

**PENGOLAHAN LIMBAH *LAUNDRY* UNTUK MENURUNKAN COD
DENGAN METODE KOAGULASI-FLOKULASI**

**SKRIPSI
TEKNIK KIMIA**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



DESYANI PUTRI UTAMININGRUM

NIM. 145061101111032

SUFIKA FANI

NIM. 145061101111020

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN
PENGOLAHAN LIMBAH LAUNDRY UNTUK MENURUNKAN COD DENGAN
METODE KOAGULASI-FLOKULASI

SKRIPSI
TEKNIK KIMIA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DESYANI PUTRI UTAMININGRUM

NIM. 145061101111032

SUFIKA FANI

NIM. 145061101111020

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 26 Oktober 2018

Dosen Pembimbing I



Ir. Bambang Ismuyanto, M.S.
NIP.19600504 198603 1 003

Dosen Pembimbing II



Juliananda, S.T., M.Sc.
NIK. 201304 830718 2 001

Mengetahui

Ketua Jurusan



Ir. Bambang Poerwadi, M.S.
NIP.19600126 198603 1 001



IDENTITAS TIM PENGUJI

JUDUL SKRIPSI :

Pengolahan Limbah *Laundry* untuk Menurunkan COD dengan Metode Koagulasi-Flokulasi

Nama Mahasiswa / NIM : Desyani Putri Utamingrum / 145061101111032

Sufika Fani / 145061101111020

Jurusan S1 : Teknik Kimia

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Ir. Bambang Ismuyanto, M.S.

Dosen Penguji 2 : Vivi Nurhadianty, S.T., M.T.

Dosen Penguji 3 : Rama Oktavian, S.T., M.Sc.

Tanggal Ujian : 8 Oktober 2018

SK Penguji : 2234/UN10.F07/SK/2018

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

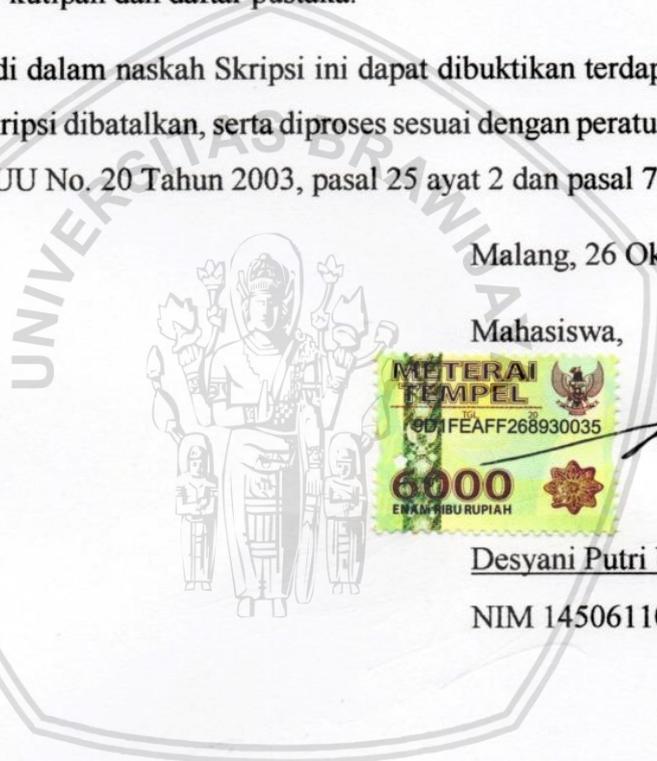
Malang, 26 Oktober 2018

Mahasiswa,



Desyani Putri Utamingrum

NIM 145061101111032



TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 103/1110.F07.13/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

DESYANI PUTRI UTAMININGRUM

Dengan Judul Skripsi :

Pengolahan Limbah Laundry untuk Memurunkan COD dengan Metode Koagulasi Flokulasi (Laundry
Waste Treatment for Decreasing COD with Coagulation Flocculation Method)

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $< 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 21 OCT 2018

Ketua Program Studi Teknik Kimia



Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 198603 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 26 Oktober 2018

Mahasiswa,



Sufika Fani

NIM 145061101111020





TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 101/UN10.F07.13/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

SUFIKA FANI

Dengan Judul Skripsi :

Pengolahan Limbah Laundry untuk Menurunkan COD dengan Metode Koagulasi Flokulasi Laundry
Waste Treatment for Decreasing COD with Coagulation Flocculation Method

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 25.09.2018

Ketua Program Studi Teknik Kimia



Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 198603 1 001

RIWAYAT HIDUP

Desyani Putri Utamingrum, Bontang, 7 Desember 1995 anak kedua dari Ayah Agung Sumardi Utomo dan Ibu Trie Redjekining Rahayu, SD sampai SMA di Yayasan Vidya Dahana Patra (YPVDP) kota Bontang, lulus SMA tahun 2014, lulus program sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2018. Pengalaman kerja pada Praktek Kerja Lapang di PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan, Indramayu Jawa Barat tahun 2017. Pengalaman organisasi sebagai staff Departemen Sosial Masyarakat Himpunan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (HMTK-UB) periode 2017/2018, sebagai volunteer Pecinta Anak Yatim (PAY) dari tahun 2016, sebagai staff For-Model Hijab Indonesia (For-MHI) Malang dari tahun 2015, sebagai volunteer Komite Independen untuk Pendidikan (KOIN) Malang dari tahun 2014. Mengikuti sebagai *finalist* ajang *Indonesian Chemistry Expo (ICE) 2016 Poster Competition* dan Paguyuban Kakang Mbakyu Kota Malang 2015. Juara 1 lomba Basket *Chemical Championship League* 2015, Juara 2 Indonesia Model 12 Color Model Inc 2015, Juara 1 Olimpiade Fisika Pekan Fisika XIV 2013, Juara 2 Lomba Kerajinan Tangan FLS2N 2013, Juara 1 Kejuaraan Nasional Marching Band Hamengku Buwono Cup 2012, The Best Juniot Drum Corps World Championship Marching Show Band 2011, dan Juara 1 Kejuaraan Nasional dan Kualifikasi PON XVIII Drum Band 2011.

Malang, 26 Oktober 2018

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Sufika Fani, Banyumas, 20 Juni 1996 anak dari ayah Nursin dan Ibu Solekah, SD sampai SMA di Tangerang lulus SMA tahun 2014, lulus program sarjana teknik kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2018.

Malang, 26 Oktober 2018



Penulis

Menyia-nyiakan waktu lebih buruk dari kematian. Karena kematian memisahkanmu dari dunia, sementara menyia-nyiakan waktu memisahkan dari Allah.

(Al Fawaid karya Ibnul Qoyyim Al Jauziyyah)

**Amalan yang lebih dicintai Allah
adalah amalan yang terus-menerus
dilakukan walaupun sedikit**

(Nabi Muhammad S.A.W.)

Tidak ada habisnya bila membandingkan cerita dengan tetangga.

Semua punya pola, ritme, dan kecepatan yang berbeda. Tidak apa-apa kalau hari ini kamu belum bisa menjadi seperti apa yang kamu damba. Manusia memang tidak sempurna, tidak harus selalu berhasil dalam percobaan pertama.

Sesungguhnya, jika kamu menghabiskan jatah gagalmu, kamu mau tidak mau akan berhasil. Jangan dulu menyerah. Terlalu banyak cara yang belum kamu coba

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warohmatullahi wabarokatuh

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat serta nikmat yang diberikan kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengolahan Limbah Laundry untuk Menurunkan Nilai COD dengan Metode Koagulasi-Flokulasi”**.

Skripsi ini ditujukan sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Dalam menyusun skripsi ini penulis dapat menyelesaikan dengan baik berkat bantuan dan dorongan dari semua pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan rasa terima kasih atas segala bimbingan dan bantuan kepada:

1. Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-NYA penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Kedua orang tua serta saudara-saudara Kami tercinta yang telah memberikan nasihat, do'a, semangat, dukungan moril maupun materiil, bimbingan, perhatian, serta kasih sayang yang selalu tercurah selama ini, sehingga penyusunan skripsi penelitian ini dapat terselesaikan.
3. Ir. Bambang Poerwadi, M.S., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
4. Ir. Bambang Ismuyanto, M.S., selaku Dosen Pembimbing I dan Juliananda S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II serta Nurul Faiqotul Himma, S.T, M.T dan A.S. Dwi Saptati Nur Hidayati, S.T., M.T. selaku dosen di bidang Rekayasa Lingkungan, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, yang telah banyak memberikan saran, masukan, bimbingan, serta arahannya yang dengan sabar telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis sampai terselesaikannya skripsi ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

6. Agustina Rahayu, A.Md. selaku Laboran Laboratorium Sains Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, atas bantuan, saran, dan dukungan.
7. Seluruh staf dan civitas akademika Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya serta semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi.
8. Ulul Azmi, S.T. yang setia menemani, memberi semangat, membantu dalam penulisan skripsi serta teman-teman seperjuangan skripsi bidang rekayasa lingkungan.
9. Teman-teman Teknik Kimia angkatan 2014 yang selalu mendukung dan menyemangati kami selama ini.

Penulis mengharapkan masukan berupa saran dari semua pihak demi kebaikan penelitian ini. Demikian laporan skripsi ini dibuat, semoga dapat bermanfaat bagi semua pihak dan penulis sendiri.

Wassalamu'alaikum warohmatullahi wabarokatuh

Malang, 26 Oktober 2018

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
DAFTAR SIMBOL.....	ix
RINGKASAN.....	x
SUMMARY	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Koloid.....	5
2.1.1 Emulsi.....	6
2.2 Limbah Industri <i>Laundry</i>	7
2.3 Deterjen	8
2.4 Surfaktan.....	9
2.4.1 Klasifikasi Surfaktan	10
2.4.2 <i>Alkyl Benzene Sulfonat (ABS)</i>	11
2.5 Hubungan Surfaktan dengan Proses Koagulasi dan Analisa COD	12
2.6 COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>).....	12
2.7 Teknik Penurunan COD	13
2.7.1 Koagulasi.....	13
2.7.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Koagulasi	14
2.7.3 Flokulasi	15
2.7.4 Sedimentasi	17
2.8 Koagulan.....	19
2.8.1 Koagulan Polimer.....	19
2.8.1 Koagulan Logam	19



2.9 PAC (<i>Poly Alumunium Chloride</i>).....	21
2.9.1 Karakteristik PAC	21
2.9.2 Mekanisme Koagulasi dengan PAC	22
2.10 Analisa Pengujian <i>Jar Test</i>	23
2.11 Penelitian Terdahulu.....	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Tempat Pelaksanaan	27
3.2 Variabel Penelitian	27
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	27
3.3.1 Alat	27
3.3.2 Bahan.....	27
3.3.3 Rangkaian Alat	28
3.4 Prosedur Penelitian.....	29
3.4.1 Pembuatan Sistem Koloid Limbah <i>Laundry</i> dengan ABS 250 ppm.....	29
3.4.2 Proses Koagulasi-Flokulasi	30
3.4.3 Analisa Pengukuran pH Sampel.....	31
3.4.4 Analisa COD	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Karakteristik Limbah <i>Laundry</i> Awal.....	33
4.2 Pengaruh Variasi Dosis Koagulan PAC terhadap Penurunan Nilai COD.....	33
4.3 Pengaruh Variasi pH Awal Sampel terhadap Penurunan COD.....	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	55



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi Sistem Koloid.....	6
Tabel 2.2	Kontribusi Air Limbah <i>Laundry</i> Terhadap Air Buangan Perkotaan	7
Tabel 2.3	Penelitian Terdahulu.....	26
Tabel 4.1	Ringkasan Hasil Penelitian Koagulasi-Flokulasi Limbah <i>Laundry</i>	44
Tabel B1	Hasil Perhitungan Persentase Penurunan COD	62
Tabel C1	Dokumentasi Kegiatan.....	63
Tabel C2	Dokumentasi Hasil Koagulasi-Flokulasi	65



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Struktur Surfaktan.....	10
Gambar 2.2	Grafik Persentase Penggunaan Surfaktan.....	10
Gambar 2.3	Struktur Senyawa <i>Alkyl Benzene Sulfonate</i>	11
Gambar 2.4	Ilustrasi Skema 2 Jenis Flokulasi.....	17
Gambar 2.5	Zona-zona pada Proses Sedimentasi.....	18
Gambar 2.6	Mekanisme Netralisasi Muatan dan <i>Sweep Coag/Flocs</i>	23
Gambar 2.7	Peralatan untuk <i>Jar Test</i>	24
Gambar 3.1	Rangkaian Alat Analisa COD.....	28
Gambar 3.2	Rangkaian Alat Proses Koagulasi-Flokulasi Menggunakan <i>Jar Test</i>	28
Gambar 3.3	Diagram Alir Pembuatan Sistem Koloid Limbah <i>Laundry</i>	29
Gambar 3.4	Diagram Alir Proses Koagulasi-Flokulasi Sistem Koloid Limbah <i>Laundry</i> Menggunakan Koagulan PAC (<i>Poly Aluminium Chloride</i>).....	30
Gambar 3.5	Diagram Alir Analisa COD	32
Gambar 4.1	Grafik COD Akhir (mg/L) terhadap Dosis Koagulan PAC pada pH Awal Limbah <i>Laundry</i>	34
Gambar 4.2	Persen Penurunan COD terhadap Dosis Koagulan PAC pada Berbagai Variasi pH	35
Gambar 4.3	Gambar Skema Interaksi Partikel dengan Metal Hidroksida	36
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Dosis Koagulan PAC dengan pH Akhir Limbah <i>Laundry</i> setelah Proses Koagulasi-Flokulasi pada Variasi pH Awal Sampel	37
Gambar 4.5	Limbah <i>Laundry</i> Sebelum dan Sesudah Koagulasi.....	38
Gambar 4.6	Gambar Tampak Saming dari Flok yang Terbentuk setelah Koagulasi- Flokulasi	39
Gambar 4.7	Grafik Pengaruh pH Sampel terhadap Penurunan COD dengan Variasi Dosis Koagulan PAC.....	41
Gambar A1	Hasil Uji Ukuran Partikel Sistem Koloid ABS Trial 1	55
Gambar A2	Hasil Uji Ukuran Partikel Sistem Koloid ABS Trial 2	56

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar A3	Hasil Uji Ukuran Partikel Sistem Koloid ABS Trial 3	57
Gambar A4	Hasil Uji Ukuran Partikel Sistem Koloid ABS Trial 4	58
Gambar A5	Hasil Uji Ukuran Partikel Sistem Koloid ABS Trial 5	59
Gambar A6	Hasil Uji Oksidasi XRF Koagulan PAC	60



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran A	Data Hasil Uji.....	55
Lampiran B	Perhitungan dan Data Penelitian	61
Lampiran C	Dokumentasi Penelitian.....	63
Lampiran D	Riwayat Hidup	69
Lampiran E	Jurnal	71



DAFTAR SIMBOL

Besar Dasar	Satuan dan Singkatan	Simbol
Kecepatan angular	Radian atau rpm	ω
Konsentrasi	Per satu juta atau ppm	M
Normalitas	Mol ekivalen/L	N
Waktu	Menit	t



RINGKASAN

Desyani Putri Utamingrum dan **Sufika Fani**, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, September 2018, *Pengolahan Limbah Laundry untuk Menurunkan Nilai COD dengan Metode Koagulasi-Flokulasi*, Dosen Pembimbing: Bambang Ismuyanto dan Juliananda.

Meningkatnya industri *laundry* di kota Malang mengakibatkan meningkat pula penggunaan deterjen. Umumnya deterjen tersusun atas tiga komponen yaitu, surfaktan (sebagai bahan dasar deterjen) sebesar 20-30%, *builders* (senyawa fosfat) sebesar 70-80 %, dan bahan aditif (pemutih dan pewangi) yang relatif sedikit yaitu 2-8%. Surfaktan yang banyak digunakan saat ini yaitu senyawa *Alkyl Benzene Sulfonate* (ABS). ABS merupakan senyawa organik yang biasa digunakan sebagai surfaktan anionik dan berfungsi menurunkan tegangan permukaan air. Perairan yang terkontaminasi ABS akan dipenuhi busa sehingga berdampak buruk bagi lingkungan dan makhluk hidup melalui salah satu parameter yaitu *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi. Salah satu proses pengolahan limbah yang mengandung ABS adalah koagulasi-flokulasi dengan penambahan koagulan yaitu *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Kelebihan dari koagulan PAC yaitu dapat bekerja pada rentang pH luas, lebih cepat membentuk flok dan mudah didapatkan. Dalam proses koagulasi-flokulasi, untuk mengetahui pengaruh dosis koagulan dan pH awal sampel, maka digunakan variasi dosis koagulan PAC yaitu 200, 400, 600, dan 800 mg/L sampel dan variasi pH awal sampel yaitu 5, 6, 7, 8, dan 9. Proses koagulasi-flokulasi dilakukan menggunakan *jar test* dengan pengadukan cepat 120 rpm selama 1 menit dan pengadukan lambat 45 rpm selama 30 menit. Hasil koagulasi-flokulasi didiamkan selama 60 menit kemudian dianalisis penurunan COD.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dosis koagulan PAC dan pH awal sampel sangat mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi. Hasil optimum pada penelitian ini terjadi pada dosis koagulan PAC 400 mg/L sampel dengan pH awal sampel 7 yang memiliki persentase penurunan COD sebesar 98,75%. Hal ini dikarenakan, jika dosis yang ditambahkan diatas 400 mg/L sampel maka terjadi efek restabilisasi koloid. Sedangkan pada pH awal sampel 7 dikarenakan lebih banyak membentuk endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$, spesies hidrolisat Al positif, dan polimer Al_{13} , sehingga mekanisme yang terjadi lebih optimum.

Kata Kunci: Limbah *laundry*, koagulasi, flokulasi, PAC, COD.

SUMMARY

Desyani Putri Utamingrum and **Sufika Fani**, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, September 2018, Laundry Waste Treatment for Decreasing COD with Coagulation-Flocculation Method, Supervisor: Bambang Ismuyanto and Juliananda.

