



TUGAS AKHIR - RE 184804

**OPTIMASI DOSIS DAN KECEPATAN PADA PROSES
KOAGULASI-FLOKULASI LINDI TPA BENOWO
MENGUNAKAN *POLY ALUMINIUM CLHORIDE* DAN
KITOSAN DENGAN *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY DESIGN BOX* BEHNKEN**

Mahdiyah Anes
NRP 03211540000035

DOSEN PEMBIMBING
Harmin Sulistiyaning Titah, ST, MT, Ph.D.
(197505232002122001)

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RE 184804

**OPTIMASI DOSIS DAN KECEPATAN PADA PROSES
KOAGULASI-FLOKULASI LINDI TPA BENOWO
MENGUNAKAN POLY ALUMINIUM CLHORIDE
DAN KITOSAN DENGAN RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY DESIGN BOX BEHNKEN**

Mahdiyah Anes
NRP 03211540000035

DOSEN PEMBIMBING
Harmin Sulistiyaning Titah, ST, MT, Ph.D
(197505232002122001)

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT- RE 184804

**OPTIMIZATION OF DOSAGE AND SPEED IN
COAGULATION-FLOCCULATION PROCESS OF
BENOWO LANDFILL LEACHATE USING POLY
ALUMINIUM CHLORIDE AND CHITOSAN BY BOX
BEHNKEN DESIGN IN RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY**

Mahdiyah Anes
NRP 03211540000035

Supervisor

Harmin Sulistiyaning Titah, ST, MT, Ph.D
(197505232002122001)

DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Environmental and Geo Engineering
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

LEMBAR PENGESAHAN

Optimasi Dosis dan Kecepatan pada Proses Koagulasi-Flokulasi Lindi TPA Benowo Menggunakan *Poly Aluminium Chloride* dan Kitosan dengan *Response Surface Methodology Design Box Behnken*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

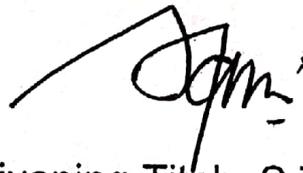
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

MAHDIYAH ANES

NRP. 03211540000035

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19750523 200212 2 001



OPTIMASI DOSIS DAN KECEPATAN PADA PROSES KOAGULASI-FLOKULASI LINDI TPA BENOWO MENGGUNAKAN *POLY ALUMINIUM CLHORIDE* DAN KITOSAN DENGAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY DESIGN BOX BEHNKEN*

Nama Mahasiswa : Mahdiyah Anes
NRP : 03211540000035
Departemen : Teknik Lingkungan ITS
Dosen Pembimbing : Harmin Sulistiyaning Titah, ST, MT, Ph.D.

ABSTRAK

TPA Benowo memiliki lindi dengan kandungan organik yang tinggi. Hal tersebut mengakibatkan mikroorganisme sulit mendegradasi sampah pada kondisi rasio BOD/COD <0,4. Metode yang dapat digunakan untuk mengurangi beban organik dengan menggunakan pengolahan koagulasi flokulasi yang dioptimalisasi menggunakan RSM (*Response Surface Methodology*) dengan desain Box Behnken. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efisiensi penyisihan salinitas, TSS, COD, BOD₅ dan kadmium dan menentukan dosis dan kecepatan optimasi pada proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan RSM *design* Box Behnken.

Penelitian ini menggunakan variasi yaitu konsentasi koagulan PAC, konsentrasi flokulan kitosan, kecepatan koagulasi dan kecepatan flokulasi. Data dimasukan ke dalam *Software Design Expert* 6.0.10 RSM *design* Box-Behnken berupa dosis rentang berdasarkan penelitian di laboratorium dan kecepatan berdasarkan perhitungan G.td. Parameter uji yang dianalisis adalah salinitas, TSS, COD, BOD₅ dan kadmium. Metode yang digunakan untuk mengukur salinitas adalah Potensiometri, TSS adalah metode Gravimetri, COD adalah *Closed Reflux*, BOD adalah metode Winkler, dan Cd adalah metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala. Keuntungan menggunakan RSM *design* Box Behnken adalah mencapai prediksi yang baik dengan paling sedikit percobaan yang diperlukan.

Hasil penentuan rentang dosis menunjukkan koagulan PAC menurunkan COD, TSS dan kekeruhan pada *range* 2200 mg/L-2400 mg/L. *Range* flokulan kitosan antara 350 mg/L- 400 mg/L.

Efisiensi COD, TSS dan kekeruhan pada dosis koagulan PAC 2400 mg/L dengan 350 mg/L flokulan kitosan yaitu 71%, 45%, dan 94%. Konsentrasi salinitas dari 6,4 ppt menjadi 7,82 ppt yang termasuk salinitas rendah. Kadar Cd sudah memenuhi baku mutu sehingga tidak dilakukan pengujian. Berdasarkan *Software Design Expert* 6.0.10 didapatkan dosis optimum dengan dosis PAC 2400 mg/L, dosis kitosan 350 mg/L dan memiliki kecepatan koagulasi 279,13 rpm serta flokulasi 60 rpm.

Kata kunci: koagulasi flokulasi, kitosan, lindi, PAC, RSM

OPTIMIZATION OF DOSAGE AND SPEED IN COAGULATION-FLOCCULATION PROCESS OF BENOWO LANDFILL LEACHATE USING POLY ALUMINIUM CLHORIDE AND CHITOSAN BY BOX BEHNKEN DESIGN IN RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

Name : Mahdiyah Anes
Student ID : 03211540000035
Departement : Environmental Engineering
Supervisor : Harmin Sulistiyaning Titah, ST, MT, Ph.D.

ABSTRACT

Benowo Landfill produces leachate with high organic content. This makes it difficult for microorganisms to degrade solid waste in conditions where BOD/COD ratio <0.4 . One of the methods that can be used to reduce organic load is coagulation-flocculation process, which can be optimized using RSM (Response Surface Methodology) with Box-Behnken design. This study aims to determine the removal efficiency of salinity, TSS, COD, BOD₅ and cadmium concentrations and determine the optimum dose and speed in the coagulation-flocculation process using RSM Box-Behnken design.

The variables used in this study are PAC coagulant concentration, chitosan flocculant concentration, coagulation speed, and flocculation speed. Data is entered into Design Expert Software 6.0.10 in RSM Box-Behnken design in the form of variations of dose based on the laboratory research and variations of speed based on G.td calculations. The parameters analyzed are salinity, TSS, COD, BOD₅ and cadmium concentrations. The methods of analysis are Potentiometry for salinity, Gravimetric method for TSS, Closed Reflux method for COD, Winkler method for BOD, and Atomic Absorption Spectrophotometry (SSA) method for Cd. The advantage of using RSM Box Behnken design is achieving good predictions with the few amounts of trial needed.

The result showed the determination of the dosage range PAC coagulant is able to decrease COD, TSS and turbidity with dosage ranging from 2200 mg/L to 2400 mg/L. The range of chitosan flocculant dosage is between 350 mg/L and 400 mg/L.

The efficiency of COD, TSS and turbidity removal using PAC coagulant dose of 2400 mg/L and chitosan flocculant dose of 350 mg/L are 71%, 45%, and 94%. Salinity concentration from 6.4 ppt to 7.82 ppt which included low salinity. The concentration of Cd has met the quality standard so that it is not tested. Based on Software Design Expert 6.0.10, the optimum dose of obtained with a PAC dose of 2400 mg / L, a dose of chitosan 350 mg / L and had a coagulation velocity of 279,13rpm and a flocculation of 60 rpm.

Keywords: coagulation-flocculation, chitosan, leachate, PAC, RSM

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas ridha dan inayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **Optimasi Dosis dan Kecepatan pada Proses Koagulasi-Flokulasi Lindi TPA Benowo Menggunakan *Poly Aluminium Chloride* dan Kitosan dengan *Response Surface Methodology Design Box Behnken*** dengan baik. Pada penyelesaian tugas ini penulis mendapat saran dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Harmin Sulistiyaning Titah, ST, MT, Ph.D, selaku dosen pembimbing
 2. Bapak Welly herumurti, ST., MSc, selaku koordinator tugas akhir
 3. Ibu Dr. Ir. Ellina Pandebesie, MT, Ibu ipung Fitri Purwanti, St, Mt, Ph.D dan Bapak Welly herumurti, ST., MSc, selaku dosen pengarah
 4. Teman-teman Teknik Lingkungan 2015 terimakasih atas kerjasama dan motivasinya.
 5. Seluruh civitas akademika di Jurusan Teknik Lingkungan. Serta, keluarga atas semua dukungan, baik mental, moral, materi dan spiritual selama ini.
- Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga Tugas Akhir ini dapat memeberi manfaat bagi para pembaca.

Surabaya, April 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Karakteristik Lindi TPA Benowo	5
2.2 Koagulasi Flokulasi.....	7
2.2.1 Faktor yang Mempengaruhi Koagulasi Flokulasi ..	8
2.2.2 Jenis Koagulan dan Flokulan	9
2.3 Pengadukan	10
2.3.1 Pengadukan Cepat.....	12
2.3.2 Pengadukan Lambat	12
2.4 Metode RSM (<i>Response Surface Methodology</i>).....	12
2.5 Studi Terdahulu Mengenai Koagulasi Flokulasi	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Deskripsi Umum	17
3.2 Kerangka Penelitian	17

3.2.1	Ide Penelitian	19
3.2.2	Studi Literatur.....	19
3.2.3	Persiapan Penelitian	19
3.2.4	Pengambilan sampling	20
3.2.5	Penelitian Pendahuluan	21
3.2.6	Estimasi Dosis dan Kecepatan dengan Menggunakan RSM	21
3.2.7	Penelitian Utama	23
3.2.8	Parameter Penelitian	25
3.2.9	Analisa dan Pembahasan.....	25
3.2.10	Kesimpulan dan Saran	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Karakteristik Awal	27
4.2	Penelitian Pendahuluan.....	28
4.3	Dosis dan Kecepatan dengan Menggunakan RSM ..	42
4.3.1	Hasil Perlakuan Berdasarkan <i>Software Design Expert</i> 6.0.10.....	43
4.3.2	Nilai Optimum Berdasarkan <i>Software Design Expert</i> 6.0.10.....	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	59
DAFTAR PUSTAKA.....		61
LAMPIRAN 1 Perhitungan G.Td.....		69
LAMPIRAN 2 Design Expert 6.0.10 RSM Desain Box Behnken.		73
LAMPIRAN 3 Prosedur Analisis Laboratorium		79
LAMPIRAN 4 Foto Penelitian		85

LAMPIRAN 5 Hasil Pengujian Kadmium	89
BIOGRAFI PENULIS	91

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konsentrasi Lindi Muda dan Lindi Tua.....	6
Tabel 2.2	Baku Mutu Lindi.....	6
Tabel 2.3	Karakteristik Lindi TPA Benowo	6
Tabel 2.4	Konstanta K_7 dan K_L untuk Tangki Bersekat	11
Tabel 2.5	Nilai <i>Desirability</i>	14
Tabel 2.6	Hasil Penelitian Terdahulu	14
Tabel 3.1	Metode Analisis pada Parameter Penelitian	26
Tabel 4.1	Karakteristik Awal	27
Tabel 4.2	Karakteristik pH Setelah Ditambah PAC	29
Tabel 4.3	Karakteristik Alkalinitas Setelah Ditambahkan PAC	29
Tabel 4.4	Karakteristik COD Setelah Ditambahkan PAC.....	32
Tabel 4.5	Karakteristik TSS Setelah Ditambahkan PAC.....	33
Tabel 4.6	Karakteristik Kekeruhan Setelah Ditambahkan PAC	33
Tabel 4.7	Karakteristik Salinitas Setelah Ditambahkan PAC	34
Tabel 4.8	Karakteristik COD Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-1200)mg/L	35
Tabel 4.9	Karakteristik TSS Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-1200)mg/L	35
Tabel 4.10	Karakteristik Kekeruhan Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-1200)mg/L	36
Tabel 4.11	Karakteristik Salinitas Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-1200)mg/L	36
Tabel 4.12	Karakteristik pH Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-1200)mg/L	37
Tabel 4.13	Karakteristik COD Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-450)mg/L	37

Tabel 4.14	Karakteristik TSS Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-450)mg/L	38
Tabel 4.15	Karakteristik Kekeruhan Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-450)mg/L	38
Tabel 4.16	Karakteristik Salinitas Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-450)mg/L	39
Tabel 4.17	Karakteristik pH Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-450)mg/L	39
Tabel 4.18	Perbedaan Hasil Efisiensi.....	41
Tabel 4.19	Dosis dan Kecepatan Berdasarkan <i>Software Design Expert 6.0.10</i>	42
Tabel 4.20	Hasil Analisis Laboratorium yang Dimasukan <i>Software Design Expert 6.0.10</i>	43
Tabel 4.21	Hasil Anova Analisis COD Berdasarkan <i>Software Design Expert 6.0.10</i>	45
Tabel 4.22	Hasil Anova Analisis TSS Berdasarkan <i>Software Design Expert 6.0.10</i>	45
Tabel 4.23	Hasil Anova Analisis Kekeruhan Berdasarkan <i>Software Design Expert 6.0.10</i>	46
Tabel 4.24	Hasil Anova Analisis Salinitas Berdasarkan <i>Software Design Expert 6.0.10</i>	46
Tabel 4.25	Hasil Analisis Validasi.....	56
Tabel 4.26	Hasil Optimasi Berdasarkan <i>Software Design Expert 6.0.10</i>	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Desain Box Behnken untuk Tiga Faktor.....	13
Gambar 3.1	Kerangka Penelitian	18
Gambar 3.2	Alat Koagulasi Flokulasi (Jart Test).....	20
Gambar 3.3	Diagram Alir Estimasi Dosis dan Kecepatan.....	23
Gambar 3.4	Diagram Alir Pada Penelitian Utama.....	23
Gambar 3.5	Diagram Alir Protes Koagulasi-Flokulasi dengan RSM.....	24
Gambar 4.1	Hubungan Efisiensi Tiap Parameter dengan Dosis PAC	34
Gambar 4.2	Hubungan Efisiensi Tiap Parameter dengan Dosis PAC dan Kitosan	41
Gambar 4.3	Nilai Residu vs Normal pada Penyisihan COD	48
Gambar 4.4	Nilai Residu vs Normal pada Penyisihan TSS	48
Gambar 4.5	Nilai Residu vs Normal pada Penyisihan Kekeruhan	49
Gambar 4.6	Nilai Residu vs Normal pada Penyisihan Salinitas	49
Gambar 4.7	Nilai Aktual vs Prediksi Penyisihan COD	50
Gambar 4.8	Nilai Aktual vs Prediksi Penyisihan TSS	50
Gambar 4.9	Nilai Aktual vs Prediksi Penyisihan Kekeruhan	51
Gambar 4.10	Nilai Aktual vs Prediksi Penyisihan Salinitas.....	51
Gambar 4.11	Interaksi Pengaruh Variabel Terhadap Respon Penyisihan COD dalam Respon Surface 3D	52
Gambar 4.12	Interaksi Pengaruh Variabel Terhadap Respon Penyisihan TSS dalam Respon Surface 3D	53
Gambar 4.13	Interaksi Pengaruh Variabel Terhadap Respon Penyisihan Kekeruhan dalam Respon Surface 3D	53

Gambar 4.14 Interaksi Pengaruh Variabel Terhadap Respon
Penyisihan Salinitas dalam Respon Surface 3D ..54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lindi TPA Benowo mempunyai kandungan yang sangat kompleks akibat beragamnya komposisi sampah yang masuk ke dalam TPA. Konsentrasi bahan organik dalam lindi menunjukkan nilai yang tinggi, sebagai hasil dekomposisi sampah dan juga berasal dari proses infiltrasi dari air limpasan (Royadi, 2006). Pengolahan lindi di TPA benowo saat ini menggunakan AOP (*Advanced Oxidation Process*) dan NF (Nano Filter), AOP-NF ini menciptakan oksidasi yang kuat dengan energi yang besar atas bantuan tenaga listrik dengan tegangan dan frekuensi tertentu. AOP di TPA benowo menggunakan oksidator peroksida, ozon dan UV dimana biaya bahan kimia besar dan efisiensi akan berkurang jika terdapat karbonat dan bikarbonat di dalam lindi. Ketika turbiditas tinggi maka efisiensi akan berkurang apabila menggunakan UV sebagai oksidator. Serta apabila TDS tinggi penggunaan NF dapat terganggu mengakibatkan *blocking*.

Berdasarkan hasil analisis yang ada kandungan salinitas lindi TPA Benowo cukup tinggi yang dapat berakibat toksik terhadap mikroorganisme. Tingginya salinitas dipengaruhi oleh tingginya konsentrasi klorida pada lindi. Hal tersebut dikarenakan keberadaan TPA Benowo berada di daerah tambak milik masyarakat sehingga mengakibatkan intrusi air laut. Salinitas mempengaruhi aktivitas mikroorganisme menyebabkan ketidakseimbangan konsentrasi cairan dalam sel mikroorganisme dengan lingkungan. Sel tidak dapat menjalankan fungsinya secara optimal dikarenakan runtuhnya dinding sel (*cytorrhysis*) (Kargi & Dincer, 1996). Lindi yang dihasilkan mengandung bahan yang sulit diuraikan (tingkat biodegradabilitas rendah) sehingga membutuhkan pengolahan terlebih dahulu. Tingkat biodegradabilitas ini ditunjukkan dengan nilai rasio BOD₅/COD.

Pada umumnya lindi memiliki nilai rasio BOD₅/COD sangat rendah (<0,4). TPA Benowo memiliki rasio BOD₅/COD antara 0,2-0,4 (Maghriba, 2010). Nilai BOD₅/COD yang rendah membuat pengolahan secara biologi sulit dilakukan (Rezagama & Notodarjo, 2012). Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan pengolahan fisik-kimia dengan koagulasi-flokulasi.

Mengacu pada beberapa penelitian dahulu, koagulasi flokulasi sebagai *pretreatment* menunjukkan hasil yang cukup baik (Liu dkk., 2012). Namun, penelitian tersebut banyak diterapkan pada negara maju dengan kondisi TPA yang sudah menerapkan *sanitary landfill*. Sehingga, proses koagulasi-flokulasi dioptimalkan pada dosis dan kecepatan yang telah disesuaikan dengan gradien kecepatan (G) dan waktu detensi (td) serta koagulan dan flokulan yang digunakan. Koagulan PAC, koagulan tersebut dipilih karena lebih cepat dalam pembentukan flok dari pada tawas (Lindu, 2015). Flokulan kitosan, kitosan dapat menurunkan partikel anorganik dan organik tersuspensi serta organik terlarut dalam air atau air limbah (Renault dkk., 2008).

RSM (*Response Surface Methodology*) desain Box Behnken, metode ini dipilih untuk mendapatkan hubungan yang dihasilkan antara variabel respon efisiensi penyisihan terhadap variabel independen konsentrasi koagulan, konsentrasi flokulan, kecepatan koagulasi dan kecepatan flokulasi. RSM dapat menentukan variabel mana yang berpengaruh besar terhadap efisiensi penyisihan dengan menentukan dosis dan kecepatan optimum melalui perhitungan statistik.

1.2 Rumusan Masalah

TPA Benowo memiliki rasio BOD₅/COD antara 0,2 - 0,4 mengindikasikan bahan organik dalam lindi bersifat sulit didegradasi secara biologis. Kondisi salinitas di TPA Benowo cukup tinggi yang dapat berakibat toksik terhadap mikroorganisme. Saat ini, TPA Benowo menggunakan proses pengolahan AOP-NF. AOP di TPA Benowo menggunakan oksidator peroksida, ozon dan UV yang memiliki beberapa kekurangan seperti berkurangnya efisiensi akibat lindi terdapat karbonat dan bikarbonat, ketika turbiditas tinggi dan TDS tinggi.

Pada tahun 2005 telah dilakukan penelitian koagulasi dua tahap untuk meningkatkan efisiensi lindi di TPA Benowo menggunakan koagulan alum dan kapur. Sehingga, pada penelitian ini mencoba untuk dilakukan pendekatan secara statistik untuk mengoptimasi dosis dan kecepatan proses koagulasi-flokulasi menggunakan PAC dan kitosan dengan RSM desain Box Behnken. Digunakan variasi konsentrasi koagulan, variasi

konsentrasi flokulan, variasi kecepatan koagulasi dan variasi kecepatan flokulasi

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan efisiensi penyisihan salinitas, TSS, COD, BOD₅, dan kadmium pada lindi TPA Benowo
2. Menentukan dosis dan kecepatan optimasi pada proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan RSM desain Box Behnken.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah:

- a. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium yang berlokasi di Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- b. Sampel lindi yang digunakan pada penelitian ini berasal dari outlet kolam pengumpul lindi TPA Benowo Surabaya.
- c. Jenis koagulan dan flokulan yang digunakan pada penelitian ini adalah PAC dan kitosan.
- d. Variasi yang dilakukan adalah
 - Variasi konsentrasi koagulan
 - Variasi konsentrasi flokulan
 - Variasi kecepatan koagulasi
 - Variasi kecepatan flokulasi
- e. Parameter yang diukur meliputi salinitas, TSS, COD, BOD₅, kadmium dan pH.
- f. Parameter penting koagulasi-flokulasi yaitu gradient kecepatan (G) dan waktu detensi (td).

