{fl}) \quad (2-10)$$

## 9. Pemilihan *Orthogonal Array* (OA)

*Orthogonal Array* adalah suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom merupakan faktor atau kondisi yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris merupakan keadaan dari faktor. *Array* disebut *orthogonal* karena level-level dari faktor berimbang dan dapat dipisahkan dari

pengaruh faktor lain dalam eksperimen. Jadi *orthogonal array* adalah matriks seimbang dari faktor dan level sedemikian hingga pengaruh suatu faktor atau level tidak baur dengan pengaruh faktor atau level yang lain (Soejanto, 2008:52).

Untuk memilih *orthogonal array* yang cocok atau sesuai, diperlukan suatu persamaan dari *orthogonal array* tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah pengamatan yang akan dilakukan. Bentuk umum dari model *orthogonal array* adalah sebagai berikut (Soejanto, 2008:53):

$$L_a(b^c) \tag{2-11}$$

Dimana:

- a = banyak eksperimen atau baris
- b = banyak level
- c = banyak faktor atau kolom

Tabel 2.2 Contoh *orthogonal array*  $L_8(2^7)$

EKSPERIMEN	$L_8(2^7)$							HASIL
	KOLOM/FAKTOR							
	1	2	3	4	5	6	7	
1	1	1	1	1	1	1	1	y1
2	1	1	1	2	2	2	2	y2
3	1	2	2	1	1	2	2	y3
4	1	2	2	2	2	1	1	y4
5	2	1	2	1	2	1	2	y5
6	2	1	2	2	1	2	1	y6
7	2	2	1	1	2	2	1	y7
8	2	2	1	2	1	1	2	y8

Sumber: Soejanto (2008:54)

Taguchi telah menyusun 18 *orthogonal array* standar yang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2.3 *Orthogonal Array* Standar dari Taguchi

2 Level	3 Level	4 Level	5 Level	Level Gabungan
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^1 \times 3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$	-	$L_{32}(2^1 \times 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$	-	-	$L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$	-	-	-	$L_{36}(2^3 \times 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$	-	-	-	$L_{54}(2^1 \times 3^{25})$
$L_{64}(2^{63})$	-	-	-	$L_{50}(2^1 \times 5^{11})$

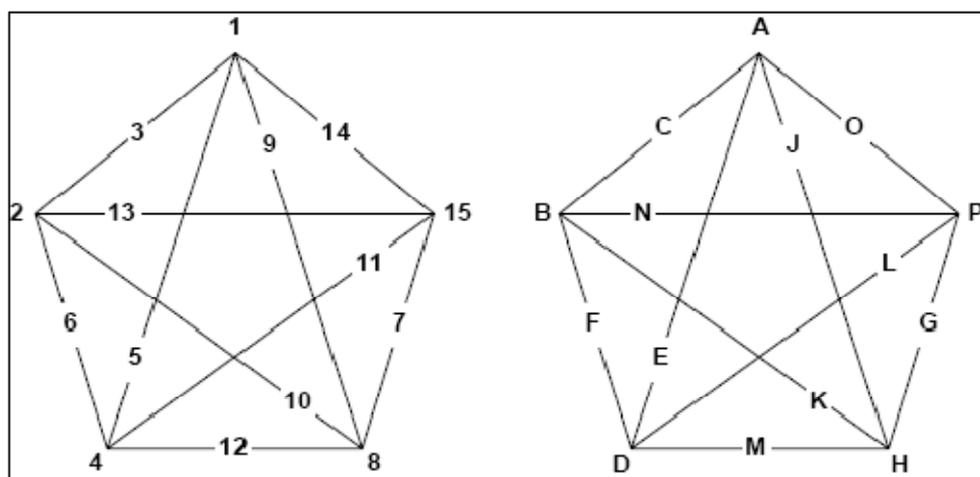
Sumber: Soejanto (2008:58)

Dalam memilih jenis *orthogonal Array* harus diperhatikan jumlah level faktor yang diamati yaitu:

- Jika semua faktor adalah dua level: pilih jenis OA untuk level dua faktor.
- Jika semua faktor adalah tiga level: pilih jenis OA untuk level tiga faktor
- Jika beberapa faktor adalah dua level dan lainnya tiga level: pilih yang mana yang dominan dan gunakan *Dummy Treatment*, Metode Kombinasi, atau *Metode Idle Column*.
- Jika terdapat campuran dua, tiga, atau empat level faktor: lakukan modifikasi OA dengan metode *Merging Column*.

### 10. Penugasan untuk faktor dan interaksinya pada *orthogonal array*

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



Gambar 2.7 First Linear Graph for L16 Array  
 Sumber: Taguchi Design Tutorial

## 11. Persiapan dan Pelaksanaan Percobaan

Persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi percobaan dan randomisasi pelaksanaan percobaan.

### a. 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.

### b. 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.

## 12. Analisis Data

Pada analisis dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu lay out tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih. Selain itu dilakukan perhitungan dan penyajian data dengan statistik analisis variansi, tes hipotesa dan penerapan rumus-rumus empiris pada data hasil percobaan.

Anova pada metode Taguchi digunakan sebagai suatu metode statistic untuk mengintrepetasikan data-data hasil eksperimen (Soejanto, 2008:151). Anova adalah teknik perhitungan yang emungkinkan secara kuantitatif memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon.

Anova yang digunakan pada desain parameter berguna untuk mengidentifikasi kontribusi faktor, sehingga akurasi perkiraan model dapat dilakukan.

Tabel 2.4 *Analysis of Variance*

Sumber	Sq	v	Mq	F-ratio
Mean	Sm	1	Vm	Fm
Faktor A	SA	1	VA	FA
Error	Se	n-2	Ve	1
Total	ST	N	-	-

Sumber: Soejanto (2008:155)

Keterangan:

Sm = jumlah kuadrat karena mean

SA = jumlah kuadrat karena faktor A

Se = jumlah kuadrat karena error

ST = jumlah kuadrat total

1. Jumlah Kuadrat Total (ST)

Jumlah kuadrat total sebagai berikut (Soejanto, 2008:153):

$$ST = \sum y^2 \tag{2-12}$$

2. Jumlah Kuadrat karena Rata-rata (mean)

Jumlah kuadrat karena rata-rata sebagai berikut (Soejanto, 2008:154):

$$Sm = n\bar{y}^2 \tag{2-13}$$

3. Jumlah Kuadrat faktor A (SA)

Jumlah kuadrat karena faktor A sebagai berikut (Soejanto,2008:154):

$$SA = \frac{[total A1]^2}{n1} + \dots + \frac{[total Am]^2}{nm} - \frac{[total A]^2}{n1 + \dots + nm} \tag{2-14}$$

4. Jumlah kuadrat Error (Soejanto ,2008:154):

$$Se = ST - Sm - SA \tag{2-15}$$

**13. Interpretasi Hasil**

Interpretasi hasil merupakan langkah yang dilakukan setelah percobaan dan analisis telah dilakukan. Interpretasi yang dilakukan antara lain dengan menghitung persentase kontribusi dan perhitungan selang kepercayaan faktor untuk kondisi perlakuan saat percobaan.

#### 14. Percobaan Konfirmasi

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

- 1) Dugaan yang dibuat pada saat model performansi penentuan faktor dan interaksinya, dan
- 2) *setting* parameter (faktor) yang optimum hasil analisis hasil percobaan pada performansi yang diharapkan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental sungguhan (*true experimental research*), yang bertujuan untuk meneliti hubungan sebab akibat antar variabel terhadap suatu proses.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Pada penulisan skripsi ini, tempat pengambilan data dilakukan di **PT. Ekamas Fortuna** pada bulan Maret 2010-Mei 2010.

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

1. Air Sungai Lesti
2. bahan-bahan kimia seperti dukem dan flokulan
3. bahan-bahan penyaring seperti pasir kuarsa, karbon aktif dan resin
4. mesin: *floculator*, *clarifier*, *refller tank*, *sand filter*, *carbon active*, *pressure tank*, *softener*.
5. alat uji *Total Hardness* dan pH

### 3.4 Sumber Data

1. Data primer

Data primer yang diambil dalam penelitian ini meliputi data hasil percobaan yang terdiri dari nilai *Total Hardness* dan pH yang merupakan hasil kombinasi level dan faktor dalam *orthogonal array*, dan juga data hasil eksperimen konfirmasi.

2. Data sekunder

Data sekunder yang diambil dalam penelitian ini meliputi data historis yang mendukung.

### 3.5 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah pencatatan-pencatatan atau keterangan-keterangan sebagian atau keseluruhan dari elemen populasi yang akan menunjang atau mendukung penelitian. Dalam penelitian ini, topik skripsi yang dipilih adalah pengendalian parameter proses *water treatment* untuk mengoptimalkan kapasitas dan kualitas *feedwater* pada *boiler* dengan menggunakan metode Taguchi. Adapun cara pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan cara:

#### 1. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk memperoleh rumusan kerangka teoritis dari masalah yang diteliti, yang bisa diperoleh dari buku-buku literatur, jurnal-jurnal ilmiah dan lain-lain.

#### 2. Studi lapangan

Merupakan metode pengumpulan data yang dilakukan secara langsung pada obyek penelitian. Pengumpulan data tersebut bisa dilakukan dengan cara:

- a. *Observasi*, merupakan cara pengumpulan data yang dilakukan dengan jalan mengamati langsung aktifitas obyek yang diteliti.
- b. *Interview* (wawancara), merupakan cara pengumpulan data dengan jalan mengadakan wawancara langsung dengan pihak-pihak perusahaan yang berhubungan dengan penelitian. Seperti data penyebab kegagalan dan efek kegagalan yang ditimbulkan.
- c. *Dokumentasi*, merupakan cara pengumpulan data dengan mengambil data-data perusahaan yang berupa laporan, catatan-catatan atau arsip yang sudah ada.
- d. *Eksperimen*, merupakan cara pengumpulan data dengan melaksanakan percobaan langsung terhadap obyek.

### 3.6 Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur.

Pada tahap ini dilakukan studi literatur baik melalui jurnal maupun *text book* yang berhubungan dengan rekayasa kualitas dengan metode Taguchi. Hal

ini dilakukan untuk mendapatkan landasan teori yang dapat direalisasikan pada saat proses penelitian serta menjadi narasumber dalam menyelesaikan masalah yang ada. Dengan melakukan analisa dan penyelesaian masalah sehingga pada akhirnya tujuan dapat dicapai.

## 2. Identifikasi masalah dan perumusan tujuan penelitian

Pada tahap ini dilakukan pengamatan awal terhadap proses pengolahan *feedwater boiler* dan juga faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas *feed water boiler* yang dihasilkan. Pengidentifikasian masalah ini dilakukan dengan mengamati dan melakukan wawancara dengan ahli dan pihak-pihak yang berhubungan dengan masalah kualitas *feedwater boiler*. Setelah melakukan pengamatan awal, maka permasalahan yang dihadapi menjadi lebih jelas dan dapat dirumuskan tujuan penelitiannya.

## 3. Identifikasi faktor yang berpengaruh

Faktor-faktor yang berpengaruh diidentifikasi dengan menggunakan tiga cara, yaitu *flowcharting*, *brainstorming*, dan *cause-effect diagram*. *Flowchart* digunakan untuk memperjelas proses pengolahan air hingga menjadi *feedwater*. Kemudian dilaksanakan *brainstorming* dengan para ahli di perusahaan untuk mencari faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses, untuk lebih memperjelas dan membantu penelusuran pengaruh faktor digunakan *cause-effect diagram*.

## 4. Desain instrumen penelitian

Faktor-faktor berpengaruh yang telah diperoleh perlu dipisahkan menjadi faktor kontrol dan faktor *noise*. Faktor yang dipakai dalam penelitian adalah faktor kontrol yang kemudian ditetapkan levelnya. Dari level faktor ini bisa dicari derajat kebebasannya sesuai persamaan 2-8 dan 2-9 sehingga bisa didapatkan *orthogonal array* yang tepat untuk setiap penelitian.

## 5. Pelaksanaan eksperimen

Berdasarkan desain instrumen penelitian dilaksanakan eksperimen terhadap *total hardness* dan derajat keasaman dari *feedwater boiler*.

## 6. Pengolahan data

Setelah data-data dikumpulkan, maka selanjutnya dilakukan pengolahan data menggunakan Anova dan pooling faktor sehingga didapatkan faktor yang

secara signifikan berpengaruh untuk mendapatkan *feedwater boiler* yang berkualitas.

#### 7. Analisis regresi

Analisis regresi pada tahap ini merupakan regresi linear berganda dengan *total hardness* dan pH sebagai variabel dependen dan faktor-faktor penelitian sebagai variabel independen untuk mendapatkan level yang dapat mengoptimalkan kualitas dan kapasitas *feedwater boiler*.

#### 8. Eksperimen konfirmasi

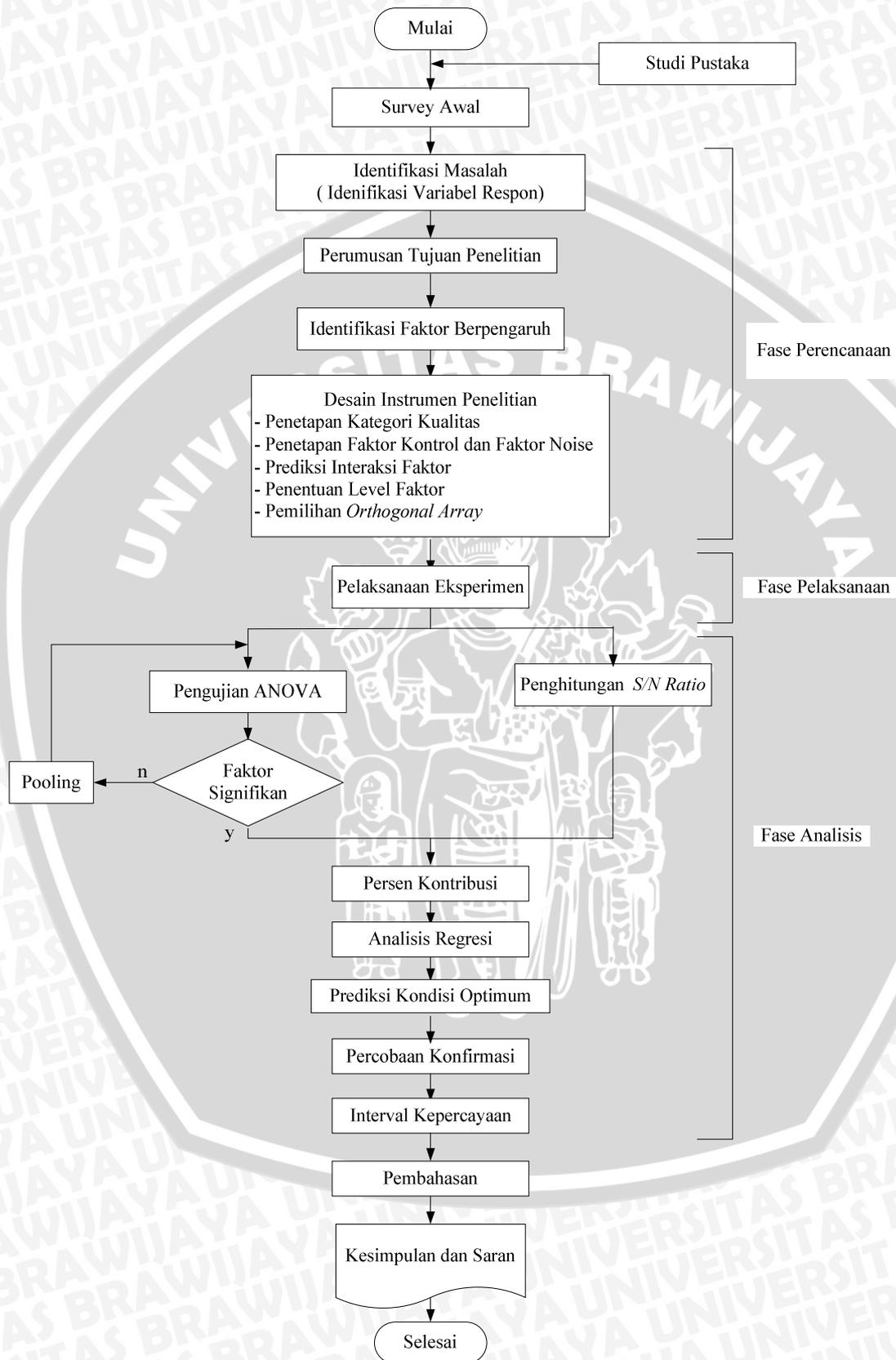
Eksperimen konfirmasi ini dilakukan untuk memverifikasi kondisi optimal yang telah dihasilkan pada pengolahan data.

#### 9. Penarikan kesimpulan dan saran

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisa data yang telah dilakukan, maka akan dapat ditarik kesimpulan untuk menjawab permasalahan yang ada serta saran-saran yang diharapkan dapat memberi manfaat.



### 3.7 Diagram Alir Penelitian

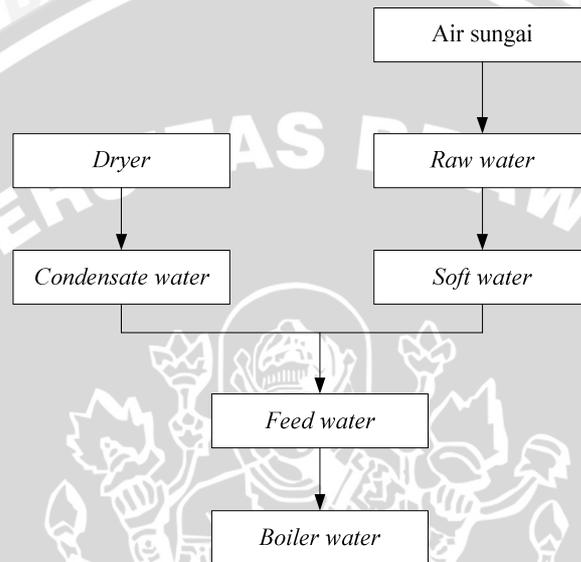


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## BAB IV PENGOLAHAN DATA & PEMBAHASAN

### 4.1 Proses Produksi *Feedwater Boiler*

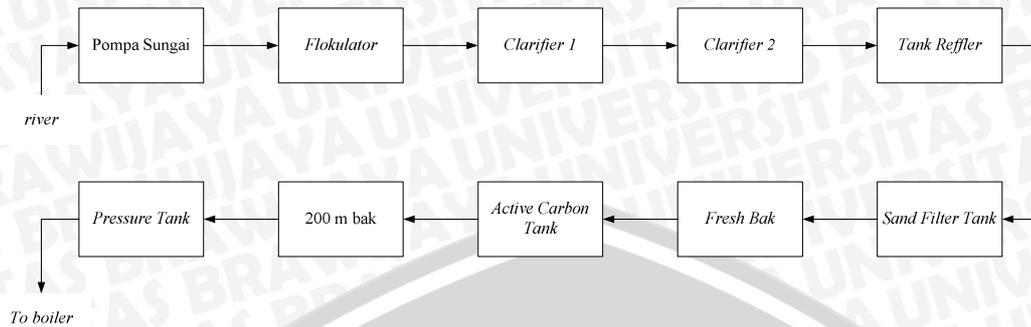
Proses produksi *feedwater boiler* dimulai dari *raw water* yang kemudian menjadi *soft water* lalu ditambah dengan *condensate water*. Secara umum prosesnya dapat digambarkan dalam diagram alir berikut ini.



Gambar 4.1 Diagram Alir *Boiler Water*  
Sumber: PT. Ekamas Fortuna

Proses *raw water* bertujuan untuk menurunkan tingkat *turbidity* air sungai menjadi  $<1.9$  NTU sehingga menjadi air yang jernih. *Raw water* ini kemudian dilewatkan di *softener* agar menjadi *soft water* dengan *total hardness* sebesar 0 NTU. Kemudian *softwater* ini dicampur dengan *condensate water* yang berasal dari kondensasi *steam* di *dryer machine*. Campuran *soft water* dengan *condensate water* inilah yang disebut *feedwater boiler*. Setelah *feedwater* ini dialirkan ke *boiler* dan ditambahkan  $\text{SO}_3$  dan  $\text{PO}_4$ , *feedwater* ini menjadi *boiler water* yang siap dididihkan.

#### 4.1.1 Pre Water Treatment (Raw Water)



Gambar 4.2 Diagram Alir *pre water treatment*  
Sumber: PT. Ekamas Fortuna

Air dari Sungai Lesti dipompa melalui *intake* kemudian dialirkan menuju *floculator* untuk dicampur dengan dukem (konsentrasi 12,5 %) dan flokulan (konsentrasi 0,08%). Dukem berfungsi untuk memisahkan air dari kotoran sehingga terbentuk koagulan, sedangkan flokulan berfungsi untuk menggumpalkan koagulan menjadi partikel yang lebih besar sehingga lebih mudah diendapkan.

