



**TUGAS AKHIR - KS184822**

**OPTIMASI KEKERUHAN DAN PH AIR PADA  
PROSES *JAR TEST* DENGAN METODE TAGUCHI  
PENDEKATAN *GREY RELATIONAL ANALYSIS*  
(STUDI KASUS: PDAM DELTA TIRTA SIDOARJO)**

**DEWI DAMAYANTI  
NRP 062115 4000 0071**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S  
Wibawati, S.Si, M.Si**

**PROGRAM STUDI SARJANA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019**





**TUGAS AKHIR - KS184822**

**OPTIMASI KEKERUHAN DAN PH AIR PADA  
PROSES *JAR TEST* DENGAN METODE TAGUCHI  
PENDEKATAN *GREY RELATIONAL ANALYSIS*  
(STUDI KASUS: PDAM DELTA TIRTA SIDOARJO)**

**DEWI DAMAYANTI  
NRP 062115 4000 0071**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S  
Wibawati, S.Si, M.Si**

**PROGRAM STUDI SARJANA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019**





**FINAL PROJECT - KS184822**

**TURBIDITY AND WATER PH OPTIMIZATION  
OF THE JAR TEST PROCESS USING TAGUCHI  
GREY RELATIONAL ANALYSIS METHOD  
(CASE STUDY: PDAM DELTA TIRTA SIDOARJO)**

**DEWI DAMAYANTI  
SN 062115 4000 0071**

**Supervisors  
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S  
Wibawati, S.Si, M.Si**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME  
DEPARTMENT OF STATISTICS  
FACULTY OF MATHEMATICS, COMPUTING, AND DATA SCIENCE  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019**



## LEMBAR PENGESAHAN

### OPTIMASI KEKERUHAN DAN PH AIR PADA PROSES *JAR TEST* DENGAN METODE TAGUCHI PENDEKATAN *GREY RELATIONAL ANALYSIS* (STUDI KASUS: PDAM DELTA TIRTA SIDOARJO)

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Statistika  
pada  
Program Studi Sarjana Departemen Statistika  
Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Dewi Damayanti**

NRP. 062115 4000 0071


Disetujui oleh Pembimbing:

**Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S**

NIP. 19580823 198403 1 003

**Wibawati, S.Si, M.Si**

NIP. 19741213 199802 2 001



Mengetahui,  
Kepala Departemen Statistika



**Dr. Suhartono SA**  
NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2019





**OPTIMASI KEKERUHAN DAN PH AIR PADA  
PROSES JAR TEST DENGAN METODE TAGUCHI  
PENDEKATAN GREY RELATIONAL ANALYSIS  
(STUDI KASUS: PDAM DELTA TIRTA SIDOARJO)**

**Nama Mahasiswa** : Dewi Damayanti  
**NRP** : 062115 4000 0071  
**Departemen** : Statistika  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S  
Wibawati, S.Si, M.Si

**Abstrak**

*Instalasi Pengolahan Air (IPA) Siwalan Panji menggunakan air baku yang berasal dari afvoer Buduran yang merupakan aliran pembuangan limbah yang seringkali tercemar. Dalam proses produksi, air yang dihasilkan harus memenuhi persyaratan kualitas air minum agar aman untuk dikonsumsi. Kriteria air minum yang layak konsumsi tercantum dalam Peraturan Menteri Kesehatan RI no. 492 tahun 2010 tentang persyaratan kualitas air minum. Beberapa parameter yang penting dan harus terpenuhi adalah kekeruhan dengan batas 5 NTU dan pH yang berkisar 6,5–8,5. Perancangan kualitas secara offline untuk proses produksi air dapat dilakukan pada proses koagulasi-flokulasi dengan studi laboratorium menggunakan jar test. Rancangan kualitas dengan metode Taguchi melalui pendekatan Grey Relational Analysis (GRA) digunakan untuk memperoleh kombinasi level faktor optimum secara efektif. Orthogonal array yang digunakan adalah  $L_{27}(3^{13})$  dengan faktor-faktor penelitian meliputi dosis koagulan, kecepatan pengadukan cepat, waktu pengadukan cepat, kecepatan pengadukan lambat, waktu pengadukan lambat, dan waktu pengendapan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kekeruhan dan pH air pada proses jar test adalah kecepatan pengadukan lambat dengan kondisi optimum pada kecepatan 30 rpm saat tingkat kepentingan respon dianggap sama maupun berbeda. Besar kontribusi faktor saat tingkat kepentingan respon sama adalah 23,37%, sedangkan saat tingkat kepentingan berbeda adalah 27,22%. Dengan menggunakan tingkat kepentingan berbeda, menghasilkan estimasi GRG terbesar yaitu 0,5728.*

**Kata Kunci:** *Grey Relational Analysis, Jar Test, Taguchi*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**TURBIDITY DAN WATER PH OPTIMIZATION  
OF THE JAR TEST PROCESS USING TAGUCHI  
GREY RELATIONAL ANALYSIS METHOD  
(CASE STUDY: PDAM DELTA TIRTA SIDOARJO)**

**Name** : Dewi Damayanti  
**Student Number** : 062115 4000 0071  
**Department** : Statistics  
**Supervisors** : Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S  
Wibawati, S.Si, M.Si

**Abstract**

*Siwalan Panji Water Treatment Plants (WTP) is located in Buduran Subdistrict with water sources from the Buduran afvoer which are often polluted waste disposal streams. In the production process, the water produced must meet the drinking water quality requirements to be safe for consumption. Criteria for consumption-safe drinking water are listed in the Minister of Health of the Indonesia Republic Regulation number 492 of 2010 concerning drinking water quality requirements. Some important parameters and must be fulfilled are turbidity with a limit of 5 NTU and pH which ranges from 6.5 to 8.5. Offline quality design for the water production process can be carried out in the coagulation-flocculation process with laboratory studies using a jar test. The quality design with the Taguchi method through the Grey Relational Analysis (GRA) approach can be used to obtain the optimum level combination of each factor. The orthogonal array used is  $L_{27}(3^{13})$  with the factors in jar test optimization include coagulant doses, speed of fast stirring, fast stirring time, speed of slow stirring, slow stirring time, and settling time. The results showed that the factors that significantly affected turbidity and pH of the water in the jar test process were slow stirring speeds of 30 rpm when the importance of the response was considered the same or different. The contribution of factors when the importance of both responses was assumed to be the same is 23.37%, while when the importance of both responses was assumed to be different is 27.22%. By using the different importance of both response, the largest GRG estimates are obtained, which is 0.5728.*

**Keywords:** *Grey Relational Analysis, Jar Test, Taguchi*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Optimasi Kekerusuhan dan pH Air Pada Proses Jar Test dengan Metode Taguchi Pendekatan Grey Relational Analysis (Studi Kasus: PDAM Delta Tirta Sidoarjo)”** dengan baik dan lancar.

Penulis menyadari bahwa pelaksanaan hingga penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagi pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Suhartono selaku Kepala Departemen Statistika ITS dan Ibu Dr. Santi Wulan Purnami, S.Si, M.Si selaku Ketua Program Studi S1 Statistika ITS.
2. Bapak Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S dan Ibu Wibawati, S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing yang senantiasa meluangkan waktu mendampingi dan memberikan arahan serta masukan selama pelaksanaan Tugas Akhir.
3. Bapak Drs. Haryono, MSIE, dan Bapak Novri Suhermi, S.Si, M.Sc selaku dosen penguji atas semua saran dan masukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Erma Oktania Permatasari, S.Si, M.Si selaku dosen wali yang telah mendampingi dan selalu memberikan nasihat selama masa perkuliahan sekaligus selaku dosen penguji atas saran dan masukan untuk Tugas Akhir penulis.
5. Keluarga besar khususnya kedua orang tua dan kakak tercinta atas segala doa dan dukungan yang tidak pernah putus kepada penulis.
6. Seluruh dosen serta karyawan Departemen Statistika ITS.
7. Segenap karyawan dan staf bagian produksi PDAM Delta Tirta Sidoarjo yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir.

8. Semua pihak yang telah membantu baik langsung maupun tidak langsung selama pelaksanaan hingga penyusunan laporan Tugas Akhir, yang tidak bisa disebutkan satu-satu.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat terbuka bagi penulis untuk perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1 Metode Taguchi.....	7
2.2 <i>Orthogonal Array</i> .....	8
2.3 Replikasi dan Randomisasi.....	8
2.4 <i>Signal to Noise Ratio (SN Ratio)</i> .....	10
2.5 <i>Grey Relational Analysis (GRA)</i> .....	11
2.6 <i>Analysis of Varians (ANOVA)</i> .....	14
2.7 <i>Jar Test</i> .....	17
2.8 Air Minum.....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	21
3.1 Sumber Data.....	21
3.2 Variabel Penelitian.....	21
3.3 Rancangan Percobaan dan Struktur Data.....	21
3.4 Langkah Penelitian.....	27
3.5 Diagram Alir.....	27
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b> .....	31
4.1 Karakteristik Data.....	31

4.2	Taguchi – <i>Grey Relational Analysis</i> .....	32
4.3	Penentuan Kombinasi Level Faktor yang Optimum ....	37
4.3.1	Penentuan Kombinasi Level Faktor yang Optimum Saat Bobot Respon Sama.....	37
4.3.2	Penentuan Kombinasi Optimum Saat Bobot Respon Berbeda .....	42
4.4	Pengujian Signifikansi Faktor .....	46
4.4.1	Pengujian Signifikansi Faktor Saat Bobot Respon Sama .....	46
4.4.2	Pengujian Signifikansi Faktor Saat Bobot Respon Berbeda .....	48
4.5	Estimasi GRG Pada Setting Kombinasi Level Faktor Optimum .....	50
4.5.1	Estimasi GRG Pada Setting Kombinasi Level Faktor Optimum Saat Bobot Respon Sama .....	50
4.5.2	Estimasi GRG Pada Setting Kombinasi Level Faktor Optimum Saat Bobot Respon Berbeda...	51
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>53</b>
5.1	Kesimpulan .....	53
5.2	Saran .....	53
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>55</b>
	<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>59</b>



## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b>	Randomisasi dengan Repetisi ..... 9
<b>Tabel 2.2</b>	Randomisasi dengan Replikasi ..... 10
<b>Tabel 2.3</b>	Tabel Rata-Rata Respon GRG ..... 13
<b>Tabel 2.4</b>	Tabel ANOVA ..... 16
<b>Tabel 3.1</b>	Variabel Penelitian ..... 21
<b>Tabel 3.2</b>	Level Faktor ..... 22
<b>Tabel 3.3</b>	Derajat Bebas Variabel Proses ..... 23
<b>Tabel 3.4</b>	Alat dan Bahan Percobaan ..... 24
<b>Tabel 3.5</b>	<i>Orthogonal Array</i> dan Struktur Data ..... 26
<b>Tabel 4.1</b>	Karakteristik Data ..... 31
<b>Tabel 4.2</b>	<i>SN Ratio</i> Masing-Masing Respon ..... 33
<b>Tabel 4.3</b>	Normalisasi <i>SN Ratio</i> Masing-Masing Respon ..... 34
<b>Tabel 4.4</b>	<i>Deviation Sequence</i> Masing-Masing Respon ..... 35
<b>Tabel 4.5</b>	GRC Masing-Masing Respon ..... 36
<b>Tabel 4.6</b>	GRG Gabungan Dua Respon Saat Bobot Respon Sama ..... 38
<b>Tabel 4.7</b>	Rata-Rata Respon Saat Bobot Respon Sama ..... 39
<b>Tabel 4.8</b>	GRG Gabungan Dua Respon Saat Bobot Respon Berbeda ..... 43
<b>Tabel 4.9</b>	Rata-Rata Respon Saat Bobot Respon Berbeda ..... 43
<b>Tabel 4.10</b>	ANOVA Awal Saat Bobot Respon Sama ..... 46
<b>Tabel 4.11</b>	ANOVA Setelah <i>Pooling</i> Saat Bobot Respon Sama ..... 47
<b>Tabel 4.12</b>	ANOVA Awal Saat Bobot Respon Berbeda ..... 48
<b>Tabel 4.13</b>	ANOVA Setelah <i>Pooling</i> Saat Bobot Respon Berbeda ..... 49

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Alat <i>Jar Test</i> .....	18
<b>Gambar 2.2</b> Turbidimeter.....	19
<b>Gambar 2.3</b> Kertas Lakmus .....	20
<b>Gambar 3.1</b> <i>Linear Graphs</i> $L_{27}(3^{13})$ .....	24
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Penelitian .....	28
<b>Gambar 3.3</b> Diagram Alir Penelitian (Lanjutan).....	29
<b>Gambar 4.1</b> Pengaruh Interaksi $A \times D$ Saat Bobot Respon Sama.....	40
<b>Gambar 4.2</b> Pengaruh Interaksi $A \times E$ Saat Bobot Respon Sama.....	41
<b>Gambar 4.3</b> Pengaruh Interaksi $D \times E$ Saat Bobot Respon Sama.....	41
<b>Gambar 4.4</b> Pengaruh Interaksi $A \times D$ Saat Bobot Respon Berbeda .....	45
<b>Gambar 4.5</b> Pengaruh Interaksi $A \times E$ Saat Bobot Respon Berbeda .....	45
<b>Gambar 4.6</b> Pengaruh Interaksi $D \times E$ Saat Bobot Respon Berbeda .....	45

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1</b>	Data Hasil Percobaan..... 59
<b>Lampiran 2</b>	Grafik Respon Faktor Saat Bobot Respon Sama ..... 61
<b>Lampiran 3</b>	Matriks Interaksi Saat Bobot Respon Sama ..... 61
<b>Lampiran 4</b>	Grafik Respon Faktor Saat Bobot Respon Berbeda ..... 62
<b>Lampiran 5</b>	Matriks Interaksi Saat Bobot Respon Berbeda.. 62
<b>Lampiran 6</b>	Pemeriksaan Asumsi Residual IIDN ..... 63
<b>Lampiran 7</b>	<i>Triangular Table</i> untuk $L_{27}(3^{13})$ ..... 65
<b>Lampiran 8</b>	<i>Standard Linear Graphs</i> untuk $L_{27}(3^{13})$ ..... 66
<b>Lampiran 9</b>	Hasil Perhitungan Bobot dengan PCA ..... 66
<b>Lampiran 10</b>	Surat Penelitian Perusahaan..... 67
<b>Lampiran 11</b>	Surat Pernyataan Pengambilan Data..... 68
<b>Lampiran 12</b>	Surat Keterangan Pencantuman Nama Perusahaan dan Izin Publikasi ..... 69

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan pokok yang harus dipenuhi setiap individu untuk keberlangsungan hidup salah satunya adalah air. Tidak hanya individu dalam rumah tangga, air juga dibutuhkan untuk keperluan industri, sanitasi kota hingga pertanian. Dalam pemenuhannya, di setiap kabupaten/kota terdapat Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) yang merupakan unit usaha milik daerah dan bertugas sebagai penyedia air bersih bagi masyarakat, salah satunya di Kabupaten Sidoarjo. Sebagai penyedia layanan air bersih, PDAM harus selalu memperhatikan kuantitas maupun kualitas air yang diproduksi. Air yang diproduksi harus dapat memenuhi kebutuhan akan air di daerah tersebut dan kualitas air harus mencakup persyaratan kualitas air bersih yang baik untuk kesehatan. Namun pelayanan oleh PDAM Delta Tirta Sidoarjo baru mencakup 37% dari total masyarakat yang tinggal di Sidoarjo serta kualitas air yang terkadang masih kurang baik, seperti warnanya yang kecoklatan (Taufik, 2019). Padahal air yang layak konsumsi seharusnya tidak berwarna.

Sumber air baku yang digunakan oleh hampir semua penyedia air minum merupakan air permukaan, begitu pula PDAM Delta Tirta Sidoarjo. Salah satu IPA PDAM Delta Tirta Sidoarjo adalah IPA Siwalan Panji yang berada di Kecamatan Buduran. Air baku yang digunakan bersumber dari afvoer Buduran. Sebagai saluran pembuangan (afvoer) limbah industri maupun rumah tangga, kualitas air dari afvoer Buduran menjadi kurang baik, terlebih jika industri membuang limbah tanpa pengelolaan limbah yang baik. Penurunan kualitas air baku menyebabkan proses produksi air minum di IPA Siwalan Panji memerlukan perhatian yang lebih intensif agar air yang diproduksi tetap memenuhi kualitas air layak konsumsi. Air yang baik dan layak konsumsi harus memenuhi syarat kebersihan dan kesehatan, dimana standar kualitas air minum yang berlaku di Indonesia adalah Peraturan Menteri

Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Karakteristik kualitas tersebut dibagi berdasarkan sifat fisik, kimiawi, mikrobiologis, serta radioaktif. Beberapa karakteristik kualitas yang perlu diperhatikan antara lain kekeruhan dan pH. Kekeruhan merupakan salah satu karakteristik kualitas fisik, air yang keruh tidak layak untuk diminum (Effendi, dalam Mulyani, 2017). Sedangkan pH termasuk dalam karakteristik kualitas kimiawi. Nilai  $\text{pH} < 6,5$  atau  $> 9,2$  merupakan pemicu terjadinya korosi pipa dan peningkatan toksisitas suatu senyawa kimia (Sutrisno, dalam Mulyani, 2017). Sehingga pH air yang terlalu kecil maupun besar juga tidak baik jika dikonsumsi. Batas yang ditetapkan untuk kekeruhan air adalah maksimal 5 NTU, sedangkan pH yang diizinkan yaitu berkisar 6,5 – 8,5. Adapun target untuk pH adalah 7 sebagaimana kondisi pH netral air.