The increase in the laundry industry in the city of Malang resulted in an increase in the use of detergents. Generally detergent is composed of three components, namely, surfactant (as a detergent base material) of 20-30%, builders (phosphate compounds) of 70-80%, and relatively little additives (bleach and deodorizer) that is 2-8%. Surfactants that are widely used today are Alkyl Benzene Sulfonate (ABS) compounds. ABS is an organic compound commonly used as anionic surfactant and serves to reduce the surface tension of water. The waters contaminated with ABS will be filled with foam so that it has a bad impact on the environment and living things through one of the parameters, namely high Chemical Oxygen Demand (COD). One of the treatment processes containing ABS is coagulation-flocculation with the addition of a coagulant, Poly Aluminum Chloride (PAC). The advantage of PAC coagulant is that it can work in a wide pH range, faster forming floc and easily available. In the coagulation-flocculation process, to determine the effect of coagulant dose and initial pH of the sample, a variety of PAC coagulant dosages were used, namely 200, 400, 600, and 800 mg / L samples and variations in the initial pH of the samples were 5, 6, 7, 8, and 9. The coagulation-flocculation process was carried out using a jar test with 120 rpm fast stirring for 1 minute and 45 rpm slow stirring for 30 minutes. Coagulation-flocculation results were allowed to stand for 60 minutes then the COD reduction was analyzed.

The results of this study indicate that the dose of PAC coagulant and initial pH of the sample greatly affect the coagulation-flocculation process. The optimum results in this study occurred at a dose of PAC coagulant 400 mg / L sample with an initial pH of the sampel is 7 which had a COD reduction percentage of 98.75%. This is because, if the dose is added above 400 mg / L sample, the effect of colloid restabilization occurs. While at the initial pH of sample 7 due to more forming $\text{Al}(\text{OH})_3$ precipitate, Al positive hydrolyzate species, and Al_{13} polymer, so the mechanism occurs more optimally.

Keywords: laundry waste, coagulation, flocculation, PAC, COD.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri *laundry* semakin menjamur di kota Malang seiring dengan bertambahnya mahasiswa yang membutuhkan proses pencucian secara cepat. Bertambahnya industri *laundry* mengakibatkan penggunaan deterjen semakin meningkat. Deterjen merupakan sebagian produk komersial yang dipakai untuk menghilangkan kotoran pada pakaian di industri *laundry*. Secara umum deterjen tersusun atas tiga komponen yaitu, *builders* (senyawa fosfat) sebanyak 70-80 %, surfaktan (bahan dasar deterjen) sebanyak 20-30%, dan bahan aditif (pemutih dan pewangi) berkisar 2-8% (Sopiah dan Chaerunisah, 2006).

Surfaktan yang banyak digunakan saat ini yaitu senyawa *Alkyl Benzene Sulfonate* (ABS). ABS merupakan senyawa organik yang biasa digunakan sebagai surfaktan anionik dan berguna untuk menurunkan tegangan permukaan air sehingga kotoran pada permukaan bahan yang menempel akan terlepas (Rahimah dkk, 2016). Perairan yang terkontaminasi ABS akan dipenuhi busa serta hilangnya bakteri-bakteri yang bermanfaat di dalam perairan (Rukaesih, 2004). Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan pengolahan limbah yang mampu menurunkan bahan pencemar seperti kadar surfaktan.

Suatu pengolahan limbah secara efektif dan efisien harus bisa menurunkan kadar bahan-bahan pencemar dalam air limbah sampai memenuhi baku mutu yang dianjurkan. Terdapat beberapa metode pengolahan limbah cair diantaranya adsorpsi, biofilter, koagulasi-flokulasi dan elektrokoagulasi. Koagulasi-flokulasi memiliki kelebihan yaitu lebih efektif menghilangkan bahan-bahan limbah dalam bentuk koloid, dan biayanya murah (Tzoupanos dan Zouboulis, 2008). Pada metode koagulasi-flokulasi dilakukan penambahan bahan kimia sebagai koagulan. Koagulan yang dapat digunakan yaitu alum, tawas, kitosan, *Polyaluminium Chloride* (PAC), dan lain-lain. Koagulan PAC banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan diantaranya dapat bekerja pada rentang pH luas, lebih cepat membentuk flok daripada koagulan lain dan mudah didapatkan (Rahimah dkk, 2016). Penggunaan PAC dalam pengolahan limbah *laundry* dapat menurunkan kandungan beberapa parameter salah satunya yaitu *Chemical Oxygen Demand* (COD) (Harwiyanti, 2015).

Terdapat dua parameter yang digunakan untuk mengukur kadar suatu zat organik di dalam air yaitu COD dan *Biological Oxygen Demand* (BOD). Namun senyawa ABS lebih sukar diuraikan oleh mikroorganisme karena mempunyai rantai alkil yang bercabang banyak (Sopiah dan Chaerunisah. 2006). Sehingga, harus digunakannya bahan kimia untuk mengurai senyawa ABS tersebut di dalam air berdasarkan parameter COD. Menurut Sostar-Turk dkk. (2005), air limbah *laundry* yang berasal dari kegiatan rumah tangga memiliki konsentrasi COD antara 600-2500 mg/L. Baku mutu air limbah dalam kegiatan *laundry* telah ditetapkan maksimum COD yaitu sebesar 250 mg/L berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013. Sehingga limbah industri *laundry* harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang secara langsung ke lingkungan.

Pada penelitian Rachmah (2013), dilakukan pengolahan limbah deterjen dengan metode koagulasi dan elektrokoagulasi, dimana divariasikan dosis koagulan PAC 0-2000 ppm dengan metode koagulasi-flokulasi. Didapatkan hasil penurunan COD maksimum sebesar 91,8% pada dosis koagulan PAC 1200 ppm. Untuk penelitian yang dilakukan Harwiyanti (2015), menggunakan PAC serbuk 0-750 mg/L dengan metode koagulasi-flokulasi dapat menurunkan kadar COD pada limbah *laundry* sebesar 71,79% pada dosis 750 mg/L. Penelitian Harwiyanti (2015) juga dapat mengalami penurunan pH sebesar 26,78%. Menurut penelitian Asmadi dan Suharno (2012), pH pada pengolahan air limbah berpengaruh terhadap penurunan COD karena koagulan PAC dapat bekerja efektif pada rentang pH 6-9. Sama seperti Asmadi dan Suharno (2012), penelitian Rachmawati dkk. (2009) menyatakan pH berpengaruh terhadap proses koagulasi dikarenakan pada saat proses koagulasi menggunakan koagulan berbasis alum, spesies aluminat yang akan terbentuk tergantung pada pH yang digunakan. Oleh karena itu dilakukan penelitian tentang pengolahan limbah *laundry* dengan metode koagulasi-flokulasi yang bertujuan untuk melihat pengaruh dosis koagulan dan pH awal sampel terhadap penurunan COD.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi permasalahan, maka permasalahan yang ingin diselesaikan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh dosis koagulan PAC terhadap penurunan COD pada limbah *laundry*?
2. Bagaimana pengaruh pH awal sampel terhadap penurunan COD pada limbah *laundry*?

1.3 Batasan Masalah

1. Limbah *laundry* yang digunakan adalah limbah deterjen sintesis dengan menggunakan senyawa ABS (*Alkyl Benzene Sulfonate*).
2. Metode koagulasi dilakukan menggunakan alat *jar test* berdasarkan SNI 19-6449-2000.
3. Koagulasi-flokulasi dilakukan pada suhu ruang dan tekanan atmosfer.
4. Koagulan PAC serbuk 19,4% (w/w) Al_2O_3 .

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh dosis koagulan PAC terhadap penurunan COD pada limbah *laundry*.
2. Mengetahui pengaruh pH awal sampel terhadap penurunan COD pada limbah *laundry*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat bermanfaat dalam memberikan informasi terkait pengembangan teknologi koagulasi-flokulasi dalam menurunkan COD pada limbah *laundry*.



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Koloid

Koloid merupakan suatu campuran heterogen dari dua zat atau beberapa zat lainnya di mana partikel-partikel zat tersebut berukuran antara 1 hingga 1000 nm yang terdispersi merata ke dalam medium pendispersi. Ukuran tersebut menjadi pembeda antara koloid dengan larutan dan suspensi, dimana koloid terletak antara larutan dan suspensi (Chang, 2016: 1-2). Secara makroskopis, koloid terlihat seperti larutan biasanya, di mana terbentuk campuran homogen dari zat terlarut dan pelarut. Namun, ketika dilihat secara mikroskopis, akan terlihat seperti suspensi, yakni campuran heterogen di mana masing-masing komponen campuran cenderung saling memisah. Partikel koloid mempunyai sifat-sifat sebagai berikut (Sawyer, 2003: 362)

1) Efek Tyndall

Efek Tyndall adalah gejala penghamburan berkas cahaya oleh partikel-partikel koloid. Hamburan cahaya yang terjadi karena suatu campuran menunjukkan bahwa campuran tersebut merupakan koloid, dimana memiliki ukuran partikel-partikelnya lebih besar dibandingkan ukuran partikel larutan sehingga akan menghamburkan cahaya.

2) Gerak Brown

Gerak Brown adalah gerakan acak yang terjadi pada partikel koloid dalam suatu medium pendispersi. Tumbukan antarpartikel yang tidak merata akan menyebabkan gerak Brown terjadi.

3) Adsorpsi

Adsorpsi merupakan sifat partikel koloid yang dapat menyerap ion pada permukaannya. Sehingga partikel koloid akan memiliki muatan bergantung kepada muatan yang diserap. Koloid positif berarti partikel koloid mengadsorpsi kation. Sedangkan koloid negatif berarti partikel koloid mengadsorpsi anion.

Berdasarkan fase terdispersi dan medium pendispersi, sistem koloid dapat diklasifikasikan seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi sistem koloid

Fase terdispersi	Media pendispersi	Nama	Contoh
Cair	Gas	Aerosol cair	Kabut
Padat	Gas	Aerosol padat	Asap, debu
Gas	Cair	Buih	Buih sabun
Cair	Cair	Emulsi	Susu
Padat	Cair	Sol	Cat
Gas	Padat	Buih padat	<i>Styrofoam</i>
Cair	Padat	Emulsi padat (gel)	Margarin
Padat	Padat	Sol padat	Gelas berwarna

Sumber : Chang (2016:3)

Sistem koloid dapat dibuat dengan dua cara umum, yaitu (Hunter, 1993):

1) Dispersi

Dispersi merupakan cara pembuatan sistem koloid dari partikel yang lebih besar menjadi partikel yang lebih kecil. Beberapa metode yang dapat digunakan dengan cara dispersi yaitu cara mekanik, cara busur listrik *Bredig*, cara homogenasi, dan cara peptisasi.

2) Kondensasi

Kondensasi merupakan cara pembuatan sistem koloid dari partikel berukuran atom, ion, atau molekul kecil menjadi agregat dalam rentang ukuran koloid. Cara ini dilakukan dengan sebuah reaksi kimia. Ada 3 jenis reaksi kimia yang dapat menghasilkan koloid yaitu reaksi hidrolisis, reaksi redoks, dan reaksi metatesis.

2.1.1. Emulsi

Emulsi adalah sistem terdispersi di mana fase-fasenya adalah fluida yang dapat larut atau sebagian dapat dicairkan. Gumpalan cairan terdispersi dalam emulsi biasa disebut makroemulsi (Shaw, 1992: 262). Mikroemulsi bersifat isotropik, dimana surfaktan yang stabil secara termodinamika dan dapat terbentuk secara spontan. Mikroemulsi memiliki ukuran diameter droplet yang berada pada skala koloid yang

sangat rendah yaitu ≤ 100 nm, sehingga kecil untuk menyebarkan cahaya tampak dan terlihat transparan. Oleh karena itu, mikroemulsi tampak secara visual menjadi sistem yang homogen. Sistem homogen ini dapat dipreparasi dengan konsentrasi surfaktan dengan viskositas rendah (Hunter,1993).

2.2 Limbah Industri *Laundry*

Air limbah merupakan buangan dari rumah tangga dalam bentuk cair, industri ataupun tempat umum lainnya yang mengandung bahan-bahan berbahaya bagi kehidupan manusia maupun makhluk hidup lainnya, sehingga akan mengganggu kelestarian lingkungan dan keberlangsungan makhluk hidup (Metcalf dan Eddy, 2003). Air limbah yang dihasilkan dari industri *laundry* memiliki komposisi serta kandungan yang bervariasi. Hal ini dikarenakan berbagai variasi kandungan kotoran di pakaian, komposisi dan jumlah deterjen yang digunakan selama pengolahan serta teknologi yang digunakan. Menurut Sostar-Turk dkk. (2005), air limbah *laundry* yang berasal dari kegiatan rumah tangga memiliki konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) antara 600-2500 mg/L. Air limbah *laundry* menyumbang beban kontaminan yang cukup tinggi ke dalam air buangan (Smulders dkk, 2002). Pada Tabel 2.2. dapat dilihat bahwa air limbah *laundry* menyumbang sekitar 10% untuk COD, *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan TSS, sedangkan untuk fosfat dan nitrogen cenderung lebih rendah.

Tabel 2.2 Kontribusi air limbah *laundry* terhadap air buangan perkotaan

Parameter	Kons. air limbah <i>laundry</i> (mg/L)	Beban per kapita air limbah <i>laundry</i> (g/hari)	Beban per kapita air buangan perkotaan (g/hari)	Kontribusi air limbah <i>laundry</i> terhadap air buangan (%)
COD	600	10.2	120	8.5
BOD	350	5.95	60	10
TSS	450	7.65	72	10.6
Total N	7	0.12	12	1
Total P	2	0.03	2.4	1

Sumber : Smulders, dkk (2002)

2.3 Deterjen

Deterjen berasal dari bahasa latin “*detere*” yang berarti membersihkan. Deterjen diartikan sebagai bahan pencuci sintetis dalam kehidupan sehari-hari selain sabun. Struktur deterjen dibagi menjadi dua bagian, yaitu gugus hidrofilik dan gugus hidrofobik. Deterjen juga mempunyai struktur yang hampir sama dengan sabun, yang membedakannya adalah gugus COO^- yang terdapat pada sabun diganti dengan gugus $-\text{OSO}_3^{2-}$ atau $-\text{SO}_3^{2-}$ (Maulidah, 2015). Secara umum deterjen tersusun atas tiga komponen yaitu, *builders* sebanyak 70-80 %, surfaktan sebanyak 20-30%, dan bahan aditif berkisar 2-8% (Sopiah dan Chaerunisah, 2006). Penjelasan lebih lanjut terkait komponen penyusun deterjen sebagai berikut (Smulders dkk, 2002):

- a. Surfaktan (*surface active agent*) adalah sebagai zat aktif permukaan yang memiliki ujung berbeda yaitu *hydrophile* (suka air) dan *hydrophobe* (tidak suka air). Bahan aktif tersebut berguna untuk menurunkan tegangan permukaan air sehingga dapat melepaskan kotoran yang menempel pada permukaan bahan. Surfaktan terdiri dari beberapa jenis diantaranya ialah anionik (*Alkyl Benzene Sulfonate*, *Linear Alkyl Benzene Sulfonate*), kationik (Garam Ammonium), non-ionik (*Nonyl phenol polyethoxyle*), dan amfoterik (*Acyl Ethylenediamines*).
- b. *Builder* (pembangun) berguna untuk meningkatkan efisiensi proses pencucian dari surfaktan dengan cara menon-aktifkan mineral penyebab kesadahan air. *Builder* berupa fosfat (*Sodium Tri Poly Phosphate*), asetat (*Nitril Tri Acetate*, *Ethylene Diamine Tetra Acetate*), silikat (Zeolit), serta sitrat (asam sitrat).
- c. *Filler* (pengisi) sebagai bahan tambahan deterjen yang tidak memiliki kemampuan untuk meningkatkan daya cuci, tetapi menambah jumlah (kuantitas) atau dapat memadatkan serta memantapkan sehingga dapat mengurangi harga. Contoh yang digunakan sebagai *filler* adalah Sodium sulfat.
- d. *Additives* sebagai bahan suplemen atau tambahan yang berfungsi agar produk lebih menarik, misalnya pewangi, pelarut, pemutih, pewarna dan sebagainya yang tidak ada kaitannya terhadap daya cuci deterjen. *Additives* digunakan sebagai maksud komersialisasi produk atau menjual produk. Contoh yang biasa digunakan yaitu: enzim, boraks, *Sodium Chloride*, *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC) digunakan agar kotoran yang terbawa oleh deterjen ke dalam larutan tidak kembali ke bahan cucian selama proses pencucian (anti redeposisi). Wangi-wangian atau

parfum dipakai agar cucian berbau lebih harum, sedangkan air digunakan sebagai bahan pengikatnya.

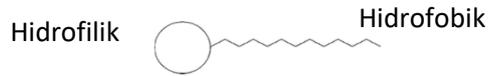
2.4 Surfaktan

Surface Active Agent atau surfaktan merupakan suatu senyawa organik yang memiliki dua gugus yaitu gugus liofilik (hidrofilik) dan gugus liofobik (hidrofobik) dalam sebuah molekul (Farn, 2006). Surfaktan menurunkan tegangan permukaan dikarenakan memiliki proses pematahan atau pelepasan ikatan hidrogen pada lapisan suatu permukaan. Hal ini terjadi akibat adanya perbedaan sifat antara gugus molekul penyusun surfaktan yaitu gugus hidrofobik dan gugus hidrofilik (Fessenden & Fessenden, 1990).

Bahan aktif permukaan atau dikenal dengan surfaktan merupakan bahan yang pada konsentrasi rendah dalam suatu sistem memiliki sifat terserap di atas permukaan (*surface*) atau antar permukaan (*interface*) dari sistem dan mengubah energi bebas permukaan atau antar permukaan hingga suatu tingkat yang teramati. Surfaktan selalu menurunkan energi bebas permukaan, walaupun untuk tujuan khusus dapat dibuat sebaliknya. Efek-efek ini dikenal sebagai aktif permukaan (*surface active*). Istilah antar permukaan (*interface*) tersebut menunjukkan batas antara dua fasa yang tidak bercampur, sedangkan istilah pada permukaan (*surface*) menunjukkan *interface* yang salah satu fasanya adalah gas, biasanya udara (Porter, 1994). Energi bebas permukaan adalah jumlah usaha atau kerja minimum yang diperlukan untuk menghasilkan suatu luas area dari *interface* tersebut. Besaran yang diukur ketika menetapkan tegangan di antara dua fasa yaitu energi bebas antar permukaan per-satuan luas area (Porter, 1994).