Setelah koagulan terbentuk, air dialirkan ke *clarifier 1* untuk pengendapan. Kandungan yang berat jenisnya lebih ringan akan naik ke atas *clarifier 1* dan terbawa overflow menuju *clarifier 2* untuk diendapkan, namun tidak seluruh koagulan dapat diendapkan sehingga dilewatkan ke *reffler tank* untuk mengendapkan kandungan yang berat jenisnya lebih ringan. Sesungguhnya fungsi *clarifier 1*, *clarifier 2*, dan *reffler tank* sama yaitu untuk mengendapkan koagulan, sistem kerjanya mengandalkan gaya gravitasi sehingga ketiga mesin ini disusun bertingkat agar partikel yang berat jenisnya lebih ringan tetap dapat diendapkan di mesin-mesin tersebut.

*Sand filter* digunakan untuk menyaring minyak atau kotoran yang tidak dapat diendapkan di *clarifier* ataupun *reffler tank*. Pada *sand filter* ini terdapat sebuah *screen* yang berisi pasir kuarsa setinggi 70 cm dari *screen*. Pasir kuarsa atau biasa disebut dengan pasir pantai ini memiliki beberapa keunggulan sebagai berikut:

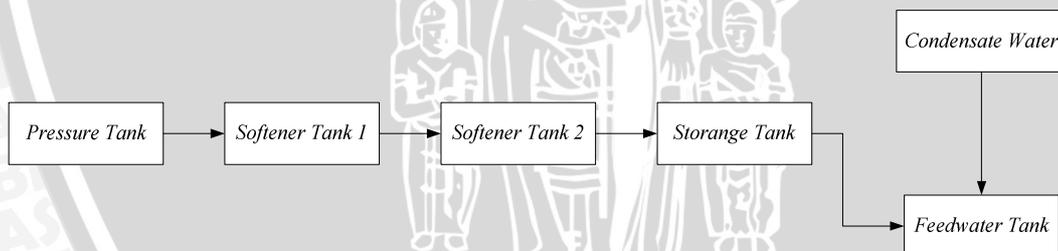
1. ukuran pori-porinya relatif sama
2. ukurannya hampir sama (homogen)
3. lebih ringan dari pasir biasa sehingga mudah jika melakukan *back wash*
4. karena warnanya yang cerah sehingga mudah untuk identifikasi jika pasir sudah kotor.

Setelah minyak dan kotoran disaring di *sand filter*, selanjutnya bau-bauan diikat di *arbon active*. Yang digunakan dalam *carbon active tank* ini adalah batok kelapa yang dibakar kemudian dihancurkan kecil-kecil. Mekanisme tangki ini sama dengan *sand filter tank*, air dilewatkan melalui pelat *screen* yang berisi pasir kuarsa (pada *sand filter*) atau batok kelapa (pada *carbon active*). Mekanisme ini juga yang digunakan pada *softener tank* yang berisi resin.

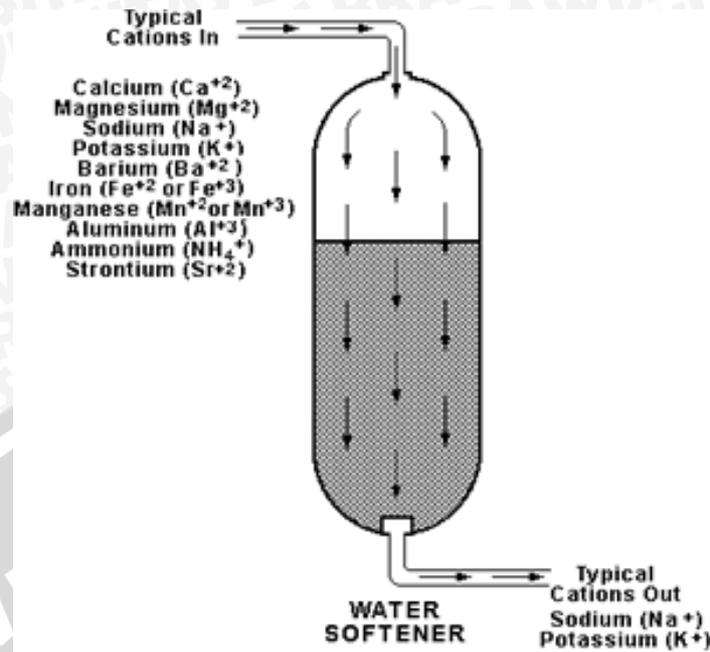
Selanjutnya air akan ditampung di bak 200 untuk dicek kualitas airnya yang meliputi *Turbidity (TBD)* dan pH. Kemudian dialirkan ke *pressure tank* yang berfungsi untuk mengatur fluktuasi air yang akan digunakan di boiler. Besarnya tekanan air tergantung pada pemakaian air di *boiler* yaitu sebesar 4 bar ke bawah.

#### 4.1.2 Soft Water Treatment

*Raw water* yang berada pada *pressure tank* kemudian dialirkan ke *softener tank*. PT. Ekamas Fortuna memiliki empat *softener tank*, namun untuk operasionalnya digunakan dua saja, dua sisanya akan digunakan jika resin di kedua *softener tank* diregenerasi atau diperbaiki. Setelah *Total Hardness* mencapai target yaitu 0 NTU maka *soft water* dialirkan ke *storage tank*. Kemudian dialirkan ke *feedwater tank* dan dicampur dengan *condensate water* yang berasal dari *dryer machine*.



Gambar 4.3 Diagram Alir *Soft Water* dan *Feedwater*  
Sumber: PT. Ekamas Fortuna



Gambar 4.4 *Softener Tank*

Sumber: <http://www.enting.com/Softeners-Work.php>

*Softener tank* ini berisi resin yang berfungsi untuk mengikat Ca dan Mg. Setelah beberapa waktu, resin ini akan mencapai titik jenuh dan tidak bisa mengikat Ca dan Mg lagi sehingga nilai *total hardness* akan menjadi tidak 0. Maka resin yang sudah jenuh ini harus diregenerasi.

Proses regenerasi resin terdiri dari tiga tahap, yaitu:

1. *backwashing*

Proses *backwash* ini berfungsi untuk menaikkan kotoran yang mengendap.

Pada proses ini, air dialirkan berlawanan arah sehingga kotoran yang mengendap di bawah akan naik ke atas. Proses ini berlangsung selama 10-15 menit.

2. pengaraman

Resin yang telah jenuh dikembalikan tingkat kejenuhannya dengan menggunakan larutan NaOH (garam) sebanyak 3 sak (setiap sak berisi 50 Kg garam) yang dilarutkan dalam  $1000 \text{ m}^3$  *raw water*. Proses ini berlangsung selama 50-55 menit.

3. *washing*

*Washing* berfungsi untuk mencuci resin yang sudah digarami. Proses ini menggunakan *raw water* selama 10-15 menit atau hingga *total hardness*-nya

sudah kembali 0. Pengetesan nilai ini dilakukan dengan menambahkan 3 tetes larutan EBT ke dalam 50 ml *soft water*.

#### 4.2 Penetapan Karakteristik Kualitas

##### 1. Karakteristik kualitas *Total Hardness* (TH)

Nilai TH pada *softwater* memiliki target yang ditetapkan oleh perusahaan sebesar  $\leq 2$  NTU, TH ditargetkan sekecil mungkin bahkan hingga nol untuk menghindari terjadinya *scaling* pada *boiler*. Maka karakteristik kualitas yang ditetapkan untuk TH adalah *smallerr-the-better* (STB) dengan target 0.

##### 2. Karakteristik kualitas derajat keasaman (pH)

pH ditargetkan sebesar 7.0 hingga 9.0 pada *feedwater*, pH yang diinginkan untuk *feedwater* ialah pH yang tinggi. Maka karakteristik kualitas yang ditetapkan untuk TH adalah *nominal-the-best* (NTB) dengan target 8.0.

#### 4.3 Pemilihan Faktor yang Berpengaruh Terhadap Kualitas

Setelah melalui proses *brainstorming* bersama karyawan PT. Ekamas Fortuna yang bertanggung jawab untuk kualitas masing-masing *water*, maka ditemukan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap nilai TH dan pH.

##### 4.3.1 Faktor yang Berpengaruh Terhadap Nilai *Total Hardness* (TH)

Proses produksi *feedwater* dilaksanakan oleh dua seksi yaitu seksi *water treatment* yang bertugas untuk mengolah air dari sungai menjadi *raw water* dan seksi *boiler* yang bertugas untuk mengolah *raw water* menjadi *steam*. Pada *raw water*, target yang diinginkan adalah nilai *turbidity* (TBD) dan pengecekan terhadap pH, sedangkan TH hanya dicek pada *soft water*. Kemungkinan ada korelasi antara nilai TBD dengan TH.

Tabel 4.1 Nilai *Total Hardness* dan *Turbidity* pada *Raw Water*

Tanggal	Bulan	TH (NTU)	TBD (NTU)
11	Maret	143	2.65
10	Maret	144	1.1
6	Maret	141	3.21
5	Maret	148	2.4
3	Maret	145	2.28
2	Maret	157	2.98
1	Maret	152	1.54
27	Februari	149	1.53
25	Februari	152	2.45
24	Februari	153	1.96
23	Februari	151	1.79
22	Februari	149	2.37
20	Februari	145	2.38
18	Februari	152	1.89
17	Februari	151	2.19
16	Februari	148	2.79
12	Februari	152	2.93
11	Februari	156	2.32
10	Februari	151	2.16
9	Februari	149	2.73
8	Februari	155	2.17
6	Februari	398	4.32
5	Februari	406	2.12
4	Februari	153	1.12
3	Februari	151	2.73
1	Februari	152	2.13
29	Januari	153	2.31
27	Januari	156	2.16
26	Januari	148	2.13
23	Januari	156	1.97
22	Januari	156	2.07
21	Januari	148	2.19
20	Januari	161	1.42

Sumber: PT. Ekamas Fortuna

Uji korelasi dibutuhkan untuk menguji apakah ada korelasi antara TBD dan

TH. Hipotesisnya adalah sebagai berikut:

$H_0$  = tidak ada korelasi antara nilai TBD dengan nilai TH

$H_1$  = ada korelasi antara nilai TBD dengan TH

Tabel 4.2 Analisis Korelasi antara TBD dan TH

Correlations			
		TH	TBD
TH	Pearson Correlation	1.000	.381*
	Sig. (2-tailed)		.029
	N	33.000	33
TBD	Pearson Correlation	.381*	1.000
	Sig. (2-tailed)	.029	
	N	33	33.000

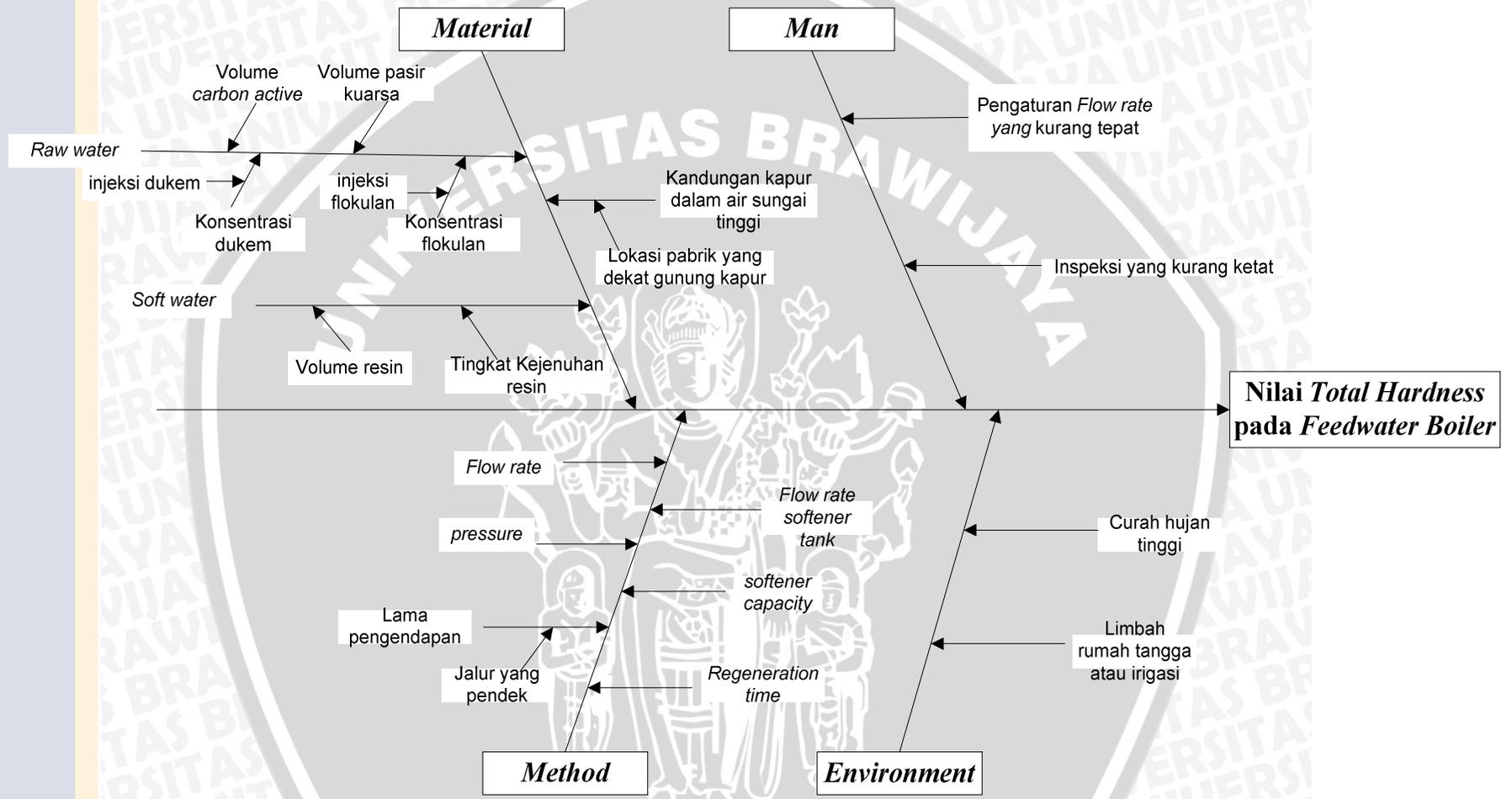
\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Sumber: *Output SPSS*

Nilai sig. sebesar 0.029 kurang dari 0.05 maka  $H_0$  ditolak sehingga ada korelasi antara nilai TBD dan TH dengan koefisien korelasi sebesar 0.381.

Selain itu, nilai TBD yang tinggi akan menyebabkan resin pada *softener tank* susah menyaring kandungan logam karena lumpur akan menyelimuti resin sehingga resin kesulitan menyaring ion Ca atau Mg yang terlarut sehingga menyebabkan nilai TH tinggi. TBD itu sendiri dipengaruhi oleh curah hujan, kandungan dukem dan flokulan yang diatur oleh *flow rate*, volume pasir kuarsa yang digunakan dalam *sand filter*, karbon dalam *carbon active* serta lama pengendapan.

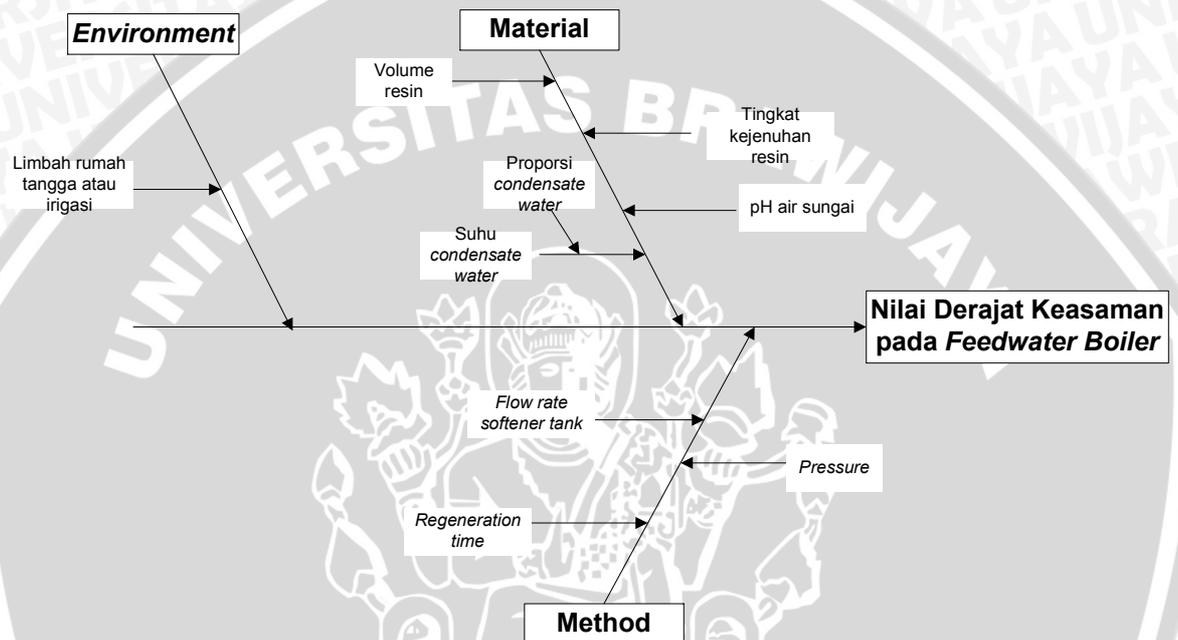
Kemudian TH juga dipengaruhi oleh volume dan kualitas resin, *flow rate* pada *softener tank*, dan tekanan *pressure tank*. Namun, berapapun nilai TH yang dimiliki *raw water*, *softener* harus mampu menyaringnya dan menghasilkan TH 0 NTU. Oleh karena itu, *softener* memiliki peran sentral dalam proses pengolahan *feedwater boiler* yang berkualitas. Lebih lengkapnya dapat dilihat pada *cause-effect diagram* berikut ini.



Gambar 4.5 Penyebab Nilai Total Hardness (TH)

### 4.3.2 Faktor yang Berpengaruh Terhadap Nilai Derajat Keasaman (pH)

Kenaikan pH pada dasarnya disebabkan oleh pemanasan, data historis menunjukkan bahwa pH mengalami sedikit kenaikan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.3. Kenaikan pada soft water disebabkan oleh resin yang mengikat garam-garam terlarut, tetapi kenaikan pH pada feedwater disebabkan karena suhu *condensate water* yang ditambahkan pada *soft water*. pH ini akan mengalami kenaikan hingga sebesar lebih dari 11.0 pada saat dipanaskan dalam boiler.



Gambar 4.6 Penyebab nilai pH

Pada tabel 4.3, rata-rata pH akan naik setelah dari *softener*, kemudian mengalami sedikit penurunan pada *feedwater*. Ada beberapa kemungkinan penyebab penurunan ini, kemungkinan pertama adalah pH *condensate water* tidak terlalu tinggi sehingga menyebabkan pH *feedwater* lebih rendah dari pH *soft water*, sedangkan kemungkinan keduanya adalah proporsi *condensate water* terlalu rendah untuk menaikkan pH *soft water*.

Tabel 4.3 Nilai pH raw water, soft water, dan feedwater

Tanggal	Bulan	Derajat Keasaman		
		raw water	soft water	feed water
11	Maret	7.44	7.59	7.46
10	Maret	7.49	7.69	7.51
6	Maret	7.48	7.64	7.53
5	Maret	7.39	7.53	7.47
3	Maret	7.43	7.66	7.52
2	Maret	7.15	7.55	7.46
1	Maret	7.49	7.57	7.42
27	Februari	7.41	7.69	7.42
25	Februari	7.27	7.49	7.42
24	Februari	7.21	7.47	7.43
23	Februari	7.27	7.43	7.36
22	Februari	7.25	7.63	7.59
20	Februari	7.12	7.49	7.42
18	Februari	7.32	7.51	7.47
17	Februari	7.3	7.68	7.65
16	Februari	7.3	7.55	7.49
12	Februari	7.32	7.49	7.44
11	Februari	7.47	7.59	7.51
10	Februari	7.41	7.52	7.36
9	Februari	7.37	7.54	7.44
8	Februari	7.43	7.54	7.20
6	Februari	8.02	8.1	8.15
5	Februari	8.31	8.45	8.42
4	Februari	8.15	8.35	8.34
3	Februari	7.49	7.55	7.46
1	Februari	7.43	7.52	7.31
29	Januari	7.4	7.59	7.46
27	Januari	7.48	7.61	7.46
26	Januari	7.47	7.52	7.43
23	Januari	7.41	7.59	7.53
22	Januari	7.31	7.53	7.42
21	Januari	7.48	7.53	7.46
20	Januari	7.44	7.51	7.49
Rata-rata		<b>7.4457576</b>	<b>7.6272727</b>	<b>7.530303</b>

Sumber: PT. Ekamas Fortuna

#### 4.4 Identifikasi Faktor Kontrol dan Faktor Noise

Faktor kontrol dan faktor *noise* untuk nilai TH dapat dilihat dalam Tabel 4.4, sedangkan untuk nilai pH pada Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Faktor Kontrol dan *Noise* untuk *Total Hardness*

Faktor kontrol	Faktor Noise
<i>injection</i> dukem	Curah hujan
<i>injection</i> flokulan	Limbah rumah tangga atau irigasi
<i>Flow rate</i> (dari <i>floculator</i> hingga bak 200)	Kandungan kapur dalam air sungai
Volume pasir kuarsa	Lama pengendapan
Volume karbon	
Tekanan <i>pressure tank</i>	
Volume resin	
<i>Flow rate</i> pada <i>softener tank</i>	
<i>Softener capacity</i>	
<i>Regeneration time</i>	

Tabel 4.5 Faktor Kontrol dan *Noise* untuk pH

Faktor kontrol	Faktor Noise
Volume resin	pH air sungai
<i>Flow rate</i> pada <i>softener tank</i>	Limbah rumah tangga atau irigasi
Tekanan <i>pressure tank</i>	
Proporsi <i>condensate water</i>	
<i>Regeneration time</i>	
<i>Total regeneration time</i>	

#### 4.5 Penentuan Level Faktor

Faktor kontrol yang telah didapatkan kemudian diambil yang paling berpengaruh dan memungkinkan untuk dilakukan penelitian. Memungkinkan atau tidaknya sebuah faktor dimasukkan dalam penelitian tergantung apakah bergantungnya level faktor tersebut berpengaruh terhadap operasional. Contohnya faktor volume pasir kuarsa tidak mungkin dimasukkan ke dalam penelitian karena *sand filter* yang dimiliki PT. Ekamas Fortuna hanya satu, sehingga jika levelnya diganti maka harus menghentikan operasional dan menyalahi kapasitas desainnya.