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah

- a. Mendapatkan solusi penanganan masalah salinitas lindi dan zat organik pada TPA benowo.
- b. Memperoleh ilmu pengetahuan dalam mengetahui pengaruh RSM dengan desain Box Behnken menggunakan koagulasi flokulasi terhadap penurunan salinitas dan bahan organik lindi di TPA Benowo.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Lindi TPA Benowo

TPA Benowo merupakan tempat pemrosesan akhir sampah milik Kota Surabaya yang terletak di Kelurahan Romokalisari Kecamatan Benowo, Kota Surabaya. Topografi Kota Surabaya terletak di sebelah barat Kabupaten Gresik, tepi pantai utara Provinsi Jawa Timur dengan ketinggian antara 3 – 8 m di atas permukaan laut (DPM & PTSP, 2018). Penumpukan sampah pada TPA Benowo semakin lama semakin bertambah mengakibatkan lindi yang dihasilkan, membuat masyarakat terganggu akan bau yang sangat menyengat.

Lindi (*leachate*) adalah cairan yang merembes melalui tumpukan sampah dengan membawa materi terlarut atau tersuspensi terutama hasil proses dekomposisi materi sampah (Damanhuri, 2010). Lindi dapat meresap ke dalam tanah yang menyebabkan pencemaran tanah dan air tanah secara langsung karena dalam lindi terdapat berbagai senyawa kimia organik dan anorganik serta sejumlah patogen (Susanto, 2004). Timbulan lindi baik kuantitas maupun kualitas lindi akan terjadi bervariasi dan berfluktuasi akibat adanya berbagai faktor yang berpengaruh (Tchobanoglous dkk., 2004).

Pada musim hujan dan kemarau terjadi perbedaan temperatur mengakibatkan terjadinya perbedaan karakteristik lindi yang dihasilkan akibat dari mikroorganisme pendegradasi yang memiliki suhu pertumbuhan optimum pada kondisi tertentu. Tingkat kandungan air serta temperatur dari sampah dalam *landfill* sangat berpengaruh terhadap degradasi sampah yang akhirnya akan berpengaruh terhadap lindi yang dihasilkan (Wall dkk., 1995). Berbagai macam jenis sampah yang masuk kedalam *landfill* mempengaruhi kualitas lindi yang dihasilkan. Kualitas lindi akan mencapai maksimum berkisar 2 – 3 tahun setelah sampah ditempatkan pada *landfill* dan selanjutnya secara gradual akan menurun sampai waktu yang belum bisa ditentukan. Namun demikian tidak semua parameter kualitas lindi terjadi pada waktu yang sama, seperti BOD dan COD sampai 10 tahun konsentrasinya tinggi dan selanjutnya menurun secara gradual (FCSHWM, 1998).

Tabel 2.1 Konsentrasi Lindi Muda dan Lindi Tua

Parameter	Konsentrasi (mg/L)	
	Lindi Muda	Lindi Tua
COD	20000-40000	500-3000
BOD ₅	10000-20000	50-100

Sumber : PT Iraya, 2015

Tabel 2.2 Baku Mutu Lindi

Parameter	Kadar Paling Tinggi	
	Nilai	Satuan
pH	6-9	-
BOD	150	mg/L
COD	300	mg/L
TSS	100	mg/L
Kadmium	0,1	mg/L

Sumber : PerMen LH No 59, 2016

Tabel 2.3 Karakteristik Lindi TPA Benowo

Parameter	Nilai
Salinitas	6552 mg/L
Klorida	3626 mg/L
*Klorida	10300 mg/L
pH	8,21
**pH	8,43
COD	2400 mg/L
**COD	4064 mg/L
**BOD	1940 mg/L
**TSS	43 mg/L
**Cd	0,21 mg/L

Sumber : Hidayati, 2011

* Fajariyah, 2017

** PT Sumber Organik, 2017 Analytical Report

Pemantauan lindi di beberapa TPA telah dilakukan di Indonesia sejak tahun 1988. Berdasarkan hasil tinjauan Tabel 2.1 dan Tabel 2.3 di atas, lindi TPA Benowo termasuk ke dalam kategori lindi tua karena memiliki nilai bahan organik (COD dan BOD) konsentrasi rendah. Logam Cd menjadi parameter penelitian karena dalam terdeteksi pada tahun 2017 logam kadmium dalam lindi Benowo konsentrasinya 0,21 mg/L berada diatas baku mutu lindi 0,1 mg/L yang apabila dibuang ke lingkungan dapat membahayakan makhluk hidup.

2.2 Koagulasi Flokulasi

Proses koagulasi flokulasi berfungsi untuk menurunkan beban organik air lindi serta menyisihkan padatan tersuspensi sehingga pengolahan selanjutnya lebih mudah (Rezagama dkk., 2016). Proses koagulasi flokulasi terjadi pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Pada proses koagulasi terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (koagulan). Akibat pengadukan cepat, koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif dan nantinya akan terbentuk inti flok. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan dari proses penguraian koagulan. Pengadukan cepat dimaksudkan agar koagulan yang dibubuhkan dapat tercampur secara merata/homogen. Proses flokulasi yaitu penggabungan inti flok menjadi flok berukuran lebih besar yang memungkinkan partikel dapat mengendap. Penggabungan flok kecil menjadi flok besar terjadi akibat adanya pengadukan lambat. Pada bak pengaduk lambat, terjadi pembentukan flok yang berukuran besar hingga mudah diendapkan pada bak sedimentasi (Masduqi dan Assomadi, 2012). Menurut Urban dan Torres (2013) mengatakan meskipun koagulasi flokulasi tidak dirancang untuk menghilangkan garam air, sering kali sejumlah garam hilang bersamaan proses pengendapan. Proses koagulasi flokulasi mampu untuk membantu menurunkan salinitas pada air payau (Ginting dkk., 2016).

2.2.1 Faktor yang Mempengaruhi Koagulasi Flokulasi

Faktor utama yang mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi adalah kekeruhan, padatan tersuspensi, suhu, pH, komposisi dan konsentrasi kation dan anion, durasi dan tingkat agitasi selama koagulasi dan flokulasi, dosis koagulan dan jika diperlukan koagulan pembantu (Masduqi dan Assomadi, 2012)

Menurut Rosariawari (2013) mengatakan bahwa proses koagulasi dan flokulasi yang optimum banyak dipengaruhi variabel-variabel yang kompleks, adapun variabel yang mempengaruhi adalah :

1. Kualitas Air
Kebutuhan koagulan tergantung pada kekeruhan. Kekeruhan yang tinggi dapat menyebabkan proses koagulasi menjadi lebih efektif, tetapi penambahan koagulan tidak selalu berkorelasi linier terhadap kekeruhan.
2. Kuantitas dan Karakteristik Air
Ukuran partikel yang tidak seragam jauh lebih mudah untuk dikoagulasi. Hal ini karena pusat aktif lebih mudah terbentuk pada partikel kecil, sedangkan partikel yang besar mempercepat terjadinya pengendapan. Kombinasi dari kedua jenis partikel ini menyebabkan semakin mudahnya proses koagulasi.
3. Pengaruh pH
Pemilihan pH yang tepat akan mengakibatkan dosis koagulan yang digunakan untuk memperoleh effluen yang optimum adalah kecil. Hal ini sebabkan oleh sifat kimia koagulan yang sangat tergantung pada pH. Adanya batasan nilai pH terjadi karena pengaruh jenis koagulan yang dipakai dan reaksi koagulan dalam air dalam menentukan konsentrasi koagulan yang digunakan. Kesalahan pengoperasian dalam menentukan *range* pH akan mengakibatkan pemborosan bahan kimia dan mengakibatkan kualitas yang rendah dalam effluen pengolahan air limbah.
4. Kecepatan Putaran dan Waktu Putaran
Kecepatan putaran sangat berhubungan dengan proses pencampuran koagulan kedalam air, proses destabilisasi partikel dan perpindahan serta penggabungan presipitat

yang terbentuk menjadi flok-flok. Waktu pengadukan juga sangat berpengaruh karena berhubungan dengan waktu yang dibutuhkan presipitat saling bertumbukan satu sama lain sehingga cukup untuk membentuk flok dengan kualitas terbaik.

5. Temperatur

Temperatur yang rendah memberikan efek yang merugikan terhadap efisiensi semua proses pengolahan. Waktu kontak dalam fasilitas koagulasi flokulasi sebaiknya diatur. Semakin rendah temperatur membutuhkan waktu kontak semakin lama karena mempengaruhi pembentukan flok-flok supaya cepat mengendap di bak pengendap.

2.2.2 Jenis Koagulan dan Flokulan

Terdapat berbagai macam koagulan dan flokulan yang dapat digunakan sebagai alternatif dalam meningkatkan kualitas effluent air limbah. Salah satu koagulan dan flokulan yang dapat digunakan yaitu PAC (*Poly Aluminium Chloride*) dan kitosan.

Menurut Noviani (2012) menyatakan bahwa PAC adalah garam dasar khusus aluminium klorida yang dirancang untuk memberikan daya koagulasi dan flokulasi yang lebih kuat dan lebih baik dari pada aluminium biasa dan garam besi. PAC mempunyai rumus $Alm(OH)nCl(3m-n)$. PAC mempunyai derajat polimerisasi yang tinggi, suatu bentuk polimer anorganik dengan bobot molekul yang besar. Keunggulan PAC adalah selain sangat baik untuk menghilangkan kekeruhan dan warna, juga efektif pada tingkat pH yang luas, aktivitas tidak dipengaruhi oleh suhu, kekeruhan tidak akan bertambah meski dengan dosis yang berlebihan, pemakaian bahan pembantu lebih kecil, penghematan dalam penggunaan bahan netralisasi, bereaksi lebih cepat. Dosis PAC dibutuhkan lebih sedikit untuk hasil optimum dibanding dengan alum (Ghafari dkk., 2009).

Kitosan memiliki gugus amina (NH_2) yang bersifat nukleofil (molekul yang kaya elektron) kuat yang menyebabkan kitosan dapat digunakan sebagai polielektrolit kation yang bersifat multifungsi dan berperan dalam pembentukan flok (Sinardi, 2013). Proses koagulasi flokulasi menggunakan kitosan dapat menurunkan partikel anorganik dan organik tersuspensi serta

organik terlarut dalam air atau air limbah (Renault dkk., 2008). Kitosan memiliki kelebihan yaitu tidak *toxic*, ramah lingkungan, tidak bersifat kaustik, hasil flokulasi menunjukkan ukuran flok besar dan flokulan dapat larut sampai pH 10 (Haufe dkk., 2017). Kitosan dalam proses koagulasi flokulasi berada pada pH optimum 4-6 dapat terbentuk flok yang lebih besar karena jembatan polimer terhubung satu sama lain dan partikel tersuspensi mudah untuk mengendap (Saniy, 2017). Lindi Benowo tergolong pH basa dengan menggunakan PAC pada proses koagulasi pH akan turun menjadi netral atau sedikit asam. Fungsi kitosan tidak menjadi adsorben karena kitosan bekerja pada pH netral yang dapat membentuk flok dengan baik. Apabila kitosan bekerja pada pH basa jumlah muatan negatif OH⁻ lebih besar. Muatan negatif dari OH⁻ akan mengganggu proses destabilisasi antara muatan negatif partikulat terhadap muatan positif kitosan.

2.3 Pengadukan

Menurut Masduqi dan Assomadi (2012) menyatakan pengadukan merupakan operasi mutlak diperlukan pada proses koagulasi flokulasi. Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Pengadukan lambat berperan dalam upaya penggabungan flok. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dalam gradient kecepatan. Gradient kecepatan merupakan fungsi dari tenaga yang disuplai (P):

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- P : suplai tenaga ke air, (N.m/detik)
- V : volume air yang diaduk, m³
- μ : viskositas absolut air, N.detik/m²

Persamaan (2.3) berlaku umum untuk semua jenis pengadukan. Parameter yang membedakannya adalah besarnya tenaga yang disuplai ke dalam air (P). Tenaga pengadukan adalah tenaga yang digunakan untuk melakukan pengadukan. Perhitungan tenaga pengadukan berbeda-beda bergantung pada jenis pengadukannya. Pada pengadukan mekanis, yang berperan

dalam menghasilkan tenaga adalah bentuk dan ukuran alat pengaduk serta kecepatan putaran alat pengaduk. Hubungan antar variabel itu dapat dinyatakan dengan persamaan (2.2) untuk bilangan Reynold (NR_e) lebih dari 10.000 dan persamaan (2.3) untuk nilai (NR_e) kurang dari 20. Bilangan Reynold untuk alat pengaduk dapat dihitung dengan persamaan (2.4).

$$P = K_T n^3 D_i^5 \rho \quad (2.2)$$

$$P = K_L n^2 D_i^3 \mu \quad (2.3)$$

$$NR_e = \frac{D_i^2 n \rho}{\mu} \quad (2.4)$$

Keterangan:

P : tenaga, N-m/det

K_T : konstanta pengaduk untuk aliran turbulen

n : kecepatan putaran, rps

D_i : diameter pengaduk, m

ρ : massa jenis air, kg/m^3

K_L : konstanta pengaduk untuk laminar

μ : kekentalan absolut cairan, (N-det/ m^2)

Nilai K_T dan K_L untuk tangki bersekat 4 buah pada dinding tangki, dengan lebar sekat 10% dari diameter tangki diberikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Konstanta K_T dan K_L untuk Tangki Bersekat

Jenis Impeller	K_L	K_T
Propeller, pitch of 1,3 blades	41,0	0,3
Propeller, pitch of 2,3 blades	43,5	1,0
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,3
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65,0	5,8
Turbine, 6 curved blades	70,0	4,8
Fan turbine, 6 blades at 45	70,0	1,7
Shroude turbine, 6 curved blades	97,5	1,1
Shroude turbine, with stator, no baffles	172,5	1,1
Flat paddles, 2 bades (single paddle), $D_i/W_i = 4$	43,0	2,3
Flat paddles, 2 bades, $D_i/W_i = 6$	36,5	1,7

Jenis Impeller	K_L	K_T
Flat paddles, 2 bades, $Di/Wi = 8$	33,0	1,2
Flat paddles, 4 bades, $Di/Wi = 6$	49,0	2,8
Flat paddles, 6 bades, $Di/Wi = 8$	71,0	3,8

Sumber: Reynold dan Richards, 1996

2.3.1 Pengadukan Cepat

Menurut Masduqi dan Assomadi (2012) menyatakan tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air. Pengadukan cepat adalah pengadukan yang dilakukan pada gradien kecepatan (G) 700/detik - 1000/detik selama (td) 20 detik – 60 detik untuk proses koagulasi flokulasi dan nilai $G.td$ berkisar 14.000-60.000 (Reynold dan Richards, 1996).

2.3.2 Pengadukan Lambat

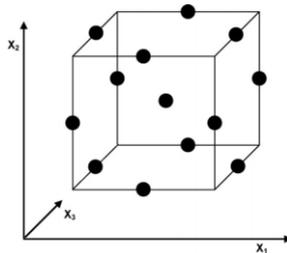
Menurut Masduqi dan Assomadi (2012) menyatakan tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar. Pengadukan lambat adalah pengadukan yang dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20/detik sampai 100/detik) selama 10 menit - 60 menit atau nilai $G.td$ (bilangan Camp) berkisar 48.000 hingga 210.000. Hasil flok yang baik, gradien kecepatan dapat diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah lagi dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar.

2.4 Metode RSM (*Response Surface Methodology*)

RSM (*Response Surface Methodology*) adalah suatu metode analisis statistik yang dipengaruhi oleh beberapa variabel untuk mengoptimalkan suatu proses. RSM membuat proses permodelan menjadi simple, efisien dan mengurangi waktu percobaan (Okafu dan Onukwuli, 2015). Prinsip pada RSM adalah mengetahui pengaruh variabel bebas terhadap respon, mendapatkan model hubungan antara variabel bebas dan respon serta mendapatkan

kondisi proses yang menghasilkan respon terbaik (Nurmiah dkk., 2013). Keuntungan menggunakan RSM yaitu lebih cepat dan informatif dibanding dengan pendekatan satu variabel klasik atau desain faktorial lengkap (Singh dkk., 2012). RSM dapat mencapai prediksi yang baik dengan paling sedikit percobaan yang diperlukan (Liu dkk., 2012). Di dalam RSM terdapat saah satu metode Box Behnken.

Desain Box Behnken digunakan untuk mengevaluasi efek dan interaksi dari minimal tiga faktor yang memengaruhi (Urban dan Torres, 2013). Pada umumnya, matriks pada Box Behnken digambarkan sebagai bangunan tiga dimensi, untuk menganalisis hubungan antar variable penelitian. Desain Box Behnken digunakan pada penelitian yang bersifat serentak dan tidak bertahap. Keterbatasan desain ini adalah variable harus bersifat numerik, tidak cocok untuk eksperimen bertahap dan tidak dapat memprediksikan di luar titik desain (Imron, 2018). Desain Box Behnken dibentuk berdasarkan pada kombinasi faktorial 2^k dengan *incomplete block design* dengan menambahkan center run pada rancangannya (Ferreira dkk., 2007). Dapat dilihat Gambar 2.2 desain Box-Behnken untuk tiga faktor.



Gambar 2.1 Desain Box Behnken untuk Tiga Faktor

Sumber: Ferreira dkk. (2007)

Optimasi oleh RSM desain Box Behken dapat dilihat dari nilai desirability. Desirability merupakan hasil kualitas produk yang diinginkan dalam suatu penelitian. Berikut ini nilai katagori dalam desirability:

Tabel 2.5 Nilai *Desirability*

Standard estimates	Desires	Kualitas produk
1	<i>Excellent</i>	Kualitas atau kepuasan yang paling utama dan peningkatan di luar poin ini tidak akan memiliki nilai yang berarti
1 - 0,8	<i>Very good</i>	Dapat diterima dan luar biasa, mewakili kualitas atau kinerja yang tidak biasa, jauh melampaui apa pun yang tersedia secara komersial
0,8 - 0, 63	<i>Good</i>	Dapat diterima dan baik, mewakili kualitas terbaik dengan nilai terakhir 0,63
0,63 - 0,37	<i>Satisfactory</i>	Dapat diterima tetapi buruk. Dapat diterima dengan kualitas batas spesifikasi
0,37 - 0,2	<i>Bad</i>	Tidak dapat diterima, komposisi dengan kualitas ini akan menyebabkan kegagalan proyek
0,2 - 0,0	<i>Very bad</i>	Benar-benar tidak dapat diterima

2.5 Studi Terdahulu Mengenai Koagulasi Flokulasi

Penelitian terdahulu merupakan acuan dan pembelajaran dalam penelitian selanjutnya dalam penelitian koagulasi flokulasi untuk penyisihan polutan organik yang terdapat pada lindi. Berikut merupakan hasil penelitian terdahulu yang terdapat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.6 Hasil Penelitian Terdahulu

Penulis	Hasil Penelitian
(Ghafari, 2009)	Pengolahan lindi pada TPA Pulau Burung (PBLs), Penang, Malaysia menggunakan dosis koagulan PAC 100 mg/L-300 mg/L dengan pH 6,5-8,5 didapatkan kondisi optimum pada dosis 200 mg/L dan pH 7,5. Efisiensi TSS yang didapatkan 92,2%. Pada penelitian ini menggunakan pengadukan cepat 80 rpm selama 1 menit dan kecepatan lambat 30 rpm selama 15 menit dan pengendapan 30 menit .

