PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TEMPE UNTUK MENURUNKAN KADAR *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) DENGAN METODE KOAGULASI MENGGUNAKAN KOAGULAN *POLY ALUMINIUM CHLORIDE* (PAC) DAN ALUMINIUM SULFAT

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai
gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta



Disusun oleh:

HASNA NADIDA AL HIDAYAH
No. Mahasiswa: 14612186

PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2018

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TEMPE UNTUK MENURUNKAN KADAR *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) DENGAN METODE KOAGULASI MENGGUNAKAN KOAGULAN *POLY ALUMINIUM CHLORIDE* (PAC) DAN ALUMINIUM SULFAT

Oleh:

HASNA NADIDA AL HIDAYAH
No. Mahasiswa: 14612186

Telah Dipertahankan di Hadapan Dewan Penguji Skripsi
Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 08 Juni 2018

Dewan Penguji	Tanda Tangan
1. Prof. Riyanto, M.Si., Ph.D.	.....
2. Mai Anugrahwati, M.Sc.	.....
3. Wiyogo Prio Wicaksono, M.Si.	.....

Mengetahui,
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia

Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'alamin

Segala puji dan syukur senantiasa saya haturkan kepada Allah SWT Tuhan semesta alam yang telah melimpahkan taufiq, rahmat, dan hidayah kepada hambaNya yang dikehendaki. Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Terima kasih kepada kedua orangtua saya Ibu Airin Ristianti, Bapak Wahyu Hidayat serta adik saya Bim-bim dan Balqis yang selalu memberikan dukungan moril maupun materil, doa dan semangat untuk kemajuan dan kesuksesan saya selama ini. Skripsi ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya tercinta yaitu Ibu Airin Ristianti, Bapak Wahyu Hidayat serta adik saya Bim-bim dan Balqis, seluruh keluarga besar saya, serta sahabat sahabat saya Nisa, Rista, Ica, Mila, Rani, Diandra, Intan, Kiki, Lia, Mbak Ipeh, Astrid, Ayu, Fifi, Dhea, Pinka, Aji, Zakiyah, Mufa, Tesa, Prabu yang selalu menemani saya baik dalam keadaan susah maupun senang.

HALAMAN MOTTO

“Barang siapa menempuh suatu jalan untuk mencari ilmu, maka Allah memudahkan mendapatkan jalan ke surga”.
(H.R Muslim)

“Hai orang-orang yang beriman, bertakwalah kepada Allah dan hendaklah setiap diri memperhatikan apa yang telah diperbuatnya untuk hari esok (akhirat), dan bertakwalah kepada Allah, sesuangguhnya Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan”.
(QS. Al-Hasyr [59] : 18)

“Musuh yang paling berbahaya diatas dunia ini adalah penakut dan bimbang. Teman yang paling setia, hanyalah keberanian dan keyakinan yang teguh”.
(Andrew Jackson)

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama	: Hasna Nadida Al Hidayah
NIM	: 14612186
Program Studi	: Kimia
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya dengan judul **Pengolahan Limbah Cair Industri Tempe untuk Menurunkan Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dengan Metode Koagulasi menggunakan Koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan Aluminium Sulfat** bersifat asli dan tidak berisi material yang diterbitkan sebelumnya kecuali refrensi yang disebutkan di dalam skripsi ini. Apabila terdapat kontribusi dari penulis lain, maka penulis tersebut secara eksplisit telah disebutkan dalam skripsi ini. Apabila di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan penuh tanggung jawab.

Yogyakarta, 08 Juni 2018

Yang Menyatakan,



Hasna Nadida Al Hidayah

NIM 14612186

KATA PENGANTAR



Assalaamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh

Puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayahNya, sehingga skripsi yang berjudul Pengolahan Limbah Cair Industri Tempe untuk Menurunkan Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dengan Metode Koagulasi menggunakan Koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan Aluminium Sulfat ini dapat terselesaikan.

Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat akademis yang wajib dipenuhi untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis telah mendapatkan bantuan dan bimbingan serta arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam skripsi ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Nandang Sutrisno, S.H., M.Hum., LLM., Ph.D., selaku Rektor Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
2. Bapak Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
3. Ibu Dr. Is Fatimah, M.Si,. selaku Ketua Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
4. Bapak Prof. Riyanto, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Skripsi di Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
5. Bapak dan ibu saya yang senantiasa memberi doa, semangat, dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Teman-teman Angkatan 2014 Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

7. Semua pihak terutama laboran yang telah membantu penulis selama kuliah di Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Penulis menyadari semuanya tidak dapat berjalan lancar tanpa adanya bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh sebab itu Penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dalam pengembangan dimasa datang dan bermanfaat bagi yang membacanya, serta penyusun khususnya. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, Amin.

Wassalaamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh

Yogyakarta, 08 Juni 2018

Penulis,

Hasna Nadida Al Hidayah

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **ii**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **iii**
HALAMAN MOTTO ..... **iv**
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN ..... **v**
KATA PENGANTAR ..... **vi**
DAFTAR ISI ..... **viii**
DAFTAR TABEL ..... **xi**
DAFTAR GAMBAR ..... **xii**
INTISARI ..... **xiv**
ABSTRACT ..... **xv**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan 4
1.4 Manfaat 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**
BAB III DASAR TEORI **8**
3.1 Limbah Cair 8
3.1.1 Sumber Limbah Cair 8
3.1.2 Komposisi Aiir Limbah 8
3.1.3 Sifat Air Limbah 9
3.1.4 Karakteristik Limbah Cair 10
3.1.5 Baku Mutu Lingkungan Hidup 11
3.2 Koagulasi 12
3.2.1 Mekanisme Koagulasi 13
3.2.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Koagulasi 14
3.3 Aluminium Sulfat 15
3.4 *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 16

3.5 *Chemical Oxygen Demand* (COD) 17
3.6 Spektrofotometer UV-Vis 18
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 21
4.1 Alat dan Bahan Penelitian 21
4.1.1 Alat 21
4.1.2 Bahan 21
4.2 Prosedur Kerja 21
4.2.1 Analisis Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Koagulan PAC 21
4.2.2 Analisis Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Koagulan PAC dan Tawas 22
4.2.3 Analisis COD dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri 22
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 25
5.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar KHP 25
5.2 Hasil Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Koagulan PAC 27
5.2.1 Pengaruh Variasi Waktu Pengadukan terhadap Hasil Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe 27
5.2.2 Pengaruh Variasi Banyaknya Koagulan terhadap Hasil Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe 31
5.3 Hasil Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Koagulan Campuran PAC dan Tawas 34
5.3.1 Pengaruh Variasi Waktu Pengadukan terhadap Hasil Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe 35
5.3.2 Pengaruh Variasi Banyaknya Koagulan terhadap Hasil Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe 38

5.4 Perbandingan Evektivitas Koagulan Terbaik antara Koagulan PAC dengan Koagulan Campuran PAC dan Tawas 42
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 45
6.1 Kesimpulan 45
6.2 Saran 46
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Baku Mutu Air Limbah Industri Tempe 12
Tabel 4.1 Contoh uji dan larutan pereaksi untuk berbagai *digestion vessel* 23
Tabel 5.1 Data Hasil Pengukuran Absorbansi dari Larutan Standar KHP 26
Tabel 5.2 Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Waktu Pengadukan dengan PAC 29
Tabel 5.3 Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Banyaknya Koagulan dengan PAC 35
Tabel 5.4 Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Waktu Pengadukan dengan Campuran PAC dan Tawas 37
Tabel 5.5 Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Banyak Koagulan dengan Campuran PAC danTawas 43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Pengelompokan bahan yang terkandung didalam limbah 9
Gambar 3.2 Mekanisme Koagulasi 14
Gambar 3.3 Skema Alat Spektrofotometer UV-Vis 19
Gambar 5.1 Kurva Kalibrasi Larutan Standar Kalium Hidrogen Ptalat (KHP) 26
Gambar 5.2 Hasil Koagulasi Limbah Cair Industri Tempe Variasi Waktu Pengadukan 30, 60 dan 90 menit dengan Berat PAC 10 g 28
Gambar 5.3 Hasil Proses Refluks COD Limbah Cair Industri Tempe menggunakan PAC Variasi Waktu Pengadukan. 28
Gambar 5.4 Grafik Rata-rata Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Waktu Pengadukan dengan PAC 30
Gambar 5.5 Hasil Koagulasi Limbah Cair Industri Tempe Variasi Banyak Koagulan PAC 2,5; 5; 10 g dengan Waktu Pengadukan 90 menit 31
Gambar 5.6 Hasil Proses Refluks COD Limbah Cair Industri Tempe menggunakan PAC Variasi Banyak Koagulan 32
Gambar 5.7 Grafik Rata-rata Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Banyak Koagulan dengan PAC 33
Gambar 5.8 Hasil Koagulasi Limbah Cair Industri Tempe Variasi Waktu Pengadukan 30, 60 dan 90 menit dengan Berat PAC dan Tawas 10 g 35
Gambar 5.9 Hasil Proses Refluks COD Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Campuran PAC dan Tawas Variasi Waktu Pengadukan 36
Gambar 5.10 Grafik Rata-rata Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Waktu Pengadukan dengan Campuran PAC dan Tawas 37
Gambar 5.11 Hasil Koagulasi Limbah Cair Industri Tempe Variasi Banyak Koagulan Campuran PAC dan Tawas 2,5; 5; 10 g dengan Waktu Pengadukan 90 menit 39
Gambar 5.12 Hasil Proses Refluks COD Limbah Cair Industri Tempe menggunakan PAC dan Tawas Variasi Banyak Koagulan 39
Gambar 5.13 Grafik Rata-rata Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Banyak Koagulan dengan PAC dan Tawas 41

Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Koagulan PAC dengan Koagulan Campuran PAC dan Tawas pada Variasi Banyaknya Koagulan.....43
Gambar 5.15 Grafik perbandingan koagulan PAC dengan koagulan campuran PAC dan tawas pada variasi waktu pengadukan 43

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TEMPE UNTUK MENURUNKAN KADAR *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) DENGAN METODE KOAGULASI MENGGUNAKAN KOAGULAN *POLY ALUMINIUM CHLORIDE* (PAC) DAN ALUMINIUM SULFAT

INTISARI

Hasna Nadida Al Hidayah
14612186

Telah dilakukan penelitian tentang pengolahan limbah cair industri tempe untuk menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dengan metode koagulasi menggunakan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan Aluminium Sulfat. Limbah cair industri tempe mengandung konsentrasi COD yang sangat tinggi, sehingga perlu dilakukan pengolahan sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan. Penurunan konsentrasi COD ini dilakukan dalam *system batch*. Pada penelitian ini dilakukan variasi waktu pengadukan dan banyaknya koagulan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap penurunan konsentrasi COD. Hasil dari proses koagulasi dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu pengadukan dan banyaknya koagulan sangat berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi COD. Selain itu, koagulan yang efektif untuk menurunkan COD pada penelitian ini yaitu campuran PAC dan aluminium sulfat. Presentase penurunan konsentrasi COD optimum menggunakan campuran PAC dan aluminium sulfat pada variasi waktu pengadukan yaitu dengan waktu 90 menit sebesar 24,07% dan pada variasi banyaknya koagulan yaitu dengan berat 10 g sebesar 50,30%.

Kata kunci: COD, limbah cair, koagulasi, PAC, aluminium sulfat, tempe.

TREATMENT OF TEMPE INDUSTRIAL LIQUID WASTE FOR REDUCING CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) WITH COAGULATION METHOD USING COAGULANT POLY ALUMINUM CHLORIDE (PAC) AND ALUMINUM SULPHATE

ABSTRACT

Hasna Nadida Al Hidayah
14612186

The research was conducted on the processing of liquid waste of tempe industrial to reduce the levels of Chemical Oxygen Demand (COD) by coagulation method using coagulant Poly Aluminum Chloride (PAC) and Aluminum Sulfate. Tempe industrial liquid waste had a very high concentration of COD, so it is important to be processed before the waste is discharged into the environment. This decrease in COD concentration was done in a batch system. In this research, the variation of stirring time and coagulant weight was applied determine the effect on the decrease of COD concentration. The results of the coagulation process were analyzed using a UV-Vis spectrophotometer. The results showed that the stirring time and the amount of coagulant affected the decrease of COD concentration. In addition, an effective coagulant for lowering COD in this research was a mixture of PAC and aluminum sulfate. The optimum decrease percentage of the COD concentration using mixture of PAC and aluminum sulfate was variation of stirring time of 90 minutes as much as 24,07% and at variation of coagulant weight of 10 g as much as 50,30%.

Keywords: COD, liquid waste, coagulation, PAC, aluminium sulphate, tempe.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tempe merupakan usaha yang didirikan dalam rangka pengembangan kegiatan di bidang pangan yang mempunyai dampak positif dan negatif bagi lingkungan. Dampak positifnya berupa pemenuhan kebutuhan masyarakat akan sumber pangan, sedangkan dampak negatif dari industri tempe berupa limbah buangan yang menimbulkan pencemaran sehingga merusak lingkungan. Pencemaran lingkungan tersebut berupa hasil pembuangan limbah padat (ampas tempe) dan limbah cair. Sebagian besar limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tempe adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tempe (Hudha *et al*, 2014).