Pada pengolahan air, dikenal proses koagulasi dan flokulasi. Koagulasi merupakan proses penambahan koagulan pada air baku. Pada proses koagulasi, bahan kimia harus tercampur merata. Sedangkan proses flokulasi berfungsi dalam pembentukan flok sehingga flok dapat mengendap pada proses selanjutnya. Proses koagulasi dan flokulasi dipengaruhi oleh proses pengadukan dan dosis koagulan. Oleh karena itu kedua proses tersebut sangat penting dalam pengolahan air agar hasil produksi air dapat sesuai karakteristik kualitas yang diharapkan. Variabel penentu proses koagulasi dan flokulasi dapat ditentukan dengan *jar test* (Kusumawardani & Iqbal, 2013). *Jar test* secara sederhana dapat diartikan sebagai proses koagulasi-flokulasi skala laboratorium. Pada proses pengolahan air, *jar test* menjadi salah satu bagian dalam pengendalian kualitas produk secara *offline* yaitu usaha pengendalian atau perbaikan kualitas yang dimulai dari perancangan hingga proses produksi. Karena untuk menghasilkan produk yang baik, tidak hanya dengan melakukan pemeriksaan kualitas pada produk, namun juga perlu rancangan bagaimana pengolahan produk tersebut akan dilangsungkan. Tujuannya adalah dapat tercapai kualitas produk terbaik dengan meminimal-



kan penyimpangan dari target. Produk juga harus didesain agar tahan terhadap faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan. Salah satu metode yang efektif dalam pengendalian kualitas produk secara *offline* adalah metode Taguchi (Soejanto, 2009). Metode Taguchi tidak menguji semua kombinasi yang memungkinkan tetapi cukup menguji beberapa kombinasi, sehingga dapat meminimumkan waktu dan biaya. Namun metode Taguchi hanya dapat mengoptimasi proses dengan satu respon.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan optimasi multirespon dengan menggunakan pendekatan *grey relational analysis* (GRA). Taguchi dengan GRA digunakan untuk optimasi parameter proses pada *wire electro discharge machining* (WEDM). Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan *material removal rate* (MRR) tertinggi dan *surface roughness* (SR) terendah. Hasil penelitian menunjukkan metode GRA secara efektif meningkatkan kinerja permesinan pada proses WEDM (Balasubramanian & Ganapathy, 2011). Lu, Chang, Hwang, & Chung (2009) menggabungkan GRA dengan *principal component analysis* (PCA) untuk optimasi parameter pemotongan pada proses pemotongan kasar dengan alat penggilingan terakhir yang berkecepatan tinggi. Percobaan menghasilkan kesimpulan bahwa GRA digabungkan dengan PCA dapat secara efektif memperoleh kombinasi optimal dari parameter pemotongan. Sudeepan, Kumar, Barman, & Sahoo (2014) melakukan optimasi pada koefisien gesekan dan laju keausan spesifik pada sifat tribologis dari polimer *acrylonitrile-butadiene-styrene* (ABS) yang diisi dengan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Optimasi dilakukan dengan GRA dan juga menggunakan ANOVA untuk mendapatkan faktor yang paling berpengaruh pada sifat tribologis. Sedangkan penelitian mengenai optimasi proses *jar test* telah dilakukan dengan respon yang digunakan adalah kekeruhan dan pH. Optimasi dicapai pada saat dosis koagulan 35 ppm dan waktu pengadukan cepat 3 menit ketika tingkat kepentingan kedua respon diasumsikan sama. Sedangkan saat tingkat kepentingan respon diasumsikan berbeda dengan bobot kekeruhan 0,7 dan bobot pH 0,3, kondisi

optimum adalah dengan dosis koagulan 35 ppm, pengadukan cepat 150 rpm, dan waktu pengadukan cepat 3 menit. (Juliani, 2018).

Kualitas air baku di IPA Siwalan Panji paling rendah dan paling tidak stabil diantara IPA lain di PDAM Delta Tirta Sidoarjo berdasarkan kadar kekeruhannya. Sehingga berdasarkan uraian sebelumnya maka akan dilakukan penelitian di IPA Siwalan Panji PDAM Delta Tirta Sidoarjo mengenai optimasi pada proses *jar test* dengan menggunakan metode Taguchi *Grey Relational Analysis* sehingga dapat diperoleh kombinasi level yang dapat mengoptimalkan kekeruhan dan pH air secara serentak. Dua karakteristik kualitas tersebut digunakan karena keterbatasan alat untuk uji karakteristik kualitas lainnya. Faktor yang digunakan meliputi dosis koagulan, kecepatan pengadukan cepat, waktu pengadukan cepat, kecepatan pengadukan lambat, waktu pengadukan lambat, dan waktu pengendapan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian pada latar belakang, rumusan masalah yang akan dikaji pada penelitian ini adalah bagaimana kombinasi level dari faktor yang meliputi dosis koagulan, kecepatan pengadukan cepat, waktu pengadukan cepat, kecepatan pengadukan lambat, waktu pengadukan lambat, dan waktu pengendapan yang dapat menghasilkan air dengan kekeruhan dan pH sesuai yang ditargetkan serta faktor apa yang signifikan terhadap respon dan besarnya kontribusi faktor tersebut.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan kombinasi level untuk setiap faktor yang dapat memberikan hasil optimum terhadap kekeruhan dan pH air pada proses *jar test*.
2. Mendapatkan faktor serta besarnya kontribusi faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kekeruhan dan pH air pada proses *jar test*.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah wawasan bagi peneliti mengenai penerapan metode perancangan desain kualitas dalam permasalahan riil di lapangan.
2. Dapat dijadikan bahan pertimbangan bagi PDAM Delta Tirta Kabupaten Sidoarjo dalam penentuan *setting* level faktor pada proses *jar test* untuk menghasilkan kekeruhan dan pH air yang optimum.

#### **1.5 Batasan Penelitian**

Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan di IPA Siwalan Panji PDAM Delta Tirta Sidoarjo.
2. Karakteristik kualitas yang dikaji dalam penelitian meliputi kekeruhan dan pH.
3. Jenis koagulan yang digunakan dalam proses *jar test* adalah larutan PAC 1%.
4. Air baku yang digunakan dalam penelitian memiliki kadar kekeruhan  $\pm 25$  NTU.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Metode Taguchi**

Metode Taguchi dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1950-an dan dipakai aplikasinya oleh perusahaan-perusahaan manufaktur Jepang dalam rangka memperbaiki kualitas produk dan proses. Penekanannya lebih diutamakan pada produk dan proses. Metode Taguchi mengurangi variasi dalam proses melalui desain eksperimen yang kokoh (*robust*) atau tidak terpengaruh variabel *noise*. Filosofi metode Taguchi terhadap kualitas terdiri dari tiga buah konsep (Ross, 1996), yaitu:

1. Kualitas harus didesain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya.
2. Kualitas terbaik tercapai dengan meminimalkan deviasi dari target, produk harus didesain sehingga *robust* terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
3. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standard tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh tahapan hidup produk.

Metode Taguchi memiliki kelebihan dibandingkan desain eksperimen lainnya (Roy, 2001). Kelebihan tersebut adalah sebagai berikut.

1. Lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan percobaan yang melibatkan banyak faktor tetapi jumlah unit percobaan yang dilakukan relative kecil.
2. Memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk lebih konsisten dan kurang sensitif (*robust*) terhadap variabilitas yang disebabkan oleh faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan (*noise*). Hal ini disebabkan karena *robust design* memperhatikan pengaruh faktor kontrol dan faktor *noise* terhadap rata-rata variabilitas suatu performansi secara bersama-sama.
3. Menghasilkan kesimpulan mengenai faktor-faktor yang berpengaruh terhadap suatu respon dan kesimpulan mengenai

taraf-taraf faktor terbaik yang akan menghasilkan respon yang optimum.

## 2.2 *Orthogonal Array*

*Orthogonal array* adalah desain eksperimen khusus yang hanya memerlukan sejumlah kecil percobaan untuk membantu menemukan pengaruh faktor utama (Bagchi, 1993). Dengan *orthogonal array* dapat ditentukan jumlah eksperimen yang minimal namun dapat memberikan informasi mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi parameter. Proses desain eksperimen dimulai dari memilih *orthogonal array* yang sesuai, menempatkan faktor pada kolom yang sesuai, dan menentukan kondisi untuk setiap *trial* percobaan (Roy, 2001). Pemilihan jenis *orthogonal array* didasarkan pada jumlah derajat bebas total. *Orthogonal array* yang dipilih harus memiliki jumlah percobaan yang minimal sama dengan derajat bebas total faktor. Notasi untuk *orthogonal array* adalah sebagai berikut,

$$L_n(l^f) \quad (2.1)$$

dengan

$L$  = notasi rancangan bujur sangkar latin

$n$  = jumlah percobaan

$l$  = jumlah level

$f$  = jumlah faktor

## 2.3 Replikasi dan Randomisasi

Dalam pelaksanaan percobaan, beberapa hal yang juga perlu diperhatikan adalah jumlah replikasi dan randomisasi. Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Tujuan dilakukan replikasi adalah mengurangi tingkat kesalahan pada eksperimen dan memperoleh harga taksiran kesalahan eksperimen sehingga memungkinkan diadakannya uji signifikansi hasil eksperimen. Sedangkan randomisasi merupakan pengacakan urutan percobaan sehingga setiap unit percobaan memiliki kesempatan yang sama untuk dipilih selanjutnya. Randomisasi dimaksudkan untuk memperkecil pengaruh faktor-

faktor yang tidak terkendali (*noise*) dengan menyebarkan pengaruh faktor tersebut selama eksperimen. Selain itu, tujuan randomisasi adalah menjadikan uji signifikansi yang dilakukan valid dengan menghilangkan sifat bias (Soejanto, 2009).

Ada dua macam randomisasi, yaitu sebagai berikut (Peace, 1993).

### 1. Repetisi

Pada randomisasi dengan repetisi, setiap nomor percobaan memiliki kesempatan yang sama untuk dipilih, dimana percobaan yang dimaksudkan adalah percobaan dengan pengulangan yang telah direncanakan. Dengan kata lain, satu nomor percobaan dilakukan hingga pengulangan sebanyak yang diinginkan, kemudian dilanjutkan percobaan yang terpilih setelahnya.

### 2. Replikasi

Pada tipe ini, urutan acak dilakukan pada setiap observasi yang direncanakan. Sehingga pengacakan tidak hanya pada nomor percobaan, namun juga pada pengulangannya. Hal ini menyebabkan perlu untuk dilakukan *setup* alat maupun bahan pada setiap percobaan. Prosedur ini dapat meningkatkan biaya dan waktu percobaan. Namun, dengan prosedur ini dapat melindungi terhadap bias dari kesalahan antar eksperimen maupun dalam eksperimen. Kesalahan yang terkait perubahan *setup* akan terdistribusi secara merata antar berbagai titik data.

Apabila sebuah percobaan dengan *orthogonal array*  $L_8(2^7)$  dan pengulangan sebanyak 5 kali, maka urutan percobaan dengan repetisi dapat dilakukan sesuai Tabel 2.1. Sedangkan urutan percobaan dengan replikasi dapat dilakukan sesuai Tabel 2.2.

**Tabel 2. 1** Randomisasi dengan Repetisi

Y <sub>21</sub>	Y <sub>22</sub>	Y <sub>23</sub>	Y <sub>24</sub>	Y <sub>25</sub>
Y <sub>11</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>13</sub>	Y <sub>14</sub>	Y <sub>15</sub>
Y <sub>51</sub>	Y <sub>52</sub>	Y <sub>53</sub>	Y <sub>54</sub>	Y <sub>55</sub>
Y <sub>71</sub>	Y <sub>72</sub>	Y <sub>73</sub>	Y <sub>74</sub>	Y <sub>75</sub>
Y <sub>31</sub>	Y <sub>32</sub>	Y <sub>33</sub>	Y <sub>34</sub>	Y <sub>35</sub>
Y <sub>81</sub>	Y <sub>82</sub>	Y <sub>83</sub>	Y <sub>84</sub>	Y <sub>85</sub>
Y <sub>41</sub>	Y <sub>42</sub>	Y <sub>43</sub>	Y <sub>44</sub>	Y <sub>45</sub>
Y <sub>61</sub>	Y <sub>62</sub>	Y <sub>63</sub>	Y <sub>64</sub>	Y <sub>65</sub>

**Tabel 2. 2** Randomisasi dengan Replikasi

Y81	Y21	Y11	Y22	Y41
Y23	Y51	Y12	Y31	Y61
Y32	Y33	Y13	Y52	Y71
Y14	Y82	Y62	Y24	Y72
Y53	Y54	Y63	Y73	Y42
Y15	Y83	Y64	Y43	Y34
Y84	Y65	Y44	Y45	Y25
Y55	Y74	Y85	Y75	Y35

#### 2.4 Signal to Noise Ratio (SN Ratio)

*Signal to Noise Ratio (SN Ratio)* merupakan prediktor *quality loss* yang mengisolasi sensitivitas fungsi produk terhadap faktor *noise* dan dapat menentukan *robustness* (Bagchi, 1993). *SN Ratio* digunakan untuk melihat karakteristik kualitas suatu percobaan, dimana karakteristik kualitas ada tiga, yaitu *nominal is the best*, *smaller the better*, dan *larger the better*. Pada penelitian ini karakteristik kualitas yang digunakan ada dua, yaitu *smaller the better* untuk respon kekeruhan dan *nominal is the best* untuk pH.

1. *Smaller the Better*, artinya karakteristik kualitas yang semakin kecil adalah nilai yang diinginkan. Kriteria ini memiliki rentang nilai nol dan non negatif. Dengan  $k$  adalah pengulangan yang dilakukan, maka *SN Ratio* untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan berikut (Roy, 2001).

$$SN = -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (y_k)^2 \right] \quad (2.2)$$

2. *Nominal is the Best* merupakan karakteristik kualitas dengan nilai target tidak nol dan terbatas sehingga nilai yang mendekati target adalah nilai yang diinginkan. Apabila  $y_0$  adalah target yang diinginkan, maka *SN Ratio* untuk setiap respon percobaan dapat dihitung dengan persamaan berikut (Roy, 2001).

$$SN = -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (y_k - y_0)^2 \right] \quad (2.3)$$



## 2.5 Grey Relational Analysis (GRA)

Metode *Grey Relational Analysis* (GRA) merupakan pendekatan yang dapat digunakan pada metode Taguchi untuk melakukan optimasi multirespon secara serentak. GRA diawali dengan teori *Grey* yang didasarkan pada ketidakpastian acak dari sampel kecil yang dikembangkan menjadi teknik evaluasi untuk memecahkan permasalahan dengan data dan informasi minimum (Balasubramanian & Ganapathy, 2011). Jika dalam sebuah sistem, “hitam” mewakili informasi yang tidak diketahui, “putih” sebagai informasi yang diketahui, maka “abu-abu” untuk informasi yang sebagian diketahui dan sebagian tidak diketahui. Dalam kegiatan sosial, ekonomi, industri, pertanian dan sebagainya, sulit untuk mendapatkan kondisi yang melibatkan informasi dengan lengkap (Sen & Demiral, 2016). Informasi yang tidak lengkap mendasari penggunaan teori *Grey*.

Metode Taguchi pada dasarnya digunakan untuk optimasi dengan satu respon. Pada GRA, optimasi dengan multirespon diubah menjadi satu respon. Langkah-langkah optimasi metode Taguchi menggunakan GRA adalah sebagai berikut.

### 1. Menghitung *SN Ratio*

Perhitungan *SN Ratio* dilakukan sesuai dengan karakteristik kualitas masing-masing respon berdasarkan Persamaan (2.2) dan (2.3).