Penulis	Hasil Penelitian
(Lindu, 2015)	Pada pengolahan lindi Bantar Gebang memiliki karakteristik COD 2947 mg/L, BOD 323 mg/L, TSS 250 mg/L, dan pH 8,25. Pengolahan menggunakan koagulasi flokulasi dengan dosis koagulan PAC dapat menyisihkan COD pada dosis 800 mg/L dan pH optimum 7-8. Pengadukan cepat dilakukan selama 60 detik pada kecepatan putar 150 rpm. Kecepatan di perlambat menjadi 25 rpm selama 20 menit. Lumpur yang dihasilkan saat menggunakan PAC lebih kompak dan padat.
(Saniy, 2017)	Proses koagulasi flokulasi pada pengolahan lindi TPA Jatibarang menggunakan kitosan (limbah cangkang udang) terjadi penurunan efisiensi COD 24,1 %, BOD 26,2% dan TSS 22,51% dengan konsentrasi optimal pada dosis 200 mg/L. Kecepatan pengadukan 100 rpm selama 1 menit lalu flokulasi dengan kecepatan pengadukan 20 rpm selama 15 menit dan dilakukan pengendapan selama 60 menit.
(Qiu, 2013)	Penggunaan RSM desain Box Behnken berhasil menunjukkan proses gabungan US/H ₂ O ₂ yang efektif untuk oksidasi arsenit daripada menggunakan ultrasonik (H ₂ O ₂) dalam proses oksidasi. Efisiensi oksidasi diprediksi dari RSM dalam kondisi optimal mencapai 88,95%. Hasil uji konfirmasi kondisi optimal memverifikasi validitas RSM menghasilkan efisiensi oksidasi 90,1%.
(Okafo dan Onukwuli, 2015)	Penelitian digunakan untuk mengoptimalkan variabel dari proses koagulasi flokulasi yaitu pH, dosis koagulan, kosentrasi pewarna dan waktu dengan RSM desain CCD (<i>Central Composite Design</i>) menggunakan koagulan polimer alami. Didapatkan hasil penelitian menunjukkan kecocokan antara data penelitian dengan data dari RSM. Salah satu contoh hasil kolagulan dengan vigna unguiculata, hasil uji mencapai 95,02% dan prediksi RSM mencapai 97,73%. Pendekatan dengan RSM berhasil diterapkan untuk mengoptimalkan proses koagulasi flokulasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

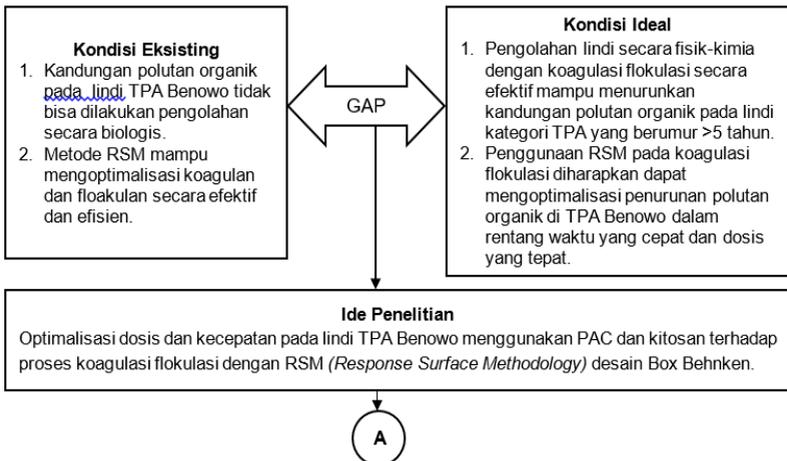
BAB III METODE PENELITIAN

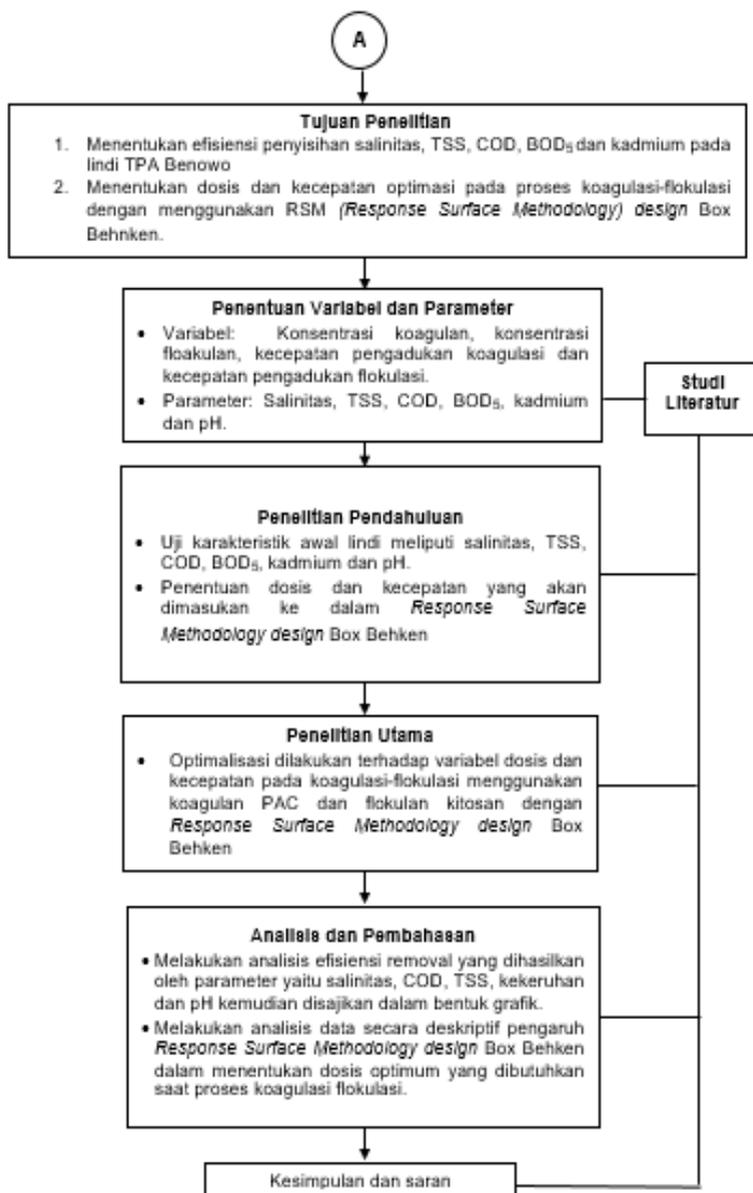
3.1 Deskripsi Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil optimalisasi dosis koagulan PAC (*Poly Aluminium Chloride*) dan flokulan kitosan menggunakan RSM desain Box Behnken. Dosis optimasi yang diperoleh digunakan untuk melihat keefektifan RSM sebagai salah satu upaya untuk menurunkan salinitas, TSS, COD, BOD₅, dan kadmium. Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan. Variasi dalam penelitian ini adalah konsentrasi koagulan, flokulan dan kecepatan pengadukan.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian bertujuan untuk memperjelas langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan. Kerangka penelitian meliputi ide penelitian, perumusan masalah, penentuan variasi dan parameter, pelaksanaan penelitian pendahuluan dan utama hingga analisis pembahasan dan kesimpulan. Berikut ini, kerangka penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.2.1 Ide Penelitian

Ide penelitian ini adalah optimalisasi dosis dan kecepatan pada proses koagulasi flokulasi menggunakan PAC dan kitosan dengan RSM *design* Box Behken sebagai salah satu upaya penurunan salinitas, TSS, COD, BOD₅, kadmium pada lindi TPA Benowo. Ide penelitian berawal dari kondisi lindi pada TPA Benowo yang tidak bisa lagi diolah dengan pengolahan biologis dan saat ini TPA Benowo menggunakan pengolahan kimiawi dengan AOP-NF dimana alat ini efisiensinya dapat berkurang ketika turbiditas tinggi apabila menggunakan UV sebagai oksidator dan efisiensi berkurang jika ada karbonat dan bikarbonat. Serta apabila TDS tinggi penggunaan NF dapat terganggu mengakibatkan *blocking*.

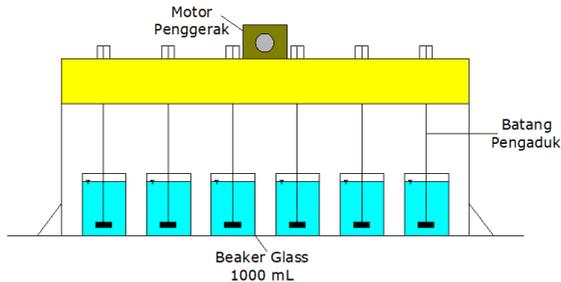
3.2.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan informasi dan data yang mendukung penelitian ini. Studi literatur ini akan memuat informasi yang dapat mendukung perlakuan, kejadian, analisis, dan pembahasan dari penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur dapat melalui buku, jurnal penelitian, artikel, laporan tugas akhir, thesis, asistensi dengan dosen pembimbing dan sebagainya. Studi literatur yang dibutuhkan meliputi karakteristik lindi, koagulasi flokulasi, faktor yang mempengaruhi koagulasi flokulasi, jenis koagulan flokulan, pengadukan cepat dan lambat, RSM menggunakan desain Box Behken dan penelitian terdahulu.

3.2.3 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian meliputi kegiatan menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan selama penelitian. Berikut merupakan rincian alat dan bahan yang diperlukan selama penelitian.

- Alat yang diperlukan
Jar test



Gambar 3.2 Alat Koagulasi Flokulasi (Jar Test)

Berdasarkan Gambar 3.2, proses koagulasi-flokulasi ini dilakukan pembubuhan secara bertahap dalam 500 mL lindi. Penambahan koagulan PAC dilakukan terlebih dahulu lalu diaduk selanjutnya penambahan flokulan kitosan lalu diaduk kemudian sedimentasi. Hal tersebut dilakukan agar partikel bersifat stabil dahulu sehingga pembentukan inti flok berjalan dengan baik. Saat memasukan koagulan PAC atau flokulan kitosan ke dalam sampel terlebih dahulu koagulan flokulan dilarutkan dengan sedikit sampel lindi. Proses koagulasi flokulasi dapat dilihat pada Lampiran 4.

- Bahan yang diperlukan
Adapun jumlah bahan yang dibutuhkan berasal dari total perkiraan dari penentuan dosis pada penelitian pendahuluan dan jumlah dosis yang telah dimasukkan ke *software design expert 6.0.10 RSM* desain Box Behnken dapat dilihat pada Lampiran 2, sebagai berikut:
 1. PAC (*Poly-Aluminium Chloride*) : 202,154 gr
 2. Kitosan : 9,2625 gr
 3. Lindi TPA Benowo : ± 70 L

3.2.4 Pengambilan sampling

Sampel lindi TPA Benowo yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari saluran outlet kolam pengumpul TPA Benowo. Saluran outlet merupakan jalur masuk lindi sebelum menuju unit pengolahan selanjutnya dan belum mengalami pengolahan sama sekali. Pengambilan sampel lindi TPA Benowo menggunakan metode grab sampling sesuai dengan SNI

6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. Pengambilan sampel lindi pada penelitian ini dilakukan disaat musim hujan. Pengambilan sampel lindi TPA Benowo menggunakan sebuah jerigen plastik dengan volume sebesar 25 liter. Lindi dibutuhkan sebanyak \pm 70 liter. Jerigen plastik yang telah disiapkan, diletakan diujung saluran outlet sehingga lindi langsung masuk kedalam jerigen.

3.2.5 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mempertajam arah penelitian utama guna menentukan langkah-langkah yang diambil selanjutnya kemungkinan diteruskan atau diperlukannya alternatif lain dalam sebuah penelitian. Adapun hal yang akan dilakukan dalam penelitian pendahuluan yaitu:

1. Menguji karakteristik awal lindi Benowo meliputi salinitas, TSS, COD, BOD₅, kekeruhan, kadmium dan pH.
2. Menguji dosis optimum di laboratorium berdasarkan studi literatur. Pengujian dosis untuk menentukan rentang yang akan dimasukan ke dalam *software design expert* 6.0.10. Dosis PAC diuji antara konsentrasi 800 mg/L-2600 mg/L. Kemudian akan didapatkan dosis optimum PAC untuk memvariasikan dosis kitosan yang akan diuji antara 200 mg/L- 1200 mg/L. Kecepatan disamakan yaitu 260 rpm untuk koagulasi dan 50 rpm untuk flokulasi.
3. Menguji hasil supernatan untuk mengetahui terjadi penurunan kadar karakteristik lindi atau tidak. Hasil supernatan diuji nilai COD, TSS, kekeruhan, salinitas dan pH.

3.2.6 Estimasi Dosis dan Kecepatan dengan Menggunakan RSM

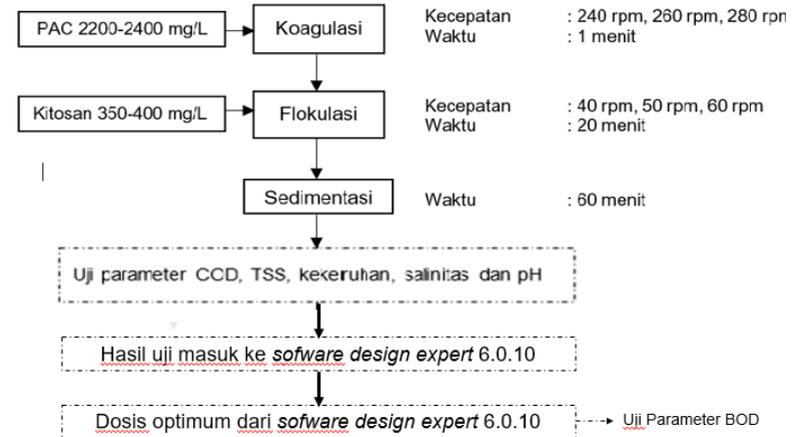
Rentang dosis dan kecepatan yang didapatkan dari penelitian pendahuluan akan dimasukan ke dalam *software design expert* 6.0.10. *Software design expert* 6.0.10 ini untuk menentukan estimasi dosis dan kecepatan yang akan dilakukan analisis di laboratorium lagi, agar hasil uji nantinya dapat dimasukan ke *software design expert* 6.0.10 kemudian didapatkan dosis optimum

berdasarkan prediksi RSM. Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan yaitu:

1. Menentukan rentang dosis berdasarkan penelitian pendahuluan dan kecepatan pengadukan yang disesuaikan berdasarkan perhitungan gradien kecepatan (G) serta waktu tinggal (td) dapat dilihat pada Lampiran 1. Konsentrasi PAC 2200 mg/L - 2400 mg/L, konsentrasi kitosan 350 mg/L - 400 mg/L, kecepatan koagulasi 240 rpm - 280 rpm dan kecepatan flokulasi 40 rpm - 60 rpm. Kemudian data tersebut dimasukkan ke *software design expert* 6.0.10 RSM *design* Box-Behnken. Setelah dimasukkan akan didapatkan varians dosis dan kecepatan yang akan dilakukan untuk penelitian di laboratorium. Dalam penelitian ini dihasilkan 29 varians dosis dan kecepatan berdasarkan *design expert* 6.0.10 dapat dilihat pada Lampiran 2.
2. Melakukan proses koagulasi-flokulasi dengan jartest sesuai dengan dosis dan kecepatan dalam *software design expert* 6.0.10. Langkah-langkah yang dilakukan pada proses koagulasi-flokulasi yaitu:
 - Menyiapkan 500 mL sampel lindi ke dalam 1000 mL *beaker glass*.
 - Menambahkan PAC yang sebelumnya telah dilarutkan dengan sedikit air lindi lalu dimasukkan ke dalam 1000 mL *beaker glass*.
 - Melakukan pengadukan cepat dengan kecepatan yang ditentukan selama 1 menit
 - Menambahkan kitosan yang sebelumnya telah dilarutkan dengan sedikit air lindi lalu dimasukkan ke dalam 1000 mL *beaker glass*.
 - Melakukan pengadukan lambat dengan kecepatan yang ditentukan selama 20 menit
 - Mendinginkan sampel selama 60 menit untuk memisahkan supernatan dan sedimen.
3. Melakukan uji laboratorium terhadap parameter salinitas, COD, TSS, kekeruhan dan pH.
4. Memasukkan hasil uji laboratorium terhadap parameter salinitas, COD, TSS dan kekeruhan ke dalam *software design expert* 6.0.10 untuk menentukan dosis dan

kecepatan optimum. Setelah didapatkan dosis dan kecepatan optimum berdasarkan RSM lalu dilakukan uji BOD₅.

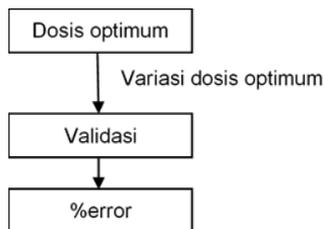
Berikut ini diagram alir proses koagulasi flokulasi dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram Alir Estimasi Dosis dan Kecepatan

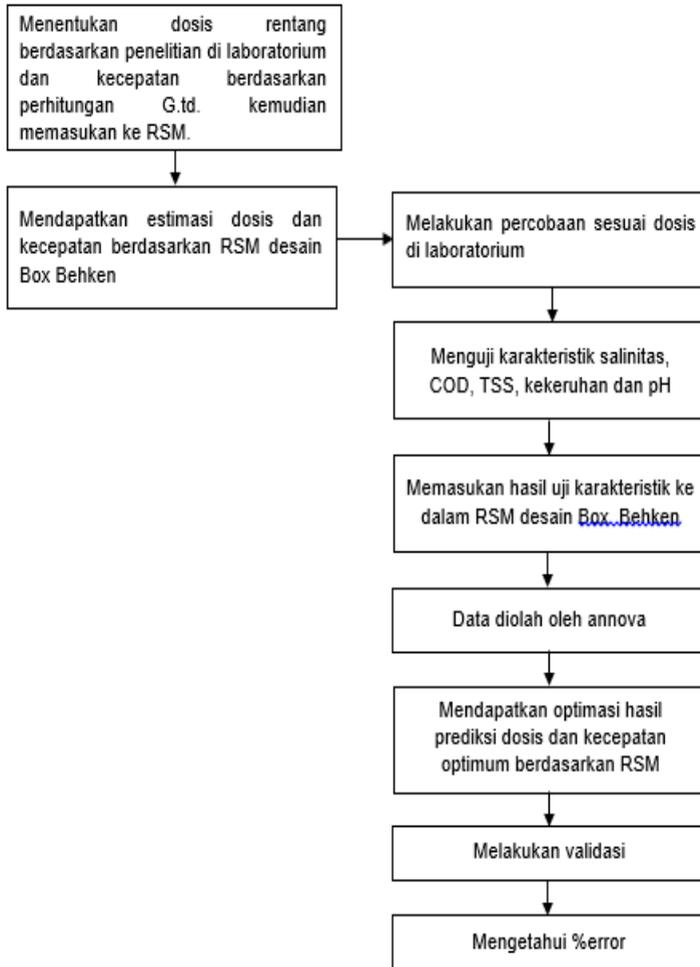
3.2.7 Penelitian Utama

Penelitian utama dilakukan setelah mendapatkan dosis dan kecepatan optimum hasil estimasi dari *software design expert 6.0.10 RSM design Box-Behnken*. Kemudian akan divalidasi sehingga mendapatkan % error atau keakuratan data. Berikut ini dapat dilihat pada Gambar 3.4 diagram alir pada penelitian utama.



Gambar 3.4 Diagram Alir Pada Penelitian Utama

Berikut ini terdapat diagram alir perlakuan yang dilakukan selama proses koagulasi-flokulasi dengan *software design expert* 6.0.10 *Response Surface Methodology design* Box-Behnken dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram Alir Prores Koagulasi-Flokulasi dengan RSM

3.2.8 Parameter Penelitian

Analisis parameter yang akan diuji dalam penelitian ini adalah salinitas, COD, BOD₅, TSS, kekeruhan, kadmium dan pH. Pengujian parameter salinitas, COD, BOD₅, TSS, kekeruhan dan pH dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan ITS. Sedangkan uji karakteristik kadmium dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan-LPPM ITS. Dapat dilihat pada Tabel 3.1 parameter dan metode analisis yang digunakan untuk setiap analisis parameter pada penelitian ini.

3.2.9 Analisa dan Pembahasan

Analisa dan pembahasan dilakukan terhadap karakteristik awal lindi TPA Benowo. Kemudian menganalisis hasil dari efisiensi removal yaitu salinitas, COD, TSS, kekeruhan dan pH yang dihasilkan dari proses koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan PAC dan flokulan kitosan untuk menentukan dosis rentang yang akan dimasukkan ke *software design expert* 6.0.10. Selanjutnya menganalisis hasil percobaan di laboratorium berdasarkan dosis dan kecepatan hasil optimalisasi dengan RSM. Hasil analisis berupa pembahasan efisiensi COD, efisiensi TSS, efisiensi kekeruhan, dan konsentrasi salinitas. Menganalisis data secara deskriptif prediksi *Response Surface Methodology design Box Behken* dalam menentukan dosis optimum dan kecepatan yang dibutuhkan saat proses koagulasi-flokulasi. Kemudian data yang diperoleh dianalisis dan dibahas, data akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik 3D desain Box-Behnken.

3.2.10 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dibuat berdasarkan hasil analisis dan data pembahasan sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditentukan. Dari hasil penelitian yang didapat, diberikan saran berdasarkan dari hasil yang kurang baik dari penelitian ini yang nantinya dapat melengkapi penelitian yang telah dilakukan sebagai dasar penelitian selanjutnya.

Tabel 3.1 Metode Analisis pada Parameter Penelitian

No	Paramater	Tujuan	Metode	Sumber
1	Salinitas	Mengetahui tingkat salinitas (kadar garam) pada lindi	Potensiometri	SNI 06- 6989.1-2004
2	TSS	Mengetahui zat padat tersuspensi yang terkandung pada lindi	Gravimetri	SNI 06- 6989.1-2004
3	COD	Mengetahui tingkat penurunan polutan organik pada lindi	<i>Closed reflux</i>	SNI 6989.73:2009
4	BOD	Mengetahui tingkat biodegradabilitas pada lindi (rasio BOD/COD)	Winkler	SNI 6989.72:2009
5	pH	Menganalisis tingkat keasaman pada lindi	Potensiometri	SNI 06-6989.11-2004
6	Kadmium	Mengetahui kadar kadmium pada lindi	Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala	SNI 6989.16:2009
7	Kekeruhan	Mengetahui tingkat kekeruhan lindi	menggunakan turbidimeter	SNI 06-6989.25-2005

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Awal

Sampel lindi TPA Benowo diambil dari kolam pengumpul yang menuju pengolahan selanjutnya dengan metode *grab sampling*. Kualitas lindi TPA Benowo meliputi parameter pH, BOD₅, COD, TSS, kadmium, kekeruhan dan salinitas. Tujuan menguji karakteristik awal untuk mengetahui pengaruh hasil kualitas lindi saat sebelum pengolahan dan sesudah dilakukan proses pengolahan dengan koagulasi-flokulasi. Hasil analisa sampel disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Karakteristik Awal

Parameter	Kadar		Baku Mutu Lindi
	Nilai	Satuan	
pH	8,4	-	6-9
BOD	773	mg/L	150
COD	3680	mg/L	300
TSS	212	mg/L	100
Kadmium	0,002	mg/L	0,1
Kekeruhan	165	NTU	-
Salinitas	6,46	ppt	-

Hasil analisis di atas menunjukkan bahwa kualitas lindi melebihi baku mutu menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang baku mutu lindi bagi usaha dan/atau kegiatan tempat pemrosesan akhir sampah. Parameter pH dari data di atas menunjukkan masih memenuhi nilai pH pada baku mutu lindi 6-9. Sedangkan parameter COD jauh melebihi baku mutu yang diperbolehkan 300 mg/L. Parameter BOD₅ melebihi baku mutu yang ditetapkan sebesar 150 mg/L. Nilai rasio BOD₅/COD sebesar 0,2 menandakan lindi dalam keadaan biodegradabilitas rendah mengakibatkan aktivitas pemecahan cemaran organik oleh mikroba menurun. Kemudian parameter TSS melebihi di atas 100 mg/L. Sedangkan parameter kadmium

telah memenuhi baku mutu lindi yang telah ditetapkan pemerintah 0,1 mg/L. Sehingga, dalam penelitian ini uji logam kadmium tidak dilakukan.