Tabel 4.6 Penentuan Faktor untuk Penelitian *Total Hardness*

Faktor kontrol	Tingkat Pengaruh	Kemungkinan
<i>injection</i> dukem	Berpengaruh terhadap nilai TBD	Mungkin
<i>injection</i> flokulan	Berpengaruh terhadap nilai TBD	Mungkin
<i>Flow rate</i> (dari <i>floculator</i> hingga bak 200)	Berpengaruh terhadap nilai TBD, namun setelah ditampung di bak 200, <i>flow rate</i> tidak akan berpengaruh lagi.	Mungkin
Volume pasir kuarsa	Berpengaruh terhadap nilai TBD	Tidak mungkin
Volume karbon	Berpengaruh terhadap nilai TBD	Tidak mungkin
Tekanan <i>pressure tank</i>	Berpengaruh terhadap nilai TH	Mungkin
Volume resin	Berpengaruh terhadap nilai TH	Tidak mungkin
<i>Flow rate</i> pada <i>softener tank</i>	Berpengaruh terhadap nilai TH	Mungkin
<i>Softener capacity</i>	Berpengaruh terhadap nilai TH	Mungkin
<i>Regeneration time</i>	Berpengaruh terhadap nilai TH	Mungkin

Dari tabel di atas didapatkan empat faktor yang berpengaruh terhadap nilai total hardness dan memungkinkan untuk dilakukan penelitian. Selanjutnya ditentukan level untuk setiap faktor tersebut seperti yang ditampilkan pada tabel 4. 7 berikut ini.

Tabel 4.7 Level Faktor *Total Hardness*

Faktor	Level		
	1	2	3
<i>Regeneration time</i>	50 menit*	60 menit*	70 menit
<i>Flow rate</i> pada <i>softener tank</i>	<20 m <sup>3</sup> / jam	20-25 m <sup>3</sup> / jam*	>25 m <sup>3</sup> / jam
Tekanan <i>pressure tank</i>	3.5 bar	4.5 bar*	5 bar
<i>Softener capacity</i>	150 M <sup>3</sup>	180 M <sup>3</sup> *	200 M <sup>3</sup>

Keterangan: \* = level yang digunakan saat ini

Faktor-faktor kontrol pH pun dipertimbangkan untuk dimasukkan dalam penelitian seperti yang dtunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Penentuan Faktor untuk Penelitian pH

Faktor kontrol	Tingkat pengaruh	kemungkinan
Volume resin	Berpengaruh terhadap nilai pH	Tidak mungkin
<i>Flow rate</i> pada <i>softener tank</i>	Berpengaruh terhadap nilai pH	Mungkin
Tekanan <i>pressure tank</i>	Berpengaruh terhadap nilai pH	Mungkin
Proporsi <i>condensate water</i>	Berpengaruh terhadap nilai pH	Tidak mungkin
<i>Regeneration time</i>	Berpengaruh terhadap nilai pH	Mungkin
<i>Total regeneration time</i>	Berpengaruh terhadap nilai pH	Mungkin

Dari tabel di atas didapatkan empat faktor berpengaruh dan memungkinkan untuk dilaksanakan penelitian. Namun dengan mempertimbangkan proses *washing* yang termasuk dalam *total regeneration time*, maka yang dipilih untuk dimasukkan dalam penelitian cukup tiga faktor saja yaitu tekanan *pressure tank*, *total regeneration time*, dan *flow rate* pada *softener tank*. Kemudian ditentukan level faktornya seperti yang ditunjukkan dalam tabel 4.9 berikut ini.

Tabel 4.9 Level Faktor Derajat Keasaman

Faktor	Level	
	1	2
<i>Flow rate</i> pada <i>softener tank</i>	<23 m <sup>3</sup> /jam*	24-26 m <sup>3</sup> /jam
Tekanan <i>pressure tank</i>	3.5 bar	4 bar*
<i>Total regeneration time</i>	70 menit	75 menit*

Keterangan: \* = level yang digunakan saat ini

#### 4.6 Perhitungan derajat kebebasan (*degrees of freedom/dof*)

##### 1. Derajat kebebasan *Total Hardness*

$$DOF_{fl} = (\text{banyaknya level}-1)$$

$$=3-1=2$$

$$\text{Total } DOF_{fl} = (\text{banyaknya faktor})(DOF_{fl})$$

$$= 4*2$$

$$=8$$

##### 2. Derajat kebebasan pH

$$DOF_{fl} = (\text{banyaknya level}-1)$$

$$=2-1=1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total } DOF_{fl} &= (\text{banyaknya faktor})(DOF_{fl}) \\
 &= 3 \cdot 1 \\
 &= 3
 \end{aligned}$$

#### 4.7 Pemilihan Orthogonal Array (OA)

##### 1. Orthogonal Array untuk Total Hardness

Tabel 4.10 Orthogonal Array  $L_9(3^4)$

Jumlah Eksperimen	Faktor			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

##### 2. Orthogonal Array untuk derajat keasaman

Tabel 4.11 Orthogonal Array  $L_4(2^3)$

Jumlah Eksperimen	Faktor		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

#### 4.8 Pelaksanaan Eksperimen

Tabel 4.12 Hasil Eksperimen *Total Hardness*

Trial no.	Faktor				Nilai <i>Total hardness</i> (NTU)	
	<i>Regeneration time</i> (menit)	Tekanan <i>pressure tank</i> (bar)	<i>Flow rate</i> pada <i>softener tank</i> (m <sup>3</sup> /jam)	<i>Softener capacity</i> (M <sup>3</sup> )		
1	50	3.5	<20	150	50.3065	48.409
2	50	4.5	20-25	180	142.284	148.296
3	50	5	>25	200	133.0656	117.0336
4	60	3.5	20-25	200	140.28	137.8752
5	60	4.5	>25	150	72.144	66.9336
6	60	5	<20	180	138.276	129.4584
7	70	3.5	>25	180	133.4664	134.6688
8	70	4.5	<20	200	128.256	133.4664
9	70	5	20-25	150	130.6608	136.272

Tabel 4.13 Hasil Eksperimen pH

Trial no.	faktor			Nilai pH		
	<i>Flow rate</i> pada <i>softener tank</i> (m <sup>3</sup> /jam)	Tekanan <i>pressure tank</i> (bar)	<i>Total regeneration time</i> (menit)	1	2	3
1	<23	3.5	70	7,43	7,51	7,55
2	<23	4	75	7,46	7,46	7,48
3	24-26	3.5	75	7,4	7,51	7,43
4	24-26	4	70	7,95	7,9	7,8

## 4.9 Analisis Total Hardness

### 4.9.1 Analisis Variansi

Tabel 4.14 Rata-rata Hasil Eksperimen

Trial no.	Faktor				Nilai Total hardness (NTU)		rata-rata
	<i>Regeneration time</i> (menit)	Tekanan <i>pressure tank</i> (bar)	<i>Flow rate</i> pada <i>softener tank</i> (m <sup>3</sup> /jam)	<i>Softener capacity</i> (M <sup>3</sup> )	1	2	
1	50	3.5	<20	150	50.3065	48.409	49.35775
2	50	4.5	20-25	180	142.284	148.296	145.29
3	50	5	>25	200	133.0656	117.0336	125.0496
4	60	3.5	20-25	200	140.28	137.8752	139.0776
5	60	4.5	>25	150	72.144	66.9336	69.5388
6	60	5	<20	180	138.276	129.4584	133.8672
7	70	3.5	>25	180	133.4664	134.6688	134.0676
8	70	4.5	<20	200	128.256	133.4664	130.8612
9	70	5	20-25	150	130.6608	136.272	133.4664
							117.8418

1. respon rata-rata untuk masing-masing eksperimen

a. pengaruh faktor *regeneration time* (A)

$$\bar{A}_1 = \frac{49.35775 + 145.29 + 125.0496}{3} = 106.5657833$$

$$\bar{A}_2 = \frac{139.0776 + 69.5388 + 133.8672}{3} = 114.1612$$

$$\bar{A}_3 = \frac{134.0676 + 130.8612 + 133.4664}{3} = 132.7984$$

b. pengaruh faktor tekanan *pressure tank* (B)

$$\bar{B}_1 = \frac{49.35775 + 139.0776 + 134.0676}{3} = 107.5009833$$

$$\bar{B}_2 = \frac{145.29 + 69.5388 + 130.8612}{3} = 115.23$$

$$\bar{B}_3 = \frac{125.0496 + 133.8672 + 133.4664}{3} = 130.7944$$

c. pengaruh faktor *flow rate* pada *softener tank* (C)

$$\bar{C}_1 = \frac{49.35775 + 133.8672 + 133.4664}{3} = 104.6954$$

$$\bar{C}_2 = \frac{145.29 + 139.0776 + 133.4664}{3} = 139.278$$

$$\bar{C}_3 = \frac{125.0496 + 69.5388 + 134.0676}{3} = 109.552$$

d. pengaruh faktor *softener capacity* (D)

$$\bar{D}_1 = \frac{49.35775 + 69.5388 + 130.8612}{3} = 84.12098$$

$$\bar{D}_2 = \frac{145.29 + 133.8672 + 134.0676}{3} = 137.7416$$

$$\bar{D}_3 = \frac{125.0496 + 139.0776 + 130.8612}{3} = 131.6628$$

2. rata-rata eksperimen keseluruhan

Rata-rata eksperimen keseluruhan adalah rata-rata dari semua data eksperimen:

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} = \frac{50.3065 + 48.409 + 142.284 + 148.296 + \dots + 136.272}{18} = 117.8418$$

3. Tabel respon

Tabel 4.15 Tabel Respon Pengaruh Faktor

	A	B	C	D
1	106.5657833	107.5009833	104.6954	84.12098
2	114.1612	115.23	139.278	137.7416
3	132.7984	130.7944	109.552	131.6628
rank	3	4	2	1

4. Jumlah kuadrat total

$$\begin{aligned} SST &= \sum Y^2 \\ &= 50.3065^2 + 48.409^2 + 142.284^2 + 148.296^2 + \dots + 136.272^2 \\ &= 268620.7249 \end{aligned}$$

6. Jumlah kuadrat karena rata-rata

$$\begin{aligned}SSMean &= n\bar{y}^2 \\ &= 18 \times 117.8418^2 = 249960.3933\end{aligned}$$

7. jumlah kuadrat karena faktor-faktor

a. jumlah kuadrat untuk faktor A

$$\begin{aligned}SSA &= (n_{A1} \times \bar{A}_1^2) + (n_{A2} \times \bar{A}_2^2) + (n_{A3} \times \bar{A}_3^2) - SSMean \\ &= (6 \times 106.565^2) + (6 \times 114.161^2) + (6 \times 132.7984^2) - 249960.3933 \\ &= 2186.371511\end{aligned}$$

b. jumlah kuadrat untuk faktor B

$$\begin{aligned}SSB &= (n_{B1} \times \bar{B}_1^2) + (n_{B2} \times \bar{B}_2^2) + (n_{B3} \times \bar{B}_3^2) - SSMean \\ &= (6 \times 107.5009^2) + (6 \times 115.23^2) + (6 \times 130.7944^2) - 249960.3933 \\ &= 1689.143012\end{aligned}$$

c. jumlah kuadrat untuk faktor C

$$\begin{aligned}SSC &= (n_{C1} \times \bar{C}_1^2) + (n_{C2} \times \bar{C}_2^2) + (n_{C3} \times \bar{C}_3^2) - SSMean \\ &= (6 \times 104.6954^2) + (6 \times 139.278^2) + (6 \times 109.552^2) - 249960.3933 \\ &= 4206.358354\end{aligned}$$

d. jumlah kuadrat untuk faktor D

$$\begin{aligned}SSD &= (n_{D1} \times \bar{D}^2) + (n_{D2} \times \bar{D}_2^2) + (n_{D3} \times \bar{D}_3^2) - SSMean \\ &= (6 \times 84.1209^2) + (6 \times 137.741^2) + (6 \times 131.6628^2) - 249960.3933 \\ &= 10344.69335\end{aligned}$$

7. Jumlah kuadrat karena error

$$\begin{aligned}Sse &= SST - SSMean - SA - SB - SC - SD \\ &= 268620.7249 - 249960.3933 - 2186.371511 - 1689.143012 - 4206.358354 - \\ &\quad 10344.69335 \\ &= 233.7653373\end{aligned}$$

8. rata-rata jumlah kuadrat

Rata-rata jumlah kuadrat dihitung dari pembagian jumlah kuadrat dengan derajat kebebasan.

a. rata-rata jumlah kuadrat A

$$\begin{aligned} MSA &= \frac{SSA}{df_A} \\ &= \frac{2186.371511}{2} = 1093.186 \end{aligned}$$

b. rata-rata jumlah kuadrat B

$$\begin{aligned} MSB &= \frac{SSB}{df_B} \\ &= \frac{1689.143012}{2} = 844.5715 \end{aligned}$$

c. rata-rata jumlah kuadrat C

$$\begin{aligned} MSC &= \frac{SSC}{df_C} \\ &= \frac{4206.358354}{2} = 2103.179 \end{aligned}$$

d. rata-rata jumlah kuadrat D

$$\begin{aligned} MSC &= \frac{SSC}{df_C} \\ &= \frac{10344.69335}{2} = 5172.347 \end{aligned}$$

d. rata-rata jumlah kuadrat error

$$\begin{aligned} MSe &= \frac{SSe}{df_e} \\ &= \frac{233.7653373}{9} = 25.97393 \end{aligned}$$

9. F-ratio

F-ratio dihitung dari pembagian rata-rata jumlah kuadrat (MS A/B/C/D) dengan jumlah kuadrat error (MSe).

a. untuk faktor A

$$F_A = \frac{MSA}{MSe} = \frac{1093.186}{25.97393} = 42.08781$$

b. untuk faktor B

$$F_B = \frac{MSB}{MSe} = \frac{844.5715}{25.97393} = 32.51613$$

c. untuk faktor C

$$F_c = \frac{MSC}{MSe} = \frac{2103.179}{25.97393} = 80.97271$$

d. untuk faktor D

$$F_c = \frac{MSD}{MSe} = \frac{5172.347}{25.97393} = 199.1361$$

Hasil perhitungan di atas digunakan untuk menggambarkan analisis variansi seperti terlihat pada Tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.15 Anova Eksperimen *Total Hardness*

Sumber	SS	df	MS	F ratio	SS'	rho%
A	2186.371511	2	1093.186	42.08781	2134.4237	11.438294%
B	1689.143012	2	844.5715	32.51613	1637.1952	8.773666%
C	4206.358354	2	2103.179	80.97271	4154.4105	22.263326%
D	10344.69335	2	5172.347	199.1361	10292.745	55.158428%
e	233.7653373	9	25.97393	1	441.55675	2.3662857%
SSt	18660.33156	17	1097.667		18660.332	100%
SSMean	249960.3933	1				
SST	268620.7249	18				

#### 4.9.2 Perhitungan Porsen Kontribusi

Untuk menghitung porsen kontribusi dari sumber-sumber dalam analisis variansi diperlukan perhitungan jumlah kuadrat sesungguhnya yang dibagi dengan jumlah kuadrat total.

1. faktor A

$$\begin{aligned} SSA' &= SSA - (df \times MSe) \\ &= 2186.371511 - (2 \times 25.97393) = 2134.4237 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_A &= \frac{SSA'}{SSt} \times 100\% \\ &= \frac{2134.4237}{18660.332} \times 100\% = 11.438294\% \end{aligned}$$

2. faktor B

$$\begin{aligned} SSB' &= SSB - (df \times MSe) \\ &= 1689.143012 - (2 \times 25.97393) = 1637.1952 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_B &= \frac{SSB'}{SSt} \times 100\% \\ &= \frac{1637.1952}{18660.332} \times 100\% = 8.773666\%\end{aligned}$$

3. faktor C

$$\begin{aligned}SSC' &= SSC - (df \times MSe) \\ &= 4206.358354 - (2 \times 25.97393) = 4154.4105\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_C &= \frac{SSC'}{SSt} \times 100\% \\ &= \frac{4154.4105}{18660.332} \times 100\% = 22.263326\%\end{aligned}$$

4. faktor D

$$\begin{aligned}SSD' &= SSD - (df \times MSe) \\ &= 10344.69335 - (2 \times 25.97393) = 10292.745\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_D &= \frac{SSD'}{SSt} \times 100\% \\ &= \frac{10292.745}{18660.332} \times 100\% = 55.158428\%\end{aligned}$$

4. error

$$\begin{aligned}SSe' &= SSt - SSA' - SSB' - SSC' - SSD' \\ &= 18660.33156 - 2134.4237 - 1637.1952 - 4154.4105 - 10292.745 \\ &= 441.55675\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_e &= \frac{SSe'}{SSt} \times 100\% \\ &= \frac{441.55675}{18660.332} \times 100\% = 2.3662857\%\end{aligned}$$

### 4.9.3 Pooling Faktor-faktor yang Tidak Signifikan

Dari empat faktor yang diujikan terhadap *total hardness*, maka bisa disusun hipotesisnya seperti berikut:

$H_0$  = *regeneration time* tidak berpengaruh terhadap nilai *total hardness*

$H_1$  = *regeneration time* berpengaruh terhadap nilai *total hardness*

$H_0$  = tekanan *pressure tank* tidak berpengaruh terhadap nilai *total hardness*

$H_1$  = tekanan *pressure tank* berpengaruh terhadap nilai *total hardness*

$H_0$  = *flow rate* pada *softener tank* tidak berpengaruh terhadap nilai *total hardness*

$H_1$  = flow rate pada softener tank berpengaruh terhadap nilai total hardness

$H_0$  = Softener capacity tidak berpengaruh terhadap nilai total hardness

$H_1$  = Softener capacity berpengaruh terhadap nilai total hardness

Nilai F tabel,  $F_{0,05;1;18} = 4.41$  dan nilai  $F_A=42.08781$ ,  $F_B=32.51613$ ,  $F_C=80.97271$ , dan  $F_D=199.1361$  maka  $H_0$  untuk keempat faktor ditolak yang berarti regeneration time, tekanan pressure tank, flow rate pada softener tank, dan softener capacity berpengaruh terhadap nilai total hardness. Maka dari itu, ANOVA pada tabel 4.15 Hanya menunjukkan pentingnya faktor dan faktor yang kurang berpengaruh pada nilai total hardness. Berdasarkan pada nilai F-ratio kita bisa urutkan faktor yang paling berpengaruh yaitu faktor Softener capacity (D), flow rate pada softener tank (C), regeneration time (A), tekanan pressure tank (B), lalu selanjutnya. Maka faktor B dan A bisa dipooled dengan memberi tanda Y pada faktor tersebut dan menambahkan jumlah kuadratnya pada kolom pooled e

Tabel 4.16 Pooling Faktor

Sumber	Pooled	SS	df	MS	F ratio	SS'	rho%
A		2186.371511	2	1093.186	42.087813	2134.4237	11.43829%
B		1689.143012	2	844.5715	32.516128	1637.1952	8.773666%
C		4206.358354	2	2103.179	80.972709	4154.4105	22.26333%
D		10344.69335	2	5172.347	199.13611	10292.745	55.15843%
e	y	233.7653373	9	25.97393	-	-	-
pooled e		233.7653373	9	25.97393	1	441.55675	2.366286%
SSt		18660.33156	17	1097.667		18660.332	100%
SSMean		249960.3933	1				
SST		268620.7249	18				

Karena nilai F ratio faktor B yang paling kecil, maka faktor B dipooled.

$$SS(\text{pooled } e) = SSe + SSB$$

$$= 233.7653373 + 1689.143012 = 1922.908349$$

$$df(\text{pooled } e) = df_e + df_A$$

$$= 9 + 2 = 11$$

$$MS(\text{pooled } e) = \frac{SS(\text{pooled } e)}{df(\text{pooled } e)}$$

$$= \frac{1922.908349}{11} = 174.8098$$

Dengan perubahan nilai MS (pooled e) maka nilai SS' dan rho% juga akan berubah untuk semua faktor.