### 2. Melakukan normalisasi *SN Ratio*

Normalisasi *SN Ratio* dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$X_i^*(j) = \frac{X_i(j) - \min X_i(j)}{\max X_i(j) - \min X_i(j)} \quad (2.4)$$

dengan

$X_i^*(j)$  = *SN ratio* percobaan ke-*i* respon ke-*j* yang dinormalisasi

$X_i(j)$  = *SN ratio* percobaan ke-*i* respon ke-*j*

$\max X_i(j)$  = nilai terbesar  $X_i(j)$  respon ke-*j*

$\min X_i(j)$  = nilai terkecil  $X_i(j)$  respon ke-*j*

### 3. Menghitung *deviation sequence*

*Deviation sequence* adalah selisih absolut antara nilai maksimum normalisasi dengan data yang telah dinormalisasi. Persamaan untuk menentukan *deviation sequence* adalah sebagai berikut (Sylajakumari, Ramakrishnasamy, & Palaniappan, 2018),

$$\Delta_{0,i}(j) = |X_0^*(j) - X_i^*(j)| \quad (2.5)$$

dengan

$\Delta_{0,i}(j)$  = *deviation sequence* percobaan ke- $i$  respon ke- $j$

$X_0^*(j)$  = nilai maksimum normalisasi yaitu 1

### 4. Menghitung *Grey Relational Coefficient*

*Grey Relational Coefficient* (GRC) menunjukkan hubungan antara kondisi yang ideal dengan kondisi aktual dari respon yang dinormalisasi. Persamaan untuk mendapatkan nilai GCR adalah sebagai berikut (Sylajakumari dkk, 2018),

$$\xi_i(j) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta\Delta_{\max}}{\Delta_{0,i}(j) + \zeta\Delta_{\max}} \quad (2.6)$$

dengan

$\xi_i(j)$  = GRC percobaan ke- $i$  respon ke- $j$

$\Delta_{\min}$  = nilai minimum *deviation sequence* masing-masing respon

$\Delta_{\max}$  = nilai maksimum *deviation sequence* masing-masing respon

$\zeta$  = *distinguishing coefficient* memiliki rentang nilai 0 – 1, namun pada umumnya yang digunakan adalah 0,5

### 5. Menghitung nilai *Grey Relational Grade*

Nilai *Grey Relational Grade* (GRG) digunakan sebagai indeks performansi untuk menentukan kombinasi level optimum. Nilai GRG diperoleh dari rata-rata nilai GRC. Nilai GRG dapat dihitung dengan persamaan berikut (Mehat, Kamaruddin, & Othman, 2014).

$$\gamma_i = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \xi_i(j) \quad (2.7)$$

Namun, pada aplikasi di kondisi riil, efek setiap respon pada sistem belum tentu sama. Sehingga Persamaan (2.7) dapat dimodifikasi menjadi,

$$\gamma_i = \sum_{j=1}^J \omega_j \xi_i(j) \quad (2.8)$$

Dengan  $\omega_j$  adalah bobot untuk respon ke- $j$  (Mehat dkk, 2014).

Penentuan kombinasi level faktor optimum dapat dilakukan dengan membuat tabel rata-rata respon dari nilai GRG. Tabel rata-rata respon dapat digunakan untuk menentukan faktor yang memiliki efek paling kuat terhadap respon (Peace, 1993).

**Tabel 2. 3** Tabel Rata-Rata Respon GRG

<b>Faktor</b>	<b>Level 1</b>	<b>Level 2</b>	<b>...</b>	<b>Level N</b>	<b>Selisih</b>
1	$\bar{\gamma}_{1,1}$	$\bar{\gamma}_{1,2}$	...	$\bar{\gamma}_{1,N}$	$\bar{\gamma}_{1 \max} - \bar{\gamma}_{1 \min}$
2	$\bar{\gamma}_{2,1}$	$\bar{\gamma}_{2,2}$	...	$\bar{\gamma}_{2,N}$	$\bar{\gamma}_{2 \max} - \bar{\gamma}_{2 \min}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
M	$\bar{\gamma}_{M,1}$	$\bar{\gamma}_{M,2}$	...	$\bar{\gamma}_{M,N}$	$\bar{\gamma}_{M \max} - \bar{\gamma}_{M \min}$

$\bar{\gamma}_{M,N}$  merupakan rata-rata nilai GRG berdasarkan faktor  $M$  pada level  $N$ . Grafik respon dapat dibuat berdasarkan tabel rata-rata respon untuk memudahkan pemilihan level dari faktor yang menghasilkan respon optimum secara visual.

#### 6. Memprediksi nilai *Grey Relational Grade* hasil optimasi

Setelah diperoleh kombinasi level faktor yang menghasilkan respon optimum, selanjutnya menghitung nilai prediksi GRG menggunakan rumus sebagai berikut (Sylajakumari dkk, 2018),

$$\hat{\gamma} = \bar{\gamma} + \sum_{l=1}^L (\bar{\gamma}_l - \bar{\gamma}) \quad (2.9)$$

dengan

$\bar{\gamma}$  = rata-rata keseluruhan GRG

$\bar{\gamma}_l$  = rata-rata GRG pada level optimum

$l$  = faktor yang berpengaruh signifikan

## 2.6 Analysis of Varians (ANOVA)

*Analysis of variance* (ANOVA) digunakan untuk menentukan faktor dan interaksi yang berpengaruh signifikan terhadap respon (Sudepan, 2014). Jika pada sebuah percobaan terdapat faktor  $A$  dan  $B$ , dengan interaksi  $A \times B$ , maka *sum square* untuk masing-masing faktor dapat dihitung dengan persamaan berikut (Ross, 1996).

$$SS_T = \left[ \sum_{j=1}^N y_j^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.10)$$

$$SS_A = \left[ \sum_{i=1}^{k_A} \left( \frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.11)$$

$$SS_B = \left[ \sum_{i=1}^{k_B} \left( \frac{B_i^2}{n_{B_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_{A \times B} = \left[ \sum_{i=1}^c \left( \frac{(A \times B)_i^2}{n_{A \times B_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} - SS_A - SS_B \quad (2.12)$$

Total *sum of square* dapat dituliskan sebagai,

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{A \times B} + SS_e \quad (2.13)$$

sehingga didapat,

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{A \times B} \quad (2.14)$$

dengan,

$y_j$  = respon observasi ke- $j$

$T$  = respon observasi keseluruhan

$A_i$  = respon faktor  $A$  level ke- $i$

$B_i$  = respon faktor  $B$  level ke- $i$

$(A \times B)_i$  = respon interaksi  $A \times B$  level ke- $i$

$N$  = jumlah observasi

$n_A$  = jumlah observasi faktor  $A$  level ke- $i$

$n_B$  = jumlah observasi faktor  $B$  level ke- $i$

$n$  = jumlah observasi interaksi  $A \times B$  level ke- $i$

$k_A$  = banyak level faktor  $A$

$k_B$  = banyak level faktor  $B$

$c$  = banyak kombinasi level faktor  $A \times B$

Hipotesis pengujian dalam suatu percobaan adalah,

$H_0$ : tidak ada pengaruh perlakuan

$H_1$ : ada pengaruh perlakuan

Pada masing-masing faktor, keputusan diambil berdasarkan pada nilai  $F_{hitung}$  yang dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$F_{hitung} = \frac{MS_{faktor}}{MS_e} \quad (2.15)$$

dengan,

$$MS_{faktor} = \frac{SS_{faktor}}{df_{faktor}} \quad (2.16)$$

$F_{hitung}$  atau disebut juga *F-ratio*, merupakan rasio varians karena pengaruh faktor dengan varians karena *error*. Nilai ini digunakan untuk mengukur signifikansi dari parameter yang diselidiki pada tingkat signifikansi yang diinginkan,  $\alpha$ . Jika nilai  $F_{hitung} > F_{\alpha(df_1, df_2)}$ , maka keputusan yang diambil adalah menolak  $H_0$ , yang artinya ada pengaruh faktor terhadap respon, dengan kata lain faktor tersebut signifikan pada tingkat  $\alpha$  yang diinginkan. Secara umum, ketika nilai  $F_{hitung}$  meningkat, signifikansi parameter juga meningkat (Ghosh, Sahoo, & Sutradar, 2013).  $F_{\alpha(df_1, df_2)}$  merupakan suatu nilai tertentu dalam tabel distribusi F pada tingkat signifikansi  $\alpha$ , dengan  $df_1$  menunjukkan derajat bebas faktor atau interaksi yang bersangkutan, sedangkan  $df_2$  merupakan derajat bebas dari *error*. Faktor yang lulus uji signifikansi dianggap signifikan, sedangkan faktor yang tidak signifikan biasanya diperlakukan seolah-olah tidak ada. Proses mengabaikan faktor yang tidak signifikan disebut *pooling*, yang dilakukan dengan menggabungkan faktor yang tidak signifikan dengan *error*. *Pooling* menjadi langkah merevisi dan menaksir ulang hasil ANOVA (Roy, 2001). Strategi *pooling* cenderung memaksimalkan faktor yang dipertimbangkan signifikan. Dengan keputusan

signifikan faktor-faktor tersebut akan digunakan dalam percobaan atau desain produk/proses selanjutnya (Soejanto, 2009). Secara sederhana, *analysis of varians* dapat ditulis dalam bentuk tabel yang disebut tabel ANOVA dan ditunjukkan pada Tabel 2.4.

**Tabel 2. 4** Tabel ANOVA

Sumber	SS	df	MS	F
A	$SS_A$	$df_A$	$\frac{SS_A}{df_A}$	$\frac{MS_A}{MS_e}$
B	$SS_B$	$df_B$	$\frac{SS_B}{df_B}$	$\frac{MS_B}{MS_e}$
$A \times B$	$SS_{A \times B}$	$df_{A \times B}$	$\frac{SS_{A \times B}}{df_{A \times B}}$	$\frac{MS_{A \times B}}{MS_e}$
Error	$SS_e$	$df_{total} - df_A - df_B - df_{A \times B}$	$\frac{SS_e}{df_e}$	
total	$SS_T$	$N - 1$		

Derajat bebas ( $df$ ) faktor didapatkan dari banyaknya level faktor dikurangi 1. Sedangkan derajat bebas interaksi didapatkan dari perkalian antara derajat bebas faktor-faktor dalam interaksi yang bersangkutan.

Sedangkan untuk mendapatkan besarnya kontribusi suatu faktor dapat dihitung dengan membagi *pure sum square* faktor terhadap *sum square total* (Roy, 2001). *Pure sum square* dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 SS'_A &= SS_A - (df_A \times MS_e) \\
 SS'_B &= SS_B - (df_B \times MS_e) \\
 SS'_{A \times B} &= SS_{A \times B} - (df_{A \times B} \times MS_e) \\
 SS'_e &= SS_e - (df_A + df_B + df_{A \times B})MS_e
 \end{aligned} \tag{2.17}$$

Sehingga besarnya kontribusi faktor dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 \rho_A &= \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \\
 \rho_B &= \frac{SS'_B}{SS_T} \times 100\% \\
 \rho_{A \times B} &= \frac{SS'_{A \times B}}{SS_T} \times 100\% \\
 \rho_e &= \frac{SS'_e}{SS_T} \times 100\%
 \end{aligned}
 \tag{2.18}$$

## 2.7 Jar Test

*Jar test* merupakan simulasi dari proses pengolahan air skala penuh, sehingga operator dapat menggunakan *jar test* untuk menentukan perlakuan yang paling baik sesuai air baku sistem. Alat untuk melakukan *jar test* adalah flokulator. *Jar test* memerlukan penyesuaian jumlah koagulan dan urutan pencampurannya dengan air sampel. Setelah *jar test* selesai, dilakukan serangkaian tes untuk membandingkan efek dari berbagai perlakuan sehingga akan diperoleh perlakuan yang dapat menghasilkan air dengan karakteristik kualitas paling baik. *Jar test* harus dilakukan secara periodik, meskipun tidak ada persyaratan khusus seberapa sering *jar test* harus dilakukan, akan tetapi semakin sering dilakukan, semakin baik pabrik akan beroperasi. Optimalisasi adalah kunci menjalankan instalasi lebih efisien (Satterfield, 2005).

*Jar test* menjadi uji skala laboratorium yang mencakup proses koagulasi-flokulasi. Proses koagulasi-flokulasi hanya dapat berlangsung jika ada pengadukan. Koagulasi merupakan proses penambahan bahan kimia ke dalam air, menyebabkan pengurangan kekuatan yang cenderung membuat partikel terpisah. Partikel dalam air berada dalam kondisi stabil. Tujuan koagulasi adalah untuk mengacaukan partikel dan memungkinkan partikel-partikel tersebut melekat pada partikel lain sehingga dapat dihilangkan pada proses selanjutnya. Proses koagulasi secara fisik terjadi dalam proses pengadukan cepat. Tujuan pengadukan cepat adalah untuk

memberikan dispersi yang seragam dari koagulan di seluruh air dalam percobaan. Sedangkan flokulasi adalah aglomerasi partikel kecil dan koloid untuk membentuk partikel yang dapat diendapkan atau disaring (flok). Proses ini dimaksudkan untuk meningkatkan kontak partikel yang tidak stabil dan untuk membangun partikel flok dengan ukuran, kepadatan, dan kekuatan optimum. Flokulasi terjadi dengan proses pengadukan lambat (AWWA & ASCE, 2005).



**Gambar 2. 1** Alat Jar Test

## 2.8 Air Minum

Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Air minum yang aman bagi kesehatan harus memenuhi persyaratan berdasarkan parameter-parameter yang telah ditetapkan. Dalam PERMENKES RI Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 telah dijabarkan mengenai parameter kualitas air meliputi sifat fisika, mikrobiologis, kimiawi, dan radioaktif. Sehingga penyelenggara air minum, baik badan usaha milik negara/daerah atau lainnya harus selalu memperhatikan kualitas air produksinya. Pengawasan kualitas air minum dilakukan oleh Dinas Kesehatan Kabupaten/Kota maupun penyelenggara air minum itu sendiri meliputi inspeksi sanitasi, pengambilan sampel air, pengujian kualitas air, analisis hasil pemeriksaan laboratorium, rekomendasi, dan tindak lanjut (KEMENKES RI, 2010).



Pada penelitian ini, karakteristik kualitas yang diukur adalah kekeruhan dan pH. Keduanya termasuk dalam parameter wajib dalam persyaratan kualitas air minum, dimana kekeruhan merupakan parameter fisik, sedangkan pH merupakan parameter kimiawi.

- a. Kekeruhan merupakan sifat air yang menggambarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dihamburkan oleh padatan tersuspensi dan koloid yang terkandung di dalamnya. Kekeruhan yang tinggi dapat menyulitkan penyaringan dan mengurangi efektivitas desinfeksi. Air yang keruh juga tidak layak untuk diminum (Effendi, dalam Mulyani, 2017). Metode yang paling sensitif dan dapat digunakan untuk pengukuran semua tingkat kekeruhan adalah metode nefelometrik dengan menggunakan turbidimeter ataupun spektrofotometer (Mulyani, 2017). Satuan untuk ukuran kekeruhan adalah *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU).



**Gambar 2. 2** Turbidimeter

- b. pH larutan didefinisikan sebagai minus logaritma konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ). Nilainya merupakan petunjuk tingkat asam atau basa suatu larutan. Pengontrolan nilai pH terutama pada air hasil olahan penting untuk dilakukan. Nilai pH < 6,5 atau > 9,2 merupakan pemicu terjadinya korosi pada pipa dan peningkatan sifat toksisitas suatu senyawa kimia (Sutrisno, dalam Mulyani, 2017). Metode analisis pH yang paling akurat adalah melalui pengukuran aktivitas ion  $H^+$  secara potensio-

metri/elektrometri menggunakan pH meter (Mulyani, 2017). Selain menggunakan pH meter, mengukur pH air juga dapat dilakukan dengan menggunakan kertas lakmus maupun indikator tetes. Pada penelitian ini, pengujian pH air dilakukan menggunakan kertas lakmus.



**Gambar 2. 3** Kertas Lakmus

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer yang didapatkan dari hasil percobaan *jar test* di IPA Siwalan Panji PDAM Delta Tirta Kabupaten Sidoarjo. Percobaan dilakukan pada tanggal 11 – 27 April 2019.