4.2 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan sebelum penelitian utama dengan melakukan penentuan rentang dosis berdasarkan penelitian di laboratorium. Penelitian ini dilakukan dalam dua perlakuan yaitu uji koagulan PAC dan uji koagulan PAC dengan flokulan kitosan.

A. Pengolahan Sampel dengan Koagulan PAC

Penentuan dosis PAC yang digunakan berdasarkan dosis optimum penggunaan PAC 800 mg/L pada lindi Bantar Gebang (Lindu, 2015) dan dosis kitosan berdasarkan dosis optimum kitosan 200 mg/L pada lindi TPA Jatibarang (Saniy, 2017). Perlakuan di laboratorium dilakukan mulai dari penentuan dosis PAC dari 800 mg/L-2600 mg/L. Namun, saat uji parameter terdapat kesalahan sehingga analisis dimulai dari dosis PAC 1000 mg/L-2600 mg/L. Dosis PAC yang digunakan dapat dikatakan besar dikarenakan adanya kemurnian PAC sebesar 30%. Dimana, kemurnian mempengaruhi kualitas koagulan PAC dikarenakan masih terdapat zat pengotor dari proses pembuatannya. Setelah itu dilakukan analisa untuk COD, TSS, kekeruhan dan pH. Kemudian didapatkan dosis optimum dengan pertimbangan efisiensi dan karakteristik fisik. Berikut ini, dapat dilihat karakteristik setiap parameter setelah dilakukan penambahan koagulan PAC dalam proses koagulasi flokulasi.

Menurut Lindu (2015), pH optimum koagulan PAC mulai terjadi pada pH 7-8. Sehingga saat proses pada pH tersebut penambahan koagulan dalam lindi PAC dapat bekerja secara maksimal. Dapat dilihat dari Tabel 4.2 bahwa setelah penambahan PAC nilai pH mengalami penurunan dari pH awal. Penggunaan koagulan PAC mengakibatkan penurunan pH tidak terjadi secara drastis. Hal ini dikarenakan reaksi hidrolisis pada PAC hanya melepaskan satu ion H^+ . Seiring penambahan dosis PAC mengakibatkan bertambahnya ion H^+ yang dilepaskan ke dalam lindi. Menurut Gebbie (2005), PAC mengambil lebih banyak alkalinitas, dimana garam aluminium klorida akan melepaskan ion-

ion hidrogen yang dapat menetralkan alkalinitas sehingga cenderung menurunkan pH air yang diolah. Pengukuran pH dilakukan hanya sebagai kontrol. Kondisi pH dipengaruhi oleh alkalinitas karena alkalinitas merupakan penunjuk kapasitas penyangga pH dalam lindi. Semakin tinggi pH maka konsentrasi alkalinitas semakin meningkat. Semakin tinggi konsentrasi alkalinitas menyebabkan kondisi pH lindi tidak turun. Hal ini dapat ditunjukkan dengan hasil analisa pada Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Karakteristik pH Setelah Ditambah PAC

No	Dosis PAC (mg/L)	pH awal	pH Akhir
1	1000	8,4	8,1
2	1200	8,4	8,1
3	1400	8,4	8
4	1600	8,4	7,9
5	1800	8,4	7,9
6	2000	8,4	7,9
7	2200	8,4	7,6
8	2400	8,4	7,6
9	2600	8,4	7,6

Tabel 4.3 Karakteristik Alkalinitas Setelah Ditambahkan PAC

No	Dosis PAC (mg/L)	Alkalinitas (mg CaCO ₃ /L)
1	1000	2650
2	1200	2500
3	1400	2240
4	1600	2040
5	1800	1700
6	2000	1530
7	2200	1310
8	2400	1010
9	2600	930

Nilai alkalinitas berkisar antara 2650-930 mg/L CaCO_3 . Menurut Putra (2014) mengatakan bahwa organisme akan hidup yang layak saat nilai alkalinitas baik antara 30-500 mg/L CaCO_3 . Nilai alkalinitas tersebut mengakibatkan mikroorganisme sulit untuk bertahan hidup. Mikroorganisme yang terdapat dalam lindi semakin sedikit seiring dengan tingginya nilai alkalinitas. Kinerja mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik dalam lindi menurun menandakan biodegradabilitas dalam lindi rendah.

Dilihat pada Tabel 4.4 bahwa nilai COD akhir terlihat turun saat ditambahkan PAC. Karakteristik lindi setelah proses koagulasi pada dosis (1000-1600) mg/L supernatan belum terlihat jernih dan sedimen yang terendapkan belum sempurna akibat koloid masih banyak yang belum terikat. Sehingga, dosis PAC ditambahkan lagi hingga 2600 mg/L. Kondisi setelah sedimentasi selama 1 jam pada dosis (1800-2400) mg/L didapatkan hasil perbedaan supernatan dengan endapannya sudah terlihat jelas. Supernatan sudah terlihat jernih. Namun saat penambahan dosis PAC 2600 mg/L ke dalam lindi 500 mL keadaan supernatan terdapat koloid mulai melayang-layang. Hal ini menandakan bahwa kondisi lindi pada penambahan dosis PAC 2600 mg/L larutan telah jenuh sebab kation tidak dapat lagi mengikat ion negatif pada lindi. Sehingga, nilai COD akhir pada dosis PAC 2600 mg/L mengalami kenaikan. Karakteristik lindi setelah jar test dapat dilihat pada gambar di Lampiran 4. Efisiensi nilai COD semakin naik seiring penambahan dosis PAC dalam lindi. Efisiensi tertinggi terdapat pada dosis PAC 2400 mg/L yaitu 63% terlihat pada Tabel 4.4. Pada kondisi ini, flok yang terbentuk oleh ion-ion senyawa organik telah berikatan dengan ion koagulan yang bersifat positif dan mengendap bersama koagulan (Harwiyanti, 2015). Sehingga menurunkan jumlah partikel yang berada dalam lindi mengakibatkan konsentrasi COD menurun dan efisiensi COD meningkat.

Pada Tabel 4.5 di atas terlihat nilai efisiensi tertinggi terjadi saat dosis PAC 2400 mg/L. Efisiensi pada dosis tersebut merupakan dosis optimum. Hal ini disebabkan karena dosis PAC yang tepat menyebabkan partikel-partikel koloid dalam lindi akan terikat satu sama lain membentuk flok – flok yang stabil kemudian mengendap (Astuti dkk., 2010). Efisiensi TSS pada dosis 2400 mg/L sebesar 57%. Saat dosis 2600 mg/L nilai TSS mulai naik kembali. Hal ini karena kondisi larutan telah jenuh. Konsentrasi

padatan tersuspensi dan terlarut yang terkandung dalam lindi berpengaruh terhadap kebutuhan bahan koagulan dan flokulan. Semakin besar konsentrasi padatan tersuspensi dan terlarut maka kebutuhan bahan koagulan dan flokulan semakin kecil dan sebaliknya karena pada konsentrasi padatan tersuspensi yang tinggi jarak antar partikel semakin dekat dan memudahkan proses penggabungan (Asmadi dan Suharno, 2012). Sehingga, pada dosis 2600 mg/L konsentrasi padatan tersuspensi dan terlarutnya rendah membuat pembentukan flok semakin sulit dan mengakibatkan kebutuhan dosisnya besar.

Dapat dilihat Tabel 4.6 penambahan PAC ke dalam lindi mengakibatkan nilai kekeruhan menurun dari kondisi nilai kekeruhan awal. Menurut Wityasari (2010), saat PAC dibubuhkan terjadi reaksi hidrolisis pada proses koagulasi flokulasi untuk membentuk senyawa aluminium. Al terlarut terbentuk berupa monomer dan karena beberapa diantaranya bermuatan positif dapat menetralkan permukaan partikel koloid yang bermuatan negatif sehingga memungkinkan terjadinya proses koagulasi. PAC dipilih sebagai koagulan karena lebih efektif dalam penurunan kekeruhan dan reaksi hidrolisis. Kondisi optimum terjadi pada dosis 2400 mg/L dengan efisiensi kekeruhan tertinggi sebesar 93%. Pada dosis 2600 mg/L nilai akhir kekeruhan terjadi kenaikan. Hal ini disebabkan oleh kation yang dilepaskan terlalu berlebih daripada yang dibutuhkan oleh partikel koloid dalam lindi yang bermuatan negatif untuk membentuk flok. Akibatnya akan terjadi penyerapan kation yang berlebih oleh partikel koloid dalam air sehingga partikel koloid akan bermuatan positif dan terjadi gaya tolak-menolak antara partikel, sehingga flok tidak terbentuk yang mengakibatkan larutan menjadi semakin keruh dan nilai turbiditas lindi menjadi meningkat (Rachmah, 2013).

Salinitas merupakan tingkat keasinan atau kadar garam terlarut yang terdapat air. Salinitas dapat dinyatakan dalam (*parts per thousand*, ppt) atau permil (‰). Berdasarkan Tabel 4.7 salinitas pada lindi mengalami kenaikan dari keadaan salinitas awal. Hal ini terjadi karena konsentrasi salinitas salah satunya dipengaruhi oleh kandungan klorida (Fajariyah, 2017). Koagulan PAC menurut Noviani (2012) merupakan garam dasar khusus aluminium klorida untuk memberikan daya koagulasi dan flokulasi yang lebih kuat dan lebih baik dari pada aluminium biasa dan

garam besi. Menurut Purwanti, dkk (2006) bahwa klasifikasi tingkat keasinan air untuk parameter salinitas terbagi sebagai berikut :

- air tawar dengan nilai <0,5 ppt
- air payau dengan salinitas bekisar antara 0,5 – 30 ppt
- air asin 30 – 40 ppt dan
- air sangat asin atau air laut memiliki salinitas > 40 ppt

Sehingga, hasil proses koagulasi flokulasi menggunakan koagulan PAC belum dapat menurunkan kadar salinitas pada lindi. Selanjutnya pada Gambar 4.1 diketahui hubungan parameter COD, TSS dan kekeruhan terhadap hasil efisiensi. Semakin besar dosis PAC yang dibubuhkan maka semakin besar efisiensi yang didapatkan. Terlihat pada dosis PAC 2400 mg/L efisiensi tiap parameternya menghasilkan nilai efisiensi tertinggi. Kemudian pada dosis 2600 mg/L efisiensi tiap parameter mulai menurun kembali karena kondisi larutan telah jenuh akibat dosis yang terlalu besar. Sehingga didapatkan dosis optimum PAC yang akan digunakan untuk menentukan dosis optimum flokulan kitosan. Koagulan PAC yang digunakan dosis 2400 mg/L karena pada dosis tersebut efisiensi paling optimum berdasarkan yaitu COD 63%, TSS 57% dan kekeruhan 93%.

Tabel 4.4 Karakteristik COD Setelah Ditambahkan PAC

No	Dosis PAC (mg/L)	COD Awal (mg/L)	COD Akhir (mg/L)	Efisiensi COD
1	1000	3680	2500	32%
2	1200	3680	2400	35%
3	1400	3680	2080	43%
4	1600	3680	1700	54%
5	1800	3680	1720	53%
6	2000	3680	1680	54%
7	2200	3680	1400	62%
8	2400	3680	1360	63%
9	2600	3680	1580	57%

Tabel 4.5 Karakteristik TSS Setelah Ditambahkan PAC

No	Dosis PAC (mg/L)	TSS Awal (mg/L)	TSS Akhir (mg/L)	Efisiensi TSS
1	1000	120	108	10%
2	1200	120	112	7%
3	1400	120	92	23%
4	1600	120	84	30%
5	1800	120	72	40%
6	2000	120	64	47%
7	2200	120	60	50%
8	2400	120	52	57%
9	2600	120	88	27%

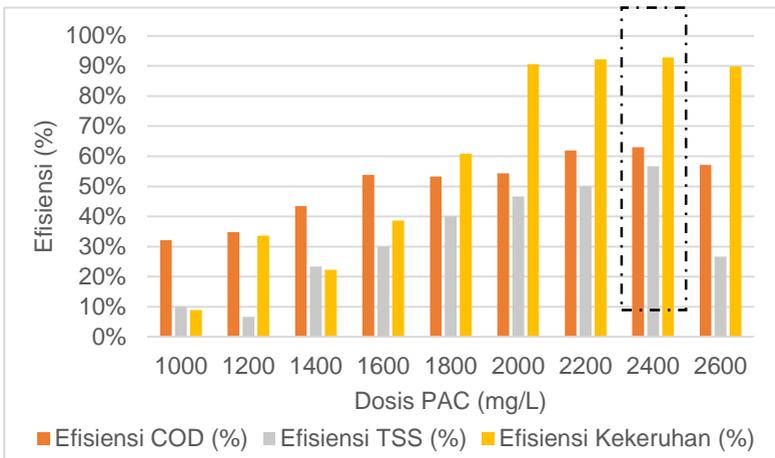
Tabel 4.6 Karakteristik Kekeruhan Setelah Ditambahkan PAC

No	Dosis PAC (mg/L)	Kekeruhan Awal (NTU)	Kekeruhan Akhir (NTU)	Efisiensi Kekeruhan
1	1000	124	113	9%
2	1200	124	82,3	34%
3	1400	124	96,4	22%
4	1600	124	76,1	39%
5	1800	124	48,6	61%
6	2000	124	11,7	91%
7	2200	124	9,69	92%
8	2400	124	8,97	93%
9	2600	124	12,6	90%

Berdasarkan pernyataan di atas dan dapat dilihat pada Tabel 4.7 dapat diketahui salinitas lindi masih tergolong air payau karena berada dalam rentang nilai 0,5-30 ppt. Terjadi kenaikan dari kadar salinitas awal namun tidak naik secara signifikan. Karakteristik fisik lindi setelah ditambah PAC semakin kental dan bewarna kuning jernih.

Tabel 4.7 Karakteristik Salinitas Setelah Ditambahkan PAC

No	Dosis PAC (mg/L)	Salinitas Awal (ppt)	Salinitas Akhir (ppt)
1	1000	6,27	7,04
2	1200	6,27	7,17
3	1400	6,27	7,39
4	1600	6,27	7,53
5	1800	6,27	7,74
6	2000	6,27	7,84
7	2200	6,27	7,87
8	2400	6,27	7,93
9	2600	6,27	7,9



Gambar 4.1 Hubungan Efisiensi Tiap Parameter dengan Dosis PAC

B. Pengolahan Sampel dengan Koagulan PAC dengan Flokulan Kitosan

Metode perlakuan pengolahan sampel yaitu menambahkan koagulan PAC sebesar 2400 mg/L dengan pengadukan cepat 260 rpm. Kemudian sampel ditambahkan flokulan kitosan dengan dosis yang berbeda-beda dengan pengadukan lambat 50 rpm. Penambahan kitosan bertujuan untuk menambah kation pada lindi. Setelah dilakukan pengendapan sedimen selama satu jam,

dilakukan analisa untuk COD, TSS, kekeruhan, salinitas dan pH. Kemudian didapatkan dosis rentang minimum dan maksimum untuk dimasukkan ke *software design expert 6.0.10 Response Surface Methodology design Box- Behnken*. Berikut ini dapat dilihat penambahan koagulan PAC 2400 mg/L dengan beberapa dosis flokulan kitosan disajikan di bawah ini.

Tabel 4.8 Karakteristik COD Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-1200)mg/L

No	Dosis PAC (mg/L)	Dosis Kitosan (mg/L)	COD Awal (mg/L)	COD Akhir (mg/L)	Efisiensi COD
1	2400	200	3680	1220	67%
2	2400	400	3680	1020	72%
3	2400	600	3680	1920	48%
4	2400	800	3680	1440	61%
5	2400	1000	3680	1400	62%
6	2400	1200	3680	1440	61%

Tabel 4.9 Karakteristik TSS Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-1200)mg/L

No	Dosis PAC (mg/L)	Dosis Kitosan (mg/L)	TSS Awal (mg/L)	TSS Akhir (mg/L)	Efisiensi TSS
1	2400	200	212	148	30%
2	2400	400	212	200	6%
3	2400	600	212	208	2%
4	2400	800	212	184	13%
5	2400	1000	212	211	0,5%
6	2400	1200	212	164	23%

Tabel 4.10 Karakteristik Kekeruhan Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-1200)mg/L

No	Dosis PAC (mg/L)	Dosis Kitosan (mg/L)	Kekeruhan Awal (NTU)	Kekeruhan Akhir (NTU)	Efisiensi Kekeruhan
1	2400	200	165	28,4	83%
2	2400	400	165	32,3	80%
3	2400	600	165	42,1	74%
4	2400	800	165	36,4	78%
5	2400	1000	165	36,8	78%
6	2400	1200	165	48,6	71%

Tabel 4.11 Karakteristik Salinitas Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-1200)mg/L

No	Dosis PAC (mg/L)	Dosis Kitosan (mg/L)	Salinitas Awal (ppt)	Salinitas Akhir (ppt)
1	2400	200	6,46	7,66
2	2400	400	6,46	7,92
3	2400	600	6,46	7,54
4	2400	800	6,46	7,84
5	2400	1000	6,46	7,74
6	2400	1200	6,46	8,13

Dapat dilihat pada Tabel 4.11 terjadi kenaikan nilai salinitas akhir terhadap salinitas awal. Adapun karakteristik supernatan setelah proses koagulasi flokulasi cairan lebih kental dari kondisi awal sebelum terjadi penambahan koagulan maupun flokulan. Pada Tabel 4.11 di bawah ini, pH mengalami penurunan pada dosis kitosan (200-400) mg/L dan kenaikan pada dosis (600-1200) mg/L. Namun, penurunan dan kenaikan pH ini tidak terlalu signifikan terhadap pH awal lindi.

Tabel 4.12 Karakteristik pH Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-1200)mg/L

No	Dosis PAC (mg/L)	Dosis Kitosan (mg/L)	PH awal	PH Akhir
1	2400	200	8,4	7,5
2	2400	400	8,4	7,7
3	2400	600	8,4	8,4
4	2400	800	8,4	8,5
5	2400	1000	8,4	8,2
6	2400	1200	8,4	8,1

Berdasarkan hasil analisis Tabel 4.8, 4.9 dan 4.10 di atas, nilai efisiensi rentang terbesar pada COD yaitu 67% dengan dosis kitosan 200 mg/L dan 72% pada dosis 400 mg/L. Nilai efisiensi terbesar TSS pada dosis 200 mg/L sebesar 30%. Kemudian nilai efisiensi rentang terbesar pada kekeruhan yaitu dosis 200 mg/L sebesar 83% dan dosis 400 mg/L sebesar 80%. Maka, percobaan dari dosis kitosan (200-1200) mg/L menunjukkan dosis dengan efisiensi terbesar terletak antara (200-400) mg/L. Sehingga, dilakukan percobaan ulang dengan pengulangan dosis kitosan dengan rentang yang lebih kecil antara (200-450) mg/L.

Tabel 4.13 Karakteristik COD Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-450)mg/L

No	Dosis PAC (mg/L)	Dosis Kitosan (mg/L)	COD Awal (mg/L)	COD Akhir (mg/L)	Efisiensi COD
1	2400	200	3680	2180	41%
2	2400	250	3680	1760	52%
3	2400	300	3680	1700	54%
4	2400	350	3680	1080	71%
5	2400	400	3680	1200	67%
6	2400	450	3680	2100	43%

Tabel 4.14 Karakteristik TSS Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-450)mg/L

No	Dosis PAC (mg/L)	Dosis Kitosan (mg/L)	TSS Awal (mg/L)	TSS Akhir (mg/L)	Efisiensi TSS
1	2400	200	212	156	26%
2	2400	250	212	116	45%
3	2400	300	212	192	9%
4	2400	350	212	116	45%
5	2400	400	212	160	25%
6	2400	450	212	184	13%

Tabel 4.15 Karakteristik Kekeruhan Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-450)mg/L

No	Dosis PAC (mg/L)	Dosis Kitosan (mg/L)	Kekeruhan Awal (NTU)	Kekeruhan Akhir (NTU)	Efisiensi Kekeruhan
1	2400	200	165	21	87%
2	2400	250	165	20	88%
3	2400	300	165	24	85%
4	2400	350	165	10	94%
5	2400	400	165	25	85%
6	2400	450	165	30	82%

Pada Tabel 4.16 dapat dilihat secara umum salinitas mengalami kenaikan setelah ditambahkan koagulan PAC dan flokulan kitosan. Salinitas dapat dikategorikan menjadi tiga berdasarkan air tawar <0,5 ppt, *oligohaline* (0,5-5) ppt, *mesohaline* (5-18) ppt dan *polyhaline* (18-30) ppt (Anonim, 2006). Salinitas lindi setelah proses koagulasi-flokulasi supernatan termasuk salinitas dalam kategori *mesohaline*. Kategori ini menandakan supernatan termasuk air payau dengan kadar garam rendah. Dapat disimpulkan bahwa koagulan PAC dan flokulan kitosan tidak efektif dalam menurunkan kadar salinitas lindi.