Tahu dan tempe merupakan makanan yang digemari masyarakat, baik masyarakat kalangan bawah hingga atas. Keberadaannya sudah lama diakui sebagai makanan yang sehat, bergizi dan murah harganya. Hampir di tiap kota di Indonesia dijumpai industri tahu dan tempe. Pada umumnya industri tahu dan tempe termasuk ke dalam industri kecil yang dikelola oleh rakyat dan beberapa di antaranya masuk dalam wadah Koperasi Pengusaha Tahu dan Tempe (KOPTI). Proses pembuatan tahu dan tempe masih sangat tradisional dan banyak memakai tenaga manusia. Bahan baku utama yang digunakan adalah kedelai (*Glycine spp*). Konsumsi kedelai Indonesia pada Tahun 1995 telah mencapai 2.287.317 Ton (Nurhasan dan Pramudyanto, 1987).

Air merupakan sumber daya alam yang diperlukan untuk hajat hidup orang banyak, bahkan oleh semua makhluk hidup. Pemanfaatan air untuk berbagai kepentingan harus dilakukan secara bijaksana, dengan memperhitungkan kepentingan generasi sekarang maupun generasi mendatang. Aspek penghematan dan pelestarian sumber daya air harus ditanamkan pada segenap pengguna air. Saat ini, masalah utama yang dihadapi oleh sumber daya air meliputi kuantitas air yang sudah tidak mampu memenuhi kebutuhan yang terus meningkat dan kualitas air untuk keperluan domestic semakin menurun. Kegiatan industri, domestik dan kegiatan lainnya berdampak negatif terhadap sumber daya air. Oleh karena itu,

diperlukan pengelolaan dan perlindungan terhadap sumber daya air secara seksama (Effendi, 2003).

Limbah merupakan hasil sisa yang sudah tidak diinginkan lagi dari berbagai aktivitas manusia dan makhluk hidup lainnya yang pada akhirnya akan menjadi suatu masalah baru bagi lingkungan jika tidak dikelola secara baik dan benar. Semakin lama limbah yang tidak dikelola akan menjadi masalah yang besar bagi lingkungan. Mengelola dan menangani limbah secara benar menjadi hambatan karena keterbatasan Sumber Daya Manusia (SDM) yang kompeten dan teknologi yang belum tepat.

Limbah cair yang mengandung padatan tersuspensi maupun terlarut, mengalami perubahan fisik, kimia dan hayati yang akan menghasilkan zat beracun atau menciptakan media untuk tumbuhhnya kuman. Limbah akan berubah warnanya menjadi coklat kehitaman dan berbau busuk. Bau busuk ini akan mengakibatkan gangguan pernafasan. Apabila limbah ini dialirkan ke sungai maka akan mencemari sungai dan bila masih digunakan maka akan menimbulkan penyakit gatal, diare dan mual (Sugiharto, 2007).

Sebagian besar buangan pabrik tempe dan tahu adalah limbah cair yang mengandung sisa air dari rebusan kedelai dan air rendaman kedelai, sehingga limbah cair tempe masih mengandung zat-zat organik seperti protein, karbohidrat dan lemak. Selain zat terlarut, limbah cair tempe juga mengandung padatan tersuspensi atau padatan terendapkan misalnya pecahan biji kedelai yang kurang sempurna saat pemrosesan. Limbah padat belum dirasakan dampaknya terhadap lingkungan karena dapat dimanfaatkan untuk pakan ternak, tetapi limbah cair akan mengakibatkan bau busuk dan bila dibuang langsung ke sungai akan menyebabkan tercemarnya sungai tersebut (Nurhasan dan Pramudyanto, 1987).

Berbagai usaha telah dilakukan untuk menghilangkan komponen-komponen yang tidak diinginkan dalam air melalui proses pengolahan, mulai dari proses yang sederhana (aerasi, penyaringan, pengendapan, destilasi, kristalisasi) yang telah ditemukan pada proses pengolahan limbah cair pada industri-industri besar. Beberapa bahan kimia juga telah ditemukan dalam usaha perbaikan kualitas air. Bahan-bahan kimia ini dikenal sebagai koagulan dan flokulan misalnya, seperti

aluminium sulfat (tawas), *Poly Aluminium Chloride* (PAC), feri klorida, kitosan, poli amida dan beberapa bentuk polimer lainnya (Sugiharto, 2007).

Akhir-akhir ini salah satu bahan polielektrolit yang dikenal sebagai *Poly Aluminium Chloride* (PAC) semakin dikenal dipasaran dan semakin luas penggunaannya, baik untuk pengolahan air minum maupun untuk pengolahan air limbah. Tawas atau aluminium sulfat merupakan salah satu koagulan-flokulan yang terkenal dan sudah sejak lama digunakan untuk pengolahan air terutama untuk air minum (Sugiharto, 2007).

Pada penelitian ini akan dilakukan cara pengolahan untuk menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) melalui suatu proses koagulasi, mengingat COD merupakan parameter yang sering sekali dipakai acuan untuk melihat kondisi air limbah. Semakin tinggi kadar COD semakin tinggi pula air tersebut tercemar. Pencemaran lingkungan oleh limbah cair industri tempe merupakan suatu permasalahan lingkungan yang perlu dicari solusinya. Terlebih lagi limbah cair industri tempe selalu dihasilkan tiap hari dengan jumlah yang tidak sedikit. Berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Perubahan atas Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah khususnya persyaratan pada Baku Mutu Air Limbah Industri Tempe, kadar maksimum COD didalam air limbah sebesar 275 mg/L. Koagulasi merupakan salah satu pengolahan air limbah. Pada pengolahan ini perlu adanya penambahan koagulan salah satunya *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan Aluminium Sulfat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat dirumuskan suatu masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi banyaknya koagulan PAC dan campuran PAC dengan yang digunakan dalam penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu pengadukan koagulan PAC dan campuran PAC dengan tawas yang digunakan dalam penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe?

3. Manakah jenis koagulan terbaik terhadap penurunan nilai COD pada limbah cair industri tempe?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah tersebut, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi banyaknya koagulan PAC dan campuran PAC dengan tawas yang digunakan dalam penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe.
2. Mengetahui pengaruh variasi waktu pengadukan koagulan PAC dan campuran PAC dengan tawas yang digunakan dalam penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe.
3. Mengetahui jenis koagulan terbaik terhadap penurunan nilai COD pada limbah cair industri tempe.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui pengaruh variasi banyaknya koagulan PAC dan campuran PAC dengan tawas yang digunakan dalam penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe.
2. Dapat mengetahui pengaruh variasi waktu pengadukan koagulan PAC dan campuran PAC dengan tawas yang digunakan dalam penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe.
3. Dapat mengetahui jenis koagulan terbaik terhadap penurunan nilai COD pada limbah cair industri tempe.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 dalam Asmadi dan Suharno (2012) air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair. Sedangkan limbah cair industri adalah buangan hasil proses atau sisa dari suatu kegiatan atau usaha industri yang berwujud cair dimana kehadirannya pada suatu saat dan tempat tidak dikehendaki karena tidak mempunyai nilai ekonomis sehingga cenderung untuk dibuang (Asmadi dan Suharno, 2012).

Beberapa penelitian tentang penurunan COD pada limbah cair dengan metode koagulasi telah dilakukan. Manurung (2009) telah melakukan penelitian terhadap penurunan nilai COD dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dengan koagulan PAC pada limbah sarung tangan karet, didapatkan persentase penurunan nilai COD adalah 43,71% sedangkan persentase penurunan BOD 20-58%. Berdasarkan hasil penelitian Noviani (2012) dapat disimpulkan bahwa PAC mampu menurunkan kekeruhan sebesar 98,73% ; TDS sebesar 4,63% ; kesadahan sebesar 42,47% dan Fe sebesar 99,78%. Hasil penelitian Astuti dan Darnoto (2009) menunjukkan bahwa pemanfaatan PAC sebagai koagulan pada dosis optimum 6 gr/l dapat menghilangkan kekeruhan sebesar 75,88% ; warna sebesar 89,61% dan Total Suspended Solid (TSS) sebesar 13,61% pada air lindi di TPAS Putri Cempo Mojosongo.

Pada penggunaan aluminium sulfat sebagai koagulan, air baku harus memiliki alkalinitas yang memadai untuk bereaksi dengan aluminium sulfat menghasilakan flok hidroksida. Umumnya, pada rentang pH dimana proses koagulasi terjadi alkalinitas yang terdapat dalam bentuk ion bikarbonat. Apabila air baku tidak mengandung alkalinitas yang memadai, maka harus dilakukan penambahan alkalinitas. Rentang pH optimum untuk alum adalah 4,5 -8,0 karena aluminium hidroksida relatif tidak larut pada rentang tersebut (Amir dan James, 2010).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Said (2009), tentang pengolahan air limbah laboratorium dengan menggunakan koagulan alum sulfat dan poli

aluminium klorida (PAC) didapatkan hasil penggunaan zat koagulan yang lebih efektif adalah aluminium sulfat dengan konsentrasi 1 gr/l. efektifitas alum sulfat terhadap penurunan logam Fe didalam air limbah laboratorium berkisar antara 85-100%. Sedangkan penyerapan logam Cr akan berjalan maksimal (98%). Efektifitas penurunan konsentrasi logam Mn dalam air limbah laboratorium dengan penggunaan alum sulfat berkisar antara 44-58%.

Menurut Anna *et al.* (2017) dalam penelitian pengolahan air limbah tekstil melalui proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan lempung sebagai penyumbang partikel tersuspensi menyatakan bahwa salah satu penyebab tingginya konsentrasi COD adalah pembuangan air limbah dari industri tanpa pengolahan ke lingkungan yang kemudian bergerak hingga mencapai air tanah. Pengolahan air limbah sebelum dibuang ke lingkungan merupakan cara yang tepat untuk mengatasi masalah pencemaran. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah system *batch* melalui proses koagulasi-flokulasi.

Percobaan diawali dengan penambahan kaporit dan kapur untuk menurunkan intensitas warna, kemudian tanah lempung untuk menaikkan kandungan partikel-partikel tersuspensi dan penambahan tawas sebagai koagulan. Penambahan 2 gram kaporit ; 0,3 gram kapur ; 1 gram lempung ; dan 1 gram tawas kedalam 500 mL air limbah pada pengadukan 200 rpm selama 2 menit, berhasil menurunkan COD sebesar 79% yakni dari 615 mg/L menjadi 130 mg/L. Penurunan COD akan meminimalkan dan mencegah terjadinya pencemaran air tanah, karena kandungan COD 130 mg/L telah memenuhi baku mutu limbah. Indriyati (2009) menyebutkan bahwa koagulasi yang efektif terjadi pada pH tertentu. Pembentukan flok pada proses koagulasi dipengaruhi oleh faktor fisika dan kimia seperti kondisi pengadukan, pH, alkalinitas, kekeruhan dan suhu air. Seperti alum apabila digunakan diluar kisaran pH optimumnya, maka flok yang terbentuk akan tidak sempurna dan akan larut kembali.

Elleuch *et al*. (2014) telah melakukan penelitian terhadap air limbah pencuci botol minyak (kandungan minyak 3300 mg/L) dengan koagulasi dicapai sampai 93% untuk COD, 99% untuk minyak dan 99% untuk efisiensi penghilangan warna dengan penambahan tawas 180 mg/L, preestol 1 g/L pada pH 6,5. Hasil penelitian

Mazumder dan Mukherjee (2011) minyak-minyak dari air limbah mobil yang mengandung minyak-lemak konsentrasinya 300 mg/L dengan koagulan aluminium sulfat diperoleh dosis maksimum pada tawas 200 mg/L dan pH 7,8. Berdasarkan hasil penelitian Ngamlerdpokin *et al.* (2011) menemukan bahwa pemulihan kimiawi dengan penambahan H_2SO_4 pada pH 1,0-2,5 dengan metode koagulasi menggunakan koagulan tawas efektif untuk mengolah limbah biodiesel (COD 271.000-341.712 mg/L, minyak mentah 210-421 mg/L). lebih besar dari 98,3% dan dan 99,2% COD dari minyak-minyak yang dilepas menggunakan tawas pada 2 g/L sementara 98,2% dan 98,6% COD dicapai sedikit lebih rendah dengan koagulasi pac (1 g/L).

Eko dan Mg. Catur (2011) telah melakukan penelitian mengenai pengolahan air limbah laboratorium dengan menggunakan koagulan alum sulfat dan *poly aluminium chloride*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koagulan alum sulfat dan *poly aluminium chloride* hanya dapat menurunkan parameter COD sebesar 6%. Penurunan sebesar 6% dapat dicapai oleh koagulan alum sulfat pada dosis 150 mg/L serta PAC pada dosis 75 mg/L dan 225 mg/L. Diantara 2 jenis koagulan yang digunakan, PAC mempunyai kemampuan kerja lebih baik dibandingkan dengan alum sulfat, hal ini terlihat dari kemampuan PAC dalam penurunan COD. PAC mampu menurunkan konsentrasi COD dari 988 ppm menjadi 929 ppm. PAC adalah salah satu produk polimer aluminium yang digunakan untuk menetralkan muatan koloid serta membentuk jembatan penghubung diantara koloid-koloid tersebut, sehingga proses koagulasi-flokulasi dapat berlangsung dengan efisien. Pada umumnya PAC mempunyai daya koagulasi-flokulasi lebih besar dibandingkan dengan garam aluminium yang biasa seperti tawas (Alum Sulfat). PAC dapat bekerja ditingkat pH yang lebih luas, dengan demikian tidak diperlukan pengoreksian terhadap pH kecuali bagi air tertentu.