Surfaktan mempunyai struktur molekul yang khas, karena adanya gugus yang memiliki tarikan yang sangat kecil terhadap pelarut, yaitu dikenal sebagai gugus liofobik, bersama-sama dengan gugus yang memiliki tarikan yang kuat terhadap pelarut disebut gugus liofilik. Di dalam perairan yang terdapat surfaktan, distorsi pada air disebabkan oleh bagian liofobik surfaktan, dan menghasilkan kenaikan energi bebas sistem. Hal ini berarti kerja dibutuhkan untuk membawa molekul air ke permukaan, sehingga menyebabkan senyawa surfaktan pada suatu sistem cairan cenderung terkonsentrasi pada permukaan. Karena kerja yang dibutuhkan untuk membawa molekul surfaktan ke permukaan lebih kecil, berarti adanya surfaktan dapat menurunkan kerja yang dibutuhkan untuk membawa unit luas permukaan (energi bebas permukaan atau

tegangan permukaan). Sedangkan seiring dengan adanya gugus liofilik, mencegah keluarnya surfaktan secara sempurna dari pelarut sebagai fasa terpisah (Salager, 2002).



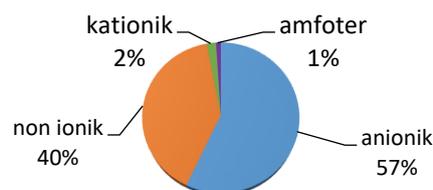
Gambar 2.1 Struktur surfaktan

2.4.1. Klasifikasi Surfaktan

Surfaktan diklasifikasikan menjadi empat bagian penting dan digunakan secara umum pada hampir seluruh sektor industri modern saat ini. Jenis-jenis surfaktan tersebut adalah surfaktan anionik, surfaktan kationik, surfaktan nonionik serta surfaktan amfoterik (Porter, 2000).

1. Surfaktan anionik yaitu surfaktan yang gugus alkilnya terikat pada suatu anion. Karakteristiknya yang hidrofilik dikarenakan adanya gugus ionik yang cukup besar, yang biasanya berupa gugus sulfat atau sulfonate. Contoh surfaktan anionik adalah *Alkyl Benzene Sulfonat* (ABS), *Linier Alkyl Benzene Sulfonat* (LAS), Alkohol sulfat (AS), Metil ester sulfonate (MES).
2. Surfaktan kationik yaitu surfaktan yang gugus alkilnya terikat pada suatu kation. Surfaktan jenis ini memecah dalam media cair, dengan bagian kepala surfaktan kationik yang bertindak sebagai pembawa sifat aktif permukaan. Contoh surfaktan kationik adalah garam alkil trimethyl ammonium, garam dialkildimethyl ammonium dan garam alkil dimethyl benzyl ammonium.
3. Surfaktan nonionik yaitu surfaktan yang gugus alkilnya tidak bermuatan. Contoh surfaktan nonionik adalah ester gliserol asam lemak.
4. Surfaktan amfoter yaitu surfaktan yang gugus alkilnya mempunyai muatan positif dan negatif. Contoh surfaktan amfoter adalah yang mengandung asam amino, betain, dan fosfobetain.

Jenis surfaktan dari klasifikasi tersebut dengan jumlah pemakaian terbesar adalah surfaktan anionik. Surfaktan jenis tersebut banyak diaplikasikan dalam hal pencucian dan pembersihan. Persentase surfaktan dapat dilihat pada gambar 2.2 sebagai berikut.

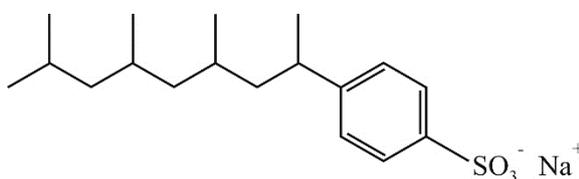


Gambar 2.2 Grafik persentase penggunaan surfaktan
Sumber: Sari, dkk (2016)

2.4.2. Alkyl Benzene Sulfonate (ABS)

Surfaktan yang banyak digunakan sebagai bahan deterjen adalah senyawa *Alkyl Benzene Sulfonate* (ABS). Senyawa ABS merupakan suatu produk sulfonasi dari suatu turunan benzene yang diproduksi dengan mereaksikan benzena dengan gugus *alkyl* (biasanya senyawa *tetrapropylene*) turunan senyawa *propylene* (Bozeya, 2009). Senyawa ABS memiliki rumus kimia $C_{18}H_{29}SO_3Na$ (Ketola, 2016). Senyawa ABS tidak berbentuk kristal, biasanya tersedia dalam bentuk pasta atau dalam bentuk bubuk di pasaran (Smulders dkk, 2002). Struktur ABS dapat digambarkan pada Gambar 2.3. Dari gambar 2.3 dapat dilihat bahwa ABS merupakan surfaktan anionik dengan dua karakter molekul yaitu gugus hidrofil dan gugus hidrofob (Bozeya, 2009). ABS tersusun dari rantai *alkyl* alipatik yang mewakili bagian hidrofobik, cincin benzene dan gugus sulfonate mewakili bagian hidrofilik (Bozeya, 2009).

Senyawa ABS termasuk kedalam surfaktan anionik karena memiliki gugus aktif yang bermuatan negatif dimana pada ABS gugus aktif tersebut adalah gugus *sulfonate* SO_3^- . Konsentrasi yang rendah surfaktan ABS akan membentuk mikroemulsi (Klier, 2000). Senyawa ABS dapat memberikan dampak yang sangat negatif, karena bakteri pengurai akan sangat lambat mengurai ABS disebabkan adanya rantai bercabang pada strukturnya. Terurainya ABS secara biologi yang semakin lama, menyebabkan perairan yang terkontaminasi senyawa ABS akan dipenuhi dengan busa, sehingga sangat membahayakan bagi lingkungan dan makhluk hidup (Maulidah, 2015). Senyawa ABS tidak begitu terpengaruh terhadap perubahan pH dikarenakan memiliki gugus sulfonate yang merupakan asam kuat (Myers, 2006:146).



Gambar 2.3 Struktur senyawa *Alkyl Benzene Sulphonate*
Sumber: Ketola (2016:10)

2.5. Hubungan Surfaktan dengan Proses Koagulasi-Flolukasi dan Analisa COD

Surfaktan merupakan suatu senyawa organik yang digunakan sebagai salah satu bahan deterjen. Surfaktan yang banyak digunakan sebagai bahan detergen adalah senyawa ABS. Namun, senyawa ABS resisten terhadap biodegradasi (*hard detergent*) yang menyebabkan pencemaran lingkungan berupa busa di air permukaan, air tanah, air minum dan instalasi pengolahan air limbah industri (Winarno dkk, 2006). Sehingga air yang mengandung surfaktan harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang secara langsung ke lingkungan. Penurunan kadar ABS dari air limbah dapat dilakukan dengan metode pemisahan koagulasi-flokulasi, dimana akan dibahas lebih lanjut pada sub-bab 2.7.

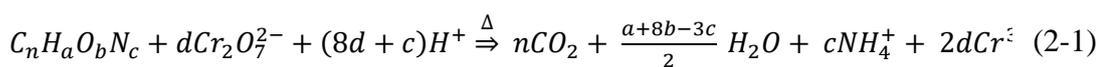
Persentase penurunan ABS tersebut dapat ditinjau dengan menentukan konsentrasi ABS di dalam air atau dengan mengukur jumlah senyawa organik di dalam air berdasarkan parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Total Organic Compound* (TOC) (Ketola, 2016). ABS (Surfaktan) adalah salah satu yang menyumbang sumber COD (Mukimin, 2006). Struktur ABS yang bercabang, mengakibatkan bakteri pengurai sangat lama untuk mengurai senyawa organik. Sehingga, parameter yang tepat untuk mengukur senyawa organik di dalam air ialah COD.

2.6. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Boyd, 1990), dimana jumlah oksigen setara dengan bahan organik yang berada di dalam sampel yang rentan terhadap bahan pengoksidasi (Sawyer dkk, 2003). Terdapat 2 metode yang dapat digunakan untuk menganalisa COD dalam suatu badan perairan, yaitu metode secara refluks terbuka dan metode secara refluks tertutup. Metode secara refluks terbuka cocok digunakan untuk bermacam-macam limbah terutama untuk limbah dengan kuantitas atau jumlah yang banyak. Metode secara refluks tertutup lebih ekonomis dalam penggunaan reagen, yaitu garam peroksida, namun membutuhkan proses homogenisasi sampel yang mengandung padatan tersuspensi agar mendapatkan hasil yang diharapkan. Pada refluks tertutup, senyawa organik *volatile* lebih teroksidasi sepenuhnya dalam sistem tertutup karena kontak yang lebih lama dengan oksidan tetapi hanya dapat digunakan untuk konsentrasi COD 5 sampai 50 mg/L O₂ (APHA, 2012). Sementara pada refluks terbuka sampel dianalisa dengan menggunakan peralatan yang terbuka (dapat berkontak dengan udara)

dan dapat digunakan pada sampel yang memiliki konsentrasi COD antara 50 mg/L O₂ sampai 900 mg/L O₂ (BSN, 2004: SNI 06-6989.15-2004).

Pada dasarnya, kedua metode tersebut memiliki prinsip yang sama yaitu sebagian besar bahan organik dioksidasi dengan oksidator kuat, yaitu kalium dikromat (K₂Cr₂O₇) yang berlebih dalam suhu tinggi dan suasana asam serta direfluks selama dua jam. Kalium dikromat yang tereduksi setara dengan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik tersebut (APHA, 2012). Reaksinya sebagai berikut (Sawyer dkk, 2003):



$$\text{dimana, } d = 2n/3 + a/6 - b/3 - c/2$$

2.7. Teknik Penurunan COD

Langkah yang sangat penting dalam pengolahan air dan air limbah adalah proses koagulasi-flokulasi karena banyak digunakan, sederhana, dan biaya yang efektif (Tzoupanos dan Zouboulis, 2008). Unit proses koagulasi-flokulasi terdiri dari tiga tahap yaitu (Ebeling dan Ogden, 2004:199):

1. Pada proses pengadukan cepat, bahan-bahan kimia yang sesuai ditambahkan ke dalam aliran air limbah yang kemudian diaduk pada kecepatan tinggi secara intensif,
2. Pada proses pengadukan lambat, air limbah diaduk pada kecepatan sedang agar membentuk flok-flok besar sehingga mudah diendapkan,
3. Pada proses sedimentasi, flok yang terbentuk selama flokulasi dibiarkan mengendap kemudian dipisahkan dari aliran keluar.

2.7.1. Koagulasi

Koagulasi merupakan proses pemisahan yang menggunakan bahan kimia untuk mendestabilisasi koloid melalui modifikasi muatan, dimana berkurangan gaya tolak-menolak antar partikel koloid yang menyebabkan partikel-partikel tersebut saling berikatan dan bertambahnya ukuran sehingga efektif untuk pengendapan (Hidayati dan Himma, 2018:26). Koagulasi biasanya selesai dalam waktu yang singkat. Fungsi dari koagulasi adalah untuk mengatasi factor-faktor yang menyebabkan terjadinya stabilisasi pada air (Tzoupanos dan Zouboulis, 2008).

Stabilisasi adalah kemampuan sebuah partikel untuk menjaga kondisinya sebagai individu tunggal yang terpisah satu sama lain (kondisi terdispersi) (Bratby, 2006:4). Muatan-muatan listrik yang sama pada partikel-partikel kecil dalam air menyebabkan partikel-partikel tersebut saling menolak sehingga membuat partikel-partikel koloid kecil terpisah satu sama lain dan menjaganya tetap berada dalam kondisinya. Dengan penambahan kogulan maka dapat menetralkan atau mengurangi muatan negatif pada partikel sehingga mengijinkan gaya tarik *van der waals* untuk mendorong terjadinya agregasi koloid dan zat-zat tersuspensi halus untuk membentuk mikroflok (Ebeling dan Ogden, 2004:199).

2.7.2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Koagulasi

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi sebagai berikut (Wang dkk, 2005:112-114) :

1) Konsentrasi Koloid

Konsentrasi koloid memiliki dampak yang besar terhadap dosis koagulan yang dibutuhkan dan efisiensi proses koagulasi. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk destabilisasi dispersi koloid yang secara stoikiometri berhubungan dengan jumlah partikel koloid yang ada dalam larutan. Namun, untuk larutan koloid yang encer, laju koagulasi akan berjalan sangat lambat karena jumlah koloid yang sedikit dalam suspensi, sehingga partikel-partikel tersebut tidak cukup berkontak langsung.

2) Dosis Koagulan

Dosis koagulan yang cukup diperlukan untuk terjadinya destabilisasi koloid. Sedangkan ketika dosis koagulan berlebih dapat menyebabkan pembalikan muatan dan restabilisasi partikel-partikel koloid. Dapat juga terjadi *sweep action* oleh flok koagulan yang mengendap ketika dosis ditingkatkan lagi (Hidayati dan Himma, 2018:34). Bila penambahan koagulan sesuai dengan dosis yang dibutuhkan maka proses pembentukan inti flok akan berjalan dengan baik (Rahimah dkk, 2016).

3) Zeta Potensial

Zeta Potensial menunjukkan muatan tetap pada partikel koloid. Akibatnya, semakin tinggi zeta potensial maka akan semakin besar gaya repulsif (tolak-menolak) antar partikel dalam air sehingga sistem koloid akan lebih stabil. Zeta

potensial ditentukan dari pengukuran elektroforesis pergerakan partikel dalam medan listrik.

4) pH

Proses koagulasi akan berjalan dengan baik bila berada ada daerah pH yang optimum. Untuk tiap jenis koagulan mempunyai pH optimum yang berbeda satu sama lainnya (Rahimah dkk, 2016). Pengaruh dari pH terhadap proses koagulasi yaitu pada tiap variasi pH akan menghasilkan spesies hidrolisat yang terbentuk, seperti pada koagulan yang berbasis logam aluminium. Pada pH rendah terbentuk monomer dan polimer aluminium. Pembentukan presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ mulai terjadi pada pH sekitar 4,5 dan akan terus meningkat seiring dengan kenaikan pH, dimana presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ ini merupakan spesies yang paling dominan (Rachmawati, dkk. 2009). Sedangkan pada pH basa spesies yang terbentuk merupakan spesies yang bermuatan negatif yaitu $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ (Saukkoriipi, 2010).

5) Kecepatan Pengadukan

Tujuan pengadukan adalah untuk mencampurkan koagulan ke dalam air. Dalam pengadukan hal-hal yang perlu diperhatikan adalah pengadukan harus homogen, sehingga semua koagulan yang ditambahkan dapat bereaksi dengan partikel-partikel atau ion-ion yang berada dalam air. Kecepatan pengadukan sangat berpengaruh terhadap pembentukan flok. Proses pengadukan yang terlalu lambat mengakibatkan lambatnya pembentukan flok dan sebaliknya apabila pengadukan terlalu cepat maka mengakibatkan pecahnya flok (Rahimah dkk, 2016).

6) Jenis Koagulan

Pemilihan jenis koagulan didasarkan pada pertimbangan segi ekonomis dan daya efektivitas dari pada koagulan dalam pembentukan flok.

7) Waktu Pengadukan

Waktu pengadukan akan mempengaruhi proses sedimentasi atau pengendapan.

2.7.3. Flokulasi

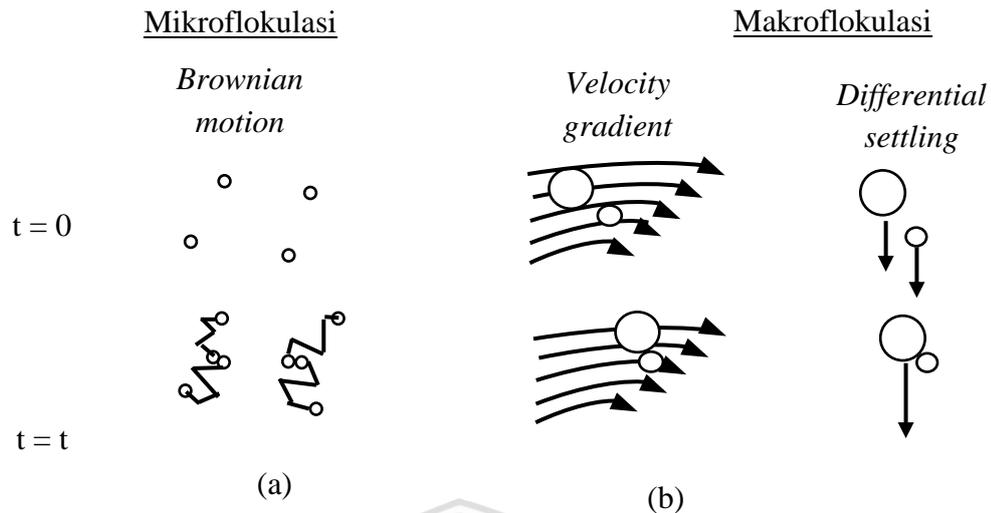
Flokulasi adalah proses teknik pengadukan lambat untuk menunjukkan dimana partikel koloid yang tidak stabil sehingga meningkatkan penyatuannya (aglomerasi). Tingkat aglomerasi atau flokulasi bergantung pada jumlah partikel yang ada, volume relatif, dan gradient kecepatan (G) (Steel dan MCGhee, 1985:232). Fungsi flokulasi

adalah untuk mengoptimalkan laju kontak antara partikel-partikel yang terdestabilisasi, maka akan meningkatkan laju pertumbukan dan agregasi partikel-partikel menjadi flok berukuran lebih besar dan padat. Proses flokulasi memungkinkan partikel koloid untuk berkumpul dan membentuk flok yang lebih besar sehingga flok dapat dipisahkan dari air melalui pengendapan, atau filtrasi (Wang dkk, 2005:125).

Mekanisme flokulasi bergantung pada karakteristik partikel dalam proses pencampuran fluida. Penambahan koagulan ke dalam air yang mengandung partikel kecil menyebabkan partikulat menjadi terdestabilisasi dan mulai mengalami flokulasi (Crittenden dkk, 2012:590).