Tabel 4.16 Karakteristik Salinitas Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-450)mg/L

No	Dosis PAC (mg/L)	Dosis Kitosan (mg/L)	Salinitas Awal (ppt)	Salinitas Akhir (ppt)
1	2400	200	6,46	7,88
2	2400	250	6,46	7,55
3	2400	300	6,46	7,72
4	2400	350	6,46	7,82
5	2400	400	6,46	7,89
6	2400	450	6,46	7,92

Tabel 4.17 Karakteristik pH Setelah Ditambahkan PAC 2400 mg/L dan Kitosan (200-450)mg/L

No	Dosis PAC (mg/L)	Dosis Kitosan (mg/L)	pH awal	pH Akhir
1	2400	200	8,4	7,4
2	2400	250	8,4	7,3
3	2400	300	8,4	7,4
4	2400	350	8,4	7,2
5	2400	400	8,4	7,4
6	2400	450	8,4	7,4

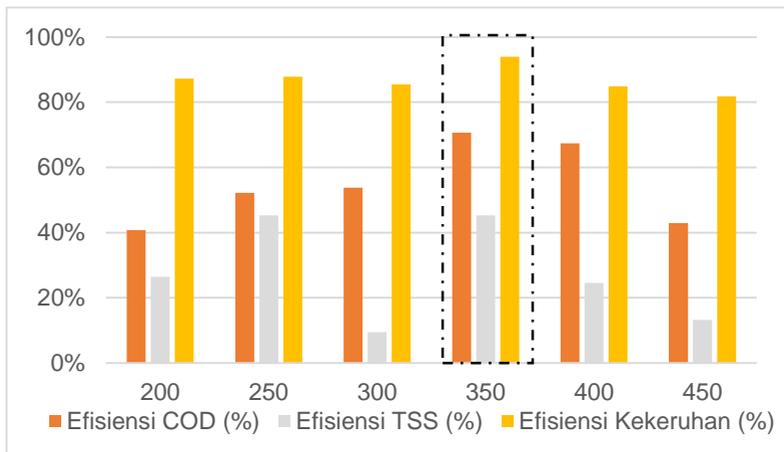
Terlihat pada Tabel 4.17 kondisi pH menjadi cenderung menurun dan netral dari keadaan awal pH yang termasuk pH basa. Parameter pH dalam proses koagulasi-flokulasi dalam penelitian ini hanya digunakan sebagai kontrol. Berdasarkan data di atas nilai pH tidak cenderung terus menurun akibat perbedaan konsentrasi. Konsentrasi kitosan yang ditambahkan semakin banyak maka nilai pH akan semakin turun. Nilai pH dapat turun disebabkan adanya protein kationik pada kitosan (Hendrawati, 2015). Walaupun tidak cenderung selalu turun seiring dengan bertambahnya konsentrasi kitosan namun pada konsentrasi 350 mg/L kitosan pH mencapai nilai terendah dari pada konsentrasi lainnya. Penurunan nilai pH

disebabkan kitosan bersifat polikationik sehingga terjadi penerimaan proton dalam lindi dan dapat mengikat ion-ion H^+ dalam lindi. Lindi setelah ditambah koagulan PAC dan flokulan kitosan pH semakin turun daripada saat ditambah koagulan PAC saja.

Berdasarkan Tabel 4.13, 4.14 dan 4.15 di atas dapat dilihat kondisi optimum berada pada dosis 350 mg/L. Efisiensi yang dihasilkan lebih besar dari penambahan koagulan PAC saja. Hal ini disebabkan kitosan bersifat polikationik karena memiliki gugus hidroksil dan amina sepanjang rantai polimer (Saphira dkk., 2017). Efisiensi COD, TSS, kekeruhan pada dosis koagulan PAC 2400 mg/L dengan 350 mg/L flokulan kitosan yaitu 71%, 45%, dan 94%. Nilai TSS dapat optimum pada dosis 350 mg/L, karena seiring bertambahnya kitosan ke dalam limbah maka jumlah muatan positif ($R-NH_3^+$) yang mampu mengadsorpsi muatan negatif pada permukaan partikel tersuspensi juga bertambah. Sehingga, membuat gaya tolak-menolak antar partikel tersuspensi dalam limbah akan melemah. Melemahnya gaya tolak-menolak partikel tersuspensi dalam limbah maka akan berdekatan dan bergabung membentuk flok hingga dicapai kondisi optimum (Saputra, 2015).

Namun pada dosis flokulan lebih dari 350 mg/L konsentrasi COD, TSS dan kekeruhan justru mengalami kenaikan. Menurut Saputra (2015) mengatakan bahwa penambahan kitosan yang berlebih mengakibatkan terjadinya proses restabilisasi. Kitosan menutupi koloid-koloid tanpa menghubungkan dengan koloid yang lain, sehingga terjadi pembalikan muatan pada permukaan partikel tersuspensi dan partikel yang tergumpal menjadi stabil kembali.

Pada Gambar 4.2 terlihat efisiensi parameter COD, TSS dan kekeruhan mengalami kenaikan seiring bertambahnya dosis kitosan sebelum mencapai larutan dalam keadaan jenuh. Dapat diketahui efisiensi tertinggi untuk menentukan dosis optimum PAC dan kitosan dalam menyisihkan bahan organik dalam lindi. Kondisi optimum didapatkan saat dosis PAC 2400 mg/L dengan dosis optimum kitosan 350 mg/L. Nilai efisiensi tertinggi yang didapatkan untuk COD 71%, TSS 45% dan Kekeruhan 94%. Dosis optimum PAC dan kitosan digunakan untuk optimalisasi dengan RSM desain Box Behken berdasarkan rentang dari dosis optimum percobaan di laboratorium.



Gambar 4.2 Hubungan Efisiensi Tiap Parameter dengan Dosis PAC dan Kitosan

C. Perbedaan Efisiensi Proses dengan Efisiensi Penggunaan Kitosan

Tabel 4.18 Perbedaan Hasil Efisiensi

Parameter (a)	Efisiensi PAC (b)	Efisiensi PAC dan Kitosan (c)	Efisiensi Kitosan (d)
COD	63%	71%	8%
TSS	57%	45%	-11%
Kekeruhan	93%	94%	1%

Efisiensi kitosan dapat dihitung dengan persamaan (4.1) berikut ini
 $(d) = (c) - (b)$(4.1)

Berdasarkan Tabel 4.18 diketahui setelah penambahan kitosan dalam proses koagulasi flokulasi didapatkan peningkatan nilai efisiensi untuk parameter COD dan kekeruhan. Hal ini menandakan kitosan mampu menambah kation untuk mengikat ion negatif dalam lindi. Kefektifan dalam penggunaan flokulan kitosan sebesar 8% untuk COD. Flokulan kitosan tidak efektif pada

TSS karena tidak semuanya larut dalam lindi. Hal ini dapat dikarenakan pH saat pembubuhan kitosan tidak dalam keadaan optimum.

4.3 Dosis dan Kecepatan dengan Menggunakan RSM

Dosis yang didapatkan dari *penentuan dosis optimum dari penelitian pendahuluan* dimasukkan ke dalam *software design expert 6.0.10*. Dosis koagulan PAC yang dimasukkan minimum 2200 mg/L dan maksimum 2400 mg/L. Sedangkan dosis flokulan kitosan dosis minimum 350 mg/L dan dosis maksimum 400 mg/L. Kecepatan koagulasi minimum 240 rpm dan maksimum 260 rpm. Sedangkan kecepatan flokulasi minimum 40 rpm dan maksimum 60 rpm. Kecepatan ini berdasarkan perhitungan $G.td$ pada Lampiran 1. Berikut ini Tabel 4.19 mengenai varians dosis dan kecepatan yang dilakukan di laboratorium berdasarkan *Software Design Expert 6.0.10*.

Tabel 4.19 Dosis dan Kecepatan Berdasarkan Software Design Expert 6.0.10

Std	Faktor 1 A: Konsentrasi Koagulan PAC (mg/L)	Faktor 2 B: Konsentrasi Flokulan Kitosan (mg/L)	Faktor 3 C: Kecepatan Koagulasi (rpm)	Faktor 4 D: Kecepatan Flokulasi (rpm)
1	2200	350	260	50
2	2400	350	260	50
3	2200	400	260	50
4	2400	400	260	50
5	2300	375	240	40
6	2300	375	280	40
7	2300	375	240	60
8	2300	375	280	60
9	2200	375	240	40
10	2400	375	240	40
11	2200	375	240	60
12	2400	375	240	60
13	2300	350	240	50
14	2300	400	240	50

Std	Faktor 1 A: Konsentrasi Koagulan PAC (mg/L)	Faktor 2 B: Konsentrasi Flokulan Kitosan (mg/L)	Faktor 3 C: Kecepatan Koagulasi (rpm)	Faktor 4 D: Kecepatan Flokulasi (rpm)
15	2300	350	280	50
16	2300	400	280	50
17	2200	375	240	50
18	2400	375	240	50
19	2200	375	280	50
20	2400	375	280	50
21	2300	350	260	40
22	2300	400	260	40
23	2300	350	260	60
24	2300	400	260	60
25	2300	375	260	50
26	2300	375	260	50
27	2300	375	260	50
28	2300	375	260	50
29	2300	375	260	50

4.3.1 Hasil Perlakuan Berdasarkan *Software Design Expert 6.0.10*

Setelah melakukan metode jar test sesuai dosis dan kecepatan berdasarkan varians dari *software design expert 6.0.10* dilakukan uji setiap parameter di laboratorium. Berikut ini Tabel 4.20 hasil analisis uji parameter COD, TSS, Kekeruhan dan salinitas berdasarkan varians dosis dan kecepatan dari *software design expert 6.0.10*.

Tabel 4.20 Hasil Analisis Laboratorium yang Dimasukan *Software Design Expert 6.0.10*

Std	Response 1 Efisiensi COD %	Response 2 Efisiensi TSS %	Response 3 Efisiensi Kekeruhan %	Response 4 Konsentasi Salinitas ppt
1	36,17	56,60	82,91	7,86
2	53,19	66,04	78,64	7,72
3	54,26	73,58	83,00	7,74
4	71,28	60,38	83,55	7,89
5	55,63	32,08	56,25	7,89

Std	Response 1 Efisiensi COD %	Response 2 Efisiensi TSS %	Response 3 Efisiensi Kekeruhan %	Response 4 Konsentrasi Salinitas ppt
6	45,63	54,72	59,38	8,13
7	53,47	84,91	69,22	7,7
8	61,11	73,58	86,26	7,61
9	43,75	43,40	50,00	7,66
10	43,13	43,40	65,63	7,81
11	38,89	54,72	69,97	7,77
12	50,00	66,04	90,03	7,88
13	47,95	57,83	80,69	7,51
14	41,52	62,65	87,02	7,33
15	50,29	63,86	86,34	7,53
16	52,63	61,45	86,95	7,44
17	52,05	62,65	86,18	7,62
18	54,97	57,83	83,82	7,92
19	49,01	67,92	49,47	7,54
20	51,66	49,06	56,69	7,55
21	46,88	50,94	62,50	7,72
22	46,88	41,51	65,63	7,78
23	45,83	64,15	89,94	7,73
24	56,25	56,60	83,17	7,9
25	54,26	79,25	89,55	7,82
26	80,85	62,26	90,45	7,82
27	39,07	43,40	57,63	7,7
28	51,66	35,85	54,20	7,64
29	46,36	32,08	58,58	7,87

Keterangan: Std= Standard

Dapat dilihat dari Tabel 4.20 berdasarkan hasil laboratorium diketahui efisien tertinggi terdapat pada std 26. Penambahan koagulan PAC 2300 mg/L, flokulan kitosan 375 mg/L dengan kecepatan koagulasi 260 rpm dan kecepatan flokulasi 50 rpm dapat menghasilkan efisiensi COD 80,85%; efisiensi TSS 62,26%; efisiensi kekeruhan 90,45% dan konsentrasi salinitas 7,82 ppt. Sedangkan hasil prediksi dari RSM desain Box Behnken kondisi optimum terjadi pada konsentrasi koagulan PAC 2400 mg/L, flokulan kitosan 350 mg/L, kecepatan koagulasi 279,99 rpm dan kecepatan flokulasi 59,67 rpm akan didapatkan efisiensi COD sebesar 53,78%; efisiensi TSS 66,92%; efisiensi kekeruhan 90,89% dan konsentrasi salinitas 7,37 ppt. Hasil prediksi RSM

apabila dibandingkan dengan hasil analisis laboratorium memiliki kesamaan pada std 2, dimana dengan dosis PAC 2400 mg/L, kitosan 350 mg/L, kecepatan koagulasi 260 rpm dan kecepatan flokulasi 50 rpm dapat menyisihkan COD 53,19%; TSS 66,04%; kekeruhan 78,64% dan konsentrasi salinitas 7,72. Prediksi RSM desain Box Behken terdapat 10 solusi yang dapat dilihat pada Gambar 4.16 , dimana pendekatan std 2 berada pada solusi ke 4 dengan nilai desirabilitas lebih rendah disbanding dengan solusi 1 yang dianjurkan. Sehingga dipilih oleh RSM bahwa solusi 1 yang menjadi prediksi paling optimum dalam penyisihan parameter COD, TSS, kekeruhan dan salinitas. Kemudian melakukan evaluasi untuk menguji kecocokan model terhadap proses koagulasi-flokulasi lindi yang dapat dilihat pada Tabel 4.21, 4.22, 4.23, dan 4.24 sebagai berikut.

Tabel 4.21 Hasil Anova Analisis COD Berdasarkan Software Design Expert 6.0.10

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob> F	Ket.
Model	408,24	4	102,06	1,27	0,311	Tidak signifikan
Residual	1936,24	24	80,68			
Lack of Fit	929,47	20	46,47	0,18	0,996	Tidak signifikan
Pure Error	1006,77	4	251,69			
Cor Total	2344,48	28				

Tabel 4.22 Hasil Anova Analisis TSS Berdasarkan Software Design Expert 6.0.10

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob> F	Ket.
Model	1517,75	3	505,92	3,71	0,024	Signifikan
Residual	3404,56	25	136,18			
Lack of Fit	1835,4	21	87,4	0,22	0,991	Tidak signifikan
Pure Error	1569,17	4	392,29			
Cor Total	4922,32	28				

Tabel 4.23 Hasil Anova Analisis Kekeruhan Berdasarkan Software Design Expert 6.0.10

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob> F	Ket.
Model	2620,12	6	436,69	3,31	0,017	Signifikan
Residual	2905,11	22	132,05			
Lack of Fit	1571,66	18	87,31	0,26	0,979	Tidak signifikan
Pure Error	1333,44	4	333,36			
Cor Total	5525,23	28				

Tabel 4.24 Hasil Anova Analisis Salinitas Berdasarkan Software Design Expert 6.0.10

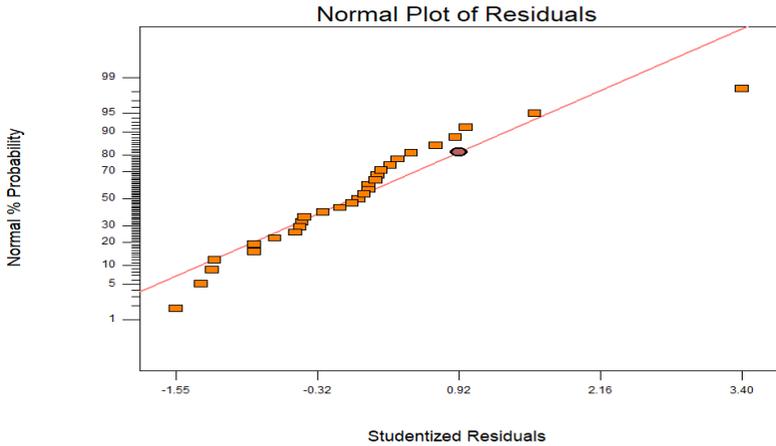
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob> F	Ket.
Model	0,38	14	0,027	0,88	0,589	Tidak signifikan
Residual	0,43	14	0,03			
Lack of Fit	0,39	10	0,039	4,24	0,088	Tidak signifikan
Pure Error	0,037	4	0,0092			
Cor Total	0,8	28				

Dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan Tabel 4.24 terlihat keterangan model tidak signifikan. Sedangkan pada Tabel 4.22 dan 4.23 keterangan model bersifat signifikan. Terlihat pada Tabel 4.22 dan 4.23 dari nilai *F-value* yaitu 3,72 dan 3,31 dan probabilitas 0,024 dan 0,017. Menurut Qiu (2013) nilai probabilitas kurang dari 0,05 menunjukkan bahwa model signifikan secara statistik sedangkan jika nilai lebih dari 0,1 menunjukkan bahwa model tidak signifikan. Semakin kecil nilai probabilitas maka variabel bebas (dosis dan kecepatan) memiliki pengaruh yang kuat terhadap nilai variabel tetap (parameter). Maka semakin signifikan pengaruh variabel bebas terhadap variabel tetap. Hal ini berbeda dengan *lack of fit*. Tujuan dari *lack of fit* untuk mengetahui ketidaksuaiannya model dalam mendiskripsikan data observasi. *Lack of fit* apabila

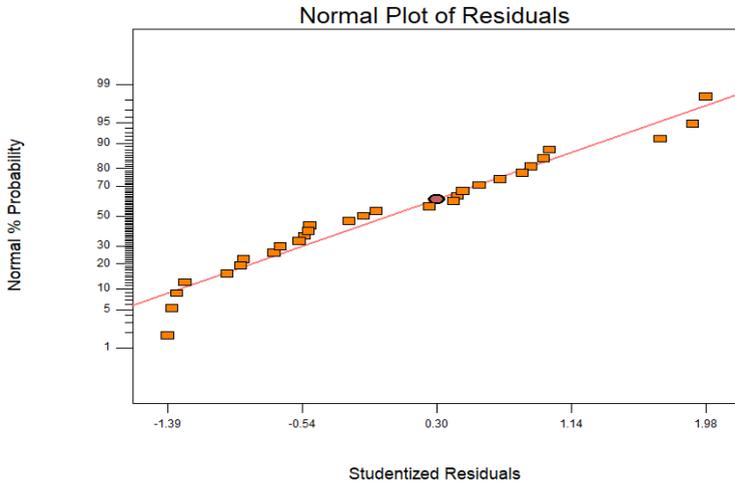
bersifat tidak signifikan dan angka mendekati 1 maka semakin baik. Berdasarkan Tabel 4.22 dan 4.23 menunjukkan bahwa penambahan PAC dan kitosan serta pengaturan kecepatan memberikan pengaruh yang signifikan pada efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan dengan $p < 0,005$, sedangkan terhadap efisiensi penyisihan COD dan konsentrasi salinitas penambahan PAC, kitosan dan pengaturan kecepatan tidak memberikan pengaruh yang signifikan dan interaksi yang signifikan. Hal tersebut dapat disebabkan masih adanya koloid yang tidak dapat direduksi oleh PAC maupun kitosan. Koloid yang tidak dapat tereduksi tidak akan ikut membentuk flok yang akan mengendap, sehingga masih dapat terhitung sebagai nilai COD. Konsentrasi salinitas tidak juga menunjukkan pengaruh yang signifikan dikarenakan penambahan koagulan PAC membuat konsentrasi salinitas semakin bertambah akibat kandungan klorida yang terdapat dalam PAC.

Berikut ini pada Gambar 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6 menunjukkan uji distribusi normal untuk mengetahui penyimpangan model antara hasil prediksi dengan hasil uji laboratorium. Uji distribusi normal dapat dilihat pada plot residu vs nilai normal. Hubungan antara nilai residu dengan nilai normal dapat dikatakan mengikuti distribusi normal apabila nilai residual mendekati atau berada pada garis lurus plot kenormalan. Nilai residual ini ditunjukkan dengan titik titik persebaran berdasarkan hasil uji laboratorium, sedangkan nilai normal berdasarkan nilai prediksi dari RSM desain Box Behken berupa garis lurus. Semakin mendekati garis lurus maka respon yang didapatkan semakin baik (Qiu, 2013). Residual yang dimaksudkan pada gambar di bawah ini merupakan selisih antara nilai duga (*predicted value*) dengan nilai pengamatan sebenarnya (nilai aktual). Uji distribusi normal menunjukkan hasil penyisihan COD, TSS, kekeruhan dan salinitas telah mendekati dengan prediksi hasil dari RSM terdapat penyimpangan atau tidak. Semakin kecil nilai residu maka prediksi model yang dihasilkan semakin akurat (Imron, 2018). Pada Gambar 4.7, 4.8, 4.9 dan 4.10 menunjukkan hubungan linier antara nilai prediksi pada penyisihan COD, TSS, kekeruhan dan salinitas yang dipengaruhi oleh variasi dosis dan kecepatan dan nilai dari uji penelitian di laboratorium. Nilai aktual ditentukan dari desain sedangkan nilai prediksi diperoleh dari pendektan model yang digunakan. Sehingga,

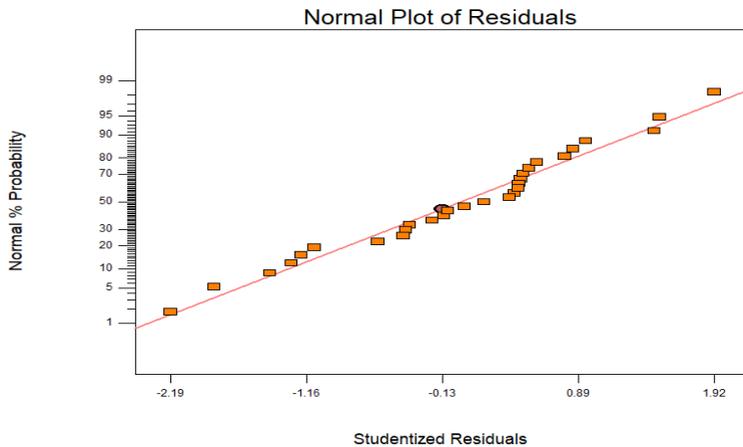
residual dapat digunakan untuk mengetahui seberapa baik model terhadap prediksi anova pada RSM desain Box Behken.