BAB III
DASAR TEORI

3.1 Limbah Cair

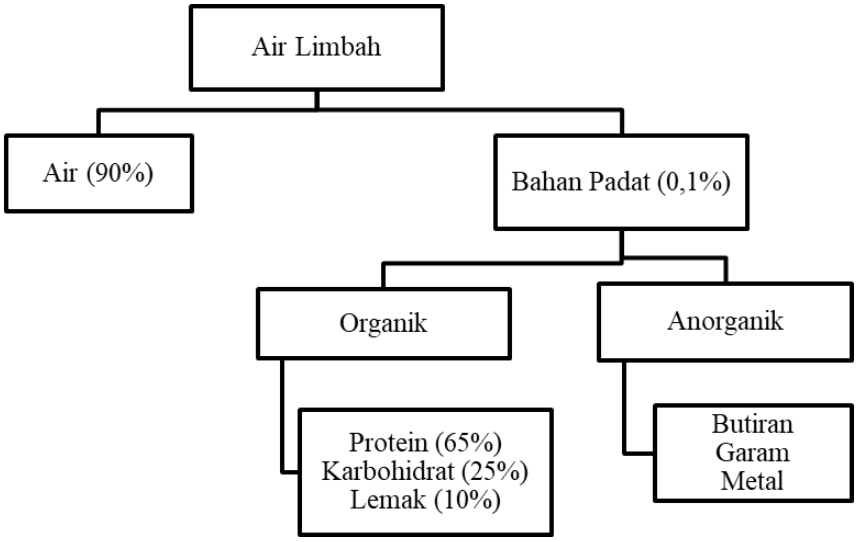
Air limbah (*waste water*) adalah air buangan dari masyarakat, rumah tangga, industri, air tanah, air permukaan serta buangan lainnya (Sutapa DAI, 1999). Didalam limbah cair terkandung zat-zat pencemar dengan konsentrasi tertentu yang bila dimasukkan ke bahan air dapat mengubah kualitas airnya. Kualitas air merupakan pencerminan kandungan konsentrasi makhluk hidup, energi, zat-zat atau komponen lain yang ada dalam air. Limbah cair mempunyai efek negatif bagi lingkungan karena mengandung zat-zat beracun yang mengganggu keseimbangan lingkungan dan kehidupan makhluk hidup yang terdapat didalamnya (Sutapa DAI, 1999).

3.1.1 Sumber Limbah Cair

Air limbah merupakan kotoran dari rumah tangga, industri, air permukaan serta air permukaan lainnya. Air buangan ini bersifat kotor pada umumnya (Sugiharto, 2007). Sumber limbah cair terdiri dari dua sumber yaitu sumber domestik (rumah tangga), meliputi permukiman, kota, pasar, jalan. Sedangkan sumbber non-domestik (industry, pertanian, peternakan dan sumber-sumber lainnya) (Unus Suriawirna, 1996).

3.1.2 Komposisi Air Limbah

Sesuai dengan sumber asalnya, maka air limbah mempunyai komposisi yang sangat bervariasi dari setiap tempat dan setiap waktu. Akan tetapi, secara garis besar zat-zat yang terdapat dalam air limbah dapat dikelompokkan seperti pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Pengelompokan Bahan yang Terkandung didalam Limbah (Sugiharto, 2007)

Pada Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa limbah organik mengandung protein 65%; karbohidrat 25% dan lemak 10%. Sedangkan untuk limbah anorganik mengandung butiran, garam dan metal.

3.1.3 Sifat Air Limbah

Menurut Sugiharto (2007), setelah dilakukan analisis ternyata air limbah mempunyai sifat yang dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) bagian:

1. Sifat Fisik

Sifat fisik suatu limbah ditentukan berdasarkan jumlah padatan terlarut, tersuspensi dan padatan total, alkalinitas, kekeruhan, warna, salinitas, daya hantar listrik, bau dan temperatur. Sifat fisik ini beberapa dikenali secara visual tapi untuk mengetahui secara lebih pasti maka dapat digunakan di laboratorium.

2. Sifat Kimia

Kandungan bahan kimia yang ada didalam air limbah dapat merugikan lingkungan melalui berbagai cairan bahan organik terlarut dapat menghabiskan oksigen dalam limbah serta dapat menimbulkan rasa dan bau yang tidak sedap pada penyediaan air bersih. Kepekatan zat organik dalam air limbah biasa dinyatakan dengan besarnya oksigen (O_2) yang diperlukan untuk proses oksidasi senyawa yang ada didalam air limbah.

3. Sifat Biologis

Pemeriksaan biologis didalam air dan limbah cair untuk memisahkan apakah ada bakteri patogen yang berada didalam air limbah. Keterangan biologis ini diperlukan untuk mengukur kualitas air terutama bagi air yang dipergunakan sebagai air minum serta untuk kolam renang.

3.1.4 Karakteristik Limbah Cair

Menurut Asmadi dan Suharno (2012) karakteristik air limbah dibagi menjadi tiga yaitu :

1. Karakteristik Fisik

Karakteristik limbah cair terkait dengan estetika karena sifat fisiknya yang mudah terlihat dan dapat diidentifikasi secara langsung. Karakteristik limbah cair meliputi: padatan total (*total solid*), bau, temperatur, kepadatan (*density*), warna dan kekeruhan.

2. Karakteristik Kimia

Kandungan bahan kimia dalam air limbah dapat merugikan lingkungan. Bahan organik terlarutdapat menghabiskan oksigen dalam sungai serta akan menimbulkan rasa dan bau yang tidak sedap pada pengolahan air bersih, bahan yang beracun dapat menyebabkan kerusakan rantai makanan dan akan mempengaruhi kesehatan masyarakat. Nutrien dapat menyebabkan eutrofikasi pada danau. Tchobanoglous (1991) dalam Asmadi dan Suharno (2012) menyatakan bahwa secara umum karakteristik kimia limbah cair terbagi menjadi 2 yaitu:

a. Zat Organik

Air limbah mengandung kurang lebih 75% suspended solid (SS) dan padatan yang dapat disaring dalam bentuk zat organik. Senyawa organik biasanya terdiri dari karbon, oksigen serta nitrogen.

b. Zat Anorganik

Menurut Sugiharto (1987) dalam Asmadi dan Suharno (2012) parameter limbah cair yang tergolong dalam zat anorganik antara lain sebagai berikut:

1) pH

Kadar pH yang baik adalah kadar pH dimana masih memungkinkan kehidupan biologis didalam air berjalan baik, pH yang baik untuk air limbah adalah netral (pH 7).

2) Alkalinitas

Alkalinitas atau kebasaan air limbah disebabkan oleh adanya hidroksida, karbonat dan bikarbonat seperti kalsium, magnesium dan natrium atau kalium.

3) Logam

Logam seperti Nikel (Ni), Mg, Fe meskipun dalam konsentrasi yang rendah dibutuhkan oleh mikroorganisme tetapi dengan kadar yang berlebih dapat membahayakan kehidupan mikroorganisme.

4) Gas

Gas yang sering muncul dalam air limbah yang tidak diolah antara lain: Nitrogen, CO_2, H_2S, NH_3 dan CH_4. Gas-gas ini berasal dari hasil dekomposisi zat organik dalam limbah.

3. Karakteristik Biologi

Air limbah biasanya mengandung mikroorganisme yang memiliki peranan penting dalam pengolahan air limbah secara biologi, tetapi ada juga mikroorganisme yang membahayakan bagi kehidupan. Mikroorganisme tersebut antara lain: bakteri, alga, jamur.

3.1.5 Baku Mutu Lingkungan Hidup

Baku mutu lingkungan hidup didefinisikan sebagai ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat energi atau komponen yang ada dan unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam suatu sumber daya tertentu sebagai unsur lingkungan hidup (Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2009).

Baku mutu air adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat energi atau komponen yang ada atau harus ada dan unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air. Air merupakan komponen lingkungan hidup yang penting bagi kelangsungan hidup dan kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya, sehingga dipandang perlu untuk melakukan upaya-upaya melestarikan fungsi air. Upaya yang dilakukan adalah dengan pengelolaan kualitas air dan

pengendalian pencemaran air secara bijaksana dengan memperlihatkan kepentingan generasi sekarang dan mendatang. Pengelolaan kualitas air adalah upaya pemeliharaan air sehingga tercapai kualitas air yang diinginkan sesuai peruntukannya untuk menjaga agar kualitas air tetap dalam kondisi alamiahnya. Pengendalian pencemaran air dilakukan untuk menjamin kualitas agar sesuai dengan baku mutu air melalui upaya pencegahan penanggulangan pencemaran air serta pemulihan kualitas air (Pemerintah Republik Indonesia, 2001). Pada Tabel 3.1 dapat dilihat kadar maksimum baku mutu air limbah industri tempe:

Tabel 3.1 Baku Mutu Air Limbah Industri Tempe (Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah, 2004)

No	Parameter	Industri Tempe	
		Kadar Maksimum (mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (Kg/ ton)
1.	Temperatur	38 ^{o}C	-
2.	BOD	150	1,5
3.	COD	275	2,75
4.	TSS	100	1
5.	pH	6,0-9,0	
6.	Debit Maksimum	10 m^3/ton kedelai	

Catatan :

a. Kadar maksimum untuk setiap parameter pada tabel di atas dinyatakan dalam miligram parameter per liter air Iimbah.
b. Beban pencemaran maksimum untuk setiap parameter pada tabel di atas dinyatakan dalam kilogram parameter per ton kedelai.

3.2 Koagulasi

Koagulasi berasal dari bahasa latin yaitu *coagulare*, yang memiliki pengertian bergerak bersama. Koagulasi adalah metode untuk menghilangkan bahan-bahan limbah dalam bentuk koloid dengan menambahkan koagulan. Koagulasi ini akan menyebabkan partikel-partikel koloid akan saling tarik-menarik dan menggumpal membentuk flok (Suryadiputra, 1995).

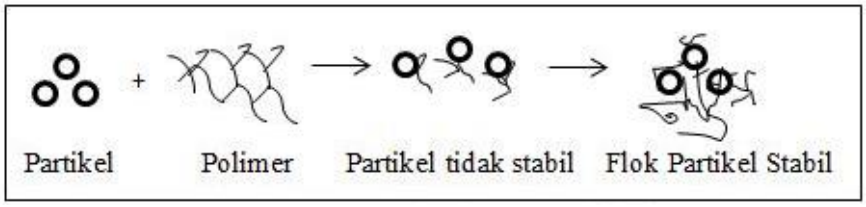
Proses pendestabilan dengan penambahan koagulan yang mempunyai muatan yang berlawanan dengan muatan partikel-partikel koloid menyebabkan terjadinya gaya tarik-menarik yang dapat mengikat dan menggumpalkan partikel-partikel koloid. Proses ini disebut proses koagulasi. Selama proses koagulasi, ion positif dari koagulan akan melapisi permukaan dari partikel koloid yang bermuatan negatif sehingga terjadi penggumpalan butiran-butiran koloid yang semakin lama semakin membesar dan mengendap. Koloid terbagi menjadi dua, yaitu koloid hidrofilik yang bersifat mudah larut dalam air (*soluble*) dan koloid hidrofobik yang bersifat sukar larut dalam air (*insoluble*). Apabila koagulan ditambahkan kedalam air, reaksi yang terjadi antara lain (Alaerts dan Santika, 2007):

1. Pengurangan zeta potensial (potensial elektrostatis) hingga suatu titik dimana gaya *van der walls* dan agitasi yang diberikan menyebabkan partikel yang tidak stabil bergabung serta membentuk flok.
2. Agregasi partikel melalui rangkaian inter partikulat antara group-group reaktif pada koloid.
3. Penangkapan partikel koloid negatif oleh flok-flok hidroksida yang mengendap.

Menurut Alaerts dan Santika (2007), mekanisme proses koagulasi terdiri dari dua mekanisme. Mekanisme pertama adalah *sweep coagulation*, yaitu partikel koloid yang diikat oleh flok-flok koagulan yang tidak terlarut. Mekanisme kedua adalah *adsorption coagulation*, yaitu muatan listrik partikel koloid diubah oleh molekul koagulan yang menempel pada permukaan.

3.2.1 Mekanisme Koagulasi

Mekanisme koagulasi dapat diterangkan melalui jembatan kimia, misalnya molekul polimer akan mengikat partikel koloid dan ekor polimer yang telah diserap dapat mengikat partikel lain pada permukaan partikel membentuk jembatan kimia. Mekanisme yang terjadi dapat ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Mekanisme Koagulasi

Berdasarkan Gambar 3.2 suatu koloid ketika diberikan bahan koagulan akan mengalami destabilisasi koloid lalu terjadi penggabungan (agregasi) partikel dan membentuk flok. Ada dua jenis mekanisme koagulasi, yaitu *sweep coagulation* dan *adsorption coagulation*. *Sweep coagulation* ialah partikel koloid yang tidak terlarut membentuk flok-flok yang ternetralkan oleh koagulan, sedangkan *adsorption coagulation* ialah muatan elektris partikel koloid diubah oleh molekul koagulan yang menempel pada permukaan koloid (Lilis, 2006).

Bahan koagulan yang digunakan dalam proses pengendapan limbah cair adalah bahan koagulan utama dan koagulan pendukung. Bahan koagulan utama termasuk tawas, ferosulfat, ferisulfat, feriklorida dan bahan koagulan pendukung termasuk air kapur, soda abu dan polialuminium klorida (Kiely, 1997).

