

TESIS

**OPTIMALISASI PENGGUNAAN COAGULAN DAN
FLOCCULANT PADA PROSES PENGOLAHAN LIMBAH
CAIR LABORATORIUM**



ANDI RIYANTO (17916202)

**KONSENTRASI ERGONOMI DAN K3
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**OPTIMALISASI PENGGUNAAN COAGULANT DAN FLOCCULANT PADA
PROSES PENGOLAHAN LIMBAH CAIR LABORATORIUM**



Yogyakarta, 10 Januari 2022

Pembimbing,

Ir. Hartomo, M.Sc., Ph. D

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**OPTIMALISASI PENGGUNAAN COAGULAN DAN FLOCCULANT
PADA PROSES PENGOLAHAN LIMBAH CAIR LABORATORIUM**

TESIS

Oleh

Nama : Andi Rlyanto

No. Mahasiswa : 17916202

Yogyakarta, Februari 2022

DEWAN PENGUJI

Tim Penguji

Ir. Hartomo Soewardi, M.Sc., Ph.D.



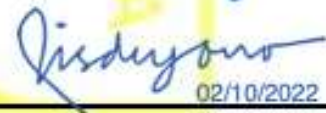
Ketua

Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D.



Anggota I

Dr.Eng. Risdlyono, S.T., M.Eng.



02/10/2022

Anggota II

Mengetahul,

Ketua Program Studi Magister Teknik Industri

Universitas Islam Indonesia



Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D.

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini merupakan tulisan dari penulis dan tidak berisi materi yang telah diterbitkan sebelumnya atau tulisan dari penulis lain, terkecuali referensi atas materi yang telah disebutkan dalam tesis. Apabila terdapat kontribusi dari penulis lain didalam tesis ini, maka penulis lain tersebut telah disebutkan dalam tesis ini.

Segala bentuk hak cipta yang terdapat didalam materi dokumentasi tesis ini berada dalam kepemilikan pemilik hak cipta masing-masing.

Yogyakarta, Januari 2022



Andi Riyanto

HALAMAN PERSEMBAHAN

Allhamdulillahirabbil'alamin....

Saya persembahkan karya ini untuk Ayahanda, Ibunda dan ibu mertua tercinta, Suami dan anak-anak tersayang serta keluarga besar yang senantiasa selalu memberikan doa, nasehat, motivasi dan dukungan yang tiada hentinya. Terima kasih untuk segalanya.

Pimpinan perusahaan tempat saya bekerja yang telah memberikan waktu dan kesempatan melakukan penelitian sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan ini.

Teman-teman yang selalu memberikan semangat dan hiburan untuk saya, semoga kita semua dapat menyelesaikan dan meraih cita-cita yang kita impikan.

MOTTO

قُلْ وَلَا تَتَمَنَّوْا مَا فَضَّلَ اللَّهُ بِهِ بَعْضَكُمْ عَلَى بَعْضٍ
لِّلرِّجَالِ نَصِيبٌ مِّمَّا كَتَبُوا^{قُلْ} وَلِلنِّسَاءِ نَصِيبٌ مِّمَّا
كَتَبْنَ^{قُلْ} وَسَأَلُوا اللَّهَ مِنْ فَضْلِهِ^{قُلْ} إِنَّ اللَّهَ كَانَ بِكُلِّ
شَيْءٍ عَلِيمًا

“Dan janganlah kamu iri hati terhadap karunia yang telah dilebihkan Allah kepada sebagian kamu atas sebagian yang lain. (Karena) bagi laki-laki ada bagian dari apa yang mereka usahakan, dan bagi perempuan (pun) ada bagian dari apa yang mereka usahakan. Mohonlah kepada Allah sebagian dari karunia-Nya. Sungguh, Allah Maha Mengetahui segala sesuatu”. (An Nisa [4] : 32)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Dengan segala kerendahan hati penulis memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik penyusunan tesis yang berjudul "*Optimalisasi Penggunaan Coagulan dan Flocculant pada Proses Pengelolaan Limbah Cair Laboratorium*" Adapun tesis ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi Strata-2 pada program studi Magister Teknik Industri, jurusan Ergonomi dan K3, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Dalam penyelesaian penyusunan tesis ini tidak lepas dari dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi – tingginya kepada pihak – pihak yang telah memberikan dukungan secara langsung maupun tidak langsung, oleh sebab itu dengan penuh rasa syukur penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang tak henti–hentinya mencurahkan rahmat dan nikmat-Nya.
2. Bapak, dan Ibu tercinta Semoga senantiasa selalu dalam rahmat dan lindungan Allah SWT.
3. Istri dan anak-anak tercinta yang selalu memberikan dorongan dan dukungan sepenuhnya dalam setiap kegiatan.
4. Ir. Hartomo. M.Sc., Ph. D yang selalu membimbing, memberikan solusi, saran, dan masukan dalam penyelesaian tesis serta selalu meluangkan waktunya untuk konsultasi dengan ramah.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T. selaku dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph. D selaku ketua Jurusan Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.
7. Bapak Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph. D selaku ketua program studi Magister Teknik Industri.
8. Bapak Dr. Eng Risdiyono, ST. M Eng, selaku dosen penguji dan selalu memberikan masukan selama tesis ini berjalan.

9. Teman, partner, sahabat terdekat yang selalu memberikan semangat serta waktunya untuk selalu mendoakan.
10. Pihak management perusahaan tempat penelitian yang telah memberikan izin melakukan penelitian di PT. SUCOFINDO Batam
11. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Terima kasih untuk semua orang yang telah dengan tulus hati membantu kelancaran penelitian dan menjadikan tesis ini terwujud. Semoga Allah membalasnya dengan yang lebih baik. Penulis menyadari bahwa tesis ini masih belum sempurna dan masih membutuhkan masukan, saran, dan kritik sehingga dengan kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Akhir kata penulis berharap semoga tesis ini dapat memberikan manfaat khususnya di dunia ilmu pengetahuan bagi seluruh pihak.

Wassalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Yogyakarta, Januari 2022

Andi Riyanto

ABSTRAK

Indikator umum pencemaran limbah cair laboratorium dalam suatu badan air atau drainase buangan limbah adalah Chemical Oxygen Demand (COD) dan Total Suspend Solid (TSS). Semakin tinggi limbah tersebut maka air buangan semakin tercemar secara organik maupun anorganik. Secara fisik pencemaran tersebut dapat diketahui dari banyaknya endapan berbentuk koloid (keruh) dan bau yang tidak sedap. Hasil pengamatan limbah laboratorium disuatu IPAL (Instalasi Pengelolaan Air Limbah) diperoleh bahwa rata-rata kadar COD 232,5 mg/l dan TSS 577,25 mg/l jauh di atas standar baku mutu lingkungan yaitu kadar COD maksimal 100 mg/l dan kadar TSS maksimal 200 mg/l.

Dalam upaya mengurangi tingkat pencemaran air, dapat diidentifikasi bahwa ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kadar COD dan TSS limbah laboratorium, yaitu pH lingkungan (A), volume coagulan (B), konsentrasi cationic flocculant (C), konsentasi anionic flocculant (D), waktu alir coagulan (E), waktu alir flocculant (F) dan kecepatan mixing (G). Berdasarkan penelitian menggunakan metode Taguchi diperoleh bahwa kondisi optimal mampu menurunkan kadar COD dan TSS masing-masing menjadi $\leq 39,7875$ mg/l dan ≤ 12 mg/l. Kondisi optimal ini diperoleh pada kombinasi level faktor A2 B1 C2 D3 E1 F3 G3, yaitu sistem bekerja pada kondisi pH 7, volume coagulan 15 ml, konsentrasi cationic flocculant 2 ml, konsentasi anionic flocculant 4 ml, waktu alir coagulan 2 ml/ mnt, waktu alir flocculant 5 ml/mnt dan kecepatan mixing 100 rpm.

Kata kunci : pH, COD, TSS, Taguchi, kombinasi level faktor

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian	7
1.4. Batasan Masalah	7
1.5. Manfaat Penelitian	8
1.6. Sistematika Penulisan.....	9
BAB. II TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1. Kajian Empiris	11
2.2. Metode Taguchi	18
2.2.1. Filosofi Taguchi	19
2.2.2. Desain Eksperimen	21
2.2.3. Tahapan Desain Eksperimen Taguchi	22
2.2.4. Langkah Peneitian Taguchi	25
2.3. Instalasi Pengelolaan Air Limbah	28
2.3.1. Proses Pengelolaan IPAL	29
2.3.2. Utility IPAL	30

2.4. Bahan Kimia	31
BAB III. METODE PENELITIAN.....	32
3.1. Tujuan Penelitian	32
3.2. Objek Penelitian	33
3.3. Tahap Identifikasi Masalah	33
3.4. Bahan dan Alat yang Digunakan	35
3.5. Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data	37
3.5.1. Uji Normalitas Data	41
3.5.2. Uji Homogenitas Variansi	41
3.5.3. Analisa Variansi (ANOVA)	42
3.5.4. Menghitung Nilai Signal to Noise Ratio (SNR)	44
3.5.5. Menghitung Efek Tiap Faktor	44
3.6. Analisa dan Kesimpulan	44
BAB IV. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	46
4.1. Pengumpulan Data	46
4.2. Prosedur Penelitian	46
4.2.1. Tahap Persiapan	46
4.2.2. Preparasi Koagulan dan Flokulan	46
4.2.3. Kondisi Lingkungan	47
4.3. Perencanaan dan Pelaksanaan Eksperimen	48
4.3.1. Pemilihan Karakteristik Kualitas yang Akan Diteliti	48
4.3.2. Identifikasi dan Pemilihan Faktor yang Berpengaruh	50
4.3.3. Faktor Noise	50
4.4. Analisa Hasil Eksperimen	55
4.4.1. Desain Eksperimen	55
4.4.2. Pengolahan Data	57
4.4.2.1. Uji Normalitas Data	60
4.4.2.2. Uji Homogenitas	69
4.4.2.3. Uji Anova	73
4.4.2.4. S/N Ration	77
BAB V. PEMBAHASAN	83

5.1. Analisa Air Buangan	83
5.2. Gangguan Terjadi Pada Proses Pengendapan	83
5.3. Pemilihan Metode	84
5.4. Perhitungan Biaya Hasil Pengamatan	86
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	88
6.1 Kesimpulan	88
6.2 Saran	89
DAFTAR PUSTAKA	90



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Hasil Pengukuran TSS dan COD Bulan Maret 2019	3
Tabel 3.1 Bahan dan Material yang digunakan	37
Tabel 3.2 Pengambilan Data	39
Tabel 4.1 Level Faktor Kendali	50
Table 4.2 Kombinasi Faktor Kontrol/ Kendali dan Level Faktornya	51
Tabel 4.3 Hasil Eksperimen dan Pengamata	52
Tabel 4.4 Full – Factorial Experimen	55
Tabel 4.5 $1/16$ FFE (Factorial – Factorial Experimen)	56
Tabel 4.6 Matrix orthogonal Array $L_8 (2^7)$	56
Tabel 4.7 Orthogonal Array Standar	57
Tabel 4.8 data Hasil pengukuran Kadar pH, TSS dan COD	58
Tabel 4.9 Uji Chi-Square	60
Tabel 4.10 Katagori/ Acuan Uji Data	62
Tabel 4.11 Katagori Score	65
Tabel 4.12 Pengujian Chis-Quare	67
Tabel 4.13 Uji Test Normalitas Chis-Square	68
Tabel 4.14 Homogenitas	69
Tabel 4.15 Input Data	74
Tabel 4.16 Analisa Variansi pH	75
Tabel 4.17 Analisa Variansi TSS	76
Tabel 4.18 Analisa Variansi COD	77
Tabel 4.19 Data Input	77
Tabel 4.20 Nilai Efek tiap Faktor, selisih dan Ranging dari tiap Faktor pH	80
Tabel 4.21 Nilai Efek tiap Faktor, selisih dan Ranging dari tiap Faktor TSS	81
Tabel 4.20 Nilai Efek tiap Faktor, selisih dan Ranging dari tiap Faktor COD.....	82

GAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian	34
Gambar 3.2 Alat Ukur yang Digunakan dalam Proses Penelitian	36
Gambar 4.1 Flow Chart Implementasi Penelitian	49
Gambar 4.2 Kegiatan Eksperimen Sekala Laboratorium	53
Gambar 4.3 Hasil Ekperimen	54
Gambar 4.4 Uji Normalitas Menggunakan SPSS	61
Gambar 4.5 Nilai Persentil pada Kurva Distribusi Normal	62
Gambar 4.6 Nilai SNR Efek Tiap factor Optimum pH.....	80
Gambar 4.7 Nilai SNR Efek Tiap Factor Optimum TSS	81
Gambar 4.8 Nilai SNR Efek Tiap Factor Optimum COD	82



BAB I.

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Perekonomian kota Batam sangat penting bagi pertumbuhan ekonomi nasional, tahun 2016 peringkat produk domestik regional bruto (PDRB) Kota Batam adalah 17 dari lebih 500 Kabupaten/ kota, padahal 45 tahun yang lalu dihuni oleh hanya sekitar 6.000 penduduk saja.

Pulau Batam merupakan ikon sebagai pulau pintar (*smart island*) sebagai tempat berusaha dari sekitar 2.100 perusahaan dan tempat berdagang lebih dari 1.000 usaha kecil. Nilai Ekspor Batam mencapai US\$8,4 miliar, dengan prestasi terbaiknya dalam lima tahun terakhir US\$11,8 miliar dan 60% PDRB Provinsi Kepulauan Riau disumbang Kota Batam (Tribun - Batam, 2017).

Selain itu Kota Batam juga dapat dikatakan pusat pertumbuhan ekonomi di wilayah Barat Indonesia dengan fungsi utama industri, ditunjang oleh perdagangan dan jasa, alih kapal dan pariwisata serta menjadi model pembangunan wilayah Indonesia lainnya, walaupun pada akhirnya pada tahun 2017 perekonomian kota mulai meredup seiring dengan perekonomian nasional yang berpengaruh kepada kebijakan pemerintah. (Arias *et al.* 2018).

Dampak dari perkembangan ini munculnya limbah yang dihasilkan oleh berbagai sektor tersebut (industri, jasa dan pemukiman) yang wajib dikelola dan dipantau agar tidak berdampak negatif bagi lingkungan. "berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Batam, pada tahun 2017, jumlah timbunan sampah mencapai nilai 432.264 ton per tahun atau kurang lebih 1.200 ton sampah perharinya (Kompas, 2017).

Peran pemerintah sebagai kontrol dan pengawas membuat aturan (regulasi) yang harus dipatuhi oleh berbagai pihak untuk melakukan pengelolaan dan pemantauan lingkungan pada proses kegiatannya agar tidak berdampak negatif pada lingkungan sekitar (Choi *et al.* 2018). Maka melalui Kementerian Lingkungan Hidup mengeluarkan PerMLH No. 05 Tahun 2014 dan Peraturan Pemerintah No.

22 Tahun 2021 terkait dengan limbah cemaran berikut batasan, pengelolaan dan pemantauannya.

Untuk itu perlunya media pengelolaan dengan teknologi dan komposisi bahan kimia dan organik yang tepat untuk melakukan pengelolaan limbah cair buangan industri atau laboratorium klinik. Perlunya instalasi pengelolaan air limbah (IPAL) atau *Waste water treatment plant (WWTP)* untuk memenuhi persyaratan proses dan hasil di bawah ambang baku mutu yang dipersyaratkan. Teknologi yang digunakan sangat disesuaikan dengan jenis air limbah yang dihasilkan dan penggunaan bahan kimia lebih kepada besarnya volume air limbah dihasilkan dalam satuan waktu dalam proses kegiatan. (Liu et al. 2013)

Salah satu kegiatan yang menghasilkan limbah adalah laboratorium PT. Sucofindo Cabang Batam, limbah tersebut berasal dari sisa proses analisa berupa bahan kimia dan sample yang digunakan yang tersisa dalam peralatan gelas, kedua limbah ini dikelola dan disimpan ke dalam drum tertutup yang berlabel limbah B3 dan diletakan tersendiri terpisah dengan gedung utama untuk selanjutnya diangkut oleh transporter limbah B3. Sementara itu limbah yang menempel pada peralatan gelas dicuci dan masuk ke dalam IPAL, selain itu air *scrubber* dari ruang asam sebagai air penetralisir asam basa dalam lemari asam juga merupakan salah satu air yang dikelola dalam IPAL (Kurniawan et al, 2013).

Konsentrasi limbah yang dihasilkan sangat bergantung dari volume air buangan dan banyaknya sample yang dianalisa. Namun rata rata air limbah yang dihasilkan dari proses pencucian tersebut tidak lebih dari 1 M³ setiap harinya. Akan tetapi ukuran konsentrasi ideal untuk melakukan pengendapan dari limbah yang keruh harus membutuhkan volume dan konsentrasi ideal dari coagulan yang digunakan (Harwijanti DR, 2015). Coagulan yang digunakan merupakan dari garam Polimer Poly Aluminium Clorida (PAC), namun peneliti ingin melihat efektifitas dan idealnya konsentrasi coagulan tersebut untuk mengendapkan limbah secara fisika di dalam bak pengendap (coagulase) agar pengendapan yang terjadi cukup sempurna, selain itu peneliti menggunakan flokulan yang berfungsi membantu mempercepat proses pengendapan limbah dengan menghasilkan bulir endapan yang cukup kasar, flokulan yang digunakan adalah flokulan anionik *Polyacrylic*

Acid dan flokulan kationik *Polyethylene-Imine* dengan dosis yang akan ditentukan pada saat melakukan eksperimen (Joni *et al*, 2014).

Pemilihan koagulan dan flokulan tersebut didasarkan pertimbangan :

1. Jenis koagulan dan flokulan tersebut sesuai untuk pengolahan air limbah industri, laboratorium, farmasi , makanan dan minuman.
2. Jenis koagulan dan flokulan tersebut memiliki kemampuan untuk mereduksi air limbah dengan efektif
3. Mudah diperoleh dan ekonomis serta
4. Ramah lingkungan.

Tujuan pemberian coagulan dan flokulan adalah untuk menjernihkan air limbah pada bak penampung, dengan harapan keruhnya air limbah yang terjadi akibat total suspended solid dan total dissolved solid dari senyawaan organik ataupun anorganik masuk kedalam bagian komposisi air limbah yang akan dikelolah. Namun bila volume dan konsentrasi coagulan yang diberikan tidak sesuai maka hasilnya tidak sesuai dengan harapan, bila konsentasi coagulan diberikan dengan dosis yang kecil maka hasil pengendapan tidak sempurna sehingga air limbah akan tidak jernih secara sempurna, namun bila konsentrasi coagulan yang diberikan terlalu banyak maka hasilnya akan menjadi putih susu yang menjadikan kekeruhan bertambah parah. Data hasil pengukuran air limbah khususnya parameter total suspended solid dan total solid suspended pada saat dilakukan penambahan dosis coagulan secara tidak tidak terukur tersaji dalam table berikut :

Tabel 1.1 hasil pengukuran TSS dan COD bulan Maret 2019

Tanggal	Hasil pengukuran limbah cair		Baku Mutu PermenLH No. 05 Tahun 2014	
	COD (mg/l)	TSS (mg/l)	COD (mg/l)	TSS (mg/l)
1	460	321	100	200
2	568	223	100	200
3	356	234	100	200
4	576	231	100	200
5	437	223	100	200
6	411	176	100	200
7	487	214	100	200
8	641	325	100	200

Tanggal	Hasil pengukuran limbah cair		Baku Mutu PermenLH No. 05 Tahun 2014	
	COD (mg/l)	TSS (mg/l)	COD (mg/l)	TSS (mg/l)
9	578	254	100	200
10	655	231	100	200
11	781	245	100	200
12	342	225	100	200
13	578	234	100	200
14	348	198	100	200
15	674	221	100	200
16	876	234	100	200
17	659	219	100	200
18	734	197	100	200
19	589	190	100	200
20	468	254	100	200
21	589	236	100	200
22	659	229	100	200
23	587	287	100	200
24	545	190	100	200
25	783	211	100	200
26	487	265	100	200
27	489	236	100	200
28	512	265	100	200
29	530	221	100	200
30	669	208	100	200
31	667	210	100	200

Limbah laboratorium merupakan salah satu limbah yang banyak mengandung senyawa organik dan anorganik. Limbah tersebut merupakan sisa bahan kimia dan minyak yang digunakan dalam analisa yang masih menempel pada peralatan gelas pada saat dilakukan proses pencucian dan pembilasan. Berdasarkan zat yang terkandung di dalam limbah cair laboratorium secara kolektif dan dalam kurun waktu yang lama apabila dibuang langsung ke lingkungan akan mencemari lingkungan, seperti merusak struktur tanah, mengancam kelangsungan hidup ekosistem air maupun darat, serta berdampak bagi kesehatan manusia (Choi et al. 2018).

Peneliti meyakini bahwa limbah yang dihasilkan dari sisa proses pencucian peralatan laboratorium adalah sebagian besar yang terlihat adalah grase dari proses penyabunan dan oil dari sisa sample vegetable. Kedua parameter ukur ini selain terlihat jelas secara visual penanganannya cukup mudah, untuk menghilangkannya hanya perlu melakukan pemisahan air cucian dengan keduanya menggunakan pemisah fisik metode gravitasi, berdasarkan perbedaan berat jenis membentuk lapisan layer diatas permukaan air (Joni *et al*, 2014). Guna memastikan tingkat pemisahan sudah cukup sempurna maka perlu ditentukan beberapa sekat pemisah yang bertujuan untuk menyaring lapisan minyak dan air sampai dapat terlihat secara visual lapisan minyak benar benar sudah tertinggal di bak sebelumnya, cara ini paling banyak dilakukan pada drainase umum pada suatu kawasan industry atau kawasan terpadu dalam suatu daerah karena dinilai cukup efektif dan murah.

Beberapa penelitian serupa yang dilakukan di dalam negeri mengenai startegi pengelolaan limbah sentra UMKM Batik yang berkelanjutan di Kabupaten Sukoharjo oleh M. Wawan (Kurniawan *et al*, 2013) efesiensi pengolahan limbah cair mengandung minyak pelumas pada oil separator dengan menggunakan plate setter oleh Pratiwi Sari Ditaningtyas Kasih dan Hermawan Joni (2014) pengolahan limbah cair laboratorium teknik lingkungan dengan coagulasi dan absorbs untuk menurunkan COD, Fe dan Pb oleh (Audiana *et al*, 2014).

Penelitian serupa yang dilakukan diluar negeri mengenai memperkirakan nasib lingkungan antidepresan trisiklik dalam air limbah pabrik pengolahan (Choi *et al*. 2018). Hubungan antara emisi oksida nitrat terhadap komunitas mikroba skala penuh dalam pengolahan WWTP oleh (Vieira *et al*. 2019) penilaian resiko lingkungan dari instalasi pengolahan air limbah polandia aktivitas oleh (Kudlak *et al*. 2016)

Pada penelitian ini yang akan dibahas adalah penggunaan garam Poly Aluminium Clorida (PAC) skala industri secara optimal dalam pengelolaan IPAL khususnya sebagai coagulan pada proses pengendapan yang dapat digunakan sebagai acuan pembuatan konsentrasi ideal secara berkelanjutan. Perlu dilakukan penelitian ini agar penggunaan bahan kimia dapat dilakukan seefektif mungkin dengan hasil pengendapan yang cukup optimal.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, bahwasannya perusahann telah melakukan pengelolaan IPAL dengan menggunakan tawas besi aluminium sulfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ $(\text{NH}_4)_3\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$), dalam proses penjernihan air limbah laboratorium PT. SUCOFINDO Cabang Batam, sehingga memunculkan permasalahan dalam pelaksanaan kegiatan pengelolaan sebagai berikut :

1. Dalam pelaksanaan pengelolaan IPAL sebelumnya belum dibuat kajian secara pasti untuk dapat menentukan bagaimana komposisi ideal (konsentrasi level faktor) penambahan coagulan yang dapat menyebabkan terjadinya kesempurnaan pengendapan dalam proses pengelolaan air limbah dan faktor faktor lingkungan yang mempengaruhi perubahan secara signifikan terhadap konsentarsi pencampuran pada intalasi pengelolaan air limbah serta jumlah aliran dalam satuan waktu yang cukup ideal untuk pemberian Garam *Tawas Ferry Aluminium Sulfat* sebagai coagulan yang baik agar pada saat terjadi reaksi dengan air limbah tidak terjadi kejenuhan lokal yang menyebabkan proses pengendapan tidak terjadi secara sempurna dengan melakukan proses pengadukan ideal yang dapat membentuk endapan yang baik dari reaksi coagulan dan flokulan terhadap air limbah.
2. Pada pelaksanaan pengendapan tersebut perusahaan menggunakan tawas berupa $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ $(\text{NH}_4)_3\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$, sulit tercapainya hasil yang diharapkan (sesuai dengan baku mutu lingkungan/ regulasi) sehingga limbah yang dimaksud tidak bisa langsung dibuang atau dimanfaatkan kembali untuk kegiatan pencucian kendaraan, penyiraman tanaman dan lain sebagainya (makro ergonomi).
3. Efesiensi penggunaan bahan kimia yang berdampak pada biaya operasional dalam pembelian bahan kimia pertahun, pengelolaan IPAL terkait biaya pengangkutan residu yang dihasilkan akibat dari proses pengendapan.
4. Banyaknya penggantian peralatan pendukung proses seperti penggantian filter diakhir proses akibat residu yang dihasilkan cukup tinggi., hal ini berdampak pada seringnya penggantian filter dan daya kerja pompa yang tinggi (karena penggunaan proses filterisasi bertekanan).