### 3.2 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini variabel yang digunakan adalah variabel respon dan variabel proses. Dua variabel respon yang digunakan adalah kekeruhan dan pH, sedangkan untuk variabel proses yang digunakan ada enam. Adapun keterangan mengenai variabel penelitian yang digunakan disajikan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3. 1** Variabel Penelitian

Variabel	Nama Variabel	Spesifikasi	Satuan	Skala
$Y_1$	Kekeruhan	$\leq 5$	NTU	Rasio
$Y_2$	pH	6,5 – 8,5	-	Interval
$A$	Dosis Koagulan	-	ppm	Ordinal
$B$	Kecepatan Pengadukan Cepat	-	rpm	Ordinal
$C$	Waktu Pengadukan Cepat	-	menit	Ordinal
$D$	Kecepatan Pengadukan Lambat	-	rpm	Ordinal
$E$	Waktu Pengadukan Lambat	-	menit	Ordinal
$F$	Waktu Pengendapan	-	menit	Ordinal

### 3.3 Rancangan Percobaan dan Struktur Data

Variabel proses yang digunakan pada penelitian ini terdapat enam faktor yaitu,  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$ , dan  $F$  dengan masing-masing terdiri dari 3 level. Penggunaan 3 level diduga telah memberikan informasi yang cukup jika terdapat ketidakpastian tentang banyak level yang harus dipilih (Soejanto, 2009). Dosis koagulan merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi efisiensi proses koagulasi-flokulasi (Suprihatin dan Suparno, dalam Mulyani,

2017). Selain itu pada pengadukan lambat terjadi pembentukan flok dengan ukuran, kepadatan, dan kekuatan optimum (AWWA & ASCE, 2005), yang menjadikan flok mudah mengendap pada proses selanjutnya. Sehingga proses ini dianggap penting dalam proses penjernihan air. Oleh karena itu, beberapa interaksi yang dipertimbangkan yaitu  $A \times D$ ,  $A \times E$ , dan  $D \times E$ . Sedangkan penentuan level setiap faktor didasarkan pada kondisi *existing* serta batas yang diizinkan perusahaan dan disesuaikan dengan ketentuan Badan Standardisasi Nasional tentang metode pengujian koagulasi-flokulasi dengan cara jar (BSN, 2000). Tabel 3.2 merupakan penjabaran level pada masing-masing faktor.

**Tabel 3. 2** Level Faktor

Variabel	Faktor	Level Faktor
A	Dosis Koagulan	$A_1 = 50$
		$A_2 = 80$
		$A_3 = 100$
B	Pengadukan Cepat	$B_1 = 110$
		$B_2 = 120$
		$B_3 = 130$
C	Waktu Pengadukan Cepat	$C_1 = 1$
		$C_2 = 2$
		$C_3 = 3$
D	Pengadukan Lambat	$D_1 = 30$
		$D_2 = 40$
		$D_3 = 50$
E	Waktu Pengadukan Lambat	$E_1 = 15$
		$E_2 = 20$
		$E_3 = 25$
F	Waktu Pengendapan	$F_1 = 15$
		$F_2 = 30$
		$F_3 = 45$

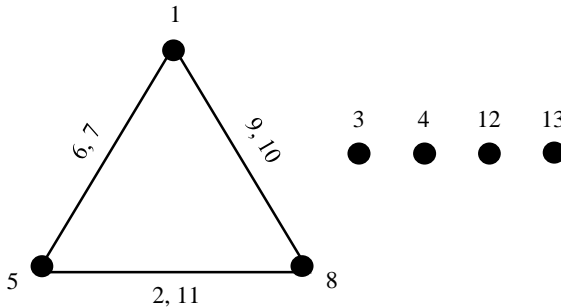
Berdasarkan level dari masing-masing faktor yang digunakan, didapatkan derajat bebas penelitian sesuai Tabel 3.3. Derajat bebas penelitian yang didapatkan pada enam faktor dengan masing-masing terdiri dari 3 level dan tiga interaksi adalah 24.

**Tabel 3. 3** Derajat Bebas Variabel Proses

Variabel	Derajat Bebas
A	$3-1 = 2$
B	$3-1 = 2$
C	$3-1 = 2$
D	$3-1 = 2$
E	$3-1 = 2$
F	$3-1 = 2$
A×D	$(3-1) \times (3-1) = 4$
A×E	$(3-1) \times (3-1) = 4$
D×E	$(3-1) \times (3-1) = 4$
<b>Total</b>	<b>24</b>

Beberapa macam *orthogonal array* untuk penelitian dengan 3 level pada masing-masing faktor antara lain  $L_9(3^4)$ ,  $L_{27}(3^{13})$ , dan  $L_{81}(3^{40})$ . Pemilihan *orthogonal array* didasarkan pada jumlah derajat bebas total penelitian, dimana *orthogonal array* yang dipilih harus memiliki derajat bebas yang lebih besar atau sama dengan derajat bebas total penelitian. Dengan kata lain, jumlah percobaan tidak boleh kurang dari derajat bebas total penelitian. Sehingga *orthogonal array* yang sesuai untuk penelitian ini adalah  $L_{27}(3^{13})$ , artinya terdapat 13 faktor dengan masing-masing terdiri dari 3 level dan percobaan yang harus dilakukan sebanyak 27. Percobaan dilakukan dalam urutan acak dengan pengulangan yang dilakukan adalah sebanyak 3 kali dan mengikuti aturan repetisi. Adapun posisi faktor-faktor dalam *orthogonal array* ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Penempatan faktor dan interaksi faktor pada kolom dalam *orthogonal array* disesuaikan dengan *linear graphs* dan *triangular table* untuk  $L_{27}(3^{13})$ . Gambar 3.1 merupakan *linear graphs* yang digunakan. Sedangkan *triangular table* untuk  $L_{27}(3^{13})$  dapat dilihat pada Lampiran 7.



**Gambar 3. 1** Linear Graphs  $L_{27}(3^{13})$

*Linear graphs* pada Gambar 3.1 merupakan *linear graphs* yang telah dimodifikasi dari *linear graphs* standar  $L_{27}(3^{13})$  yang sesuai dengan penelitian. Bulatan menunjukkan faktor utama, sedangkan garis yang menghubungkan dua bulatan menunjukkan interaksi antarfaktor utama yang bersangkutan. Interaksi yang dipertimbangkan adalah interaksi antara faktor  $A$ ,  $D$ , dan  $E$ , sehingga faktor-faktor tersebut masing-masing menempati kolom 1, 5, dan 8. Sedangkan interaksi  $A \times D$  menempati kolom 6 dan 7, interaksi  $A \times E$  berada di kolom 9 dan 10, serta interaksi  $D \times E$  di kolom 2 dan 11. Adapun 3 faktor lainnya, yaitu  $B$ ,  $C$ , dan  $F$  masing-masing menempati kolom 3, 4, dan 12.

Percobaan *jar test* dilakukan sebanyak 27 kali dengan kombinasi level faktor untuk setiap percobaan merujuk pada Tabel 3.5. Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan dalam percobaan *jar test* sesuai Tabel 3.4.

**Tabel 3. 4** Alat dan Bahan Percobaan

Alat	Bahan
Flokulator	Air baku
<i>Beaker glass</i> 1000 ml	Koagulan
<i>Beaker glass</i> 100 ml	Aquades
Pipet	
<i>Erlenmeyer</i>	
Turbidimeter	
Kertas Lakmus	
Tisu	
Ember	

Percobaan *jar test* dilakukan oleh peneliti dengan didampingi operator laboratorium di IPA Siwalan Panji PDAM Delta Tirta Kabupaten Sidoarjo. Adapun langkah dalam melakukan percobaan *jar test* adalah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan alat dan bahan percobaan.
2. Mengisi 3 *beaker glass* dengan air baku masing-masing 1 L.
3. Memberikan koagulan pada setiap *beaker glass* sesuai dosis yang diinginkan (Tabel 3.2).
4. Mulai dengan melakukan pengadukan cepat dengan kecepatan dan waktu yang telah ditetapkan (Tabel 3.2).
5. Melakukan pengadukan lambat sesuai kecepatan dan waktu yang ditetapkan (Tabel 3.2).
6. Mematikan flokulator dan diamankan untuk menunggu proses pengendapan sesuai waktu yang ditetapkan (Tabel 3.2).
7. Mengukur pH air dengan mencelupkan kertas lakmus pada air di masing-masing *beaker glass*, angkat lalu tunggu beberapa detik hingga kertas lakmus berubah warna. Bandingkan warna yang didapat dengan indikator warna yang telah tersedia pada kemasan kertas lakmus.
8. Mengambil sampel air masing-masing *beaker glass* pada botol sampel lalu ukur kadar kekeruhannya dengan turbidimeter.

Langkah 2 – 8 dilakukan pada masing-masing kombinasi level percobaan.

**Tabel 3. 5** *Orthogonal Array* dan Struktur Data

Variabel													Kekeruhan			pH		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	1	2	3	1	2	3
<i>A</i>	<i>D</i> × <i>E</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>A</i> × <i>D</i>	<i>A</i> × <i>D</i>	<i>E</i>	<i>A</i> × <i>E</i>	<i>A</i> × <i>E</i>	<i>D</i> × <i>E</i>	<i>F</i>							
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<i>Y</i> <sub>1,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>1,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>1,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>1,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>1,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>1,2,3</sub>
1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	<i>Y</i> <sub>2,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>2,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>2,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>2,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>2,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>2,2,3</sub>
1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	<i>Y</i> <sub>3,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>3,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>3,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>3,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>3,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>3,2,3</sub>
1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	<i>Y</i> <sub>4,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>4,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>4,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>4,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>4,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>4,2,3</sub>
1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	<i>Y</i> <sub>5,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>5,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>5,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>5,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>5,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>5,2,3</sub>
1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	<i>Y</i> <sub>6,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>6,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>6,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>6,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>6,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>6,2,3</sub>
1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	<i>Y</i> <sub>7,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>7,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>7,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>7,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>7,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>7,2,3</sub>
1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	<i>Y</i> <sub>8,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>8,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>8,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>8,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>8,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>8,2,3</sub>
1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	<i>Y</i> <sub>9,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>9,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>9,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>9,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>9,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>9,2,3</sub>
2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	<i>Y</i> <sub>10,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>10,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>10,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>10,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>10,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>10,2,3</sub>
2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	<i>Y</i> <sub>11,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>11,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>11,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>11,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>11,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>11,2,3</sub>
2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	<i>Y</i> <sub>12,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>12,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>12,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>12,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>12,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>12,2,3</sub>
2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	<i>Y</i> <sub>13,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>13,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>13,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>13,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>13,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>13,2,3</sub>
2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	<i>Y</i> <sub>14,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>14,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>14,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>14,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>14,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>14,2,3</sub>
2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	<i>Y</i> <sub>15,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>15,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>15,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>15,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>15,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>15,2,3</sub>
2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	<i>Y</i> <sub>16,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>16,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>16,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>16,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>16,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>16,2,3</sub>
2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	<i>Y</i> <sub>17,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>17,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>17,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>17,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>17,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>17,2,3</sub>
2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	<i>Y</i> <sub>18,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>18,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>18,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>18,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>18,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>18,2,3</sub>
3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	<i>Y</i> <sub>19,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>19,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>19,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>19,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>19,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>19,2,3</sub>
3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	<i>Y</i> <sub>20,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>20,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>20,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>20,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>20,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>20,2,3</sub>
3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	<i>Y</i> <sub>21,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>21,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>21,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>21,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>21,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>21,2,3</sub>
3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	<i>Y</i> <sub>22,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>22,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>22,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>22,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>22,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>22,2,3</sub>
3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	<i>Y</i> <sub>23,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>23,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>23,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>23,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>23,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>23,2,3</sub>
3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	<i>Y</i> <sub>24,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>24,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>24,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>24,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>24,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>24,2,3</sub>
3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	<i>Y</i> <sub>25,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>25,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>25,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>25,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>25,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>25,2,3</sub>
3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	<i>Y</i> <sub>26,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>26,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>26,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>26,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>26,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>26,2,3</sub>
3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	<i>Y</i> <sub>27,1,1</sub>	<i>Y</i> <sub>27,1,2</sub>	<i>Y</i> <sub>27,1,3</sub>	<i>Y</i> <sub>27,2,1</sub>	<i>Y</i> <sub>27,2,2</sub>	<i>Y</i> <sub>27,2,3</sub>



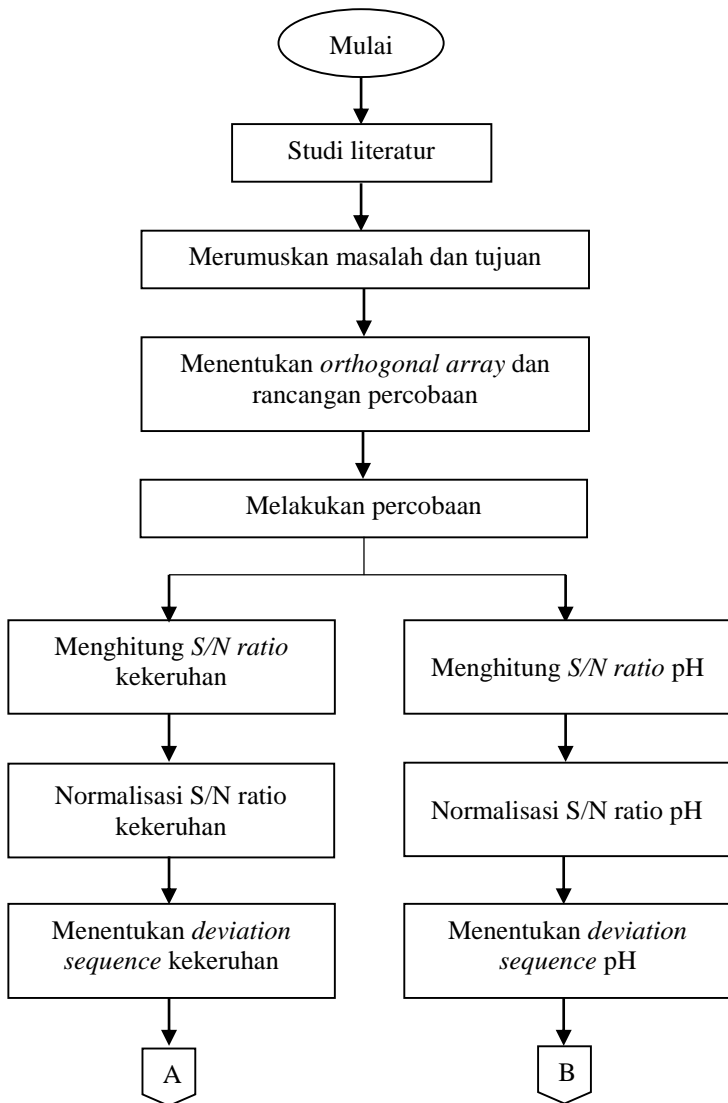
### 3.4 Langkah Penelitian

Langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

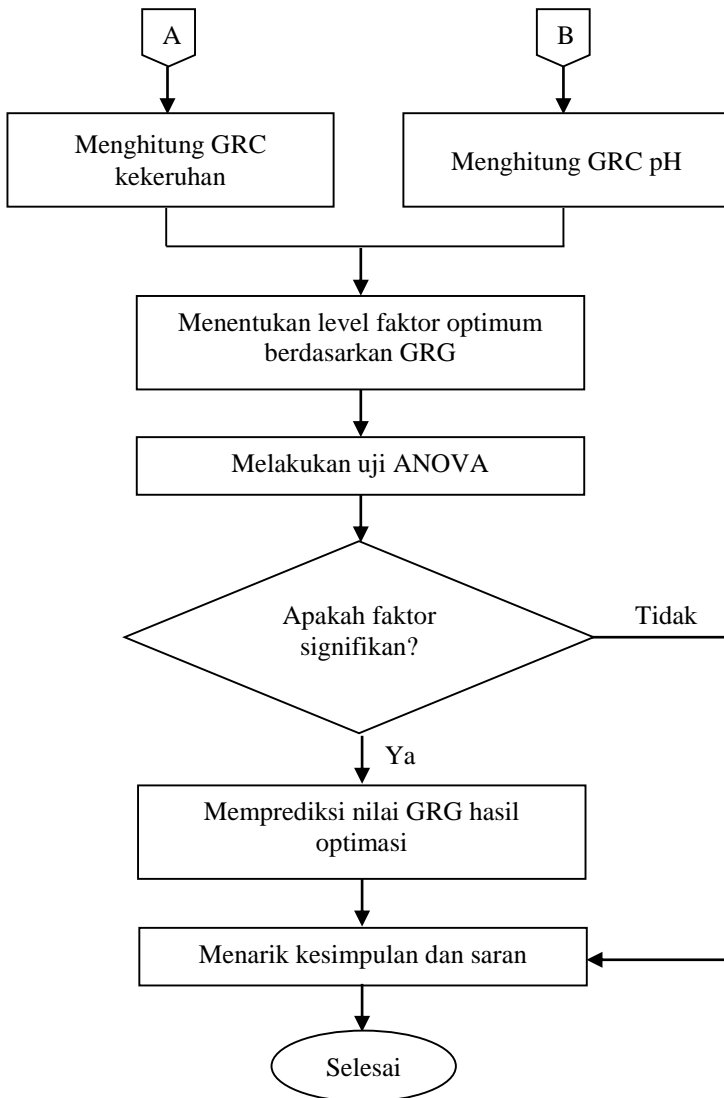
- a. Melakukan studi literatur.
- b. Merumuskan masalah dan tujuan.
- c. Menentukan *orthogonal array* dan rancangan percobaan yang digunakan.
- d. Melakukan percobaan *jar test* sesuai subbab 3.3.
- e. Menghitung *SN ratio* untuk masing-masing respon dengan persamaan (2.2) untuk kekeruhan dan persamaan (2.3) untuk pH.
- f. Normalisasi *SN ratio* masing-masing respon dengan persamaan (2.4).
- g. Menentukan *deviation sequence* masing-masing respon menggunakan persamaan (2.5).
- h. Menentukan *grey relational coefficient* (GRC) masing-masing respon dengan persamaan (2.6).
- i. Menggabungkan dua respon menjadi satu nilai *grey relational grade* (GRG). Perhitungan GRG dilakukan pada dua kondisi yaitu saat bobot respon dianggap sama menggunakan persamaan (2.7) dan saat bobot respon dianggap berbeda dengan persamaan (2.8).
- j. Menentukan kombinasi optimum dengan nilai GRG menggunakan tabel rata-rata respon (Tabel 2.3).
- k. Melakukan *Analysis of Variance* untuk menentukan faktor yang berpengaruh signifikan terhadap respon.
- l. Memprediksi nilai GRG hasil optimasi menggunakan persamaan (2.9).
- m. Membuat kesimpulan dan saran.