3.2.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Koagulasi

Menurut Lilis (2006) faktor-faktor yang dapat mempengaruhi proses koagulasi, diantaranya:

1. pH

Nilai pH harus diperhatikan, misal garam-garam besi bekerja pada nilai antara 4,50-5,50. Sebaliknya, garam aluminium bekerja pada nilai pH antara 5,50-6,30. Hal ini dikarenakan, proses koagulasi dapat berlangsung dengan baik pada kondisi optimumnya.

2. Suhu

Suhu berpengaruh pada proses koagulasi dikarenakan, terjadi peningkatan viskositas dan perubahan struktur agregat menjadi lebih kecil sehinggga dapat lolos dari proses penyaringan dan peningkatan kecepatan menghidrolisis dan mengendap pada suhu rendah. Selain itu, terjadi kerapatan yang lebih kecil dan akan menyebabkan konveksi dan merusak timbunan lumpur pada suhu tinggi. Dengan demikian, diperlukan suhu optimum pada proses pengolahan limbah.

3. Konsentrasi Koagulan

Konsentrasi koagulan akan berpengaruh pada banyaknnya jumlah bahan kimia (koagulan) yang ditambahkan sehingga proses pengendapan dari tiap konsentrasi akan bervariasi. Selain itu, hal ini akan berpengaruh terhadap tumbukan antar partikel yang akan membentuk flok-flok.

4. Pengadukan

Pembentukan flok sangat dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan. Jika pengadukan lambat, maka pembentukan flok juga akan berlangsung lama. Namun, jika pengadukan terlalu cepat akan mengakibatkan flok-flok yang terbentuk menjadi pecah. Dengan demikian, proses pengadukan harus merata dan sesuai agar koagulan yang ditambahkan dapat bereaksi dengan baik dalam larutan.

3.3 Aluminium Sulfat

Aluminium Sulfat [$Al_2(SO_4)_3$] atau yang lebih dikenal dengan tawas merupakan salah satu bahan kimia yang banyak digunakan dalam proses pengolahan air bersih, pengolahan air limbah dan juga digunakan dalam pembuatan kertas untuk meningkatkan ketahanan dan penyerapan tinta. Bahan baku yang digunakan untuk proses pembuatan aluminium sulfat dikelompokkan menjadi dua, yaitu sumber aluminium dan sumber sulfat. Umumnya aluminium sulfat dibuat dari bauksit dan asam sulfat dengan dipanaskan selama 15-20 jam (Ismayanda, 2011).

Pada penggunaan aluminium sulfat sebagai koagulan, air baku harus memiliki alkalinitas yang memadai untuk bereaksi dengan aluminium sulfat menghasilkan flok hidroksida. Umumnya, pada rentang pH dimana proses koagulasi terjadi alkalinitas yang terdapat dalam bentuk ion bikarbonat. Apabila air baku tidak mengandung alkalinitas yang memadai, maka harus dilakukan penambahan alkalinitas. Rentang pH optimum untuk alum adalah 4,5-8,0 karena aluminium hidroksida relatif tidak larut pada rentang tersebut (Amir Rizal dkk, 2010).

Menurut Kumalasari dan Satoto (2011), aluminium sulfat atau tawas dapat mengendapkan partikel-partikel koloid yang sebelumnya melayang-layang dalam air akan diikat menjadi partikel besar yang disebut flok. Dengan ukuran

partikelnya yang beda, flok dapat mengendap karena gaya gravitasi. Adapun menurut Suharto (2011), aluminium sulfat berjalan dengan baik pada pH antara 4,5-7,0. Dimana dalam suasana limbah cair masih bersifat asam maka limbah cair perlu ditambah soda abu (Na_2CO_3), soda kostik (NaOH) atau air kapur sehingga pH naik dan bahan koagulan aluminium sulfat akan berfungsi sebagai bahan koagulan efektif untuk membentuk endapan.

Penggunaan koagulan aluminium sulfat akan menghasilkan lebih banyak sludge dibanding koagulan lainnya. Selain itu untuk memperoleh hasil optimum dibutuhkan konsentrasi yang cukup pekat. Flok aluminium hidroksida yang dihasilkan berbentuk gel yang akan mengadsorbsi koloid dan mengendapkannya.

3.4 Polialuminium Klorida (PAC)

Menurut Marieanna dkk (2013), PAC memiliki rumus kimia umum AlnCl(3n-m)(OH)m banyak digunakan karena memiliki rentang pH yang lebar sesuai nilai n dan m pada rumus kimianya. PAC yang paling umum dalam pengolahan air adalah $Al_{12}Cl_{12}(OH)_{24}$. PAC mengalami hidrolisis lebih mudah dibandingkan alum, mengeluarkan polihidroksida yang memiliki rantai molekul panjang dan muatan listrik besar dari larutan sehingga membantu memaksimalkan gaya fisis dalam proses flokulasi.

Pada air yang memiliki kekeruhan sedang sampai tinggi, PAC memberikan hasil koagulasi yang lebih baik dibandingkan alum. Pembentukan flok dengan PAC termasuk cepat dan lumpur yang muncul lebih padat dengan volume yang lebih kecil dibandingkan dengan alum. Oleh karenanya, PAC merupakan pengganti alum padat yang efektif dan berguna karena dapat menghasilkan koagulasi air dengan kekeruhan yang berbeda denngan cepat, menggenerasi lumpur lebih sedikit dan meninggalkan lebih sedikit residu aluminium pada air yang diolah (Malhotra, 1994) dalam Marieanna dkk (2013).

Menurut Manurung (2009), beberapa keuntungan yang dapat dicatat dari penggunaan PAC sebagai koagulan adalah:

1. Efektif pada pH 5-10.
2. Jumlah lumpur yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan penggunaan garam aluminium yang biasa.

3. Efek korosi yang ditimbulkan jauh lebih kecil dibandingkan dengan garam aluminium biasa.

3.5 *Chemical Oxygen Demand* (COD)

COD atau kebutuhan oksigen kimia (KOK) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam satu liter sampel air, dimana pengoksidanya adalah $K_2Cr_2O_7$ atau $KMnO_4$. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut didalam air. Sebagian besar zat organik melalui test COD ini dioksidasi oleh $K_2Cr_2O_7$ dalam keadaan asam yang mendidih optimum (Alaerts dan Santika, 2007).

Perak sulfat (Ag_2SO_4) ditambahkan sebagai katalisator untuk mempercepat reaksi. Sedangkan merkuri sulfat ditambahkan untuk menghilangkan gangguan klorida yang pada umumnya ada didalam air buangan untuk memastikan bahwa hampir semua zat organik habis teroksidasi maka zat pengoksidasi $K_2Cr_2O_7$ masih harus tersisa sesudah direfluks. $K_2Cr_2O_7$ yang tersisa menentukan berapa besar oksigen yang telah terpakai (Alaerts dan Santika, 2007).

COD menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar didegradasi secara biologis (*non biodegradable*) menjadi CO_2 dan H_2O (Effendi, 2003). Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikroorganisme dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut didalam air. Nilai COD yang tinggi menunjukkan adanya pencemaran air oleh zat-zat organik yang berasal dari berbagai sumber seperti limbah pabrik, limbah rumah tangga dan sebagainya (Pranoto, 2005).

Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat maupun tidak dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air (Alaerts dan Santika, 2007). Perairan dengan nilai COD tinggi tidak diinginkan bagi kepentingan perikanan dan pertanian. Nilai COD pada perairan yang tidak

tercemar biasanya kurang dari 20 mg/L, sedangkan pada perairan tercemar dapat lebih dari 200 mg/L dan pada limbah industri dapat mencapai 60.000 mg/L. Kadar COD dalam air limbah akan mempunyai suatu gaya gabung dengan bahan organik, hal tersebut dapat digunakan untuk meremoval bahan kontaminan organik dari air limbah (Kasam et al., 2005).

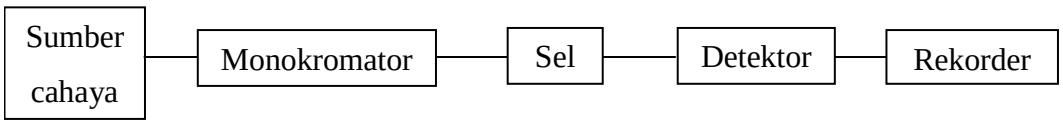
Pengukuran kekuatan limbah dengan COD adalah bentuk lain pengukuran oksigen dalam air. Metode ini lebih singkat waktunya dibandingkan dengan analisa BOD. Pengukuran ini menekankan kebutuhan oksigen akan kimia dimana senyawa-senyawa yang diukur adalah bahan-bahan yang tidak dapat dipecah secara biokimia. Adanya racun atau logam tertentu dalam limbah mengakibatkan pertumbuhan bakteri akan terhalang. COD adalah sejumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat anorganis dan organis sebagaimana BOD. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat anorganik. Semakin dekat nilai BOD terhadap COD menunjukkan bahwa semakin sedikit bahan anorganik yang dapat dioksidasi dengan bahan kimia (Alaerts dan Santika, 2007).

3.6 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri merupakan interaksi radiasi elektromagnetik baik berupa refleksi, refraksi dan difraksi dengan materi secara absorbs, emisi dan penghamburan tergantung pada sifat materinya sehingga terjadi perpindahan elektron dari tingkat energi yang rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Sedangkan spektrofotometer UV-Vis adalah instrument yang digunakan untuk mengukur energi secara relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan atau diemisikan sebagai fungsi dari panjang gelombang (Khopkar, 2003).

Prinsip dari spektrofotometer adalah adanya interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan materi. Spektrofotometer UV-Vis dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif adalah analisis yang bertujuan untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terkandung dalam sampel uji dengan cara membandingkan panjang gelombang pada sampel dengan standar. Sedangkan analisis kuantitatif adalah analisis yang bertujuan untuk mengetahui kadar suatu senyawa dalam sampel.

Instrumen spektrofotometer dapat dikelompokkan secara manual atau merekam: berkas tunggal dan berkas rangkap. Instrumen berkas tunggal biasanya dijalankan dengan manual dan instrumen berkas rangkap mencirikan perekaman otomatis terhadap spektra serapan (Day, 2002). Komponen penting dari instrumen spektrofotometer UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 3.3:



Gambar 3.3 Skema Alat Spektrofotometer UV-Vis (Day, 2002)

Keterangan bagian alat spektrofotometer UV-Vis:

1. Sumber cahaya, sebagai sumber yang memberikan sinar UV maupun sinar tampak. Lampu yang digunakan untuk sumber cahaya yaitu lampu wolfram, lampu merkuri dan lampu deuterium (hydrogen).
2. Monokromator, berfungsi untuk merubah sinar polikromatis menjadi sinar monokromatis sesuai yang dibutuhkan untuk pengukuran. Ada dua tipe dasar dari monokromatik ini yaitu prisma dan grating disperse (logam dengan permukaan yang bergerigi dan teratur) atau kisi.
3. Sel (kuvet), sebagai tempat sampel dan standar saat dilakukan pengukuran. Beberapa macam kuvet yaitu dari leburan silika (kuarsa) untuk spektrofotometer sinar tampak dan kuvet dari gelas untuk spektrofotometer UV.
4. Detektor, untuk merubah sinar menjadi energi listrik yang sebanding dengan besaran yang dapat diukur. Detektor yang sering digunakan adalah *photomultiplier cell*. Sinyal-sinyal yang telah diubah diperkuat oleh amplifier.
5. Rekorder, digunakan untuk merekam hasil pengukuran. Sinyal-sinyal listrik yang datang dari detektor akan menjadi pengamatan beruba absorbansi (A) atau transmitan (T) dari larutan yang dapat dibaca oleh rekorder.

Suatu berkas radiasi elektromagnetik, jika dilewatkan melalui sampel maka sebagian akan teradsorpsi. Absorbsi radiasi oleh suatu sampel diukur pada berbagai panjang gelombang dan dialirkan oleh suatu perekam untuk

menghasilkan spektrum tertentu yang khas untuk komponen yang berbeda. Absorbsi sinar oleh larutan mengikuti hukum Lambert-Beer, yaitu:

$$I_o = I_a + I_t + I_r$$

Harga I_r ($\pm 4\%$) dapat diabaikan, sehingga menjadi seperti berikut:

$$I_o = I_a + I_t$$

Keterangan:

I_o = intensitas sinar datang

I_t = intensitas sinar yang diteruskan

I_a = intensitas sinar yang diserap

I_r = intensitas sinar yang dipantulkan

Bouger, Lambert dan Beer membuat formula secara matematis hubungan antara transmitan atau absorbansi terhadap intensitas radiasi atau konsentrasi zat yang dianalisis sebagai berikut:

$$T = \frac{I_t}{I_o} = Io^{-\varepsilon.c.b}$$

$$A = Log\frac{1}{T} = \varepsilon.c.b$$

Keterangan:

T = persen transmitan

I_o = intensitas sinar datang

I_t = intensitas sinar yang diteruskan

c = konsentrasi (mol/L)

b = tebal larutan (cm)

A = absorbansi

ε = absorptivitas molar ($L.mol^{-1}.cm^{-1}$)

Menurut hukum Lambert-Beer, absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi. Pada panjang gelombang tertentu absorbansi sampel merupakan fungsi linier dari konsentrasinya sehingga metode spektroskopi ini dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi sampel (Khopkar, 2003).