1. Faktor A

$$\begin{aligned} SSA' &= SSA - (df \times MSe) \\ &= 2186.371511 - (2 \times 174.8098) = 1836.7518 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_A &= \frac{SSA'}{SSt} \times 100\% \\ &= \frac{1836.7518}{18660.33156} \times 100\% = 9.843082\% \end{aligned}$$

2. faktor C

$$\begin{aligned} SSC' &= SSC - (df \times MSe) \\ &= 4206.358354 - (2 \times 174.8098) = 3856.7387 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_C &= \frac{SSC'}{SSt} \times 100\% \\ &= \frac{3856.7387}{18660.33156} \times 100\% = 20.66811\% \end{aligned}$$

3. faktor D

$$\begin{aligned} SSD' &= SSD - (df \times MSe) \\ &= 10344.69335 - (2 \times 174.8098) = 9995.0736 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_D &= \frac{SSD'}{SSt} \times 100\% \\ &= \frac{9995.0736}{18660.33156} \times 100\% = 53.56322\% \end{aligned}$$

4. pooled e

$$\begin{aligned} SSe' &= SSt - SSA' - SSC' - SSD' \\ &= 18660.33156 - 1836.7518 - 3856.7387 - 9995.0736 = 2971.7674 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_e &= \frac{SSe'}{SSt} \times 100\% \\ &= \frac{2971.7674}{18660.33156} \times 100\% = 15.92559\% \end{aligned}$$

Tabel 4.17 Pooling Faktor B

Sumber	Pooled	SS	df	MS	F ratio	SS'	rho%
A		2186.371511	2	1093.186	6.2535707	1836.7518	9.843082%
B	y	1689.143012	2	844.5715	-	-	-
C		4206.358354	2	2103.179	12.03124	3856.7387	20.66811%
D		10344.69335	2	5172.347	29.588417	9995.0736	53.56322%
e	y	233.7653373	9	25.97393	-	-	-
pooled e		1922.908349	11	174.8098	1	2971.7674	15.92559%
SSt		18660.33156	17	1097.667		18660.332	100%
SSMean		249960.3933	1				
SST		268620.7249	18				

Nilai F ratio faktor A yang kedua terkecil, maka faktor A bisa di-pooled.

$$SS(\text{pooled } e) = SSe + SSB + SSA$$

$$= 233.7653373 + 1689.143012 + 2186.371511 = 4109.27986$$

$$df(\text{pooled } e) = df_e + df_A$$

$$= 9 + 2 + 2 = 13$$

$$MS(\text{pooled } e) = \frac{SS(\text{pooled } e)}{df(\text{pooled } e)}$$

$$= \frac{4109.27986}{13} = 316.0985$$

Dengan perubahan nilai MS (pooled e) maka nilai SS' dan rho% juga akan berubah untuk semua faktor.

1. faktor C

$$SSC' = SSC - (df \times MSe)$$

$$= 4206.358354 - (2 \times 316.0985) = 3574.1615$$

$$\rho_C = \frac{SSC'}{SSt} \times 100\%$$

$$= \frac{3574.1615}{18660.332} \times 100\% = 19.15379\%$$

3. faktor D

$$SSD' = SSD - (df \times MSe)$$

$$= 10344.69335 - (2 \times 316.0985) = 9712.4964$$

$$\begin{aligned}\rho D &= \frac{SSD'}{SSt} \times 100\% \\ &= \frac{9712.4964}{18660.332} \times 100\% = 52.0489\%\end{aligned}$$

4. pooled e

$$\begin{aligned}Sse' &= SSt - SSC' - SSD' \\ &= 18660.33156 - 3574.1615 - 9712.4964 = 5373.6737\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho e &= \frac{Sse'}{SSt} \times 100\% \\ &= \frac{5373.6737}{18660.332} \times 100\% = 28.79731\%\end{aligned}$$

Tabel 4.18 Pooling Faktor A

Sumber	Pooled	SS	df	MS	F ratio	SS'	rho%
<b>A</b>	y	2186.371511	2	1093.186	-	-	-
<b>B</b>	y	1689.143012	2	844.5715	-	-	-
<b>C</b>		4206.358354	2	2103.179	6.6535574	3574.1615	19.15379%
<b>D</b>		10344.69335	2	5172.347	16.363088	9712.4964	52.0489%
<b>e</b>	y	233.7653373	9	25.97393	-	-	-
<b>pooled e</b>		4109.27986	13	316.0985	1	5373.6737	28.79731%
<b>SSt</b>		18660.33156	17	1097.667		18660.332	100%
<b>SSMean</b>		249960.3933	1				
<b>SST</b>		268620.7249	18				

Dari persen kontribusi dalam tabel 4. di atas, didapatkan faktor yang signifikan yaitu faktor C (*flow rate softener tank*) dengan persen kontribusi sebesar 19.15379% dan faktor D (*softener capacity*) dengan persen kontribusi sebesar 52.0489%. Persen kontribusi untuk jumlah kuadrat pooled error sebesar 28.79731%. Aturan umum berlaku jumlah kuadrat pooled error boleh mencapai 50% dari jumlah kuadrat total (Soejanto, 2008:179). Secara ringkas disajikan dalam Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Ringkasan Pooling Faktor

sumber	pooled	SS	df	MS	F ratio	SS'	rho%
C		4206.358354	2	2103.179	6.6535574	3574.1615	19.15379%
D		10344.69335	2	5172.347	16.363088	9712.4964	52.0489%
pooled e		4109.27986	13	316.0985	1	5373.6737	28.79731%
SSt		18660.33156	17	1097.667		18660.332	100%
SSMean		249960.3933	1				
SST		268620.7249	18				

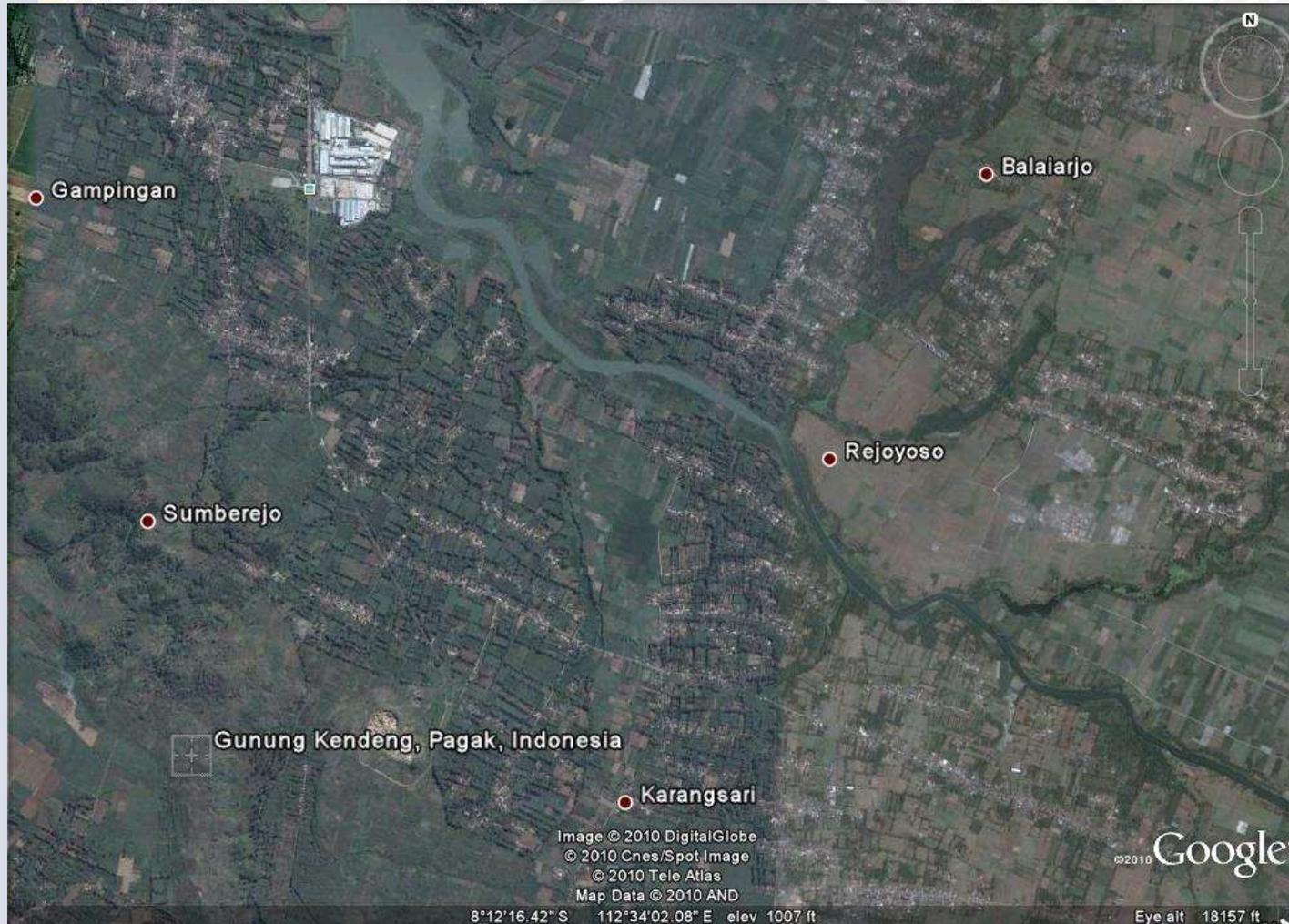
Jika dibandingkan ranking faktor antara tabel respon dan jumlah kuadrat (persen kontribusi) dalam ANNAVA, maka hasilnya akan sama seperti terlihat dalam Tabel 4.20

Tabel 4.20 Perbandingan *Rank* antara Tabel Respon dan ANNAVA

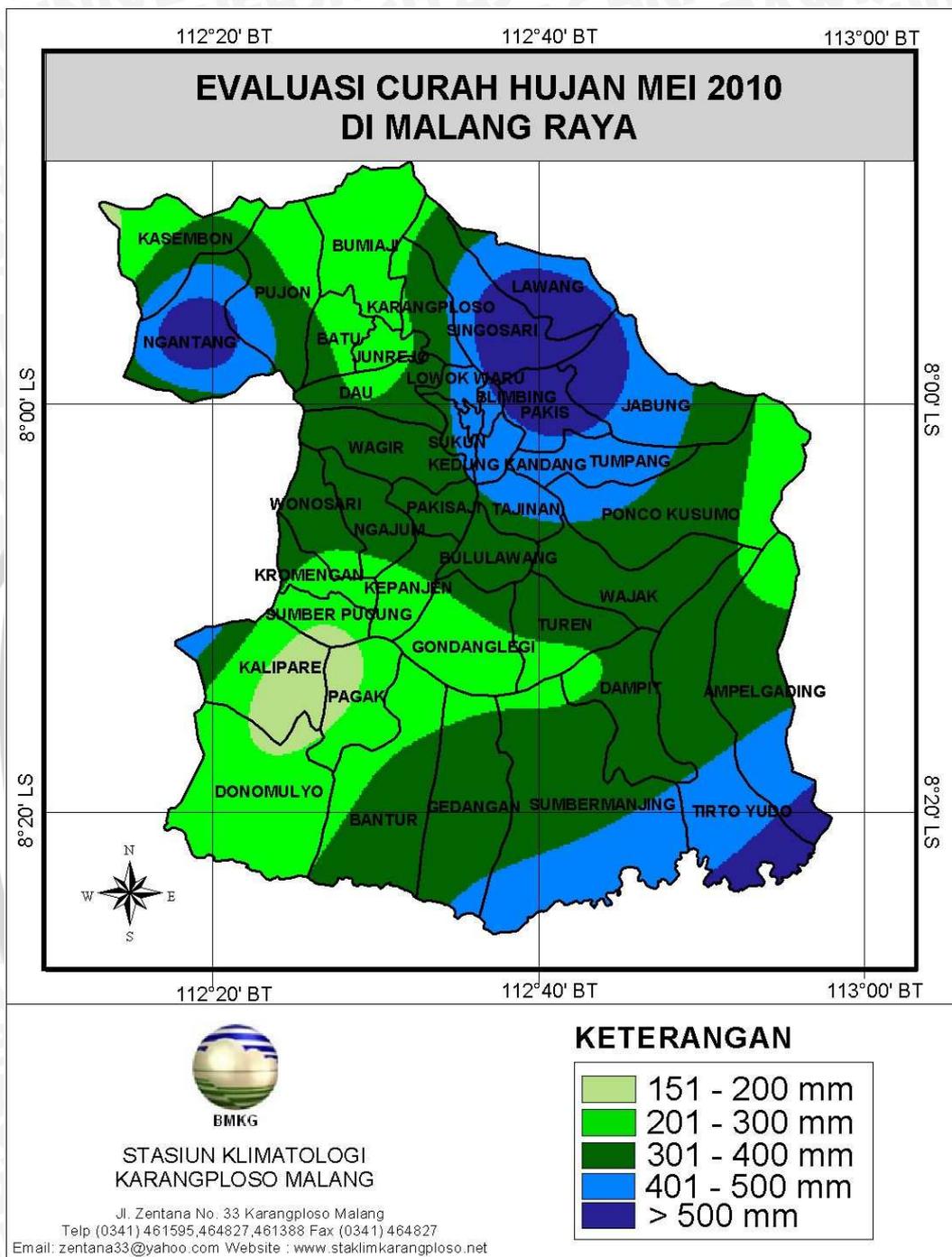
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Tabel respon	3	4	2	1
ANNAVA	3	4	2	1

Nilai *total hardness* yang didapat pada eksperimen ini menunjukkan adanya penyimpangan dibandingkan kondisi biasanya, hal ini disebabkan karena eksperimen ini dilaksanakan pada musim hujan sehingga banyak mineral atau zat lain yang terbawa dan terlarut oleh air hujan dari hulu Sungai Lesti. Kandungan mineral atau zat terlarut lainnya di luar batas normal menyebabkan tingginya *turbidity* dan *total hardness*.

PT. Ekamas Fortuna yang berlokasi di Desa Gampingan, Kecamatan Pagak, Kabupaten Malang ini memang berada pada wilayah pegunungan kapur seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.7. Kandungan kapur di Sungai Lesti memang sudah tinggi pada kondisi curah hujan normal, namun ketika penelitian ini dilakukan (Mei 2010) curah hujan di wilayah Pagak sedang berada pada level di atas normal. Menurut data Badan Meteorologi dan Geofisika, pada bulan Mei 2010 curah hujan Malang Raya secara keseluruhan bersifat di atas normal, sedangkan di sekitar lokasi pabrik sendiri curah hujannya berada pada kisaran 201-300 mm. Kedua faktor inilah yang menyebabkan tingginya nilai *total hardness* pada saat eksperimen. Maka level optimum yang akan didapatkan nanti baik jika diimplementasikan pada saat nilai *total hardness* air sungai tinggi.



Gambar 4.7 Citra Satelit Lokasi Pabrik  
Sumber: *Google Earth*



Gambar 4.8 Evaluasi Curah Hujan Malang Raya Mei 2010

Sumber: [www.staklimkarangploso.net](http://www.staklimkarangploso.net)



Gambar 4.9 Evaluasi Sifat Hujan Malang Raya Mei 2010  
Sumber: [www.staklimkarangploso.net](http://www.staklimkarangploso.net)

#### 4.9.4 Perhitungan S/N Ratio

Karakteristik kualitas untuk nilai *total hardness* adalah *smaller-the-better* (STB). Nilai S/N ratio untuk karakteristik ini didapatkan dari rumus:

$$\begin{aligned}\eta &= -10\log_{10}\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n y_i^2\right] \\ &= -10\log_{10}[\sigma^2 + \bar{y}^2]\end{aligned}$$

nilai S/N ratio dihitung untuk setiap trial seperti di bawah ini.

1. trial nomor 1

$$\eta_1 = -10\log_{10}[1.341735^2 + 117.8418^2] = -33.87032$$

2. trial nomor 2

$$\eta_2 = -10\log_{10}[4.251126^2 + 117.8418^2] = -43.24843$$

3. trial nomor 3

$$\eta_3 = -10\log_{10}[11.33634^2 + 117.8418^2] = -41.97719$$

4. trial nomor 4

$$\eta_4 = -10\log_{10}[1.70045^2 + 117.8418^2] = -42.86579$$

5. trial nomor 5

$$\eta_5 = -10\log_{10}[3.684309^2 + 117.8418^2] = -36.85672$$

6. trial nomor 6

$$\eta_6 = -10\log_{10}[6.234985^2 + 117.8418^2] = -42.54289$$

7. trial nomor 7

$$\eta_7 = -10\log_{10}[0.850225^2 + 117.8418^2] = -42.86579$$

8. trial nomor 8

$$\eta_8 = -10\log_{10}[3.684309^2 + 117.8418^2] = -42.33966$$

9. trial nomor 9

$$\eta_9 = -10\log_{10}[3.967718^2 + 117.8418^2] = -42.51128$$

Tabel 4.21 Nilai S/N Ratio Ekperimen *Total Hardness*

Trial no.	Faktor				Nilai Total hardness (NTU)		η
	A	B	C	D	1	2	
1	50	3.5	<20	150	50.3065	48.409	-33.8703
2	50	4.5	20-25	180	142.284	148.296	-43.2484
3	50	5	>25	200	133.0656	117.0336	-41.9772
4	60	3.5	20-25	200	140.28	137.8752	-42.8658
5	60	4.5	>25	150	72.144	66.9336	-36.8567
6	60	5	<20	180	138.276	129.4584	-42.5429
7	70	3.5	>25	180	133.4664	134.6688	-42.5467
8	70	4.5	<20	200	128.256	133.4664	-42.3397
9	70	5	20-25	150	130.6608	136.272	-42.5113
							-40.9732

Rata-rata respon untuk tiap faktor adalah sebagai berikut:

1. pengaruh faktor *regeneration time* (A)

$$\bar{A}_1 = \frac{-(33.87032 + 43.24843 + 41.97719)}{3} = -39.69865$$

$$\bar{A}_2 = \frac{-(42.86579 + 36.85672 + 42.54289)}{3} = -40.75514$$

$$\bar{A}_3 = \frac{-(42.54665 + 42.33966 + 42.51128)}{3} = -42.46586$$

2. pengaruh faktor tekanan *pressure tank* (B)

$$\bar{B}_1 = \frac{-(33.87032 + 42.86579 + 42.54665)}{3} = -39.76092$$

$$\bar{B}_2 = \frac{-(43.24843 + 42.86579 + 36.85672)}{3} = -40.81494$$

$$\bar{B}_3 = \frac{-(41.97719 + 42.54289 + 42.51128)}{3} = -42.34379$$

3. pengaruh faktor *flow rate softener tank* (C)

$$\bar{C}_1 = \frac{-(33.87032 + 42.54289 + 42.33966)}{3} = -39.58429$$

$$\bar{C}_2 = \frac{-(43.24843 + 42.86579 + 42.51128)}{3} = -42.87517$$

$$\bar{C}_3 = \frac{-(41.97719 + 36.85672 + 42.54665)}{3} = -40.46019$$

4. pengaruh faktor *softener capacity* (D)

$$\bar{D}_1 = \frac{-(33.87032 + 36.85672 + 42.51128)}{3} = -37.7461$$

$$\bar{D}_2 = \frac{-(43.24843 + 42.54289 + 42.54665)}{3} = -42.77933$$

$$\bar{D}_3 = \frac{-(41.97719 + 42.86579 + 42.33966)}{3} = -42.39421$$

Tabel responnya sebagai berikut:

Tabel 4.22 Tabel Respon S/N Ratio

	A	B	C	D
1	-39.6986	-39.7609	-39.5843	-37.7461
2	-40.7551	-40.8149	-42.8752	-42.7793
3	-42.4659	-42.3438	-40.4602	-42.3942
rank	3	4	2	1

Taksiran S/N ratio dalam kondisi ini adalah:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{optimum}} &= \bar{\eta} + (\bar{D}_1 - \bar{\eta}) + (\bar{C}_1 - \bar{\eta}) \\ &= \bar{D}_1 + \bar{C}_1 - \bar{\eta} \\ &= -37.7461 - 39.58429 + 40.97321 \\ &= -36.3572 \end{aligned}$$

Level proses sekarang ini adalah D2 dan C2. Taksiran ratio S/N pada kondisi ini adalah:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{existing}} &= \bar{\eta} + (\bar{D}_2 - \bar{\eta}) + (\bar{C}_2 - \bar{\eta}) \\ &= \bar{D}_2 + \bar{C}_2 - \bar{\eta} \\ &= -42.77933 - 42.87517 + 40.97321 \\ &= -44.68129 \end{aligned}$$

Karena itu perolehan untuk kerugiannya adalah:

$$\text{kerugian} = k \text{MSD}_{\text{existing}} \times \left(1 - 0.5^{\left[\frac{\eta_{\text{optimum}} - \eta_{\text{existing}}}{2}\right]}\right)$$

$$\text{kerugian} = k \text{MSD}_{\text{existing}} \times \left(1 - 0.5^{\left[\frac{35.35718 - 44.68129}{2}\right]}\right)$$

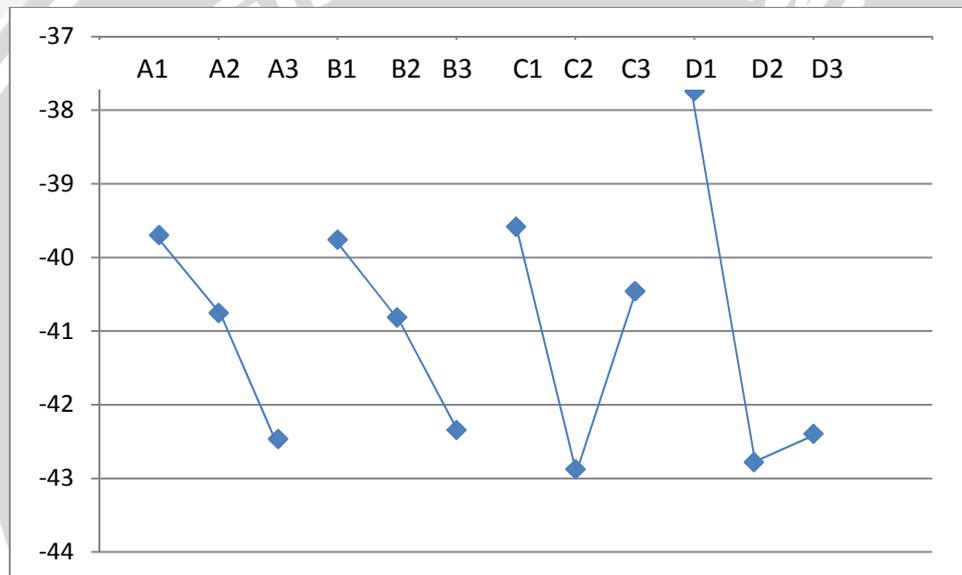
$$\text{kerugian} = k \text{MSD}_{\text{existing}} \times (1 - 0.5^{4.162055})$$

$$\text{kerugian} = k \text{MSD}_{\text{existing}} \times (1 - 0.05586)$$

$$\text{kerugian} = k \text{MSD}_{\text{existing}} \times 0.94414$$

Jadi kerugiannya yang selama ini diderita adalah sebesar 94.414%.