### 3.5 Diagram Alir

Secara umum, langkah penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya dapat ditulis dalam bentuk diagram alir yang ditampilkan pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



**Gambar 3. 2** Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3. 3** Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakteristik Data

Data yang digunakan dalam analisis merupakan data kekeruhan dan pH air yang didapatkan dari hasil percobaan *jar test*. Banyak percobaan yang dilakukan adalah 27 kali dengan masing-masing dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Adapun faktor-faktor yang digunakan pada percobaan *jar test* adalah dosis koagulan, kecepatan pengadukan cepat, waktu pengadukan cepat, kecepatan pengadukan lambat, waktu pengadukan lambat, serta waktu pengendapan. Beberapa faktor interaksi juga dipertimbangkan, diantaranya interaksi dosis koagulan dengan kecepatan pengadukan lambat, dosis koagulan dengan waktu pengadukan lambat, dan kecepatan pengadukan lambat dengan waktu pengadukan lambat. Karakteristik data kekeruhan dan pH air dari percobaan *jar test* ditampilkan dalam Tabel 4.1.

**Tabel 4. 1** Karakteristik Data

Variabel	Minimum	Maksimum	Rata-Rata	Varians
Kekeruhan	1,0200	3,3700	1,8568	0,2960
pH	7,1000	7,8000	7,5444	0,0205

Persyaratan kualitas air minum telah ditetapkan oleh Menteri Kesehatan Republik Indonesia dalam PERMENKES RI Nomor 492 tahun 2010. Kekeruhan yang diperbolehkan adalah tidak lebih dari 5 NTU. Sedangkan pH yang diizinkan adalah antara 6,5 – 8,5. Hasil percobaan menunjukkan bahwa nilai kekeruhan maksimum yang didapatkan masih memenuhi spesifikasi syarat kualitas air minum. Begitu pula dengan pH air yang diperoleh, meskipun rata-rata pH masih di atas target pH netral, yaitu 7, namun nilai minimum dan maksimum pH menunjukkan bahwa percobaan *jar test* menghasilkan pH air yang berada dalam batas spesifikasi. Sehingga dapat dikatakan bahwa tidak ada kombinasi level faktor pada percobaan yang menghasilkan kekeruhan dan pH melebihi batas spesifikasi yang ditetapkan. Varians kekeruhan lebih besar dibandingkan pH, menunjukkan bahwa percobaan yang dilakukan

menghasilkan kadar kekeruhan yang lebih beragam, sedangkan nilai pH yang dihasilkan relatif lebih homogen.

#### 4.2 Taguchi – Grey Relational Analysis

Nilai yang diperoleh dari percobaan *jar test* selanjutnya diubah menjadi *SN Ratio*. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan sensitivitas karakteristik kualitas terhadap faktor *noise*. Dua respon yang digunakan pada penelitian adalah kekeruhan dan pH, di mana kedua respon tersebut memiliki karakteristik kualitas yang berbeda. Karakteristik kualitas kekeruhan adalah *smaller is better*, sedangkan karakteristik kualitas pH adalah *nominal is best*. Oleh karena itu, transformasi nilai respon menjadi *SN Ratio* berbeda tergantung pada karakteristik kualitas masing-masing respon.

Perhitungan *SN Ratio* untuk respon kekeruhan berdasarkan karakteristik kualitas *smaller is better* menggunakan persamaan (2.2) adalah sebagai berikut.

$$SN_{1,1} = -10 \log \left[ \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (y_{1,1,k})^2 \right]$$

$$SN_{1,1} = -10 \log \left[ \frac{1}{3} (1,41^2 + 1,48^2 + 1,53^2) \right]$$

$$SN_{1,1} = -10 \log \left[ \frac{1}{3} (6,5194) \right]$$

$$SN_{1,1} = -10 \log [ 2,1731 ]$$

$$SN_{1,1} = -3,3709$$

Sedangkan untuk respon pH, perhitungan *SN Ratio* berdasarkan karakteristik kualitas *nominal is best* sesuai persamaan (2.3) adalah sebagai berikut.

$$SN_{1,2} = -10 \log \left[ \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (y_{1,1,k} - y_0)^2 \right]$$

$$SN_{1,2} = -10 \log \left[ \frac{1}{3} ((7,6 - 7)^2 + (7,6 - 7)^2 + (7,6 - 7)^2) \right]$$

$$SN_{1,2} = -10 \log \left[ \frac{1}{3} (1,08) \right]$$

$$SN_{1,2} = -10 \log[0,36]$$

$$SN_{1,2} = -4,4370$$

Perhitungan *SN Ratio* dilakukan pada semua percobaan untuk masing-masing respon. Hasil transformasi nilai respon menjadi *SN Ratio* disajikan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4. 2** *SN Ratio* Masing-Masing Respon

No	<i>SN Ratio</i> Kekeruhan	<i>SN Ratio</i> pH	No	<i>SN Ratio</i> Kekeruhan	<i>SN Ratio</i> pH
1	-3,3709	4,4370	15	-4,6021	4,4370
2	-7,4304	6,0206	16	-0,5185	3,0980
3	-6,7734	4,4370	17	-6,2643	6,0206
4	-9,7997	6,0206	18	-9,6745	6,0206
5	-8,8103	4,4370	19	-2,2656	7,9588
6	-4,2323	7,9588	20	-3,9869	6,0206
7	-1,6166	6,0206	21	-6,3284	4,4370
8	-6,3234	1,9382	22	-4,5143	4,4370
9	-4,9756	3,0980	23	-7,0078	6,0206
10	-3,5888	3,0980	24	-4,3164	13,9794
11	-2,6654	4,4370	25	-3,1899	4,4370
12	-6,4035	4,4370	26	-4,9330	4,4370
13	-2,9538	20,0000	27	-4,0652	4,4370
14	-7,0341	4,4370			

Nilai *SN Ratio* kemudian dinormalisasi, sehingga nilainya akan menjadi antara 0 sampai 1. Perhitungan normalisasi *SN Ratio* untuk respon kekeruhan adalah sebagai berikut.

$$X_1^*(1) = \frac{X_1(1) - \min X_i(1)}{\max X_i(1) - \min X_i(1)}$$

$$X_1^*(1) = \frac{-3,371 - (-9,799)}{-0,518 - (-9,799)}$$

$$X_1^*(1) = \frac{6,429}{9,281}$$

$$X_1^*(1) = 0,6927$$

Begitupun untuk respon pH, dilakukan normalisasi pada nilai *SN Ratio* pH. Perhitungan normalisasi *SN Ratio* untuk respon pH adalah sebagai berikut.

$$X_1^*(2) = \frac{X_1(2) - \min X_i(2)}{\max X_i(2) - \min X_i(2)}$$

$$X_1^*(2) = \frac{4,437 - 1,938}{20,000 - 1,938}$$

$$X_1^*(2) = \frac{2,499}{18,062}$$

$$X_1^*(2) = 0,1384$$

Normalisasi *SN Ratio* dilakukan pada semua percobaan. Berikut disajikan normalisasi *SN Ratio* untuk percobaan 1 sampai 27 masing-masing respon.

**Tabel 4. 3** Normalisasi *SN Ratio* Masing-Masing Respon

No	Normalisasi Kekeruhan	Normalisasi pH	No	Normalisasi Kekeruhan	Normalisasi pH
1	0,6927	0,1383	15	0,5600	0,1383
2	0,2553	0,2260	16	1,0000	0,0642
3	0,3261	0,1383	17	0,3809	0,2260
4	0,0000	0,2260	18	0,0135	0,2260
5	0,1066	0,1383	19	0,8118	0,3333
6	0,5999	0,3333	20	0,6263	0,2260
7	0,8817	0,2260	21	0,3740	0,1383
8	0,3746	0,0000	22	0,5695	0,1383
9	0,5198	0,0642	23	0,3008	0,2260
10	0,6692	0,0642	24	0,5908	0,6667
11	0,7687	0,1383	25	0,7122	0,1383
12	0,3659	0,1383	26	0,5244	0,1383
13	0,7376	1,0000	27	0,6179	0,1383
14	0,2980	0,1383			

Setelah dilakukan normalisasi terhadap nilai *SN Ratio*, maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *deviation sequence* yang merupakan selisih absolut antara nilai maksimum normalisasi yaitu 1 dengan data yang telah dinormalisasi.



Perhitungan ini dilakukan pada masing-masing respon. Berikut perhitungan *deviation sequence* untuk respon kekeruhan.

$$\Delta_{0,1}(1) = |X_0^*(1) - X_1^*(1)|$$

$$\Delta_{0,1}(1) = |1 - 0,6927|$$

$$\Delta_{0,1}(1) = 0,3073$$

Sedangkan perhitungan *deviation sequence* untuk respon pH adalah sebagai berikut.

$$\Delta_{0,1}(2) = |X_0^*(2) - X_1^*(2)|$$

$$\Delta_{0,1}(2) = |1 - 0,1384|$$

$$\Delta_{0,1}(2) = 0,8617$$

Perhitungan nilai *deviation sequence* dilakukan pada masing-masing respon pada percobaan 1 sampai 27 sesuai perhitungan di atas. Nilai *deviation seuquence* untuk setiap percobaan yang dilakukan, disajikan dalam Tabel 4.4.

**Tabel 4. 4** *Deviation Sequence* Masing-Masing Respon

No	<i>Deviation Sequence</i> Kekeruhan	<i>Deviation Sequence</i> pH	No	<i>Deviation Sequence</i> Kekeruhan	<i>Deviation Sequence</i> pH
1	0,3073	0,8617	15	0,4400	0,8617
2	0,7447	0,7740	16	0,0000	0,9358
3	0,6739	0,8617	17	0,6191	0,7740
4	1,0000	0,7740	18	0,9865	0,7740
5	0,8934	0,8617	19	0,1882	0,6667
6	0,4001	0,6667	20	0,3737	0,7740
7	0,1183	0,7740	21	0,6260	0,8617
8	0,6254	1,0000	22	0,4305	0,8617
9	0,4802	0,9358	23	0,6992	0,7740
10	0,3308	0,9358	24	0,4092	0,3333
11	0,2313	0,8617	25	0,2878	0,8617
12	0,6341	0,8617	26	0,4756	0,8617
13	0,2624	0,0000	27	0,3821	0,8617
14	0,7020	0,8617			

Selanjutnya adalah menentukan nilai GRC dimana nilai tersebut menunjukkan hubungan antara kondisi yang ideal dengan kondisi aktual dari respon yang dinormalisasi. Perhitungan GRC dilakukan pada masing-masing respon sesuai persamaan (2.6) dengan nilai *distinguishing coefficient* adalah 0,5. Berikut merupakan perhitungan GRC untuk respon kekeruhan.

$$\xi_1(1) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta\Delta_{\max}}{\Delta_{0,1}(1) + \zeta\Delta_{\max}}$$

$$\xi_1(1) = \frac{0 + (0,5 \times 1)}{0,3073 + (0,5 \times 1)}$$

$$\xi_1(1) = \frac{0,5}{0,8073}$$

$$\xi_1(1) = 0,6193$$

Sedangkan contoh perhitungan GRC untuk respon pH adalah sebagai berikut.

$$\xi_1(2) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta\Delta_{\max}}{\Delta_{0,1}(2) + \zeta\Delta_{\max}}$$

$$\xi_1(2) = \frac{0 + (0,5 \times 1)}{0,8617 + (0,5 \times 1)}$$

$$\xi_1(2) = \frac{0,5}{1,3617}$$

$$\xi_1(2) = 0,3672$$

Nilai GRC dihitung untuk semua percobaan pada masing-masing respon, hasilnya ditampilkan dalam Tabel 4.5.

**Tabel 4. 5** GRC Masing-Masing Respon

No	GRC Kekeruhan	GRC pH	No	GRC Kekeruhan	GRC pH
1	0,6193	0,3672	15	0,5319	0,3672
2	0,4017	0,3925	16	1,0000	0,3482
3	0,4259	0,3672	17	0,4468	0,3925
4	0,3333	0,3925	18	0,3364	0,3925
5	0,3588	0,3672	19	0,7265	0,4286

**Tabel 4. 5** GRC Masing-Masing Respon (Lanjutan)

No	GRC Kekeruhan	GRC pH	No	GRC Kekeruhan	GRC pH
6	0,5555	0,4286	20	0,5723	0,3925
7	0,8087	0,3925	21	0,4441	0,3672
8	0,4443	0,3333	22	0,5373	0,3672
9	0,5101	0,3482	23	0,4170	0,3925
10	0,6018	0,3482	24	0,5499	0,6000
11	0,6837	0,3672	25	0,6347	0,3672
12	0,4409	0,3672	26	0,5125	0,3672
13	0,6558	1,0000	27	0,5668	0,3672
14	0,4160	0,3672			

### 4.3 Penentuan Kombinasi Level Faktor yang Optimum

Setelah didapatkan nilai GRC untuk respon kekeruhan dan pH, selanjutnya nilai GRC dari dua respon akan diubah menjadi satu nilai yang disebut *grey relational grade* (GRG). Sehingga akan didapatkan 27 nilai GRG berdasarkan percobaan yang dilakukan pada 27 kombinasi level. Dari nilai tersebut, akan ditentukan kombinasi level faktor yang menghasilkan respon optimum berdasarkan nilai GRG yang paling besar. Semakin besar GRG, menunjukkan akurasi dan presisi yang semakin baik. Perhitungan GRG dilakukan pada dua kondisi, yaitu saat bobot respon dianggap sama dan bobot respon dianggap berbeda.

#### 4.3.1 Penentuan Kombinasi Level Faktor yang Optimum Saat Bobot Respon Sama

Pada kondisi ini tingkat kepentingan kekeruhan dan pH dianggap sama, yaitu 0,5 untuk masing-masing respon. Penentuan bobot ini berdasarkan hasil pembobotan dengan *principal component analysis* (PCA) yang memberikan hasil bahwa bobot kedua respon sama (Lampiran 9). Perhitungan GRG saat bobot respon sama sesuai persamaan (2.7) adalah sebagai berikut.

$$\gamma_i = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \xi_i(j)$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{2} (\xi_1(1) + \xi_1(2))$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{2} (0,6193 + 0,3672)$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{2} (0,9865)$$

$$\gamma_1 = 0,4933$$

Berikut merupakan hasil perhitungan GRG saat bobot respon dianggap sama untuk semua kombinasi level faktor yang digunakan saat percobaan *jar test*.

**Tabel 4. 6** GRG Gabungan Dua Respon Saat Bobot Respon Sama

No	GRG	No	GRG
1	0,4933	15	0,4496
2	0,3971	16	0,6741
3	0,3966	17	0,4196
4	0,3629	18	0,3644
5	0,3630	19	0,5775
6	0,4920	20	0,4824
7	0,6006	21	0,4056
8	0,3888	22	0,4523
9	0,4292	23	0,4047
10	0,4750	24	0,5750
11	0,5254	25	0,5009
12	0,4040	26	0,4398
13	0,8279	27	0,4670
14	0,3916		

Berdasarkan Tabel 4.6 diketahui nilai GRG yang paling besar adalah 0,8279 yaitu pada percobaan ke-13. Sehingga kombinasi level faktor yang menghasilkan respon optimum berdasarkan percobaan yang dilakukan adalah pada percobaan ke-13, yaitu saat dosis koagulan 80 ppm, kecepatan pengadukan cepat 130 rpm, waktu pengadukan cepat 1 menit, kecepatan pengadukan lambat 30 rpm, waktu pengadukan lambat 20 menit, dan waktu pengendapan 15 menit.

Namun, kombinasi level faktor yang menghasilkan respon optimum tersebut hanya terbatas pada 27 percobaan yang dilakukan. Sedangkan kombinasi level faktor yang tidak dilakukan percobaan, tidak dapat diketahui nilainya. Secara umum, penentuan kombinasi level faktor yang menghasilkan respon optimum dapat ditentukan dengan menghitung rata-rata GRG untuk setiap level faktor, sehingga kombinasi optimum dapat ditentukan dari semua kemungkinan kombinasi level faktor, tidak hanya dari kombinasi level faktor yang dilakukan pada percobaan. Kombinasi level faktor dengan rata-rata GRG ditentukan berdasarkan rata-rata GRG yang paling besar untuk setiap level pada masing-masing faktor.