BAB IV
METODELOGI PENELITIAN

4.1 Alat dan Bahan Penelitian

4.1.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Pengaduk magnet (*Magnetic Stirrer*) SH-2B
2. Seperangkat alat gelas
3. Spektrofotometer UV-Vis UH-5300 *Hitachi*
4. Tabung kultur borosilikat
5. Timbangan analitik (*Ohaus Pioneer*)
6. Kuvet kaca

4.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Sampel limbah cair industri tempe
2. Aquades
3. Larutan standar Kalium Hidrogen Ftalat (KHP) (Merck)
4. Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) (Merck)
5. Larutan Asam Sulfat pekat (H_2SO_4) (Merck)
6. Merkuri (II) Sulfat ($HgSO_4$) (Merck)
7. Perak Sulfat (Ag_2SO_4) (Merck)
8. *Poly Aluminium Chloride* (PAC)
9. Aluminium Sulfat (Tawas)

4.2 Prosedur Kerja

4.2.1 Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Koagulan PAC

4.2.1.1 Pengaruh Waktu Pengadukan terhadap Konsentrasi COD

50 mL sampel limbah tempe dimasukkan ke dalam gelas beaker. Kemudian ditambahkan koagulan sebanyak 10 gram. Setelah itu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan variasi waktunya adalah 30 menit, 60 menit dan 90 menit dan didiamkan selama 1 hari. Kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring. Hasil koagulasi kemudian dianalisis dengan

spektrofotometer sinar tampak dan dicari waktu terbaik dari nilai COD yang didapatkan.

4.2.1.2 Pengaruh Banyak Koagulan terhadap Konsentrasi COD

50 mL sampel limbah tempe dimasukkan ke dalam gelas beaker. Kemudian ditambahkan koagulan dengan variasi banyaknya koagulan sebanyak 2,5 gram; 10 gram; dan 20 gram. Setelah itu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 90 menit dan didiamkan selama 1 hari. Kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring. Hasil koagulasi kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer sinar tampak dan dicari nilai COD yang terendah.

4.2.2 Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Koagulan Campuran PAC dan Tawas

4.2.2.1 Pengaruh Waktu Pengadukan terhadap Konsentrasi COD

50 mL sampel limbah tempe dimasukkan ke dalam gelas beaker. Kemudian ditambahkan koagulan sebanyak 10 gram. Setelah itu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan variasi waktunya adalah 30 menit, 60 menit dan 90 menit dan didiamkan selama 1 hari. Kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring. Hasil koagulasi kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer sinar tampak dan dicari waktu terbaik dari nilai COD yang didapatkan.

4.2.2.2 Pengaruh Banyak Koagulan terhadap Konsentrasi COD

50 mL sampel limbah tempe dimasukkan ke dalam gelas beaker. Kemudian ditambahkan koagulan dengan variasi banyaknya koagulan sebanyak 2,5 gram; 10 gram; dan 20 gram. Setelah itu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 90 menit dan didiamkan selama 1 hari. Kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring. Hasil koagulasi kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer sinar tampak dan dicari nilai COD yang terendah.

4.2.3 Analisis COD dengan Refluks Tertutup secara Spektrofotometri

1. **Pembuatan Digestion Solution**

   Sebanyak 10,216 gram $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan pada suhu 150 ^oC selama 2 jam ditambahkan ke dalam 500 mL air suling. Kemudian ditambahkan 167 mL H_2SO_4 pekat dan 33,3 gram $HgSO_4$. Selanjutnya

dilarutkan dan didinginkan pada suhu ruang, serta diencerkan sampai 1000 mL.

2. Pembuatan Larutan Pereaksi Asam Sulfat

10,12 gram serbuk atau kristal Ag_2SO_4 dilarutkan ke dalam 1000 mL H_2SO_4 pekat. Kemudian diaduk hingga larut.

3. Pembuatan Larutan Induk Kalium Hidrogen Ftalat (KHP)

KHP digerus perlahan, lalu dikeringkan sampai berat konstan pada suhu 110 ^oC. Kemudian 425 mg KHP dilarutkan ke dalam air bebas organik dan ditepatkan sampai 1000 mL.

4. Pembuatan Larutan Kerja

Larutan kerja dibuat dari larutan induk KHP yang diencerkan dengan air suling bebas organik, digunakan untuk membuat kurva kalibrasi dan mempunyai kisaran nilai COD: 0,0 mg/L; 100 mg/L ; 300 mg/L; 500mg/L; 1000mg/L.

5. Proses Digestion

Sejumlah volume contoh uji atau larutan kerja dipipet, ditambahkan *digestion solution* dan ditambahkan larutan pereaksi asam sulfat yang memadai ke dalam tabung atau ampul, seperti yang dinyatakan dalam Tabel 4.1

Tabel 4.1 Contoh uji dan larutan pereaksi untuk berbagai *digestion vessel*

Digestion Vessel	Contoh Uji (mL)	*Digestion Solution* (mL)	Larutan Pereaksi Asam Sulfat (mL)	Total Volume (mL)
Tabung Kultur				
16 x 100 mm	2,50	1,50	3,5	7,5
20 x 150 mm	5,00	3,00	7,0	15,0
25 x 150 mm	10,00	6,00	14,0	30,0
Standar Ampul				
10 mL	2,50	1,50	3,5	7,5

Sumber : Standar Nasional Indonesia 6989.2:2009 Air dan Air Limbah

Kemudian ditutup tabung dan dikocok perlahan sampai homogen. Selanjutnya tabung diletakkan pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150 ^{o}C. Kemudian dilakukan refluks selama 2 jam.

6. Pembuatan Kurva Kalibrasi

Alat uji spektrofotometer dihidupkan dan dioptimalkan sesuai petunjuk penggunaan alat untuk pengujian COD. Panjang gelombangnya diatur pada 600 nm atau 420 nm. Kemudian diukur serapan masing-masing larutan kerja dan dicatat serta diplotkan terhadap kadar COD. Selanjutnya dibuat kurva kalibrasi dari data tersebut dan ditentukan persamaan garis lurusnya.

7. Pengukuran COD Contoh Uji

Contoh uji yang sudah direfluks didinginkan perlahan-lahan sampai suhu ruang untuk mencegah terbentuknya endapan. Saat proses pendinginan, sesekali tutup contoh uji dibuka untuk mencegah adanya tekanan gas. Kemudian suspensi dibiarkan mengendap dan dipastikan bagian yang akan diukur benar-benar jernih. Contoh uji diukur serapannya pada panjang gelombang yang telah ditentukan (600 nm). Kemudian dihitung kadar COD berdasarkan persamaan linier kurva kalibrasi. Analisa dilakukan duplo.

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah cair industri tempe menggunakan metode koagulasi serta untuk membandingkan efektivitas antara koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dengan koagulan campuran polialuminium klorida (PAC) dan tawas dalam menurunkan konsentrasi COD. Tahapan proses yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pembuatan kurva kalibrasi larutan standar KHP, analisis konsentrasi COD pada variasi waktu pengadukan dengan koagulan PAC dan campuran PAC dengan tawas, analisis konsentrasi COD pada variasi banyaknya koagulan dengan koagulan PAC dan campuran PAC dengan tawas, serta perbandingan evektivitas koagulan terbaik antara koagulan PAC dengan koagulan campuran PAC dan tawas. Hasil dari proses koagulasi ini berupa larutan dan kemudian dilakukan analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis *Double Beam* untuk mengetahui konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe tersebut, baik konsentrasi COD sebelum koagulasi maupun konsentrasi COD setelah koagulasi.

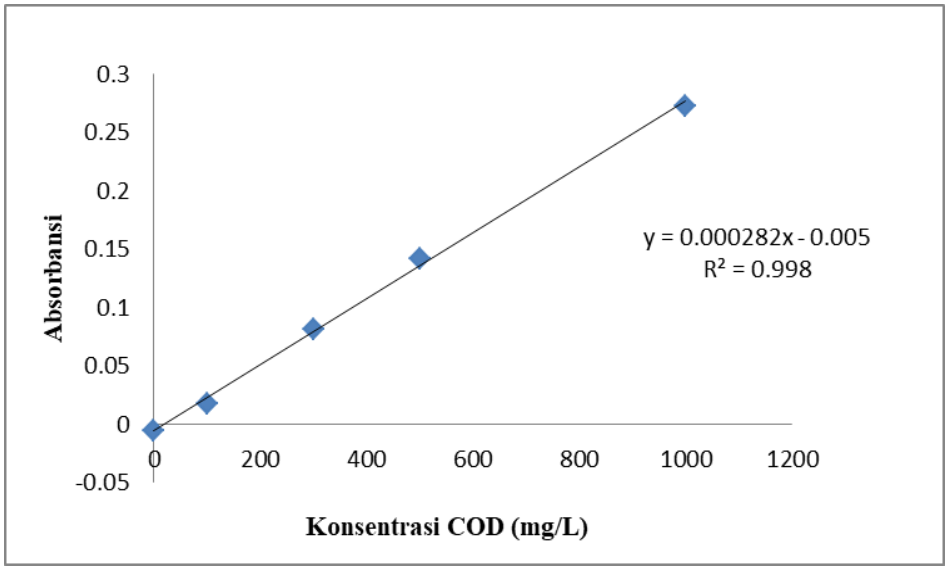
5.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar KHP

Larutan standar KHP yang digunakan dalam pembuatan kurva standar adalah larutan KHP dengan deret konsetrasi 0; 100; 300; 500; 1000 ppm yang diencerkan dari larutan induk KHP 1000 ppm menggunakan rumus pengenceran. Deret larutan standar KHP tersebut kemudian diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Double Beam pada panjang gelombang 600 nm. Untuk panjang gelombang maksimum uji COD dengan Spektrofotometer UV-Vis adalah 600 nm yang berdasarkan pada SNI 06-6989.2-2009. Data hasil pengukuran absorbansi dari larutan standar KHP terhadap konsentrasi larutan standar KHP dapat dilihat pada Tabel 5.1

Tabel 5.1 Data Hasil Pengukuran Absorbansi dari Larutan Standar KHP

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
0	-0,006
100	0,017
300	0,081
500	0,142
1000	0,273

Tabel 5.1 merupakan hasil pengukuran absorbansi dari larutan standar KHP terhadap konsentrasi larutan standar KHP yang diperoleh dari Spektrofotometer UV-Vis *Double Beam*. Dengan adanya data hasil pengukuran ini, dapat dibuat kurva kalibrasi antara konsentrasi larutan standar dengan absorbansi. Kurva kalibrasi larutan standar KHP dapat dilihat pada Gambar 5.1



Gambar 5.1 Kurva Kalibrasi Larutan Standar Kalium Hidrogen Ptalat (KHP)

Gambar 5.1 menunjukkan bahwa absorbansi berbanding lurus dengan nilai konsentrasi. Artinya semakin besar konsentrasi larutan standar, maka semakin besar nilai absorbansinya. Persamaan regresi linear yang diperoleh dari grafik ini adalah y = 0,000282x-0,005 dimana y adalah absorbansi sampel dan koaefisien korelasi dari persamaan tersebut adalah 0,998. Nilai koefisien korelasi tersebut sudah memenuhi SNI 06-6989.2-2009 yaitu nilai R^2 hasil uji linearitas adalah ≥

0,995. Berdasarkan hasil R^2 yang diperoleh, menunjukkan bahwa pembuatan larutan standar dilakukan dengan ketelitian yang baik.

5.2 Hasil Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Koagulan PAC

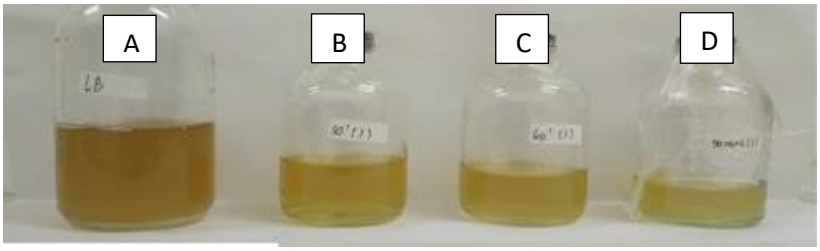
Pada penelitian ini dilakukan metode pengolahan limbah terhadap proses penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe yaitu dengan menggunakan metode koagulasi berdasarkan variasi waktu pengadukan dan variasi banyaknya koagulan. *Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan parameter yang perlu diperhatikan dalam pengolahan limbah terutama limbah cair, karena semakin besar nilai COD yang terdapat dalam limbah cair maka semakin besar pula senyawa organik yang berada didalamnya.

Metode koagulasi dapat menurunkan nilai COD karena sebagian besar partikulat yang berada dalam air limbah telah terikat dan mengendap bersama dengan koagulan sehingga menurunkan jumlah partikel yang berada dalam air limbah. Penurunan COD ini disebabkan flok yang terbentuk oleh ion senyawa organik berikatan dengan ion koagulan yang bersifat positif. Molekul-molekul pada limbah terbentuk menjadi flok, partikel koloid pada limbah bersifat mengikat partikel atau senyawa lain yang ada pada limbah. Dengan menurunnya jumlah partikel, maka oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik juga menurun, sehingga nilai COD setelah koagulasi juga rendah (Eko dan Mg. Catur, 2011).