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan akhir penelitian adalah proses penjernihan air limbah laboratorium PT. SUCOFINDO Cabang Batam adalah :

1. Untuk mengubah penggunaan bahan kimia yang digunakan semula menggunakan *Tawas Ferry Aluminium Sulfat* menjadi *Polly Aluminium Clorida* (PAC) , *Polyethylene-Imine*, dan *Polyacrylic Acid* yang diberikan dalam proses pengendapan air limbah, agar lumpur atau kekeruhan air turun dengan sempurna, sehingga mendapatkan pH lingkungan yang ideal, COD dan TSS yang berada dibawah ambang baku mutu lingkungan.
2. Penentuan dosis penggunaan coagulan dan flokulan yang ideal dan memperhitungkan kondisi lingkungan untuk penyempurnaan proses pengendapan, mulai penentuan nilai pH air, pengadukan, dan volume air berikut cara pemberian larutan Polimer Poly Aluminium Clorida (PAC), *Polyethylene-Imine*, dan *Polyacrylic Acid* sebagai koagulan dan flokulan dalam bak penampungan berikut proses pengadukan yang ideal agar proses pengendapan yang terjadi cukup sempurna.
3. Mengurangi biaya operasional dalam hal banyaknya penggantian filter serta perbaikan pompa dan penggunaan listrik akibat daya kerja pompa yang cukup tinggi.
4. Dengan tujuan akhir adalah Untuk mengefesiensikan penggunaan bahan kimia, sehingga berdampak kepada berkurangnya biaya operasional yang dikeluarkan, baik dari segi pemakaian bahan kimia ataupun pengelolaan hasil residu dari pengendapan yang dianggap sebagai B3 untuk selanjutnya dikirim melalui transporter limbah B3 yang telah ditunjuk oleh Dinas Lingkungan Hidup.

1.4. Batasan Masalah

Agar tujuan penelitian tercapai, maka dilakukan batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan di laboratorium Lingkungan dan Vegetable Oil PT. SUCOFINDO Cabang Batam, dengan lingkup area IPAL (Instalasi

Pengelolaan Air Limbah) sebagai tempat pengambilan sample dan Laboratorium tempat melakukan penelitian.

2. Parameter yang diukur adalah kekeruhan TSS, pH dan COD.
3. Pemberian konsentrasi dilakukan dengan melakukan perhitungan debit alir air inlet dan outlet pada buangan akhir IPAL berikut waktu proses penjernihan pada bak pengendap termasuk proses pengadukan selama proses pengendapan.
4. Percobaan dilakukan dengan metode Taguchi dengan menggabungkan faktor faktor yang mempengaruhi proses pengendapan dan level dosis yang diberikan.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Dalam dunia pendidikan dapat digunakan sebagai referensi pada penelitian selanjutnya apabila mendapatkan permasalahan yang sama dalam proses pengelolaan IPAL nya dengan menghubungkan teknologi yang sudah digunakan dari literatur yang ada.
2. Manfaat bagi perusahaan khususnya PT. SUCOFINDO Cabang Batam adalah dapat menghemat penggunaan bahan kimia sejak menggunakan Polimer Poly Aluminium Clorida (PAC), *Polyethylene-Imine*, dan *Polyacrylic Acid* dan berdampak berkurangnya biaya operasional untuk melakukan pengelolaan air limbah seperti berkurangnya residu akibat proses pengendapan yang berdampak pada kuantitas limbah yang dihasilkan pada saat proses pengiriman limbah B3 yang wajib dilakukan maksimal 3 bulan sekali.
3. Air limbah yang dihasilkan dibawa baku mutu lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk kepentingan sesuai dengan tingkat kriteria yang diperbolehkan, seperti untuk pencucian kendaraan bermotor, penyiraman tanaman, pengisian kolam ikan dan lain sebagainya.
4. Bagi masyarakat khususnya masyarakat Kelurahan Kampung Pelita, Kecamatan Lubuk Baja kota Batam adalah tidak menerima dampak

pencemaran limbah cair dari kegiatan laboratorium PT. SUCOFINDO
Cabang Batam.

1.6. Sistematika Penulisan

Penelitian ini disajikan dalam beberapa bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka memuat tinjauan singkat dan jelas atas pustaka yang mendasari penelitian. Uraian dalam tinjauan pustaka merupakan dasar untuk menyusun kerangka atau konsep yang digunakan dalam penelitian, sewaktu memilih metode, melaksanakan penelitian, mengambil penelitian terdahulu dan memuat kerangka pemikiran yang menggambarkan pola pikir dan sistematika pelaksanaan penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi penjelasan mengenai bagaimana penelitian ini dilakukan secara operasional. Dalam kegiatan ini diuraikan mengenai waktu dan tempat penelitian, jenis data, metode pengumpulan data, metode pengolahan data, tahap perancangan, kerangka pemecahan masalah serta jadwal penelitian.

BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini memuat tentang gambaran umum proses pengelolaan limbah cair dan langkah langkah persiapan dalam penelitian, prosedur penelitian, pelaksanaan eksperimen, pengumpulan data hasil penelitian berupa data penelitian yang telah diorganisasikan atau hasil pengolahan data dari formula matematis

dan statistik yang tersaji dalam bentuk narasi, table, grafik, gambar, bagan, foto atau bentuk penyajian data yang lain.

BAB V PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang hasil eksperimen terkait data yang diperoleh berikut penjabaran dari hasil eksperimen berikut dampak yang muncul dari proses, kendala-kendala yang terjadi selama proses penelitian dengan metode yang digunakan.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan penelitian yang telah dibahas secara komprehensif dan saran sebagai penerapan hasil penelitian, serta memberikan kesempatan bagi peneliti selanjutnya untuk mengembangkan lagi penelitian, selain itu penelitian ini dapat diterima baik dalam bidang akademik atau penggunaan praktis secara luas.

BAB II.

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Empiris

Sebagai acuan dalam penelitian ini, berapa penelitian tentang pengendapan dengan menggunakan koagulan dan flokulan telah banyak dilakukan dan dihasilkan yaitu diantaranya Liu *et al.*, (2013), Keeley *et al.*, (2014), Prakash *et al.*, (2014), Muhamed radin *et al.*, (2014), Homem *et al.*, (2015), Rao Nageswara., (2015), Yu *et al.*, (2016), Akgul *at al.*, (2017), Dan Wang *et al.* (2017), Muruganandan *et al.*, (2017), Wang *et al.*, (2018), Kristianto Hans *et al.*, (2018).

(Liu *et al.*, 2013) koagulasi kimia dengan tiga koagulan anorganik representatif digunakan untuk yang lanjut perawatan efluen sekunder dari IPAL untuk meningkatkan fosfor total (TP) dan pembuangan organik.

Efek koagulasi kimia pada kontaminan organik diselidiki dengan kombinasi fluoresensi spektroskopi eksitasi-emisi matriks (EEM) dan kromatografi eksklusi ukuran kinerja tinggi (HPSEC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa fitur dan manfaat koagulasi yang berbeda dipamerkan oleh FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dan polyaluminum chloride (PACl). PACl memiliki kinerja yang lebih baik dalam permintaan oksigen kimia Penghapusan (COD), sementara FeCl_3 dan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ lebih efisien dalam menghilangkan TP. Koagulan optimal dalam penelitian ini adalah FeCl_3 . Flok yang diperoleh dari koagulasi FeCl_3 lebih besar, lebih mudah diendapkan dan dihancurkan dari $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dan PACl. Koagulasi terutama menghilangkan ortofosfat dan fosfor utama fraksi dari limbah terkoagulasi adalah fosfor organik. Organik makromolekul (berat molekul (MW) > 10 kDa) sepenuhnya dihapus terlepas dari sifat kimianya, sementara koagulan anorganik menunjukkan efek yang berbeda pada efisiensi penghilangan bahan organik dengan MW kurang dari 10 kDa. Selain, 71,24% dari total karbon organik terlarut (DOC) adalah protein mirip triptofan dan mikroba larut bahan seperti produk sampingan yang dapat dengan mudah dihilangkan dengan koagulasi.

Keeley *et al.*, (2014), Pemulihan koagulan menawarkan banyak manfaat potensial untuk pengolahan air, dengan mengurangi permintaan bahan kimia dan produksi limbah. Hambatan utama untuk keberhasilan implementasi adalah mencapai tingkat perawatan yang sama kualitas dan proses ekonomi sebagai koagulan komersial. Studi ini telah mengevaluasi selektivitas filtrasi tekanan dalam peran pemulihan koagulan berbiaya rendah teknologi dari lumpur saluran air. Kinerja pengobatan koagulan yang dimurnikan pulih secara langsung dibandingkan dengan koagulan yang dipulihkan segar dan mentah. DOC dan penghapusan kekeruhan dengan pulih koagulan dekat dengan koagulan komersial, menunjukkan bahwa koagulan dapat berhasil pulih dan diregenerasi dengan mengasamkan lumpur saluran air. Namun, kinerjanya kurang konsisten, dengan jendela netralisasi muatan optimal jauh lebih sempit dan kinerja penghilangan 10-30% lebih buruk dalam kondisi optimal. Kinerja yang lebih rendah ini sangat jelas untuk koagulan besi pulih. Dampak ini dikonfirmasi dengan mengukur potensi pembentukan THM dan konsentrasi logam residu, menunjukkan 30–300% THMFP lebih tinggi ketika koagulan pulih digunakan. Studi ini menegaskan bahwa tekanan-filtrasi dapat dioperasikan secara ekonomis, dalam hal fluks dan fouling massa. Namun, selektivitas saat ini kurang dari kemurnian yang diperlukan untuk diminum pengobatan, karena penolakan kontaminan lumpur yang tidak lengkap.

Prakash *et al.*, (2014) melakukan penelitian pengelolaan air dengan metode pengendapan dalam tulisannya disebutkan bahwa semua air, terutama air permukaan, mengandung partikel terlarut dan tersuspensi. Proses koagulasi dan flokulasi digunakan untuk memisahkan bagian padatan tersuspensi dari air. Partikel tersuspensi sangat bervariasi dalam sumber, muatan komposisi, ukuran partikel, bentuk, dan kerapatan. Penerapan proses koagulasi dan flokulasi yang tepat serta pemilihan koagulan tergantung pada pemahaman interaksi antara faktor-faktor ini. Partikel-partikel kecil distabilkan (disimpan dalam suspensi) oleh aksi kekuatan fisik pada partikel itu sendiri. Salah satu kekuatan yang memainkan peran dominan dalam hasil stabilisasi dari muatan permukaan yang ada pada partikel. Kebanyakan padatan tersuspensi dalam air memiliki muatan negatif dan, karena mereka memiliki jenis muatan permukaan yang sama, saling tolak ketika saling berdekatan.

Oleh karena itu, mereka akan tetap dalam suspensi daripada mengumpul dan mengendap di air. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah sampel air laut untuk menghilangkan kotoran oleh berbagai koagulan seperti Alum, Ferric Chloride dan Ferrous Sulphate. Efisiensi pengobatan koagulan telah dibandingkan untuk menghilangkan kotoran secara maksimum di bawah pH optimal dan dosis koagulan yang optimal. PH dan dosis optimal diamati masing-masing 7,0 dan 120 mg / L. Namun dalam tulisan ini hanya membandingkan berbagai Coagulan dengan dosis dan kondisi lingkungan yang telah ditetapkan saja.

Muhamed Radin *et al.*, (2014) dalam tulisannya berjudul “Moringa Oleifera and Strychnos Potatorum Seeds as Natural Coagulant Compared with Synthetic Common Coagulants in Treating Car Wash Wastewater” bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi berbagai jenis koagulan; bahan kimia (tawas dan besi sulfat) dan koagulan alami Moringa Oleifera dan Strychnos Potatorum untuk mengolah air limbah cuci mobil. Sampel air limbah cuci mobil dikumpulkan di Radin Car Wash Parit Raja (koordinat geografis: 1° 52' 0" Utara, 103° 7' 0" Timur) selama hari kerja dan akhir pekan dalam 10 minggu rezim pengambilan sampel. Koagulan digunakan untuk mengolah limbah cuci mobil dan dievaluasi sehubungan dengan pH, permintaan oksigen kimia (COD), fosfor, total padatan tersuspensi (TSS) dan kekeruhan. Pencampuran dimulai dengan pencampuran cepat putaran yang lebih tinggi per menit (rpm) untuk 10 menit dan diikuti oleh pencampuran lambat pada rpm terendah selama 30 menit. Kecepatan rotasi telah disesuaikan saat melakukan tes untuk menentukan waktu penyelesaian optimal. Koagulan akhirnya dibiarkan menetap selama 60 menit. Percobaan dimulai dengan mendapatkan konsentrasi koagulan segar yang optimal dan nilai pH awal air limbah cuci mobil. Efisiensi penghilangan kedua koagulan alami lebih efektif dibandingkan dengan koagulan kimia dengan dosis rendah, 40-80 mg / L. Moringa Oleifera (94% -Turbiditas, 60% -COD, 81% -Fosfor) dan Strychnos Potatorum (97% -Turbiditas, 54% -COD, 82% -Fosfor). Oleh karena itu, penggunaan koagulan alami jelas merupakan pilihan yang lebih baik karena mereka memberikan perawatan yang lebih baik dan aman bagi lingkungan, dan biayanya lebih murah daripada koagulan biasa dalam pengolahan

air. Tulisan ini juga hanya membandingkan berbagai coagulan untuk melihat factor efesiensi penggunaanya.

(Homem *et al.*, 2015) Bioflocculant (CBF) -aluminum sulfate (AS) dual-coagulan dan AS secara komparatif dipelajari untuk koagulasi larutan asam kaolin-humat. Properti flok termasuk laju pertumbuhan flok, ukuran, kekuatan, tingkat pemulihan dan fraktal dalam kondisi pH yang berbeda diselidiki oleh Mastersizer 2000. Hasilnya menunjukkan bahwa, flok yang dibentuk oleh AS – CBF (AS yang diberi dosis pertama) menunjukkan yang terbesar ukuran dan pemulihan terbaik di seluruh rentang pH diselidiki. Sementara flocc yang dibentuk oleh CBF – AS memberi struktur yang paling kompak. Tiga koagulan menunjukkan tingkat pertumbuhan dan kekuatan flok yang sama. Bahkan, gumpalan yang terbentuk dalam kondisi asam lebih kuat dan lebih dapat dipulihkan tetapi menunjukkan tingkat pertumbuhan yang lebih rendah, ukuran lebih kecil dan struktur lebih longgar dibandingkan dengan yang terbentuk pada $pH > 6$ terlepas dari koagulan yang digunakan. Netralisasi muatan adalah mekanisme dominan untuk AS pada pH rendah, sedangkan mekanisme koagulasi ditransformasikan menjadi pelekatan seiring pH meningkat. Ada efek bridging adsorpsi tambahan untuk AS – CBF dan CBF – AS.

Rao Nageswara., (2015) Limbah Tekstil dibuang ke badan air terdekat menjadi ancaman signifikan bagi Lingkungan, terutama bagi kehidupan air. Sifat-sifat yang tidak menyenangkan seperti kekeruhan, warna yang kuat, bau yang kuat, toksisitas dan alkalinitas dll. Koagulasi dan flokulasi adalah teknik yang sederhana dan cepat. Ini adalah teknik pretreatment yang paling sering digunakan untuk mengobati efluen. Aluminium sulfat (tawas), besi sulfat, besi klorida dan besi kloro-sulfat umumnya digunakan sebagai koagulan. Namun, kemungkinan hubungan penyakit Alzheimer dengan koagulan berbasis aluminium konvensional telah menjadi masalah dalam pengolahan air limbah. Oleh karena itu, perhatian khusus telah bergeser ke arah penggunaan polimer yang dapat terbiodegradasi, kitosan dalam pengobatan, yang lebih ramah lingkungan. Selain itu, kitosan adalah polyelectrolyte organik alami dengan berat molekul tinggi dan kepadatan muatan tinggi yang diperoleh dari hasil desetilasi. Namun belum ada penjelasan secara rinci

dosis optimum yang digunakan dengan melakukan pertimbangan kondisi lingkungan yang ideal agar dapat dilakukan efisiensi penggunaan bahan dan material.

Yu *et al.*, (2016) meneliti tentang pengkondisian lumpur limbah dengan pereaksi Fenton tujuan penjernihan air dan pengurangan bakteri secara efektif meningkatkan daya tahan air. Namun kelemahan pengkondisian dengan reagen Fenton adalah persyaratan kondisi asam untuk mencegah zat besi presipitasi dan netralisasi berikutnya dengan aditif alkali untuk mendapatkan pH filtrat yang mendekati kenetralan. Dalam penelitian ini, peran pH sangat penting secara menyeluruh dalam pretreatment pengasaman, Reaksi Fenton, dan filtrat akhir setelah pengkondisian. Melalui metodologi permukaan respons (RSM), dosis optimal H₂SO₄, Fe₂, H₂O₂, dan kapur bertindak sebagai penetralisir ditemukan (tidak ada pengasaman), 47,9, 34,3 dan 43,2 mg / g DS (padatan kering). Dengan dosis optimal tersebut, kadar air lumpur dewatered dapat dikurangi menjadi 55,8 ± 0,6% berat, dan pH filtrat akhir adalah 6,6 ± 0,2. Pengkondisian fenton tanpa pengasaman awal dapat menyederhanakan proses pengkondisian dan mengurangi penggunaan kapur. Kandungan Fe₃ dalam lumpur menunjukkan korelasi yang erat dengan daya tahan terhadap lumpur terkondisi, yaitu, kadar air lumpur, SRF (ketahanan spesifik terhadap penyaringan), CST (waktu hisap kapiler), kadar air terikat, dan luas permukaan spesifik. Itu menunjukkan koagulasi itu oleh Fe₃ dalam reaksi Fenton dapat memainkan peran penting, dibandingkan dengan oksidasi Fenton tradisional berpengaruh pada pengkondisian lumpur. Dengan demikian, mekanisme dua langkah oksidasi Fenton dan koagulasi Fe (III) diusulkan dalam pengkondisian lumpur limbah.

Akgul *at al*, (2017), Pencernaan anaerob (AD) adalah cara yang efektif untuk memulihkan energi dan nutrisi dari limbah organik. Namun beberapa masalah termasuk produksi senyawa belerang volatile yang korosif, sangat berbau dan beracun (VSC) dalam biogas digester, dan waktu pencernaan yang lama untuk mencapai pengurangan patogen yang cukup dapat membatasi adopsi yang lebih luas. Dalam studi ini, Kemira™ PIX-311 (besi klorida), PAX XL-6 (aluminium klorida hidroksida sulfat), dan PAX XL-19 (polyaluminum chlorohydrate)

ditambahkan ke feed digester untuk mengevaluasi efeknya pada stabilitas digester, pemindahan organik, pembentukan VSC di ruang kepala digester, pemindahan patogen dan lumpur daya tahan air. Setelah uji dosis pendahuluan, dua dosis berbeda PIX-311, PAX XL-19, dan campuran 1: 1 dari PIX-311 dan PAX XL-19 dipilih. PAX XL-6 dikeluarkan dari penelitian lebih lanjut karena dosis meningkat secara signifikan Level VSC dan digester dosis PAX XL-6 menunjukkan tanda-tanda ketidakstabilan. Selama total periode operasi 100 hari, penambahan PIX-311, PAX XL-19, kombinasi PIX-311, PAX XL-19 pada konsentrasi 4000 dan 4.500 mg / kg padatan total (TS) untuk pakan digester tidak menyebabkan ketidakstabilan proses.

Dan Wang *et al* (2017), Kinerja teknis, biaya ekonomi dan dampak lingkungan dari enam koagulasi tersier skala penuh / proses penyaringan yang berlokasi di Kunming, Cina dievaluasi. Semua proses perawatan tersier menghilangkan total fosfor (TP) dan total padatan tersuspensi (TSS) secara efisien, dengan persentase penghapusan masing-masing sebesar 55,0% efisiensi 80,0% dan 50,0% efisiensi 74,0%. Konsumsi Polyaluminium hloride (PAC) untuk TP dan Penghapusan TSS dalam enam proses perawatan tersier sangat berbeda, dengan dosis kimia terukur. Regresi linier berganda analisa menunjukkan bahwa dosis PAC yang ditutup pada nilai optimal menguntungkan penghapusan TP dan TSS, dan ini juga mengurangi biaya ekonomi. Untuk dampak lingkungan, sumber utama gas rumah kaca adalah konsumsi listrik dan proses koagulasi / penyaringan memiliki efek positif pada pengurangan eutrofikasi. Penilaian komprehensif termasuk aspek teknis, ekonomi dan lingkungan dicirikan oleh indeks biaya komposit. Indeks biaya komposit menunjukkan bahwa perawatan tersier proses flokulasi mikro dengan tipe D / media penyaringan kain mencapai kinerja komprehensif terbaik, sedangkan filter tipe D memiliki potensi besar untuk penghematan energi dan pengurangan bahan kimia.

Muruganandan *et al.*, (2017) Penelitian ini membahas penentuan parameter fisik dan kimia dalam proses pengolahan air limbah melalui proses flokulasi dan koagulasi menggunakan koagulan alami dan menilai kelayakannya untuk pengolahan air dengan membandingkan kinerja satu sama lain dan dengan koagulan sintetis. Studi awal dilakukan pada air limbah sintetis untuk menentukan pH dan

dosis optimal, aktivitas koagulan alami, diikuti oleh limbah nyata dari limbah penyamakan kulit. Limbah penyamakan kulit berwarna hitam kebiruan, sifatnya agak dasar, dengan COD 4000mg / l tinggi dan kekeruhan pada kisaran 700NTU, diencerkan dan diberi dosis dengan koagulan organik, AloeVera, MoringaOleifera dan Cactus (*O.ficus-indica*). Studi ini mengamati bahwa koagulan Moringa Oleifera dosis 15 mg / L pada 6 pH memberikan efisiensi pengurangan terbaik untuk parameter fisikokimia utama diikuti oleh Aloe Vera dan Cactus dalam kondisi yang identik. Studi ini mengungkapkan bahwa limbah penyamakan kulit yang tidak diobati dapat diobati dengan koagulan alami yang dikonfirmasi secara alami. Penulis melakukan kegiatan penelitannya dengan menggunakan bahan koagulant alami.

Wang *et al.*, (2018) , Koagulasi atau flokulasi lumpur limbah oleh koagulan atau flokulan sering digunakan sendiri atau dalam hibrida pengkondisian dengan reconditioning lain untuk dewatering lumpur. Namun, mengkombinasikan dengan koagulan dan flokulan untuk pengeringan lumpur jarang dilaporkan. Karya ini mengeksplorasi gabungan penggunaan koagulan anorganik (Fe^{3+} atau polialuminium klorida) dan poliakrilamida kationik untuk lumpur dewatering. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan kombinasi koagulan dan flokulan dapat mencapai hal yang sama atau filterabilitas serupa dengan penggunaan koagulan atau flokulan secara individu berdasarkan waktu hisap kapiler nilai, sedangkan dosis menurun 56,55% untuk Fe_3 dan 44,49% untuk kationik poliakrilamida, atau 49,94% untuk polialuminium klorida dan 29,12% untuk kationik poliakrilamida. Apalagi efisiensi airnya lebih tinggi reduksi konten diperoleh untuk lumpur dengan penggunaan gabungan koagulan dan flokulan. Oleh mempelajari sifat fisikokimia dasar dan profil reologi dari sistem lumpur, hasilnya menunjukkan bahwa mekanisme tersebut merupakan efek sinergis dari koagulasi dan flokulasi, termasuk disintegrasi sel mikroba dan aglomerasi gumpalan lumpur, yang secara efisien mengurangi air yang terikat, mengarah ke viskositas jelas terendah dalam rezim Non-linear. Dengan demikian, air terikat terendah konten dan flowabilitas terbaik diperoleh untuk lumpur dengan penggunaan gabungan koagulan dan flokulan. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan gabungan koagulan anorganik dan

poliakrilamida kationik adalah lebih menguntungkan untuk meningkatkan kinerja pengeringan lumpur daripada dengan penggunaan koagulan secara individu atau flokulan.