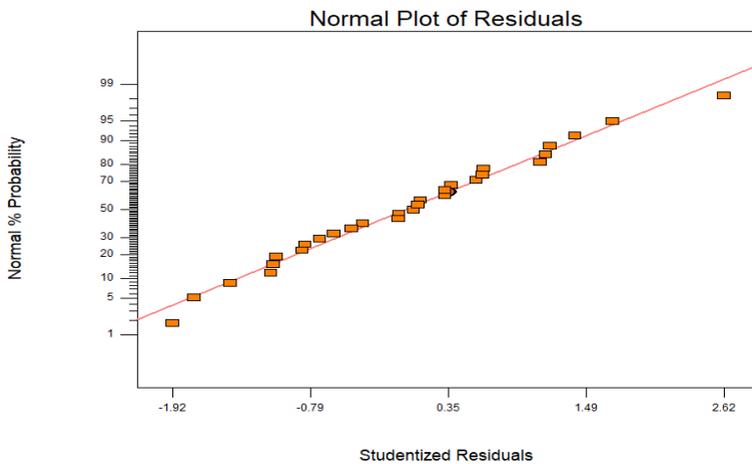
Gambar 4.3 Nilai Residu vs Normal pada Penyisihan COD



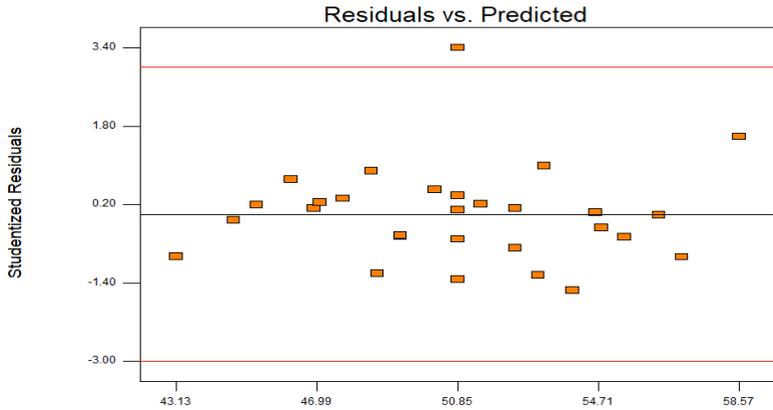
Gambar 4.4 Nilai Residu vs Normal pada Penyisihan TSS



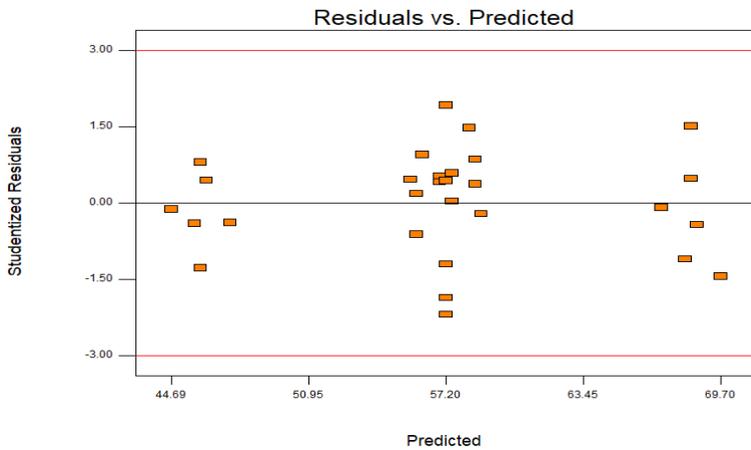
Gambar 4.5 Nilai Residu vs Normal pada Penyisihan Kekерuhan



Gambar 4.6 Nilai Residu vs Normal pada Penyisihan Salinitas

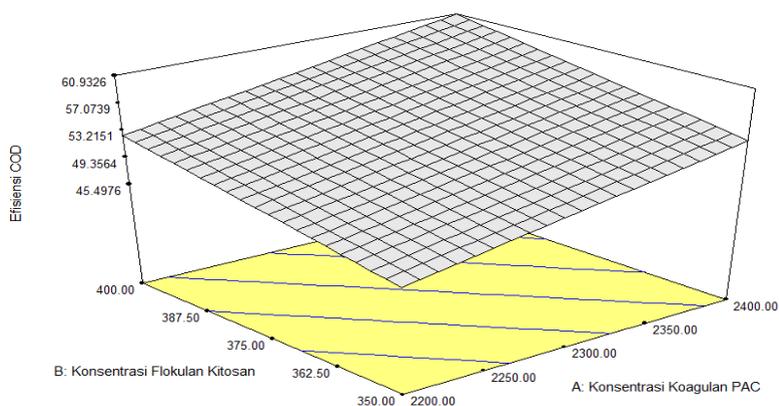


Gambar 4.7 Nilai Aktual vs Prediksi Penyisihan COD



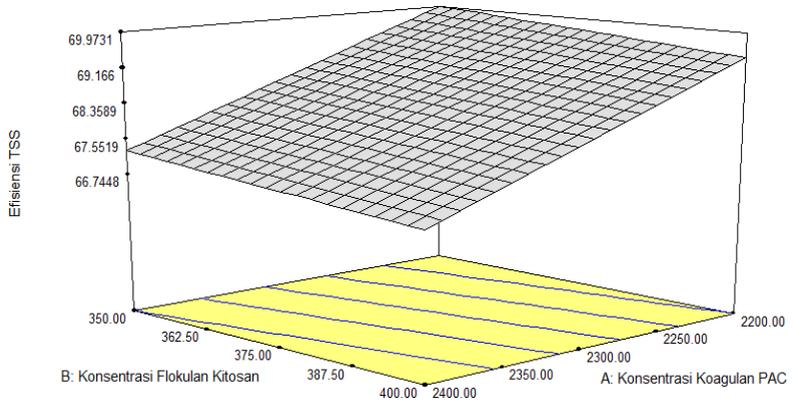
Gambar 4.8 Nilai Aktual vs Prediksi Penyisihan TSS

Berikut ini terdapat respon hasil optimasi berdasarkan RSM desain Box Behken yang digambarkan dalam tiga dimensi. Analisis dengan RSM didapatkan desain Box Behken yang divisualisasikan melalui grafik counter dan grafik surface dalam bentuk 3D, sebagai berikut ini. Pada Gambar 4.11 menunjukkan interaksi dari keseluruhan respon penyisihan COD dalam respon surface 3D. didapatkan efisiensi optimum 53,83% dengan nilai desirability tertinggi. Dosis optimum untuk mencapai kualitas terbaik saat dosis PAC 2400 mg/L dan dosis kitosan 350 mg/L. Kecepatan yang digunakan dalam mendistribusikan koagulan 279,13 rpm dan kecepatan flokulasi 60 rpm. Dapat diketahui semakin banyak dosis yang digunakan semakin besar tingkat penyisihan COD.

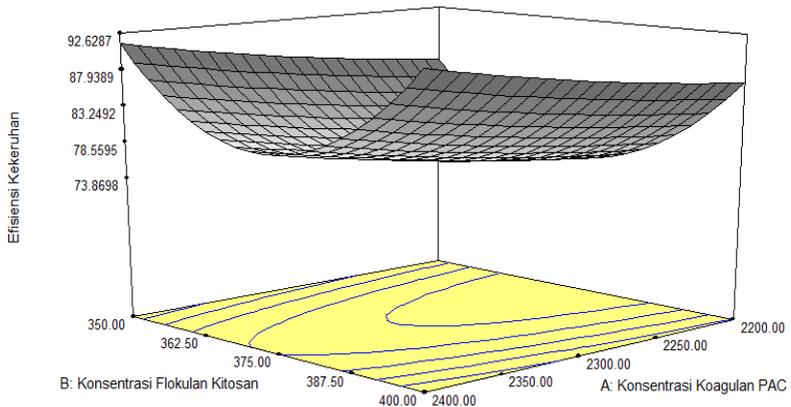


Gambar 4.11 Interaksi Pengaruh Variabel Terhadap Respon Penyisihan COD dalam Respon Surface 3D

Berdasarkan Gambar 4.12 efisiensi penyisihan TSS mencapai 67,28% dengan konsentrasi PAC 2400 mg/L, konsentrasi kitosan 350 mg/L, pengadukan cepat 279,13 rpm dan pengadukan lambat 60 rpm. Terlihat dari visualisasi gambar dibawah ini, semakin besar dosis PAC dan kitosan semakin kecil efisiensi penyisihan TSS. Pada kondisi dosis yang besar larutan telah berada pada keadaan jenuh, dimana restabilisasi partikel telah dalam keadaan optimum. Sehingga partikel tidak dapat mengikat lagi ion-ion lainnya dalam lindi



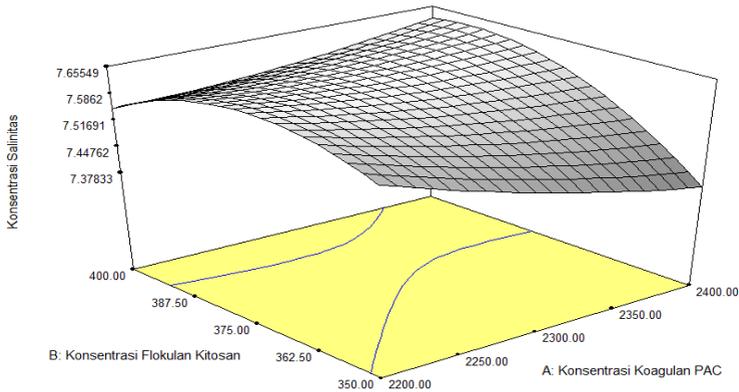
Gambar 4.12 Interaksi Pengaruh Variabel Terhadap Respon Penyisihan TSS dalam Respon Surface 3D



Gambar 4.13 Interaksi Pengaruh Variabel Terhadap Respon Penyisihan Kekeruhan dalam Respon Surface 3D

Terlihat pada Gambar 4.13 efisiensi kekeruhan mencapai 91,38% dengan konsentrasi PAC dan kitosan sebesar 2400 mg/L dan 350 mg/L. Kecepatan koagulasi saat itu 279,13 rpm dan kecepatan flokulasi 60 rpm. Visualisasi pada gambar tersebut menggambarkan bahwa nilai efisiensi mengalami kondisi naik,

turun, lalu naik kembali. Hal ini dapat terjadi dikarenakan supernatan saat ditambah PAC nilai pH turun. Kemudian saat ditambahkan kitosan pH semakin turun cenderung netral. Kondisi pH optimum kitosan dalam kondisi asam. Sehingga, saat efisiensi turun konsentrasi kekeruhan naik akibat pH belum mendekati keadaan optimum pH kitosan. Selanjutnya konsentrasi kekeruhan turun lagi karena pH untuk kitosan semakin mendekati pH optimum sehingga efisiensi dapat naik kembali.



Gambar 4.14 Interaksi Pengaruh Variabel Terhadap Respon Penyisihan Salinitas dalam Respon Surface 3D

Pengaruh variabel terhadap respon pada penyisihan konsentrasi salinitas dapat diketahui pada Gambar 4.14. Konsentrasi minimum yang diprediksikan oleh RSM dengan nilai desirability tinggi sebesar 7,39 ppt. Penambahan koagulan PAC 2400 mg/L, flokulan kitosan 350 mg/L dengan kecepatan pengadukan cepat 279,13 rpm dan kecepatan pengadukan lambat 60 rpm. Hasil konsentrasi salinitas menunjukkan semakin bertambahnya koagulan yang ditambahkan maka akan semakin tinggi konsentrasi salinitas yang dihasilkan. Bertambahnya konsentrasi salinitas ini dikarenakan kandungan klorida yang semakin bertambah apabila seiring bertambahnya koagulan PAC yang dibubuhkan dalam lindi.

4.3.2 Nilai Optimum Berdasarkan *Software Design Expert* 6.0.10

Optimasi berdasarkan fungsi desirabilitas digunakan untuk menentukan kondisi optimum pada RSM desain Box Behnken. Proses koagulasi-flokulasi yang dipengaruhi faktor konsentrasi PAC, konsentrasi flokulasi, kecepatan koagulasi dan kecepatan flokulasi telah diatur pada batas yang telah ditentukan, sedangkan estimasi penyisihan respon diatur pada kondisi maksimum. Adapun hasil optimasi proses koagulasi-flokulasi oleh PAC dan kitosan dapat dilihat pada Gambar 4.16.

Hasil *desirability* atau hasil kualitas produk yang diinginkan dalam suatu penelitian menunjukkan nilai 0,701. Nilai tersebut didapatkan dari respon efisiensi COD, TSS, kekeruhan dan konsentrasi salinitas yang dimasukkan. Nilai 0,701 termasuk dalam kategori *good* artinya nilai hasil produk dapat diterima dengan kualitas baik saja. Nilai optimum berdasarkan *software design expert* 6.0.10 yang dihasilkan diperoleh konsentrasi koagulan PAC, konsentrasi kitosan, kecepatan koagulasi dan kecepatan flokulasi untuk masing-masing adalah 2400 mg/L; 350 mg/L; 279,13 rpm dan 60 rpm. Estimasi efisiensi penyisihan COD, TSS dan kekeruhan mencapai 53,83%; 67,28 dan 91,38%. Prediksi konsentrasi salinitas mencapai 7,39 ppt. Berdasarkan uraian diatas, maka dapat disimpulkan bahwa metode RSM dengan desain Box Behnken kurang cocok untuk proses koagulasi flokulasi lindi menggunakan PAC dan kitosan dikarenakan diantara respon yang diharapkan masih terdapat respon yang tidak dapat bersifat signifikan akibat masih terdapat partikel yang belum terikat seluruhnya. Berdasarkan hasil optimasi yang dilakukan oleh *software design expert* 6.0.10 didapatkan dosis dan kecepatan optimum. Dosis dan kecepatan ini divalidasi sesuai dengan dosis optimum yang didapat dari *software design expert* 6.0.10 kemudian dilakukan uji laboratorium.

Dapat diketahui dari Tabel 4.25 hasil ralat COD, TSS, kekeruhan dan salinitas yaitu 9,5%, 21,05%, 1,22% dan 6,37%. Berdasarkan hasil ralat COD, kekeruhan dan salinitas ralat tidak lebih dari 10% menandakan hasilnya dapat diterima dan kualitasnya baik. Namun, hasil ralat TSS lebih dari 10% menurut informasi dari Hasan (2019) hal ini menandakan bahwa hasil validasi masih dapat diterima karena ralat tidak lebih dari 30%,

dimana nilai ralat 30% masih diperbolehkan namun ketepatannya berkurang jika dibandingkan dengan nilai ralat 10%.

Tabel 4.25 Hasil Analisis Validasi

No	Respon	Hasil Optimasi RSM	Hasil Setelah Validasi	Ralat
1	Efisiensi COD	53,83%	48,67%	9,58%
2	Efisiensi TSS	67,28%	52,83%	21,47%
3	Efisiensi kekeruhan	91,38%	92,00%	0,67%
4	Konsentrasi salinitas	7,39 ppt	7,84 ppt	6,08%

Hasil optimasi dosis dan kecepatan berdasarkan *software design expert* 6.0.10 diuji nilai BOD. Pengujian BOD berfungsi untuk menunjukkan besarnya kandungan senyawa organik yang dapat terbiodegradasi. Rasio BOD/COD sebelum dilakukan koagulasi flokulasi memiliki nilai 0,2. Rasio BOD₅/COD yang mendekati nol menunjukkan bahwa lindi tersebut mengandung substansi yang bersifat toksik (Manullang,2012). Hal ini diakibatkan kandungan organik yang tinggi mengakibatkan jumlah kebutuhan oksigen tidak mencukupi mikroorganisme untuk mendegradasi senyawa organik. Sehingga, lama kelamaan oksigen akan berkurang dan dan membunuh mikroorganisme itu sendiri. Setelah dilakukanya koagulasi flokulasi hasil yang didapatkan nilai BOD₅ yaitu 606 mg/L dengan nilai COD 1960 mg/L sehingga rasio BOD₅ naik sedikit menjadi 0,3. Kenaikan rasio BOD/COD oleh proses koagulasi flokulasi dikarenakan koagulan PAC dan flokulan kitosan dapat mereduksi senyawa biodegradable dan non biodegradable dalam lindi. Nilai COD yang mengalami penurunan jauh lebih besar dibanding BOD mengindikasikan bahwa proses koagulasi flokulasi lebih banyak mengikat atau mereduksi senyawa non biodegradable pada proses fisik kimia. Masih terdapat senyawa biodegradable yang belum tereduksi mengakibatkan koloid dari senyawa biodegradable masih melayang-layang dan flok yang terbentuk lebih banyak dari partikel koloid yang non biodegradabel.

Tabel 4.26 Hasil Optimasi Berdasarkan Software Design Expert 6.0.10

No	PAC (mg/L)	Kitosan (mg/L)	Kecepatan Koagulasi (rpm)	Kecepatan Flokulasi (rpm)	COD (%)	TSS (%)	Kekeruhan (%)	Salinitas (ppt)	Desirability
1	2400	350	279,13	60	53,83	67,28	91,38	7,39	0,701
2	2400	350	280	58,96	53,64	66,12	90,12	7,37	0,697
3	2400	399,6	279,94	60	60,87	66,75	92,24	7,62	0,691
4	2381,51	399,01	280	59,83	59,98	66,81	90,71	7,61	0,69
5	2352,34	399,11	280	60	58,81	67,39	89,85	7,59	0,687
6	2333,85	350,04	280	59,95	51,08	68,11	88,57	7,43	0,659
7	2210,76	400	240,01	60	52,24	69,28	93,04	7,56	0,65
8	2206,37	400	240,77	58,72	51,82	67,91	91,45	7,53	0,648
9	2311,41	400	240	55	55,45	62,35	90,26	7,63	0,626
10	2270,52	350	280	60	48,44	69,02	86,7	7,5	0,609

Selected

“Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada dosis koagulan PAC 2400 mg/L dengan flokulan kitosan 350 mg/L pada kecepatan koagulasi 260 rpm dan kecepatan flokulasi 50 rpm dapat menyisihkan COD sebesar 71%, TSS 45%, dan kekeruhan 94%. Salinitas mengalami penyisihan dari 6,4 ppt menjadi 7,82 ppt yang termasuk salinitas rendah. Kadar Cd tidak dilakukan pengujian karena sudah di bawah baku mutu (nilai Cd 0,002 mg/L dengan baku mutu 0,1 mg/L).
2. Dosis dan kecepatan optimasi berdasarkan RSM (*Response Surface Methodology*) *design* Box Behnken, yaitu:

Dosis koagulan PAC = 2400 mg/L

Dosis flokulan kitosan = 350 mg/L

Kecepatan koagulasi = 279,13 rpm

Kecepatan flokulasi = 60 rpm

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka saran untuk penelitian kedepan adalah

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan koagulan atau flokulan jenis lainnya.
2. Penelitian lebih lanjut dapat menggunakan *software design expert 6.0.10* selain desain Box Behnken, seperti CCD (Central Composite Design), 3-Level Factorial Design dll.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Anggarani, B. O., Nieke, K., Atiek, M. 2015. Peningkatan Efektifitas Proses Koagulasi-Flokulasi dengan Menggunakan Alumunium Sulfat dan Superfloc. Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXII. Program Studi MMT-ITS. Surabaya.
- Anonim. 2004. SNI 06- 6989.1-2004 Tentang Air dan Air Limbah – Bagian 1: Cara Uji Daya Hantar Listrik (DHL). Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. 2004. SNI 06-6989.3-2004 Tentang Air dan Air Limbah-Bagian 3: Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid, TSS) Secara Gravimetric. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. 2004. SNI 06-6989.11-2004 Tentang Air dan Air Limbah –Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan Menggunakan Alat pH meter. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim.2006. Chapter 14 of Volunteer Estuary Monitoring Manual, A Methods Manual, Second Edition, EPA-842-B-06-003. Environmental Protection Agency United States.
- Anonim. 2009. SNI 6989.16:2009 Tentang Air dan Air Limbah – Bagian 16: Cara Uji Kadmium (Cd) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) –Nyala. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. 2009. SNI 6989.72:2009 Tentang Air dan Air Limbah-Bagian 72: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD) . Badan Standarisasi Nasional.
- Asmadi dan Suharno. 2012. Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah. Pontianak : Gosyen Publishing.
- Sumber Organik. 2017. Analytical Report.
- APHA-AWWA-WEF. 2012. Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater. American Public Health Association, Washington DC.
- Ariany, T. D., Badrus, Z., Titik, I. 2012. Penyisihan BOD Dan COD Dalam Lindi Pada *Constructed Wetland* Menggunakan *Typha Angsutifolia* Dengan Pengaruh Debit dan Jumlah Tumbuhan yang Berbeda. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Dipenogoro.