5.2.1 Pengaruh Variasi Waktu Pengadukan terhadap Hasil Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe

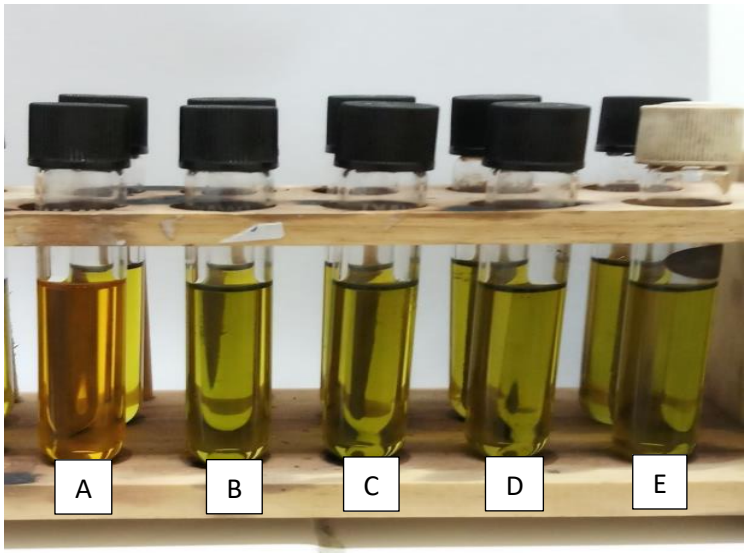
Pengaruh waktu pengadukan terhadap hasil penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe ini dilakukan dengan metode koagulasi menggunakan koagulan polialuminium klorida (PAC). Variasi waktu pengadukan yang digunakan pada penelitian ini yaitu 30, 60 dan 90 menit dengan banyaknya koagulan yang diberikan sebanyak 10 gram. Koagulasi dengan menggunakan berbagai variasi waktu pengadukan ini bertujuan untuk mengetahui waktu pengadukan yang optimum untuk menurunkan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe yang ditunjukkan dengan adanya penurunan absorbansi dan kadar

COD yang didapatkan. Hasil koagulasi limbah cair industri tempe variasi waktu pengadukan dapat dilihat pada Gambar 5.2



Gambar 5.2 Hasil Koagulasi Limbah Cair Industri Tempe Variasi Waktu Pengadukan dengan Berat PAC 10 g (a) sebelum koagulasi, (b) 30 menit, (c) 60 menit dan (d) 90 menit.

Gambar 5.2 merupakan limbah hasil koagulasi menggunakan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dengan variasi waktu pengadukan 30, 60 dan 90 menit yang telah dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring biasa dan dilakukan secara triplo. Penyaringan ini berfungsi untuk menghilangkan sisa-sisa flok yang terbentuk. Sedangkan pengulangan sebanyak tiga kali dimaksudkan agar data yang dihasilkan lebih valid dan untuk memastikan hasil yang didapatkan hampir mendekati. Pada sampel hasil koagulasi ini masih sangat kental, sehingga perlu dilakukan pengenceran 100 kali sebelum dimasukkan ke dalam refluks. Hasil proses refluks COD limbah cair industri tempe variasi waktu pengadukan dapat dilihat pada Gambar 5.3



Gambar 5.3 Hasil Proses Refluks COD Limbah Cair Industri Tempe menggunakan PAC Variasi Waktu Pengadukan (a) Blanko, (b) Sebelum Koagulasi, (c) 30 menit, (d) 60 menit, dan (e) 90 menit.

Gambar 5.3 menunjukkan hasil proses refluks COD limbah cair industri tempe pada variasi waktu pengadukan. Pada hasil refluks menunjukkan warna hijau yang menandakan limbah tempe tersebut mengandung senyawa organik yang sangat tinggi. Dimana senyawa organik dalam sampel akan dioksidasi oleh $Cr_2O_7^{2-}$ membentuk Cr^{3+}. Ion Cr^{3+} kuat mengabsorbsi pada panjang gelombang 600 nm.

Menurut Alaerts dan Santika (2007), sebagian besar zat organik melalui tes COD ini dioksidasi oleh larutan $K_2Cr_2O_7$ dalam keadaan asam yang mendidih. Berikut reaksi yang terjadi:

$$C_aH_bO_c + Cr_2O_7^{2-} + H^+ \longrightarrow CO_2 + H_2O + 2Cr^{3+}$$

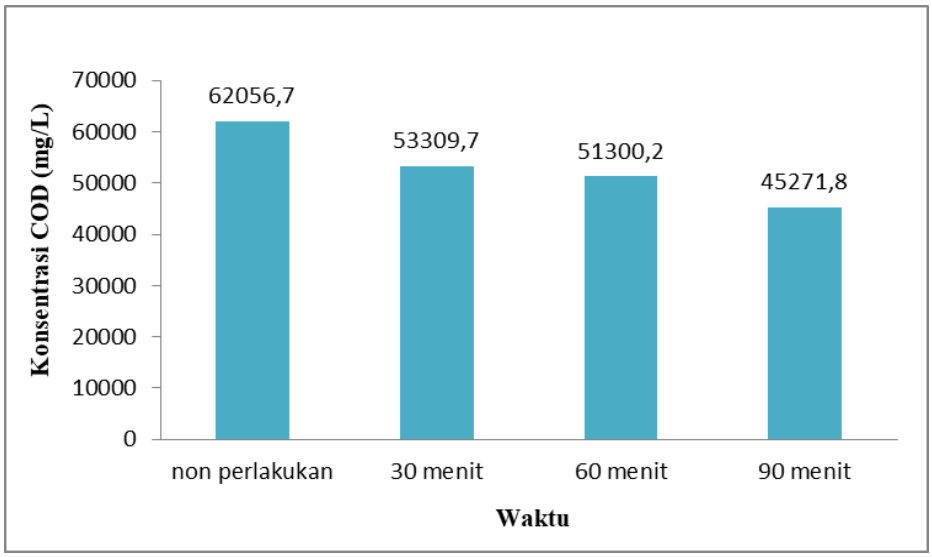
Kuning Hijau

Setelah dilakukan refluks, sampel hasil koagulasi kemudian dianalisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 600 nm. Hasil pengukuran konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometri UV-Vis variasi waktu pengadukan dapat dilihat pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Waktu Pengadukan dengan Banyak Koagulan PAC 10 g

No.	Waktu Pengadukan (menit)	Abs	Faktor Pengenceran	Konsentrasi COD (mg/L)	Rata-rata Konsentrasi COD (mg/L)
1.	Non perlakuan	0,170	100	62056,7	62056,7
2.	30 (1)	0,148	100	54255,3	53309,7
3.	30 (2)	0,131	100	48226,9	
4.	30 (3)	0,157	100	57446,8	
5.	60 (1)	0,131	100	48226,9	51300,2
6.	60 (2)	0,141	100	51773,0	
7.	60 (3)	0,147	100	53900,7	
8.	90 (1)	0,116	100	42907,8	45271,8
9.	90 (2)	0,134	100	49290,7	
10.	90 (3)	0,118	100	43617,0	

Tabel 5.2 menunjukkan hasil pengukuran konsentrasi COD menggunakan spektrofotometer uv-vis variasi waktu pengadukan. Grafik rata-rata hasil pengukuran konsentrasi COD menggunakan spektrofotometer uv-vis variasi waktu pengadukan menggunakan PAC dapat dilihat pada Gambar 5.4

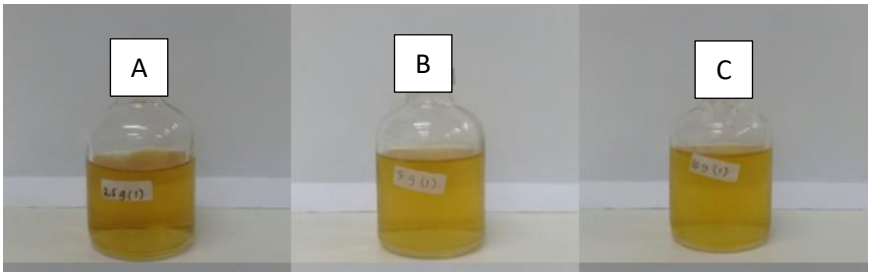


Gambar 5.4 Grafik Rata-rata Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Waktu Pengadukan dengan Banyak Koagulan PAC 10 g

Gambar 5.4 menunjukkan semakin lama waktu pengadukan maka konsentrasi COD semakin turun. Dimana konsentrasi COD sebelum perlakuan sebesar 62056,7 mg/L; pada waktu 30 menit sebesar 53309,7 mg/L penurunan mencapai 14,095%; pada waktu 60 menit sebesar 51300,2 mg/L penurunan mencapai 17,333%; dan pada waktu 90 menit sebesar 45271,8 mg/L penurunan mencapai 27,047%. Lamanya waktu pengadukan yang terjadi pada koagulan dengan senyawa organik yang berada pada sampel maka akan semakin besar dalam pembentukan flokulasi partikel yang bersifat adsorbsi dimana koagulan bermuatan positif akan menyerap ion-ion negatif pada limbah yang mengandung senyawa organik dan membentuk flok yang membantu proses penurunan konsentrasi COD. Pada penelitian ini diperoleh hasil penurunan konsentrasi COD terbaik yaitu pada waktu pengadukan 90 menit dengan banyak koagulan 10 gram. Konsentrasi COD mengalami penurunan sebesar 27,047%, dengan konsentrasi awal COD sebesar 62056,7 mg/L menjadi 45271,8 mg/L.

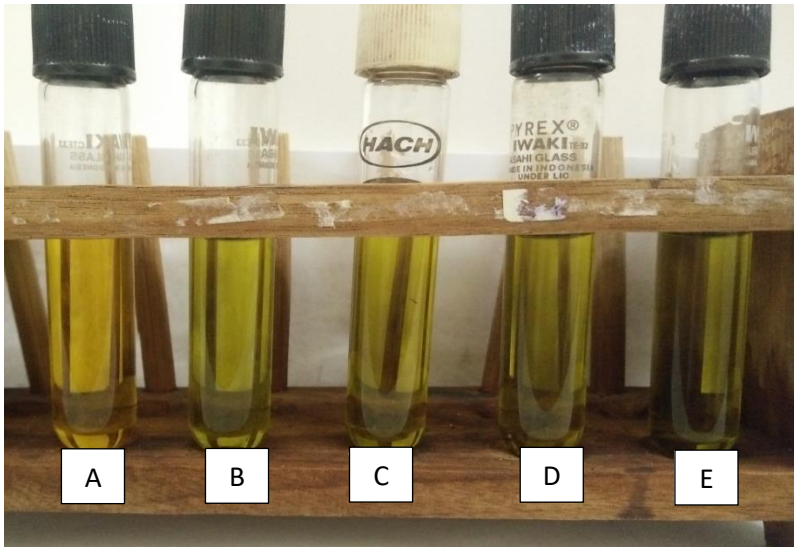
5.2.2 Pengaruh Variasi Banyaknya Koagulan terhadap Hasil Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe

Pengaruh banyaknya koagulan terhadap hasil penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe ini dilakukan dengan metode koagulasi menggunakan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Variasi banyaknya koagulan yang digunakan pada penelitian ini yaitu 2,5; 5; dan 10 g dengan waktu pengadukan 90 menit. Koagulasi dengan menggunakan berbagai variasi banyaknya koagulan ini bertujuan untuk mengetahui banyaknya koagulan yang optimum untuk menurunkan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe yang ditunjukkan dengan adanya penurunan absorbansi dan kadar COD yang didapatkan. Hasil koagulasi limbah cair industri tempe variasi banyaknya koagulan dapat dilihat pada Gambar 5.5



Gambar 5.5 Hasil Koagulasi Limbah Cair Industri Tempe Variasi Banyak Koagulan PAC dengan waktu pengadukan 90 menit (a) 2,5 g; (b) 5 g; dan (c) 10 g.