Istilah flokulasi digunakan untuk menggambarkan proses ketika ukuran partikel meningkat akibat tumbukan antar partikel. Flokulasi dibedakan menjadi (Crittenden dkk, 2012:590-591):

- 1) Mikroflokulasi (flokulasi perikinetik) terjadi ketika partikel teragregasi karena termal acak dari molekul-molekul cairan yang disebut *Brownian Motion*. Mikroflokulasi terjadi pada partikel yang kecil (kurang dari 0,1 μm). Ketika agregasi partikel terjadi, maka partikel berukuran yang lebih besar akan terbentuk dan setelah beberapa detik mikroflok berukuran 1 hingga 100 μm terbentuk.
- 2) Makroflokulasi (flokulasi ortokinetik) terjadi ketika partikel teragregasi karena adanya peningkatan gradien kecepatan sehingga menyebabkan tabrakan antara partikel tersuspensi. Makroflokulasi dapat diakibatkan juga oleh *differential settling*, yaitu ketika partikel-partikel besar menarik partikel-partikel kecil membentuk partikel-partikel yang lebih besar karena adanya *gravity settling* (Metcalf dan Eddy, 2003:346). Setelah waktu pengadukan tertentu akan terbentuk kesetimbangan flok dimana laju pembentukan dan pemecahan flok hampir sama.



Gambar 2.4 Ilustrasi skema 2 jenis flokulasi, (a) mikroflokulasi dan (b) makroflokulasi

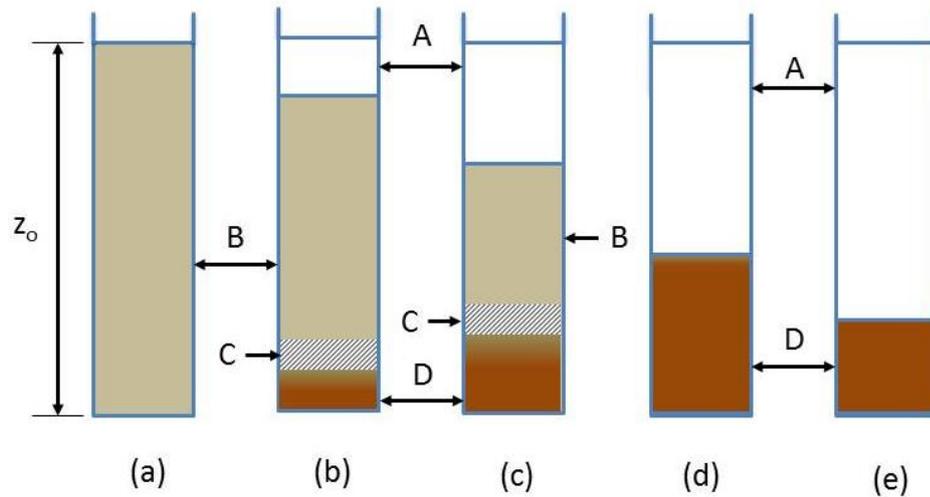
Sumber: Metcalf dan Eddy (2003:347)

2.7.4. Sedimentasi

Sedimentasi didefinisikan sebagai unit operasi dimana partikel tersuspensi dipisahkan dari suspensi dengan pengendapan secara gravitasi. Tujuan sedimentasi adalah untuk menghilangkan partikel tersuspensi baik dengan atau tanpa penambahan bahan kimia. Tujuan bahan kimia ditambahkan untuk menginduksi pembentukan flok sehingga flok dapat mengendap dengan cepat. (Wang dkk, 2005:380).

Proses sedimentasi dapat dipertimbangkan dalam tiga klasifikasi dasar, tergantung pada sifat padatan yang ada dalam suspensi tersebut: 1) pengendapan diskrit, 2) pengendapan flokulan, dan 3) zona pengendapan. Dalam pengendapan diskrit, partikel mempertahankan individualitas dan tidak berubah dalam ukuran, bentuk, atau kerapatan selama proses penyelesaian. Pengendapan flokulan terjadi ketika partikel-partikel tersebut mengalami aglomerat selama periode pengendapan dengan perubahan ukuran dan tingkat pengendapan yang dihasilkan. Zona pengendapan melibatkan suspensi flokulasi yang membentuk struktur kisi dan mengendap sebagai massa (Eckenfelder, 2000:85)

Proses sedimentasi terjadi melalui beberapa tahap. Selama tahap tersebut, mengalami pembentukan zona-zona yang berbeda pada cairan. Zona-zona tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Zona-zona pada proses sedimentasi
Sumber: Mc.Cabe dkk (1993:1053)

Mula-mula, padatan akan terdistribusi sempurna di dalam cairan seperti Gambar 2.6a. Total kedalaman suspensi adalah Z_0 . Setelah beberapa waktu, padatan akan mengendap sehingga membentuk zona bening (Zona A) seperti Gambar 2.6b dan endapan padatan (zona D). Di atas zona D merupakan lapisan transisi (Zona C). Zona C adalah zona yang konsentrasi padatannya gabungan antara zona D dan zona B. Pada zona B, konsentrasi padatannya sama dengan konsentrasi awal larutan. Batas antara zona D-C dan C-B terlihat kurang jelas, sedangkan batas antara zona A-B terlihat sangat jelas (McCabe dkk, 1993:1052).

Setelah proses pengendapan berlanjut, kedalaman zona D dan zona A akan meningkat, kedalaman zona C konstan, dan kedalaman zona B berkurang. Kondisi tersebut ditunjukkan oleh Gambar 2.6c. Setelah itu, zona B akan menghilang dan seluruh padatan akan berada di zona C dan D seperti pada Gambar 2.6d. Penumpukan padatan akan mengakibatkan tekanan pada zona D. Sementara itu, akumulasi padatan secara bertahap akan memberikan tekanan pada material di bagian bawah, yang memampatkan padatan pada zona D. Tekanan tersebut akan memecah flok atau agregat sehingga cairan yang terkandung di dalamnya terdorong ke atas dari zona D. Akhirnya, ketika berat padatan seimbang dengan tekanan flok, proses sedimentasi akan berhenti dan menghasilkan zona seperti Gambar 2.6e (Mc.Cabe dkk, 1993:1052-1053).

2.8. Koagulan

Senyawa koagulan adalah senyawa yang mempunyai kemampuan mendestabilisasi koloid dengan cara mengurangi muatan listrik pada permukaan koloid sehingga koloid dapat bergabung satu sama lain membentuk flok dengan ukuran yang lebih besar dan mudah mengendap (Kristijarti dkk., 2013). Koagulan dapat berupa garam-garam logam (anorganik) atau polimer (organik) (Gebbie 2005).

2.8.1. Koagulan Polimer

Koagulan polimer adalah senyawa-senyawa organik sintetis yang disusun dari rantai panjang molekul-molekul yang lebih kecil. Koagulan organik pada umumnya tidak mempengaruhi alkalinitas dan pH air (Gebbie 2005). Koagulan polimer atau disebut koagulan polielektrolit mengandung gugus fungsi di sepanjang rantai polimer yang dapat terionisasi dan menyebabkan molekul polimer bermuatan positif atau negatif tergantung pada gugus fungsi yang ada. Selanjutnya hal ini dapat disebut sebagai polielektrolit kation atau polielektrolit anion. Semua jenis polielektrolit merupakan koloid hidrofilik dengan berat molekul 10^4 - 10^7 . Terdapat tiga golongan utama yang termasuk sebagai koagulan polimer, yaitu (Bratby, 2006:50-56):

- Silika teraktivasi
- Polielektrolit alami, meliputi biji oleifera, pati, tannin, kitosan dan natrium alginat
- Polimer sintetik

2.8.2. Koagulan Logam

Koagulan logam (anorganik) mencakup bahan-bahan kimia umumnya berbasis aluminium atau besi. Koagulan aluminium contohnya: aluminium sulfat, aluminium klorida, polialuminium klorida (PAC), polialuminium sulfat klorida, polialuminium silikat klorida dan bentuk dari polialuminium klorida dengan polimer organik. Sedangkan koagulan besi contohnya: *ferric sulfat*, *ferrous sulfat*, *ferric chloride*, *ferric clorida sulfate*, *polyferric sulfate* dan garam besi dengan polimer organik (Bratby, 2006:32). Penerapan koagulan logam digunakan secara meluas, terutama karena biaya relatif murah dan sederhana. Namun, koagulan logam memiliki beberapa kelemahan, seperti kebutuhan penyesuaian pH sebelum atau sesudah pengaturan, kepekaan terhadap perubahan suhu, kebutuhan akan dosis yang lebih tinggi karena netralisasi muatan biasanya tidak cukup, sensitivitas terhadap

karakteristik dan komposisi sampel tertentu (Tzoupanos dan Zouboulis, 2008). Ketika ditambahkan ke dalam contoh air, koagulan anorganik akan mengurangi alkalinitasnya sehingga pH air akan turun. Koagulan anorganik akan meningkatkan konsentrasi padatan terlarut pada air yang diolah (Gebbie 2005).

Proses destabilisasi dicapai oleh satu atau lebih dari empat mekanisme koagulasi dengan koagulan logam. Mekanisme yang terjadi bergantung pada pH dan dosis koagulan (Wang dkk, 2005:110-112).

- Kompresi lapisan ganda

Mekanisme ini sering terjadi pada kondisi pH <4 dengan dosis yang tinggi (Bratby, 2006:83). Ketika elektrolit dengan konsentrasi yang tinggi ditambahkan pada dispersi koloid yang stabil, maka ion bermuatan berlawanan akan terdifusi menembus lapisan ganda yang mengelilingi partikel. Sehingga, partikel lebih padat namun lebih tipis dan lebih kecil. Penambahan ion bermuatan berlawanan yang tinggi seperti ion divalen dan trivalen akan menyebabkan gradien potensial elektrostatik lebih curam dan penurunan muatan pada permukaan partikel yang lebih cepat.

Ketebalan lapisan ganda akan menyusut dengan meningkatnya kekuatan ion dan valensi. Selain itu, apabila lapisan ganda lebih kecil daripada gaya *Van der Waals* maka suspensi flokulasi akan terbentuk dengan cepat (Crittenden dkk, 2012:554). Misalnya, kekuatan relatif Al^{3+} , Mg^{2+} , dan Na^+ untuk koagulasi koloid negatif serta PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , dan Cl^- untuk koagulasi koloid yang bermuatan positif.

- Adsorpsi dan netralisasi muatan

Mekanisme ini sering terjadi pada kondisi pH 5 sampai 6 (Brarby, 2005:94). Koagulan adalah molekul yang bermuatan positif, sehingga mudah dan cepat melekat pada koloid yang bermuatan negatif. Muatan pada partikel akan dinetralkan dan gaya tolak menolak elektrostatik menurun atau dihilangkan, akibatnya terjadi destabilisasi koloid dan terjadi aglomerisasi. Contohnya yaitu $Al_6(OH)_{15}^{3+}$, $Al_7(OH)_{17}^{4+}$, $Fe_2(OH)_2^{4+}$, dan $Fe_3(OH)_4^{5+}$.

- Penjeratan koloid dalam presipitat (*Sweep Coagulation/Flocculation*) dan Adsorpsi

Mekanisme ini seringkali terjadi pada aplikasi pengolahan air dimana pH umumnya antara 6 dan 8 (Crittenden dkk, 2012:559). Partikel koloid akan terperangkap dalam presipitat selama pembentukan endapan atau setelahnya.

Tipe koagulasi ini yaitu dengan menangkap koloid di endapan, biasanya disebut dengan *sweep coagulation*. Contohnya yaitu $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Terdapat 3 parameter yang mempengaruhi mekanisme koagulasi *sweep floc* ialah (Wang dkk, 2005:111):

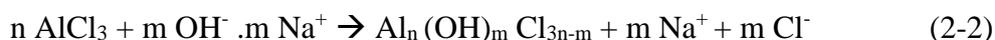
- 1) *Oversaturation*: laju pengendapan merupakan fungsi dari *oversaturation* dengan logam hidroksida. Untuk memperoleh pengendapan yang cepat dan *sweep coagulation* yang efisien maka $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$ dengan konsentrasi tinggi diperlukan
- 2) Adanya anion: laju pengendapan meningkat dengan adanya berbagai anion dalam air. Anion yang paling efektif terhadap hal ini ialah ion sulfat.
- 3) Konsentrasi koloid: laju pengendapan juga meningkat dengan konsentrasi partikel koloid yang tinggi. Hal ini dikarenakan koloid dapat berperilaku sebagai inti untuk pembentukan presipitat. Sehingga, dosis koagulan yang lebih rendah daripada konsentrasi lebih tinggi diperlukan untuk mengendapkan partikel koloid berkonsentrasi tinggi.

2.9. PAC (*Poly Aluminium Chloride*)

PAC adalah garam dasar khusus aluminium klorida yang dirancang untuk memberikan daya koagulasi dan flokulasi yang lebih kuat dan lebih baik daripada aluminium biasa dan garam besi. PAC mempunyai rumus $\text{Al}_m(\text{OH})_n\text{Cl}_{(3m-n)}$ (Kristijarti dkk., 2013). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa jenis aluminium utama dari PAC adalah dalam bentuk polimer dengan rumus molekul $\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl}_3$ (Gebbie, 2006). Keunggulan PAC adalah sangat baik untuk menghilangkan kekeruhan dan warna, juga efektif pada tingkat pH yang luas, aktifitas tidak dipengaruhi oleh suhu, pemakaian bahan pembantu lebih kecil, penghematan dalam penggunaan bahan netralisasi, bereaksi lebih cepat (Noviani, 2012).

2.9.1. Karakteristik PAC

PAC dipersiapkan dengan melakukan hidrolisis parsial aluminium klorida, sebagaimana ditunjukkan pada reaksi berikut (Rumapea, 2009).



Koagulan polimer anorganik, khususnya *pre-hydrolyzed* garam Al secara parsial seperti polialuminium klorida (PAC) telah dikembangkan dan digunakan di seluruh

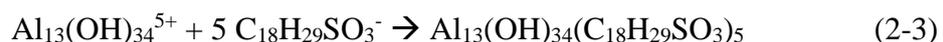
dunia sejak tahun 1980-an. Reaksi hidrolisis aluminium berperan sangat penting dalam mendestabilisasi dan menggumpalkan partikel tersuspensi dan material organik dalam proses koagulasi. Setelah koagulan ditambahkan ke dalam air, maka akan mengalami proses secara seri yaitu hidrolisis, polimerisasi, agregasi dan presipitasi. Hidrolisis dengan koagulan polimer Al sangat berbeda dari koagulan monomer Al. Umumnya, koagulan konvensional garam Al (III) memiliki efisiensi koagulasi lebih rendah daripada koagulan polimer Al karena proses hidrolisisnya sulit untuk dikendalikan. Namun, tingkat hidrolisis koagulan polimer Al dapat dikendalikan selama pembuatan dan tingkat pembentukan presipitat hidroksida pada penambahan larutan koagulan diperlambat sehingga memungkinkan polimer Al tetap bermuatan positif untuk waktu yang lebih lama dan demikian meningkatkan kapasitas netralisasi muatan dengan koagulan polialuminium (Chen dkk, 2009).

Bentuk presipitat yang berasal dari alum dan polialuminium klorida memiliki perbedaan pada karakteristik hamburan cahaya, mobilitas elektroforesis dan kelarutannya. Dimana, fase padat dari alum terdiri dari presipitat amorf $\text{Al}(\text{OH})_3$, dan presipitat dari polialuminium klorida tetap pada struktur polimer yang terdiri dari agregat Al_{13} (Chen dkk, 2009).

2.9.2. Mekanisme Koagulasi dengan PAC

Koagulan PAC yang digunakan pada penelitian kali ini pada kondisi pH 5-9, sehingga koagulan PAC cenderung membentuk $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+}$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, dan $\text{Al}(\text{OH})_4^-$. Mekanisme reaksi koagulan PAC pada proses koagulasi adalah sebagai berikut (Geng, 2005):

1. **Netralisasi muatan** merupakan interaksi langsung antara hidrolisat positif dengan koloid negatif, salah satunya adalah $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+}$. Ketika PAC ditambahkan ke dalam air, monomer atau polimer aktif akan terbentuk dimana memiliki ion positif sehingga dapat dijadikan untuk mengabsorpsi partikel koloid pada permukaan. Sehingga partikel koloid akan terdestabilisasi.

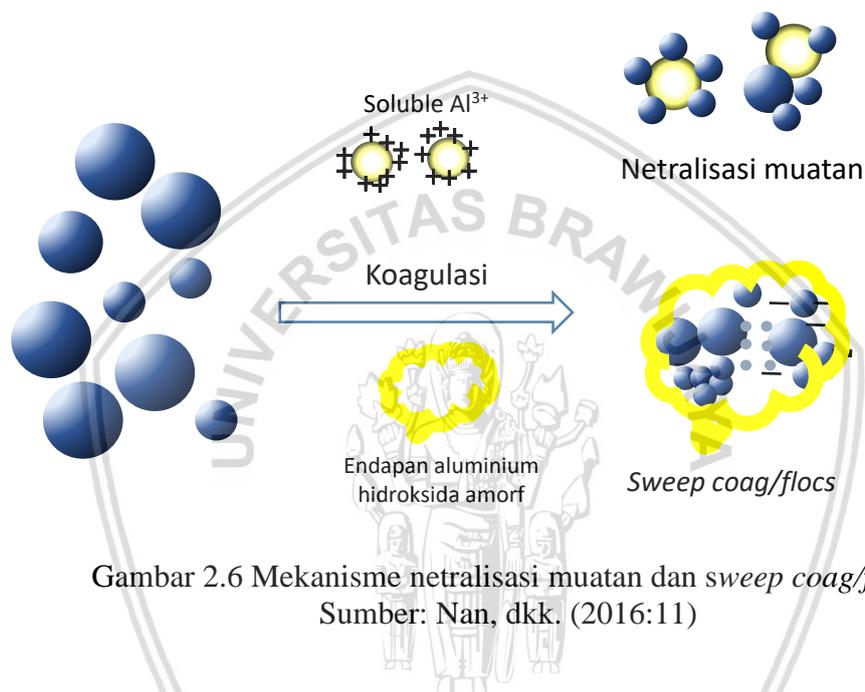


2. **Enmeshment (Sweep Coagulation/Flocculation)** merupakan mekanisme fisik dimana partikel koloid terperangkap di dalam hidrat aluminium yang terbentuk pada pH netral atau basa. Ketika PAC ditambahkan ke dalam air dalam jumlah yang cukup, maka akan terbentuk endapan aluminium hidrat. Partikel koloid

dapat terperangkap di dalam endapan. Reaksi yang terjadi sebagai berikut (Gebbie, 2005):



3. **Adsorpsi**, senyawa organik dapat diadsorpsi oleh endapan metal hidrat yang terbentuk dari reaksi hidrolisis koagulan. Mekanisme ini hampir mirip dengan mekanisme kompleksasi/presipitasi dimana senyawa organik teradsorpsi pada permukaan endapan.