Grafik respon pengaruh faktor diberikan pada Gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.10 Grafik Respon Pengaruh Faktor

#### 4.9.5 Analisis Regresi

Dengan menggunakan analisis regresi bertujuan untuk membuktikan apakah ada pengaruh yang signifikan dari faktor/variabel, *regeneration time* (A), tekanan *pressure tank* (B), *flow rate* pada *softener tank* (C), dan *softener capacity* (D) terhadap nilai *total hardness* (Y). Sampel diambil dari penelitian yang telah dilakukan.

Maka hipotesis statistiknya adalah:

$$H_0 : \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$$

$$H_1 : \text{tidak semua } \beta_i \neq 0$$

Hipotesis di atas memberikan makna bahwa apakah persamaan duga regresi:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4$$

Dengan  $X_1 = A$

$X_2 = B$

$X_3 = C$

$X_4 = D$

Tabel 4.23 Analisis Regresi

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.880 <sup>a</sup>	.774	.691	23.96584

a. Predictors: (Constant), D, C, B, A

ANOVA <sup>b</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	21603.286	4	5400.822	9.403	.001 <sup>a</sup>
	Residual	6317.975	11	574.361		
	Total	27921.261	15			

a. Predictors: (Constant), D, C, B, A

b. Dependent Variable: TH

Hasil proses menunjukkan bahwa nilai F sebesar 9.403 dengan nilai *significant* sebesar 0.001. Karena nilai sig. lebih kecil dari nilai alfa maka dapat diambil keputusan bahwa  $H_0$  ditolak, artinya persamaan regresi yang diperoleh adalah signifikan dalam menelaskan keragaman variabel Y yaitu nilai *total hardness*.

Coefficients <sup>a</sup>						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-264.169	80.907		-3.265	.008
	A	.777	.846	.145	.918	.378
	B	7.694	10.634	.113	.723	.484
	C	1.265	1.915	.099	.661	.522
	D	1.497	.317	.770	4.717	.001

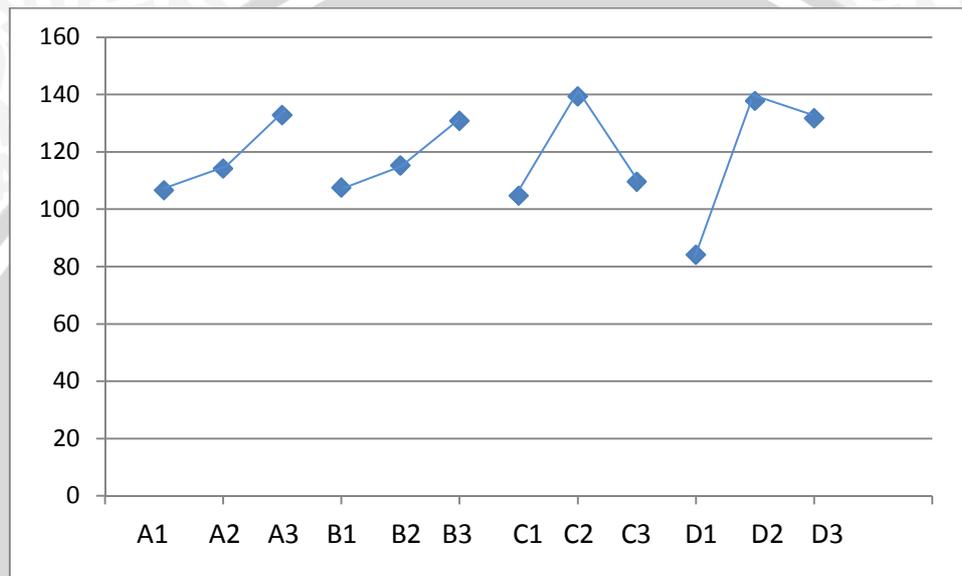
a. Dependent Variable: TH

Dari nilai koefisien di atas, maka persamaan regresinya adalah:

$$Y = -264.169 + 0.777 X_1 + 7.694 X_2 + 1.265 X_3 + 1.497 X_4$$

#### 4.9.6 Prediksi Level Faktor untuk Kondisi Optimal

Tabel respon pada tabel 4. memberikan nilai untuk setiap level dari faktor, maka didapat grafik responnya sebagai berikut.



Gambar 4.11 Grafik Respon Pengaruh Faktor

Dari ANNOVA telah didapatkan level faktor untuk kondisi optimal yaitu D1 dan C1, sedangkan dari analisis regresi telah didapatkan persamaan regresinya, maka bisa didapatkan kombinasi level faktor yang optimal.

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} &= \bar{y} + (\bar{D}_1 - \bar{y}) + (\bar{C}_1 - \bar{y}) \\ &= 117.8418 + (84.12098 - 117.8418) + (104.6954 - 117.8418) \\ &= 70.97457 \end{aligned}$$

Namun, prediksi nilai *total hardness* pada kondisi optimal tidak sesuai dengan target yaitu 0 NTU. Maka prediksi kondisi optimal tersebut perlu dimasukkan ke persamaan regresi.

Tabel respon telah memberikan level faktor yang memiliki nilai *total hardness* mendekati 0 yaitu D1, C1, B1, dan A1. Jika dimasukkan harga level faktor ke dalam persamaan regresi dengan  $X_1 = 50$  menit,  $X_2 = 3.5$  bar,  $X_3 = 19$  m<sup>3</sup>/jam, dan  $X_4 = 150$  m<sup>3</sup> maka:

$$\begin{aligned} Y &= -264.169 + 0.777 X_1 + 7.694 X_2 + 1.265 X_3 + 1.497 X_4 \\ &= -264.169 + 0.777(50) + 7.694(3.5) + 1.265(19) + 1.497(150) \\ &= 49.674 \end{aligned}$$

Nilai *total hardness* masih belum mencapai target yang diinginkan, sedangkan harga *pressure* dan *flowrate* tidak diturunkan lagi karena akan mengganggu operasional *boiler*. Lamanya regenerasi resin juga tidak diturunkan karena akan menurunkan kualitas resin. Maka satu-satunya variabel yang harus diturunkan harganya adalah *softener capacity*.

$$\begin{aligned} Y &= -264.169 + 0.777(50) + 7.694(3.5) + 1.265(19) + 1.497 X_4 \\ 0 &= -264.169 + 0.777(50) + 7.694(3.5) + 1.265(19) + 1.497 X_4 \\ 0 &= -264.169 + 38.85 + 26.929 + 24.035 + 1.497 X_4 \\ -1.497 X_4 &= -174.876 \\ X_4 &= 116.818 \end{aligned}$$

Maka level faktor optimal untuk menghasilkan *total hardness* yang bernilai 0 NTU adalah dengan *flowrate* sebesar <math>20 \text{ m}^3/\text{jam}</math> dan *softener capacity* sebesar 110 m<sup>3</sup>.

## 4.10 Analisis Derajat Keasaman (pH)

### 4.10.1 Analisis Variansi

Tabel 4.24 Rata-rata Hasil Ekperimen pH

Trial no.	faktor			Nilai pH			mean
	Flow rate pada softener tank (m <sup>3</sup> /jam)	Tekanan pressure tank (bar)	Total Regeneration time (menit)	1	2	3	
1	<23	3.5	70	7,43	7,51	7,55	7,496667
2	<23	4	75	7,46	7,46	7,48	7,466667
3	24-26	3.5	75	7,4	7,51	7,43	7,446667
4	24-26	4	70	7,95	7,9	7,8	7,883333
							7,573333

1. respon rata-rata untuk masing-masing eksperimen

a. pengaruh faktor *flow rate* pada *softener tank* (A)

$$\bar{A}_1 = \frac{7,496667 + 7,466667}{2} = 7,4816667$$

$$\bar{A}_2 = \frac{7,446667 + 7,883333}{2} = 7,665$$

b. pengaruh faktor tekanan *pressure tank* (B)

$$\bar{B}_1 = \frac{7,496667 + 7,446667}{2} = 7,471666667$$

$$\bar{B}_2 = \frac{7,466667 + 7,883333}{2} = 7,675$$

c. pengaruh faktor *total regeneration time* (C)

$$\bar{C}_1 = \frac{7,496667 + 7,883333}{2} = 7,69$$

$$\bar{C}_2 = \frac{7,466667 + 7,446667}{2} = 7,456666667$$

2. rata-rata eksperimen keseluruhan

Rata-rata eksperimen keseluruhan adalah rata-rata dari semua data eksperimen:

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$= \frac{7,43 + 7,51 + 7,55 + 7,46 + \dots + 7,8}{12} = 7,573333$$

3. Tabel respon

Tabel 4.25 Tabel respon pengaruh faktor

	A	B	C
level 1	7,4816667	7,471666667	7,69
level 2	7,665	7,675	7,456666667
<i>Difference</i>	0,1833333	0,203333333	0,233333333
<i>Rank</i>	3	2	1

4. Jumlah kuadrat total

$$\begin{aligned}
 SST &= \sum Y^2 \\
 &= 7.43^2 + 7.51^2 + 7.55^2 + 7.46^2 + \dots + 7.8^2 \\
 &= 688,6786
 \end{aligned}$$

6. Jumlah kuadrat karena rata-rata

$$\begin{aligned}
 SS_{Mean} &= n\bar{y}^2 \\
 &= 12 \times 7,573333^2 = 688.2643
 \end{aligned}$$

7. jumlah kuadrat karena faktor-faktor

a. jumlah kuadrat untuk faktor A

$$\begin{aligned}
 SSA &= (n_{A1} \times \bar{A}_1^2) + (n_{A2} \times \bar{A}_2^2) - SS_{Mean} \\
 &= (6 \times 7,4816667^2) + (6 \times 7,665^2) - 688.2643 \\
 &= 0.1008333
 \end{aligned}$$

b. jumlah kuadrat untuk faktor B

$$\begin{aligned}
 SSB &= (n_{B1} \times \bar{B}_1^2) + (n_{B2} \times \bar{B}_2^2) - SS_{Mean} \\
 &= (6 \times 7,471666667^2) + (6 \times 7,675^2) - 688.2643 \\
 &= 0.1240333
 \end{aligned}$$

c. jumlah kuadrat untuk faktor C

$$\begin{aligned}
 SSC &= (n_{C1} \times \bar{C}_1^2) + (n_{C2} \times \bar{C}_2^2) - SS_{Mean} \\
 &= (6 \times 7,69^2) + (6 \times 7.575^2) - 696.16333 \\
 &= 0.1633333
 \end{aligned}$$

7. Jumlah kuadrat karena error

$$\begin{aligned}
 SSe &= SST - SS_{Mean} - SA - SB - SC \\
 &= 688,6786 - 688.2643 - 0.1008333 - 0.1240333 - 0.1633333 = 0.0258677
 \end{aligned}$$

8. rata-rata jumlah kuadrat

Rata-rata jumlah kuadrat dihitung dari pembagian jumlah kuadrat dengan derajat kebebasan.

a. rata-rata jumlah kuadrat A

$$\begin{aligned} MSA &= \frac{SSA}{df_A} \\ &= \frac{0.1008333}{1} = 0.1008333 \end{aligned}$$

b. rata-rata jumlah kuadrat B

$$\begin{aligned} MSB &= \frac{SSB}{df_B} \\ &= \frac{0.1240333}{1} = 0.1240333 \end{aligned}$$

c. rata-rata jumlah kuadrat C

$$\begin{aligned} MSC &= \frac{SSC}{df_C} \\ &= \frac{0.1633333}{1} = 0.1633333 \end{aligned}$$

d. rata-rata jumlah kuadrat error

$$\begin{aligned} MSe &= \frac{SSe}{df_e} \\ &= \frac{0.0258677}{8} = 0.003233333 \end{aligned}$$

9. F-ratio

F-ratio dihitung dari pembagian rata-rata jumlah kuadrat (MS A/B/C) dengan jumlah kuadrat error (SSe).

a. untuk faktor A

$$F_A = \frac{MSA}{MSe} = \frac{0.1008333}{0.003233333} = 31.1875$$

b. untuk faktor B

$$F_B = \frac{MSB}{MSe} = \frac{0.1240333}{0.003233333} = 38.36082$$

c. untuk faktor C

$$F_c = \frac{MSC}{MSe} = \frac{0,163333333}{0,003233333} = 50,51546$$

Hasil perhitungan di atas digunakan untuk menggambarkan analisis variansi seperti terlihat pada Tabel 4. berikut.

Tabel 4.26 Anova pH

Sumber	SS	df	MS	F Ratio	SS'	rho (%)
A	0,1008333	1	0,100833333	31,18557	0,0976	23,57108%
B	0,1240333	1	0,124033333	38,36082	0,1208	29,17405%
C	0,1633333	1	0,163333333	50,51546	0,1601	38,66527%
e <sub>y</sub>	0,0258667	8	0,003233333	1	0,035567	8,589599%
SSt	0,4140667	11	0,037642424		0,414067	100%
SSMean	688,26453	1				
SSTotal	688,6786	12				

#### 4.10.2 Perhitungan Persen Kontribusi

Untuk menghitung persen kontribusi dari sumber-sumber dalam analisis variansi diperlukan perhitungan jumlah kuadrat sesungguhnya yang dibagi dengan jumlah kuadrat total.

1. faktor A

$$\begin{aligned} SSA' &= SSA - (df \times MSe) \\ &= 0,1008333 - (1 \times 0,003233333) = 0,0976 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_A &= \frac{SSA'}{SSt} \times 100\% \\ &= \frac{0,0976}{0,4140667} \times 100\% = 23,57108\% \end{aligned}$$

2. faktor B

$$\begin{aligned} SSB' &= SSB - (df \times MSE) \\ &= 0,1240333 - (1 \times 0,003233333) = 0,1208 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_B &= \frac{SSB'}{SSt} \times 100\% \\ &= \frac{0,1208}{0,4140667} \times 100\% = 29,17405\% \end{aligned}$$

3. faktor C

$$\begin{aligned}SSC' &= SSC - (df \times MSE) \\ &= 0,1633333 - (1 \times 0,00233333) = 0,1601\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_C &= \frac{SSC'}{SSt} \times 100\% \\ &= \frac{0,1601}{0,4140667} \times 100\% = 38,66527\%\end{aligned}$$

4. error

$$\begin{aligned}SSe' &= SSt - SSA' - SSB' - SSC' \\ &= 0,4140667 - 0,0976 - 0,1208 - 0,1601 = 0,035567\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_e &= \frac{SSe'}{SSt} \times 100\% \\ &= \frac{0,035567}{0,4140667} \times 100\% = 8,589599\%\end{aligned}$$

#### 4.10.3 Pooling Faktor-faktor yang Tidak Signifikan

Dari ketiga faktor yang diujikan terhadap pH, maka bisa disusun hipotesisnya seperti berikut:

$H_0$  = *flow rate* pada *softener tank* tidak berpengaruh terhadap nilai pH

$H_1$  = *flow rate* pada *softener tank* berpengaruh terhadap nilai pH

$H_0$  = tekanan *pressure tank* tidak berpengaruh terhadap nilai pH

$H_1$  = tekanan *pressure tank* berpengaruh terhadap nilai pH

$H_0$  = *total regeneration time* tidak berpengaruh terhadap nilai pH

$H_1$  = *total regeneration time* berpengaruh terhadap nilai pH

Nilai F tabel,  $F_{0,05;1;12} = 4.75$  dan nilai  $F_A=31,18557$ ,  $F_B=38,36082$ ,  $F_C=50,51546$ , maka  $H_0$  untuk ketiga ditolak yang berarti *flow rate* pada *softener tank*, tekanan *pressure tank*, dan *total regeneration time* berpengaruh terhadap nilai pH. Maka dari itu, ANNOVA pada tabel 4. Hanya menunjukkan pentingnya faktor dan faktor yang kurang berpengaruh pada nilai pH. Berdasarkan pada nilai F-ratio kita bisa urutkan faktor yang paling berpengaruh yaitu faktor *total regeneration time* (C), tekanan *pressure tank* (B), lalu selanjutnya *flow rate* pada *softener tank* (A). Maka faktor A bisa dipooled dengan memberi tanda Y pada faktor tersebut dan menambahkan jumlah kuadratnya pada kolom pooled e.

Tabel 4.27 Pooling Faktor

Sumber	Pooled	SS	df	MS	F Ratio	SS'	rho (%)
A		0,100833333	1	0,100833	31,18557	0,0976	23,57108%
B		0,124033333	1	0,124033	38,36082	0,1208	29,17405%
C		0,163333333	1	0,163333	50,51546	0,1601	38,66527%
e <sub>y</sub>	y	0,025866667	8	0,003233	-	-	-
pooled e		0,025866667	8	0,003233	1	0,035567	8,589599%
SSt		0,414066667	11	0,037642		0,416867	100%
Mean		688,2645333	1				
SSTotal		688,6786	12				

Karena nilai F ratio faktor A yang paling kecil, maka faktor A dipooled.

$$SS(\text{pooled } e) = SSe + SSA$$

$$= 0,025866667 + 0,100833333 = 0,1267$$

$$df(\text{pooled } e) = df_e + df_A$$

$$= 8 + 1 = 9$$

$$MS(\text{pooled } e) = \frac{SS(\text{pooled } e)}{df(\text{pooled } e)}$$

$$= \frac{0,1267}{9} = 0,014078$$

Dengan perubahan nilai MS (pooled e) maka nilai SS' dan rho% juga akan berubah untuk semua faktor.

1. Faktor B

$$SSB' = SSB - (df \times MSe)$$

$$= 0,124033333 - (1 \times 0,014078) = 0,109956$$

$$\rho_B = \frac{SSB'}{SSt} \times 100\%$$

$$= \frac{0,109956}{0,414066667} \times 100\% = 26,55504\%$$

2. faktor C

$$SSC' = SSC - (df \times MSe)$$

$$= 0,163333333 - (1 \times 0,014078) = 0,149256$$

$$\rho_C = \frac{SSC'}{SSt} \times 100\%$$

$$= \frac{0,149256}{0,414066667} \times 100\% = 36,04626\%$$

4. pooled e

$$SSe' = SSt - SSB' - SSC'$$

$$= 0,414066667 - 0,109956 - 0,149256 = 0,154856$$

$$\rho_e = \frac{SSe'}{SSt} \times 100\%$$

$$= \frac{0,154856}{0,4168667} \times 100\% = 37,3987\%$$

Tabel 4.28 Pooling Faktor A

Sumber	Pooled	SS	df	MS	F Ratio	SS'	rho (%)
A	y	0,100833333	1	0,100833	-	-	-
B		0,124033333	1	0,124033	8,810576	0,109956	26,55504
C		0,163333333	1	0,163333	11,60221	0,149256	36,04626
e y	y	0,025866667	8	0,003233	-	-	-
pooled e		0,1267	9	0,014078	1	0,154856	37,3987
SSt		0,414066667	11	0,037642		0,416867	100
Mean		688,2645333	1				
SSTotal		688,6786	12				

Dari persen kontribusi dalam tabel 4. di atas, didapatkan faktor yang signifikan yaitu faktor B (*tekanan pressure tank*) dengan persen kontribusi sebesar 26,55504% dan faktor C (*total regeneration time*) dengan persen kontribusi sebesar 36,04626%. Persen kontribusi untuk jumlah kuadrat pooled error sebesar 37,3987%. Aturan umum berlaku jumlah kuadrat pooled error boleh mencapai 50% dari jumlah kuadrat total (Soejanto, 2008:179). Secara ringkas disajikan dalam Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Ringkasan Pooling Faktor

Sumber	Pooled	SS	df	MS	F Ratio	SS'	rho (%)
B		0,124033333	1	0,124033	8,810576	0,109956	26,55504%
C		0,163333333	1	0,163333	11,60221	0,149256	36,04626%
pooled e		0,1267	9	0,014078	1	0,154856	37,3987%
SSt		0,414066667	11	0,037642		0,416867	100%
Mean		688,2645333	1				
SSTotal		688,6786	12				

Jika dibandingkan ranking faktor antara tabel respon dan jumlah kuadrat (persen kontribusi) dalam ANNAVA, maka hasilnya akan sama seperti terlihat dalam tabel 4.