- Astuti, D., Sarto, Susi, I. 2010. Penurunan Toksisitas Leachate (Air Lindi) dari TPAS Putri cempo Mojosoongo Surakarta dengan PAC (Poly Aluminum Chloride). *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 17,1:11-25.
- Damanhuri, E. dan Tri, P. 2010. Diktat Kuliah Pengelolaan Sampah. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu. 2018. Topografi Kota Surabaya. Dikunjungi pada tanggal 11 November 2018 : <http://dpmpstpsurabaya.go.id/v3/pages/topografi-kota-surabaya>.
- Fajariyah, C. dan Sarwoko M. 2017. Kajian Literatur Pengolahan Lindi Tempat Pemrosesan Akhir Sampah dengan Teknik Lahan Basah menggunakan Tumbuhan Air. *Jurnal Teknik ITS* 6, 2:191-196.
- Ferreira, S.L.C., Bruns, R.E., Ferreira, H.S., Matos, G.D., David, J.m., Brandao, G. C., da Silva, E.G.P., Portugal, L.A., dos Reis, P.S., Saouza, A.S., dan dos Santos, W.N.L. 2007. Box- Behnken Design: An Alternative for the Optimazation of Analytical Methods. *Analytica Chimica Acta* 597, 179-186.
- Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management (FCSHWM). 1998. Analysis of Florida MSW landfill leachate quality. University of Central Florida, Florida.
- Gebbie, P. 2005 A Dummy's Guide to Coagulants. Bendigo: 68th Annual Water Industry Engineers and Operator, Conference Schweppes Centre.
- Ghafari, S., Ahamidi, A.A., Mohamed, H.I., dan Ali A.Z. 2009. Application of Response Surface Methodology (RSM) to Optimize Coagulation-Flocculation Treatment of Leachate Using Poly-Aluminium Chloride (PAC) and Alum. *Journal of Hazardous Materials*. 163, 650-656
- Ginting, S.S., Jhon, A.P., Rozanna, S.I. 2016. Pengaruh Kombinasi Proses Pretreatment (Koagulasi-Flokulasi) dan Membran Reverse Osmosis untuk Pengolahan Air Payau. *Jom FTEKNIK* 3, 2:1-7.
- Harwiyanti, R.D. 2015. Kefektifan Dosis Koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) Dalam Menurunkan Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) Pada Air Limbah Laundry. Program

- Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- Hasan, H.A. 2019. *Personal Communication*. 25 Juni 2019.
- Haufe, S., Jorg, B., Dana, S., Svetlana, Y., Bratskaya, Christine, S., and Simona, S. 2017. Flocculation Efficiency of Reacetylated Water Soluble Chitosan Versus commercial Chitosan. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and engineering Aspects*. 525, 222-227.
- Hendrawati., Ricky, S., Jimmy, T. 2007. Penetapan Dosis Koagulan dan Flokulan Pada Proses Penjernihan Air untuk Industri. Program Studi Kimia FST UIN Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- Hendrawati, Susi, S., dan Nurhasni. 2015. Penggunaan Kitosan sebagai Koagulan Alami dalam Perbaikan Air Danau. *Jurnal Kimia VALENSI*. 1, 1:1-11.
- Hidayati, A.F,. 2011. Pemanfaatan Enceng Gondok (*Eicchornia crassipes*) untuk Penyisihan Polutan pada Lindi (Studi Kasus : TPA Benowo). Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS, Surabaya.
- Imron, M.F. 2018. Optimasi Proses Biodegradasi Solar oleh Isolat Bakteri dengan Menggunakan Response Surface methodology (RSM) Desain Box Behnken. Program Magister Teknik Lingkungan. FTSLK-ITS, Surabaya.
- Iraya. 2015. Lampiran-G Perhitungan Penanganan Lindi, Bantuan Teknis Perencanaan TPA regional MAMMINASATA.
- Kargi, F. & Dincer, A.R. 1996. Effect of Salt Concentration on Biological Treatment of Saline Wastewater by Fed-Batch Operation. *Enzyme and Microbial Technology*. 19, 529-537.
- Lindu, M., Bambang, I., Nancy, S. 2015. Penentuan Koagulan untuk Mengolah Air Lindi Bantar Gebang Menggunakan Koagulan *Poly Aluminium Chloride*, Tawas dan *Polydiallyl Dimethyl Ammonium Chloride*. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 17, 1:34-40.
- Liu, X., Xiao, M.L., Qi, Y., Xiu, Y., Ting, T.S., Wei, Z., Kun, L., Yi, H.S., and Guang, M.Z. 2012. Landfill Leachate Pretreatment by Coagulation–Flocculation Process Using Iron-Based Coagulants: Optimization By Response Surface Methodology. *Chemical Engineering Journal* 39–51.

- Maghriba, Y. 2010. Penetapan Komposisi Lindi Toksik dan Kompos Tidak Stabil untuk Menghasilkan Bahan Mampu Urai Biologis. Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.
- Manullang, R.P. 2012. Efektivitas Pre-Treatment Koagulasi-Flokulasi Pada IPAL Rumah Sakit Metode Activated Sludge. Jurusan Teknik Lingkungan FT UI, Depok.
- Masduqi, A. dan Assomadi, A.B. 2012. Operasi dan Proses Pengolahan Air Edisi Kedua. Surabaya: ITS Press
- Nasution, P., Sri, Sumiyati dan Irawan, W.W. 2015. Studi Penurunan TSS, *Turbidity* dan COD dengan Menggunakan Kitosan Dari Limbah Cangkang Keong Sawah (*Pila ampullacea*) sebagai Biokoagulan dalam Pengolahan Limbah Cair PT Sido Muncul, TBK Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan* 4, 1:1-10.
- Nontji, A. 2005. Laut Nusantara. Penerbit Djambatan. Jakarta. 367 hlm.
- Noviani, H. 2012. Analisis Penggunaan Koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan Kitosan Pada Proses Penjernihan Air di PDAM Tirta Pakuan Bogor. Skripsi Jurusan Kimia FMIPA-Universita Pakuan, Bogor.
- Nurmiah, S., Syarief, R., Sukarno, Peranginangin, R., dan Nurtama, B. 2013. Aplikasi Response Surface Methodology pada Optimalisasi Kondisi Proses Pengolahan Alkali Treated Cottoni (ATC). *JPB Kelautan dan Perikanan* 8, 1:9-22.
- Okafo, I. A.O dan Onukwuli, O.D. 2015. Optimization of Coagulation-Flocculation Process for Colour Removal from Synthetic Dye Wastewater Using Natural Organic Polymers: Response Surface Methodology Applied. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 6, 12:693-704.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau kegiatan tempat Pemrosesan Akhir Sampah No.59 Tahun 2016.
- Purwanti, I.F., Ira, M.A., dan Suharmadi. 2006. Pemodelan Salinitas Air Tanah Di Surabaya Timur. Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi III. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Putra, S.J.W., Mustofa, N., dan Niniek, W. 2014. Analisis Hubungan Bahan Organik dengan Total Bakteri Pada Tambak Udang Intensif Sistem Semibioflok Di BBBPABP Jepara. *Diponegoro Journal Of Maquares* 3, 3:121-129.
- Qiu, P., Mingcan, C., Kyounglim, K., Beomguk, P., Yonggyu, S., Eunkyung, K., Min, J., and Jeehyeong, K. 2013. Application of Box-Behnken Design with Response Surface Methodology for Modeling and Optimizing Ultrasonic Oxidation of Arsenite with H₂O₂. *Central European Journal of Chemistry* 12, 2:164-172.
- Rachmah, F. 2013. Pengolahan Air Limbah Industri Laundry dengan Metode Koagulasi Kimia dan Elektrokimia. Departemen Teknologi Industri Pertanian FTP, Institut Pertanian Bogor.
- Renault, F., Sancey., Bandot, P.M, Crini, G. 2009. Chitosan for Coagulation/Flocculation Process- An Eco Friendly Approach. *European Polymer Journal* 45, 1337-1348.
- Reynolds, T.D. dan Richards, P.A. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, 2nd edition, PWS Publishing Company, Boston.
- Rezagama, A., Hadiwidodo, M., Purwono, P., Ramadhani, N. F., Yustika, M. 2016. Penyisihan Limbah Organik Air Lindi TPA Jatibarang Menggunakan Koagulasi-Flokulasi Kimia. *Jurnal Teknik* 37, 2:78-83.
- Rezagama, A. & Notodarmojo, S. 2012. Kinetika Transfer Ozon dan Tren Kekeruhan dalam Air Lindi dengan Pengolahan Ozonisasi.
- Rosariawari, F. dan M. Mirwan. 2013. Efektifitas PAC dan Tawas untuk Menurunkan Kekeruhan Pada Air Permukaan. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP, Universitas Pembangunan Nasional.
- Royadi. 2006. Analisis Pemanfaatan TPA Sampah Pasca Operasi Berbasis Masyarakat (Studi Kasus TPA Bantar Gebang, Bekasi). Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Saniy, T.H., Sudarno dan Purwono. 2017. Pengolahan Lindi Menggunakan Metode Koagulasi Flokulasi dengan Bioloagulan Kitosan dari Limbah Cangkang Udang dan Metode Ozonasi. *Jurnal Teknik Lingkungan* 6, 1:1-11.

- Saputra, A., Sugili, P., dan Noor, A.K. 2015. Pengaruh pH Limbah dan Perbandingan Kitosan dengan TSS pada Pengendapan Limbah Cair Biskuit. Seminar Nasional XI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta.
- Shapira, D.B., Abdul, S., dan Purwono. 2017. Pemanfaatan Kitosan dan Teknologi Plasma untuk Penyisihan COD, TSS dan Warna Pada Limbah Cair Industri Paper & Packaging. *Jurnal Presipitasi* 14, 2:62-67.
- Sinardi, P. S. 2013. Pembuatan, Karakterisasi dan Aplikasi Kitosan dari Cangkang Kerang Hijau (*Mytilus viridis linneaus*) Sebagai Koagulan Penjernih Air. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 Universitas Sebelas Maret, Surakarta. 2, 33-38.
- Singh, B., Harish, K.S., dan Bhavesh, C.S. 2012. Optimization of Extraction of Antioxidants from Wheat Bran (*Triticum spp.*) Using Response Surface Methodology. *J Food Science Technology* 49, 3:294–308.
- Susanto, P. J., Ganefati P. S., Muryani, S., dan Istiqomah, H. S., 2004, Pengolahan Lindi (*Leachate*) dari TPA dengan Menggunakan Sistem Koagulasi – *Biofilter Anaerobic*. *Jurnal Tek.Ling - P3TL – BPPT*. 5, 167 – 173.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. 2004. Integrated Solid Waste Management. McGraw-Hill, Inc. New York.
- Urban, C, dan Torres, L.G.2013. Use of Response Surface Methodology in the Optimization of Coagulation Flocculation of Wastewaters Employing Biopolymers. *Int. J. Environ. Res* 7, 3:717-726.
- Wall and Zeis, C. 1995. Municipal Landfill Biodegradation and Settlement. *Journal of Environmental Engineering* 121, 3:214-223.
- Wityasari, N., Elida, N., dan Sri, W. 2015. Penentuan Dosis Optimum PAC (*Poly Alumunium Chloride*) pada Pengolahan Air Bersih di IPA Tegal Besar PDAM Jember. Jurusan teknik Pertanian FTP, Universitas Jember.
- Zhao, C., Sai, S., Yaoyu, Z., Yahui, Y., Ying, S., Leping, Z., Yiji, Z., Linian, X., and Lin, L. 2018. Optimization of Flocculation Conditions for Soluble Cadmium Removal Using the Composite Flocculant of Green Anion Polyacrylamide and

PAC by Response Surface Methodology. *Science of the Total Environment*. 645, 267-276.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 1

Perhitungan G.Td

Diasumsikan:

Pada suhu air 28°C, $\mu = 0,8363 \times 10^{-3} \text{ N.det/m}^2$, $\rho = 996,26 \text{ kg/m}^3$

Kriteria desain:

▪ Pengadukan cepat

$$G = 700/\text{detik} - 1000/\text{detik}$$

$$T_d = 20 \text{ detik} - 60 \text{ detik}$$

$$G.t_d = 14.000 - 60.000$$

▪ Pengadukan lambat

$$G = 20/\text{detik} - 100/\text{detik}$$

$$T_d = 10 \text{ menit} - 60 \text{ menit}$$

$$G.t_d = 48.000 - 210.000$$

Pengadukan cepat

• Kecepatan 240 rpm

$$NR_e = \frac{Di^2 n \rho}{\mu} = \frac{0,07^2 m \times \left(\frac{240}{60}\right) rps \times 996,26 \text{ kg/m}^3}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N det/m}^2} = 23349 > 10000$$

(turbulen)

$$\begin{aligned} P &= K_T n^3 Di^5 \rho \\ &= 2,25 \times \left(\frac{240}{60}\right)^3 rps \times (0,07)^5 m \times 996,26 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,24 \text{ N-m/det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G &= \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \\ &= \sqrt{\frac{0,24 \text{ N-m/det}}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N} \frac{\text{det}}{\text{m}} \times 0,0005 \text{ m}^3}} \\ &= 759,4/\text{s} \end{aligned}$$

$$G.t_d = 759,4/\text{s} \times 60 \text{ s} = 45564$$

• Kecepatan 260 rpm

$$NR_e = \frac{Di^2 n \rho}{\mu} = \frac{0,07^2 m \times \left(\frac{260}{60}\right) rps \times 996,26 \text{ kg/m}^3}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N det/m}^2} = 25295 > 10000$$

(turbulen)

$$\begin{aligned}
 P &= K_T n^3 D_i^5 \rho \\
 &= 2,25 \times \left(\frac{260}{60}\right)^3 \text{ rps} \times (0,07)^5 \text{ m} \times 996,26 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 0,31 \text{ N-m/det}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G &= \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,31 \text{ N-m/det}}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N} \frac{\text{det}}{\text{m}} \times 0,0005 \text{ m}^3}} \\
 &= 856,2/\text{s}
 \end{aligned}$$

$$G_{td} = 856,2/\text{s} \times 60 \text{ s} = 51373$$

- Kecepatan 280 rpm

$$NR_e = \frac{D_i^2 n \rho}{\mu} = \frac{0,07^2 \text{ m} \times \left(\frac{280}{60}\right) \text{ rps} \times 996,26 \text{ kg/m}^3}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N det/m}^2} = 27240 > 10000$$

(turbulen)

$$\begin{aligned}
 P &= K_T n^3 D_i^5 \rho \\
 &= 2,25 \times \left(\frac{280}{60}\right)^3 \text{ rps} \times (0,07)^5 \text{ m} \times 996,26 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 0,38 \text{ N-m/det}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G &= \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,38 \text{ N-m/det}}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N} \frac{\text{det}}{\text{m}} \times 0,0005 \text{ m}^3}} \\
 &= 956,9/\text{s}
 \end{aligned}$$

$$G_{td} = 956,9/\text{s} \times 60 \text{ s} = 57414$$

Pengadukan lambat

- Kecepatan 40 rpm

$$NR_e = \frac{D_i^2 n \rho}{\mu} = \frac{0,07^2 \text{ m} \times \left(\frac{40}{60}\right) \text{ rps} \times 996,26 \text{ kg/m}^3}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N det/m}^2} = 3892,20 < 3892 <$$

10000 (turbulen)

$$\begin{aligned}
 P &= K_T n^3 D_i^5 \rho \\
 &= 2,25 \times \left(\frac{40}{60}\right)^3 \text{ rps} \times (0,07)^5 \text{ m} \times 996,26 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 1,12 \times 10^{-3} \text{ N-m/det}
 \end{aligned}$$

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

$$= \sqrt{\frac{1,12 \times 10^{-3} \text{ N-m/det}}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N} \frac{\text{det}}{\text{m}} \times 0,0005 \text{ m}^3}}$$

$$= 51,7/\text{s}$$

$$\text{Gtd} = 51,7/\text{s} \times (60 \text{ detik} \times 20 \text{ menit}) = 62001$$

- Kecepatan 50 rpm

$$\text{NR}_e = \frac{Di^2 n \rho}{\mu} = \frac{0,07^2 \text{ m} \times \left(\frac{50}{60}\right) \text{ rps} \times 996,26 \text{ kg/m}^3}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N det/m}^2} = 4864, \quad 20 < 4864 < 10000 \text{ (turbulen)}$$

$$P = K_T n^3 Di^5 \rho$$

$$= 2,25 \times \left(\frac{50}{60}\right)^3 \text{ rps} \times (0,07)^5 \text{ m} \times 996,26 \text{ kg/m}^3$$

$$= 2,18 \times 10^{-3} \text{ N-m/det}$$

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

$$= \sqrt{\frac{2,18 \times 10^{-3} \text{ N-m/det}}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N} \frac{\text{det}}{\text{m}} \times 0,0005 \text{ m}^3}}$$

$$= 72,2/\text{s}$$

$$\text{Gtd} = 72,2/\text{s} \times (60 \text{ detik} \times 20 \text{ menit}) = 86649$$

- Kecepatan 60 rpm

$$\text{NR}_e = \frac{Di^2 n \rho}{\mu} = \frac{0,07^2 \text{ m} \times \left(\frac{60}{60}\right) \text{ rps} \times 996,26 \text{ kg/m}^3}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N det/m}^2} = 5837, \quad 20 < 5837 < 10000 \text{ (turbulen)}$$

$$P = K_T n^3 Di^5 \rho$$

$$= 2,25 \times \left(\frac{60}{60}\right)^3 \text{ rps} \times (0,07)^5 \text{ m} \times 996,26 \text{ kg/m}^3$$

$$= 3,77 \times 10^{-3} \text{ N-m/det}$$

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

$$= \sqrt{\frac{3,77 \times 10^{-3} \text{ N-m/det}}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N} \frac{\text{det}}{\text{m}} \times 0,0005 \text{ m}^3}}$$

$$= 94,9/\text{s}$$

$$\text{Gtd} = 94,9/\text{s} \times (60 \text{ detik} \times 20 \text{ menit}) = 113903$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 2

Design Expert 6.0.10 RSM Desain Box Behnken

Langkah-langkah dalam menggunakan **design expert 6.0.10** sebagai berikut:

1. Mengisi kolom “*name*” dengan variabel yang diinginkan yaitu koagulan PAC, flokulan Kitosan, kecepatan koagulasi, dan kecepatan flokulasi
2. Mengisi kolom “*units*” dengan satuan dari setiap variabel yang dimasukkan
3. Mengisi kolom “*low*” dan “*high*” yaitu rentang terendah dan tertinggi dari setiap variabel

The screenshot shows the Design Expert 6.0.10 software interface for setting up a Box-Behnken Design. The sidebar on the left lists various design types, with 'Box-Behnken' selected. The main panel displays the following configuration:

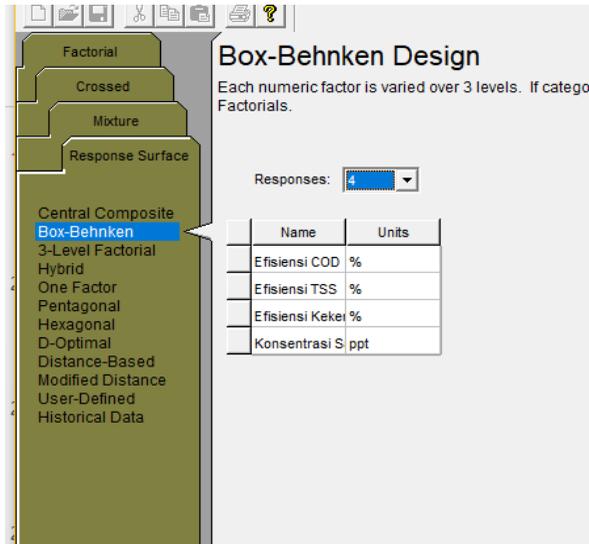
- Design Type: Box-Behnken Design
- Each numeric factor is varied over 3 levels. If categorical factors are added, the Box-Behnken is Fractional.
- Numeric Factors: 3 (options: 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10)
- Categorical Factors: 0 (options: 0 to 10)

	Name	Units	Low	High
A:	Konsentrasi Koagulan PAC	mg/L	2200	2400
B:	Konsentrasi Flokulan Kitosan	mg/L	350	400
C:	Kecepatan Koagulasi	rpm	240	280
D:	Kecepatan Flokulasi	rpm	40	60

Additional settings shown include 29 Experiments and 1 Block. A 3D visualization of the Box-Behnken design space is displayed as a cube with 12 vertices and 8 interior points.