Kristianto Hans *et al.*, (2018) dalam tulisannya menggambarkan cara melakukan penjernihan air dengan menggunakan koagulasi. Namun, pemanfaatan koagulan kimia seperti tawas dan besi memiliki beberapa kelemahan, termasuk volume lumpur yang tinggi dan dampak kesehatan yang negatif ketika air dikonsumsi. Koagulan alami menawarkan opsi yang lebih baik, terutama karena ketersediaannya, harga rendah, volume lumpur yang lebih rendah, dan efektivitasnya sebanding dengan koagulan kimia. Dalam penelitian ini kami menggunakan biji Moringa oleifera, Carica papaya dan Leucaena leucocephala, yang merupakan tanaman asli di Indonesia, sebagai koagulan alami. Sebuah studi FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi secara kualitatif kemungkinan agen koagulan aktif dalam biji. Kinerja koagulan dalam menghilangkan kekeruhan air kaolin sintesis dipelajari menggunakan alat uji jar pada berbagai tingkat dosis dan pH koagulan. Kelompok fungsional $-OH$, $N-H$, $C=O$, dan amida primer, sekunder dan tersier diidentifikasi pada semua biji. Baik dosis maupun pH tidak memiliki efek pada penghapusan kekeruhan ketika *M.oleifera* digunakan sebagai koagulan alami, tetapi memang memiliki beberapa efek pada pepaya dan leucaena. Penghapusan kekeruhan yang diperoleh dalam penelitian ini sebanding dengan hasil yang dilaporkan lainnya, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa biji ini memiliki potensi untuk digunakan sebagai koagulan alami. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk penggunaan coagulan sebatas keefektifan dalam proses pengelolaan.

2.2. Metode Taguchi

Metode Taguchi diperkenalkan oleh Dr. Ganechi Taguchi yang bertujuan mengoptimalkan proses dengan memperbaiki kualitas produk. Dr. Ganechi Taguchi adalah seorang penemu Jepang yang mendedikasikan seluruh hidupnya untuk meneliti cara meningkatkan kualitas dari produk manufaktur. Setelah perang dunia kedua, sistem telepon Jepang mengalami kerusakan yang sangat parah. Taguchi

ditunjuk sebagai kepala laboratorium baru dari perusahaan *Nippon Telephone and Telegraph Company* dengan nama *Electrical Communication Laboratories* (ECL) (Roy, 2001). Sebagian besar riset yang dilakukan pada ECL memiliki kontribusi dalam pengembangan metodologi peningkatan kualitas yang komprehensif dimana juga mencakup teknik design eksperimen. Setelah dipraktekan dan disempurnakan di *Nippon Telephone and Telegraph Company*, metode Taguchi ini dipakai oleh perusahaan-perusahaan manufaktur Jepang. Perusahaan-perusahaan manufaktur tersebut menggunakan metode Taguchi dalam rangka memperbaiki kualitas produk dan proses.

Metode ini diperkenalkan keluar Jepang oleh Dr. Genechi Taguchi sejak tahun 1960 sampai tahun 1970, tetapi metode ini tidak diterima di Amerika hingga tahun 1980. Ketika menjabat sebagai Direktur Eksekutif pada *American Supplier Institute* di Allen Park, Michigan, Dr. Genechi Taguchi meluangkan waktunya selama beberapa bulan untuk membimbing industri- industri di Amerika Serikat (Roy, 2001).

2.2.1. Filosofi Taguchi

Metode taguchi merupakan metode dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dapat menekan biaya dan resorces seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk *robust* terhadap *noise*, karena itu sering disebut sebagai *Robust Design*.

Filosofi Taguchi terdiri dari tiga konsep, yaitu (Ross, 1989) :

1. Kualitas harus didesain kedalam produk dan bukan sekedar memeriksanya.
2. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target. Produk harus didesain sehingga *robust* (tangguh) terhadap faktor yang tidak dapat dikendalikan.
3. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standar tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh system.

Dapat dilihat dari filosofinya, metode Taguchi benar-benar menitik beratkan pada pengendalian kualitas. Pengendalian kualitas sendiri dapat dibagi ke dalam dua tahap, yaitu :

1. Pengendalian kualitas *off-line* yang berhubungan dengan aktivitas selama pengembangan produk dan desain proses. Aktivitas yang dilakukan terdiri dari :
 - a. Mengidentifikasi kebutuhan konsumen dan yang diharapkan oleh konsumen.
 - b. Mendesain produk yang sesuai dengan harapan konsumen.
 - c. Mendesain secara konsisten dan secara ekonomi menguntungkan.
 - d. Mengembangkan secara jelas dan cukup spesifik standar, prosedur dan peralatan untuk pembuatan.
2. Pengendalian kualitas *On-line* yang berhubungan dengan proses selama produksi. Pengendalian kualitas *On-line* berarti memelihara kekonsistenan produk dan proses sehingga meminimumkan variasi antar unit. Hal ini perlu dilakukan untuk meminimumkan biaya dan diperoleh kualitas yang tinggi secara serentak.

Metode Taguchi merupakan *off-line quality control* artinya pengendalian kualitas yang preventif, sebagai desain produk atau proses sebelum sampai pada produksi di tingkat *shop floor*. *Off-line quality control* dilakukan dilakukan pada saat awal dalam *life cycle product* yaitu perbaikan pada awal untuk menghasilkan produk (*to get right first time*). Kontribusi Taguchi pada kualitas adalah :

1. **Loss Function:** Merupakan fungsi kerugian yang ditanggung oleh masyarakat (produsen dan konsumen) akibat kualitas yang dihasilkan. Bagi produsen yaitu dengan timbulnya biaya kualitas sedangkan bagi konsumen adalah adanya ketidakpuasan atau kecewa atas produk yang dibeli atau dikonsumsi karena kualitas yang jelek.
2. **Orthogonal Array:** *Orthogonal array* digunakan untuk mendesain percobaan yang efisien dan digunakan untuk menganalisa data percobaan. Ortogonal array digunakan untuk menentukan jumlah

eksperimen minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari *orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi level dari variable-variabel input untuk masing-masing eksperimen.

3. **Robustness:** Meminimasi sensitivitas sistem terhadap sumber bervariasi.

2.2.2. Desain Eksperimen

Desain eksperimen dapat didefinisikan sebagai sebuah teknik statistik yang digunakan untuk mempelajari efek dari multipel variabel yang simultan (Roy, 2001). Teknik desain eksperimen pertama kali diperkenalkan oleh Sir R. A. Fisher pada tahun 1920. Fisher menggunakan teknik ini untuk mencari jumlah optimum dari kebutuhan air, hujan, sinar matahari, pupuk, dan tanah untuk menghasilkan tanaman yang baik dan sehat. Dengan metode ini Fisher dapat memasukkan semua kombinasi dari faktor-faktor yang termasuk dalam eksperimennya (Roy, 2001). Setelah mengawasi dan menerapkan metode ini pada eksperimennya di pertanian, selanjutnya banyak riset dan eksperimen yang ikut menggunakannya (Roy, 2001).

Tujuan desain eksperimen dalam pembuatan produk adalah untuk menentukan cara meminimalkan penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai targetnya (Soejanto, 2009). Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas dengan cara mengubah-ubah level- level dari faktor yang sesuai, sehingga penyimpangannya dapat dibuat sekecil mungkin dan karakteristik kualitas dapat mencapai target.

Desain eksperimen yang diperkenalkan dalam metode ini digunakan untuk meningkatkan kualitas dengan menggunakan tabel/matriks yang dikenal dengan nama *Orthogonal Array*. Metode ini dikenal sebagai desain eksperimen faktorial yang akan mengidentifikasi semua kombinasi faktor yang ada. Misalkan dalam desain eksperimen yang melibatkan 7 faktor dan masing-masing faktor terdiri dari 2 level, maka jumlah kombinasi akan

menjadi 128 (2⁷). Penggunaan matriks ortogonal digunakan, karena dianggap sebagai pendekatan yang paling fleksibel dalam mengakomodasi berbagai macam situasi dan mudah dipahami oleh pengguna umum.

2.2.3. Tahapan Desain Eksperimen Taguchi

Sebuah desain eksperimen dilakukan untuk pengembangan kualitas dari sebuah produk. Salah satu tujuan dari pengembangan kualitas adalah mendesain kualitas ke dalam setiap produk dan proses. Desain eksperimen merupakan elemen utama dari aktivitas pengembangan kualitas tersebut. Genechi Taguchi adalah salah seorang yang memperkenalkan pendekatan pengembangan kualitas dengan menggunakan desain eksperimen pada akhir perang dunia kedua. Taguchi tidak hanya menggunakan tetapi juga memodifikasi dan membakukan bentuk dari desain eksperimen (Roy, 2001). Desain eksperimen yang sekarang sudah berubah dari bentuk asalnya dan metode Taguchi banyak mewarnai metode ini, sehingga semakin jelas bahwa ini adalah metode baru yang lebih maju.

Desain eksperimen klasik memiliki pendapat bahwa semua faktor adalah sebagai penyebab terjadinya variasi produk. Jika faktor-faktor ini dapat dikendalikan atau dihilangkan, maka variasi produk atau proses dapat dikurangi. Dengan berkurangnya variasi tersebut maka kualitas produk dapat dikendalikan dan ditingkatkan. Namun pada kenyataannya tidak semua faktor tersebut berpengaruh pada karakteristik kualitas dan dapat dikendalikan tanpa mengeluarkan biaya yang besar. Karena itu perlu metode lain yang memiliki pendekatan yang berbeda dengan desain eksperimen klasik. Untuk itu desain eksperimen Taguchi membuat tiga tahap pengoptimasian desain produk atau proses produksi, yaitu :

1. Desain konsep/system

Merupakan tahap pertama dalam desain dan merupakan tahap konseptual pada pembuatan produk baru atau inovasi proses, dimana konsep tersebut mungkin berasal dari percobaan sebelumnya. Tahap ini adalah untuk

memperoleh ide-ide baru dan mewujudkannya dalam bentuk produk atau inovasi proses.

2. Desain parameter

Merupakan pembuatan secara fisik atau *prototype* matematis berdasarkan tahap sebelumnya melalui percobaan statistik. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi setting parameter yang akan memberikan kinerja rata-rata pada target dan menentukan pengaruh dari faktor gangguan pada variasi dan target.

3. Desain toleransi

Penentuan toleransi dari parameter yang berkaitan dengan kerugian pada produk ataupun konsumen akibat penyimpangan produk dari target.

Dalam desain parameter sendiri perlu dipertimbangkan berbagai faktor pengembangan dan desain. Metode Taguchi memisahkan faktor tersebut kedalam dua kelompok utama, yaitu :

1. Faktor control adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan oleh produsen dan tidak dapat diubah secara langsung oleh pelanggan.
2. Faktor *noise* adalah faktor dimana produsen tidak dapat mengatur atau mengendalikan (Ross, 1989). Faktor *noise* menurut Ross terdiri dari :
 - Gangguan eksternal (*Outer*)
Faktor pengganggu eksternal berhubungan dengan faktor-faktor lingkungan atau di luar produk atau proses. Contohnya antara lain adalah temperatur udara, kelembaban, getaran, dan lain-lain.
 - Gangguan variasi
Faktor pengganggu ini berhubungan dengan faktor yang menyebabkan perbedaan antara unit yang satu dengan unit yang lain.
 - Gangguan internal (*Inner*)
Faktor pengganggu internal berhubungan dengan faktor yang diakibatkan oleh kerusakan suatu produk selama penyimpanan atau pemakaian.

Contoh yang mudah adalah kerusakan dari suatu komponen akibat umur.

Adapun kegunaan dari sebuah desain eksperimen Taguchi adalah untuk :

- a. Mendesain produk atau proses sehingga kualitasnya *robust* terhadap kondisi lingkungan.
- b. Mendesain atau mengembangkan produk sehingga kualitasnya *robust* terhadap variasi komponen.
- c. Meminimumkan variasi di sekitar nilai target.

Keunggulan dari metode desain eksperimen Taguchi adalah sebagai berikut:

- a. Lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan jumlah.
- b. Memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk yang konsisten dan kokoh (*robust*) terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol (faktor gangguan).

Namun demikian, metode Taguchi memiliki kelemahan, yaitu metode ini memiliki struktur rancangan yang sangat kompleks. Bahkan tidak jarang metode ini memakai rancangan yang mengorbankan pengaruh faktor utama dan pengaruh interaksi yang cukup signifikan. Untuk mengatasi hal tersebut, pemilihan rancangan percobaan harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Desain eksperimen dapat dikatakan juga sebagai sebuah proses mengevaluasi dua faktor atau lebih secara serentak terhadap kemampuannya untuk mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu (Soejanto, 2009). Untuk mencapai hal tersebut secara efektif, faktor dan level faktor dibuat bervariasi kemudian hasil dari kombinasi pengujian tertentu diamati sehingga kumpulan hasil selengkapnya dapat dianalisa. Hasil analisa ini kemudian digunakan untuk menentukan faktor-faktor yang berpengaruh dan tindakan yang dapat membuat perbaikan lebih lanjut.

2.2.4. Langkah Penelitian Taguchi

Langkah-langkah ini dibagi menjadi tiga fase utama yang meliputi keseluruhan pendekatan eksperimen. Tiga fase tersebut adalah (1) fase perencanaan, (2) fase pelaksanaan, dan (3) fase analisa. Fase perencanaan merupakan fase yang paling penting dari eksperimen untuk menyediakan informasi yang diharapkan. Fase perencanaan adalah ketika faktor dan levelnya dipilih, dan oleh karena itu, merupakan langkah yang terpenting dalam eksperimen.

Fase terpenting kedua adalah fase pelaksanaan, ketika hasil eksperimen telah didapatkan. Jika eksperimen direncanakan dan dilaksanakan dengan baik, analisa akan lebih mudah dan cenderung untuk dapat menghasilkan informasi yang positif tentang faktor dan level.

Fase analisa adalah ketika informasi positif atau negatif berkaitan dengan faktor dan level yang telah dipilih dihasilkan berdasarkan dua fase sebelumnya. Fase analisa adalah hal penting terakhir yang mana apakah peneliti akan dapat menghasilkan hasil yang positif. Langkah utama untuk melengkapi desain eksperimen yang efektif adalah sebagai berikut (Ross, 1996) :

- **Perumusan masalah:** Perumusan masalah harus spesifik dan jelas batasannya dan secara teknis harus dapat dituangkan ke dalam percobaan yang akan dilakukan.
- **Tujuan eksperimen:** Tujuan yang melandasi percobaan harus dapat menjawab apa yang telah dinyatakan pada perumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat pada masalah yang kita amati.
- **Memilih karakteristik kualitas (Variabel Tak Bebas):** Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas yang akan diselediki.
- **Memilih faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas (Variabel Bebas):** Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan

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

- **Mengidentifikasi faktor terkontrol dan tidak terkontrol:** Dalam metode Taguchi, faktor-faktor tersebut perlu diidentifikasi dengan jelas karena pengaruh antara kedua jenis faktor tersebut berbeda. Faktor terkontrol (*control factors*) adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Sedangkan faktor gangguan (*noise factors*) adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau dikendalikan, atau faktor yang tidak ingin kita atur atau kendalikan.
- **Penentuan jumlah level dan nilai faktor:** Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan ongkos pelaksanaan percobaan. Makin banyak level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh akan lebih banyak, tetapi banyaknya level juga akan meningkatkan ongkos percobaan.
- **Identifikasi Interaksi antar Faktor Kontrol:** Interaksi muncul ketika dua faktor atau lebih mengalami perlakuan secara bersama akan memberikan hasil yang berbeda pada karakteristik kualitas dibandingkan jika faktor mengalami perlakuan secara sendiri-sendiri. Kesalahan dalam penentuan interaksi akan berpengaruh pada kesalahan interpretasi data dan kegagalan dalam penentuab proses yang optimal. Tetapi Taguchi lebih mementingkan pengamatan pada *main effect* (penyebab utama) sehingga adanya interaksi diusahakan seminimal mungkin, tetapi tidak dihilangkan sehingga perlu dipelajari kemungkinan adanya interaksi.

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

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

Pelaksanaan percobaan Taguchi adalah pengerjaan berdasarkan setting faktor pada OA dengan jumlah percobaan sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti randomisasi.

- **Analisa Data:** Pada analisa dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *lay out* tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih. Selain itu dilakukan perhitungan dan penyajian data dengan statistik analisa variansi, tes hipotesa dan penerapan rumus-rumus empiris pada data hasil percobaan.
- **Interpretasi Hasil:** Interpretasi hasil merupakan langkah yang dilakukan setelah percobaan dan analisa telah dilakukan. Interpretasi yang dilakukan antara lain dengan menghitung persentase kontribusi dan perhitungan selang kepercayaan faktor untuk kondisi perlakuan saat percobaan.
- **Percobaan Konfirmasi:** Percobaan konfirmasi adalah percobaan yang dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang didapat. Tujuan percobaan konfirmasi adalah untuk memverifikasi: 1) Dugaan yang dibuat pada saat model performansi penentuan faktor dan interaksinya, dan 2) setting parameter (faktor) yang optimum hasil analisa hasil percobaan pada performansi yang dihar

2.3. Instalasi Pengolahan Air Limbah

IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) merupakan sebuah media perangkat untuk mengelola air buangan sisa produksi atau laboratorium menjadi air yang layak untuk dibuang ke lingkungan. Mekanisme kerja IPAL bermacam macam, tergantung jenis limbah, teknologi yang dipakai serta jumlah air yang digunakan.

Fungsi dan struktur bangun IPAL sangat disesuaikan dengan jenis limbah yang dibuang, seperti limbah rumah sakit lebih mengutamakan menggunakan pengendapan dan filterisasi karbon begitu juga laboratorium, selain dilakukan proses pengendapan dan penetralan juga dilakukan penyaringan dengan Carbon bertekanan, dengan tujuan untuk menghilangkan bau dan menambah kejernihan air.

2.3.1. Proses Pengelolaan IPAL

Peneliti melakukan pengamatan di laboratorium PT. SUCOFINDO Cabang Batam, air buangan yang masuk ke dalam IPAL merupakan air buangan dari sisa pencucian alat alat gelas yang digunakan untuk keperluan analisa. Air mengalir dari wastafel pencucian dengan menggunakan pipa tertutup masuk menuju bak kontrol untuk dilakukan pemisahan dari campuran air limbah secara fisika, setelah dilakukan pemisahaan gravitasi pada bak control, air limbah menuju bak penampungan IPAL dengan menggunakan jalur perpipaan. Setelah batas maksimum dari bak penampung terpenuhi maka air masuk ke dalam bak pengendap untuk dilakukan proses koagulasi. Selama proses koagulasi berlangsung air dalam bak selalu berputar agar pengadukan dan pengendapan berjalan sempurna, setelah itu pengadukan dihentikan sampai proses pengendapan selesai (mengendap sempurna). Air jernih yang terbentuk di pompa masuk ke dalam bak penetralan (asam – basa) sampai diyakini pH netral untuk selanjutnya dipompa masuk kedalam membrane carbon aktif bertekanan menuju bak penampung akhir (Kazak Omer., et al 2017). Hasil pengukuran di bak inilah akan menentukan air limbah tersebut sudah layak untuk dibuang ke lingkungan sesuai PermenLH No. 05 Tahun 2014, bila limbah cair sudah masuk ke dalam badan air maka pengukuran parameter mengacu kepada pengujian air baku sesuai dengan PP No. 82 Tahun 2001 yang membagi ke dalam 4 golongan yaitu air minum, air bersih, air untuk pertanian dan air untuk peternakan.

Beban limbah laboratorium bisa diukur melalui debit alir dan konsentrasi dari parameter pencemar yang dapat diukur persatuan waktu, maka itu untuk mengetahui keefektifan pengelolaan IPAL perlu ditambahkan flow meter air masuk dan flow meter air keluar dari IPAL.

2.3.2. Utility IPAL

Instalasi Pengolahan Air Limbah terdiri dari 5 bak penampung, setiap bak mempunyai fungsi pengelolaan tersendiri, adapun kelima bak yang dimaksud adalah sebagai berikut :

1. *Bak Pengumpul*

Bak pengumpul merupakan inlet pertama masuknya air limbah dari laboratorium berupa air pembilasan dan sisa buangan scrubber pada ruang asam. Air akan tertampung sesuai dengan batasan takaran yang ada untuk kemudian dipompa ke bak kedua sebagai bak koagulant.

2. *Bak Koagulasi/ Pengendap*

Pada bak kedua air limbah tersebut mengalami proses pengadukan dengan sedikit sedikit ditambahkan PAC yang sudah dilarutkan dengan konsentrasi tertentu dan volume tertentu. Setelah beberapa menit kemudian semua larutan pada limbah cair akan mengendap kebawa terbawa oleh suspended solid dari garam PAC menjadi $\text{Fe}(\text{OH})_3$ berwarna coklat dan akan memisah antara endapan yang terbentuk dengan cairan jernih.

3. *Bak Penetralan*

Pada bagian ini cairan yang jernih dipompa dan masuk kedalam bak penetralan sampai menunjukkan pH 6 – 8 secara otomatis pemberian asam atau basa pada nozzle akan terhenti.

4. *Penyaringan Carbon Bertekanan*

Tahapan ini akan dilalui apabila pH air sudah netral atau mendekati 7, air akan dialirkan menggunakan pompa menuju tabung filter karbon yang terdiri atas pasir, kerikil, ijuk dan karbon untuk selanjutnya air akan dialirkan ke tabung ini dan masuk ke dalam bak penampung terakhir.

5. *Bak Penampungan akhir*

Pada bak tampungan terakhir air akan dilihat secara visual, kejernihan dan kebauan dan dilakukan test kandungan COD sebagai indicator pencemaran kimia dan biologi, namun test lengkap akan dilakukan setiap 1 bulan sekali

dengan mengacu kepada PermenLH No. 05 Tahun 2014 dan PP No. 22 Tahun 2021.

2.4. Bahan Kimia

Bahan Kimia yang digunakan dalam proses pengelolaan IPAL adalah PAC atau lebih dikenal sebagai *Polly Aluminium Clorida*. PAC berfungsi sebagai penjernihan air dengan membentuk lapisan butiran padat yang akan turun ke dasar bak, sesuai dengan konsentrai optimal secara kasar membawa semua partikel pada air limbah ikut menurun dan terendapkan. Namun apabila diberikan pada dosis yang tidak tepat dapat menimbulkan daya kerja pengendapan menjadi tidak optimal, bila kurang maka air masih keruh karena semua partikel dalam air tidak ikut terendapkan, namun bila berlebih maka selain pemborosan PAC juga berdampak pada fungsi pengendapan menghilang karena membentuk butiran halus dan menjadi koloid yang akan berdampak air akan menjadi sangat keruh karena tidak ada yang mengendap.

Penggunaan PAC yang berlebihan selain pemborosan juga akan menimbulkan dampak lainnya berupa penggunaan membrane saringan bertekanan (karbon) akan menjadi cepat kotor, sehingga perawatan IPAL menjadi lebih cepat dari jadwal yang telah ditentukan.

Berdasarkan permasalahan tersebut peneliti akan melakukan percobaan dengan menggunakan beberapa konsentrasi PAC yang digunakan, dengan volume air tetap (sesuai dengan ukuran bak pengendap) dengan hasil akhir berupa angka COD (Chemicals Oxigen Demand) yang optimal sebagai tolok ukur pemeriksaan harian.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui optimalisasi penggunaan *Poly Aluminium Clorida* (PAC) dalam proses pengendapan pada pengelolaan limbah cair di Laboratorium. Pertimbangan penelitian ini dilakukan agar dapat dibuat persamaan atas teknis kegiatan pembuatan coagulan dan flokulan yang dituangkan dalam SOP untuk dapat dijalankan oleh semua pihak sekaligus efisiensi penggunaan bahan kimia yang terlibat yang akan mempengaruhi pengurangan biaya operasional untuk pengelolaan IPAL.

Konsep penelitian ini akan menggunakan konsep taguchi dengan dilakukan pengujian beberapa variabel proses yang dapat memberikan efek positif besar terhadap proses koagulasi flokulasi yang meliputi koagulan, flokulan, pH optimum dan efek pengadukan, konsentrasi Polimer Poly Aluminium Clorida (PAC), volume Polimer Poly Aluminium Clorida (PAC) serta frekuensi pemberian Polimer Poly Aluminium Clorida (PAC) yang diberikan secara berlahan, variabel-variabel proses tersebut merupakan variabel yang paling dominan dalam proses koagulasi flokulasi (Wang et al. 2018). Metode Taguchi merupakan *off-line quality control* artinya pengendalian kualitas yang preventif, sebagai desain produk atau proses sebelum sampai pada produksi di tingkat *shop floor*. *Off-line quality control* dilakukan pada saat awal dalam *life cycle product* yaitu perbaikan pada awal untuk menghasilkan produk (*to get right first time*).

Peneliti merasa perlu melakukan percobaan ini dikarenakan selama ini penggunaan bahan kimia untuk pengelolaan IPAL Laboratorium Sucofindo Batam belum pernah dilakukan secara khusus sehingga penggunaan bahan kimia sebagai coagulan dan flokulan tidak dapat dikontrol dengan baik.