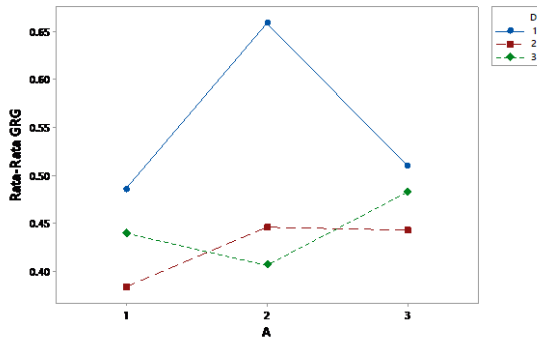
**Tabel 4. 7** Rata-Rata Respon Saat Bobot Respon Sama

<b>Faktor</b>	<b>Level 1</b>	<b>Level 2</b>	<b>Level 3</b>	<b>Selisih</b>	<b>Ranking</b>
<i>A</i>	0,4359	<b>0,5035</b>	0,4784	0,0676	2
<i>B</i>	0,4641	0,4478	<b>0,5059</b>	0,0581	3
<i>C</i>	<b>0,4849</b>	0,4602	0,4728	0,0247	5
<i>D</i>	<b>0,5516</b>	0,4236	0,4426	0,1280	1
<i>E</i>	<b>0,4790</b>	0,4787	0,4601	0,0188	6
<i>F</i>	<b>0,4995</b>	0,4465	0,4718	0,0530	4

Berdasarkan Tabel 4.7 dapat diketahui berdasarkan rata-rata GRG tiap level pada masing-masing faktor, dosis koagulan yang memberikan kondisi optimum untuk kekeruhan dan pH pada proses *jar test* adalah pada saat dosis koagulan 80 ppm dengan rata-rata GRG sebesar 0,5035. Untuk faktor kecepatan pengadukan cepat, level 3 memberikan rata-rata GRG terbesar yaitu 0,5059. Artinya, dengan kecepatan pengadukan cepat 130 rpm, memberikan kondisi optimum untuk kedua respon. Level 1 pada faktor waktu pengadukan cepat memiliki rata-rata GRG terbesar dengan nilai 0,4849. Sehingga waktu pengadukan cepat yang memberikan respon optimum adalah saat dilakukan pengadukan cepat selama 1 menit. Pengadukan lambat pada saat digunakan kecepatan 30 rpm memberikan kondisi optimum pada respon. Nilai rata-rata GRG pada kecepatan pengadukan lambat 30 rpm sebesar 0,5516. Pengadukan lambat yang memberikan kondisi optimum

pada kekeruhan dan pH secara serentak adalah pada saat dilakukan selama 15 menit, dengan rata-rata GRG sebesar 0,4790. Sedangkan rata-rata GRG terbesar untuk faktor waktu pengendapan adalah 0,4995 yaitu pada level 1. Sehingga pada saat waktu pengendapan selama 15 menit memberikan kondisi optimum pada kedua respon. Secara sederhana, kombinasi level dari faktor yang menghasilkan kondisi optimum pada kekeruhan dan pH saat bobot respon sama adalah  $A_2$ ,  $B_3$ ,  $C_1$ ,  $D_1$ ,  $E_1$ , dan  $F_1$ . Pengaruh masing-masing level faktor juga dapat dilihat secara visual dengan grafik rata-rata GRG pada Lampiran 2.

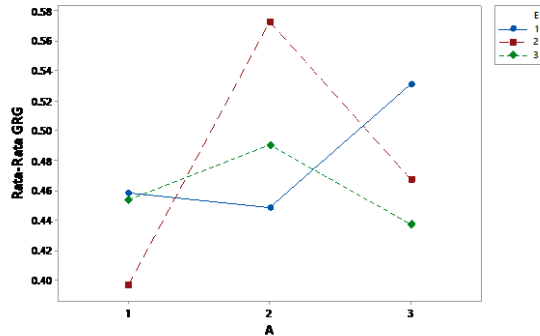
Selisih rata-rata GRG paling besar adalah kecepatan pengadukan lambat. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat bobot respon sama, faktor yang paling berpengaruh terhadap kekeruhan dan pH adalah kecepatan pengadukan lambat. Sedangkan lima faktor lainnya memiliki selisih rata-rata GRG yang relatif kecil, sehingga dianggap tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon. Selanjutnya, untuk mengetahui pengaruh interaksi yang digunakan, dapat ditentukan dengan grafik interaksi. Grafik interaksi dibuat berdasarkan matriks interaksi dengan melihat kedua faktor secara serentak.



**Gambar 4. 1** Pengaruh Interaksi  $A \times D$  Saat Bobot Respon Sama

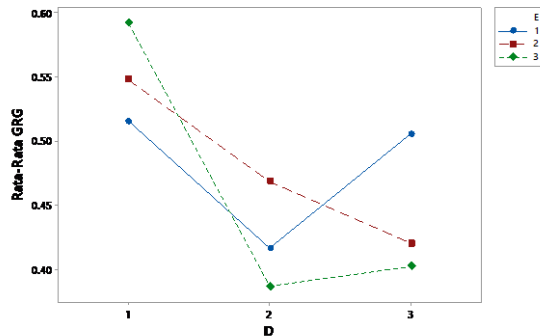
Pada interaksi  $A \times D$ , nilai GRG optimum yang dicapai berdasarkan rata-rata GRG terbesar adalah saat dosis koagulan 80 ppm dengan kecepatan pengadukan lambat 30 rpm. Grafik

kombinasi level pada interaksi tersebut tidak sejajar sehingga diduga terdapat pengaruh interaksi  $A \times D$  terhadap respon.



**Gambar 4. 2** Pengaruh Interaksi  $A \times E$  Saat Bobot Respon Sama

Grafik pada interaksi  $A \times E$  saling berpotongan dan tidak sejajar. Oleh karena itu, diduga interaksi  $A \times E$  berpengaruh terhadap kekeruhan dan pH dimana level kombinasi optimumnya adalah saat dosis koagulan 80 ppm dengan waktu pengadukan lambat selama 20 menit. Pada grafik ditunjukkan dengan titik untuk A level 2 dan E level 2 berada pada nilai GRG terbesar.



**Gambar 4. 3** Pengaruh Interaksi  $D \times E$  Saat Bobot Respon Sama

Level optimum untuk interaksi  $D \times E$  adalah saat kecepatan pengadukan cepat 30 rpm dengan waktu pengadukan lambat 25 menit. Interaksi  $D \times E$  diduga memiliki pengaruh terhadap respon,

hal ini ditunjukkan berdasarkan grafik setiap level pada kedua faktor yang saling berpotongan. Namun, untuk mengetahui pengaruh faktor maupun interaksi serta signifikansinya terhadap kekeruhan dan pH air pada proses *jar test*, perlu dilakukan pengujian secara statistik.

### 4.3.2 Penentuan Kombinasi Optimum Saat Bobot Respon Berbeda

Pada kondisi riil di lapangan, kekeruhan dan pH dianggap memiliki tingkat kepentingan yang berbeda. Kekeruhan dianggap lebih penting dibandingkan pH karena dapat dilihat langsung dengan kasat mata. Kekeruhan yang tinggi mengindikasikan kandungan partikel dalam air juga tinggi, sehingga memungkinkan ada pengaruh untuk kesehatan jika dikonsumsi. Pada kondisi ini, tingkat kepentingan kekeruhan 0,6 sedangkan pH 0,4. Tingkat kepentingan ini telah disesuaikan dengan perusahaan terkait. Berikut merupakan perhitungan GRG saat bobot respon berbeda menggunakan Persamaan (2.8).

$$\gamma_i = \sum_{j=1}^J \omega_j \xi_i(j)$$

$$\gamma_i = (\omega_j \xi_i(1)) + (\omega_j \xi_i(2))$$

$$\gamma_i = (0,6 \times 0,6193) + (0,4 \times 0,3672)$$

$$\gamma_i = 0,3716 + 0,1469$$

$$\gamma_i = 0,5185$$

Perhitungan dilakukan pada semua percobaan hingga didapat 27 nilai GRG seperti pada Tabel 4.8.

Nilai GRG paling besar berdasarkan perhitungan GRG dengan bobot respon berbeda adalah pada percobaan ke-13 yaitu sebesar 0,7935. Sehingga kombinasi level faktor yang menghasilkan respon optimum saat kepentingan kedua respon dianggap berbeda adalah ketika dosis koagulan yang digunakan 80 ppm, kecepatan pengadukan cepat 130 rpm, waktu pengadukan cepat 1 menit, kecepatan pengadukan lambat 30 rpm, waktu pengadukan



lambat 20 menit, dan waktu pengendapan 15 menit. Kombinasi level faktor optimum ini hanya berdasarkan 27 percobaan yang dilakukan. Ada kemungkinan kondisi optimum didapatkan dari kombinasi level faktor yang tidak dicobakan, sehingga untuk mendapatkan kombinasi level faktor secara umum, dapat menggunakan rata-rata GRG dari respon. Pada Tabel 4.9 ditunjukkan rata-rata GRG tiap level pada masing-masing faktor.

**Tabel 4. 8** GRG Gabungan Dua Respon Saat Bobot Respon Berbeda

No	GRG	No	GRG
1	0,5185	15	0,4660
2	0,3980	16	0,7393
3	0,4024	17	0,4251
4	0,3570	18	0,3588
5	0,3622	19	0,6073
6	0,5047	20	0,5004
7	0,6422	21	0,4133
8	0,3999	22	0,4693
9	0,4453	23	0,4072
10	0,5004	24	0,5700
11	0,5571	25	0,5277
12	0,4114	26	0,4544
13	0,7935	27	0,4870
14	0,3965		

**Tabel 4. 9** Rata-Rata Respon Saat Bobot Respon Berbeda

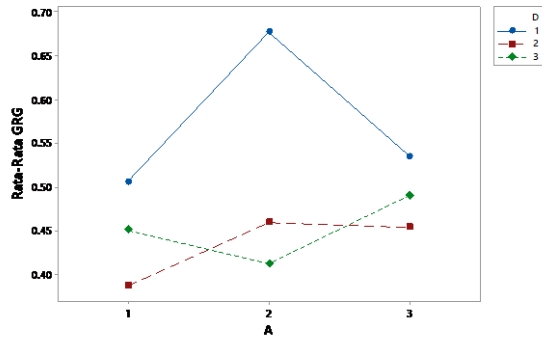
Faktor	Level 1	Level 2	Level 3	Selisih	Ranking
A	0,4478	<b>0,5165</b>	0,4929	0,0686	2
B	0,4765	0,4624	<b>0,5183</b>	0,0558	3
C	<b>0,4938</b>	0,4742	0,4892	0,0195	5
D	<b>0,5728</b>	0,4334	0,4510	0,1394	1
E	<b>0,4940</b>	0,4851	0,4780	0,0160	6
F	<b>0,5060</b>	0,4597	0,4915	0,0463	4

Penentuan kombinasi level faktor yang memberikan respon optimum dipilih berdasarkan level yang memiliki nilai rata-rata GRG terbesar pada setiap faktor. Berdasarkan Tabel 4.9, kombinasi level faktor yang menghasilkan respon optimum saat

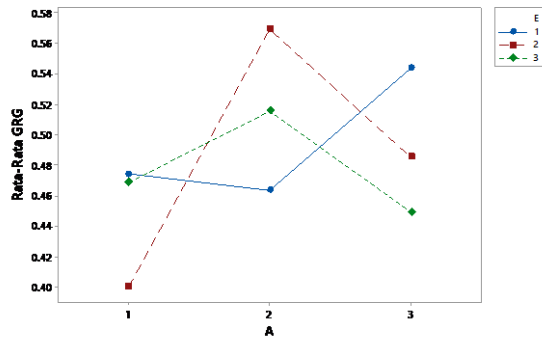
bobot respon dianggap berbeda adalah  $A_2$ ,  $B_3$ ,  $C_1$ ,  $D_1$ ,  $E_1$ , dan  $F_1$ . Dosis koagulan memberikan kondisi optimum saat digunakan sebanyak 80 ppm. Nilai rata-rata GRG yang dihasilkan pada level tersebut adalah 0,5165. Sedangkan level pada kecepatan pengadukan cepat yang memberikan kondisi optimum adalah level 3, yaitu 130 rpm dengan nilai rata-rata GRG adalah 0,5183. Pada empat faktor lainnya, yaitu waktu pengadukan cepat, kecepatan pengadukan lambat, waktu pengadukan lambat, dan waktu pengendapan memberikan kondisi optimum pada saat menggunakan level 1 dengan nilai rata-rata GRG masing-masing adalah 0,4938, 0,5728, 0,4940, dan 0,5060. Level 1 pada faktor-faktor tersebut menunjukkan waktu pengadukan cepat selama 1 menit, kecepatan pengadukan lambat sebesar 30 rpm, waktu pengadukan lambat selama 15 menit, dan waktu pengendapan selama 15 menit. Selain itu, penentuan kombinasi level faktor optimum dapat ditampilkan secara visual sesuai Lampiran 4.

Berdasarkan Tabel 4.9, faktor yang memberikan pengaruh paling kuat terhadap kekeruhan dan pH air pada proses *jar test* saat bobot respon dianggap berbeda adalah kecepatan pengadukan lambat. Hal ini ditunjukkan oleh selisih rata-rata GRG yang paling besar pada faktor tersebut. Sedangkan faktor utama lainnya memiliki selisih rata-rata GRG yang kecil sehingga diduga tidak memiliki pengaruh yang besar terhadap respon. Selain itu, pada interaksi dapat dengan melihat grafik interaksi untuk mengetahui pengaruh dua faktor secara serentak terhadap respon.

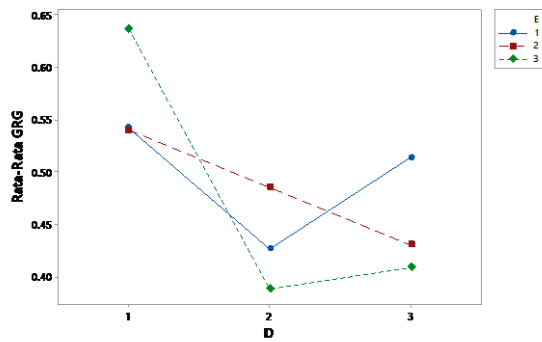
Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada interaksi  $A \times D$  kondisi optimum adalah level 2 untuk  $A$  dan level 1 untuk  $D$  atau saat menggunakan koagulan sebesar 80 ppm dengan kecepatan pengadukan lambat 30 rpm. Interaksi ini diduga memiliki pengaruh terhadap respon, ditandai dengan grafik antar levelnya yang saling berpotongan. Pada interaksi  $A \times E$  berdasarkan Gambar 4.5, grafik juga saling berpotongan, sehingga diduga ada pengaruh interaksi terhadap kekeruhan dan pH. Rata-rata GRG terbesar adalah pada level  $A_2$  dan  $E_2$ , yaitu saat dosis koagulan 80 ppm dengan waktu pengadukan lambat 20 menit.



Gambar 4. 4 Pengaruh Interaksi  $A \times D$  Saat Bobot Respon Berbeda



Gambar 4. 5 Pengaruh Interaksi  $A \times E$  Saat Bobot Respon Berbeda



Gambar 4. 6 Pengaruh Interaksi  $D \times E$  Saat Bobot Respon Berbeda

Grafik interaksi  $D \times E$  pada Gambar 4.6 juga menunjukkan adanya pengaruh interaksi kecepatan pengadukan lambat dengan waktu pengadukan lambat. Kondisi optimum pada interaksi ini dicapai saat kecepatan pengadukan lambat 30 rpm dengan waktu pengadukan 25 menit. Namun untuk hasil yang lebih objektif, perlu dilakukan pengujian secara statistik untuk mengetahui faktor dan interaksi yang berpengaruh signifikan terhadap kekeruhan dan pH.

#### 4.4 Pengujian Signifikansi Faktor

Pengujian signifikansi faktor dilakukan menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) dengan uji F. Pada pengujian ini dapat diketahui faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kekeruhan dan pH pada proses *jar test*. Pengujian dengan ANOVA dilakukan pada masing-masing kondisi, yaitu saat bobot respon sama dan bobot respon berbeda.