Gambar 5.5 merupakan limbah hasil koagulasi menggunakan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dengan variasi banyaknya koagulan 2,5; 5; dan 10 g yang telah dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring biasa dan dilakukan secara triplo. Penyaringan ini berfungsi untuk menghilangkan flok yang terbentuk. Sedangkan pengulangan sebanyak tiga kali dimaksudkan agar data yang dihasilkan lebih valid dan untuk memastikan hasil yang didapatkan hampir mendekati. Pada sampel hasil koagulasi ini masih sangat kental, sehingga perlu dilakukan pengenceran 100 kali sebelum dimasukkan ke dalam refluks. Hasil proses refluks COD limbah cair industri tempe variasi waktu pengadukan dapat dilihat pada Gambar 5.6



Gambar 5.6 Hasil Proses Refluks COD Limbah Cair Industri Tempe menggunakan PAC Variasi Banyak Koagulan (a) Blanko, (b) Sebelum Koagulasi, (c) 2,5 g; (d) 5 g; dan (e) 10 g

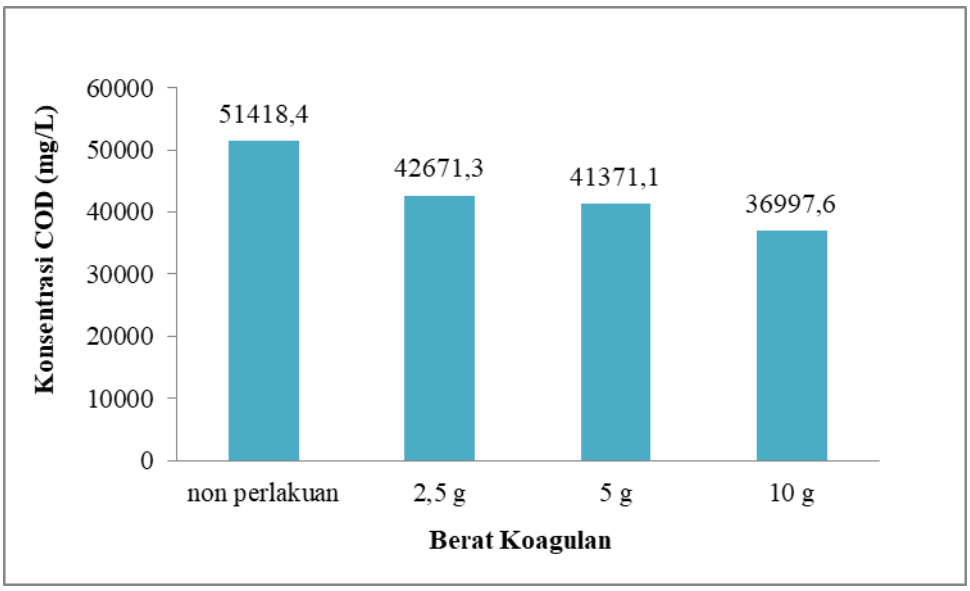
Gambar 5.6 menunjukkan hasil proses refluks COD limbah cair industri tempe pada variasi banyaknya koagulan. Pada hasil refluks menunjukkan warna hijau yang menandakan limbah tempe tersebut mengandung senyawa organik yang sangat tinggi. Dimana senyawa organik dalam sampel akan dioksidasi oleh $Cr_2O_7^{2-}$ membentuk Cr^{3+}. Ion Cr^{3+} kuat mengabsorbsi pada panjang gelombang 600 nm.

Setelah dilakukan refluks, sampel hasil koagulasi kemudian dianalisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 600 nm. Hasil pengukuran konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis variasi banyaknya koagulan dapat dilihat pada Tabel 5.3

Tabel 5.3 Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Banyaknya Koagulan PAC dengan Waktu Pengadukan 90 menit

No.	Banyak Koagulan (gram)	Abs	Faktor Pengenceran	Konsentrasi COD (mg/L)	Rata-rata Konsentrasi COD (mg/L)
1.	Non perlakuan	0,140	100	51418,4	51418,4
2.	2,5 (1)	0,120	100	44326,2	42671,3
3.	2,5 (2)	0,113	100	41843,9	
4.	2,5 (3)	0,113	100	41843,9	
5.	5,0 (1)	0,112	100	41489,3	41371,1
6.	5,0 (2)	0,107	100	39716,3	
7.	5,0 (3)	0,116	100	42907,8	
8.	10,0 (1)	0,098	100	36524,8	36997,6
9.	10,0 (2)	0,096	100	35815,6	
10.	10,0 (3)	0,104	100	38652,4	

Tabel 5.3 menunjukkan hasil pengukuran konsentrasi COD menggunakan spektrofotometer uv-vis variasi banyaknya koagulan. Grafik rata-rata hasil pengukuran konsentrasi COD menggunakan spektrofotometer uv-vis variasi banyaknya koagulan menggunakan PAC dapat dilihat pada Gambar 5.7



Gambar 5.7 Grafik Rata-rata Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Berat Koagulan PAC dengan Waktu Pengadukan 90 menit

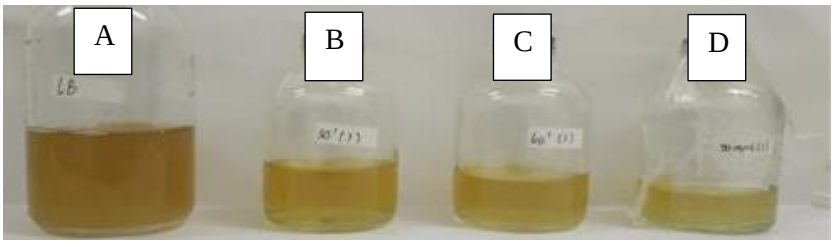
Gambar 5.7 menunjukkan semakin banyak koagulan yang diberikan maka konsentrasi COD semakin turun. Hal ini disebabkan karena semakin banyak partikel koloid dalam limbah yang dinetralkan dengan muatan positif koagulan PAC, sehingga filtrat air menjadi lebih jernih dan konsentrasi COD akan semakin turun. Filtrat air menjadi lebih jernih karena partikel koloid dalam air sebagai penyebab banyaknya zat organik bereaksi dengan muatan positif dari koagulan yang kemudian membentuk flok yang dapat mengendap. Dimana konsentrasi COD sebelum perlakuan sebesar 51418,4 mg/L; pada banyak koagulan 2,5 g sebesar 42671,3 mg/L penurunan mencapai 17,012%; pada banyak koagulan 5 g sebesar 41371,1 mg/L penurunan mencapai 19,540%; dan pada banyak koagulan 10 g sebesar 36997,6 mg/L penurunan mencapai 28,046%. Pada penelitian ini diperoleh hasil penurunan konsentrasi COD terbaik yaitu pada banyak koagulan 10 gram dengan waktu pengadukan 90 menit. Konsentrasi COD mengalami penurunan sebesar 28,046%, dengan konsentrasi awal COD sebesar 51418,4 mg/L menjadi 36997,6 mg/L.

5.3 Hasil Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Koagulan Campuran PAC dan Tawas

Pada penelitian ini dilakukan metode pengolahan limbah terhadap proses penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe yaitu dengan menggunakan metode koagulasi berdasarkan variasi waktu pengadukan dan variasi banyaknya koagulan. *Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan parameter yang perlu diperhatikan dalam pengolahan limbah terutama limbah cair, karena semakin besar nilai COD yang terdapat dalam limbah cair maka semakin besar pula senyawa organik yang berada didalamnya.

5.3.1 Pengaruh Variasi Waktu Pengadukan terhadap Hasil Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe

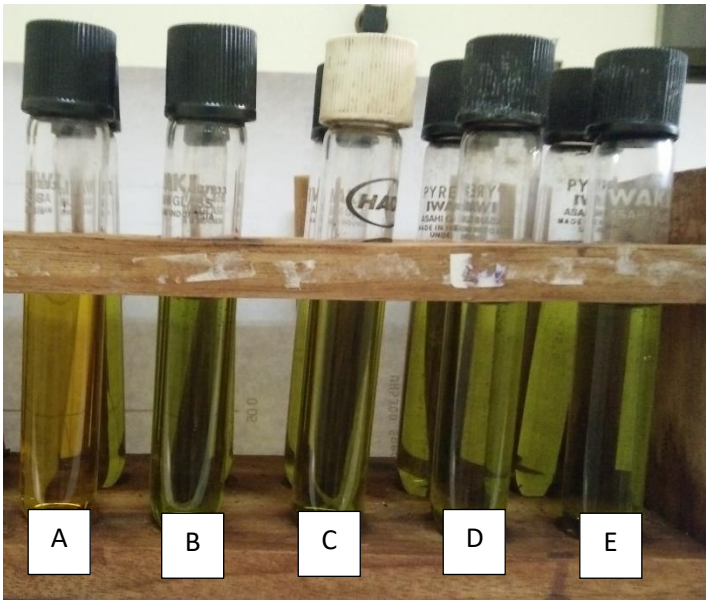
Pengaruh waktu pengadukan terhadap hasil penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe ini dilakukan dengan metode koagulasi menggunakan koagulan campuran *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan tawas. Variasi waktu pengadukan yang digunakan pada penelitian ini yaitu 30, 60 dan 90 menit dengan banyaknya koagulan yang diberikan sebanyak 10 gram. Koagulasi dengan menggunakan berbagai variasi waktu pengadukan ini bertujuan untuk mengetahui waktu pengadukan yang optimum untuk menurunkan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe yang ditunjukkan dengan adanya penurunan absorbansi dan kadar COD yang didapatkan. Hasil koagulasi limbah cair industri tempe variasi waktu pengadukan dapat dilihat pada Gambar 5.8



Gambar 5.8 Hasil Koagulasi Limbah Cair Industri Tempe Variasi Waktu Pengadukan dengan Berat Campuran PAC dan Tawas 10 g (a) sebelum koagulasi, (b) 30 menit, (c) 60 menit dan (d) 90 menit.

Gambar 5.8 merupakan limbah hasil koagulasi menggunakan koagulan campuran PAC dan tawas dengan variasi waktu pengadukan 30 menit, 60 menit, 90 menit dan dilakukan secara triplo. Pada Gambar 5.8 menunjukkan bahwa

terjadi penurunan tingkat kekeruhan warna dari sampel before hingga sampel hasil koagulasi saat waktu pengadukan 90 menit. Dimana perubahan warna yang terjadi yaitu perubahan dari kuning keruh menjadi kuning jernih. Sampel hasil koagulasi masih sangat kental, sehingga perlu dilakukan pengenceran 100 kali sebelum sampel hasil koagulasi ini dimasukkan ke dalam refluks. Hasil proses refluks COD limbah cair industri tempe variasi waktu pengadukan dengan campuran PAC dan Tawas dapat dilihat pada Gambar 5.9



Gambar 5.9 Hasil Proses Refluks COD Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Campuran PAC dan Tawas Variasi Waktu Pengadukan (a) Blanko, (b) Sebelum Koagulasi, (c) 30 menit, (d) 60 menit, dan (e) 90 menit

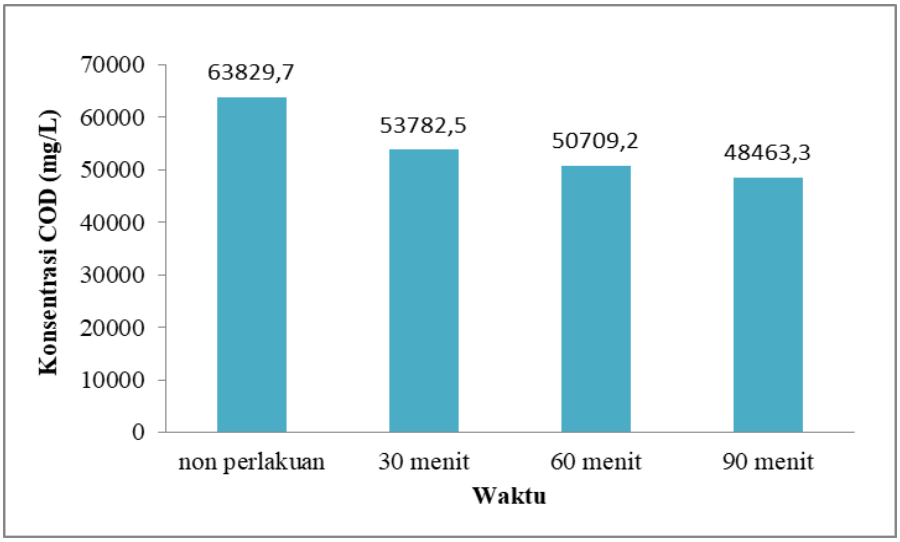
Gambar 5.9 menunjukkan hasil proses refluks COD limbah cair industri tempe pada variasi waktu pengadukan dengan campuran PAC dan tawas. Dimana senyawa organik dalam sampel akan dioksidasi oleh $Cr_2O_7^{2-}$ membentuk Cr^{3+}. Ion Cr^{3+} kuat mengabsorbsi pada panjang gelombang 600 nm.

Setelah dilakukan refluks, sampel hasil koagulasi kemudian dianalisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 600 nm. Hasil pengukuran konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis variasi banyaknya koagulan dapat dilihat pada Tabel 5.4

Tabel 5.4 Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Waktu Pengadukan dengan Koagulan Campuran PAC dan Tawas 10 g

No.	Waktu Pengadukan (menit)	Abs	Faktor Pengenceran	Konsentrasi COD (mg/L)	Rata-rata Konsentrasi COD (mg/L)
1.	Non perlakuan	0,175	100	63829,7	63829,7
2.	30 (1)	0,152	100	55673,7	53782,5
3.	30 (2)	0,151	100	55319,1	
4.	30 (3)	0,137	100	50354,6	
5.	60 (1)	0,143	100	52482,2	50709,2
6.	60 (2)	0,141	100	51773,0	
7.	60 (3)	0,130	100	47872,3	
8.	90 (1)	0,129	100	47517,7	48463,3
9.	90 (2)	0,138	100	50709,2	
10.	90 (3)	0,128	100	47163,1	

Tabel 5.4 menunjukkan hasil pengukuran konsentrasi COD menggunakan spektrofotometer uv-vis variasi waktu pengadukan. Grafik rata-rata hasil pengukuran konsentrasi COD menggunakan spektrofotometer uv-vis variasi waktu pengadukan dapat dilihat pada Gambar 5.10



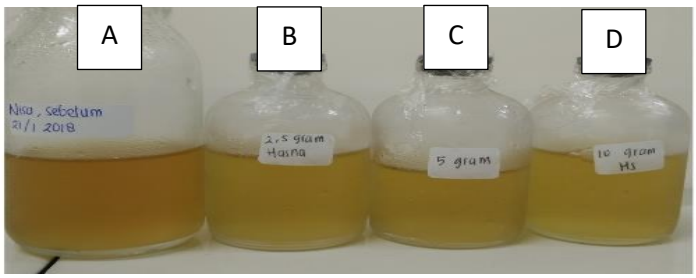
Gambar 5.10 Grafik Rata-rata Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Waktu Pengadukan dengan Koagulan Campuran PAC dan Tawas 10 g

Gambar 5.10 menunjukkan semakin lama waktu pengadukan maka konsentrasi COD semakin turun. Dimana konsentrasi COD sebelum perlakuan sebesar 63829,7 mg/L; pada waktu 30 menit sebesar 53782,5 mg/L penurunan mencapai 15,741%; pada waktu 60 menit sebesar 50709.2 mg/L penurunan mencapai 20,556%; dan pada waktu 90 menit sebesar 48463,3 mg/L penurunan mencapai 24,074%. Lamanya waktu pengadukan yang terjadi pada koagulan dengan senyawa organik yang berada pada sampel maka akan semakin besar dalam pembentukan flokulasi partikel yang bersifat adsorbsi dimana koagulan bermuatan positif akan menyerap ion-ion negatif pada limbah yang mengandung senyawa organik dan membentuk flok yang membantu proses penurunan konsentrasi COD. Pada penelitian ini diperoleh hasil penurunan konsentrasi COD terbaik yaitu pada waktu pengadukan 90 menit dengan banyak koagulan 10 gram. Konsentrasi COD mengalami penurunan sebesar 24,074%, dengan konsentrasi awal COD sebesar 63829,7 mg/L menjadi 48463,3 mg/L.