Pada penelitian ini akan membuat larutan dari Garam *Poly Aluminium Clorida* (PAC), *Polyethylene-Imine*, dan *Polyacrylic Acid* dengan berbagai

konsentrasi dengan mencampurkannya dengan air limbah dengan perbandingan tertentu sampai ditemukannya konsentrasi yang ideal dan cukup untuk menurunkan padatan terlarut dan tersuspensi secara optimal dalam air limbah tersebut. Hasil akhir yang dapat dilihat adalah pemisahan air kotor dan air jernih dapat terlihat dengan jelas secara visual.

3.2. Objek Penelitian

Subjek penelitian adalah memahami konsep penjernihan air melalui koagulan/ flokulan dan pengendapan, mendapatkan laju alir yang optimal pada proses yang terjadi dengan menganalisa tingkat kekeruhan yang terjadi pada bak pengendapan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT. SUCOFINDO Batam yang beralamat di Jalan Raden Patah No. 61 Baloi Kelurahan Kampung Pelita, Kecamatan Lubuk Baja, Kota Batam.

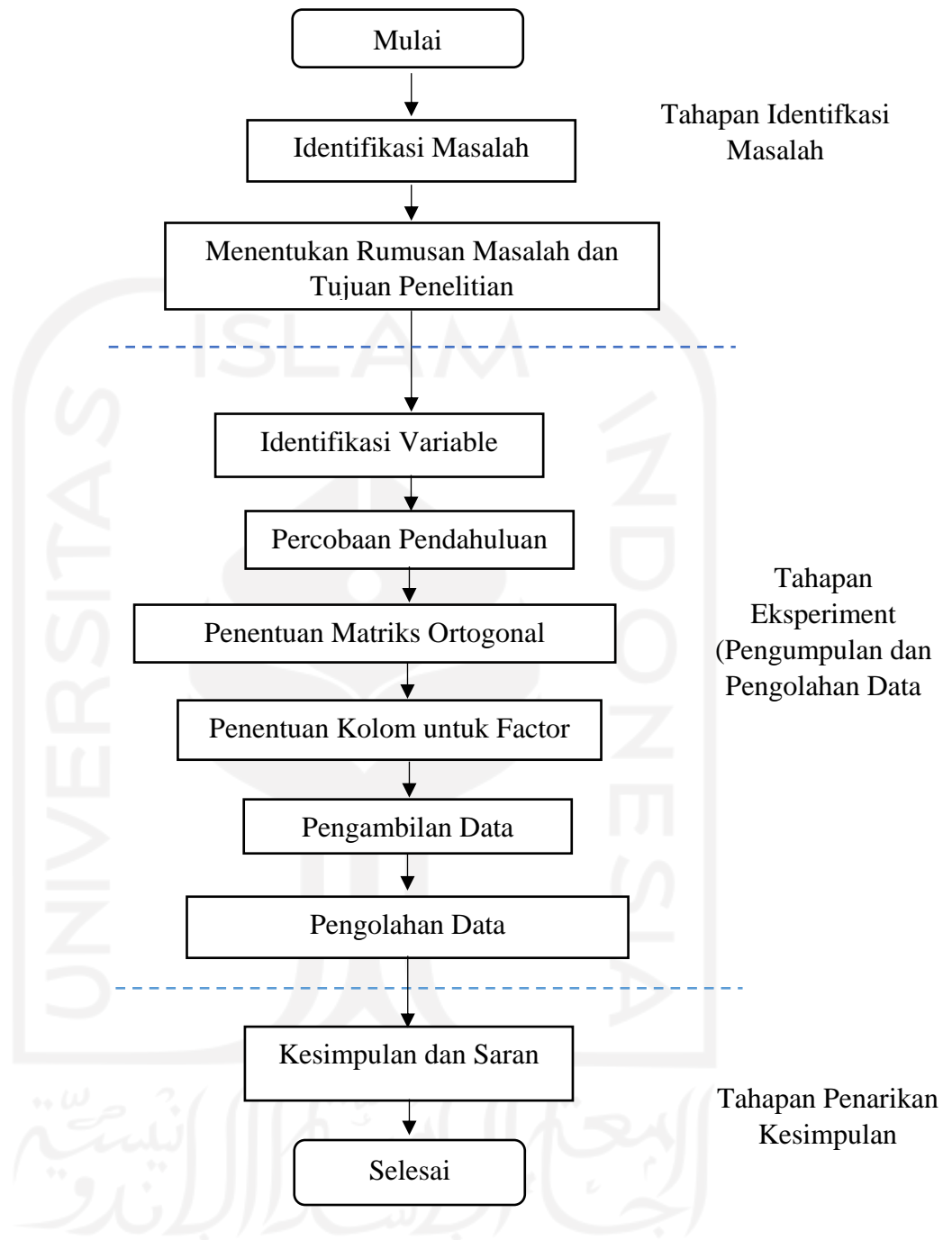
Berdasarkan diagram alir seperti seperti pada **Gambar 3.1**, merupakan tahapan kegiatan yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

3.3. Tahap Identifikasi Masalah

Tahap ini merupakan langkah awal yang dilakukan dalam penelitian, bertujuan untuk mengetahui kondisi perusahaan. Tahap identifikasi masalah ini terdiri dari :

a. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi sebanyak-banyaknya yang berkaitan dengan seluruh aktivitas perusahaan, dengan tujuan untuk mengetahui kondisi nyata obyek yang akan diteliti. Kondisi yang didapat dari studi lapangan diharapkan cukup terperinci dan lengkap, sehingga dapat digunakan dalam merumuskan karakteristik kualitas (variabel respon) dengan spesifikasi yang jelas.



Gambar 3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

b. Studi Pustaka

Studi pustaka bertujuan untuk menggali informasi yang terkait dengan permasalahan yang diteliti. Informasi tersebut diambil dari literatur-literatur seperti buku-buku teks, jurnal maupun dari penelitian yang telah

dilakukan. Informasi juga harus relevan dengan permasalahan yang sedang diteliti. Tujuan dari studi pustaka ini adalah untuk memperoleh teori dan konsep yang dapat dijadikan landasan/kerangka berpikir dalam menjelaskan permasalahan. Teori dan konsep yang diperoleh akan dibandingkan dengan kondisi nyata dari perusahaan. Perbandingan tersebut akan memunculkan sebuah gap. Gap yang terjadi antara kondisi nyata dengan teori harus diperkecil atau bahkan ditiadakan. Usaha memperkecil gap dari kondisi yang ada dengan teori yang dimiliki akan menjadi permasalahan dalam penelitian yang ada.

c. Perumusan Masalah dan Penentuan Tujuan Penelitian

Setelah mengetahui kondisi proses real yang terdapat di perusahaan serta gap yang diperoleh dari studi pustaka, maka dapat ditentukan tujuan optimasi yang akan dilakukan. Tujuan optimasi dalam penelitian ini diarahkan untuk mendapat kualitas terbaik dari hasil pengendapan lumpur pada proses pengolahan air limbah laboratorium.

3.4. Bahan dan Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah (1) *pH Meter* untuk mengatur pH air; (2) *TSS Meter* digunakan untuk mengukur endapan yang mengendap dalam air (mg/l); (3) *Turbidity Meter* digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air (NTU); (4) *Erlenmeyer, burette, beaker gelas, pipette* merupakan peralatan gelas yang digunakan untuk eksperimen dan uji COD; (5) *Magnetic Stirrer* digunakan sebagai pengaduk dengan kecepatan tertentu; (6) *Stop watch* merupakan alat penghitung waktu; (6) Neraca/ timbangan untuk menimbang bahan sesuai kebutuhan/ konsentrasi yang diinginkan; (7) Kertas pH merupakan kertas penunjuk nilai pH terhadap air yang diukur (sebagai pendekatan awal).



Gambar 3.2. Alat Ukur yang digunakan dalam proses penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah (1) *FAS*, H_2SO_4 , $K_2Cr_2O_7$, $AgSO_4$, Hg_2SO_4 , bahan kimia yang digunakan untuk uji COD (mg/l); (2) *Poly Aluminium Chlorida (PAC)*, sebagai coagulan (mg/l); (3) *Polyethylene-Imine*, sebagai Flokulan Kationik (mg/l); (4) *Polyacrylic Acid*, sebagai Flokulan Anionik (mg/l); (5) $NaOH$ 0.5 N sebagai penentuan pH basa (N), (6) HCL 0.5 N sebagai penentuan pH asam (N).

Tabel 3.1. Bahan dan Material yang digunakan

No	Material	Karakteristik	Kondisi	Pabrikasi	Supplier
1.	Air limbah	TSS, pH dan COD	tertentu	-	Laboratorium PT. SUCOFINDO
2.	Poly Alumunium Chlorida	Kemurnian (%)	30	PT. Asahi	Multi Kimia Raya
3.	Flokulan Kationik, Polyethylene-Imine	Kemurnian (%)	99	Buyer, Germany	Bratachem
4.	Flokulan Anionik, Polyacrylic acid	Kemurnian (%)	99	Buyer, Germany	Bratachem
5.	NaOH	Kemurnian (%)	99	PT. Ciwi Kimia	Multi Kimia Raya
6.	Air bersih (H ₂ O)	Hardness (mg/l)	< 150	PT. ATB	Laboratorium PT. SUCOFINDO

3.5. Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Tahap ini dilakukan setelah identifikasi masalah selesai, berdasarkan tahap identifikasi masalah yang telah dilakukan maka selanjutnya dapat disusun kerangka atau langkah-langkah pemecahan masalah secara sistematis. Tahap ini terdiri dari :

a. Identifikasi Variabel

Setelah melalui tahap identifikasi masalah, selanjutnya perlu dirumuskan variabel yang akan digunakan dalam penyelesaian masalah yang ada. Perumusan variabel merupakan tahap persiapan sebelum dilakukan percobaan, baik percobaan pendahuluan ataupun percobaan utama.

Jenis variabel yang digunakan pada tesis ini ada 2 yaitu variabel control (factor kendali) dan variabel respon.

Variabel kontrol yang digunakan pada tesis ini antara :

1. pH Lingkungan
2. Konsentrasi Level Coagulan
3. Konsentrasi Level Flukolant Kationik
4. Konsentrasi Level Flokulan Anionik
5. Waktu Alir Coagulan
6. Waktu Alir Flokulan
7. Kecepatan Mixing

Variabel respon yang digunakan adalah sebagai berikut :

- 1.pH.
2. TSS (mg/l)
- 3.COD (mg/l)

b. Percobaan Pendahuluan

Setelah berhasil merumuskan variabel-variabel yang digunakan dalam percobaan ini, maka perlu diteliti hubungan antar variabel yang digunakan. Pada tahapan ini dilakukan pengujian antar variabel proses/kontrol dengan variabel respon. Hasil pengujian yang ada akan menunjukkan apakah variabel proses mempengaruhi variabel respon, selain itu juga menunjukkan apakah ada interaksi dari masing-masing variabel proses. Bila variabel proses tidak mempengaruhi variabel respon maka harus kembali pada tahap perumusan variabel. Hal ini menunjukkan bahwa ada kesalahan dalam perumusan variabel proses yang digunakan, sehingga harus dirumuskan kembali.

c. Pemilihan Matriks Orthogonal

Pada Tahap ini rancangan percobaan menggunakan *orthogonal array*/ matriks *orthogonal* dari eksperimen Taguchi yang sesuai, berdasarkan level dan jumlah faktor.

d. Penentuan Kolom untuk Faktor

Pada tahap ini dilakukan pemilihan kolom faktor pada matriks orthogonal yang telah dipilih pada tahap sebelumnya.

e. Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer. Data primer diperoleh dengan mengadakan eksperimen pada proses pengendapan dalam pengolahan limbah laboratorium dengan skala laboratorium.

Tabel. 3.2 Pengambilan Data

Trial	Faktor Kendali							pH				COD				TSS							
	A	B	C	D	E	F	G	Data Hasil Percobaan															
								Replikasi ke				Replikasi ke				Replikasi ke							
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1	1	1	1	1	1	1	1	5,53	5,5	5,42	5,33	196,35	194,23	190,42	190,54	63	65	63	66				
2	1	1	1	1	2	2	2	5,4	5,45	5,52	5,53	117,65	122,25	120,32	115,16	77	76	78	77				
3	1	1	1	1	3	3	3	5,35	5,54	5,48	5,42	147,32	144,18	145,26	142,56	35	34	40	38				
4	1	2	2	2	1	1	1	5,62	5,57	5,53	5,58	138,56	138,24	135,16	140,22	52	50	53	55				
5	1	2	2	2	2	2	2	5,56	5,65	5,52	5,58	156,78	155,56	157,23	154,23	57	54	53	53				
6	1	2	2	2	3	3	3	5,6	5,64	5,54	5,55	140,23	136,23	138,14	135,21	48	47	45	44				
7	1	3	3	3	1	1	1	5,73	5,68	5,78	5,75	143,43	145,21	147,22	143,16	70	74	44	5,75				
8	1	3	3	3	2	2	2	5,7	5,76	5,74	5,78	136,12	138,24	136,88	139,81	38	42	42	38				
9	1	3	3	3	3	3	3	5,83	5,82	5,78	5,77	94,34	94,56	98,12	96,88	46	48	44	45				
10	2	1	2	3	1	2	3	6,9	6,89	7,04	7,02	42,12	40,56	38,32	38,15	12	12	13	11				
11	2	1	2	3	2	3	1	7,1	7,12	7,14	7,09	48,55	47,23	45,95	46,12	24	27	23	28				
12	2	1	2	3	3	1	2	7,12	7,1	7,12	7,11	84,25	82,17	84,51	82,23	13	15	18	12				
13	2	2	3	1	1	2	3	7,19	7,2	7,22	7,23	105,12	108,23	106,25	102,58	17	19	18	18				
14	2	2	3	1	2	3	1	7,23	7,26	7,23	7,25	140,23	145,32	144,25	140,62	37	40	38	42				

Trial	Faktor Kendali							pH				COD				TSS							
	A	B	C	D	E	F	G	Data Hasil Percobaan															
								Replikasi ke				Replikasi ke				Replikasi ke							
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
15	2	2	3	1	3	1	2	7,23	7,25	7,26	7,24	112,32	114,21	108,56	108,32	27	26	27	28				
16	2	3	1	2	1	2	3	7,27	7,27	7,28	7,3	104,23	106,12	108,21	105,65	33	32	30	35				
17	2	3	1	2	2	3	1	7,42	7,38	7,4	7,45	130,24	133,25	133,32	130,9	42	38	39	41				
18	2	3	1	2	3	1	2	7,43	7,45	7,38	7,4	125,62	124,23	122,36	121,35	46	42	48	44				
19	3	1	3	2	1	3	2	8,07	8,1	8,06	8,02	122,47	125,32	120,65	122,32	68	65	70	72				
20	3	1	3	2	2	1	3	8,12	8,1	8,08	8,06	126,32	124,65	126,54	130,25	55	53	54	56				
21	3	1	3	2	3	2	1	8,14	8,12	8,1	8,13	160,21	158,22	162,38	156,38	88	86	87	90				
22	3	2	1	3	1	3	2	8,19	8,16	8,17	8,15	126,84	130,25	127,14	126,52	47	48	46	50				
23	3	2	1	3	2	1	3	8,24	8,22	8,23	8,2	125,33	124,85	126,12	125,24	67	70	64	66				
24	3	2	1	3	3	2	1	8,32	8,34	8,3	8,34	167,23	165,21	166,84	168,42	90	92	87	88				
25	3	3	2	1	1	3	2	8,38	8,4	8,42	8,4	120,42	118,25	117,56	120,16	54	58	50	55				
26	3	3	2	1	2	1	3	8,42	8,41	8,43	8,45	126,32	125,32	124,32	126,32	58	56	54	53				
27	3	3	2	1	3	2	1	8,51	8,49	8,5	8,53	152,23	146,23	148,23	148,28	80	74	83	83				

الجامعة الإسلامية
الاستاذ الدكتور

f. Pengolahan Data dan Optimasi

Tahap ini dilakukan pengolahan data dengan prosedur sebagai berikut :

1. Menghitung rasio S/N multirespon.
2. Analisa Variansi (ANOVA).
3. Menghitung persen kontribusi.
4. Menentukan kombinasi faktor yang tepat.
5. Menghitung interval keyakinan (IK).
6. Menghitung *loss function*.

3.5.1. Uji Normalitas Data

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah distribusi frekuensi hasil pengamatan sesuai dengan *expected normal curve frequencies* dengan menggunakan *chi-square distribution*. Uji kebaikan sesuai antara frekuensi yang teramati dengan frekuensi harapan :

$$x^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan :

O_i = frekuensi teramati

E_i = frekuensi harapan bagi sel ke-i

3.5.2. Uji Homogenitas Variansi

Salah satu cara untuk menguji homogenitas k buah ($k \geq 2$) variansi populasi yang berdistribusi normal adalah dengan menggunakan uji Barlett :

$$x^2 = (\ln 10) \{B - \sum (n_i - 1) \log s_i^2\} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$B = (\log s^2) \sum (n_i - 1) \dots\dots\dots (3.3)$$

$$S^2 = \frac{\sum (n_i - 1) S_i^2}{\sum (n_i - 1)} \dots\dots\dots (3.4)$$

S^2 = variansi gabungan dari semua sampel

Dengan taraf nyata α , hipotesis H_0 ditolak jika $x^2_{hitung} \geq x^2_{(1-\alpha)(dk)}$, dimana $x^2_{(1-\alpha)(dk)}$ didapat dari tabel Chi-Kuadrat dengan tingkat kepercayaan $(1-\alpha)$ dan $dk = (k-1)$.

3.5.3. Analisa Variansi (ANOVA)

Langkah-langkah perhitungan dalam analisa variansi multifaktor adalah sebagai berikut (Ross, 1988) :

1. Menghitung harga-harga *Sum of Square* (SS) atau jumlah kuadrat (JK)
 - a. Total *Sum of Square* (SST) atau jumlah kuadrat total, dengan

$$\bar{T} = \frac{T}{N} = \bar{y} \text{ dan } T = \sum_{i=1}^N y_i$$

Persamaan diatas dapat dirumuskan kembali menjadi :

$$SST = \left[\sum_{i=1}^N Y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots (3.5)$$

dengan :

y_i = nilai respon (data pengamatan) ke

$\bar{T} = \bar{y}$ = rata-rata respon

N = jumlah pengamatan

- b. *Sum of Square* atau jumlah kuadrat untuk suatu faktor, misal faktor A

$$SSA = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) - \frac{T^2}{N} \right] \dots\dots\dots (3.6)$$

dengan :

SSA= *Sum of Square* faktor A

A_i = jumlah nilai pengamatan dibawah level ke-i faktor A

n_{A_i} = banyaknya data pengamatan dibawah level ke-i faktor A

A_i^2 = rata-rata nilai pengamatan dibawah level ke-i faktor A

K_A = banyaknya level faktor A

Secara umum *Sum of Square* (SS) suatu faktor dapat dihitung dengan rumus :

$$SS = \sum (a(m_i - m)^2) \dots\dots\dots (3.7)$$

dengan :

SS = *Sum of Square* untuk setiap faktor

A = Jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom matrik orthogonal

m_i = rata-rata efek tiap level faktor

$i = 1, 2, \dots, k$

2. Menghitung *degree of freedom* (df) atau derajat bebas

a. *Degree of freedom* total (df_T) dirumuskan dengan :

$$df_T = N - 1 \dots\dots\dots (3.8)$$

atau

$$df_T = df_{faktor} + df_{interaksi} + df_{error} \dots\dots\dots (3.9)$$

b. *Degree of freedom* suatu faktor, dirumuskan dengan :

$$df = k - 1 \dots\dots\dots (3.10)$$

c. *Degree of freedom error* (df_e) dirumuskan dengan :

$$df_e = df_T - df_{faktor} - df_{interaksifaktor} \dots\dots\dots (3.11)$$

3. Menghitung *mean of square* (Mq) suatu faktor atau interaksi factor dengan rumus :

$$Mq_A = \frac{SS_A}{df_A} \dots\dots\dots (3.12)$$

4. Menghitung F ratio suatu faktor dengan rumus :

$$F_{\text{ratio}} = \frac{Mq}{Mqe} \dots\dots\dots (3.13)$$

5. Menghitung *pure of square* (SS') suatu faktor dengan rumus :

$$SS' = SS - (df \times Mqe) \dots\dots\dots (3.14)$$

6. Menghitung persen kontribusi (P) suatu faktor, dengan rumus :

$$P = \left[\frac{SS'}{SS_T} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (3.15)$$

3.5.4. Menghitung nilai *signal to noise ratio* (SNR)

Dalam penelitian ini karakteristik kualitasnya adalah *larger the better* sehingga nilai SNR dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$S/N_{LTB} = -\text{Log} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \dots\dots\dots (3.16)$$

3.5.5. Menghitung Efek Tiap Faktor

Perhitungan efek tiap faktor dapat dilakukan terhadap nilai SNR., dengan menggunakan rumus :

$$SNR = \frac{1}{a} (\sum \eta_0) \dots\dots\dots (3.17)$$

Dengan

o = nomor eksperimen yang mempunyai level yang sama

a = jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom *orthogonal array*

η = nilai SNR yang digunakan

3.6. Tahap Analisa dan Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahap terakhir dari penelitian. Tahap ini terdiri dari :

a. Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi ini dilakukan dengan menggunakan kombinasi faktor hasil percobaan dengan metode Taguchi. Apabila

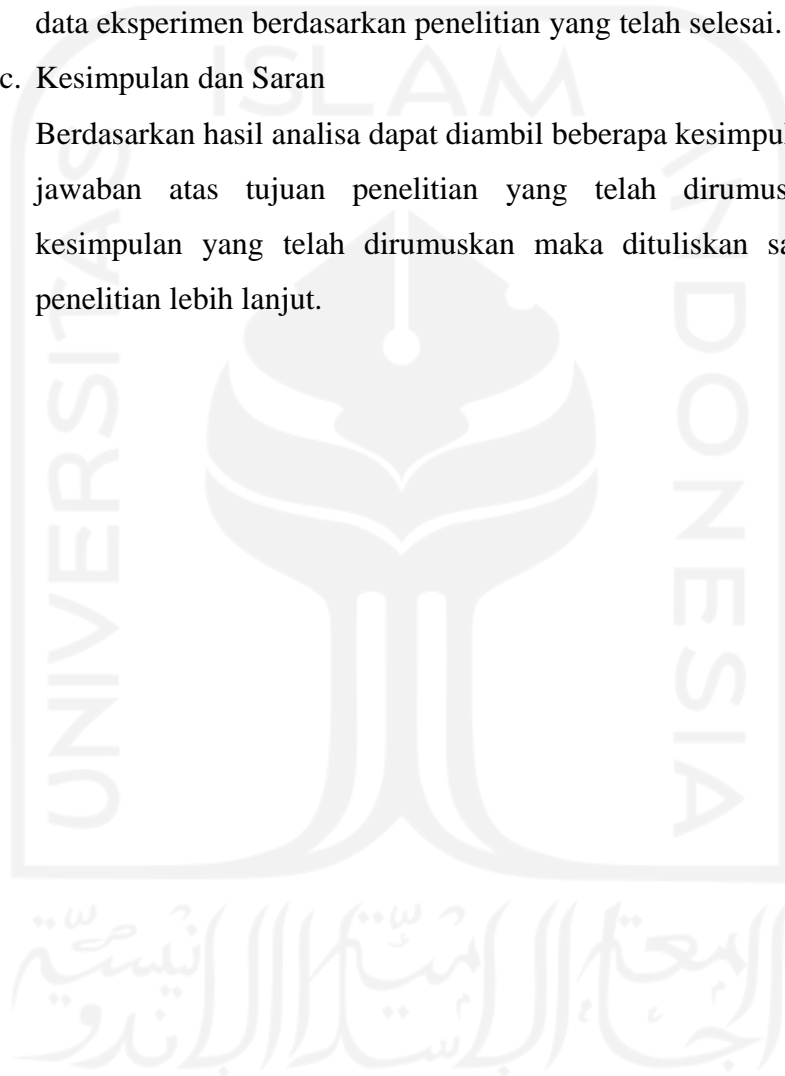
hasil eksperimen konfirmasi lebih jelek dari kondisi awal, maka perlu dilakukan eksperimen lagi dengan memperlebar interval dari level faktor.

b. Pembahasan

Pada tahapan ini dapat dilakukan analisa terhadap hasil pengolahan data eksperimen berdasarkan penelitian yang telah selesai.

c. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisa dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai jawaban atas tujuan penelitian yang telah dirumuskan. Dari kesimpulan yang telah dirumuskan maka dituliskan saran untuk penelitian lebih lanjut.



BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Pengumpulan Data.