##### 4.4.1 Pengujian Signifikansi Faktor Saat Bobot Respon Sama

Hasil pengujian dengan ANOVA saat bobot respon dianggap sama ditunjukkan pada Tabel 4.10, dengan hipotesis pengujian yaitu,

$H_0$  : tidak ada pengaruh perlakuan terhadap kekeruhan dan pH

$H_1$  : ada pengaruh perlakuan terhadap kekeruhan dan pH

**Tabel 4. 10** ANOVA Awal Saat Bobot Respon Sama

Sumber	SS	df	MS	F
A	0,021	2	0,011	0,884
B	0,016	2	0,008	0,680
C	0,003	2	0,001	0,115
D	0,086	2	0,043	3,615
E	0,002	2	0,001	0,088
F	0,013	2	0,006	0,532
$A \times D$	0,048	4	0,012	1,012
$A \times E$	0,043	4	0,011	0,900
$D \times E$	0,035	4	0,009	0,745
Error	0,024	2	0,012	
total	0,291	26		
Mean	6,031	1		
TOTAL	6,321	27		

Dari Tabel 4.10, diketahui semua faktor memiliki nilai  $F_{hitung}$  lebih kecil dari  $F_{0,05;2;2} = 19$ , sehingga dapat dikatakan tidak ada faktor yang berpengaruh signifikan terhadap respon. Begitupun pada interaksi,  $F_{hitung}$  pada semua interaksi memiliki nilai lebih kecil dari  $F_{0,05;4;2} = 19,2$  sehingga dapat dikatakan tidak ada interaksi yang berpengaruh signifikan terhadap respon. Oleh karena itu, dilakukan *pooling* faktor-faktor yang memiliki  $F_{hitung}$  terkecil ke dalam *error* hingga didapatkan faktor yang signifikan. Hasil ANOVA setelah *pooling* faktor adalah sebagai berikut.

**Tabel 4. 11** ANOVA Setelah *Pooling* Saat Bobot Respon Sama

Sumber	SS	df	MS	F
D	0,086	2	0,043	5,034
Error	0,205	24	0,009	
total	0,291	26		
Mean	6,031	1		
TOTAL	6,321	27		

Dengan taraf nyata 5%, didapatkan nilai  $F_{0,05;2;24}$  adalah 3,4. Sedangkan  $F_{hitung}$  untuk faktor kecepatan pengadukan lambat berdasarkan Tabel 4.13 adalah 5,035. Nilai  $F_{hitung}$  lebih besar dari nilai  $F_{0,05;2;24}$  sehingga dapat disimpulkan faktor kecepatan pengadukan lambat berpengaruh signifikan terhadap respon. *Pure sum of square* faktor sesuai persamaan (2.17) didapatkan dengan perhitungan berikut.

$$SS'_D = SS_D - (df_D \times MS_{error})$$

$$SS'_D = 0,086 - (2 \times 0,009)$$

$$SS'_D = 0,068$$

Setelah mendapat nilai *pure sum of square*, dapat ditentukan besar kontribusi faktor berdasarkan persamaan (2.18). Sehingga besar kontribusi faktor kecepatan pengadukan lambat saat bobot respon dianggap sama adalah sebagai berikut.

$$\rho_D = \frac{SS'_D}{SS_{total}} \times 100\%$$

$$\rho_D = \frac{0,068}{0,291} \times 100\%$$

$$\rho_D = 23,37\%$$

#### 4.4.2 Pengujian Signifikansi Faktor Saat Bobot Respon Berbeda

Pengujian ANOVA juga dilakukan pada kondisi bobot respon berbeda. Hasil pengujian tersebut ditampilkan pada Tabel 4.12, dengan hipotesis yaitu,

$H_0$  : tidak ada pengaruh perlakuan terhadap kekeruhan dan pH

$H_1$  : ada pengaruh perlakuan terhadap kekeruhan dan pH

**Tabel 4. 12** ANOVA Awal Saat Bobot Respon Berbeda

Sumber	SS	df	MS	F
A	0,022	2	0,011	0,879
B	0,015	2	0,008	0,609
C	0,002	2	0,001	0,075
D	0,104	2	0,052	4,160
E	0,001	2	0,001	0,046
F	0,010	2	0,005	0,404
A×D	0,048	4	0,012	0,960
A×E	0,040	4	0,010	0,794
D×E	0,050	4	0,012	0,994
Error	0,025	2	0,012	
total	0,316	26		
Mean	6,370	1		
TOTAL	6,686	27		

Dengan menggunakan taraf nyata 5%, hasil pengujian ANOVA saat bobot respon dianggap berbeda seperti ditunjukkan pada Tabel 4.12 menunjukkan nilai  $F_{hitung}$  pada semua faktor lebih kecil dari  $F_{0,05;2;2} = 19$ , sehingga dapat dikatakan tidak ada faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kekeruhan dan pH air. Pada interaksi, nilai  $F_{hitung}$  juga memberikan hasil yang kurang dari  $F_{0,05;4;2} = 19,2$ . Sehingga dapat disimpulkan tidak ada interaksi yang berpengaruh signifikan terhadap respon saat bobot respon berbeda. Oleh karena itu, selanjutnya dilakukan *pooling* faktor terhadap *error* dimulai dari faktor yang memiliki  $F_{hitung}$  paling

kecil. ANOVA setelah *pooling* faktor saat bobot kekeruhan dan pH berbeda ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Dari tabel ANOVA setelah *pooling* didapatkan  $F_{hitung}$  untuk faktor kecepatan pengadukan lambat adalah 5,866. Dengan taraf nyata 5%, didapatkan nilai  $F_{0,05;2;24}$  adalah 3,4. Nilai  $F_{hitung}$  lebih besar dibandingkan dengan nilai  $F_{0,05;2;24}$ . Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa faktor kecepatan pengadukan lambat berpengaruh signifikan terhadap kekeruhan dan pH air pada proses *jar test* saat bobot respon dianggap berbeda.

**Tabel 4. 13** ANOVA Setelah *Pooling* Saat Bobot Respon Berbeda

Sumber	SS	df	MS	F
<i>D</i>	0,104	2	0,052	5,866
Error	0,212	24	0,009	
total	0,316	26		
Mean	6,031	1		
TOTAL	6,321	27		

Adapun *pure sum of square* faktor kecepatan pengadukan lambat berdasarkan persamaan (2.17) didapatkan dengan perhitungan berikut.

$$SS'_D = SS_D - (df_D \times MS_{error})$$

$$SS'_D = 0,104 - (2 \times 0,009)$$

$$SS'_D = 0,086$$

Sehingga didapatkan besarnya kontribusi faktor kecepatan pengadukan lambat saat bobot respon berbeda sesuai persamaan (2.18) adalah sebagai berikut.

$$\rho_D = \frac{SS'_D}{SS_{total}} \times 100\%$$

$$\rho_D = \frac{0,086}{0,316} \times 100\%$$

$$\rho_D = 27,22\%$$

#### 4.5 Estimasi GRG Pada Setting Kombinasi Level Faktor Optimum

Estimasi nilai GRG optimum digunakan untuk menduga nilai GRG pada saat menggunakan kombinasi level faktor hasil optimasi dengan hanya menyertakan faktor yang berpengaruh signifikan, yaitu kecepatan pengadukan lambat. Estimasi dilakukan pada masing-masing kondisi dimana bobot respon dianggap sama dan bobot respon dianggap berbeda.

##### 4.5.1 Estimasi GRG Pada Setting Kombinasi Level Faktor Optimum Saat Bobot Respon Sama

Kombinasi level faktor yang dapat mengoptimalkan kekeruhan dan pH secara serentak saat bobot respon dianggap sama yaitu pada saat kecepatan pengadukan lambat 30 rpm. Sehingga estimasi GRG pada setting kombinasi level faktor optimum sesuai persamaan (2.9) dapat ditentukan dengan perhitungan berikut.

$$\widehat{\gamma}_{opt} = \bar{\gamma} + (\overline{\gamma}_{D_1} - \bar{\gamma})$$

$$\widehat{\gamma}_{opt} = 0,4726 + (0,5516 - 0,4726)$$

$$\widehat{\gamma}_{opt} = 0,5516$$

Jika dibandingkan dengan kondisi *existing* perusahaan saat menggunakan kecepatan pengadukan lambat 40 rpm, nilai GRG yang didapat adalah sebagai berikut.

$$\widehat{\gamma}_{ext} = \bar{\gamma} + (\overline{\gamma}_{D_2} - \bar{\gamma})$$

$$\widehat{\gamma}_{ext} = 0,4726 + (0,4236 - 0,4726)$$

$$\widehat{\gamma}_{ext} = 0,4236$$

Terjadi peningkatan respon secara simultan ketika menggunakan kombinasi level faktor optimum dibandingkan kondisi *existing* perusahaan, yaitu sebesar 0,128. Dengan kata lain, hasil optimasi dengan GRA dengan bobot respon sama memberikan peningkatan respon sebesar 30,21% dibandingkan kondisi *existing* perusahaan.



#### 4.5.2 Estimasi GRG Pada Setting Kombinasi Level Faktor Optimum Saat Bobot Respon Berbeda

Pada saat bobot respon berbeda, yaitu kekeruhan 0,6 dan pH 0,4, kombinasi level faktor yang memberikan respon optimum adalah saat kecepatan pengadukan lambat 30 rpm. Estimasi GRG pada setting kondisi optimum berdasarkan persamaan (2.9) adalah sebagai berikut.

$$\widehat{\gamma}_{opt} = \bar{\gamma} + (\overline{\gamma}_{D_1} - \bar{\gamma})$$

$$\widehat{\gamma}_{opt} = 0,4857 + (0,5728 - 0,4857)$$

$$\widehat{\gamma}_{opt} = 0,5728$$

Sedangkan jika menggunakan kondisi *existing* perusahaan yaitu kecepatan pengadukan lambat 40 rpm, didapatkan estimasi GRG sebagai berikut.

$$\widehat{\gamma}_{ext} = \bar{\gamma} + (\overline{\gamma}_{D_2} - \bar{\gamma})$$

$$\widehat{\gamma}_{ext} = 0,4857 + (0,4334 - 0,4857)$$

$$\widehat{\gamma}_{ext} = 0,4334$$

Nilai estimasi GRG pada setting kondisi optimum meningkat 0,1394 dibandingkan dengan nilai estimasi GRG pada kondisi *existing* perusahaan. Hal ini menunjukkan kombinasi level faktor dengan GRA saat bobot respon berbeda memberikan peningkatan respon secara simultan sebesar 32,16% dibandingkan dengan kondisi *existing* perusahaan.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Faktor yang berpengaruh signifikan terhadap respon pada proses *jar test* saat tingkat kepentingan respon dianggap sama adalah kecepatan pengadukan lambat. Kombinasi level faktor yang menghasilkan kekeruhan dan pH air optimum adalah ketika kecepatan pengadukan lambat 30 rpm. Besarnya kontribusi faktor kecepatan pengadukan lambat pada saat bobot respon dianggap sama adalah 23,37%.
2. Pada kondisi kepentingan respon dianggap berbeda dimana kekeruhan memiliki bobot 0,6 dan pH 0,4, faktor yang berpengaruh signifikan terhadap respon adalah kecepatan pengadukan lambat. Kondisi optimum dicapai saat kecepatan pengadukan lambat 30 rpm. Besar kontribusi faktor kecepatan pengadukan lambat pada kondisi ini adalah 27,22%.
3. Estimasi GRG pada setting kombinasi level faktor yang optimum memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan estimasi GRG dengan kondisi *existing* perusahaan, baik saat tingkat kepentingan respon sama maupun saat tingkat kepentingan respon berbeda. Namun peningkatan respon optimasi GRA dengan tingkat kepentingan respon berbeda yaitu 32,16%, lebih besar dibandingkan dengan saat bobot respon sama yaitu 30,21%.
4. Kondisi optimum dicapai saat menggunakan kecepatan pengadukan lambat 30 rpm dengan tingkat kepentingan kekeruhan 0,6 dan pH 0,4. Pada kondisi ini menghasilkan estimasi GRG 0,5728.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan bagi perusahaan adalah untuk pelaksanaan *jar test* dapat dipertimbangkan penggunaan kecepatan 30 rpm untuk

pengadukan lambat. Sedangkan untuk faktor yang tidak signifikan berpengaruh terhadap kekeruhan dan pH, dapat menggunakan kondisi *existing* perusahaan atau kondisi yang lebih efektif, baik dari segi waktu maupun biaya. Sedangkan saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Menambah parameter kualitas air yang diuji, sehingga penentuan kualitas air tidak hanya berdasarkan dua karakteristik kualitas.
2. Menambah variasi interaksi yang diduga berpengaruh terhadap kekeruhan dan pH air pada proses *jar test*.
3. Melakukan percobaan pendahuluan dengan menginteraksikan variabel proses yang digunakan sehingga bisa didapat variabel yang memiliki interaksi yang kuat. Dengan demikian, interaksi yang digunakan dalam penelitian dapat memberikan hasil yang lebih akurat. Percobaan pendahuluan juga dapat mendasari penentuan level yang akan digunakan, sehingga pemilihan *range* level yang digunakan pada penelitian dapat memberikan informasi yang bermanfaat.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Water Works Association, & American Society of Civil Engineers. (2005). *Water Treatment Plant Design* (4th ed.). United State of America: McGraw-Hill, Inc.
- Bagchi, T. B. (1993). *Taguchi Methods Explained : Practical Steps to Robust Design*. New Delhi: Prentice-Hall of India.
- Balasubramanian, S., & Ganapathy, S. (2011). Grey Relational Analysis to Determine Optimum Process Parameters for Wire Electro Discharge Machining (WEDM). *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 3, 95-101.
- BSN. (2000). *Metode Pengujian Koagulasi - Flokulasi dengan Cara Jar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Ghosh, S., Sahoo, P., & Sutradar, G. (2013). Tribological Performance Optimization of Al-7.5% SiCp Composites Using the Taguchi Method and Grey Relational Analysis. *Journal of Composites*, 1-9. doi:10.1155/2013/274527
- Juliani, N. E. (2018). *Optimasi Multirespon Pada Proses Jar Test di IPAM Ngagel II PDAM Surya Sembada Surabaya dengan Metode Taguchi Grey Relational Analysis*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- KEMENKES RI. (2010). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
- Kusumawardani, D., & Iqbal, R. (2013). *Evaluasi Performa Pengadukan Hidrolis Sebagai Koagulator dan Flokulator Berdasarkan Hasil Jar Test*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Lu, H. S., Chang, C. K., Hwang, N. C., & Chung, C. T. (2009). Grey Relational Analysis Coupled with Principal Component Analysis for Optimization Design of the Cutting Parameters in High-Speed end Milling. *Journal of*

- Materials Processing Technology*, 209, 3808-3817. doi:10.1016/j.jmatprotec.2008.08.030
- Mehat, N. M., Kamaruddin, S., & Othman, A. R. (2014). Hybrid Integration of Taguchi Parametric Design, Grey Relational Analysis, and Principal Component Analysis Optimization for Plastic Gear Production. *Chinese Journal of Engineering*, 1-11. doi:10.1155/2014/351206
- Mulyani, H. (2017). *Penuntun Praktik Analisis dan Optimasi Sistem Penyehatan Air Minum*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Peace, G. S. (1993). *Taguchi Methods, A Hands-On Approach*. United States of America: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Ross, P. J. (1996). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. New York: Wiley & Sons, Inc.
- Roy, R. K. (2001). *Design of Experiments Using the Taguchi Approach: 16 Steps to Product and process Improvement*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Satterfield, Z. (2005). Jar Testing. *Tech Brief*, 5(1). Diakses pada Februari 2019, dari National Environmental Service Centre: [http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/publications/ontap/2009\\_tb/jar\\_testing\\_DWFSOM73.pdf](http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/publications/ontap/2009_tb/jar_testing_DWFSOM73.pdf)
- Sen, H., & Demiral, M. F. (2016). Hospital Location Selection with Grey System Theory. *European Journal of Economics and Business Studies*, 2(2), 66-79.
- Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sudeepan, J., Kumar, K., Barman, T. K., & Sahoo, P. (2014). Study of Tribological Behavior of ABS/CaCO<sub>3</sub> Composite Using Grey Relational Analysis. *Procedia Materials Science* 6, 682-691. doi:10.1016/j.mspro.2014.07.084
- Sylajakumari, P. A., Ramakrishnasamy, R., & Palaniappan, G. (2018). Taguchi Grey Relational Analysis for Multi-Response Optimization of Wear in Co-Continuous Composite. *Materials*, 11, 1-17. doi:10.3390/ma11091743

Taufik, M. (2019). *Baru 37 Persen Masyarakat di Sidoarjo Menikmati Air PDAM*. (E. H. Panca, Editor) Diakses pada April 2019, dari Surabaya Tribunnews: <https://www.google.com/amp/surabaya.tribunnews.com/amp/2019/04/16/baru-37-persen-masyarakat-di-sidoarjo-menikmati-air-pdam>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## LAMPIRAN