Gambar 2.6 Mekanisme netralisasi muatan dan *sweep coag/flocs*
Sumber: Nan, dkk. (2016:11)

2.10. Analisa Pengujian *Jar Test*

Jar test adalah prosedur untuk mempelajari pengaruh penambahan koagulan terhadap air, untuk menentukan dosis, dan kondisi operasi yang diperlukan pada koagulasi dan flokulasi yang efektif. Tujuan *jar test* ialah untuk mensimulasikan sejauh mungkin kondisi yang diharapkan atau yang diinginkan pada koagulasi-flokulasi (Crittenden dkk, 2012:543&578).

Jar test dapat dijalankan dengan memilih beberapa variabel di bawah ini (Wang dkk, 2005:119):.

1. Jenis Koagulan
2. Dosis Koagulan
3. pH optimum
4. Urutan penambahan bahan kimia

5. Waktu pengadukan untuk pengadukan cepat
6. Waktu pengadukan untuk pengadukan lambat

Alat untuk metode *jar test* terdiri dari batang pengaduk dengan jumlah tertentu yang kecepatannya dapat diatur. Alat *jar test* ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Peralatan untuk *Jar Test*

Pada dasarnya, untuk optimasi dosis, maka sampel limbah dituangkan ke sederet *jar*, dan variasi dosis dimasukkan ke dalam sederet jar tersebut. Koagulan diaduk pada kecepatan 60-80 rpm selama 30-60 detik dan dilanjutkan pada kecepatan lambat 25-35 rpm selama 15-20 menit. Selanjutnya suspensi diendapkan selama 20-45 menit pada keadaan diam. Kemudian sampel dianalisis untuk kekeruhan, warna, padatan tersuspensi dan pH. Dosis koagulan yang optimum dipilih atas dasar terbaik kualitas efluen dan biaya koagulan yang minimum (Wang dkk, 2005:119-120).

2.11. Penelitian Terdahulu

Di bawah ini terdapat beberapa penelitian terdahulu, diantaranya :

Tabel 2.3 Penelitian terdahulu

Penulis	Jenis Limbah	Kondisi Percobaan	Hasil
Fanty Rachmah, 2013	Limbah <i>laundry</i> PT. Aura Petra Jaya $pH_{avg} = 9$	<ol style="list-style-type: none"> 1. $pH =$ tanpa pengaturan pH dan pH 7 2. $\omega_1 = 120$ rpm, $t_1 = 1$ menit 3. $\omega_2 = 45$ rpm, $t_2 = 30$ menit. 4. $M_{0PAC} = 0 - 2000$ ppm 5. $M_{1PAC} = 0 - 1400$ ppm 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penurunan COD pada sampel tanpa pengaturan pH dengan koagulan PAC 1200 ppm sebesar 91,8%. 2. Penurunan COD pada sampel tanpa pengaturan pH lebih besar dibandingkan sampel dengan pengaturan pH
Retno Dwi Harwiyanti, 2015	Limbah <i>laundry</i> Pratama, Klaten $pH_{avg} = 7,49$ $T = 27,6^\circ C$ COD = 385,92 ppm	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\omega_1 = 70$ rpm, $t_1 = 1$ menit 2. $\omega_2 = 50$ rpm, $t_2 = 15$ menit. 3. $t_p = 30$ menit 4. $M_{PAC} = 0, 250, 500,$ dan 750 ppm 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dosis koagulan PAC yang dapat menurunkan COD air limbah <i>laundry</i> terbesar adalah 750 ppm dengan penurunan sebesar 71,79% 2. Pada dosis penambahan koagulan 750 ppm pH rata-rata menurun menjadi 5,56.
Matthaios P. Kavvalakis. Dkk., 2016	Limbah <i>laundry</i> di Crete, Yunani $pH = 6,8 \pm 0,4$ COD = 2628 ± 64 ppm	<ol style="list-style-type: none"> 1. $M_{Al_2(SO_4)_3} = 25 - 250$ mg/L 2. $M_{polyelectrolit} = 45$ mg/L (sebagai flokulan) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dosis koagulan Aluminum Sulfat yang dapat menurunkan COD terbesar adalah 75 mg/L dengan penambahan polyelektrolit sebesar 45 mg/L didapatkan penurunan COD sebesar 75% serta penurunan turbiditas sebesar 70,4%

Keterangan:

ω_1 = Kecepatan pengadukan cepat; t_1 = Waktu pengadukan cepat; ω_2 = Kecepatan pengadukan lambat; t_2 = Waktu pengadukan lambat; t_p = Waktu pengendapan; M_{0PAC} = Dosis koagulan PAC tanpa pengaturan pH ; M_{1PAC} = Dosis koagulan PAC dengan pengaturan pH ; M_{PAC} = Dosis koagulan PAC; $M_{Al_2(SO_4)_3}$ = Dosis koagulan $Al_2(SO_4)_3$; $M_{polyelectrolit}$ = Dosis flokulan polielektrolit.



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB III

METODELOGI PENELITIAN

Metode pada penelitian ini adalah menggunakan metode penelitian secara kuantitatif eksperimental dengan skala laboratorium. Penelitian ini dilakukan sesuai dengan variabel-variabel yang telah ditentukan. Proses koagulasi-flokulasi dilakukan menggunakan *jar test* yang merupakan peralatan skala laboratorium.

3.1. Tempat Pelaksanaan

Penelitian penurunan COD pada limbah *laundry* dilakukan di Laboratorium Sains Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

3.2. Variabel Penelitian

- a) Dosis koagulan PAC: 200, 400, 600, dan 800 mg/L sampel.
- b) pH awal sampel : pH 5, 6, 7, 8, dan 9.

3.3. Alat dan Bahan Penelitian

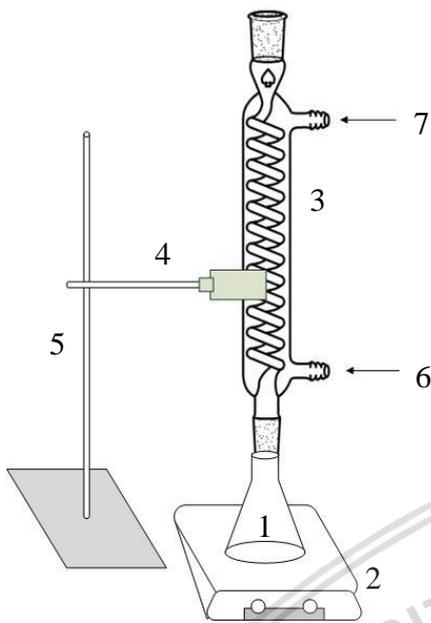
3.3.1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *jar test*, neraca analitik, gelas beker, kaca arloji, labu ukur, pipet volume, gelas ukur, *ball pipet*, dan spatula. Selain itu, untuk analisis diperlukan pula alat-alat seperti pH meter, kondensor spiral, klem holder, statif, termometer inframerah, *hot plate*, buret, dan labu erlenmeyer.

3.3.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Alkyl Benzene Sulfonate* (ABS) teknis sebagai limbah sintesis, serbuk *Poly Aluminium Chloride* (PAC) teknis sebagai koagulan, NaOH p.a. sebagai pembawa pH basa, akuades, serta sebagai bahan analisa *Chemical Oxygen Demand* (COD) yaitu: reagen $\text{Ag}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$, serbuk HgSO_4 , batu didih, larutan Standar Fero Amonium Sulfat (FAS), dan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

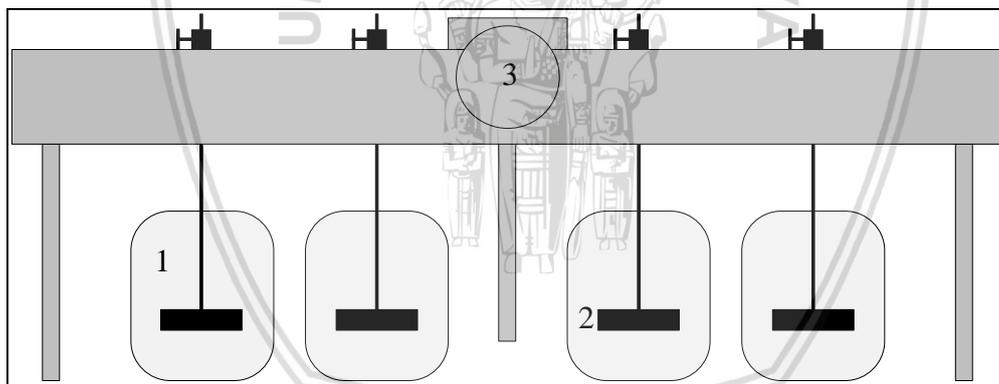
3.3.3. Rangkaian Alat



Keterangan Gambar 3.1:

1. Erlenmeyer berisi sampel
2. *Hot plate*
3. Kondensor spiral
4. Klem holder
5. Statif
6. Air pendingin masuk
7. Air pendingin keluar

Gambar 3.1 Rangkaian alat analisa COD



Keterangan Gambar 3.2:

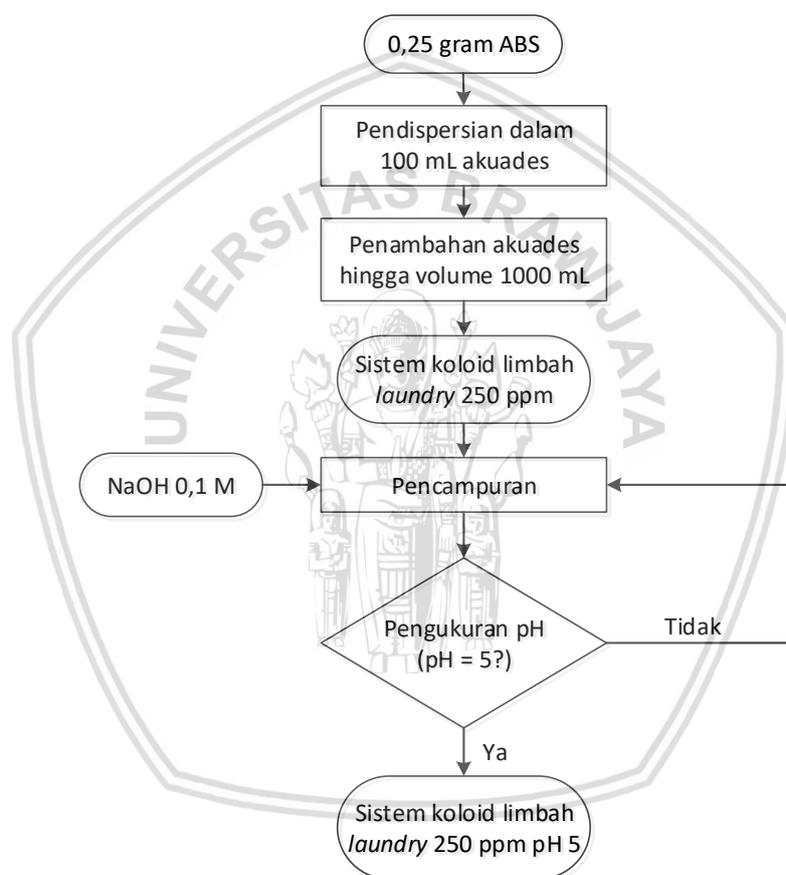
1. Tempat air uji
2. Pengaduk
3. Pengaturan waktu dan kecepatan

Gambar 3.2 Rangkaian alat proses koagulasi-flokulasi menggunakan *Jar Test*

3.4. Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini prosedur dilakukan melalui beberapa tahapan diantaranya ialah persiapan sistem koloid limbah *laundry* dengan pengukuran nilai pH sistem koloid limbah *laundry* sebelum dan sesudah penambahan NaOH dan juga pengukuran COD. Tahap selanjutnya penelitian dilanjutkan ke proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan *jar test* serta pada tahap akhir dilakukan analisa pengukuran pH dan COD sistem koloid limbah *laundry* yang telah dikoagulasi-flokulasi.

3.4.1. Pembuatan Sistem Koloid Limbah *Laundry* dengan ABS 250 ppm



Gambar 3.3 Diagram alir pembuatan sistem koloid limbah *laundry*

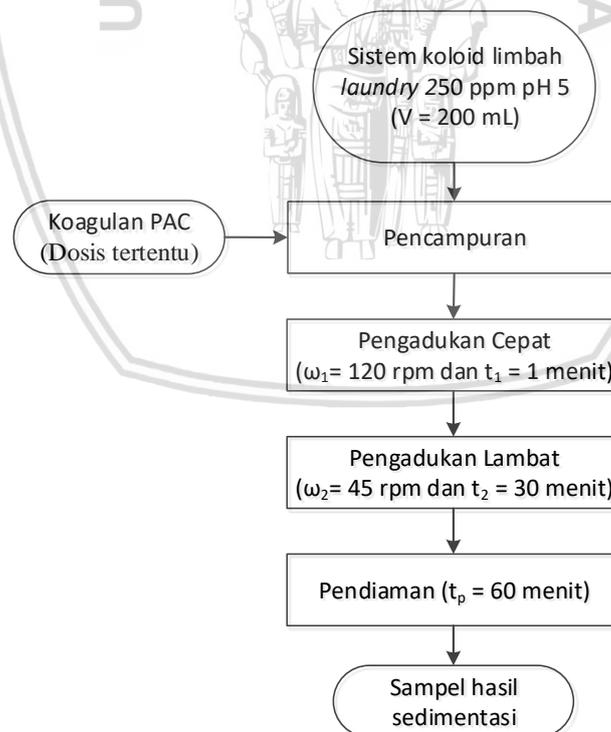
NB: Prosedur di atas diulangi dengan pengaturan pH awal 6,7, 8 dan 9.

Sampel yang dibuat dalam penelitian ini ialah sistem koloid limbah *laundry*. Pembuatan sampel dilakukan dengan menimbang 0,25 gram ABS dan didispersikan ke dalam 100 mL akuades. Kemudian dilakukan penambahan akuades hingga volume 1000 ml akuades dan didapatkan sampel berupa sistem koloid limbah *laundry* 250 ppm. Sampel yang telah dibuat kemudian dilakukan pengaturan pH dengan ditambahkan NaOH 0,1 M hingga pH menjadi 5, 6, 7, 8, dan 9. Kemudian

dilakukan pengukuran pH dan analisa COD sebelum proses koagulasi-flokulasi. Adapun penjelasan lebih lengkap analisa uji dapat dilihat pada sub bab 3.4.3 dan 3.4.4.

3.4.2. Proses Koagulasi-Flokulasi

Proses koagulasi-flokulasi dilakukan dengan menggunakan *jar test* yang mengacu pada SNI 19-6449-2000 serta dilakukan pada tekanan atmosferik dan suhu ruang. Tahap pertama proses koagulasi-flokulasi dengan ditambahkan koagulan PAC pada variasi dosis 200, 400, 600, dan 800 mg/L sampel setara dengan 0,04; 0,08; 0,12; dan 0,16 PAC ke dalam gelas beker berisi 200 mL sistem koloid limbah *laundry*. Gelas beker selanjutnya dipasang pada alat *jar test* untuk memulai pengadukan. Pengadukan dilakukan berdasarkan kondisi operasi yaitu pengadukan cepat 120 rpm selama 1 menit dan dilanjutkan dengan pengadukan lambat 45 rpm selama 30 menit. Sistem koloid limbah *laundry* kemudian didiamkan selama 60 menit untuk proses sedimentasi. Adapun prosedur koagulasi-flokulasi dengan PAC digambarkan pada Gambar 3.4 sebagai berikut



Gambar 3.4 Diagram alir proses koagulasi-flokulasi sistem koloid limbah *laundry* menggunakan koagulan PAC (*Poly Aluminium Chloride*)

NB: Prosedur di atas diulangi untuk sampel dengan pH awal 6,7, 8 dan 9.