Penelitian ini melakukan pengambilan data pada dua titik sample yaitu di bak pengumpul (*before process*) dan bak akhir (*after process*). Analisa pengujian dilakukan untuk parameter ukur kekeruhan (NTU), Total Dissolved Solid (TDS), Total Suspended Solid (TSS) dan *Chemicals Oxygen Demand* (COD) (Harwiyanti, 2015). Data yang dihasilkan berupa pembacaan langsung alat ukur dan analisa laboratoium, untuk kemudian data tersebut disalin dan ditulis dimasukan ke dalam table hasil pengukuran. Pengumpulan data dilakukan pada bulan Mei – Juli 2019 dan Agustus – Oktober 2021

4.2. Prosedur Penelitian

4.2.1. Tahap Persiapan

Mempersiapkan alat yang digunakan dalam penelitian diantaranya *pH meter*, *Turbidity Meter*, *TSS Meter* dan COD (proses titrasi) . Alat ukur ini digunakan untuk mengukur parameter yang dijadikan target penelitian. Data hasil pengukuran akan dibandingkan (*before and after process*) dengan regulasi PermenLH No. 05 Tahun 2014 dan PP 22 Tahun 2021.

4.2.2. Preparasi Koagulan dan flokulan

Berbagai jenis koagulan dan flokulan yang ada digunakan sebagai pengendapan pada proses pengolahan air limbah laboratorium, merupakan salah satu pertimbangan untuk melakukan proses yang ideal, selain banyak dipasaran dan murah, tidak menimbulkan hasil samping yang membahayakan lingkungan. Tahapan pekerjaanya dengan menimbang (gr) masing masing koagulan dan flokulan dan melarutkan ke dalam air (ml) dengan konsentrasi dan volume tertentu.

Pada penelitian ini kriteria yang menjadi pertimbangan sebagai penentu proses pengendapan (coagulan dan flocculant) adalah :

1. Pemilihan jenis *coagulan* : beberapa jenis *coagulan* yang menjadi pilihan untuk penelitian, selain memang banyak beredar, harga terjangkau dan mudah dalam pengerjaannya serta memiliki hasil samping yang sedikit dan tidak membahayakan lingkungan.
2. Pemilihan jenis flokulan : dua dari beberapa jenis flokulan bersifat flokulan anionik dan flokulan kationik yang digunakan, tujuannya untuk mengikat jenis limbah yang bersifat anionik dan kationik.
3. Dosis atau konsentrasi yang diberikan disesuaikan dengan jenis dan komposisi coagulan dan flokulan yang diberikan dengan perbandingan beragam, karena kemampuan setiap coagulan dan flokulan berbeda beda. Untuk itu akan dilakukan eksperimen mengenai masing masing konsentrasi yang digunakan agar dapat diketahui efisiensi penggunaan coagulan dan flokulan berikut efisiensi penggunaan biaya.

4.2.3. **Kondisi Lingkungan**

Kondisi Lingkungan yang dijadikan pertimbangan dan tolok ukur selama proses eksperimen dilakukan adalah :

1. Pengaturan PH air, dilakukan dengan penambahan asam atau basa dengan range pH tertentu., hal ini cukup penting karena setiap harinya limbah yang masuk memiliki nilai pH cukup beragam, sehingga pengaturan ini harus dilakukan diawal pada saat air limbah masuk ke Bak ke dua untuk selanjutnya masuk ke dalam bak pengendapan. Untuk melakukan penteralan air dari sifat asam atau basah bisa ditentukan dengan menambahkan HCL atau NaOH pada konsentrasi tertentu yang diberikan secara bertahap agar tidak terjadi lonjakan angka yang tinggi dikarenakan sifat dari kedua bahan kimia ini cukup kuat untuk menaikkan atau menurunkan pH air.
2. Proses pengadukan, pengadukan merupakan factor yang sangat penting dan harus diperhitungkan, pembentukan endapan sangat tergantung dari

kecepatan perputaran aliran air (homogenitas) yang dapat menyebabkan terjadinya kejenuhan lokal (sebagai faktor penentu jenis butiran endapan yang terbentuk) ataupun terlalu cepatnya putaran yang akan menyebabkan endapan mempunyai kecenderungan beraksi dan membentuk endapan yang halus yang mengambang sehingga dapat menentukan nilai kekeruhan yang terjadi.

3. Proses pemberian coagulan dan flokulan : pemberian koagulan dan flokulan dilakukan secara bertahap (sedikit demi sedikit) dengan aliran kontinu berbanding lurus dengan proses pengadukan agar endapan yang terbentuk cukup sempurna. Diusahakan proses pemberian coagulan dan flocculant berbanding lurus dengan proses pengadukan, sehingga endapan yang terbentuk sempurna dan cukup stabil.

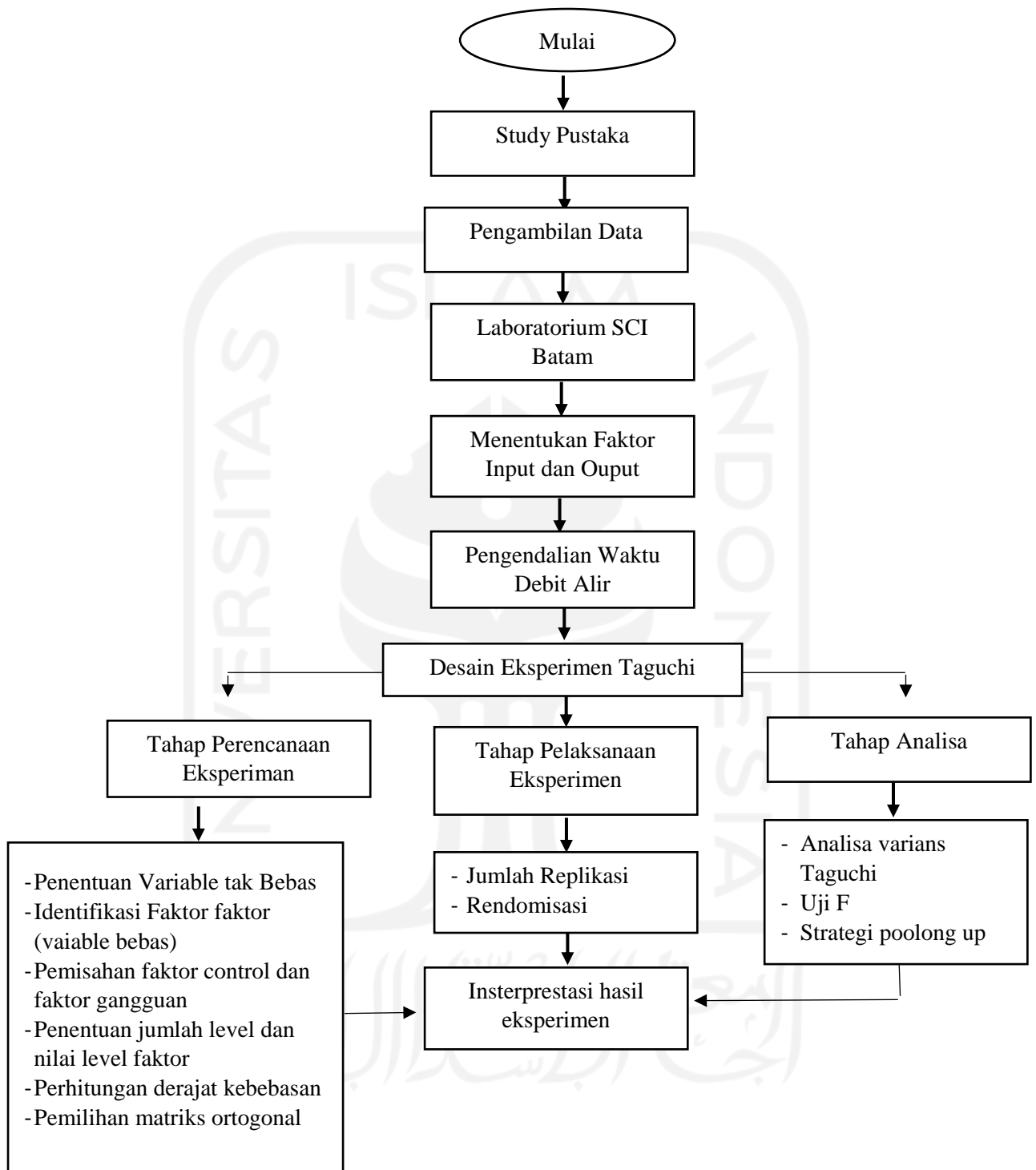
4.3. Perencanaan dan Pelaksanaan Eksperimen

Perencanaan eksperimen merupakan fase penyediaan informasi yang dibutuhkan untuk melakukan eksperimen. Pendekatan penelitian dengan metode kuantitatif ini digunakan untuk menganalisa pengaruh beberapa variabel bebas (*independent variable*) yang digunakan terhadap variabel terikat (*dependent variable*).

Tahapan yang dilakukan dalam fase eksperimen adalah :

4.3.1. Pemilihan karakteristik kualitas yang akan diteliti

Karakteristik kualitas yang akan diukur dalam penelitian ini adalah konsentrasi campuran koagulan dan flokulan, karena air limbah yang baik adalah yang mempunyai konsentrasi koagulan dan flokulan rendah dapat dilihat dari turunnya endapan yang terbentuk.



Gambar 4.1. Flow Chart Inplementasi Penelitian

4.3.2. Identifikasi dan pemilihan faktor-faktor yang mungkin dapat mempengaruhi karakteristik kualitas air buangan. Faktor – faktor yang dilibatkan dalam eksperimen ini terdiri dari 8 faktor kendali berikut :

Tabel 4.1. Level Faktor Kendali

Faktor kendali	A B C		
	Level 1	Level 2	Level 3
1. pH Lingkungan	6	7	8
2. Kons level Koagulant (PAC 1%)	5 ml	10 ml	15 ml
3. Kons level Fluk Kationik (0.2%)	1 ml	2 ml	3 ml
4. Kons level Fluk Anionik (0.2%)	2 ml	3 ml	4 ml
5. Waktu Alir Koagulant	2 ml/mnt	3 ml/mnt	5 ml/ mnt
6. Waktu Alir Flokulan	1 ml/mnt	2 ml/mnt	5 ml/ mnt
7. Kecepatan Mixing	50 rpm	100 rpm	200m

4.3.3. Faktor noise yang timbul adalah busa sabun dari proses pencucian dan minyak dari sisa sampel yang ikut masuk ke dalam IPAL.

Berdasarkan kombinasi level faktor, eksperimen didesain *Orthogonal Array* yang sesuai berdasarkan kombinasi antara Faktor control/ factor kendali dengan level yang ditetapkan maka didapatkan dua puluh tujuh (27) kali percobaan/ eksperimen

Table 4.2. Kombinasi Faktor Kontrol/ Kendali dan Level Faktornya

	Faktor												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Experiment 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Experiment 2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Experiment 3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Experiment 4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
Experiment 5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
Experiment 6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
Experiment 7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
Experiment 8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
Experiment 9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
Experiment 10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Experiment 11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
Experiment 12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Experiment 13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
Experiment 14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
Experiment 15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
Experiment 16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
Experiment 17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
Experiment 18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
Experiment 19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
Experiment 20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
Experiment 21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
Experiment 22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
Experiment 23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
Experiment 24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
Experiment 25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
Experiment 26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
Experiment 27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

Parameter yang diamati adalah persentase penurunan nilai TSS dan COD air limbah. Penelitian ini dilakukan terbagi dalam dua tahap yaitu pemilihan variabel proses dan penentuan dosis optimum variabel proses. Pada pemilihan variabel proses dilakukan penapisan menggunakan rancangan taguchi untuk memperoleh variabel proses yang paling berpengaruh terhadap proses koagulasi flokuasi yang selanjutnya digunakan untuk penentuan dosis optimum variabel proses selanjutnya dilakukan pengujian dosis optimum untuk air limbah. Penelitian dilakukan dengan parameter persentase penurunan nilai TSS dan COD. Metode jarrest digunakan untuk menganalisa keefektifan dari penggunaan flokulan dan koagulan yang digunakan.

Pada pemilihan variabel proses dilakukan penapisan menggunakan rancangan taguchi untuk memperoleh variabel proses yang paling berpengaruh terhadap proses koagulasi flokuasi. Hasil dari pemilihan variabel proses selanjutnya digunakan untuk penentuan dosis optimum variabel proses, pada tahap penentuan kondisi optimum dilakukan percobaan seperti pada tahap pemilihan variabel tapi dalam percobaan ini difokuskan pada tiga variabel proses yang diperoleh pada tahap pemilihan variable pada dosis dan kondisi percobaan yang sama seperti pada tahap pemilihan variabel. Bila pada tahap penentuan dosis optimum ini masih belum diperoleh suatu kondisi optimum yang diharapkan maka percobaan akan dilanjutkan dengan dosis untuk tiga variable proses yang lebih tinggi sampai diperoleh kondisi yang optimum. Penentuan dosis untuk variable proses yang digunakan merujuk pada literatur untuk dosis penggunaan variable proses tersebut. Penelitian ini secara keseluruhan dilakukan dengan parameter TSS dan COD yang selanjutnya akan digunakan untuk penentuan suatu model matematika yang sesuai.

Table 4.3. Hasil *Experiment* dan Pengamatan

Experiment	pH	TSS	COD	Endapan			Air	
				T Turun	Bentuk	Warna	Koloid	Warna
Air Limbah	5.30	276	587	>5	H	MB	BH	CK
1	5.64	13	192,16	>5	H	MB	BH	C
2	5.90	27	117,65	>5	H	MB	BH	C
3	5.40	25	145,10	>5	H	MB	BK	JK

Experiment	pH	TSS	COD	Endapan			Air	
				T Turun	Bentuk	Warna	Koloid	Warna
4	5.77	20	178,43	>5	HM	MB	S	JK
5	6.54	20	137,25	>5	H	A	B	JK
6	5.70	16	137,37	>5	H	A	B	C
7	7.04	12	40,02	<5	F	A	T	J
8	7.34	13	63,08	<5	F	A	S	J
9	6.69	16	94,34	>5	H	A	S	JK
10	7.42	32	143,40	>5	H	A	S	JK
11	7.44	12	124,53	>5	H	A	B	HK
12	7.43	10	132,57	>5	H	MB	BH	HK

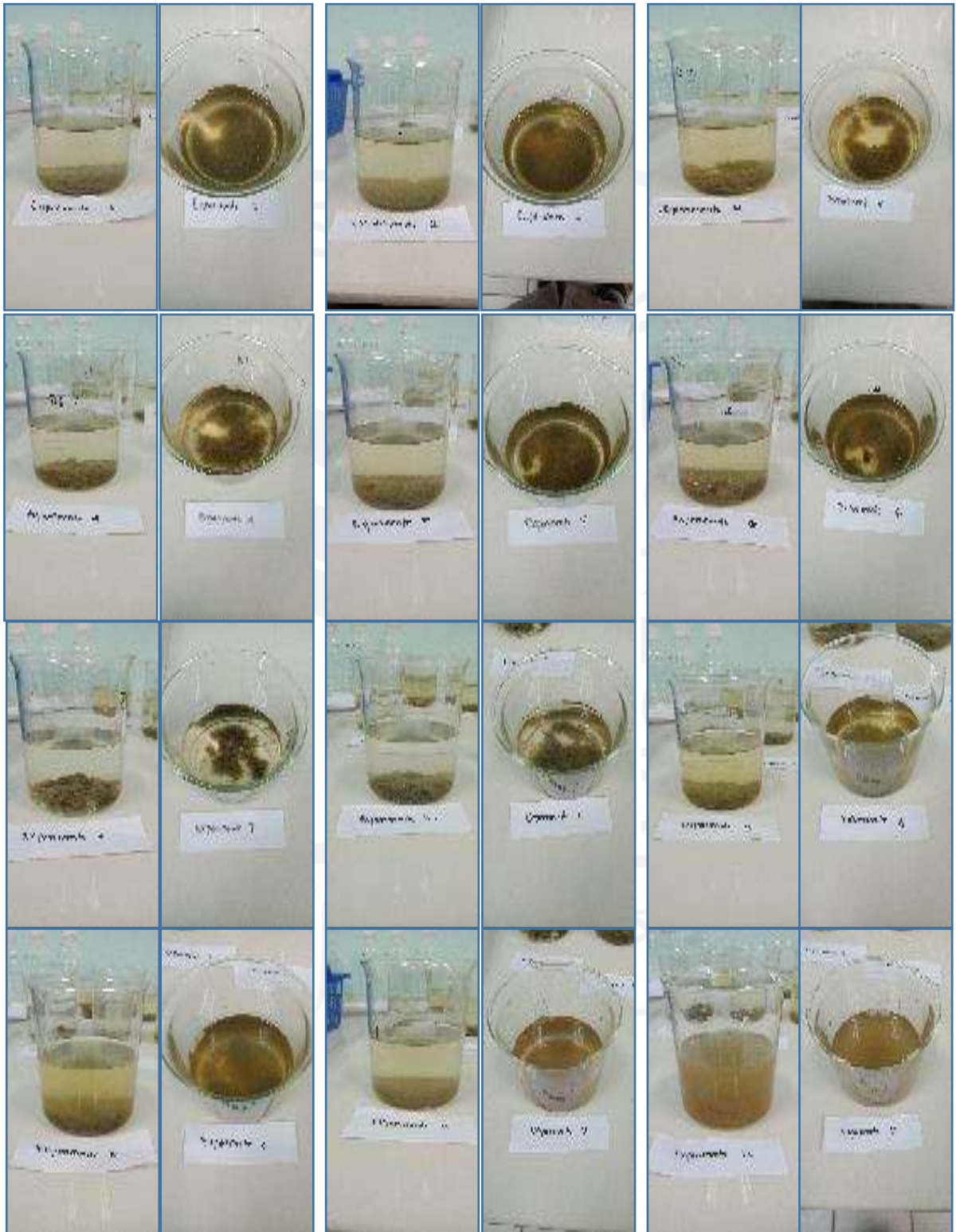
Keterangan :

pH = Power of Oxigent MB = Merah Bata CK = Coklat Keruh
 TSS = Total Suspended Solid A = Abu Abu JK = Jernih Keruh
 COD= Chemicals Oxigent BH = Banyak dan Halus J = Jernih
 Demand
 T Turun = Waktu Endapan Turun BK = Banyak dan Kasar T = Tidak ad
 H = Halus S = Sedikit F = Floke (Kasar Menggumpal)
 HM = Halus Menggumpal B = Banyak HK = Hitam Keruh

Gambar 4.2. Kegiatan *Experiment* Skala Laboratorium



Gambar 4.3. Hasil Eksperimen



4.4. Analisa Hasil Eksperimen

Tahap pengolahan data dilakukan penganalisaan hasil eksperimen secara statistik sehingga diperoleh suatu rancangan parameter yang optimal. Analisa yang dilakukan berdasarkan metode analisa dari Taguchi yang menggunakan *Signal to noise ratio* untuk menentukan rancangan parameter. Prosedur analisa hasil eksperimen dengan metode Taguchi dapat dijelaskan sebagai berikut :

4.4.1. Desain Eksperimen

Disain eksperimen adalah suatu rancangan percobaan sedemikian sehingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan (Sudjana, 1991). Disain eksperimen ditujukan untuk memperoleh atau mengumpulkan informasi sebanyak-banyaknya yang diperlukan dan berguna dalam melakukan penelitian persoalan yang akan dibahas dengan biaya yang minimum. Terdapat dua macam disain eksperimen yaitu disain eksperimen konvensional dan disain eksperimen Taguchi. Disain eksperimen Taguchi bertujuan untuk mendapatkan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon dan interaksinya dengan jumlah eksperimen yang minimal dan memilih level faktor yang terbaik dengan kriteria tertentu sebagai parameter yang optimal. Strategi Taguchi untuk minimasi jumlah eksperimen ditunjukkan oleh contoh eksperimen dengan 7 faktor, 2 level berikut (Ross, 1988)

Tabel 4.4. *Full-Factorial Experiment*

			A1								A2							
			B1				B2				B1				B2			
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2	
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
E1	F1	G1																
		G2																
	F2	G1																
		G2																
E2	F1	G1																
		G2																
	F2	G1																
		G2																

Tabel 4.5. $1/16$ FFE (Fractional-Factorial Experiment)

			A1								A2							
			B1				B2				B1				B2			
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2	
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
E1	F1	G1																
		G2																
	F2	G1																
		G2																
E2	F1	G1																
		G2																
	F2	G1																
		G2																

Berdasarkan Tabel 1. pada *full-factorial experiment* diperlukan $2^7 = 128$ kombinasi level faktor (warna gelap), proses minimasi jumlah eksperimen ditunjukkan oleh tabel 2 yang hanya memerlukan 8 kombinasi level faktor (warna gelap). Berdasarkan tabel 2, dapat disusun Matrik *Orthogonal Array* $L_8(2^7)$ Standar berikut :

Tabel 4.6. Matrik *Orthogonal Array* $L_8(2^7)$ Standar

Trial	Column Number						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Sumber : Belavendram, 1995.

Tabel 4.7. *Orthogonal Array Standar*

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

Sumber : Belavendram, 1995.

4.4.2. Pengolahan Data

Untuk mengidentifikasi kadar COD dan kadar TSS dilakukan eksperimen menggunakan *inner array* L8. Data hasil eksperimen untuk setiap 500 ml sampel dari bak penampungan IPAL, dalam pelaksanaannya sampel diambil dan dimasukkan ke dalam beaker gelas sebanyak 500 ml dalam 4 replikasi dalam setiap percobaan dengan hasil ditunjukkan pada **Tabel 4.8.** berikut :

Tabel 4.8. Data Hasil Pengukuran Kadar COD (mg/l) dan Kadar TSS (mg/l)

Trial	Faktor Kendali							pH				COD				TSS							
	A	B	C	D	E	F	G	Data Hasil Percobaan															
								Replikasi ke				Replikasi ke				Replikasi ke							
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1	1	1	1	1	1	1	1	5,53	5,5	5,42	5,33	196,35	194,23	190,42	190,54	63	65	63	66				
2	1	1	1	1	2	2	2	5,4	5,45	5,52	5,53	117,65	122,25	120,32	115,16	77	76	78	77				
3	1	1	1	1	3	3	3	5,35	5,54	5,48	5,42	147,32	144,18	145,26	142,56	35	34	40	38				
4	1	2	2	2	1	1	1	5,62	5,57	5,53	5,58	138,56	138,24	135,16	140,22	52	50	53	55				
5	1	2	2	2	2	2	2	5,56	5,65	5,52	5,58	156,78	155,56	157,23	154,23	57	54	53	53				
6	1	2	2	2	3	3	3	5,6	5,64	5,54	5,55	140,23	136,23	138,14	135,21	48	47	45	44				
7	1	3	3	3	1	1	1	5,73	5,68	5,78	5,75	143,43	145,21	147,22	143,16	70	74	44	5,75				
8	1	3	3	3	2	2	2	5,7	5,76	5,74	5,78	136,12	138,24	136,88	139,81	38	42	42	38				
9	1	3	3	3	3	3	3	5,83	5,82	5,78	5,77	94,34	94,56	98,12	96,88	46	48	44	45				
10	2	1	2	3	1	2	3	6,9	6,89	7,04	7,02	42,12	40,56	38,32	38,15	12	12	13	11				
11	2	1	2	3	2	3	1	7,1	7,12	7,14	7,09	48,55	47,23	45,95	46,12	24	27	23	28				
12	2	1	2	3	3	1	2	7,12	7,1	7,12	7,11	84,25	82,17	84,51	82,23	13	15	18	12				
13	2	2	3	1	1	2	3	7,19	7,2	7,22	7,23	105,12	108,23	106,25	102,58	17	19	18	18				
14	2	2	3	1	2	3	1	7,23	7,26	7,23	7,25	140,23	145,32	144,25	140,62	37	40	38	42				

Trial	Faktor Kendali							pH				COD				TSS							
	A	B	C	D	E	F	G	Data Hasil Percobaan															
								Replikasi ke				Replikasi ke				Replikasi ke							
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
15	2	2	3	1	3	1	2	7,23	7,25	7,26	7,24	112,32	114,21	108,56	108,32	27	26	27	28				
16	2	3	1	2	1	2	3	7,27	7,27	7,28	7,3	104,23	106,12	108,21	105,65	33	32	30	35				
17	2	3	1	2	2	3	1	7,42	7,38	7,4	7,45	130,24	133,25	133,32	130,9	42	38	39	41				
18	2	3	1	2	3	1	2	7,43	7,45	7,38	7,4	125,62	124,23	122,36	121,35	46	42	48	44				
19	3	1	3	2	1	3	2	8,07	8,1	8,06	8,02	122,47	125,32	120,65	122,32	68	65	70	72				
20	3	1	3	2	2	1	3	8,12	8,1	8,08	8,06	126,32	124,65	126,54	130,25	55	53	54	56				
21	3	1	3	2	3	2	1	8,14	8,12	8,1	8,13	160,21	158,22	162,38	156,38	88	86	87	90				
22	3	2	1	3	1	3	2	8,19	8,16	8,17	8,15	126,84	130,25	127,14	126,52	47	48	46	50				
23	3	2	1	3	2	1	3	8,24	8,22	8,23	8,2	125,33	124,85	126,12	125,24	67	70	64	66				
24	3	2	1	3	3	2	1	8,32	8,34	8,3	8,34	167,23	165,21	166,84	168,42	90	92	87	88				
25	3	3	2	1	1	3	2	8,38	8,4	8,42	8,4	120,42	118,25	117,56	120,16	54	58	50	55				
26	3	3	2	1	2	1	3	8,42	8,41	8,43	8,45	126,32	125,32	124,32	126,32	58	56	54	53				
27	3	3	2	1	3	2	1	8,51	8,49	8,5	8,53	152,23	146,23	148,23	148,28	80	74	83	83				

الجامعة الإسلامية
الاستاذ الدكتور

Berdasarkan data hasil eksperimen, untuk menentukan kombinasi level faktor yang menghasilkan kualitas limbah cair laboratorium yang optimal (berdasarkan kadar COD dan TSS) dilakukan langkah-langkah berikut :

4.4.2.1. Uji Normalitas Data

Tujuan dari dilakukan uji normalitas data adalah untuk mengetahui, apakah data tersebut normal atau tidak normal, normal disini memiliki arti bahwa data yang ada tersebar/terdistribusi secara normal. Jadi uji normalitas pada dasarnya melakukan perbandingan antara data Empirik(observed) dengan data yang memiliki mean dan standard deviasi yang sama dengan data harapan(expected).