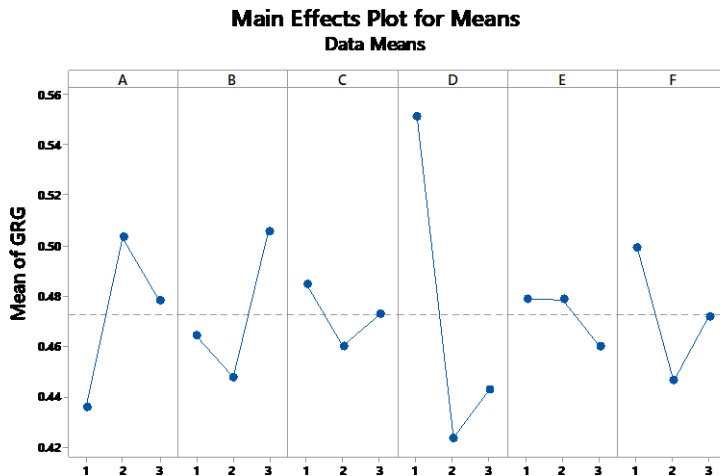
### Lampiran 1 Data Hasil Percobaan

A	Variabel												Kekeruhan			pH		
	DxE	B	C	D	AxD	AxD	E	AxE	AxE	DxE	F	eror	1	2	3	1	2	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,41	1,48	1,53	7,6	7,6	7,6
1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,68	2,14	2,20	7,5	7,5	7,5
1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2,58	2,02	1,88	7,6	7,6	7,6
1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3,14	3,06	3,07	7,5	7,5	7,5
1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2,64	2,42	3,16	7,6	7,6	7,6
1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	1,71	1,61	1,56	7,4	7,4	7,4
1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	1,26	1,13	1,22	7,5	7,5	7,5
1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	2,19	2,23	1,76	7,8	7,8	7,8
1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1,72	1,67	1,92	7,7	7,7	7,7
2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1,60	1,50	1,43	7,7	7,7	7,7
2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	1,57	1,21	1,27	7,6	7,6	7,6
2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	2,41	1,94	1,88	7,6	7,6	7,6
2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	1,49	1,32	1,40	7,1	7,1	7,1
2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2,30	2,16	2,28	7,6	7,6	7,6

**Lampiran 1 Data Hasil Percobaan (Lanjutan)**

A	Variabel												Kekeruhan			pH		
	DxE	B	C	D	AxD	AxD	E	AxE	AxE	DxE	F	eror	1	2	3	1	2	3
2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	1,79	1,71	1,59	7,6	7,6	7,6
2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1,02	1,02	1,14	7,7	7,7	7,7
2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	2,22	2,20	1,71	7,5	7,5	7,5
2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	2,91	3,37	2,83	7,5	7,5	7,5
3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1,38	1,26	1,25	7,4	7,4	7,4
3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	1,18	1,37	2,06	7,5	7,5	7,5
3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	2,08	1,95	2,18	7,6	7,6	7,6
3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	1,75	1,71	1,58	7,6	7,6	7,6
3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2,24	2,31	2,17	7,5	7,5	7,5
3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	1,61	1,63	1,69	7,2	7,2	7,2
3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	1,53	1,58	1,19	7,6	7,6	7,6
3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	1,52	1,87	1,88	7,6	7,6	7,6
3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	1,57	1,78	1,42	7,6	7,6	7,6

## Lampiran 2 Grafik Respon Faktor Saat Bobot Respon Sama



## Lampiran 3 Matriks Interaksi Saat Bobot Respon Sama

a. Interaksi dosis koagulan dan kecepatan pengadukan lambat

Interaksi	$D_1$	$D_2$	$D_3$
$A_1$	0,4856	0,3830	0,4392
$A_2$	0,6590	0,4456	0,4060
$A_3$	0,5102	0,4423	0,4825

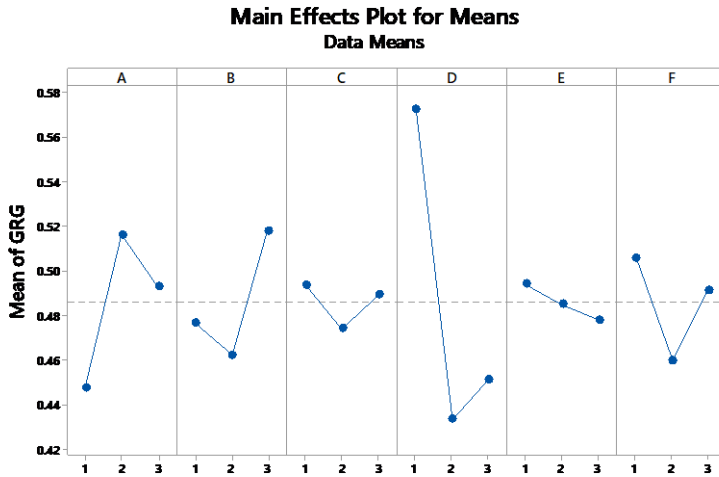
b. Interaksi dosis koagulan dan waktu pengadukan lambat

Interaksi	$E_1$	$E_2$	$E_3$
$A_1$	0,4580	0,3964	0,4534
$A_2$	0,4481	0,5726	0,4899
$A_3$	0,5308	0,4672	0,4371

c. Interaksi kecepatan pengadukan lambat dan waktu pengadukan lambat

Interaksi	$E_1$	$E_2$	$E_3$
$D_1$	0,5153	0,5477	0,5919
$D_2$	0,4161	0,4683	0,3864
$D_3$	0,5055	0,4202	0,4021

### Lampiran 4 Grafik Respon Faktor Saat Bobot Respon Berbeda



### Lampiran 5 Matriks Interaksi Saat Bobot Respon Berbeda

- a. Interaksi dosis koagulan dan kecepatan pengadukan lambat

Interaksi	$D_1$	$D_2$	$D_3$
$A_1$	0,5059	0,3867	0,4508
$A_2$	0,6777	0,4595	0,4121
$A_3$	0,5348	0,4540	0,4901

- b. Interaksi dosis koagulan dan waktu pengadukan lambat

Interaksi	$E_1$	$E_2$	$E_3$
$A_1$	0,4744	0,4001	0,4689
$A_2$	0,4638	0,5698	0,5157
$A_3$	0,5439	0,4855	0,4494

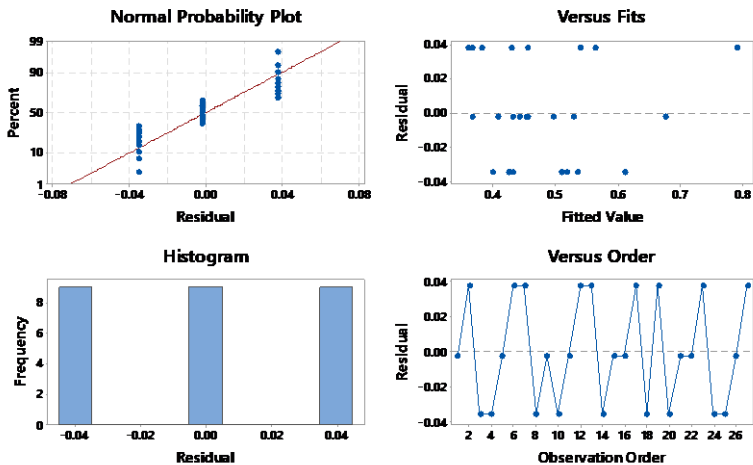
- c. Interaksi kecepatan pengadukan lambat dan waktu pengadukan lambat

Interaksi	$E_1$	$E_2$	$E_3$
$D_1$	0,5421	0,5399	0,6364
$D_2$	0,4264	0,4852	0,3886
$D_3$	0,5136	0,4304	0,4091

## Lampiran 6 Pemeriksaan Asumsi Residual IIDN

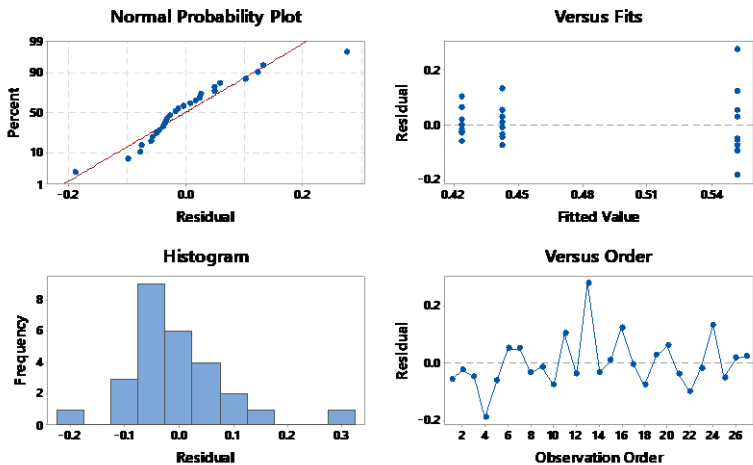
a. Sebelum *pooling* faktor saat bobot respon sama

### Residual Plots for Means

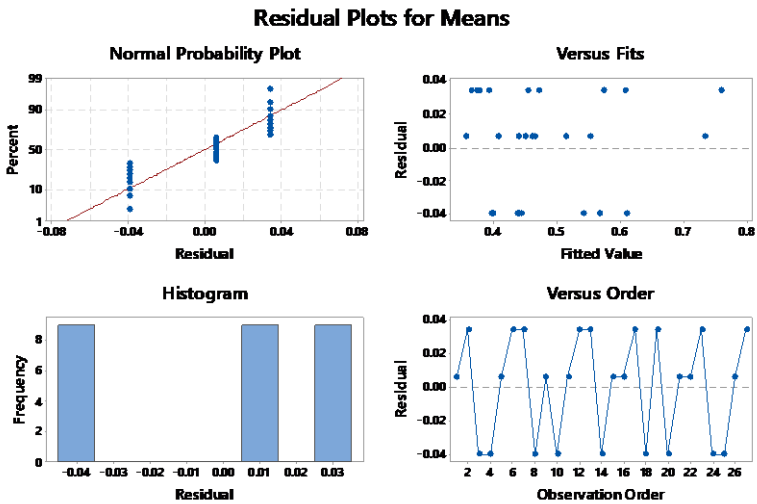


b. Setelah *pooling* faktor saat bobot respon sama

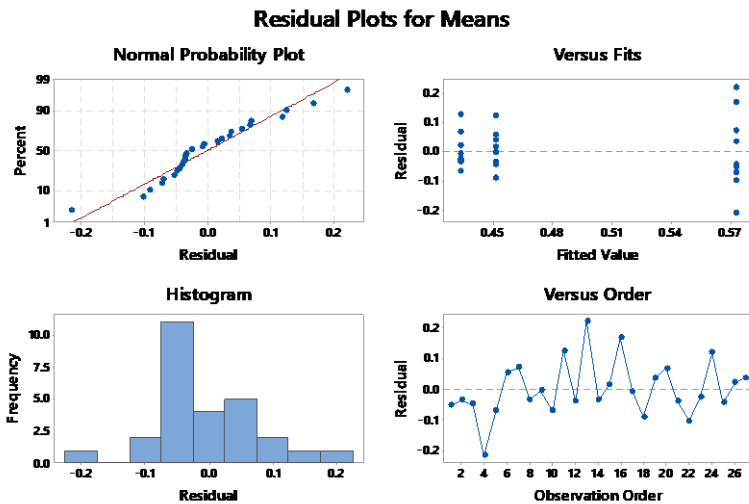
### Residual Plots for Means



c. Sebelum *pooling* faktor saat bobot respon berbeda

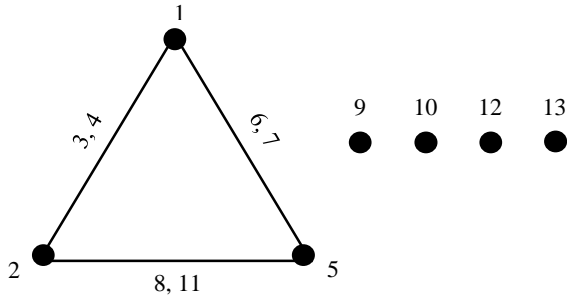


d. Setelah *pooling* faktor saat bobot respon berbeda





### Lampiran 8 Standard Linear Graphs untuk $L_{27}(3^{13})$



### Lampiran 9 Hasil Perhitungan Bobot dengan PCA

#### Principal Component Analysis: Kekерuhan, pH

Eigenanalysis of the Correlation Matrix

Eigenvalue	1.1436	0.8564
Proportion	0.572	0.428
Cumulative	0.572	1.000

Variable	PC1	PC2
Kekeruhan	0.707	0.707
pH	0.707	-0.707



## Lampiran 10 Surat Penelitian Perusahaan



Nomor : 690 / 303 / 438.8.1/2019  
 Sifat : Biasa  
 Lampiran : -  
 Hal : Permintaan Data dan Wawancara

Sidoarjo, 6 Maret 2019

Yth. Dekan Fakultas Matematika, Komputasi dan Sains Data  
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
 Surabaya

Memperhatikan surat dari Bakesbangpol Kab. Sidoarjo Nomor: 072/188/438.6.5/2019, tanggal 21 Februari 2019, perihal Permintaan Data dan Wawancara.

Sehubungan hal tersebut di atas, PDAM Delta Tirta Kabupaten Sidoarjo tidak keberatan untuk digunakan sebagai tempat Permintaan Data dan Wawancara dari Mahasiswa/i Saudara mulai tanggal 10 Maret 2019 s/d 7 Juni 2019, Adapun nama Mahasiswa/i tersebut sebagai berikut:

No.	NAMA	JURUSAN	TEMPAT PENELITIAN
1	Dewi Damayanti	Statistika Bisnis dan Industri	Produksi
[REDACTED]			

Untuk persyaratan antara lain :

- Mematuhi tata tertib yang berlaku di perusahaan
- Memakai seragam Almamater Mahasiswa
- Melampirkan Hasil Laporan Tugas Akhir

Demikian untuk mendapatkan perhatiannya.

Pjs. Direktur Administrasi dan Keuangan

  
 JURIHAN, SE

Tembusan:  
 1. Direksi  
 2. Koord. SPI

**Lampiran 11 Surat Pernyataan Pengambilan Data****SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, mahasiswa Departemen Statistika FMKSD ITS:

Nama : Dewi Damayanti

NRP : 062115 4000 0071

menyatakan bahwa data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini benar-benar merupakan hasil eksperimen/percobaan *jar test* di PDAM Delta Tirta Sidoarjo.

Surat Pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya. Apabila terdapat pemalsuan data, maka Saya siap menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku.

Mengetahui  
Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S  
NIP. 19580823 198403 1 003

Surabaya, 9 Juli 2019



Dewi Damayanti  
NRP. 0621154000 0071

## Lampiran 12 Surat Keterangan Pencantuman Nama Perusahaan dan Izin Publikasi

### SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FMKSD-ITS dengan identitas berikut :

Nama : Dewi Damayanti

NRP : 06211540000071

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :

Nama Instansi : PDAM Delta Tirta Sidoarjo

Divisi/ bagian : produksi & pengolahan

sejak tanggal 10-03-2019 sampai dengan 7-06-2019 untuk keperluan Tugas Akhir/ Thesis Semester ~~Casal~~/Genap\* 2018/2019.

2. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~\* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir/ Thesis mahasiswa Statistika yang akan di simpan di Perpustakaan ITS dan dibaca di lingkungan ITS.
3. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~\* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E journal ITS yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS.



\*(coret yang tidak perlu)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Dewi Damayanti, lahir di Pamekasan pada tanggal 31 Desember 1996, yang merupakan anak kedua dari Bapak Bahrawi dan Ibu Sunarti. Pendidikan yang ditempuh penulis dimulai dari taman kanak-kanak yaitu TK Dharma Wanita Sumedangan (2000-2003), SD Negeri Murtajih 3 (2003-2009), SMP Negeri 2 Pamekasan (2009-2012), dan SMA Negeri 1 Pamekasan (2012-2015).

Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya sebagai mahasiswi di Jurusan Statistika pada tahun 2015. Selama menempuh pendidikan di ITS Surabaya, selain mengikuti kegiatan akademik, penulis juga aktif dalam kegiatan kemahasiswaan. Organisasi yang diikuti penulis diantaranya FORSIS sebagai staf Badan Penyelenggara Mentoring periode 2016/2017, KSR PMI ITS sebagai staf Mobilisasi Relawan dan Hubungan Luar periode 2016/2017 serta sebagai Sekretaris Umum periode 2017. Selain itu, penulis juga aktif dalam kepanitiaan seperti Pekan Raya Statistika tahun 2017 dan 2018, sebagai sekretaris kegiatan pada Health for Teens 2017 oleh KSR PMI ITS, serta tim penilai pada Orientasi Kepalangmerahaan KSR PMI ITS 2017. Sebelum menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis memiliki pengalaman Kerja Praktik di PDAM Kabupaten Lamongan. Apabila pembaca ingin menanyakan mengenai Laporan Tugas Akhir ini, memberikan saran ataupun kritik, dapat menghubungi penulis melalui email [dmy.dewi@gmail.com](mailto:dmy.dewi@gmail.com).