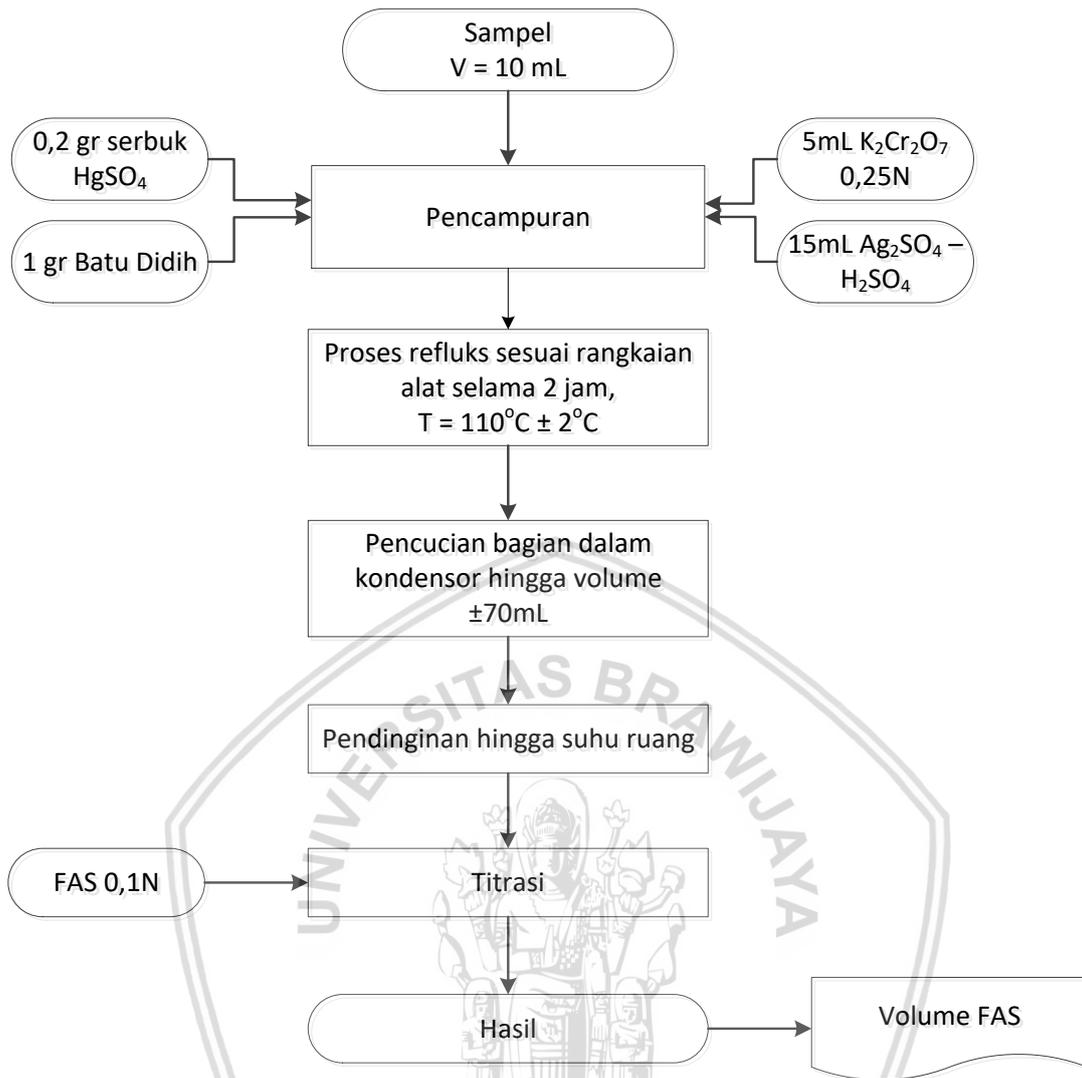
3.4.3. Analisa Pengukuran pH Sampel

Analisa pengukuran pH sampel dengan menggunakan pH meter yang mengacu pada SNI 06-6989.11-2004 dilakukan sebelum dan sesudah proses koagulasi-flokulasi dengan dosis koagulan PAC tertentu. Hal ini dilakukan agar perubahan pH sebelum dan sesudah proses koagulasi dapat diketahui.

3.4.4. Analisa COD

Analisa COD yang digunakan adalah metode refluks terbuka secara titrimetri yang mengacu pada SNI 06-6989.15-2004. Tahap pertama pada analisa COD yaitu 10 mL sampel diambil untuk dioksidasi dalam larutan yang dicampurkan dengan 0,2 gram serbuk HgSO_4 , 1 gram batu didih, 5 mL kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) sebagai oksidator dan 15 mL reagen $\text{Ag}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$. Dilakukan pemanasan dengan menggunakan kondensor spiral pada suhu $T=110^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ selama dua jam. Hal ini dikarenakan kalium dikromat lebih efektif mengoksidasi bahan organik dalam sampel pada suhu yang tinggi dan keadaan asam. Setelah pemanasan, dilakukan pendinginan sampel hingga suhu kamar. Setelah dingin, ditambahkan 3 tetes indikator ferroin untuk mengetahui titik akhir titrasi. Dilakukan titrasi sampel dengan larutan ferro ammonium sulfat (FAS) 0,1 N hingga sampel berubah menjadi warna merah kecoklatan (merah bata). Hal ini dilakukan untuk menghitung jumlah dari kalium dikromat yang dikonsumsi, dimana setara dengan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik yang terkandung dalam sampel.

Sampel yang akan dianalisa COD yaitu sampel sebelum dan sesudah proses koagulasi (sampel hasil sedimentasi) dengan konsentrasi koagulan dan pH tertentu, serta blanko. Hal ini dilakukan agar penurunan COD sebelum dan sesudah proses koagulasi dapat diketahui. Diagram alir analisa COD dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram alir analisa COD

NB: Prosedur diatas diulangi dengan menggunakan sampel sebelum dan sesudah proses koagulasi-flokulasi (sampel hasil sedimentasi) dengan dosis koagulan dan pH tertentu, serta blanko.

$$COD \text{ mg } O_2/L = \frac{(A - B) \times N \times 8000}{mL \text{ sampel}} \quad (3-1)$$

dengan:

A = Volume FAS digunakan untuk blanko (mL)

B = Volume FAS digunakan untuk sampel (mL)

N = Normalitas FAS (mol ek./L)

8000 = Berat miliekivalen dari O_2 (mg O_2 /mol ek.)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Limbah *Laundry* Awal

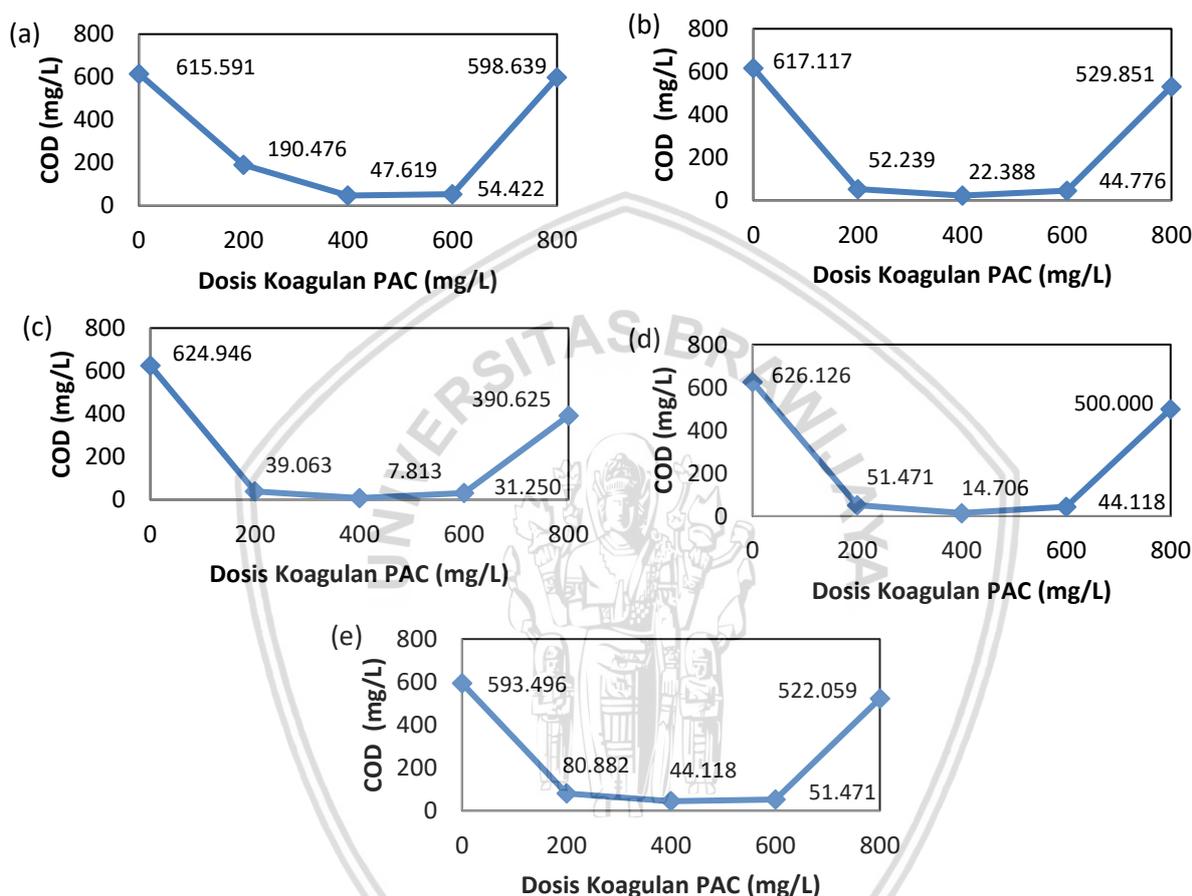
Limbah *laundry* pada penelitian ini yaitu limbah sintetis dari surfaktan anionik berupa senyawa ABS, $C_{18}H_{29}SO_3Na$ (Ketola, 2016) dengan konsentrasi sebesar 250 mg/L. Berdasarkan hasil uji *particle size analyzer* menggunakan *Zetasizer Nano ZS*, diameter ukuran partikel pada limbah *laundry* rata-rata sebesar $\pm 136,34$ nm dimana dapat dikategorikan sebagai koloid karena diameter partikel masih dalam kisaran 1 - 1000 nm (Chang, 2016:2). Selanjutnya dilakukan pengukuran COD awal sebelum proses koagulasi-flokulasi.

COD awal dari masing-masing variasi pH (5,25; 6,01; 7,15; 8,12; dan 9,05) berkisar pada 600 ± 30 mg/L O_2 sesuai dengan pernyataan Sostar-Turk dkk. (2005) yaitu COD pada limbah *laundry* kegiatan rumah tangga berkisar 600-2500 mg/L. COD ini masih dalam *range* uji SNI 06-6989.15-2004 untuk COD refluks terbuka dengan batas COD 50 mg/L O_2 hingga 900 mg/L O_2 . Telah ditetapkan maksimum COD untuk limbah kegiatan *laundry* adalah sebesar 250 mg/L berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang baku air limbah untuk kegiatan *laundry*. Dapat dilihat kandungan COD limbah *laundry* pada penelitian ini masih berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah Provinsi Jawa Timur. Sehingga dalam penelitian kali ini dilakukan pengolahan limbah *laundry* menggunakan metode koagulasi-flokulasi dengan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) untuk menurunkan COD.

4.2. Pengaruh Variasi Dosis Koagulan PAC terhadap Penurunan COD

COD limbah awal yang melebihi baku mutu lingkungan mengindikasikan besarnya tingkat pencemaran air yang disebabkan oleh bahan-bahan organik, salah satunya yaitu surfaktan pada limbah *laundry*. Tujuan penurunan COD dalam limbah *laundry* adalah untuk mengurangi pencemaran air oleh bahan organik yang dapat menyebabkan semakin sedikit pula kandungan oksigen terlarut dalam air. Proses koagulasi dilakukan dengan pengadukan cepat 120 rpm selama 1 menit, dan flokulasi dilakukan dengan pengadukan lambat 45 rpm selama 30 menit serta pengendapan selama 1 jam.

Pengaruh koagulan PAC untuk menurunkan COD pada penelitian ini dapat dinyatakan dalam perbandingan antara COD awal dikurangi dengan COD akhir dibagi COD awal yang dinyatakan dalam bentuk persentase. Persentase penurunan COD yang tinggi dan penurunan COD yang telah memenuhi baku mutu itulah yang dinyatakan efektif. Berikut grafik COD akhir terhadap dosis koagulan PAC pada berbagai pH awal limbah *laundry*.

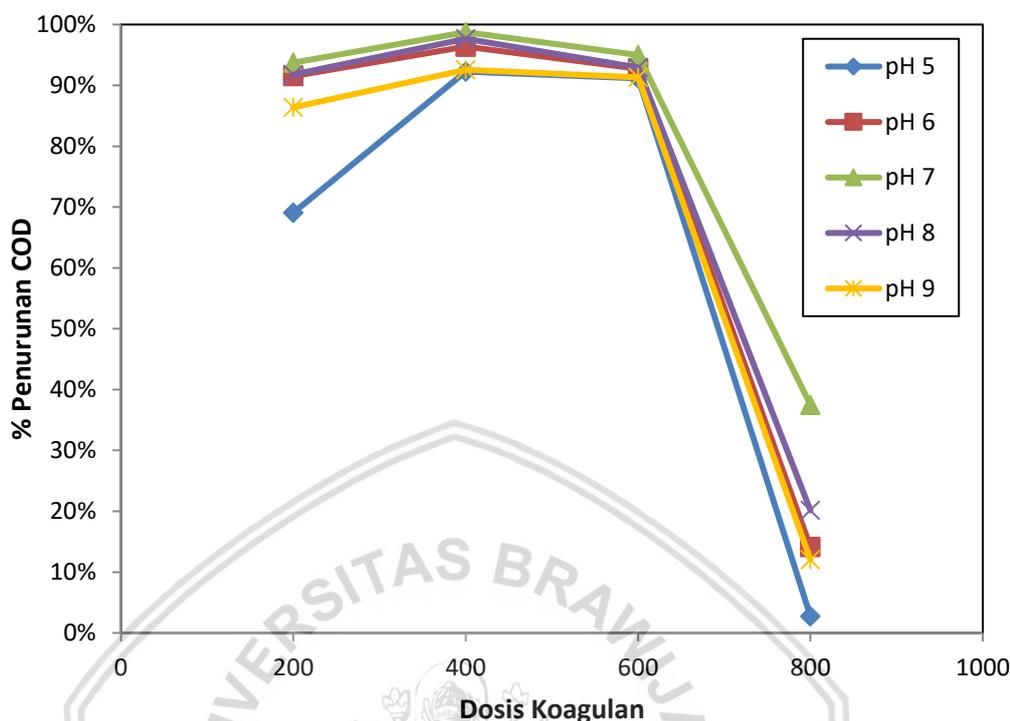


Gambar 4.1 Grafik COD akhir (mg/L) terhadap dosis koagulan PAC pada pH awal limbah *laundry*: (a) 5,25; (b) 6,01; (c) 7,15; (d) 8,12; dan (e) 9,05.

Gambar 4.1 menunjukkan hasil limbah *laundry* berbagai pH yang telah dilakukan proses koagulasi-flokulasi. Semua variasi dosis koagulan PAC pada penelitian ini dapat menurunkan COD limbah *laundry*. Penurunan tersebut mengakibatkan COD menjadi dibawah baku mutu yaitu 250 mg/L. Dosis yang dapat menurunkan COD hingga di bawah baku mutu yaitu 200, 400, dan 600 mg/L sampel. Pada tiap variasi pH, penurunan COD terbesar terjadi pada dosis PAC 400 mg/L sampel.

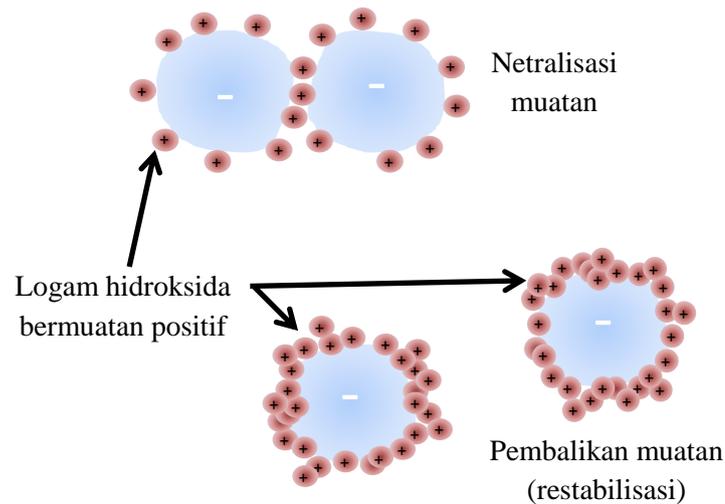
Koagulasi-flokulasi dengan koagulan PAC mampu menurunkan COD dikarenakan sebagian besar partikulat yang berada di dalam limbah *laundry* telah berikatan dan

mengendap bersama dengan koagulan PAC, sehingga dapat menurunkan jumlah bahan organik yang berada dalam limbah *laundry*.



Gambar 4.2 Persen penurunan COD terhadap dosis koagulan PAC pada berbagai variasi pH

Dari gambar 4.2 tentang grafik penurunan COD terhadap dosis koagulan PAC pada berbagai pH, dapat dilihat bahwa penurunan COD terbesar terjadi pada dosis koagulan PAC sebanyak 400 mg/L sampel di setiap variabel pH. Persentase penurunan COD dari tertinggi hingga terendah terjadi pada pH 7,15 (98,75%); 8,12 (97,65%); 6,01 (96,37%); 9,05 (92,57%); dan 5,25 (92,26%). Hal ini sesuai dengan penelitian Rachmawati, dkk. (2009) bahwa semakin tinggi dosis koagulan yang digunakan maka semakin tinggi penurunan COD. Sesuai dengan kenaikan persen penurunan dari dosis 200 mg/L sampel ke 400 mg/L sampel. Penambahan dosis koagulan dapat menyebabkan meningkatnya pembentukan yang diikuti dengan meningkatnya tumbukan antar partikel sehingga dapat membentuk flok yang lebih besar (Rachmawati, dkk. 2009). Namun kenaikan dosis koagulan memiliki titik optimum sesuai gambar 4.2 ketika terjadi penurunan efisiensi penurunan COD pada dosis koagulan 600 dan 800 mg/L sampel. Hal ini dikarenakan penambahan dosis sebesar 600 dan 800 mg/L sampel tersebut telah berlebih sehingga koloid yang terbentuk menjadi stabil kembali karena tidak adanya ruang untuk membentuk penghubung partikel (Weber, 1972).