Distribusi normal adalah distribusi yang bentuknya seperti lonceng terbalik. Misalnya distribusi kecerdasan (IQ). Jika distribusi IQ berbentuk normal maka orang yang memiliki IQ sedang-sedang saja jumlahnya banyak.

A. Dengan Metode Minitab (Uji Chi-Square)

Langkah-langkah uji normalitas data sebagai berikut :

- i. Hipotesis :
 H_0 : Data berdistribusi Normal
 H_1 : Data tidak berdistribusi normal
- ii. Tingkat Signifikansi
 $\alpha = 0.05$
- iii. Daerah Kritis
Tolak H_0 jika $P\text{value} < \alpha$ atau
Tolak H_0 jika $X^2 \text{ hit} \geq X^2 \text{ table}$
- iv. Statistik uji

Tabel 4.9. Uji Chi-Square

Test Statistics	
	Kategori pH
Chi-Square	0.670 ^a
Df	4
Asymp. Sig.	0.955

a. 2 cells (40,0%) have expected frequencies less than 5.
The minimum expected cell frequency is 2,2.

Test Statistics

Kategori TSS	
Chi-Square	0.948 ^a
df	4
Asymp. Sig.	0.918

2 cells (40,0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 2,2.

Test Statistics

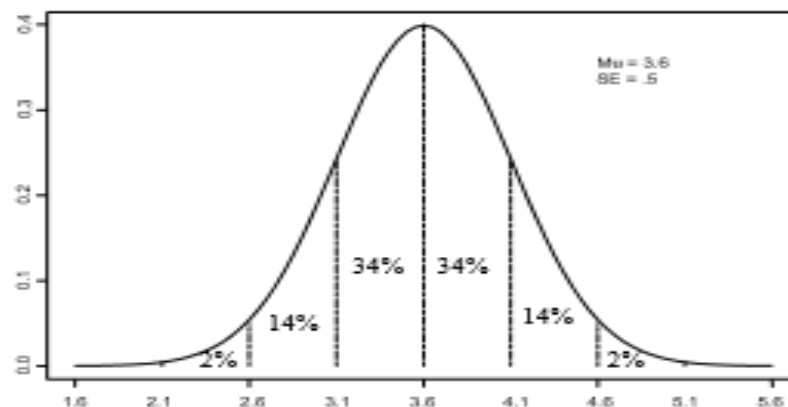
Kategori COD	
Chi-Square	0.030 ^a
df	4
Asymp. Sig.	1.000

a. 2 cells (40,0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 2,2.

- v. Keputusan
Pvalue_{pH} (0.955) > α (0.05), maka keputusan Gagal Tolak H₀
Pvalue_{TSS} (0.918) > α (0.05), maka keputusan Gagal Tolak H₀
Pvalue_{COD} (1.000) > α (0.05), maka keputusan Gagal Tolak H₀
- vi. Kesimpulan
Dengan menggunakan tingkat kepercayaan sebesar 95% maka keputusan menunjukkan gagal tolak H₀ atau dengan kata lain data pH, TSS dan COD berdistribusi normal Chi Square

B. Uji Normalitas Menggunakan SPSS

1. Menentukan kategori skor berdasarkan kurva normal



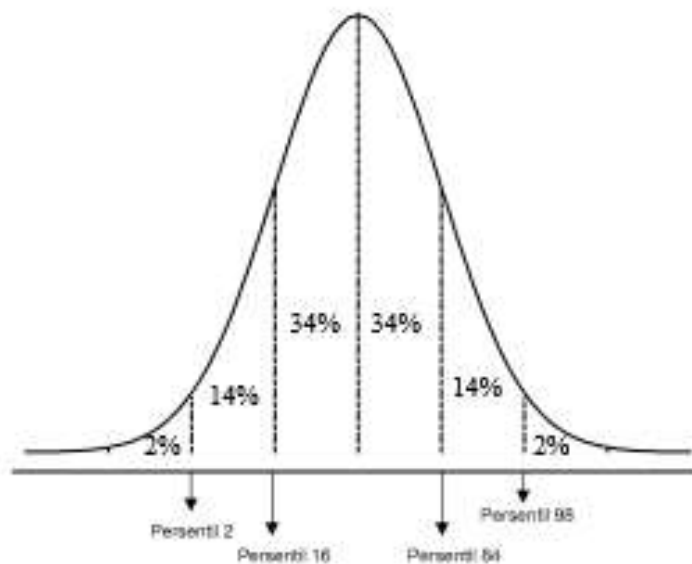
Gambar 4.4 Kurva Norma Ideal

Gambar 4.4. adalah gambar kurval normal yang ideal. Dari gambar diatas maka kategori skor yang dapat dibuat adalah sebagai berikut :

Tabel 4.10 Katagori/ acuan Uji Data

Kategori	Jumlah
Sangat Rendah	2%
Rendah	14%
Sedang	68%
Tinggi	14%
Sangat Tinggi	2%
	100%

Kategori pada tabel diatas kita pakai sebagai acuan untuk menguji apakah data kita berdistribusi normal atau tidak. Karena tabel diatas berisi 5 kategori, maka data kita nantinya perlu kita sederhanakan menjadi 5 kategori. Teknik pengkategorian data yang digunakan adalah pengkategorian berdasarkan persentil



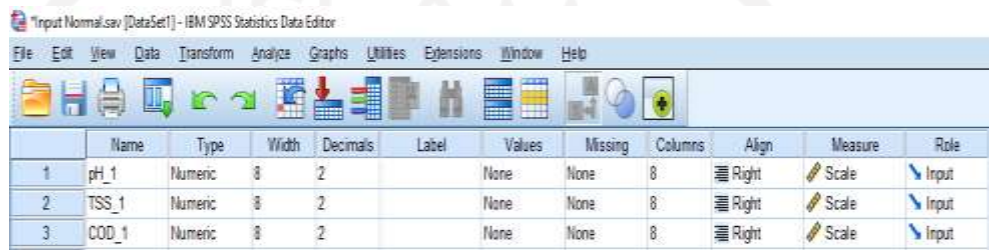
Gambar 4.5 Nilai Persentil pada Kurva Distribusi Normal

Ada 4 nilai persentil yang dipakau untuk mengkategorikan, yaitu persentil 2, 16, 84 dan 98. Maka kita harus mengetahui dulu berapa skor yang berada di masing-masing persentnil sebelum dibuat kategori.

Tahap 1. Membuat Kriteria Kategori Skor

Kita akan mencari nilai pada 4 jenis persentil yaitu persentil 2, 16 84 dan 98.

- Buka SPSS
- Klik variable Variable View dibagian bawah kiri untuk membuat nama variable dari data



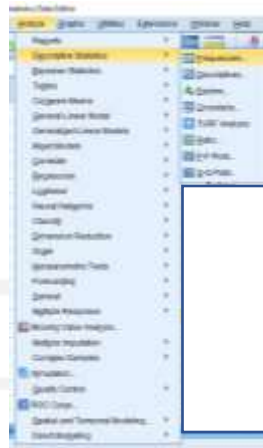
- Kemudian klik Data view yang berada disamping variable view, Input data replikasi dari Ph kedalam 1 kolom ke SPSS, begitu juga untuk data replikasi TSS dan COD

The image shows two side-by-side screenshots of the SPSS Data View window. Both show a single column labeled 'pH_1'. The left screenshot shows rows 1 through 22 with values ranging from 5.53 to 8.19. The right screenshot shows rows 88 through 108 with values ranging from 5.75 to 8.53.

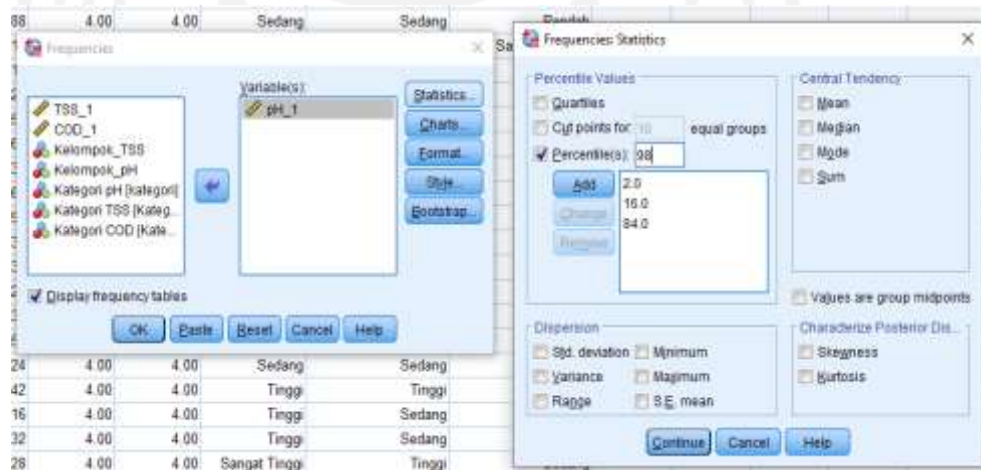
Row	pH_1
1	5.53
2	5.40
3	5.35
4	5.62
5	5.56
6	5.60
7	5.73
8	5.70
9	5.83
10	6.90
11	7.10
12	7.12
13	7.19
14	7.23
15	7.23
16	7.27
17	7.42
18	7.43
19	8.07
20	8.12
21	8.14
22	8.19
88	5.75
89	5.78
90	5.77
91	7.02
92	7.09
93	7.11
94	7.23
95	7.25
96	7.24
97	7.30
98	7.45
99	7.40
100	8.02
101	8.06
102	8.13
103	8.15
104	8.20
105	8.34
106	8.40
107	8.45
108	8.53

- Tekan analyze – Descriptive statistics – frequency

...



- Masukkan data yang akan dikategorikan kedalam Variable(s):, kemudian klik statistics, centang percentile terus masukkan nilai percentile yang sudah ditentukan tadi yaitu 2, 16, 84 dan 98 dengan cara masukkan nilai percentile lalu klik “Add” → Continue



- Didapatkan hasil kategorik sebagai berikut

Statistics

pH_1		
N	Valid	108
	Missing	0
Percentiles	2	5.3590
	16	5.5644
	84	8.2356
	98	8.5082

Artinya pada data Anda skor 5.3590 (dibulatkan menjadi 5.36) adalah data sangat rendah, kemudian 5.37 sampai 5.56 adalah data rendah. Yang apabila disusun menjadi

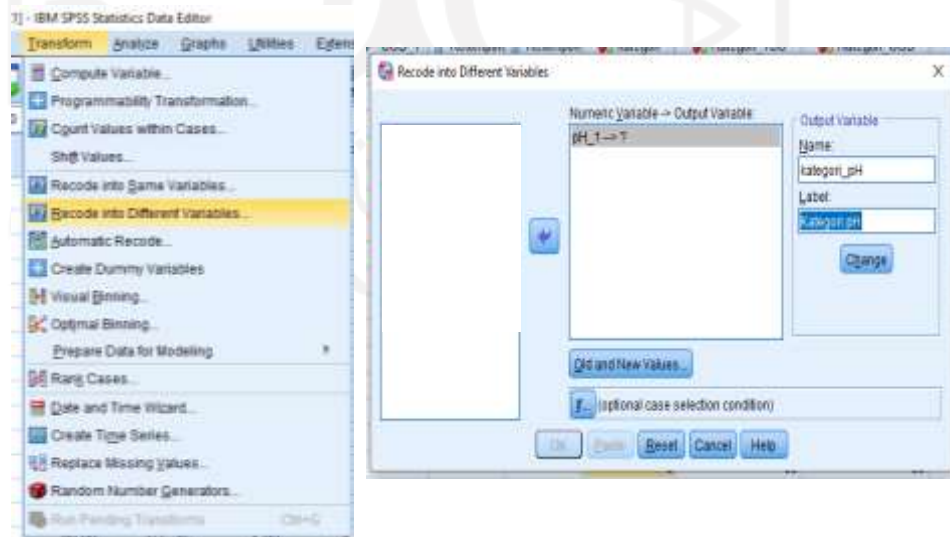
Tabel. 4.11 Katagori Score

kode pH			kode TSS			kode COD		
Kategori	Jumlah	Kode	Kategori	Jumlah	Kode	Kategori	Jumlah	Kode
Sangat Rendah	≤ 5.36	1	Sangat Rendah	≤ 11.25	1	Sangat Rendah	≤ 38.72	1
Rendah	$5.37 < x < 5.56$	2	Rendah	$11.50 < x < 27.25$	2	Rendah	$38.73 < x < 103.31$	2
Sedang	$5.57 < x < 8.24$	3	Sedang	$27.50 < x < 73.25$	3	Sedang	$103.32 < x < 150.50$	3
Tinggi	$8.25 < x < 8.51$	4	Tinggi	$73.50 < x < 90.25$	4	Tinggi	$150.51 < x < 193.57$	4
Sangat Tinggi	$>= 8.52$	5	Sangat Tinggi	$>= 90.50$	5	Sangat Tinggi	$>= 193.58$	5

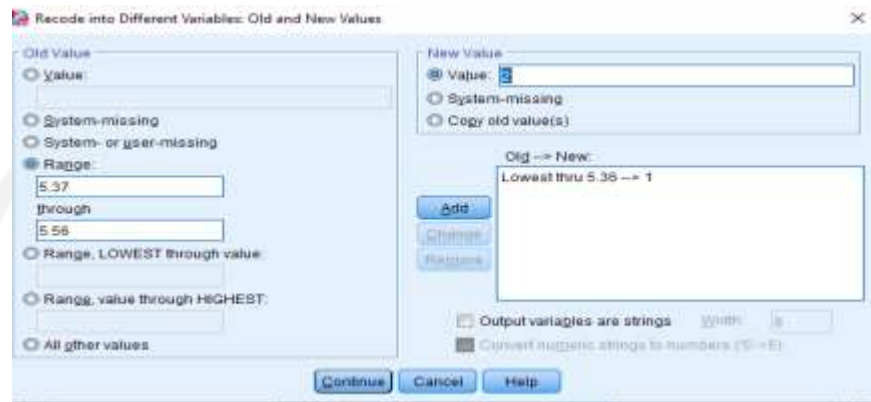
Tahap 2 Mengubah Kode Berdasarkan kriteria

Mengubah Jumlah menjadi kode berdasarkan kriteria kategori yang telah dibuat. Misal untuk Ph, semua skor 5.36 kebawah di “Range, *LOWEST through value:*” kita kode menjadi angka 1 di kolom *value* kemudian klik Add, semua skor diantara 5.37 sampai 5.56 diletakkan di *Range* kita kode menjadi 2 dikolom *value*, kemudian klik Add dan seterusnya.

- Tekan transform – recode into different variables, masukkan variable Ph kedalam numeric variable, pada kotak name tulis “kategori_pH”, kemudian klik Change



- Kemudian klik *Old and New Values*, masukkan angka range sesuai dengan yang sudah kita olah, setelah sudah dimasukkan semua range untuk parameter pH, kemudian klik continue → Ok



- Hasil dari pengkategorian yaitu didapatkan variable baru dengan nama kategori_pH

pH_1	TSS_1	COD_1	Kelompok TSS	Kelompok pH	kategori_pH
5.53	63.00	196.35	1.00	1.00	2.00
5.40	77.00	117.65	1.00	1.00	2.00
5.35	35.00	147.32	1.00	1.00	1.00
5.62	52.00	138.56	1.00	1.00	3.00
5.56	57.00	156.78	1.00	1.00	2.00
5.60	48.00	140.23	1.00	1.00	3.00
5.73	70.00	143.43	1.00	1.00	3.00
5.70	38.00	136.12	1.00	1.00	3.00
5.83	46.00	94.34	1.00	1.00	3.00
6.90	12.00	42.12	1.00	1.00	3.00
7.10	24.00	48.55	1.00	1.00	3.00
7.12	13.00	84.25	1.00	1.00	3.00
7.19	17.00	105.12	1.00	1.00	3.00
7.23	37.00	140.23	1.00	1.00	3.00
7.23	27.00	112.32	1.00	1.00	3.00
7.27	33.00	104.23	1.00	1.00	3.00
7.42	42.00	130.24	1.00	1.00	3.00
7.43	46.00	125.62	1.00	1.00	3.00
8.07	68.00	122.47	1.00	1.00	3.00
8.12	55.00	126.32	1.00	1.00	3.00
8.14	88.00	160.21	1.00	1.00	3.00
8.19	47.00	126.84	1.00	1.00	3.00

- Cara yang sama juga dilakukan untuk membuat kategori parameter TSS dan COD, peneliti telah membuat dengan nama Kategori_TSS dan kategori_COD

kategori_pH	Kategori_TSS	Kategori_COD
2.00	3.00	5.00
2.00	4.00	3.00
1.00	3.00	3.00
3.00	3.00	3.00
2.00	3.00	4.00
3.00	3.00	3.00
3.00	3.00	3.00
3.00	3.00	3.00
3.00	3.00	2.00
3.00	2.00	2.00
3.00	2.00	2.00
3.00	2.00	2.00
3.00	2.00	3.00
3.00	3.00	3.00
3.00	2.00	3.00
3.00	3.00	3.00
3.00	3.00	3.00
3.00	3.00	3.00
3.00	3.00	3.00
3.00	3.00	3.00
3.00	4.00	4.00
3.00	3.00	3.00

Masuk ketahap menguji normalitas data

- Pengujian chis quare adalah membandingkan antara expected dan observed. Kita sudah memiliki data observed yaitu kode dari masing-masing parameter, langkah selanjutnya adalah mencari data expected.
- Tabel dibawah ini merupakan data yang bersifat normal yang didalamnya terdapat 2% ada pada kategori sangat rendah dan 14% pada kategori rendah dan seterusnya dan perlu dilakukan adalah mengalikan tiap persentase yang ada dengan jumlah sampel yaitu 108.

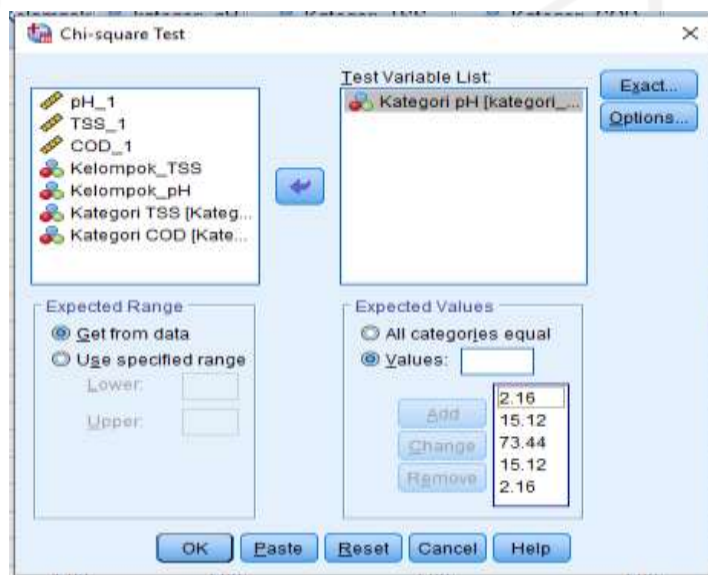
Table 4.12. Pengujian Chis Quare

Katagori	Persentase	N =	108
Sangat Rendah	2%	2.16	
Rendah	14%	15.12	
Sedang	68%	73.44	
Tinggi	14%	15.12	
Sangat Tinggi	2%	2.16	
TOTAL	100%		

- Tabel diatas merupakan expected value untuk masing-masing kategori, yaitu 2.16, 15.12, 73.44, 15.12 dan 2.16

Tahap 3. Pengujian Normalitas

- Tekan Analyze – Non parametric text – Legacy Dialog-Chi Square
- Masukkan kategori_pH kedalam Test Variable List
- Masukkan secara berurutan angka expected list 2.16, 15.12, 73.44, 15.12 dan 2.16 kedalam kolom Values kemudian klik Add, lalu klik Ok



- Didapatkan hasil Uji normalitas Chis Square seperti tabel dibawa

Table 4.13 Uji Test Normalitas Chis Square

Test Statistics

	Kategori pH
Chi-Square	0.670 ^a
Df	4
Asymp. Sig.	0.955

a. 2 cells (40.0%) have expected frequencies less than 5.

The minimum expected cell frequency is 2.2.

- Lakukan hal yang sama untuk variable Kategori_TSS dan Kategori_COD.

4.4.2.2 Uji Homogenitas

A. Dengan Menggunakan Minitab (Uji Bartlett)

Pengujian K buah ($k > 2$) variansi populasi normal dilakukan dengan menggunakan uji Bartlett.

- i. Hipotesis :
 H_0 : Data Hasil eksperimen homogen
 H_1 : Data Hasil eksperimen tidak homogen
- ii. Tingkat Signifikansi
 $\alpha = 0.05$
- iii. Daerah Kritis
Tolak H_0 jika $P\text{value} < \alpha$ atau
- iv. Statistik Uji

Tabel 4.14. Homogenitas

Homogenitas Nilai pH

Test Results	
Box's M	.008
F	Approx. .003
	df1 3
	df2 19468.800
	Sig. 1.000

Tests null hypothesis of equal population covariance matrices.

Homogenitas Nilai TSS

Test Results	
Box's M	.306
F	Approx. .100
	df1 3
	df2 19468.800
	Sig. .960

Tests null hypothesis of equal population covariance matrices.

Homogenitas Nilai COD

Test Results	
Box's M	.003
F	Approx. .001
	df1 3
	df2 19468.800
	Sig. 1.000

Tests null hypothesis of equal population covariance matrices.

v. Keputusan

$P_{\text{value}_{\text{pH}}} (1.000) > \alpha(0.05)$, maka keputusan Gagal Tolak H_0

$P_{\text{value}_{\text{TSS}}} (0.960) > \alpha(0.05)$, maka keputusan Gagal Tolak H_0

$P_{\text{value}_{\text{COD}}} (1.000) > \alpha(0.05)$, maka keputusan Gagal Tolak H_0 .

vi. Kesimpulan

Dengan menggunakan tingkat kepercayaan sebesar 95% maka keputusan menunjukkan gagal tolak H_0 atau dengan kata lain data hasil eksperimen pH, TSS dan COD Homogen

B. Dengan Menggunakan SPSS

Uji homogenitas Bartlett dengan SPSS dapat dilakukan dengan prosedur Classify Determinant atau yang biasa disebut dengan Box's M.