Tabel 4.30 Perbandingan rank antara tabel respon dan ANNAVA

	A	B	C
Tabel respon	3	2	1
ANNAVA	3	2	1

#### 4.10.4 Perhitungan S/N Ratio

Karakteristik kualitas untuk nilai pH adalah *nominal-the-best* (NTB). Nilai S/N ratio untuk karakteristik ini didapatkan dari rumus:

$$SNR = -10 \log_{10} \frac{\mu^2}{\sigma^2}$$

nilai S/N ratio dihitung untuk setiap trial seperti di bawah ini.

1. trial nomor 1

$$\eta_1 = -10 \log_{10} \frac{56.20001}{0.003733} = -41.776396$$

2. trial nomor 2

$$\eta_2 = -10 \log_{10} \frac{55.75111}{0.000133} = -56.213148$$

3. trial nomor 3

$$\eta_3 = -10 \log_{10} \frac{55.45284}{0.003233} = -42.342733$$

4. trial nomor 4

$$\eta_4 = -10 \log_{10} \frac{62.14694}{0.005833} = -42.342733$$

Tabel 4.31 Nilai S/N Ratio Eksperimen pH

Trial no.	faktor			PH			$\eta$
	Flow rate pada softener tank (m <sup>3</sup> /jam)	Tekanan pressure tank (bar)	Total Regeneration time (menit)	1	2	3	
1	<23	3.5	70	7,43	7,51	7,55	-41.7763
2	<23	4	75	7,46	7,46	7,48	-56.2131
3	24-26	3.5	75	7,4	7,51	7,43	-42.3426
4	24-26	4	70	7,95	7,9	7,8	-40.2749
							-45.1517

Rata-rata respon untuk tiap faktor adalah sebagai berikut:

1. pengaruh faktor *flow rate* pada *softener tank* (A)

$$\bar{A}_1 = \frac{-41.7763 - 56.2131}{2} = -48.9947$$

$$\bar{A}_2 = \frac{-42.3426 - 40.2749}{2} = -41.3088$$

2. pengaruh faktor tekanan *pressure tank* (B)

$$\bar{B}_1 = \frac{-41.7763 - 42.3426}{2} = -42.0595$$

$$\bar{B}_2 = \frac{-56.2131 - 40.2749}{2} = -48.244$$

3. pengaruh faktor *total regeneration time* (C)

$$\bar{C}_1 = \frac{-41.7763 - 40.2749}{2} = -41.0256$$

$$\bar{C}_2 = \frac{-56.2131 - 42.3426}{2} = -49.2779$$

Tabel responnya sebagai berikut:

Tabel 4.32 Tabel respon faktor untuk S/N Ratio

	A	B	C
level 1	-48.9947	-42.0595	-41.0256
level 2	-41.3088	-48.244	-49.2779
<i>Difference</i>	7.685951	6.184545	8.2523
<i>Rank</i>	3	2	1

Dari tabel respon, proses optimal ketika level C1 dan B1. Taksiran S/N ratio dalam kondisi ini adalah:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{optimum}} &= \bar{\eta} + (\bar{C}_1 - \bar{\eta}) + (\bar{B}_1 - \bar{\eta}) \\ &= \bar{C}_1 + \bar{B}_1 - \bar{\eta} \\ &= -41.0256 - 42.0595 + 45.1517 \\ &= -37.933 \end{aligned}$$

Level proses sekarang adalah C2 dan B2, taksiran kerugian pada kondisi ini adalah:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{exixting}} &= \bar{\eta} + (\bar{C}_2 - \bar{\eta}) + (\bar{B}_2 - \bar{\eta}) \\ &= \bar{C}_2 + \bar{B}_2 - \bar{\eta} \\ &= -49.2779 - 48.244 + 45.1517 \\ &= -52.3702 \end{aligned}$$

Karena itu perolehan dalam kerugiannya adalah:

$$\text{kerugian} = k \text{MSD}_{\text{existing}} \times \left(1 - 0.5^{\left[\frac{\eta_{\text{optimum}} - \eta_{\text{existing}}}{2}\right]}\right)$$

$$\text{kerugian} = k \text{MSD}_{\text{existing}} \times \left(1 - 0.5^{\left[\frac{52.3702 - 37.933}{2}\right]}\right)$$

$$\text{kerugian} = k \text{MSD}_{\text{existing}} \times \left(1 - 0.5^{\left[\frac{14.43684}{2}\right]}\right)$$

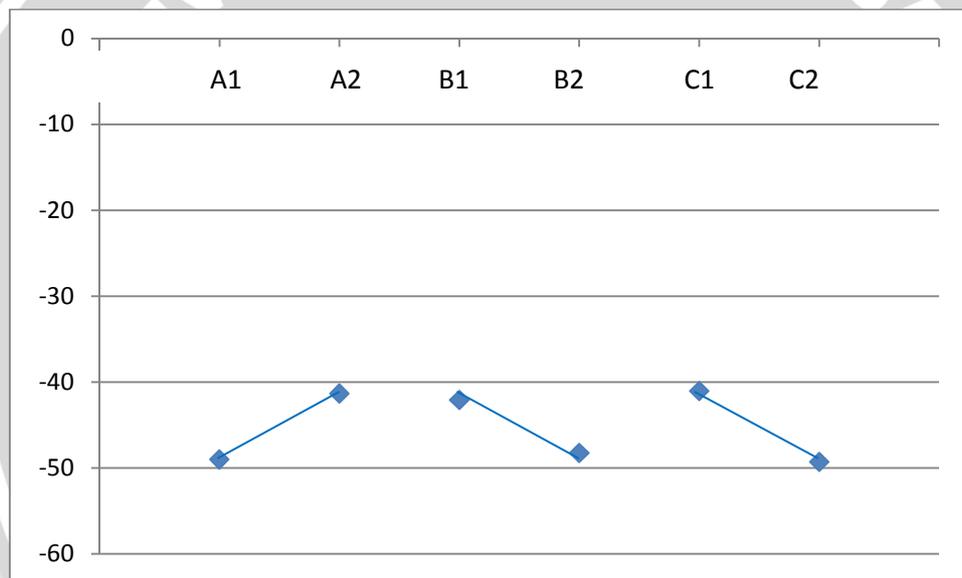
$$\text{kerugian} = k \text{MSD}_{\text{existing}} \times (1 - 0.5^{7.218422})$$

$$\text{kerugian} = k \text{MSD}_{\text{existing}} \times (1 - 0.006715)$$

$$\text{kerugian} = k \text{MSD}_{\text{existing}} \times 0.993285$$

Jadi kerugian yang selama ini diderita adalah sebesar 99.3285%.

Grafik respon pengaruh faktor akan diberikan pada Gambar 4.9 berikut:



Gambar 4.12 Grafik Respon Pengaruh Faktor

#### 4.11 Analisis Gabungan

Faktor-faktor yang diujikan secara keseluruhan merupakan faktor-faktor yang secara langsung mempengaruhi *soft water*, namun karena TH *soft water* tidak akan berubah lagi, maka tidak ada bedanya. Akan tetapi lain halnya dengan pH, nilai pH bisa dikontrol melalui faktor-faktor yang ada pada tahap *soft water* dan *raw water*, setelah itu pH akan dipengaruhi oleh *condensate water* yang tidak dapat dikontrol. Maka perlu diketahui persamaan regresi antara pH *soft water* dengan pH *feedwater*.

Tabel 4.33 Analisis Regresi pH *feedwater*

##### Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.998 <sup>a</sup>	.997	.997	.07803

a. Predictors: (Constant), pH\_softwater

##### ANOVA<sup>b</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	57.028	1	57.028	9365.565	.000 <sup>a</sup>
	Residual	.189	31	.006		
	Total	57.217	32			

a. Predictors: (Constant), pH\_softwater

b. Dependent Variable: pH\_feedwater

##### Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-.024	.077		-.306	.762
	pH_softwater	.991	.010	.998	96.776	.000

a. Dependent Variable: pH\_feedwater

Dari tabel di atas diketahui persamaannya adalah  $Y = -0.24 + 0.991X_1$

Di bawah ini, disajikan pengaruh masing-masing variabel terhadap pH dan TH *softwater*.

1. *regeneration time*

a. terhadap *total hardness*

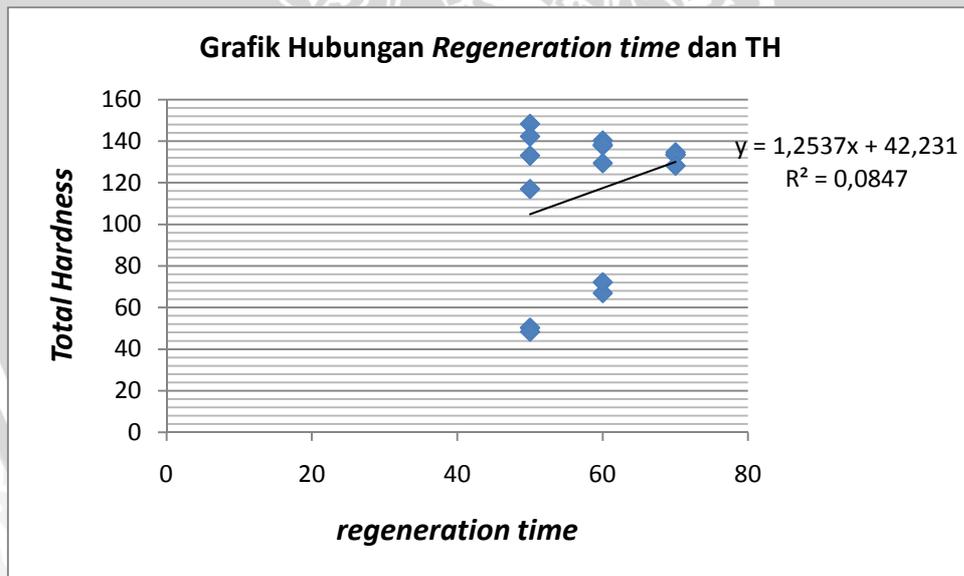
Tabel 4.34 ANOVA Faktor *Regeneration Time* Terhadap *Total Hardness*  
ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1532.585	1	1532.585	1.295	.274 <sup>a</sup>
	Residual	16562.715	14	1183.051		
	Total	18095.300	15			

a. Predictors: (Constant), A

b. Dependent Variable: TH

Hasil proses menunjukkan bahwa nilai F sebesar 1.295 dengan nilai *significant* sebesar 0.274. Karena nilai sig. lebih besar dari nilai alfa maka dapat diambil keputusan persamaan regresi yang diperoleh adalah tidak signifikan dalam menjelaskan keragaman variabel Y yaitu nilai *total hardness*.



Gambar 4.13 Grafik Hubungan *Regeneration Time* dan *Total Hardness*

b. terhadap pH

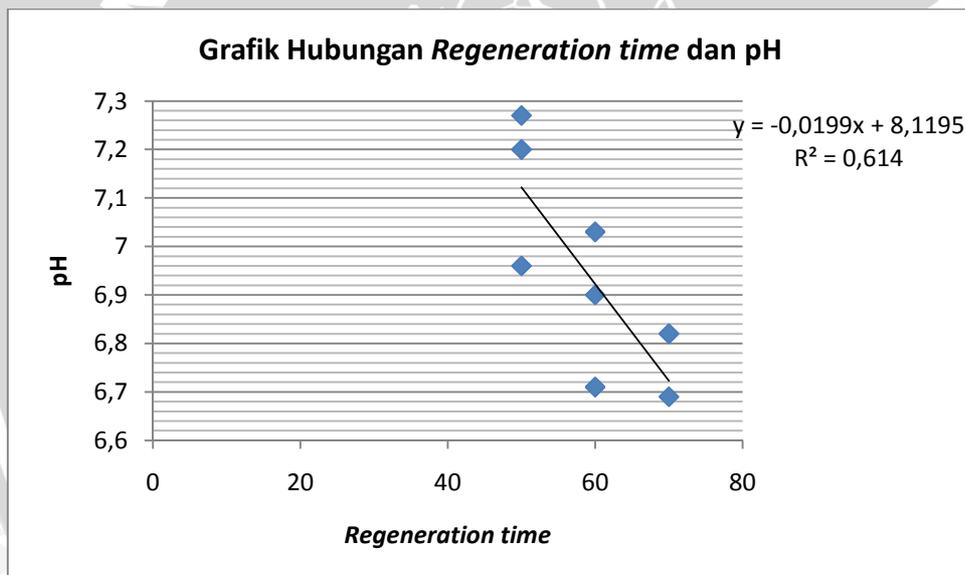
Tabel 4.35 ANOVA Faktor *Regeneration Time* Terhadap pH  
ANOVA<sup>b</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.388	1	.388	22.272	.000 <sup>a</sup>
	Residual	.244	14	.017		
	Total	.632	15			

a. Predictors: (Constant), A

b. Dependent Variable: pH

Hasil proses menunjukkan bahwa nilai F sebesar 22.272 dengan nilai *significant* sebesar 0.000. Karena nilai sig. lebih kecil dari nilai alfa maka dapat diambil keputusan persamaan regresi yang diperoleh adalah signifikan dalam menjelaskan keragaman variabel Y yaitu nilai pH.



Gambar 4.14 Grafik Hubungan *Regeneration Time* dan pH

Maka, karena persamaan regresi antara *regeneration time* dan TH tidak signifikan faktor ini dapat diabaikan, sehingga yang dijadikan acuan adalah persamaan regresi antara *regeneration time* dan pH.

Namun, karena keduanya sedikit menunjukkan kecenderungan kenaikan nilai TH dan penurunan nilai pH, maka titik semakin kecil nilai *regeneration time* akan semakin baik.

2. flow rate softener tank,

a. terhadap total hardness

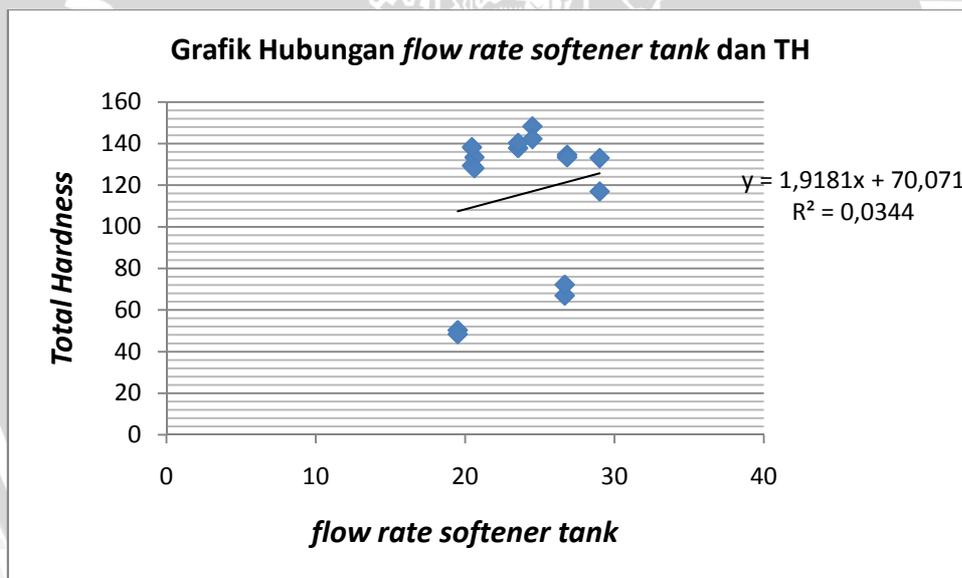
Tabel 4.36 ANOVA Faktor *Flow Rate Softener Tank* Terhadap *Total Hardness*  
ANOVA<sup>b</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	623.303	1	623.303	.499	.491 <sup>a</sup>
	Residual	17471.997	14	1248.000		
	Total	18095.300	15			

a. Predictors: (Constant), C

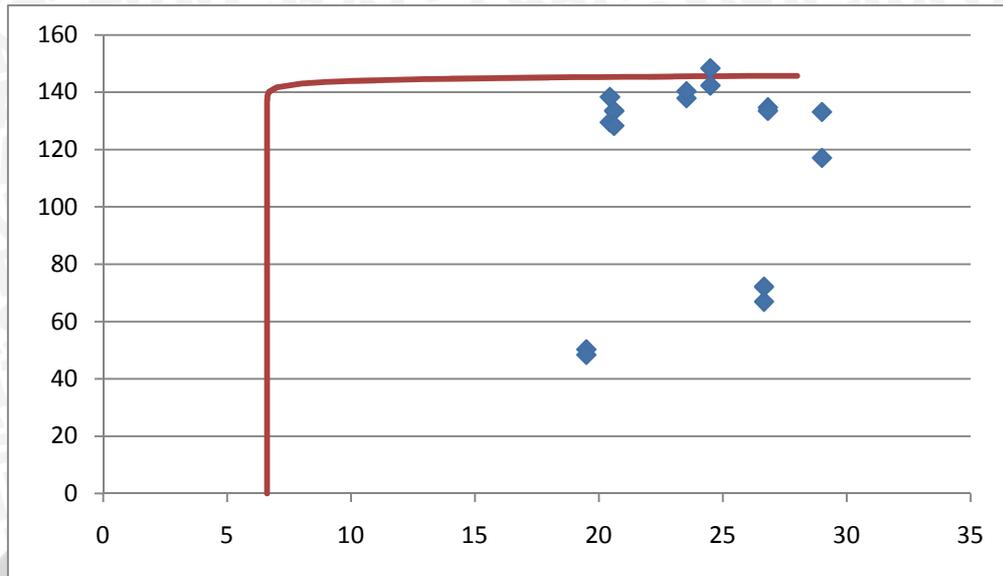
b. Dependent Variable: TH

Hasil proses menunjukkan bahwa nilai F sebesar 0.499 dengan nilai *significant* sebesar 0.491. Karena nilai sig. lebih besar dari nilai alfa maka dapat diambil keputusan persamaan regresi yang diperoleh adalah tidak signifikan dalam menjelaskan keragaman variabel Y yaitu nilai *total hardness*.



Gambar 4.15 Grafik Hubungan *Flow Rate Softener Tank* dan *Total Hardness*

Karena persamaan regresi tidak signifikan maka tidak dapat diajdiakan acuan, sehingga dicari dalam bentuk persamaan  $y = \ln (a_1x + a_0)$ .



Gambar 4.16 Grafik Hubungan *Flow Rate Softener Tank* dan *Total Hardness* dalam persamaan  $y = \ln (a_1x + a_0)$

Grafik di atas mengikuti persamaan:

$$y = \ln \{(9.20276E + 61)(x) + (-6.0874E + 62)\}$$

Pada grafik tersebut, x akan memotong y pada saat *flowrate* sebesar  $6.614754 \text{ m}^3/\text{jam}$ .

b. terhadap pH

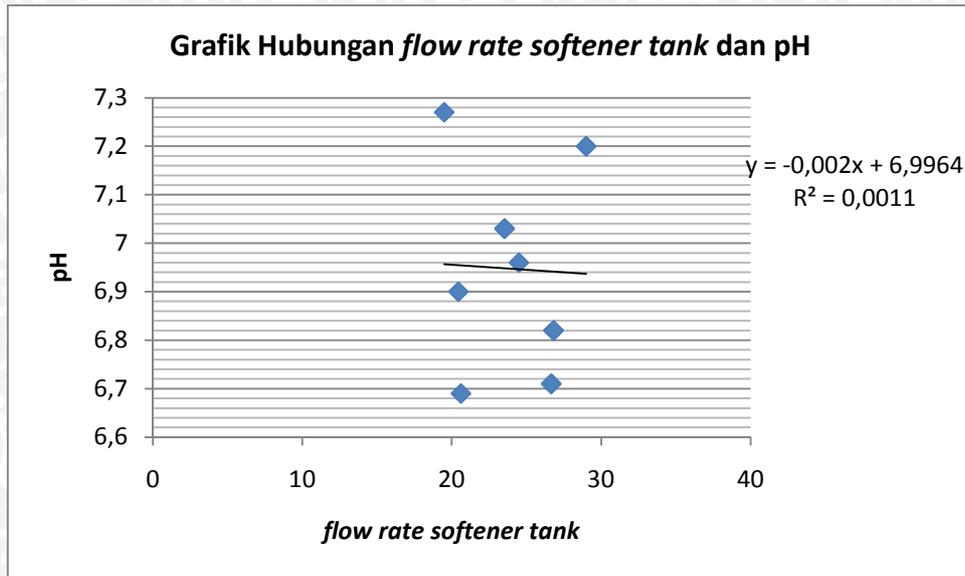
Tabel 4.37 ANOVA Faktor *Flow Rate Softener Tank* Terhadap pH

ANOVA <sup>b</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.001	1	.001	.016	.902 <sup>a</sup>
	Residual	.631	14	.045		
	Total	.632	15			

a. Predictors: (Constant), C

b. Dependent Variable: pH

Hasil proses menunjukkan bahwa nilai F sebesar 0.016 dengan nilai *significant* sebesar 0.902. Karena nilai sig. lebih besar dari nilai alfa maka dapat diambil keputusan persamaan regresi yang diperoleh adalah tidak signifikan dalam menjelaskan keragaman variabel Y yaitu nilai pH.