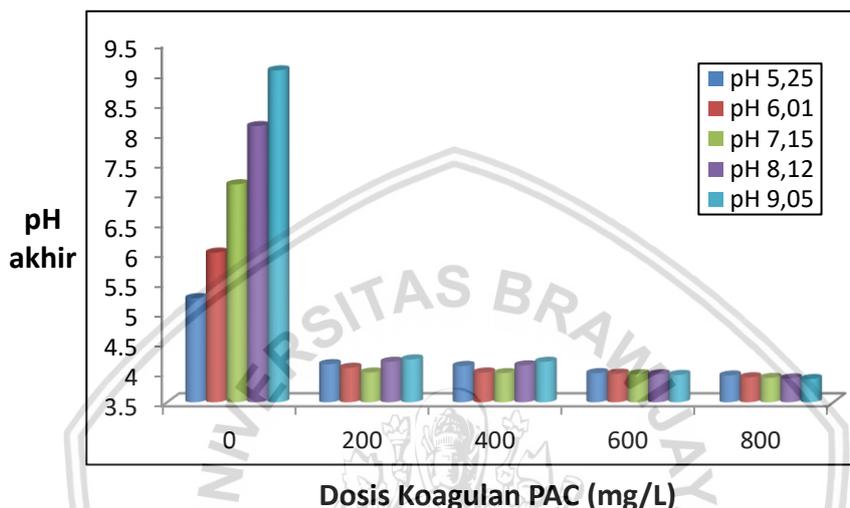
Gambar 4.3 Gambar skema interaksi partikel dengan metal hidroksida
Sumber: Bratby (2006:84)

Koloid yang berukuran relatif kecil dan bermuatan sejenis menyebabkan koloid bersifat stabil, yang artinya partikel koloid tersebut akan saling tolak-menolak dengan partikel koloid lainnya. Agar partikel koloid dapat dipisahkan dengan medium pendispersinya, maka partikel koloid dapat didestabilisasi dengan penambahan bahan kimia (koagulan) yang berlawanan muatan dari koloidnya. Penambahan koagulan akan menurunkan muatan partikel koloid, sehingga gaya tolak antar partikel akan berkurang dan gaya Tarik *van der Waal's* antar partikel lebih besar (Hidayati dan Himma, 2018:26-30). Penambahan koagulan melebihi dosis optimum sesuai pada gambar 4.3 akan membuat partikel mengalami pembalikan muatan sebagai proses restabilisasi. Pembalikan muatan yang terjadi membuat gaya tolak antar partikel semakin besar kembali, sehingga menurunkan efisiensi pemisahan (Bratby, 2006).

Berdasarkan gambar 4.4 dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan pH setelah proses koagulasi-flokulasi baik pada pH 5 hingga 9. Namun, penurunan pH dengan pengaturan pH awal 9 lebih besar dibandingkan dengan pH sampel lainnya. Penurunan pH pada penelitian ini diakibatkan oleh koagulan yang ditambahkan memiliki sifat asam. Penurunan pH ini berbanding lurus dengan penambahan dosis koagulan, semakin besar dosis koagulan PAC yang ditambahkan maka semakin besar pula penurunan pH. Hal ini sesuai dengan Asmadi dan Suharno (2012), bahwa penambahan dosis koagulan akan sebanding dengan penurunan pH yang terjadi dimana semakin tinggi penambahan dosis koagulan maka akan menyebabkan penurunan pH yang semakin tinggi. Namun, pada penelitian ini perbedaan penurunan disetiap dosis koagulan tidak begitu jauh. Hal ini dikarenakan sampel yang digunakan adalah limbah *laundry* sintetis, yang hanya

terkandung senyawa ABS didalamnya. Limbah *laundry* sintetis tidak terdapat pengotor ataupun senyawa lain yang ada pada limbah tersebut. Sehingga mengakibatkan pH sampel setelah proses koagulasi-flokulasi menurun secara signifikan mendekati pH sampel awal sebelum pengaturan pH yaitu sekitar 3 – 4 seperti pH ABS di dalam air.

Penurunan pH pada gambar 4.4 disebabkan reaksi hidrolisis PAC yang melepaskan ion H^+ . Berikut merupakan reaksi hidrolisis PAC (Gebbie, 2005):



Gambar 4.4 Grafik hubungan dosis koagulan PAC dengan pH akhir limbah *laundry* setelah proses koagulasi-flokulasi pada variasi pH awal sampel

Gambar 4.5 merupakan gambar limbah *laundry* sebelum dan sesudah proses koagulasi-flokulasi. Dapat dilihat dari gambar 4.5 bahwa jumlah flok yang terbentuk paling banyak terdapat pada dosis PAC 400 mg/L sampel. Hal ini menyatakan bahwa pada dosis PAC 400 mg/L sampel memiliki kandungan COD terendah di setiap variasi pH. Semakin banyak flok yang terbentuk maka semakin besar pula penurunan COD. Hal ini dikarenakan semakin banyak senyawa organik yang terdapat pada flok. Flok yang terbentuk pada gambar 4.5c, d, e, dan f merupakan hasil flok pada kondisi optimum yaitu pH awal sampel 7 dengan berbagai variasi dosis PAC sebesar 200, 400, 600, dan 800 mg/L sampel. Gambar 4.5c merupakan pengolahan dengan dosis PAC 200 mg/L sampel, yang mana pada dosis ini flok sudah mulai terbentuk dengan jumlah yang sedikit. Pada gambar 4.5d dengan dosis PAC 400 mg/L sampel memiliki penurunan terbesar, dimana flok yang dihasilkan cenderung lebih banyak jika dibandingkan dengan dosis PAC 200 mg/L sampel. Gambar 4.5e dengan dosis PAC 600 mg/L sampel juga membentuk flok seperti pada dosis sebelumnya, namun jumlah yang terlihat lebih sedikit dibandingkan dengan dosis PAC 400 mg/L sampel.

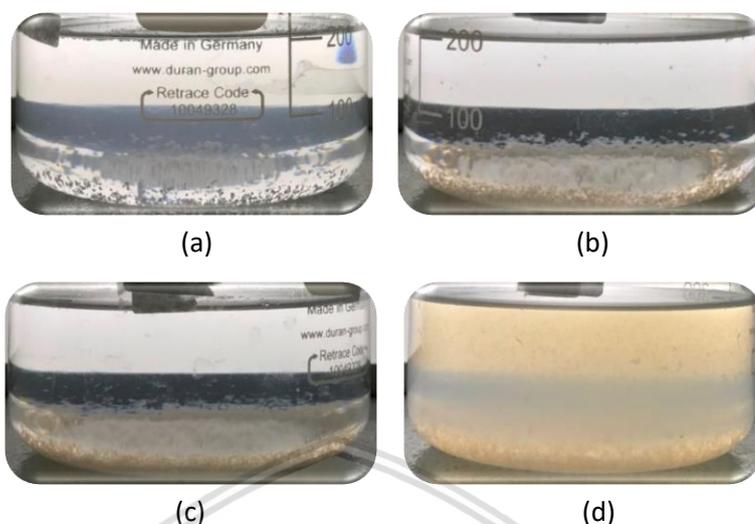
Sedangkan pada gambar 4.5f dengan dosis PAC 800 mg/L sampel yang sudah jauh melebihi dosis optimum, mengakibatkan terjadinya efek restabilisasi sehingga cenderung tidak membentuk flok.



Gambar 4.5 (a) Limbah *laundry* sebelum koagulasi-flokulasi, (b) Limbah *laundry* pada pH 7,12 setelah koagulasi-flokulasi dengan dosis PAC 400 mg/L sampel. Gambar tampak atas dari flok yang terbentuk setelah koagulasi-flokulasi pada pH 7,12 dengan dosis PAC: (c) 200 mg/L sampel, (d) 400 mg/L sampel, (e) 600 mg/L sampel, dan (f) 800 mg/L sampel

Pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa, hasil koagulasi-flokulasi tampak depan pada pH optimum 7 dengan variasi dosis PAC terdapat perbedaan. Pada gambar 4.6d dengan dosis PAC 800 mg/L sampel, sistem memiliki warna yang keruh. Warna keruh tersebut disebabkan oleh koagulan PAC yang tidak berikatan dengan limbah surfaktan ABS.

Sedangkan warna sistem terjernih terdapat pada dosis PAC 400 mg/L sampel dimana pada dosis ini terjadi penurunan COD terbesar.



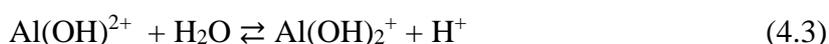
Gambar 4.6 Gambar tampak samping dari flok yang terbentuk setelah koagulasi-flokulasi pada pH 7,12 dengan dosis PAC (a) 200 mg/L sampel, (b) 400 mg/L sampel, (c) 600 mg/L sampel, dan (d) 800 mg/L sampel

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dosis koagulan PAC yang efektif untuk menurunkan COD limbah *laundry* yaitu 400 mg/L sampel dengan rata-rata penurunan COD terbesar 95,578%. Hal ini dikarenakan pada dosis koagulan PAC 400 mg/L sampel mampu menurunkan kandungan COD hingga dibawah baku mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 serta persentase penurunan COD yang terbesar.

4.3. Pengaruh Variasi pH Awal Sampel terhadap Penurunan COD

Pada koagulasi-flokulasi dengan menggunakan PAC, pH sangat mempengaruhi hasil koagulasi-flokulasi karena koagulan PAC akan menghasilkan spesies hidrolisat yang berbeda pada tiap-tiap pH. Koagulan PAC yang digunakan dalam penelitian ini merupakan koagulan logam yang berbasis Aluminium (Al). Ketika koagulan berbasis Al ditambahkan ke dalam air maka akan terionisasi menjadi ion trivalent.

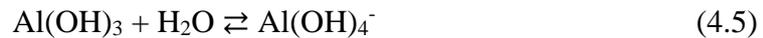
Ion Al^{3+} kemudian bereaksi kembali sesuai dengan reaksi berikut (Gregory dan Duan, 2001):



Kompleks tersebut akan mengalami reaksi hidrolisis kembali untuk pembentukan presipitat atau endapan $Al(OH)_3$ pada pH netral.



Presipitat yang terbentuk pada kondisi pH basa akan mengalami reaksi hidrolisis kembali menjadi ion aluminat $\text{Al}(\text{OH})_4^-$.



Gambaran reaksi hidrolisis sederhana dari koagulan berbasis logam Al ditunjukkan pada reaksi berikut (Gregory dan Duan, 2001):



Setiap langkah reaksi diatas melibatkan hilangnya proton, peningkatan pH menyebabkan kesetimbangan bergeser ke kanan. Aluminium hidroksida memiliki kelarutan yang rendah dalam air dan akan terbentuk endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$ pada pH netral. Peningkatan pH lebih lanjut atau dalam kondisi basa menyebabkan ion aluminat terlarut yang akan terbentuk.

Selain adanya senyawa pada kondisi pH tertentu seperti Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Al}_3(\text{OH})_4^{5+}$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, PAC juga membentuk spesies Al_{13} (Gao dkk, 2005). Duan dan Gregory (2003) menjelaskan bahwa PAC memiliki kandungan polimer $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$ atau disebut dengan polimer Al_{13} . Al_{13} ini memiliki stabilitas yang tinggi pada *range* pH netral dalam membantu mekanisme koagulasi. Pada proses pembuatannya, PAC telah terhidrolisis parsial sehingga spesies yang mendominasi ialah spesies polimer Al_{13} . Polimer Al_{13} berkesetimbangan dengan fase amorf $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang berbeda pada garam Al. Polimer Al_{13} merupakan spesies yang efisien untuk penurunan kontaminan karena stabilitasnya yang tinggi dan muatan listrik yang positif (Yan dkk, 2008).

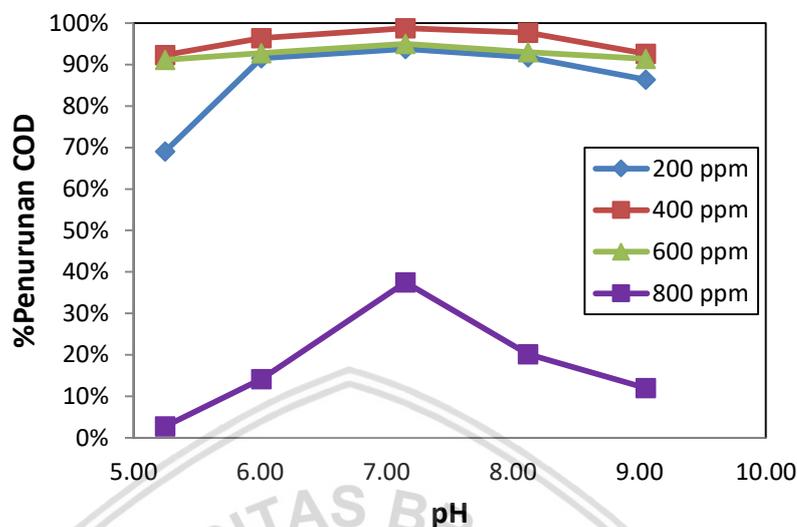
Penurunan COD ini disebabkan adanya flok yang terbentuk oleh mekanisme netralisasi muatan, *enmeshment*, dan adsorpsi. Pada mekanisme netralisasi muatan, ion negatif senyawa organik pada limbah *laundry* berikatan dengan ion positif pada koagulan PAC. Sehingga partikel koloid akan terdestabilisasi, reaksi sebagai berikut:



Sedangkan pada mekanisme *enmeshment* (*sweep coagulation/flocculation*), partikel koloid akan terperangkap didalam hidrat aluminium yang banyak terbentuk pada pH netral dan basa. Sehingga partikel koloid dapat terperangkap di dalam endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$. Sedangkan pada mekanisme adsorpsi, senyawa organik akan diserap oleh endapan hidrat aluminium dan menempel pada permukaan endapan.

Molekul-molekul pada limbah *laundry* terbentuk menjadi flok sehingga bersifat mengikat partikel atau senyawa lain yang ada pada limbah *laundry* tersebut. Jumlah partikel yang semakin sedikit, mengakibatkan semakin menurun oksigen yang

diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik, sehingga COD setelah proses koagulasi-flokulasi semakin menurun pula. Berikut merupakan grafik pengaruh pH sampel terhadap penurunan COD.



Gambar 4.7 Grafik pengaruh pH sampel terhadap penurunan COD dengan variasi dosis koagulan PAC

Berdasarkan gambar 4.7 pada penelitian ini dengan variasi dosis yang sama, penurunan COD berturut-turut dari tertinggi ke terendah terjadi pada pH 7, 8, 6, 9, dan terkecil pH 5. Hal ini dikarenakan koagulan PAC lebih efektif pada kisaran pH 6-9 dimana sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Asmadi dan Suharno (2012). Sehingga sejalan dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 27 Tahun 2013, pH untuk air limbah yang diperbolehkan yaitu rentang 6-9. Pada dosis 200-600 mg/L sampel terlihat bahwa perubahan pH tidak begitu berpengaruh terhadap persentase penurunan COD. Sedangkan pada dosis tinggi yaitu 800 mg/L sampel, perubahan pH sangat mempengaruhi persentase penurunan COD. Hal ini disebabkan semakin tinggi dosis maka semakin meningkat pula persentase hidrolisis. Sejalan dengan teori yang dinyatakan oleh Bratby (2006:82) yaitu semakin tinggi dosis yang digunakan maka persentase hidrolisis akan meningkat sehingga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi hingga pada dosis optimum tertentu. Untuk pengaruh pH terhadap penurunan COD terjadi dikarenakan terbentuknya spesies yang berbeda pada tiap pH.

Pada pH 5 spesies yang mungkin terbentuk adalah monomer dan polimer aluminium bermuatan positif, sehingga mekanisme koagulasi-flokulasi yang terjadi pada pH 5 adalah mekanisme netralisasi muatan antara muatan koagulan dengan muatan koloid. Hal ini menyebabkan jumlah flok-flok yang terbentuk relatif lebih sedikit. Pada

penelitian kali ini spesies yang terbentuk pada pH 5 didominasi oleh spesies bermuatan positif seperti Al^{3+} , AlOH^{2+} , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, dimana spesies tersebut akan berikatan dengan muatan negatif koloid. Pada pH 5 pula reaksi hidrolisis Al sesuai yang digambarkan oleh Gregory dan Duan (2001) pada persamaan 4.6 maka kesetimbangan pada pH asam akan cenderung menghasilkan spesies hidrolisat Al bermuatan positif.

Berikut merupakan salah satu reaksi yang terjadi dalam mekanisme netralisasi senyawa surfaktan ABS dengan hidrolisat yang terbentuk:



Sedangkan pada kisaran pH 6-8 terbentuk presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ dimana presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ ini merupakan spesies yang paling dominan. Mekanisme koagulasi yang terjadi pada kisaran pH 6-8 adalah *sweep coagulation/flocculation* dan adsorpsi, sehingga flok-flok yang terbentuk akan lebih besar. Penurunan COD tertinggi terjadi pada kisaran pH ini dikarenakan terjadi dua mekanisme koagulasi (Bratby, 2006). pH optimum koagulasi-flokulasi dengan PAC untuk penurunan COD sesuai dengan penelitian Bakar dan Halim (2014:525) yang menyatakan bahwa optimum pada pH 6-7 dengan penurunan 58%. Pada kisaran pH 6-8 juga terdapat spesies hidrolisis PAC yang terbentuk yaitu polimer positif Al_{13} atau $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$. Spesies Al_{13} ini memiliki stabilitas yang tinggi sehingga akan memiliki mekanisme penurunan dengan koloid secara adsorpsi dan netralisasi muatan pada pH netral (Duan dan Gregory, 2003).

Pada pH 6 spesies yang masih mungkin terbentuk adalah monomer dan polimer aluminium yang bermuatan positif. Namun peningkatan pH membuat kecenderungan spesies hidrolisis positif yang terbentuk lebih sedikit dibandingkan pada pH 5 karena sesuai persamaan 4.6, kesetimbangan mulai bergeser ke kanan. Mekanisme koagulasi-flokulasi yang terjadi pada pH 6 masih terdapat mekanisme netralisasi muatan antara muatan koagulan dengan muatan negatif koloid. Selain itu pada pH 6 akan menghasilkan polimer positif Al_{13} , sedangkan endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$ juga mulai sedikit terbentuk. Pada pH ini, efek dari polimer Al_{13} yang terbentuk paling dominan sehingga akan membuat mekanisme yang terjadi mengalami adsorpsi dan netralisasi muatan. Akan tetapi, netralisasi muatan tidak dapat menjadi satu-satunya mekanisme dalam destabilisasi koloid yang akan membuat kurang efektif dibandingkan *sweep coagulation/flocculation* (Duan dan Gregory, 2003).