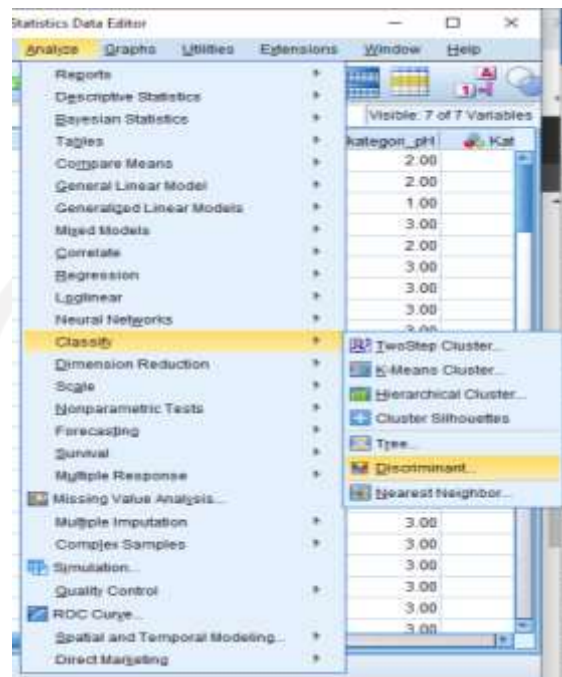
Langkah-langkahnya :

- Kelompokkan Data set replica pH menjadi 4 kelompok berdasarkan urutan replikanya.
- Klik Variable View, tambahkan variable kelompok_replikasi berdasarkan replica
- Klik Data view, pada kolom kelompok ketikkan angka 1 untuk kelompok replikasi 1, angka 2 untuk kelompok replikasi 2 dan ulangi sampai kelompok replikasi ke 4

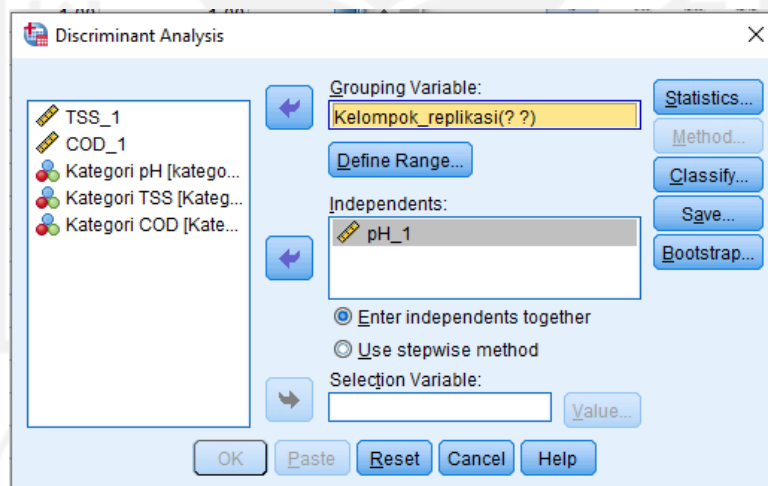
	pH_1	TSS_1	COD_1	Kelompok_replikasi
1	5.53	63.00	156.35	1.00
2	5.48	77.00	117.65	1.00
3	5.35	35.00	147.32	1.00
4	5.62	52.00	138.56	1.00
5	5.56	57.00	156.78	1.00
6	5.60	48.00	140.23	1.00
7	5.73	70.00	143.43	1.00
8	5.70	38.00	136.12	1.00
9	5.83	46.00	94.34	1.00
10	6.90	12.00	42.12	1.00
11	7.10	24.00	48.55	1.00
12	7.12	13.00	84.25	1.00
13	7.19	17.00	105.12	1.00
14	7.23	37.00	140.23	1.00
15	7.23	27.00	112.32	1.00
16	7.27	33.00	104.23	1.00
17	7.42	42.00	130.24	1.00
18	7.43	46.00	125.52	1.00
19	8.07	69.00	122.47	1.00
20	8.12	55.00	126.32	1.00
21	8.14	89.00	160.21	1.00
22	8.19	47.00	126.84	1.00
23	8.24	67.00	125.11	1.00

	pH_1	TSS_1	COD_1	Kelompok_replikasi
87	5.55	44.00	135.21	4.00
88	5.75	5.75	143.96	4.00
89	5.78	36.00	139.81	4.00
90	5.77	45.00	96.88	4.00
91	7.02	11.00	38.15	4.00
92	7.09	28.00	46.12	4.00
93	7.11	12.00	82.23	4.00
94	7.23	18.00	102.58	4.00
95	7.25	42.00	140.62	4.00
96	7.24	28.00	108.32	4.00
97	7.30	35.00	105.65	4.00
98	7.45	41.00	130.98	4.00
99	7.40	44.00	121.35	4.00
100	8.02	72.00	122.32	4.00
101	8.06	56.00	130.25	4.00
102	8.13	30.00	156.38	4.00
103	8.15	50.00	125.52	4.00
104	8.20	66.00	125.24	4.00
105	8.34	88.00	168.42	4.00
106	8.40	55.00	120.16	4.00
107	8.45	53.00	126.32	4.00
108	8.53	83.00	148.28	4.00

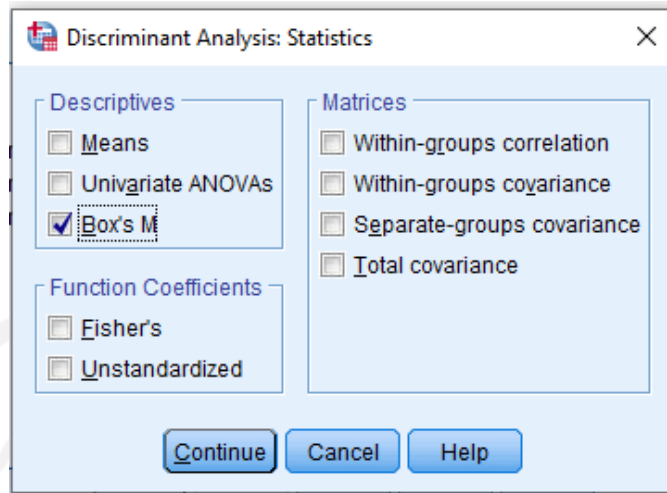
- Klik Analyze- Classify – Klik Determinant



- Kemudian akan muncul dialog box sebagai berikut:



- Pindahkan variable kelompok_replikasi ke kolo Grouping variable dan pindahkan variable pH_1 ke kolom independent, kemudian Klik Define Range, masukkan angk1 ke kolom minimum dan angka 4 ke kolom maksimum
- Kemudian klik statistics, centang pilihan Box's M → klik continue → klik OK.



- Maka didapatkan output sebagai berikut

Test Results

Box's M		.008
F	Approx.	.003
	df1	3
	df2	19468.800
	Sig.	1.000

Tests null hypothesis of equal population covariance matrices.

- Langkah yang sama juga dilakukan untuk variable TSS dan COD terhadap kelompok_replikasi.
- a. Berdasarkan jumlah data eksperimen yang besar $n = 108 > n = 30$, maka dapat diasumsikan data kadar pH, COD dan kadar TSS berdistribusi normal, karena memiliki $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$

4.4.2.3. Uji ANOVA (Metode Minitab)

1. Input data dengan perulangan secara vertical untuk setiap replikasi

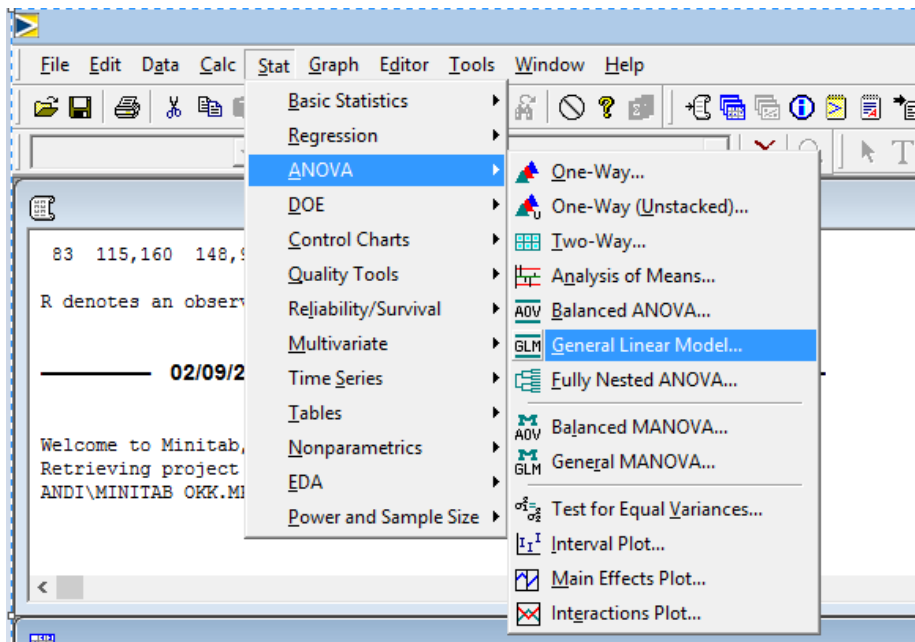
Tabel. 4.15 Input Data

A	B	C	D	E	F	G	pH
1	1	1	1	1	1	1	5,53
1	1	1	1	2	2	2	5,4
1	1	1	1	3	3	3	5,35
1	2	2	2	1	1	1	5,62
1	2	2	2	2	2	2	5,56
1	2	2	2	3	3	3	5,6
1	3	3	3	1	1	1	5,73
1	3	3	3	2	2	2	5,7
1	3	3	3	3	3	3	5,83
2	1	2	3	1	2	3	6,9
2	1	2	3	2	3	1	7,1
2	1	2	3	3	1	2	7,12
2	2	3	1	1	2	3	7,19
2	2	3	1	2	3	1	7,23
2	2	3	1	3	1	2	7,23
2	3	1	2	1	2	3	7,27
2	3	1	2	2	3	1	7,42
2	3	1	2	3	1	2	7,43
3	1	3	2	1	3	2	8,07
3	1	3	2	2	1	3	8,12
3	1	3	2	3	2	1	8,14
3	2	1	3	1	3	2	8,19
3	2	1	3	2	1	3	8,24
3	2	1	3	3	2	1	8,32
3	3	2	1	1	3	2	8,38
3	3	2	1	2	1	3	8,42
3	3	2	1	3	2	1	8,51
1	1	1	1	1	1	1	5,50
1	1	1	1	2	2	2	5,45
1	1	1	1	3	3	3	5,54
1	2	2	2	1	1	1	5,57
1	2	2	2	2	2	2	5,65
1	2	2	2	3	3	3	5,64
1	3	3	3	1	1	1	5,68
1	3	3	3	2	2	2	5,76
1	3	3	3	3	3	3	5,82
2	1	2	3	1	2	3	6,89
..... dst							

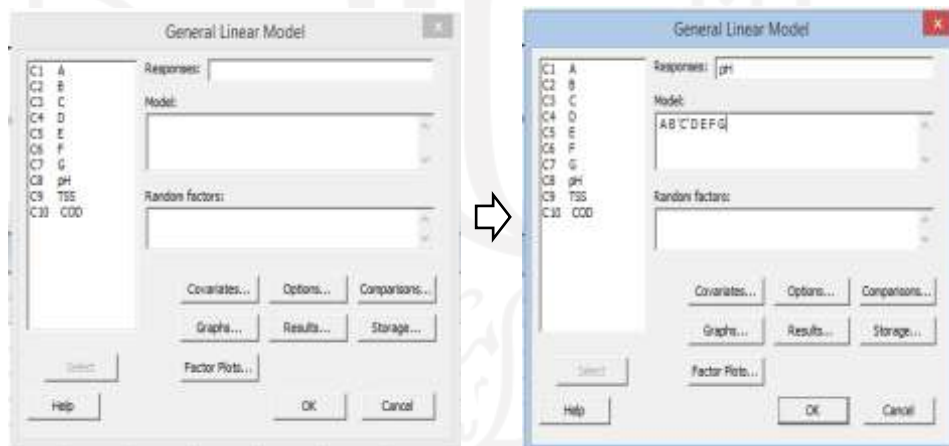
Replika 1

Replika 2

2. Untuk analisis klik pada menu bar **stat > ANOVA > General Linier Model**



3. Masukkan C8 (pH) ke dalam kolom response dan masukkan C1-C7 (faktor) ke dalam kolom model dengan cara klik **select**



4. Kemudian klik **OK** dan muncul hasilnya Anova seperti dibawah ini :

General Linear Model: pH versus A; B; C; D; E; F; G

Factor	Type	Levels	Values
A	fixed	3	1; 2; 3
B	fixed	3	1; 2; 3
C	fixed	3	1; 2; 3
D	fixed	3	1; 2; 3
E	fixed	3	1; 2; 3
F	fixed	3	1; 2; 3
G	fixed	3	1; 2; 3

Analysis of Variance for pH, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	129,4505	129,4505	64,7253	36224,16	0,000
B	2	1,8641	1,8641	0,9321	521,64	0,000
C	2	0,0013	0,0013	0,0006	0,35	0,704
D	2	0,0195	0,0195	0,0097	5,44	0,006
E	2	0,1186	0,1186	0,0593	33,19	0,000
F	2	0,0009	0,0009	0,0004	0,25	0,780
G	2	0,0467	0,0467	0,0234	13,08	0,000
Error	93	0,1662	0,1662	0,0018		
Total	107	131,6678				

S = 0,0422705 R-Sq = 99,87% R-Sq(adj) = 99,85%

Unusual Observations for pH

Obs	pH	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	5,53000	5,44278	0,01575	0,08722	2,22 R
3	5,35000	5,46778	0,01575	-0,11778	-3,00 R
10	6,90000	6,99194	0,01575	-0,09194	-2,34 R
37	6,89000	6,99194	0,01575	-0,10194	-2,60 R

5. Langkah tersebut sama untuk TSS dan COD

Interprestasi

pH

Tabel. 4.16 Analisa variansi untuk pH

Analysis of Variance for pH, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	129,4505	129,4505	64,7253	36224,16	0,000
B	2	1,8641	1,8641	0,9321	521,64	0,000
C	2	0,0013	0,0013	0,0006	0,35	0,704
D	2	0,0195	0,0195	0,0097	5,44	0,006
E	2	0,1186	0,1186	0,0593	33,19	0,000
F	2	0,0009	0,0009	0,0004	0,25	0,780
G	2	0,0467	0,0467	0,0234	13,08	0,000
Error	93	0,1662	0,1662	0,0018		
Total	107	131,6678				

Berdasarkan hasil ANOVA yang didapatkan menunjukkan bahwa terdapat 5 faktor berpengaruh signifikan terhadap penggunaan PAC sebagai koagulant pada proses pengolahan limbah cair laboratorium untuk menetralkan pH yaitu Faktor A (pH Proses Pengendapan), Faktor B (Volume Koagulant (PAC 1%)), Faktor C dan Faktor D (Volume Konsentrasi Flokulan Anionik dan kationik 0.2%), Faktor E (Waktu Alir Koagulant, F (Waktu Alir Flokulan) dan Faktor G (Kecepatan Mixing rpm).

TSS

Tabel. 4.17 Analisa variansi untuk TSS

Analysis of Variance for TSS, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	27682,7	27682,7	13841,4	178,37	0,000
B	2	0,0	0,0	0,0	0,00	1,000
C	2	2538,8	2538,8	1269,4	16,36	0,000
D	2	1930,2	1930,2	965,1	12,44	0,000
E	2	1291,0	1291,0	645,5	8,32	0,000
F	2	1781,4	1781,4	890,7	11,48	0,000
G	2	5752,8	5752,8	2876,4	37,07	0,000
Error	93	7216,5	7216,5	77,6		

Berdasarkan hasil ANOVA yang didapatkan menunjukkan bahwa terdapat 7 faktor berpengaruh signifikan terhadap penggunaan PAC sebagai koagulant pada proses pengolahan limbah cair laboratorium untuk TSS yaitu Faktor A (pH Proses Pengendapan), Faktor B (Volume Koagulant (PAC 1%)), Faktor C dan Faktor D (Volume Konsentrasi Flokulan Anionik dan kationik 0.2%), Faktor E (Waktu Alir Koagulant, F (Waktu Alir Flokulan) dan Faktor G (Kecepatan Mixing rpm).

COD

Tabel. 4.18 Analisa variansi untuk COD

Analysis of Variance for COD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	37565,2	37565,2	18782,6	104,48	0,000
B	2	6830,7	6830,7	3415,3	19,00	0,000
C	2	13392,1	13392,1	6696,0	37,25	0,000
D	2	16630,2	16630,2	8315,1	46,26	0,000
E	2	1363,4	1363,4	681,7	3,79	0,026
F	2	2410,8	2410,8	1205,4	6,71	0,002
G	2	16040,0	16040,0	8020,0	44,61	0,000
Error	93	16718,0	16718,0	179,8		
Total	107	110950,4				

Berdasarkan hasil ANOVA yang didapatkan menunjukkan bahwa terdapat semua faktor berpengaruh signifikan terhadap penggunaan PAC sebagai koagulan pada proses pengolahan limbah cair laboratorium untuk COD yaitu Faktor A (pH Proses Pengendapan), Faktor B (Volume Koagulant (PAC 1%)), Faktor C dan Faktor D (Volume Konsentrasi Flokulan Anionik dan kationik 0.2%), Faktor E (Waktu Alir Koagulant, F (Waktu Alir Flokulan) dan Faktor G (Kecepatan Mixing rpm).

4.4.2.4 S/N Ratio

Penentuan S/N Ratio untuk variabel respon kadar, pH COD dan kadar TSS di kelola dengan menggunakan metode minitab berikut :

1. Input Data di Minitab

Tabel. 4.19. Data Input

C1	C2-T	C3-T	C4-T	C5-T	C6-T	C7-T	C8	C9	C10	C11
A	B	C	D	E	F	G	pH-1	pH-2	pH-3	pH-4
6	5ml	1ml	2ml	2ml/mt	1ml/mt	50rpm	5,53	5,50	5,42	5,33
6	5ml	1ml	2ml	3ml/mt	2ml/mt	100rpm	5,40	5,45	5,52	5,53
6	5ml	1ml	2ml	5ml/mt	5ml/mt	200rpm	5,35	5,54	5,48	5,42
6	10ml	2ml	3ml	2ml/mt	1ml/mt	50rpm	5,62	5,57	5,53	5,58
6	10ml	2ml	3ml	3ml/mt	2ml/mt	100rpm	5,56	5,65	5,52	5,58
6	10ml	2ml	3ml	5ml/mt	5ml/mt	200rpm	5,60	5,64	5,54	5,55
6	15ml	3ml	4ml	2ml/mt	1ml/mt	50rpm	5,73	5,68	5,78	5,75
6	15ml	3ml	4ml	3ml/mt	2ml/mt	100rpm	5,70	5,76	5,74	5,78
6	15ml	3ml	4ml	5ml/mt	5ml/mt	200rpm	5,83	5,82	5,78	5,77

2. Melakukan analisis menggunakan metode taguchi dengan cara klik

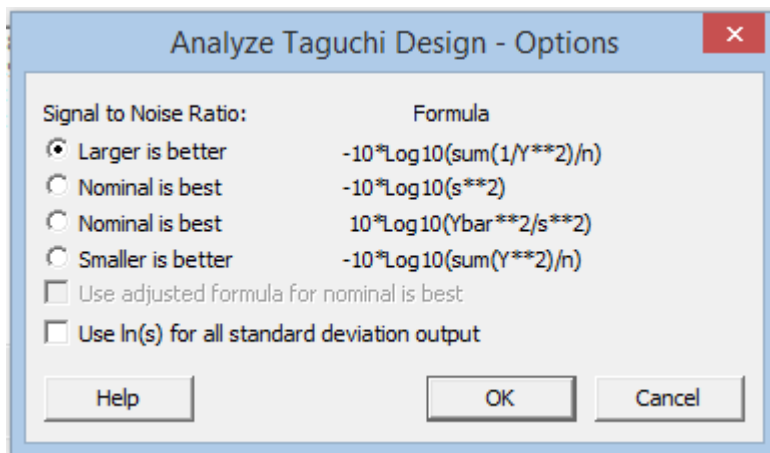
The screenshot shows the Minitab software interface. The 'Stat' menu is open, and the path 'Stat > DOE > Taguchi > Analyze Taguchi Design...' is highlighted. Blue callouts are present: '1' points to the 'Taguchi' sub-menu, '2' points to the 'Analyze Taguchi Design...' option, and '3' points to the 'Analyze Taguchi Design...' option in the sub-menu. Below the menu, a worksheet titled 'Worksheet 1 ***' is visible, containing a table of experimental data.

	C1	C2-T	C3-T	C4-T	C5-T	C6-T	C7-T	C8	C9	C10	C11
	A	B	C	D	E	F	G	pH-1	pH-2	pH-3	pH-4
1	6	5ml	1ml	2ml	2ml/mt	1ml/mt	50rpm	5,53	5,50	5,42	5,33
2	6	5ml	1ml	2ml	3ml/mt	2ml/mt	100rpm	5,40	5,45	5,52	5,53
3	6	5ml	1ml	2ml	5ml/mt	5ml/mt	200rpm	5,35	5,54	5,48	5,42
4	6	10ml	2ml	3ml	2ml/mt	1ml/mt	50rpm	5,62	5,57	5,53	5,58

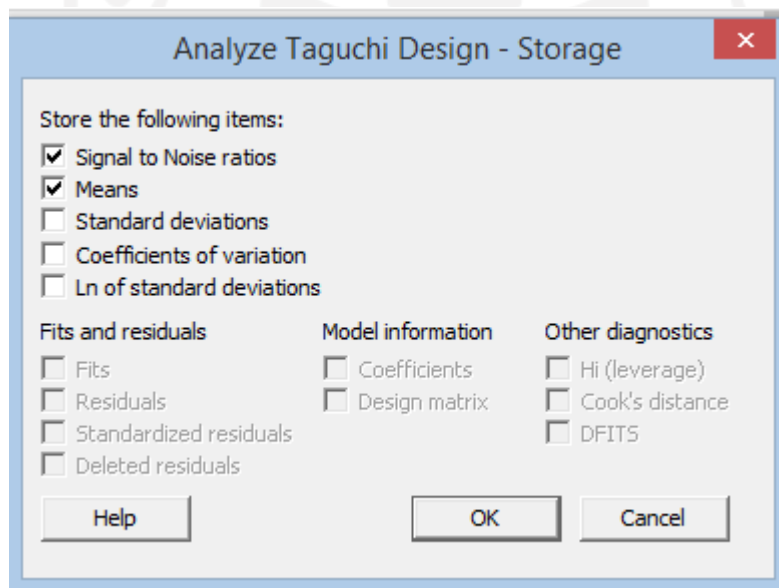
3. Masukkan variabel replikasi pH ke dalam variabel respon dengan cara blok seluruh variabel respon kemudian klik select

The screenshot shows the 'Analyze Taguchi Design' dialog box. On the left, a list of variables is shown: C8 pH-1, C9 pH-2, C10 pH-3, and C11 pH-4. These four variables are highlighted in blue. The 'Response data are in:' field is empty. At the bottom, there are several buttons: 'Select', 'Help', 'Graphs...', 'Analysis...', 'Terms...', 'Analysis Graphs...', 'Options...', 'Storage...', 'OK', and 'Cancel'.

4. Klik Options dan pilih larger is better



5. Kemudian klik storage dan ceklis untuk signal to noise ratios dan means untuk memunculkan perhitungan matematisnya



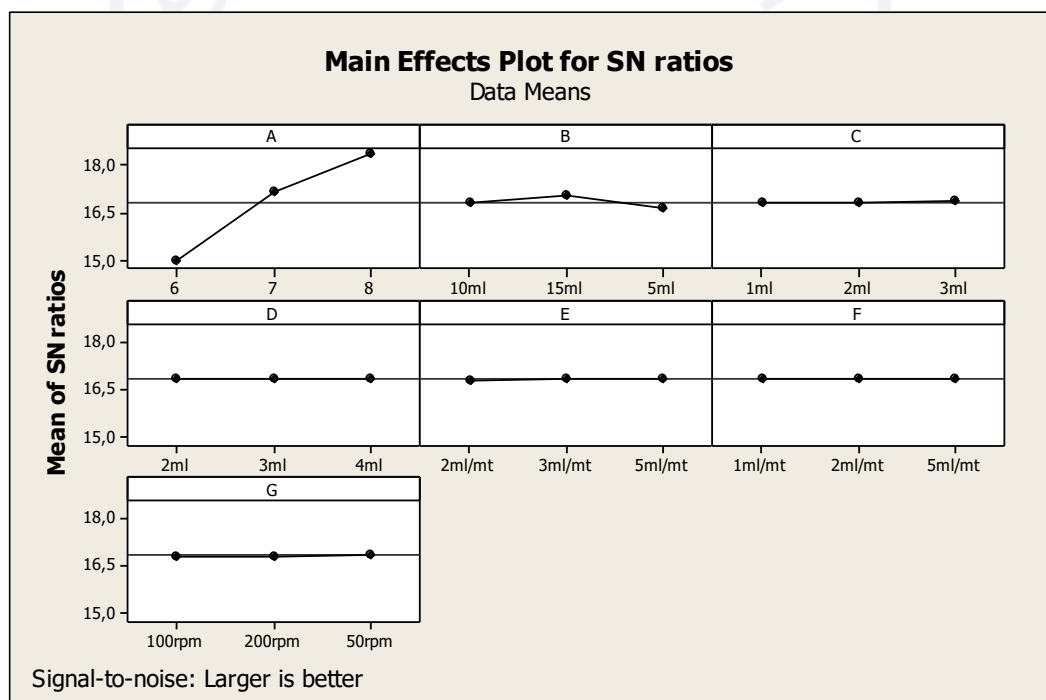
6. Kemudia klik oke dan muncul hasil seperti berikut (**cara tersebut berlaku juga untuk variabel TSS dan COD hanya kriteria dr SNR diganti Smaller is Better**):

1. pH

Tabel 4.20 Nilai efek tiap faktor, selisih dan rangking dari tiap faktor

Level	A	B	C	D	E	F	G
1	14,96	16,81	16,8	16,82	16,77	16,83	16,82
2	17,17	17,03	16,81	16,81	16,83	16,81	16,79
3	18,34	16,62	16,85	16,83	16,86	16,82	16,85
Delta	3,38	0,4	0,05	0,02	0,09	0,01	0,05
Rank	1	2	5	6	3	7	4

Gambar 4.6 Nilai SNR Efek Tiap Factor Optimum



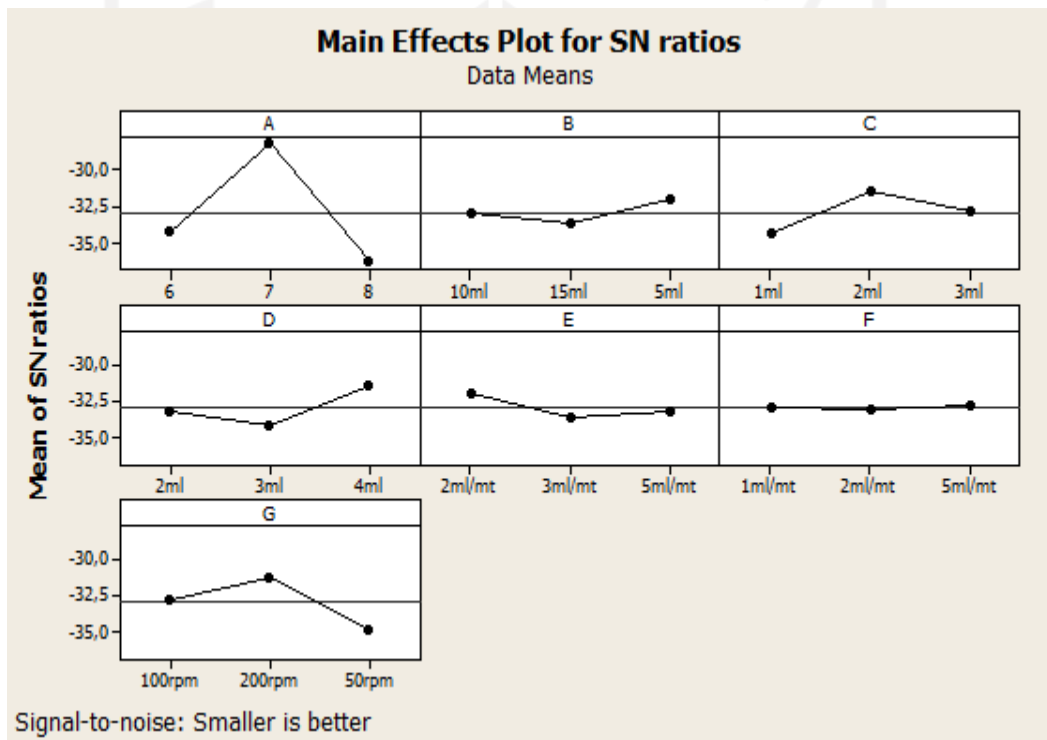
Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 4 bahwa kombinasi faktor dan level yang paling optimal pada penggunaan PAC untuk menetralkan Ph yaitu faktor A level 3 (pH proses pengendapan 8) , faktor B level 2 (VolumeKoagulant (PAC 1%) 10 ml), faktor E level 3 (Waktu Alir Koagulant 5 ml/menit), faktor G level 3 (Kecepatan Mixing 200 rpm), faktor C level 3 (Kons Flukolant Kationik (0.2%) 3 ml), faktor D level 3 (Kons Flukolant Anionik (0.2%) 4 ml) dan faktor F level 1 (Waktu Alir Flokulan 1 ml/menit).