Gambar 4.17 Grafik Hubungan *Flow Rate Softener Tank* dan pH

5. tekanan *pressure tank*

a. terhadap *total hardness*

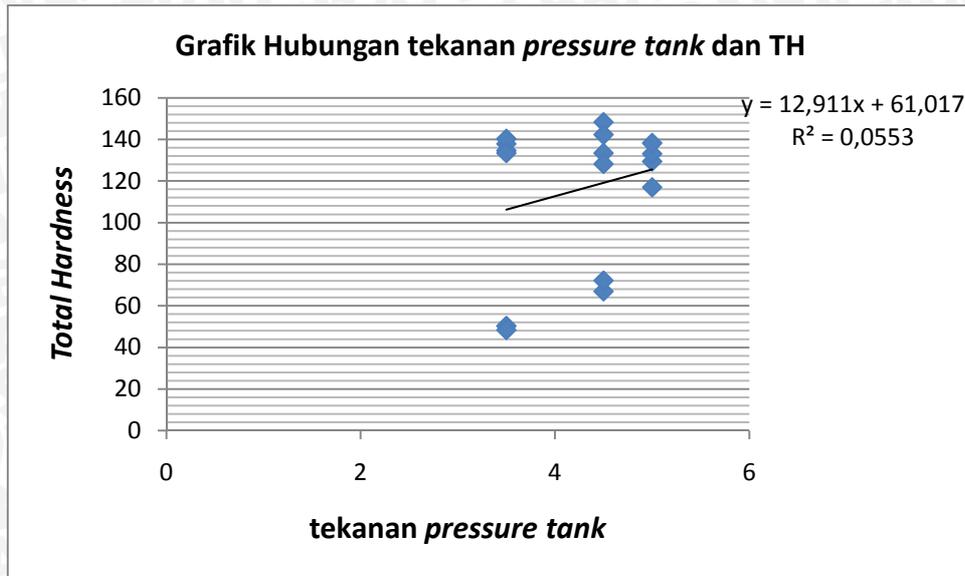
Tabel 4.38 ANOVA Faktor Tekanan *Pressure Tank* Terhadap *Total Hardness*

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1000.158	1	1000.158	.819	.381 <sup>a</sup>
	Residual	17095.142	14	1221.082		
	Total	18095.300	15			

a. Predictors: (Constant), B

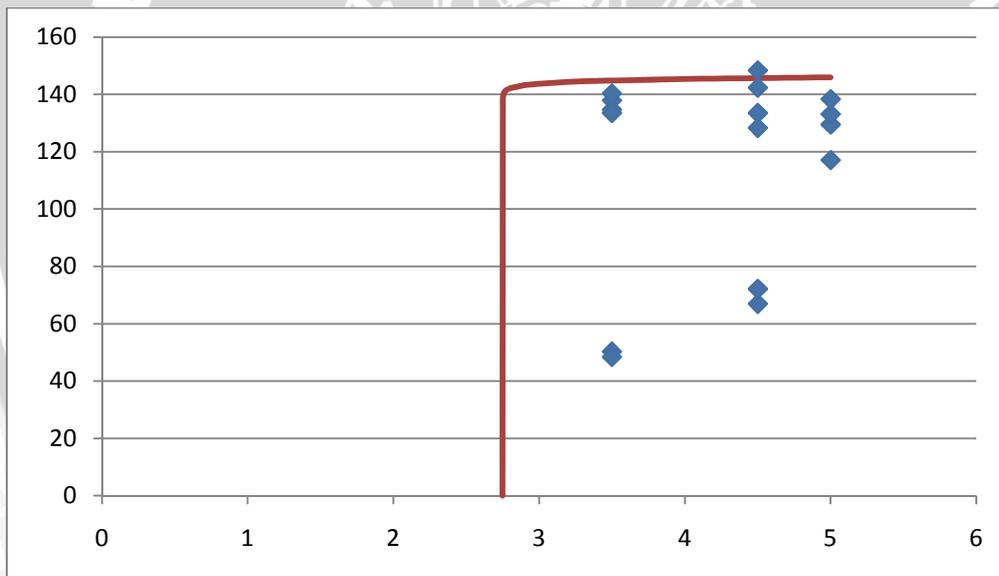
b. Dependent Variable: TH

Hasil proses menunjukkan bahwa nilai F sebesar 0.819 dengan nilai *significant* sebesar 0.381. Karena nilai sig. lebih besar dari nilai alfa maka dapat diambil keputusan persamaan regresi yang diperoleh adalah tidak signifikan dalam menjelaskan keragaman variabel Y yaitu nilai *total hardness*.



Gambar 4.18 Grafik Hubungan Tekanan *Pressure Tank* Terhadap *Total Hardness*

Karena persamaan regresi tidak signifikan maka tidak dapat diajarkan acuan, sehingga dicari dalam bentuk persamaan  $y = \ln(a_1x + a_0)$ .



Gambar 4.19 Grafik Hubungan Tekanan *Pressure Tank* dan *Total Hardness* dalam persamaan  $y = \ln(a_1x + a_0)$

Grafik di atas mengikuti persamaan:

$$y = \ln \{ (1.05821E + 63)(x) + (-2.90794E + 63) \}$$

Pada grafik tersebut, x akan memotong y pada saat tekanan *pressure tank* sebesar 2.747968 bar.

b. terhadap pH

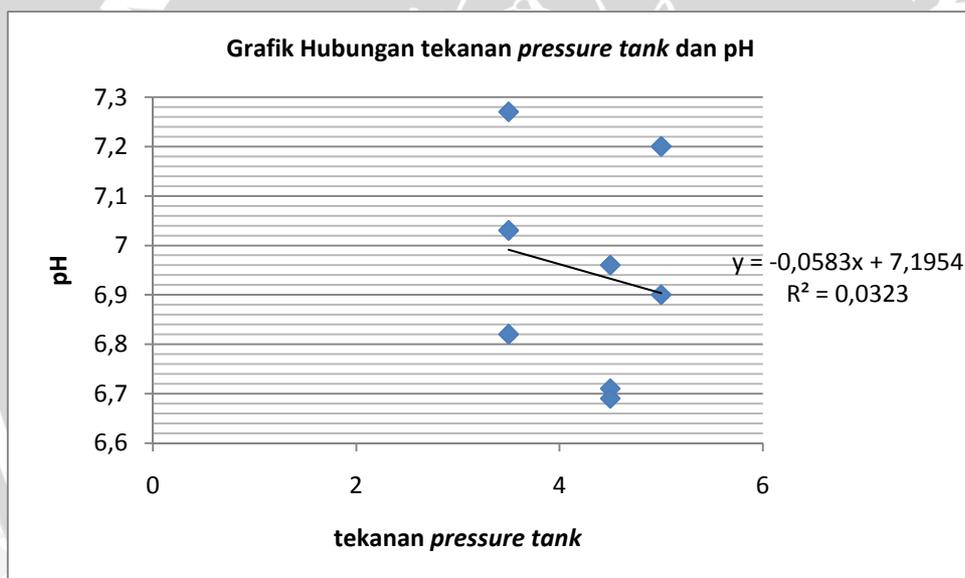
Tabel 4.39 ANOVA Faktor Tekanan *Pressure Tank* Terhadap pH

ANOVA <sup>b</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.020	1	.020	.467	.505 <sup>a</sup>
	Residual	.611	14	.044		
	Total	.632	15			

a. Predictors: (Constant), B

b. Dependent Variable: pH

Hasil proses menunjukkan bahwa nilai F sebesar 0.467 dengan nilai *significant* sebesar 0.505. Karena nilai sig. lebih besar dari nilai alfa maka dapat diambil keputusan persamaan regresi yang diperoleh adalah tidak signifikan dalam menjelaskan keragaman variabel Y yaitu nilai pH.



Gambar 4.20 Grafik Hubungan Tekanan *Pressure Tank* Terhadap pH

Kemudian dicari regresi untuk pH *softwater* dengan variabel-variabel di bawah ini:

$X_1 = A = \text{regeneration time}$

$X_2 = B = \text{tekanan pressure tank}$

$X_3 = C = \text{flow rate softener tank}$

$X_4 = D = \text{softener capacity}$

Tabel 4.40 Analisis Regresi pH Soft Water

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.892 <sup>a</sup>	.796	.721	.10832

a. Predictors: (Constant), D, C, B, A

ANOVA <sup>b</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.503	4	.126	10.714	.001 <sup>a</sup>
	Residual	.129	11	.012		
	Total	.632	15			

a. Predictors: (Constant), D, C, B, A

b. Dependent Variable: pH

Hasil proses menunjukkan bahwa nilai F sebesar 10.714 dengan nilai *significant* sebesar 0.001. Karena nilai sig. lebih kecil dari nilai alfa maka dapat diambil keputusan bahwa  $H_0$  ditolak, artinya persamaan regresi yang diperoleh adalah signifikan dalam menjelaskan keragaman variabel Y yaitu nilai pH.

Coefficients <sup>a</sup>						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	8.646	.366		23.643	.000
	A	-.024	.004	-.959	-6.385	.000
	B	-.138	.048	-.426	-2.874	.015
	C	-.006	.009	-.105	-.740	.475
	D	.003	.001	.288	1.855	.091

a. Dependent Variable: pH

Dari output SPSS di atas, maka persamaan regresinya menjadi:

$$Y = 8.846 - 0.024X_1 - 0.138X_2 - 0.006X_3 + 0.003X_4$$



Menurut uji Anava, tabel respon, dan persamaan regresi untuk *total hardness* level faktor yang kemungkinan memberi nilai *total hardness* sebesar 0 dan pH yang mendekati nilai target adalah:

Tabel 4.41 Level Faktor Sebelum Analisis per Faktor

Faktor	Level
<i>Regeneration time</i>	50 menit
Tekanan <i>pressure tank</i>	3.5 bar
<i>Flow rate softener tank</i>	19 m <sup>3</sup> /jam
<i>Softener capacity</i>	110 m <sup>3</sup>

Sedangkan dengan mempertimbangkan level optimum yang didapatkan dari analisis per faktor, maka levelnya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.42 Level Faktor Setelah Analisis per Faktor

Faktor	Level
<i>Regeneration time</i>	50 menit
Tekanan <i>pressure tank</i>	2.747968 bar
<i>Flow rate softener tank</i>	6.614754 m <sup>3</sup> /jam
<i>Softener capacity</i>	110 m <sup>3</sup>

Penurunan faktor tekanan *pressure tank* dan *flow rate softener tank* memberikan keuntungan sebagai berikut:

1. meningkatnya nilai pH
2. meningkatnya *softener capacity* sehingga meminimalkan jumlah regenerasi yang harus dilakukan. Maka garam (NaCl) bisa dihemat. Banyaknya *softener capacity* dapat dicari dengan persamaan regresi agar *total hardness* bernilai 0 seperti di bawah ini:

$$\begin{aligned}
 Y(\text{TH}) &= -264.169 + 0.777 X_1 + 7.694 X_2 + 1.265 X_3 + 1.497 X_4 \\
 0 &= -264.169 + 0.777(50) + 7.694 (2.747968) + 1.265 (6.614754) + \\
 &\quad 1.497 X_4 \\
 0 &= -264.169 + 38.85 + 21.14286 + 8.36766 + 1.497 X_4 \\
 0 &= -195.80848 + 1.497 X_4 \\
 1.497 X_4 &= 195.80848 \\
 X_4 &= 130.8005878
 \end{aligned}$$

Dengan harga  $X_1 = 50$  menit,  $X_2 = 2.747968$  bar,  $X_3 = 6.614754$  m<sup>3</sup>/jam, dan  $X_4 = 130$  m<sup>3</sup>, maka:

$$Y(\text{pH}) = 8.846 - 0.024(50) - 0.138(2.747968) - 0.006(6.614754) + 0.003(130)$$

$$= 8.846 - 1.2 - 0.3792 - 0.03968 + 0.39 = 7.6568$$

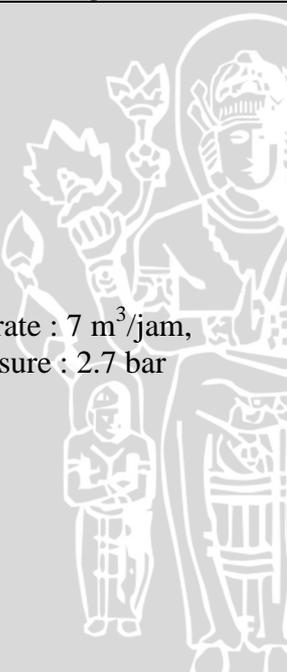
Maka pH *feedwater* akan bernilai:

$$Y = -0.24 + 0.991X_1$$

$$= -0.24 + 0.991(7.6568) = -0.24 + 7.587888 = 7.347888$$

Namun, dengan mempertimbangkan kebutuhan *steam*, maka *flowrate softener tank* dengan level 6.614754 m<sup>3</sup>/jam dirasa terlalu rendah. Karena minimal *boiler* membutuhkan 500-600 m<sup>3</sup> air per hari. Kebutuhan ini tidak akan tercukupi dengan *flowrate* serendah ini kecuali jika PT. Ekamas Fortuna menjalankan keempat *softener tank* yang dimiliki bersamaan, atau minimal tiga di antaranya. Sehingga pengaturannya akan menjadi seperti berikut:

Tabel 4.43 Jadwal Operasional dengan Empat *Softener Tank*

Jam	Keterangan	S1	S2	S3	S4	Kapasitas	
07.00	 Flow rate : 7 m <sup>3</sup> /jam, pressure : 2.7 bar	7	7	7	7	28	
08.00		7	7	7	7	28	
09.00		7	7	7	7	28	
10.00		7	7	7	7	28	
11.00		7	7	7	7	28	
12.00		7	7	7	7	28	
13.00		7	7	7	7	28	
14.00		7	7	7	7	28	
15.00		7	7	7	7	28	
16.00		7	7	7	7	28	
17.00		7	7	7	7	28	
18.00		7	7	7	7	28	
19.00		7	7	7	7	28	
20.00		7	7	7	7	28	
21.00		7	7	7	7	28	
22.00		7	7	7	7	28	
23.00		7	7	7	7	28	
24.00		7	7	7	7	28	
01.00		<i>backwash</i>	-	-	-	-	-
01.10		Regenerasi	-	-	-	-	-
02.00		<i>washing</i>	-	-	-	-	-
02.10		Flow rate : 7 m <sup>3</sup> /jam, pressure : 2.7 bar	7	7	7	7	28
03.10			7	7	7	7	28
04.10			7	7	7	7	28
05.10	7		7	7	7	28	
06.10	7		7	7	7	28	
07.10	7		7	7	7	28	
Kapasitas per hari			168	168	168	168	<b>672</b>

Keterangan:  = regenerasi resin

Ketika *softener capacity* mencapai  $126 \text{ m}^3$  yang kira-kira setara dengan 18 jam pemakaian *softener* maka resin harus diregenerasi. Ada beberapa kelemahan dari sistem penjadwalan ini:

1. ketika kontrol yang dilakukan oleh operator tidak cukup ketat, maka resiko lolosnya *total hardness* akan cukup besar karena keempat *softener* bekerja bersamaan tanpa ada pengaman. Maka ketika kapasitas sudah mencapai  $100 \text{ m}^3$ , kontrol harus diperketat, inspeksi dilakukan selama setengah jam sekali.
2. ketika regenerasi dilakukan selama 70 menit keempat *softener* tidak akan menghasilkan *soft water*. Hal ini cukup riskan jika level tanki 75 rendah dan permintaan *steam* tinggi sedangkan *condensate water* tidak seluruhnya kembali, namun masih bisa ditangani dengan memaksimalkan jam-jam aktif *softener* sesuai dengan jadwal di atas. Atau dengan menggunakan 3 *softener*, sehingga jika ketiga *softener* lainnya sedang diregenerasi masih ada 1 *softener* yang beroperasi. *Softener* ini pun dapat bertindak sebagai pengaman.

Tabel 4. 44 Jadwal Operasional dengan Tiga *Softener Tank*

Jam	Keterangan	S1	S2	S3	S4	Kapasitas	
07.00	Flow rate : $7 \text{ m}^3/\text{jam}$ , pressure : 2.7 bar	7	7	7	-	21	
08.00		7	7	7	-	21	
09.00		7	7	7	-	21	
10.00		7	7	7	-	21	
11.00		7	7	7	-	21	
12.00		7	7	7	-	21	
13.00		7	7	7	-	21	
14.00		7	7	7	-	21	
15.00		7	7	7	-	21	
16.00		7	7	7	-	21	
17.00		7	7	7	-	21	
18.00		7	7	7	-	21	
19.00		7	7	7	-	21	
20.00		7	7	7	-	21	
21.00		7	7	7	-	21	
22.00		7	7	7	-	21	
23.00		7	7	7	-	21	
24.00		7	7	7	-	21	
01.00		<i>backwash</i>	-	-	-	1.16	8.16
01.10		Regenerasi	-	-	-	5.83	
02.00		<i>washing</i>	-	-	-	1.16	

Keterangan:  = regenerasi resin

Tabel 4. 44 Jadwal Operasional dengan Tiga *Softener Tank* (lanjutan)

02.10	Flow rate : 7 m <sup>3</sup> /jam, pressure : 2.7 bar	7	7	-	7	28
03.10		7	7	-	7	28
04.10		7	7	-	7	28
05.10		7	7	-	7	28
06.10		7	7	-	7	28
07.10		7	7	-	7	28
07.00		7	7	-	7	28
08.00		7	7	-	7	28
Kapasitas per hari		168	168	126	50.16	<b>512.16</b>

Keterangan:  = regenerasi resin

Jika sistem yang lama dipertahankan (sistem seri), maka *flow rate* ini terlalu rendah. Selama ini PT. Ekamas Fortuna menjalankan softener dengan *flow rate* sebesar 21 m<sup>3</sup>/jam, tekanan 4 bar, *regeneration time* selama 50 menit, dan *softener capacity* sebanyak 150 m<sup>3</sup>. Menurut uji annova, tabel respon, dan persamaan regresi level untuk faktor *flow rate softener tank*, tekanan *pressure tank*, *softener capacity* dan ini jelas terlalu tinggi, sehingga harus diturunkan. Jika tetap ingin dipertahankan maka *softener capacity* harus diturunkan untuk menjamin *total hardness* tetap 0.

$$Y(\text{TH}) = -264.169 + 0.777 X_1 + 7.694 X_2 + 1.265 X_3 + 1.497 X_4$$

$$0 = -264.169 + 0.777(50) + 7.694 (4) + 1.265 (21) + 1.497 X_4$$

$$0 = -264.169 + 38.85 + 30.776 + 26.565 + 1.497 X_4$$

$$0 = -167.978 + 1.497 X_4$$

$$1.497 X_4 = 167.978$$

$$X_4 = 112.2$$

Dengan harga  $X_1 = 50$  menit,  $X_2 = 4$  bar,  $X_3 = 3$  m<sup>3</sup>/jam, dan  $X_4 = 112$  m<sup>3</sup>, maka:

$$Y(\text{pH}) = 8.846 - 0.024(50) - 0.138(4) - 0.006(21) + 0.003(112)$$

$$= 8.846 - 1.2 - 0.552 - 0.126 + 0.336 = 7.304$$

Maka pH *feedwater* akan bernilai:

$$Y = -0.24 + 0.991X_1$$

$$= -0.24 + 0.991(7.304) = -0.24 + 7.238264 = 6.99$$

Jika mempertahankan sistem lama maka batasan *softener capacity* ini bisa lebih longgar karena ada pengaman. Penjadwalannya menjadi seperti yang digambarkan dalam tabel 4.45.

Tabel 4.45 Jadwal Operasional dengan Dua Softener Tank

Jam	Keterangan	S1	S2	S3	S4	Kapasitas
07.00	<i>backwash</i>	-	-	3.5	-	108.5
07.10	Regenerasi	-	-	17.5	-	
08.00	<i>washing</i>	-	-	3.5	-	
08.10	Flow rate : 21 m <sup>3</sup> /jam, pressure : 4 bar	-	-	21	-	
09.10		-	-	21	-	
10.10		-	-	21	-	
11.10		-	-	21	-	
12.10	<i>backwash</i>	3.5	-	-	-	108.5
12.20	Regenerasi	17.5	-	-	-	
13.10	<i>washing</i>	3.5	-	-	-	
13.20	Flow rate : 21 m <sup>3</sup> /jam, pressure : 4 bar	21	-	-	-	
14.20		21	-	-	-	
15.20		21	-	-	-	
16.20		21	-	-	-	
17.20	<i>backwash</i>	-	-	3.5	-	108.5
17.30	Regenerasi	-	-	17.5	-	
18.20	<i>washing</i>	-	-	3.5	-	
18.30	Flow rate : 21 m <sup>3</sup> /jam, pressure : 4 bar	-	-	21	-	
19.30		-	-	21	-	
20.30		-	-	21	-	
21.30		-	-	21	-	
22.30	<i>backwash</i>	3.5	-	-	-	108.5
22.40	Regenerasi	17.5	-	-	-	
23.30	<i>washing</i>	3.5	-	-	-	
23.40	Flow rate : 21 m <sup>3</sup> /jam, pressure : 4 bar	21	-	-	-	
01.40		21	-	-	-	
02.40		21	-	-	-	
03.40		21	-	-	-	
04.40	<i>backwash</i>	-	-	3.5	-	45.5
04.50	Regenerasi	-	-	17.5	-	
05.40	<i>washing</i>	-	-	3.5	-	
06.50	Flow rate : 21 m <sup>3</sup> /jam, pressure : 4 bar	-	-	21	-	
Kapasitas per hari		217	-	262.5	-	<b>479.5</b>

Keterangan:  = regenerasi resin

Kelemahan dari sistem seri ini adalah:

1. kapasitas per hari kecil, karena pada dasarnya hanya menggunakan satu softener saja untuk operasional.
2. inspeksi justru lebih ketat karena jarak antar regenerasi yang terlalu sempit.