Gambar 1.1 Memasukan Variabel Ke Dalam Program Design Expert

- Memilih jumlah “*response*” sesuai jumlah parameter yang diinginkan kemudian memasukkan data parameter pada kolom “*name*” dan data satuan parameter pada kolom “*units*”



Gambar 1.2 Memasukkan Parameter Ke Dalam Program Design Expert

- Mendapatkan banyaknya *running* yang harus dilakukan dengan variasi koagulan PAC, flokulan Kitosan, kecepatan koagulasi, dan kecepatan flokulasi yang telah ditentukan oleh *software design expert 6.0.10*.
- Memasukkan hasil laboratorium ke dalam *software design expert 6.0.10*.
- Mendapatkan hasil optimasi dari *software design expert 6.0.10*

Notes for MyDesign											
	Std	Run	Block	Factor 1 A.Konsentrasi Koagulan PAC mg/L	Factor 2 B.Konsentrasi Flokulan Kitosan mg/L	Factor 3 C.Kecepatan Koagulasi rpm	Factor 4 D.Kecepatan Flokulasi rpm	Response 1 Efisiensi COD %	Response 2 Efisiensi TSS %	Response 3 Efisiensi Kekeruhan %	Response 4 Konsentrasi Salinitas ppt
	1	6	Block 1	2200.00	350.00	260.00	50.00				
	2	25	Block 1	2400.00	350.00	260.00	50.00				
	3	22	Block 1	2200.00	400.00	260.00	50.00				
	4	23	Block 1	2400.00	400.00	260.00	50.00				
	5	14	Block 1	2300.00	375.00	240.00	40.00				
	6	8	Block 1	2300.00	375.00	280.00	40.00				
	7	17	Block 1	2300.00	375.00	240.00	60.00				
	8	11	Block 1	2300.00	375.00	280.00	60.00				
	9	26	Block 1	2200.00	375.00	260.00	40.00				
	10	24	Block 1	2400.00	375.00	260.00	40.00				
	11	2	Block 1	2200.00	375.00	260.00	60.00				
	12	9	Block 1	2400.00	375.00	260.00	60.00				
	13	19	Block 1	2300.00	350.00	240.00	50.00				
	14	15	Block 1	2300.00	400.00	240.00	50.00				
	15	20	Block 1	2300.00	350.00	280.00	50.00				
	16	4	Block 1	2300.00	400.00	280.00	50.00				
	17	13	Block 1	2200.00	375.00	240.00	50.00				
	18	10	Block 1	2400.00	375.00	240.00	50.00				
	19	1	Block 1	2200.00	375.00	280.00	50.00				
	20	5	Block 1	2400.00	375.00	280.00	50.00				
	21	29	Block 1	2300.00	350.00	260.00	40.00				
	22	27	Block 1	2300.00	400.00	260.00	40.00				
	23	28	Block 1	2300.00	350.00	260.00	60.00				
	24	16	Block 1	2300.00	400.00	260.00	60.00				
	25	12	Block 1	2300.00	375.00	260.00	50.00				
	26	18	Block 1	2300.00	375.00	260.00	50.00				

Gambar 1.3 Hasil *Running* pada Program Design Expert

Std	Run	Block	Factor 1 A.Konsentrasi Koagulan PAC mg/L	Factor 2 B.Konsentrasi Flokulan Kitosan mg/L	Factor 3 C.Kecepatan Koagulasi rpm	Factor 4 D.Kecepatan Flokulasi rpm	Response 1 Efisiensi COD %	Response 2 Efisiensi TSS %	Response 3 Efisiensi Kekeruhan %	Response 4 Konsentrasi Salinitas ppt
1	16	Block 1	2200.00	350.00	260.00	50.00	36.17	56.6	82.91	7.86
2	6	Block 1	2400.00	350.00	260.00	50.00	53.19	66.04	78.64	7.72
3	26	Block 1	2200.00	400.00	260.00	50.00	54.26	73.58	83	7.74
4	22	Block 1	2400.00	400.00	260.00	50.00	71.28	60.38	83.55	7.89
5	28	Block 1	2300.00	375.00	240.00	40.00	55.63	32.08	56.25	7.89
6	15	Block 1	2300.00	375.00	280.00	40.00	45.63	54.72	59.38	8.13
7	17	Block 1	2300.00	375.00	240.00	60.00	53.47	84.91	69.22	7.7
8	13	Block 1	2300.00	375.00	280.00	60.00	61.11	73.58	86.26	7.61
9	27	Block 1	2200.00	375.00	260.00	40.00	43.75	43.4	50	7.66
10	2	Block 1	2400.00	375.00	260.00	40.00	43.13	43.4	65.63	7.81
11	7	Block 1	2200.00	375.00	260.00	60.00	38.89	54.72	69.97	7.77
12	14	Block 1	2400.00	375.00	260.00	60.00	50	66.04	90.03	7.88
13	29	Block 1	2300.00	350.00	240.00	50.00	47.95	57.83	80.69	7.51
14	19	Block 1	2300.00	400.00	240.00	50.00	41.52	62.65	87.02	7.33
15	5	Block 1	2300.00	350.00	280.00	50.00	50.29	63.86	86.34	7.53
16	9	Block 1	2300.00	400.00	280.00	50.00	52.63	61.45	86.95	7.44
17	3	Block 1	2200.00	375.00	240.00	50.00	52.05	62.65	86.18	7.62
18	24	Block 1	2400.00	375.00	240.00	50.00	54.97	57.83	83.82	7.92
19	8	Block 1	2200.00	375.00	280.00	50.00	49.01	67.92	49.47	7.54
20	11	Block 1	2400.00	375.00	280.00	50.00	51.66	49.06	56.69	7.55
21	20	Block 1	2300.00	350.00	260.00	40.00	46.88	50.94	62.5	7.72
22	1	Block 1	2300.00	400.00	260.00	40.00	46.88	41.51	65.63	7.78
23	21	Block 1	2300.00	350.00	260.00	60.00	45.83	64.15	89.94	7.73
24	23	Block 1	2300.00	400.00	260.00	60.00	56.25	56.6	83.17	7.9
25	12	Block 1	2300.00	375.00	260.00	50.00	54.26	79.25	89.55	7.82
26	4	Block 1	2300.00	375.00	260.00	50.00	80.85	62.26	90.45	7.82

Gambar 1.4 Hasil Laboratorium yang Dimasukan pada Program Design Expert

Solutions

Number	Konsentrasi Koa	Konsentrasi Flok	Kecepatan Koa	Kecepatan Flok	Efisiensi COD	Efisiensi TSS	Efisiensi Kekeuhan	Konsentrasi Salinitas	Desirability	
1	<u>2400.00</u>	<u>350.00</u>	<u>279.13</u>	<u>60.00</u>	<u>53.8304</u>	<u>67.2875</u>	<u>91.384</u>	<u>7.39793</u>	<u>0.701</u>	<u>Selected</u>
2	2400.00	350.00	280.00	58.96	53.6421	66.1242	90.1249	7.37572	0.697	
3	2400.00	399.60	279.94	60.00	60.8743	66.7506	92.2463	7.6269	0.691	
4	2381.51	399.01	280.00	59.83	59.9863	66.8136	90.7132	7.61282	0.690	
5	2352.34	399.11	280.00	60.00	58.817	67.3961	89.8584	7.59708	0.687	
6	2333.85	350.04	280.00	59.95	51.0821	68.1194	88.5717	7.43396	0.659	
7	2210.76	400.00	240.01	60.00	52.2418	69.288	93.042	7.56797	0.650	
8	2206.37	400.00	240.77	58.72	51.821	67.9147	91.4545	7.53761	0.648	
9	2311.41	400.00	240.00	55.00	55.4592	62.3595	90.2655	7.63042	0.626	
10	2270.52	350.00	280.00	60.00	48.4415	69.0264	86.7029	7.50085	0.609	

10 Solutions found

Gambar 1.5 Hasil Optimasi pada Program Design Expert

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 3

Prosedur Analisis Laboratorium

A. Analisis COD Metode Closed Refluks

Alat :

1. Spektroquant
2. Vials
3. Propipet
4. Rak COD
5. Pipet ukur 10 mL

Bahan :

1. Digestion solution ($K_2Cr_2O_7$)
2. Larutan FAS
3. Sulfuric Acid
4. Indikator ferroin

Prosedur :

1. Memasukan sampel sebanyak 2,5 mL kedalam vials
2. Menambahkan $K_2Cr_2O_7$ sebanyak 1,5 mL
3. Menambahkan Sulfuric Acid sebanyak 2,5 mL
4. Menutup botol vials dengan rapat panaskan didalam COD digestion selama 2 jam dengan suhu $150^\circ C$
5. Setelah 2 jam tunggu hingga dingin, suhu turun sampai $100^\circ C$
6. Menambahkan 1-2 tetes indikator ferroin
7. Titrasi dengan larutan FAS hingga muncul warna merah bata
8. Menghitung hasil titrasi dengan rumus :

$$\frac{((A - B)) \times N \times 8000}{2,5} \times P$$

Keterangan :

A	= mL titrasi blangko
B	= mL titrasi sampel
N	= Normalitas FAS
P	= Jumlah Pengenceran

B. Analisis BOD Metode Winkler

Alat :

1. Botol Winkler
2. Pipet ukur 1 mL
3. Propipet
4. Erlenmeyer

Bahan :

1. Air pengencer

Prosedur :

a. Pembuatan Air Pengencer

Air pengencer ini tergantung banyaknya sampel yang akan dianalisis dan pengencerannya, prosedurnya:

1. Menambahkan 1 mL larutan Buffer Fosfat per liter air.
2. Menambahkan 1 mL larutan Magnesium Sulfat per liter air.
3. Menambahkan 1 mL larutan Kalium Klorida per liter air.
4. Menambahkan 1 mL larutan Feri Klorida per liter air.
5. Melakukan aerasi minimal selama 2 jam.
6. Menambahkan 1 mL larutan benih per liter air.

b. Prosedur BOD

1. Menyiapkan 1 buah labu takar 500 ml dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu.
2. Menyiapkan 2 botol winkler 300 ml dan 2 buah botol winkler 150 ml.
3. Menuangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol winkler 300 ml dan 150 ml sampai tumpah.
4. Menuangkan air pengencer ke botol winkler 300 ml dan 150 ml sebagai blanko hingga tumpah.
5. Memasukkan kedua botol winkler 300 ml ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari
6. Kedua botol winkler 150 ml yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - Menambahkan 1 ml larutan Mangan Sulfat
 - Menambahkan 1 ml larutan Pereaksi Oksigen

- Menutup botol dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udara lalu bolak- balikkan beberapa kali
- Membiarkan gumpalan mengendap selama 5-10 menit
- Menambahkan 1 ml Asam Sulfat pekat, tutup dan bolak-balikkan
- Menuangkan 100 ml larutan ke dalam erlenmeyer 250 ml
- Menambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan Natrium Tiosulfat hingga warna biru hilang
- Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam botol winkler 300 ml dengan analisis oksigen terlarut
- Hitung Oksigen terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

$$OT(mgO_2 / L) = \frac{axNx8000}{100ml}$$

$$BOD_5^{20}(mg / L) = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{mlsampel}{volumehasilpengenceran(500ml)}$$

Keterangan : X_0 = Oksigen terlarut sampel pada $t = 0$
 X_5 = Oksigen terlarut sampel pada $t = 5$
 B_0 = Oksigen terlarut blankol pada $t = 0$
 B_5 = Oksigen terlarut blankol pada $t = 5$
 P = Derajat pengenceran

C. Analisis Total Suspended Solid (TSS)

Alat :

1. Kertas saring
2. Vacum filter
3. Gelas ukur 25 mL
4. Oven
5. Desikator
6. Cawan porselen
7. Timbangan analitis

Prosedur :

1. Memasukan kertas saring dan cawan porselen ke oven 105°C selama 1 jam
2. Mendinginkan kertas saring dan cawan porselin ke dalam desikator selama 15 menit
3. Menimbang cawan dan kertas saring dengan timbangan analitis
4. Meletakkan kertas saring yang ditimbang pada vacuum filter
5. Menuangkan 25 mL sampel si atas filter yang telah dpasang pada vacuum filter, volume sampel yang digunakan ini tergantung dari kepekatannya
6. Menyaring sampel sampai kering atau airnya abis
7. Meletakkan kertas saring pada cawan porselin dan memasukan ke dalam oven 105°C selama 1 jam
8. Mendinginkan ke dalam desikator selama 15 menit
9. Menimbang dengan timbangan analitis
10. Menghitung jumlah zat padat tersuspensi dengan rumus berikut,

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{(f-e)}{g} \times 1000 \times 1000$$

Keterangan :

e = cawan kosong dank etas saring kosong setelah dioven 105°C

f = cawan dan residu setelah dioven 105°C

g = volume sampel

D. Analisis Alkalinitas

Alat dan Bahan:

1. pH meter
2. HCL 0,1 N
3. Buret 25 mL

Prosedur :

1. Mengukur pH awal sampel dengan pH meter
2. Menambahkan HCL hingga pH 4,5
3. Menghitung nilai alkalinitas dengan rumus

$$\text{Alkalinitas} = \frac{A \times N}{\text{ml sampel}} \times 50000$$

Keterangan :

A = mL asam yang digunakan

N = normalitas standart yang digunakan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 4 Foto Penelitian

1. Keadaan Lindi TPA Benowo dan Analisis Laboratorium



Kolam penampungan lindi



Saluran menuju AOP



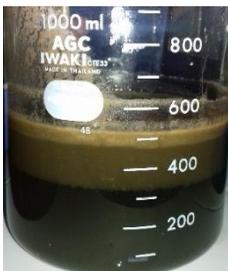
Proses koagulasi flokulasi



Proses sedimentasi

2. Keadaan Lindi Setelah di Jar Test

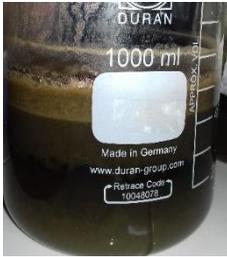
a. Pengamatan jar test menggunakan koagulan PAC



1000 mg/L



1200 mg/L



1400 mg/L



1600 mg/L



1800 mg/L



2000 mg/L



2200 mg/L



2400 mg/L



2600 mg/L



Lindi

b. Pengamatan jar test menggunakan koagulan PAC 2400 mg/L dan flokulan kitosan



200 mg/L



400 mg/L



600 mg/L



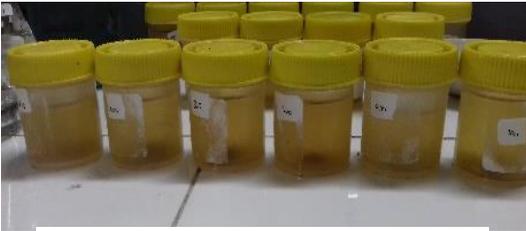
800 mg/L



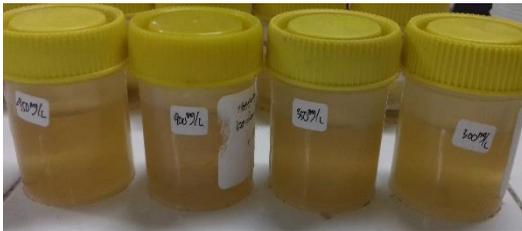
1000 mg/L



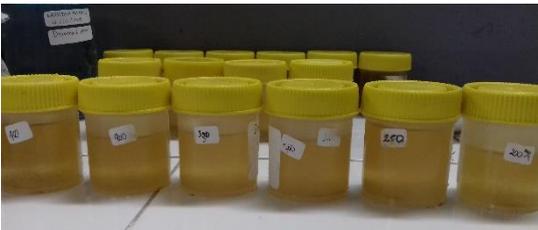
1200 mg/L



Supernatan 200 mg/L-1200 mg/L



Supernatan 200 mg/L-1200 mg/L



Supernatan 200 mg/L-450 mg/L

LAMPIRAN 5

Hasil Pengujian Kadmium



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
Gedung Pusat Riset, Lantai Lobby, Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111
Telp : 031 - 5953759, Fax : 031 - 5955793, PABX : 1404, 1405
<http://www.lppm.its.ac.id>

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Mahdiyah Anes
Alamat Pemilik : Teknik Lingkungan ITS
Nama Contoh : **Lindi** Tanggal Terima : 22 Apr 2019
Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 23 Apr 2019
Contoh : Volume :- Tanggal Selesai Pengujian : 24 Apr 2019
Kemasan : botol Jumlah Contoh : 01
Kode Contoh : **EI-279**

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan – LPPM ITS.

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1.	Lindi	Kandungan Kadmium (Cd)	0,002	ppm	AAS

Suhu : 23,0 °C
Humidity : 55%
Analisis : EWY
Sampling : dilakukan oleh Pelanggan

Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya boleh diperbanyak secara utuh.

Kepala Laboratorium
Energi dan Lingkungan


Dr. Ir. Susianto, DEA
NIP. 19620820 198903 1 004

Koordinator Teknis

a.n. 
Vita Yuliana, S.Si
NIP. 1990201822404

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Mahdiyah Anes. Penulis lahir di Jombang pada tanggal 21 September 1996. Penulis mulai mengenyam pendidikan di TK Pertiwi 1 Jombang. Pendidikan dasar penulis di SDN Kepanjen 2 Jombang. Penulis melanjutkan pendidikan SLTP di SMPN 2 Jombang. Kemudian pada tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan SLTA di SMAN 2 Jombang. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan

Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis pernah mendapat penghargaan Juara 1 Paper di IPB tahun 2014. Penulis sempat aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan sebagai staf divisi Sosial Masyarakat periode 2016-2017. Pada periode 2017-2018 sebagai bendahara divisi Sosial Masyarakat. Dan beberapa kegiatan lainnya yang diselenggarakan di luar dan di dalam Jurusan Teknik Lingkungan

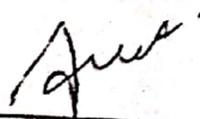
S1-TL-02 TUGAS AKHIR
 Periode: Genap 2018-2019

Kode/SKS : RE141681 (0/8/0)
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
 Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
 Ujian Tugas Akhir

Nilai TOEFL 477

Hari, tanggal : Kamis, 18 Juli 2019
 Pukul : 07.30-09.30 WIB
 Lokasi : TL-105
 Judul : Optimasi Dosis dan Kecepatan pada Proses Koagulasi-Flokulasi Lindi TPA Benowo Menggunakan Poly Aluminium Chloride dan Kitosan dengan Response Surface Methodology Design Box Behnken
 Nama : Mahdiyah Anes
 NRP. : 03211540000035
 Topik : Penelitian

Tanda Tangan


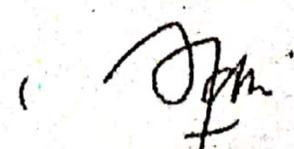
No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
①	<p><u>Bu Ellina</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ⊙ RFT diganti penentuan dosis rentang. ⊙ Gambar 3.5 → diperbaiki. ⊙ Sumber literasi → belum ada di depth pustaka. → Ah Semua. ⊙ Penelitian pendahuluan sedikit di lab. ⊙ Keterangan Std ----- → Tabel 4.20 dijabarkan sah halaman. ⊙ Gambar 4.9 dan 4.10 → ^{di bahas.} ketik ulang.
②	<p><u>Pake Welly</u></p> <p>Pembahasan gambar ^{di halaman} 46-47 → r² brp? Ah tingkat kepercayaan %?</p> <p>COD ditampilkan juga? → hane uji signifikannya.</p> <p>COD Emp dan signifika? Emp PAC bisa menurunkan COD?</p> <p>Bahan PAC dan tar alum?</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
 Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

- ① Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing
 Harmin Sulistiyaning Titah, ST., MT., PhD





FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

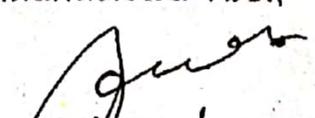
Nama : Mahdiyah Anes
NRP : 0321154000035
Judul Tugas Akhir : Optimasi Dosis dan Kecepatan pada Proses Koagulasi-Flokulasi Undi TPA Benawo Menggunakan Poly Aluminium Chloride dan kloran dengan Response Surface Methodology Design Box Behnken

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Range Finding test diganti kata penentuan dosis rentang	- Sudah diganti
2.	Gambar 3.5 diperbaiki	- skema sudah diperbaiki
3.	Keterangan std Tabel 4.20 dibahas	- sudah diberi keterangan dan penambahan pembahasan (perbandingan hasil lab. dengan prediksi KSM)
4.	Gambar 4.9 dan 4.10 diketik ulang	- sudah diperbaiki
5.	Pembahasan Gambar 4.6. dan 4.7.	- Sudah ditambahkan pembahasan tentang uji distribusi normal - Penambahan prediksi anova COD, TSS, kekeruhan, dan konsentrasi salinitas.
6.	tabel terpotong	- sudah dibetulkan
7.	Perhitungan G.td ditambahkan kriteria pada Lampiran	- sudah ditambahkan kriteria desain G.td koagulasi flokulasi
8.	Masih ada halaman kosong	- sudah ditambahkan pembahasan sehingga tidak kosong lagi.

Dosen Pembimbing,


Harmin Sulistyaning Titah, ST., MT., PhD

Mahasiswa Ybs.,


Mahdiyah Anes



KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Mahdriyah Anes
NRP : 03211540000035
Judul : Optimasi Dosis dan Kecepatan pada Proses Koagulasi - Flokulasi
Lindi TPA Benowo Menggunakan Poly Aluminium Chloride dan Kitosan dengan Response Surface Methodology Design Box Behnken

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	11 Feb 2019	- Revisi proposal - penentuan dosis - perhitungan G.td	
2.	18 Feb 2019	- Pemaparan hasil revisi proposal dari dosen pengarah - penentuan parameter. - penentuan rentang dosis	
3.	14 Maret 2019	- Persiapan sampling	
4.	22 April 2019	- Pemaparan variasi dosis dan dosis optimum hasil praktikum	
5.	24 April 2019	- Penentuan dosis optimum koagulan dan flokulasi (bentuk stratik) - Perlakuan saat jar test sesuai dg perbedaan kec. koagulasi kec. flokulasi	
6.	1. Mei 2019	- Laporan progress	
7.	2 Mei 2019	- Revisi laporan progress - Hasil running RSM 1.	
8.	7 Mei 2019	- Hasil laporan progress ^{running seluruhnya} - Hasil optimasi oleh RSM	
9.	8 Mei 2019	- Pembahasan hal optimasi RSM	
10.	28 Mei 2019	- Revisi laporan setelah progress	

Surabaya, 30 April 2019
Dosen Pembimbing

Harmin Sulistyaning Titah, ST, MT, Ph.D