2. TSS

Tabel 4.21 Nilai efek tiap faktor, selisih dan rangking dari tiap faktor

Level	A	B	C	D	E	F	G
1	-34,19	-33,01	-34,41	-33,16	-31,94	-32,95	-32,73
2	-28,23	-33,68	-31,45	-34,23	-33,63	-33,04	-31,2
3	-36,34	-32,07	-32,9	-31,37	-33,2	-32,77	-34,83
Delta	8,11	1,61	2,96	2,86	1,69	0,27	3,63
Rank	1	6	3	4	5	7	2

Gambar 4.7 . Nilai SNR Efek Tiap Factor Optimum



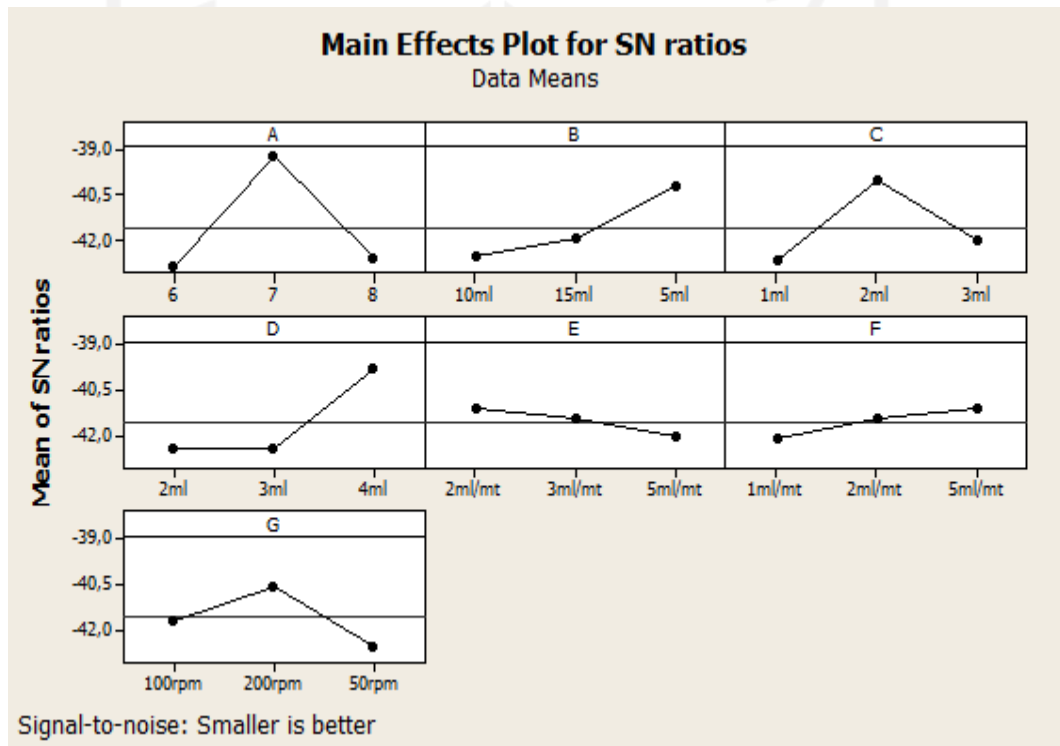
Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 4 bahwa kombinasi faktor dan level yang paling optimal pada penggunaan PAC untuk TSS yaitu faktor A level 2 (pH proses pengendapan 7), faktor G level 2 (Kecepatan Mixing 200 rpm), faktor C level 2 (Kons Flukolant Kationik (0.2%) 2 ml), faktor D level 3 (Kons Flukolant Anionik (0.2%) 4 ml), faktor E level 1 (K Waktu Alir Koagulant 2 ml/menit), faktor B level 3 (VolumeKoagulant (PAC 1%) 15 ml) dan faktor F level 3 (Waktu Alir Flokulan 5 ml/menit).

3. COD

Tabel 4.22 Nilai efek tiap faktor, selisih dan rangking dari tiap faktor

Level	A	B	C	D	E	F	G
1	-42,83	-42,49	-42,63	-42,42	-41,12	-42,1	-41,63
2	-39,23	-41,93	-40,02	-42,45	-41,45	-41,45	-40,51
3	-42,6	-40,24	-42	-39,78	-42,08	-41,11	-42,51
Delta	3,6	2,25	2,61	2,67	0,95	0,99	2
Rank	1	4	3	2	7	6	5

Gambar 2.8 Nilai SNR Efek Tiap Factor Optimum



Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel diatas bahwa kombinasi faktor dan level yang paling optimal pada penggunaan PAC untuk COD yaitu faktor A level 2 (pH proses pengendapan 7) , faktor D level 3 (Kons Flukolant Anionik (0.2%) 4 ml), faktor C level 2 (Kons Flukolant Kationik (0.2%) 2 ml), faktor B level 3 (VolumeKoagulant (PAC 1%) 15 ml), faktor G level 2 (Kecepatan Mixing 200 rpm), faktor F level 3 (Waktu Alir Flokulan 5 ml/menit) dan faktor E level 1 (Waktu Alir Koagulant 2 ml/menit).

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Analisa Air Buangan

Air buangan (limbah) merupakan suatu parameter yang harus diukur akibat dari aktifitas/ kegiatan laboratorium ataupun industry. Maka itu pemerintah mengeluarkan izin terkait pembuangan limbah cair dengan syarat memenuhi baku mutu lingkungan.

Dalam pelaksanaan kegiatan eksperimen, dengan melakukan pengamatan limbah buangan dari laboratorium didapatkan angka yang cukup beragam, namun mempunyai range yang bisa diukur walaupun pada umumnya diatas baku mutu yang dipersyaratkan.

Sebagai tolok ukur pencemaran organik dan anorganik secara kimia peneliti menggunakan parameter COD (Chemicals Okisigen Demand) sebagai parameter kunci, selain muda dikerjakan, hasilnya cepat didapat dan merupakan parameter yang menggambarkan awal pencemaran air terjadi. Selain itu parameter TSS (Total Solid Suspended) merupakan parameter kedua untuk mengetahui air tercemar secara fisik dilihat dari tingkat kekeruhan yang terjadi. Kombinasi keduanya merupakan suatu hal yang baik selain dari pemeriksaan pH air sebelum dilakukan eksperimen.

5.2. Gangguan Terjadi pada Proses Pengendapan.

Tidak dapat dipungkiri, kompleksnya jenis limbah yang dihasilkan sangat mempengaruhi proses pengendapan yang dilakukan oleh koagulant dan flokulan.

Hal yang mempengaruhi proses pengendapan adalah sebagai berikut :

1. Nilai pH air, tinggi dan rendahnya nilai pH dalam air sangat mempengaruhi keadaan lingkungan disekitar perairan tersebut. Semakin tinggi pH air (basah) maka keadaan fisik air akan cenderung licin dan berbuai, keadaan ini akan mengundang garam garam dari senyawaan alkali dan alkali tanah seperti garam Natrium, Calsium, Magnesium dan Kalium membentuk lapisan pada dinding

kolam IPAL dan pipa dan mengerak dan sulit untuk dihilangkan, garam yang terbentuk cenderung bewarna kuning gading sampai coklat. Bila pH air cenderung asam maka akan menjadi korosi bagi benda benda yang terbuat dari logam.

2. Suhu/ temperature air, suhu air sangat berpengaruh pada reaksi pada air akan mempercepat proses oksidasi dan reduksi terhadap mineral yang terkandung dalam air buangan.
3. Proses pengadukan, cepat dan rendahnya proses pengadukan sangat besar perannya terhadap pembentukan endapan. Semakin cepatnya pengadukan maka pengendapan semakin halus karena kondisi lingkungan yang tidak stabil, namun bila terlalu rendah akan menjadi kejenuhan lokal yang juga akan menghasilkan endapat yang halus.
4. Proses pemberian coagulan/ flokulan dilakukan secara berlahan dan continue seiring dengan continunya proses pengadukan, hal ini harus diimbangi agar endapan yang terbentuk cukup ideal dan berbulir besar.

5.3. Pemilihan Metode

Melihat factor yang mempengaruhi cukup banyak dan dominan, maka penulis merasa metode yang baik digunakan adalah metode Taguchi, karena desain eksperimen Taguchi membuat tiga tahap pengoptimasian desain produk atau proses produksi, yaitu :

1. Desain konsep/system

Merupakan tahap pertama dalam desain dan merupakan tahap konseptual pada pembuatan produk baru atau inovasi proses, dimana konsep tersebut mungkin berasal dari percobaan sebelumnya. Tahap ini adalah untuk memperoleh ide-ide baru dan mewujudkannya dalam bentuk produk atau inovasi proses.

2. Desain parameter

Merupakan pembuatan secara fisik atau *prototype* matematis berdasarkan tahap sebelumnya melalui percobaan statistik. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi seting parameter yang akan memberikan kinerja rata-rata pada target dan menentukan pengaruh dari faktor gangguan pada variasi dan target.

3. Desain toleransi

Penentuan toleransi dari parameter yang berkaitan dengan kerugian pada produk ataupun konsumen akibat penyimpangan produk dari target.

Dalam desain parameter sendiri perlu dipertimbangkan berbagai faktor pengembangan dan desain. Metode Taguchi memisahkan faktor tersebut kedalam dua kelompok utama, yaitu :

1. Faktor control adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan oleh produsen dan tidak dapat diubah secara langsung oleh pelanggan.
2. Faktor *noise* adalah faktor dimana produsen tidak dapat mengatur atau mengendalikan (Ross, 1989). Faktor *noise* terdiri dari :

- Gangguan eksternal (*Outer*)

Faktor pengganggu eksternal berhubungan dengan faktor-faktor lingkungan atau di luar produk atau proses. Contohnya antara lain adalah temperatur udara, kelembaban, getaran, dan lain-lain.

- Gangguan variasi

Faktor pengganggu ini berhubungan dengan faktor yang menyebabkan perbedaan antara unit yang satu dengan unit yang lain.

- Gangguan internal (*Inner*)

Faktor pengganggu internal berhubungan dengan faktor yang diakibatkan oleh kerusakan suatu produk selama penyimpanan atau pemakaian, kerusakan dari suatu komponen akibat umur.

Adapun kegunaan dari sebuah desain eksperimen Taguchi adalah untuk :

1. Mendesain produk atau proses sehingga kualitasnya *robust* terhadap kondisi lingkungan.
2. Mendesain atau mengembangkan produk sehingga kualitasnya *robust* terhadap variasi komponen.
3. Meminimumkan variasi di sekitar nilai target.

Keunggulan dari metode desain eksperimen Taguchi adalah seperti berikut:

1. Lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan penelitian yang

melibatkan banyak faktor dan jumlah.

2. Memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk yang konsisten dan kokoh (*robust*) terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol (faktor gangguan).

Namun demikian, metode Taguchi memiliki kelemahan, yaitu metode ini memiliki struktur rancangan yang sangat kompleks. Bahkan tidak jarang metode ini memakai rancangan yang mengorbankan pengaruh faktor utama dan pengaruh interaksi yang cukup signifikan. Untuk mengatasi hal tersebut, pemilihan rancangan percobaan harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian.

5.4. Perhitungan Biaya dari Hasil Pengamatan

Dari hasil perhitungan dari proses pengamatan dengan mempertimbangan factor factor yang ada dengan melakukan beberapa kali pengulangan sehingga didapatkan data yang cukup representative.

Dari hasil perhitungan ini dapat dihitung efisiensi biaya yang digunakan selama melakukan proses pengelolaan IPAL.

Dari hasil perhitungan didapatkan hasil akhir A2 B1 C2 D3 E1 F3 G3 yaitu sistem bekerja pada kondisi pH 7, volume coagulan 5 ml, konsentrasi cationic flocculant 2 ml, konsentrasi anionic flocculant 4 ml, waktu alir coagulan 2 ml/ mnt, waktu alir flocculant 5 ml/menit dan kecepatan mixing 200 rpm.

Dapat dihitung biaya pemakaian bahan kimia untuk proses pengendapan dengan perhitungan sebagai berikut :

4. Pada saat Proses Percobaan

Coagulan PAC.

Penggunaan PAC 1% sebanyak 5 ml ke dalam 500 ml, bila dalam 1 Liter dibutuhkan 10 ml PAC 1%, dan jika dalam 1000 L (kapasitas IPAL) maka diperlukan 10.000 ml PAC 1% atau sekitar 10 Liter PAC 1%.

1% PAC adalah 1 gram dalam 100 ml air, maka dalam 1000 ml/ 1 liter adalah 10 gram dan dalam 10 Liter PAC yang di timbang 100 gram.

Untuk pembuatan PAC 2% sebanyak 5 Liter maka penimbangan dilakukan sebanyak 100 gr dalam 2 kali perlakuan (pagi dan sore) selama 30 hari dan 12 bulan (dalam setahun), maka

Gram PAC yang digunakan = $100 \times 2 \times 30 \times 12 = 72.000$ gram = 72 Kg

Biaya PAC/ Tahun = $72 \text{ Kg} \times \text{Rp. } 15.000 = \text{Rp. } 1.296.000$

Flokulan kationik dan anionic (Polyethylene-Imine, dan Polyacrylic Acid)

i. Flokulan Kationik (Polyethylene-Imine)

Dari percobaan 2 ml PI 0.2% dalam 500 ml sample air limbah, maka dalam 1 liter 4 ml PI 0.2% yang dibutuhkan, bila dalam 1000 L, maka 4000 ml PI 0.2%.

Gram kationik yang digunakan = $0.2 \% \times 4000 = 8$ gram.

Gram PI 0.2% Dalam satu tahun pengelolaan = $8 \times 2 \times 30 \times 12 = 5.760$ gram atau, 5.7 Kg, biaya yang dikeluarkan dalam satu tahun $5.7 \times 15.000 = \text{Rp. } 86.400$

ii. Flokulat Anionik (Polyacrylic Acid)

Dalam percobaan 4 ml PA 0.2%, maka penggunaanya 2 kali dari kationik (PI 0.2%), maka biaya pertahun sebesar $11.5 \times \text{Rp. } 15.000 = \text{Rp. } 172.500$.

Maka total biaya yang dikeluarkan selama setahun sebesar $\text{Rp. } 1.296.000 + \text{Rp. } 86.400 + \text{Rp. } 172.500 = \text{Rp. } 1.554.900$.

5. Pada Saat Menggunakan Coagulan Tawas

Total pemakaian = gram tawas x 2 kali / hari.
= $300 \text{ gr} \times 2 = 600$ gram dalam sehari, jika 1 bulan
= $300 \text{ gr} \times 30 = 18.000$ gr atau 18 kg

Jika dalam 1 Kg tawas = Rp. 8000, maka dalam 1 tahun

$\text{Rp. } 8000 \times 18 \times 12 = \text{Rp. } 1.728.000/ \text{ tahun}$

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dari penelitian yang dilakukan terhadap air limbah laboratorium PT. Sucofndo Batam dengan melakukan pengelolaan data dengan metode Taguchi yang dilakukan secara efektif dan efisien dengan perhitungan statistik dengan hasil pengelolaan Limbah Cair dalam media 500 ml maka perlakuan terbaik adalah menetapkan Kombinasi level faktor optimal kedua variabel respon A2 B1 C2 D3 E1 F3 G3. Kombinasi level faktor optimal ini belum pernah di eksperimenkan sebelumnya untuk dilakukan eksperimen konfirmasi. Berdasarkan hasil eksperimen konfirmasi dengan 4 kali pengulangan diperoleh rata-rata kadar COD dan kadar TSS masing-masing $\leq 39,7875$ mg/l dan ≤ 12 mg/l. Maka berdasarkan hasil data di atas

1. Kombinasi level faktor optimal kadar COD dan kadar TSS adalah A2 B1 C2 D3 E1 F3 G3 yaitu sistem bekerja pada kondisi pH 7, volume coagulan 15 ml, konsentrasi cationic flocculant 2 ml, konsentrasi anionic flocculant 4 ml, waktu alir coagulan 2 ml/ mnt, waktu alir flocculant 5 ml/menit dan kecepatan mixing 200 rpm.
2. Kombinasi level faktor optimal ini mampu menurunkan kadar COD dan TSS yang semula 232,5 mg/l dan 577,25 mg/l menjadi $\leq 39,7875$ mg/l dan ≤ 12 mg/l.
3. Dengan terpenuhinya konsentrasi akhir dari COD, TSS, kekeruhan (fisikal) dan pH maka air limbah tersebut dapat dimanfaatkan kembali untuk pengisian kolam ikan, pencucian kendaraan bermotor, penyiraman tanaman dan lain sebagainya.
4. Mendapatkan efisiensi penggunaan bahan kimia yang cukup signifikan dengan biaya lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan tawas Ferri Aluminium Sulfat.

6.2. Saran

Dari hasil penelitian yang dilakukan, saran yang diharapkan pada penelitian selanjutnya yaitu :

1. Lakukan pekerjaan dengan menggunakan skala industri yang benar benar menggambarkan kondisi yang sebenarnya, pengaruh yang mungkin terjadi adalah penggunaan peralatan sesuai dengan kondisi IPAL sebenarnya.
2. Lakukan perhitungan biaya dengan benar dengan kombinasi yang dibuat sebelum pengelolaan, karena pada eksperimen kali ini tidak membahas biaya secara keseluruhan karena ada beberapa proses hasil pengelolaan IPAL seperti pengendapan berupa residu yang harus dikelola dan disimpan lalu dikirimkan dengan menggunakan transporter limbah B3 berdasarkan kuantitas yang dihasilkan dibandingkan dengan system pekerjaan sebelumnya.
3. Dilakukan eksperimen lanjutan dengan menambahkan beberapa factor atau level yang diinginkan agar hasil yang didapat bisa memberikan gambaran yang lebih sempurna, kombinasi antar vaktor diperbanyak bila masih menggunakan metode Taguchi.
4. Fasilitas kerja ketika dilakukan eksperimen lanjutan sebaiknya dilakukan lebih baik, lebih lengkap dan secara teknologi pastinya lebih baik, peralatan kerja yang terkalibrasi dan bahan kimia yang sudah tersandardisasi, hal ini bertujuan untuk mengurangi kesalahan akibat dari human eror, kesalahan peralatan, metoda dan lain sebagainya.
5. Hasil akhir tidak hanya menggambarkan parameter ukur berupa TSS dan TDS saja, seyogyanya dapat menggambarkan keseluruhan isi dari parameter standar baku mutu lingkungan yang masih berlaku.

Daftar Pustaka

- Audiana, Mia, Isna Apriani, and Ulli Kadaria, 2014, "Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Teknik Lingkungan, Limbah," : 1–10,
- Belavendram, N, (1995) *Quality By Design : Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*, Prentice Hall International, New Jersey.
- Choi, Jong Won et al, 2018, "Estimating Environmental Fate of Tricyclic Antidepressants in Wastewater Treatment Plant," *Science of the Total Environment* 634: 52–58, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.278>,
- Gaikwad, V. Jatti, V, S. 2018. Optimization of Material Removal Rate During Electrical Discharge Machining of Cryo-Treated Niti Alloys using Taguchi's Method. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*. 30, pp. 266-272.
- Gohil, V. Puri, Y, M. 2018. Optimization of Electrical Discharge Turning Process using Taguchi-Grey Relational Approach. *Procedia CIRP*. 68, pp. 70-75.
- Kudlak, Błażej et al, 2016, "Environmental Risk Assessment of Polish Wastewater Treatment Plant Activity," *Chemosphere* 160: 181–88,
- Kumar, S, M, R. Kulkarni, S, M. 2017. Analisa of Hard Machining of Titanium Alloy by Taguchi Method. *Materialstoday: Proceedings*. 4, pp. 10729-10738
- Liu, Y, Y, et al, (2013) 'Advanced Treatment of Effluent From Municipal WWTP With Different Metal Salt Koagulants: Contaminants Treatability and Floc Properties', *Separation and Purification Technology*, Elsevier B.V., 120, pp, 123–128, doi: 10.1016/j.seppur.2013.09.046,
- Morali, U., Demiral, H. Sensoz, S. 2018. Optimization of Activated Carbon Production From Sunflower Seed Extracted Meal: Taguchi Design of Experiment Approach and Analisa of Variance. *Journal of Cleaner Production*. 189, pp. 602-611

- Naik, A, B. Reddy, A, C. 2018. Optimization of Tensile Strength in TIG Welding Using The Taguchi Method and Analisa of Variance (ANOVA). *Thermal Science and Engineering Progress*. 8, pp.327-339.
- Nia, P, M. Jenatabadi, H, S. Woi, P, M. Lotf, E, A. Alias, Y. 2019. The Optimization of Effective Parameters for Electrodeposition of Reduced Graphene Oxide Through Taguchi Method to Evaluate the Charge Transfer. *Measurement*. 137, pp. 683-690.
- Purnomo, H. Lutfianto, S. Apsari, A, E. 2018a. Quality Design of Batik Tulis using the Taguchi Method. *Internasional Journal of Research Science and Management*. (5), pp 1-7.
- Purnomo, H. Widananto, H. Sulistio, J. 2018b. The Optimization of Soft Body Armor Materials Made from Carbon-Aramid Fiber using the Taguchi Method. *AIP Conference Proceedings*. 1997.
- Ross, J, P, (1988) *Taguchi Technique For Quality Engineering*, Mc,Graw-Hill,Inc, New York,
- Sudjana (1991), *Desain Dan Analisa Eksperimen*, Tarsito, Bandung.
- Teimortashlu, E. Dehestani, M. Jalal, M. 2018. Application of Taguchi Method for Compressive Strength Optimization of Tertiary Blended Self-Compacting Mortar. *Construction and Building Materials*. 190, pp. 1182-1191
- Ugrasen, G. Singh, M, R, B. Ravindra, H, V. 2018. Optimization of Process Parameters for SS304 in Wire Electrical Discharge Machining using Taguchi's Technique. *Materialstoday: Proceedings*. 5, pp. 2877-2883.
- Zolgharnein, J. Rastgordani, M. 2019. Optimization of Simultaneous Removal of Binary Mixture of Indigo Carmine and Methyl Orange Dyes by Cobalt Hydroxide Nano-Particles Through Taguchi Method. *Journal of Molecular Liquids*. 262, pp. 405-414.