Jika dibandingkan antara menggunakan 4, 3, atau 2 softener dengan sistem seri akan terlihat seperti tabel di bawah ini:

Tabel 4.46 Perbandingan Faktor Antara Ketiga Alternatif Penggunaan *Softener*

<b>Faktor</b>	<b>4 Softener</b>	<b>3 Softener (1 Pengaman)</b>	<b>2 Softener (seri)</b>
<i>Regeneration time</i>	50 menit	50 menit	50 menit
Tekanan <i>pressure time</i>	2.7 bar	2.7 bar	4 bar
<i>Flow rate softener tank</i>	7 m <sup>3</sup> /jam	7 m <sup>3</sup> /jam	21 m <sup>3</sup> /jam
<i>Softener capacity</i>	130 m <sup>3</sup>	130 m <sup>3</sup>	112 m <sup>3</sup>
Kapasitas per hari	672 m <sup>3</sup>	512.16 m <sup>3</sup>	479.5 m <sup>3</sup>
<i>Total hardness</i>	0 NTU	0 NTU	0 NTU
pH <i>soft water</i>	7.6568	7.6568	7.304
pH <i>feedwater</i>	7.347888	7.347888	6.99
Jumlah regenerasi	4	3	5

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa sistem seri dengan 2 *softener* kapasitas hariannya paling kecil begitu pula dengan pH. Yang paling unggul adalah sistem dengan menggunakan 4 *softener* namun kelemahannya adalah jumlah regenerasi cukup banyak dan tidak ada *softener* pengaman. Sedangkan dengan 3 *softener* kapasitas harian yang didapatkan cukup memenuhi target, regenerasinya sedikit, dan masih memiliki *softener* pengaman.

Maka dengan menggunakan 3 *softener* untuk operasional faktor-faktor yang berpengaruh harus diatur pada level seperti di tabel 4. berikut ini.

Tabel 4.47 Level Faktor Optimum

<b>Faktor</b>	<b>Level</b>
<i>Total regeneration time</i>	70 menit
<i>Regeneration time</i>	50 menit
Tekanan <i>pressure time</i>	2.7 bar
<i>Flow rate softener tank</i>	7 m <sup>3</sup> /jam
<i>Softener capacity</i>	130 m <sup>3</sup>

## 4.12 Eksperimen Konfirmasi

### 4.12.1 Eksperimen Konfirmasi *Total Hardness*

Nomor trial	Nilai <i>total hardness</i> (NTU)
1.	0

1. interval kepercayaan untuk level faktor

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, V1, V2} \times Ve \times \left(\frac{1}{n}\right)}$$

$$CI = \sqrt{F_{0.05, 1, 13} \times 316.0985 \times \left(\frac{1}{6}\right)}$$

$$CI = \sqrt{4.67 \times 316.0985 \times \left(\frac{1}{6}\right)} = 20.1127$$

Maka interval kepercayaan untuk rata-rata dari setiap level faktor adalah:

Tabel 4.48 Interval Kepercayaan untuk Setiap Level Faktor

Faktor	Level	$\bar{m}_n - CI$	$\bar{m}_n + CI$
A	1	86.45307	126.6785
	2	94.04849	134.2739
	3	112.6857	106.5658
B	1	87.38827	127.6137
	2	95.11729	135.3427
	3	110.6817	107.501
C	1	84.58267	124.8081
	2	119.1653	159.3907
	3	89.43929	104.6954
D	1	64.00827	104.2337
	2	117.6289	157.8543
	3	111.5501	84.12098

2. interval kepercayaan untuk perkiraan rata-rata

Ada dua faktor dengan 2 derajat kebebasan masing-masing yang akan digunakan untuk menentukan mean dari proses, yaitu D1 dan C1

$$\mu_{\text{prediksi}} = \bar{\eta} + (\bar{D}_1 - \bar{\eta}) + (\bar{C}_1 - \bar{\eta})$$

$$\mu_{\text{prediksi}} = 84.12098 + 104.6954 - 117.8418 = 70.97457$$

Sehingga jumlah pengamatan efektifnya menjadi sebagai berikut:

$$n_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{\text{jumlah dof dalam perkiraan rata - rata}}$$

$$n_{eff} = \frac{9 \times 2}{1 + 2 + 2} = 3.6$$

Perhitungan interval kepercayaan untuk perkiraan rata-rata kondisi optimum adalah sebagai berikut:

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, V1, V2} \times Ve \times \left( \frac{1}{n_{eff}} \right)}$$

$$CI = \sqrt{F_{0.05, 1, 13} \times 316.0985 \times \left( \frac{1}{3.6} \right)}$$

$$CI = \sqrt{4.67 \times 316.0985 \times \left( \frac{1}{3.6} \right)} = 20.24968$$

Interval kepercayaan untuk rata-rata proses optimum ini adalah:

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

$$70.97457 - 20.24968 \leq \mu_{prediksi} \leq 70.97457 + 20.24968$$

$$63.87129 \leq \mu_{prediksi} \leq 104.3707$$

3. interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, V1, V2} \times Ve \times \left( \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)}$$

$$CI = \sqrt{F_{0.05, 1, 13} \times 316.0985 \times \left( \frac{1}{3.6} + \frac{1}{1} \right)}$$

$$CI = \sqrt{4.67 \times 316.0985 \times \left( \frac{1}{3.6} + \frac{1}{1} \right)} = 40.43074$$

Maka interval kepercayaanya seperti di bawah ini:

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

$$0 - 40.43074 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 0 + 40.43074$$

$$-40.43074 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 40.43074$$

#### 4.12.2 Eksperimen Konfirmasi Derajat Keasaman

Nomor trial	Derajat Keasaman
1.	7.347888

1. interval kepercayaan untuk level faktor

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, V1, V2} \times Ve \times \left(\frac{1}{n}\right)}$$

$$CI = \sqrt{F_{0.05, 1, 9} \times 0.014087 \times \left(\frac{1}{6}\right)}$$

$$CI = \sqrt{5.12 \times 0.014087 \times \left(\frac{1}{6}\right)} = 0.109604$$

Maka interval kepercayaan untuk rata-rata dari setiap level faktor adalah:

Tabel 4.49 Interval Kepercayaan untuk Setiap Level Faktor

Faktor	Level	$\bar{m}_n - CI$	$\bar{m}_n + CI$
A	1	7.372063	7.591271
	2	7.555396	7.774604
B	1	7.362063	7.581271
	2	7.565396	7.784604
C	1	7.580396	7.799604
	2	7.347063	7.566271

2. interval kepercayaan untuk perkiraan rata-rata

Ada dua faktor dengan 1 derajat kebebasan masing-masing yang akan digunakan untuk menentukan mean dari proses, yaitu C1 dan B2

$$\mu_{\text{prediksi}} = \bar{\eta} + (\bar{C}_1 - \bar{\eta}) + (\bar{B}_2 - \bar{\eta})$$

$$\mu_{\text{prediksi}} = 7.69 + 7.675 - 7.5733 = 7.79167$$

Sehingga jumlah pengamatan efektifnya menjadi sebagai berikut:

$$n_{\text{eff}} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{\text{jumlah dof dalam perkiraan rata-rata}}$$

$$n_{\text{eff}} = \frac{4 \times 3}{1 + 1 + 1} = 4$$

Perhitungan interval kepercayaan untuk perkiraan rata-rata kondisi optimum adalah sebagai berikut:

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, V1, V2} \times Ve \times \left(\frac{1}{n_{eff}}\right)}$$

$$CI = \sqrt{F_{0.05, 1, 9} \times 0.014087 \times \left(\frac{1}{4}\right)}$$

$$CI = \sqrt{5.12 \times 0.014087 \times \left(\frac{1}{4}\right)} = 0.1342369$$

Interval kepercayaan untuk rata-rata proses optimum ini adalah:

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

$$7.79167 - 0.1342369 \leq \mu_{prediksi} \leq 7.79167 + 0.1342369$$

$$7.657429729 \leq \mu_{prediksi} \leq 7.925904$$

3. interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, V1, V2} \times Ve \times \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r}\right)}$$

$$CI = \sqrt{F_{0.05, 1, 9} \times 0.014087 \times \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{1}\right)}$$

$$CI = \sqrt{5.12 \times 0.014087 \times \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{1}\right)} = 0.3001629$$

Maka interval kepercayaanya seperti di bawah ini:

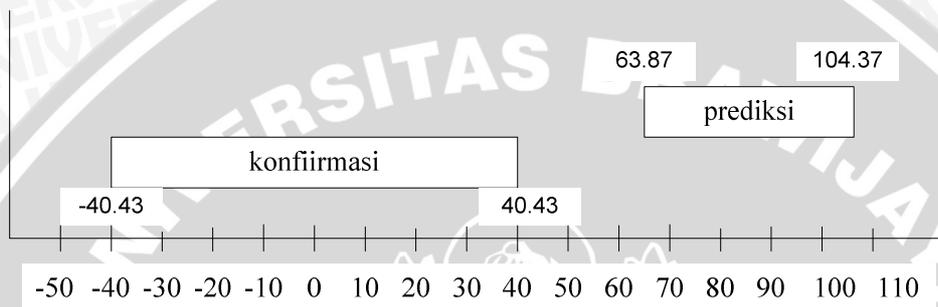
$$\mu_{konfirmasi} - CI \leq \mu_{konfirmasi} \leq \mu_{konfirmasi} + CI$$

$$7.347888 - 0.3001629 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 7.347888 + 0.3001629$$

$$7.047725081 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 7.648051$$

### 4.12.3 Analisis Interval

Dalam sub bab 4.12.1 dan 4.12.2 telah didapatkan interval kepercayaan untuk total hardness dan derajat keasaman. Untuk kedua parameter kualitas *feedwater* tersebut, interval kepercayaannya tidak tumpang tindih antara prediksi dan konfirmasi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22. Hal ini dikarenakan level yang digunakan dalam eksperimen konfirmasi tidak sama dengan level yang digunakan dalam eksperimen, karena level faktornya sudah disesuaikan dengan analisis regresi untuk mencapai target yang diinginkan.

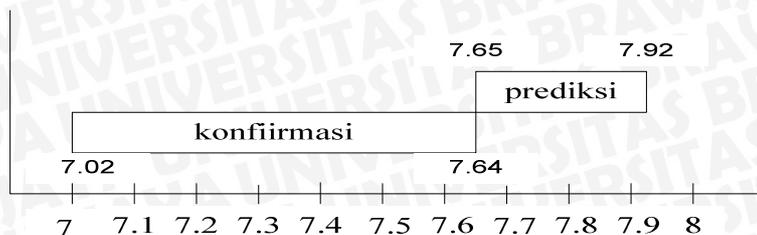


Gambar 4. 21 Interval Kepercayaan Rata-rata Prediksi dan Eksperimen Konfirmasi *Total Hardness*

Interval kepercayaan  $\mu$  prediksi [63.87, 104.37] tidak menyentuh interval kepercayaan eksperimen konfirmasi [-40.43, 40.43] disebabkan oleh 2 hal, yaitu:

1. rata-rata prediksi yang sebesar 70.97457 ini masih jauh dari target yaitu 0 NTU, sehingga walaupun dengan mengaplikasikan faktor level optimal yang telah didapatkan dari anova dan tabel respon target tetap tidak dapat dipenuhi. Target kualitas *total hardness* dan kapasitas *feedwater boiler* akan terpenuhi jika level faktor yang telah didapatkan dari anova dan tabel respon disesuaikan dengan analisis regresi. Karena level faktornya berbeda antara eksperimen dan eksperimen konfirmasi maka interval kepercayaannya pun juga akan berubah.
2. dengan level faktor yang baru, nilai *total hardness* pada eksperimen konfirmasi adalah sebesar 0 NTU. Perbedaan rata-rata antara eksperimen dan eksperimen konfirmasi ini terlalu jauh yaitu sebesar 70.97457, sehingga interval kepercayaannya pun juga terpaut jauh.

Akan tetapi, walaupun interval kepercayaannya tidak berimpit namun target kualitas *total hardness* dan kapasitasnya terpenuhi.



Gambar 4. 22 Interval Kepercayaan Rata-rata Prediksi dan Eksperimen Konfirmasi pH

Interval kepercayaan  $\mu$  prediksi [7.65, 7.92] hanya sedikit bersinggungan dengan kepercayaan eksperimen konfirmasi [7.02, 7.64] disebabkan oleh hal yang sama dengan interval kepercayaan *total hardness*. Interval ini lebih rendah dari target namun masuk dalam range spesifikasi kualitas *feedwater*.

#### 4.13 Pembahasan

Faktor-faktor yang secara signifikan berpengaruh terhadap nilai *total hardness* dan pH memiliki pengaruh seperti berikut:

1. *regeneration time* akan mempengaruhi kualitas resin, semakin lama waktu regenerasi yang diberikan maka semakin tinggi kandungan Na pada resin. Kandungan Na yang tinggi ini akan menyebabkan turunnya nilai pH karena ketika resin berikatan dengan Ca dan Mg maka Na dilepaskan oleh resin sehingga pH akan turun nilainya.
2. *softener capacity* akan mempengaruhi tingkat kejenuhan resin. Semakin lama atau semakin besar *softener capacity* maka resin semakin jenuh hingga mencapai satu titik dimana resin tersebut tidak dapat mengikat Ca dan Mg lagi sehingga *total hardness* menjadi tidak nol. Setelah resin jenuh maka harus diregenerasi untuk mengembalikannya menjadi tidak jenuh.
3. rendahnya tekanan *pressure tank* dan *flowrate softener tank* akan menyebabkan resin menjadi lebih awet karena tekanan *pressure tank* akan mempengaruhi fluktuasi air yang melewati *softener* dan *flowrate* akan mempengaruhi laju aliran air sehingga resin lebih mudah mengikat Ca dan Mg.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan terhadap kualitas dan kapasitas *feedwater boiler* di PT. Ekamas Fortuna adalah sebagai berikut:

1. faktor-faktor yang memberikan pengaruh signifikan terhadap parameter kualitas *feedwater boiler* adalah sebagai berikut:

a. *total hardness*

faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap nilai *total hardness* adalah *softener capacity* dengan nilai F-ratio sebesar 16.363088 dan *flow rate softener tank* dengan nilai F-ratio sebesar 6.6535574.

b. derajat keasaman

faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap derajat keasaman adalah *total regeneration time* dengan F-ratio sebesar 11,60221 dan tekanan *pressure tank* yang nilai F-rasionya sebesar 8,810576.

2. pengendalian faktor untuk mengoptimalkan kualitas dan kapasitas *feedwater* untuk *boiler* diatur pada level: *regeneration time* selama 50 menit, *total regeneration time* selama 70 menit, tekanan *pressure tank* sebesar 2.7 bar, *flow rate softener tank* sebesar 7 m<sup>3</sup>/jam, dan *softener capacity* sebesar 130 m<sup>3</sup>. Level faktor baru yang ditetapkan melalui tabel respon, anava, dan analisis regresi memberikan hasil sebagai berikut:

a. target kualitas *total hardness* terpenuhi sebesar 0 NTU

b. target kualitas derajat keasaman (pH) tidak terpenuhi sebesar 8 namun masih berada dalam range spesifikasi kualitas *feedwater*

c. dengan menggunakan 3 *softener* dan 1 *softener* pengaman didapatkan kapasitas per hari sebesar 512.16 m<sup>3</sup> yang sesuai dengan target kapasitas *softwater*

d. jumlah regenerasi turun menjadi tiga kali sehari

Jika tetap mempertahankan level faktor dan sistem operasional *softener* yang selama ini digunakan maka alternatif yang bisa digunakan adalah dengan menurunkan *softener capacity* dari 150 m<sup>3</sup> menjadi 112 m<sup>3</sup> agar nilai *total hardness*-nya tetap 0. Efek dari penurunan *softener capacity* ini yaitu menurunnya kapasitas harian dan meningkatnya jumlah regenerasi resin.

## 5.2 Saran

Saran yang diberikan pada bagian ini ditujukan kepada perusahaan serta penelitian-penelitian selanjutnya untuk perbaikan.

1. untuk penelitian selanjutnya mungkin perlu dibuat penelitian lebih lanjut tentang permasalahan pada mesin dan peralatan baik untuk proses maupun pengujian.
2. pengukuran *total hardness* sebaiknya dilakukan setiap inspeksi dengan EBT menunjukkan bahwa *total hardness* tidak 0, agar bisa menjadi acuan bagi perbaikan.
3. perlu dilakukan penelitian yang sama untuk kondisi normal (pada saat curah hujan rendah).
4. penelitian selanjutnya perlu dilakukan dengan curah hujan sebagai faktor *noise* sehingga perlu ada *adjustment* untuk faktor-faktor yang lain sesuai dengan curah hujan pada saat penelitian dilaksanakan.



## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. *Different Types of Corrosion - Recognition, Mechanisms & Prevention: Caustic Embrittlement*.  
[http://www.corrosionclinic.com/types\\_of\\_corrosion/caustic\\_embrittlement.htm](http://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/caustic_embrittlement.htm). Diakses 9 Maret 2010.
- \_\_\_\_\_. *Preboiler and Boiler Corrosion*.  
[http://www.gewater.com/handbook/boiler\\_water\\_systems/ch\\_11\\_preboiler.jsp](http://www.gewater.com/handbook/boiler_water_systems/ch_11_preboiler.jsp). Diakses 3 Maret 2010.
- Answer Corporation. *How the Scale and Sludge is formed in boiler*.  
[http://wiki.answers.com/Q/How\\_the\\_scale\\_and\\_sludge\\_is\\_formed\\_in\\_boiler](http://wiki.answers.com/Q/How_the_scale_and_sludge_is_formed_in_boiler). Diakses 3 Maret 2010.
- Ariani, Dorothea Wahyu. 1999. *Manajemen Kualitas*. Yogyakarta: Penerbit Universitas Atmajaya Yogyakarta.
- Djokosetyardjo, M. J. 2003. *Ketel Uap*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Enting Water Conditioning, Inc. *How Water Softener Work*.  
<http://www.enting.com/Softeners-Work.php>. Diakses tanggal 6 Mei 2010.
- Kusuma, L. Tri Wijaya N. 2008. *Penerapan Metode Six Sigma untuk Meningkatkan Kualitas Hasil Proses Produksi Kapsul Lunak Yodiol*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Lenntech. *Foaming and Priming in Boilers*.  
<http://www.lenntech.com/applications/process/boiler/foaming-priming.htm>. Diakses 9 Maret 2010.
- Metasari, Nur. *Metode Taguchi*.  
<http://qualityengineering.wordpress.com/2008/06/29/metode-taguchi/>. Diakses 28 Oktober 2009.
- Otto, Kevin N & Antonsson, Erik K. 1991. *Extension to the Taguchi Method of Product Design*. ASME Journal of Mechanical Design.
- Pratikto. 2008. *Ketel Uap Pipa Air Bi Drum (Teori dan Aplikasi Desain)*. Malang: Penerbit CV Asrori.

Rahardjo, Jani et. al. 2001. *Perbandingan Metode  $2^{k-p}$  Fractional Factorial dengan Metode Taguchi dalam Proses Pembuatan Fiber Glass*. Jurnal Teknik Industri Vol. 3, No. 1: 1 – 8.

Soejanto, Irwan. 2008. *Rekayasa Kualitas: Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Surabaya:Penerbit Yayasan Humaniora.

Staklim Karangploso. *Evaluasi Curah Hujan Malang Raya*.  
<http://staklimkarangploso.net>. Diakses tanggal 3 Juli 2010.

Staklim Karangploso. *Evaluasi Sifat Hujan Malang Raya*.  
<http://staklimkarangploso.net>. Diakses tanggal 3 Juli 2010.

Tjiptono, Fandy & Diana, Anastasia. 2003. *Total Quality Management*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Tunggal, Diana Julianti. 2004. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi pada Proses Vulkanisir Ban di Grandprix Indoagung*. Skripsi. Surabaya: Universitas Kristen Petra.

Vogt Power Internasional Inc. 2001. *Importance of Good Boiler Feedwater Treatment*. *Technical Bulletin*. Januari.

Wikipedia Foundation,Inc. *Boiler*. <http://en.m.wikipedia.org/wiki/Boiler>. Diakses 3 Maret 2010.

Wikipedia Foundation,Inc. *Boiler Feedwater*.  
[http://en.m.wikipedia.org/wiki/Boiler\\_feedwater](http://en.m.wikipedia.org/wiki/Boiler_feedwater). Diakses 3 Maret 2010.