Pada pH 7 merupakan pH optimum. Spesies yang terbentuk pada pH ini memiliki spesies endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$ paling banyak. Terdapat spesies yang lainnya pada pH ini, diantaranya adalah polimer Al_{13} yang terbentuk dikarenakan polimer Al_{13} itu sendiri

yang tetap stabil selama reaksi hidrolisis dan polimer Al_{13} yang terbentuk dari hidrolisis Al^{3+} . Pada mekanisme *sweep coagulation/flocculation* partikel koloid akan terperangkap di dalam endapan $Al(OH)_3$. Kemudian terjadi mekanisme adsorpsi dimana partikel koloid akan teradsorpsi di permukaan presipitat $Al(OH)_3$. Pada pH 7 memiliki persen penurunan paling optimum dikarenakan PAC pada pH netral juga akan membentuk polimer Al_{13} yang akan membantu mekanisme ikatan dengan koloid (Yan dkk., 2008). Dibandingkan pada pH 6, adanya kombinasi mekanisme yang terjadi antara polimer Al_{13} dan endapan $Al(OH)_3$ membuat endapan koloid lebih cepat terjadi. Hal ini dikarenakan mekanisme netralisasi muatan oleh polimer Al_{13} ditunjang dengan *sweep coagulation/flocculation* dan adsorpsi dari endapan $Al(OH)_3$ yang terbentuk (Bratby, 2006).

Pada pH 8, spesies yang diduga terbentuk hampir sama seperti pada pH 7 yaitu diantaranya adalah polimer Al_{13} dan endapan $Al(OH)_3$ (Mohammadi dkk, 2015). Selain itu menurut Bratby (2006:82) pada $pH \geq 8$ akan terbentuk pula spesies $Al(OH)_4^-$. Spesies alumunium yang terbentuk memiliki muatan negatif sehingga akan menimbulkan gaya tolak menolak dengan partikel koloid yang bermuatan negatif. Namun pada penelitian ini, spesies yang terbentuk pada $pH \geq 8$ diduga tidak sepenuhnya terbentuk $Al(OH)_4^-$, melainkan masih terdapat endapan $Al(OH)_3$ yang membuat persen penurunan pada rentan pH tersebut masih relatif baik walaupun masih dibawah kondisi optimum pada pH 7.

Untuk mencapai pH 9, beberapa tetes larutan NaOH 0,1 M ditambahkan ke dalam sampel. Larutan NaOH dalam sampel akan terionisasi sempurna menjadi OH^- dan Na^+ . Na^+ diasumsikan tidak ikut berikatan. Sedangkan ion OH^- akan bereaksi dengan $Al(OH)_3$ yang akan membentuk $Al(OH)_4^-$, dimana dapat menambah partikel bermuatan negatif sehingga hidrolisat tersebut tidak bekerja sebagaimana mestinya. Hal ini sesuai dengan reaksi hidrolisis koagulan logam Al yang digambarkan oleh Gregory dan Duan (2001) bahwa semakin meningkatnya pH membuat kesetimbangan reaksi pada persamaan 4.6 semakin ke kanan dan spesies yang mulai banyak terbentuk adalah $Al(OH)_4^-$. Pada pH ini diduga polimer Al_{13} yang stabil masih terbentuk (Mohammadi dkk, 2015). Pada $pH > 7$, membuat spesies yang paling dominan muncul adalah anion aluminat [$Al(OH)_4^-$] (Saukkoriipi, 2010). Hal ini membuat persentase penurunan COD yang terjadi akan semakin menurun dibandingkan pH 7, dimana adanya spesies $Al(OH)_4^-$ yang bermuatan negatif dan larut membuat jumlah partikel bermuatan negatif semakin meningkat di dalam limbah.

Tabel 4.1 Ringkasan hasil penelitian koagulasi-flokulasi limbah *laundry*

Jenis Limbah	Kondisi Operasi	Hasil Penelitian	Referensi
Limbah <i>laundry</i> PT. Aura Petra Jaya pH _{avg} = 9	<ol style="list-style-type: none"> pH = tanpa pengaturan pH dan pH 7 M_{OPAC} = 0 – 2000 ppm M_{IPAC} = 0- 1400 ppm 	Penurunan COD pada sampel tanpa pengaturan pH dengan koagulan PAC 1200 ppm sebesar 91,8%.	Fanty Rachmah, 2013
Limbah <i>laundry</i> Pratama, Klaten pH _{avg} = 7,49 T = 27,6°C COD = 385,92 ppm	<ol style="list-style-type: none"> M_{PAC} = 0, 250, 500, dan 750 ppm 	Dosis koagulan PAC yang dapat menurunkan kadar COD air limbah <i>laundry</i> terbesar adalah 750 ppm dengan penurunan sebesar 71,79%	Retno Dwi Harwiyanto, 2015
Limbah <i>laundry</i> sintetik dengan ABS 250 ppm COD = ±600 ppm	<ol style="list-style-type: none"> pH awal <i>laundry</i> = 5, 6, 7, 8, dan 9 M_{PAC} = 200, 400, 600, 800 ppm 	Penurunan COD optimum terjadi pada dosis PAC 400 ppm dan pH awal limbah 7 yaitu sebesar 98,75%.	Desyani P.U. dan Sufika Fani, 2018

Keterangan:

M_{OPAC} = Dosis koagulan PAC tanpa pengaturan pH; M_{IPAC} = Dosis koagulan PAC dengan pengaturan pH; M_{PAC} = Dosis koagulan PAC.

Berdasarkan tabel 4.1 yang menjelaskan ringkasan penelitian koagulasi-flokulasi limbah *laundry*, dapat diambil kesimpulan bahwa penelitian yang dilakukan untuk menurunkan COD pada limbah *laundry* telah memenuhi baku mutu yang ditentukan. Dengan menggunakan dosis koagulan PAC sebesar 400 mg/L sampel dan pada pH awal sampel 7 didapatkan persentase penurunan COD sebesar 98,75%. Sedangkan pada penelitian pengolahan limbah *laundry* PT. Aura Petra Jaya memiliki persentase penurunan COD sebesar 91,8% dengan dosis koagulan PAC 1200 ppm dan tanpa

pengaturan pH sampel. Pada penelitian lainnya yaitu pengolahan limbah *laundry* Pratama Klaten memiliki persentase penurunan COD sebesar 71,79% dengan dosis koagulan PAC 750 ppm. Sehingga jika dibandingkan dengan kedua penelitian tersebut, penelitian ini memiliki persentase penurunan yang lebih besar dan memerlukan dosis koagulan PAC yang lebih sedikit. Hal ini dikarenakan pada penelitian ini, kandungan limbah sintesis hanya terdapat partikel surfaktan ABS yang memiliki muatan negatif, sehingga cenderung lebih mudah untuk berikatan dengan koagulan PAC. Sedangkan pada penelitian lainnya menggunakan limbah *laundry* yang komponennya tidak hanya terdiri dari surfaktan saja melainkan terdapat komponen lain seperti lemak yang dapat mempengaruhi COD.





Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengolahan limbah *laundry* dengan metode koagulasi-flokulasi untuk menurunkan COD didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Persentase penurunan COD meningkat seiring dengan meningkatnya dosis PAC, namun optimum pada dosis 400 mg/L sampel. Pada dosis diatas 400 mg/L sampel, persentase penurunan COD semakin kecil karena adanya efek restabilisasi koloid. Dimana persentase penurunan COD optimum terjadi pada dosis PAC 400 mg/L sampel dan pH awal limbah 7 yaitu sebesar 98,75%.
2. Persentase penurunan COD optimum pada pH awal limbah 7 dikarenakan terbentuk spesies hidrolisat Al bermuatan positif, polimer Al_{13} dan endapan $Al(OH)_3$. Pada $pH < 7$ cenderung hanya membentuk spesies hidrolisat bermuatan positif sehingga penurunan COD lebih kecil. Sedangkan pada $pH > 7$ cenderung terbentuknya hidrolisat bermuatan negatif sehingga tidak dapat mengikat koloid.

5.2. Saran

Saran yang bisa diberikan untuk penelitian berikutnya adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan melakukan uji kadar surfaktan sebelum dan setelah proses koagulasi-flokulasi untuk menunjang hasil penelitian.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mengamati flok yang terbentuk.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai faktor-faktor lain yang mempengaruhi proses koagulasi selain pH awal dan dosis koagulan, seperti kecepatan pengadukan dan jenis koagulan yang digunakan.



Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR PUSTAKA

- [BSN]. Badan Standardisasi Nasional. 2000. SNI 19-6449-2000. *Metode pengujian koagulasi-flokulasi dengan cara jar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [BSN]. Badan Standardisasi Nasional. 2004. SNI 06-6989.11-2004. *Air dan air limbah-Bagian 11: Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [BSN]. Badan Standardisasi Nasional. 2004. SNI 06-6989.15-2004. *Air dan air limbah-Bagian 15: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) refluks terbuka dengan refluks terbuka secara titimetri*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- APHA. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd ed.* USA: American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) & Water Environment Federation (WEF).
- Asmadi & Suharno. 2012. *Dasar-dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Yogyakarta: Gosyen Publishing.
- ASTM International. 2003. *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water*. (ASTM D 2035-80). United State: ASTM International.
- Bakar, A. F. A. & Azhar A. H. 2014. Treatment of Automotive Wastewater by Coagulation-Flocculation using Poly-aluminum Chloride (PAC), Ferric Chloride (FeCl₃) and Aluminum Sulfate (alum). *American Institute of Physics (AIP) Conference Proceedings*, 1571: 524-529.
- Boyd, C.E. 1990. *Water quality in ponds for aquaculture*. Alabama: Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University.
- Boyeza, A., Abeer A., & Manar F. 2009. Method Development for Analysis of Linear and Branched Alkyl Benzene Sulfonates. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18(5): 590-600.
- Bratby, J. 2006. *Coagulation and flocculation in Water and Wastewater Treatment*. London: IWA Publishing.
- Chang, Q. 2016. *Colloid and Interface Chemistry for Water Quality Control*. London: Chemical Industry Press.
- Chen, Z., Zhaokun L., Zhiping J., & Xiaosen L. 2009. Study on the hydrolysis/precipitation behavior of Keggin Al₁₃ and Al₃₀ polymers in polyaluminum solutions. *Journal of Environmental Management*, 90: 2831-2840.

- Crittenden, J. C., R. R. T., David. W. H., Kerry J. H., & George T. 2012. *Water Treatment: Principles and Desain, 2nd edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Duan, J. & Gregory J. 2003. Coagulation by hydrolysing metal salts. *Advances in Colloid & Interface Science*, 100-102: 475-502.
- Ebeling, J. M. & Sarah R. O. 2004. Application of Chemical Coagulation Aids for the Removal of Suspended Solids (TSS) and Phosphorus from the Microscreen Effluent Discharge of an Intensive Recirculating Aquaculture System. *North American Journal of Aquaculture*, 66: 198-207.
- Eckenfelder W. W. 2000. *Industrial Water Pollution Control*. Singapore: Mc Graw Hill Book Co.
- Farn, R. J. 2006. *Chemistry and Technology of Surfactant*. Oxfprd: Blackwell Publishing.
- Fessenden & Fessenden. 1990. *Kimia Organik*. Jakarta: Erlangga.
- Gao, B. Y., Yong B. C., Qin Y. Y., Bing J. W., & Shu G. W. 2005. Characterization and coagulation of a polyaluminum chloride (PAC) coagulant with high Al₁₃ content. *Journal of Environmental Management*, 76: 143-147.
- Gebbie, P. 2005. *A Dummy's Guide to Coagulants*. Bendigo: Schweppes Centre.
- Geng, Y. 2005. *Application of Floccs Analysis for Coagulation Optimization at the Split Lake Water Treatment Plant*. Unpublished Thesis. Winnipeg: University of Manitoba.
- Gregory, J. & Duan J. 2001. Hydrolyzing metal salts as coagulants. *Pure and Applied Chemistry*, 73(12): 2017-2026.
- Gubernur Jawa Timur. 2013. *Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya*. Jawa Timur: Gubernur Jawa Timur.
- Harwiyanti, R. D. 2015. *Keefektifan Dosis Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) Dalam Menurunkan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Air Limbah Laundry*. Skripsi tidak dipublikasikan. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Hidayati, A. S. D. S. N. & Nurul F. H. 2018. *Perlakuan Fisiko-Kimia Limbah Cair Industri*. Malang: UB Press.
- Hunter, R. 1993. *Introduction to Modern Colloid Science*. Oxford: Oxford U. Press.
- Indriyani. 2008. Proses Pengolahan Limbah Organik Secara Koagulasi Dan Flokulasi. *Jurnal Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT*, 4(2): 125-130.

- Kavvalakis, M. P., Emmanuel G. D., & George E. D. 2016. *Advanced Treatment of Laundry Wastewater with Coagulant and Flocculation*. Unpublished Thesis. Heraklion: Laboratory of Physicochemical & Microbiological Water and Wastewater Analyses.
- Ketola, A. 2016. *Determination of Surfactants in Industrial Waters of Paper and Board Mills*. Unpublished Thesis. Jyväskylä: University of Jyväskylä.
- Klier, J., Chirtopher J. T., Thomas H. K., & D. P. G. 2000. Properties and Applications of Microemulsions. *Advanced Material*, 12(23): 1751-1757.
- Kristijarti, A. P., Suharto, I. & Marieanna, M. 2013. Penentuan Jenis Koagulan dan Dosis Optimum untuk Meningkatkan Efisiensi Sedimentasi dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah Pabrik Jamu X. *Research Report-Engineering Science*, 2.
- Maulidah. 2015. *Studi Adsorpsi ABS (Alkyl Benzene Sulphonate) Dari Limbah Rumah Tangga Desa Ngadirgo Menggunakan Arang Tempurung Kelapa (Coconut Shells)*. Skripsi tidak dipublikasikan. Semarang: Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan. Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
- McCabe, Warren L., Julian C. S., & Peter H. 1993. *Unit Operations of Chemical Engineering*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Metcalf & Eddy, 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Mohammadi, A. S., Mobarakian, Azam M., Fatemeh T., Ghorban A. 2015. Effect of Chitosan as a Coagulant Aid Combined With Poly Aluminum Chloride Removing of Turbidity From Drinking Water. *Avicenna J Environ Health Eng*, 1(1):187.
- Mukimin, A. 2006. *Pengolahan Limbah Industri Berbasis Logam dengan Teknologi Elektrokoagulasi Flotasi*. Tesis tidak dipublikasikan. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Myers, Drew. 2006. *Surfactant Science and Technology 3rd Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Nan, J., Meng Y., Ting C., Shengnan L., Zhenbel W., & Gao F. 2016. Breakage and regrowth of flocs formed by sweep coagulation using additional coagulant of poly aluminium chloride and non-ionic polyacrylamide. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(16): 16336-16348.
- Noviani, H. 2012. *Analisa Penggunaan Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) dan Kitosan pada Proses Penjernihan Air di PDAM Tirta Pakuan Bogor*. Skripsi tidak dipublikasikan. Bogor: Universitas Pakuan.
- Porter, M.R. 1994. *Handbook of Surfactant*. Netherlands: Springer.

- Rachmah, F. 2013. *Pengolahan Air Limbah Industri Laundry dengan Metode Koagulasi Kimia dan Elektrokimia*. Skripsi tidak dipublikasikan. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Rachmawati S. W., Bambang I. & Winarni. 2009. Pengaruh pH pada Proses Koagulasi dengan Koagulan Aluminium Sulfat dan Ferri Klorida. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 5(2): 40-45.
- Rahimah, Z., Heliyanur H., & Isna S. 2016. Pengolahan Limbah Deterjen Dengan Metode Koagulasiflokulasi Menggunakan Koagulan Kapur dan PAC. *Jurnal Konversi*, 5(2): 13-19.
- Rukaesih, A. 2004. *Kimia Lingkungan*. Yogyakarta: ANDI
- Rumapea, N. 2009. *Penggunaan Kitosan dan Polyaluminium Chlorida (PAC) untuk Menurunkan Kadar Logam Besi (Fe) dan Seng (Zn) dalam Air Gambut*. Tesis tidak dipublikasikan. Medan: Universitas Sumatera Utara
- Salager, J.L. 2002. *Surfactant Types and Uses*. Venezuela: De Los Andes University
- Sari, S.N., Triastuti, S., & Endang, S. 2016. Kajian Adsorpsi Linear Alkilbenzena Sulfonat (LAS) Menggunakan Magnetit. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(1).
- Saukkoriipi, J. 2010. *Theoretical Study of The Hydrolysis of Aluminum Complexes*. Unpublished Thesis. Oulu: University of Oulu.
- Sawyer, C. N., Perry L. M., & Gene F. P. 2003. *Chemistry for Environmental Engineering and Science (5th ed.)*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Shaw, D. J. 1992. *Introduction to Colloid and Surface Chemistry*. Burlington: Elsevier Science Ltd.
- Smulders, E., Wilfried R., Wolfgang V. R., Josef S., Eric S., & Frederike W. 2002. *Laundry Detergent*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- Sopiah, R. N. & Chaerunisah. 2006. Laju Degradasi Surfaktan Linear Alkil Benzena Sulfonat (LAS) pada Limbah Deterjen secara Anaerob pada Reaktor Lekat Diam Bermedia Sarang Tawon. *Jurnal Tek. Lingkungan*, 7(3): 243-250.
- Sostar-Turk, S., Irena P., & M. S. 2005. Laundry Wastewater Treatment Using Coagulation and Membrane Filtration. *Resource, Conservation and Recycling*, 44: 185-196.
- Steel, E.W. & McGhee. 1985. *Water Supply and Sewerage*. New York: McGraw-Hill Inc.
- Tzoupanos, N. D. & A. I. Zouboulis. 2008. Coagulation-Flocculation Processes In Water/Wastewater Treatment: The Application Of New Generation Of Chemical Reagents. *ASME/WSEAS International Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Enviroment (THE'08)*, 309-317

- Wang, L., Yung-Tse H., & Nazih K. S. 2005. *Handbook of Environmental Engineering: Physicochemical Treatment Process*. New Jersey: Humana Press.
- Weber, W. J. 1972. *Physics Chemical Process for Water Quality Control*. New York: John Wiley & Sons.
- Winarno, E. K., Winarti A, & Agustin S. 2006. Distribution of Surfactant and Phenol in Coastal Waters of Jakarta Gulf. *Indonesian Journal of Chemistry*, 26 (3): 251-255.
- Yan, M., Wang D., Jinren N., Jiuhui Q., Christophe W. K. C., & Hailong L. 2008. Mechanism of Natural Organic Matter Removal by Polyaluminium Chloride Effect of Coagulant Particle Size and Hydrolysis Kinetics. *Water Research*, 42(13): 3361-3370.





Halaman ini sengaja dikosongkan