5.3.2 Pengaruh Variasi Banyaknya Koagulan terhadap Hasil Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Cair Industri Tempe

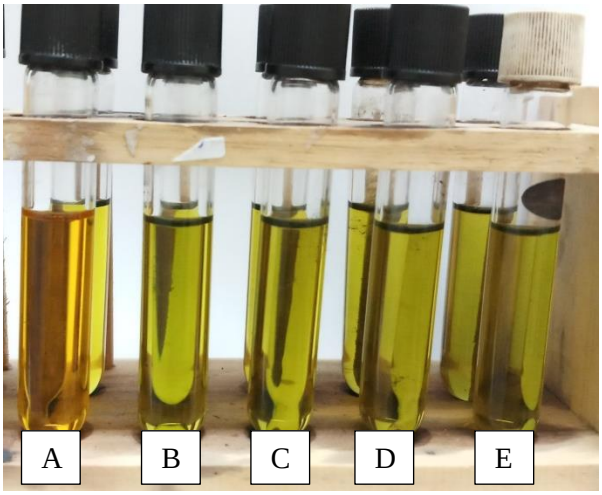
Pengaruh banyaknya koagulan terhadap hasil penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe ini dilakukan dengan metode koagulasi menggunakan koagulan campuran *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan tawas.

Variasi banyaknya koagulan yang digunakan pada penelitian ini yaitu 2,5; 5; dan 10 g dengan waktu pengadukan 90 menit. Koagulasi dengan menggunakan berbagai variasi banyaknya koagulan ini bertujuan untuk mengetahui banyaknya koagulan yang optimum untuk menurunkan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe yang ditunjukkan dengan adanya penurunan absorbansi dan kadar COD yang didapatkan. Hasil koagulasi limbah cair industri tempe variasi banyaknya koagulan dapat dilihat pada Gambar 5.11



Gambar 5.11 Hasil Koagulasi Limbah Cair Industri Tempe Variasi Banyak Koagulan Campuran PAC dan Tawas dengan waktu pengadukan 90 menit (a) Sebelum Koagulasi; (b) 2,5 g; (c) 5 g; dan (d) 10 g.

Gambar 5.11 merupakan limbah hasil koagulasi menggunakan koagulan campuran PAC dan tawas dengan variasi banyaknya koagulan 2,5 g; 5 g; 10 g dan dilakukan secara triplo. Pada Gambar 5.11 menunjukkan bahwa terjadi penurunan tingkat kekeruhan warna dari sampel before hingga sampel hasil koagulasi saat waktu pengadukan 90 menit. Dimana perubahan warna yang terjadi yaitu perubahan dari kuning keruh menjadi kuning jernih. Sampel hasil koagulasi masih sangat kental, sehingga perlu dilakukan pengenceran 100 kali sebelum sampel hasil koagulasi ini dimasukkan ke dalam refluks. Hasil proses refluks COD limbah cair industri tempe variasi banyak koagulan dapat dilihat pada Gambar 5.12



Gambar 5.12 Hasil Proses Refluks COD Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Campuran PAC dan Tawas Variasi Banyak Koagulan (a) Blanko, (b) Sebelum Koagulasi, (c) 2,5 g; (d) 5 g; dan (e) 10 g

Gambar 5.12 menunjukkan hasil proses refluks COD limbah cair industri tempe pada variasi waktu pengadukan dengan campuran PAC dan tawas. Dimana senyawa organik dalam sampel akan dioksidasi oleh $Cr_2O_7^{2-}$ membentuk Cr^{3+}. Ion Cr^{3+} kuat mengabsorbsi pada panjang gelombang 600 nm.

Setelah dilakukan refluks, sampel hasil koagulasi kemudian dianalisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 600 nm. Hasil pengukuran konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis variasi banyaknya koagulan dapat dilihat pada Tabel 5.5

Tabel 5.5 Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Banyak Koagulan Campuran PAC danTawas dengan Waktu Pengadukan 90 menit

No.	Banyak Koagulan (gram)	Abs	Faktor Pengenceran	Konsentrasi COD (mg/L)	Rata-rata Konsentrasi COD (mg/L)
1.	Non perlakuan	0,162	100	59219,8	59219,8
2.	2,5 (1)	0,131	100	48226,9	44799,0
3.	2,5 (2)	0,125	100	46099,2	
4.	2,5 (3)	0,108	100	40070,9	
5.	5,0 (1)	0,072	100	27304,9	37825,0
6.	5,0 (2)	0,141	100	51773,0	
7.	5,0 (3)	0,092	100	34397,1	
8.	10,0 (1)	0,064	100	24468,0	29432,6
9.	10,0 (2)	0,087	100	32624,1	
10.	10,0 (3)	0,083	100	31205,6	

Tabel 5.5 menunjukkan hasil pengukuran konsentrasi COD menggunakan spektrofotometer uv-vis variasi banyak koagulan. Menurut Sianita dan Nurchayati (2006) mengatakan bahwa ion Al^{3+} dalam larutan koagulan terhidrasi bergantung pada pH hidrolisis. Senyawa yang terbentuk bermuatan positif dan dapat bereaksi dengan zat pencemar seperti koloid. Reaksinya:

$[Al(H_2O)_6]^{3+} \longrightarrow [Al(H_2O)_5OH]^{2+} + H^+$ (1)

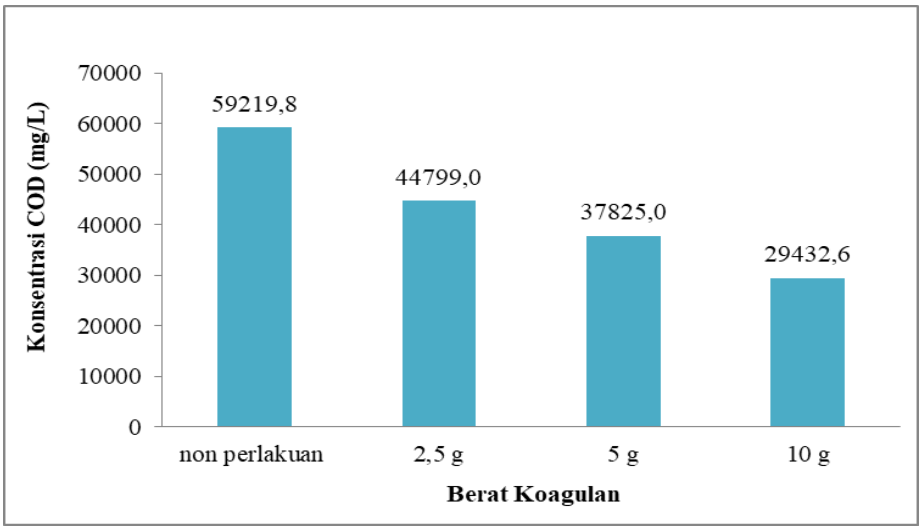
$[Al(H_2O)_5OH]^{2+} \longrightarrow [Al(H_2O)_4(OH)_2]^{+} + H^+$ (2)

$[Al(H_2O)_4(OH)_2]^{+} \longrightarrow [Al(H_2O)_3(OH)_3] + H^+$ endapan (3)

$[Al(H_2O)_3(OH)_3] \longrightarrow [Al(H_2O)_2(OH)_4]^{-} + H^+$ terlarut (4)

Pada tahap pertama terbentuk senyawa dengan 5 molekul air dan 1 gugus hidroksil yang muatan totalnya akan turun dari +3 menjadi +2 (persamaan 1). Jika pH didalam larutan terus naik hingga mencapai 5, maka akan terjadi reaksi tahap kedua dimana terbentuk senyawa yang mempunyai 4 molekul air dan 2 gugus hidroksil (persamaan 2). Larutan dengan pH > 6 akan membentuk senyawa logam netral $Al(OH)_3$ yang tidak larut, mempunyai volume yang besar dan dapat mengendap sebagai flok (persamaan 3). Pada pH > 7,8 akan terbentuk

$[Al(H_2O)_2(OH)_4]^-$ atau hanya $Al(OH)_4$ yakni senyawa bermuatan negatif dan larut dalam air (persamaan 4). Untuk itu pada proses koagulasi, pH larutan harus dikontrol agar kerja koagulan optimum sehingga dapat mengendapkan zat pencemar yang ingin dihilangkan. Grafik rata-rata hasil pengukuran konsentrasi COD menggunakan spektrofotometer uv-vis variasi banyak koagulan dapat dilihat pada Gambar 5.13

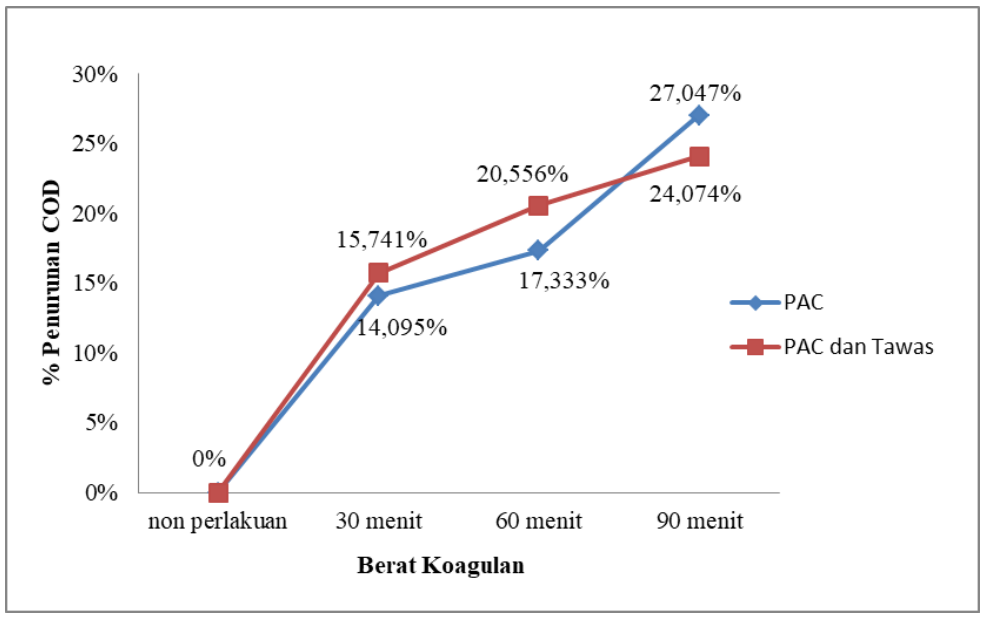


Gambar 5.13 Grafik Rata-rata Hasil Pengukuran Konsentrasi COD menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Variasi Banyak Koagulan Campuran PAC dan Tawas dengan Waktu Pengadukan 90 menit

Gambar 5.13 menunjukkan semakin banyak koagulan yang diberikan maka konsentrasi COD semakin turun. Hal ini disebabkan karena penambahan koagulan merupakan penambahan kation untuk menetralisasi muatan negatif partikel koloid dalam air sehingga terjadi gaya Van der Waals, sehingga partikel koloid terflokulasi. Dimana konsentrasi COD sebelum perlakuan sebesar 59219,8 mg/L; pada banyak koagulan 2,5 g sebesar 44799,0 mg/L penurunan mencapai 24,351%; pada banyak koagulan 5 g sebesar 37825,0 mg/L penurunan mencapai 36,128%; dan pada banyak koagulan 10 g sebesar 29432,6 mg/L penurunan mencapai 50,299%. Pada penelitian ini diperoleh hasil penurunan konsentrasi COD terbaik yaitu pada banyak koagulan 10 gram dengan waktu pengadukan 90 menit. Konsentrasi COD mengalami penurunan sebesar 50,299%, dengan konsentrasi awal COD sebesar 59219,8 mg/L menjadi 29432,6 mg/L.

5.4 Perbandingan Evektivitas Koagulan Terbaik antara Koagulan PAC dengan Koagulan Campuran PAC dan Tawas

Pada penelitian ini dilakukan metode pengolahan limbah terhadap proses penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe yaitu dengan menggunakan metode koagulasi berdasarkan variasi waktu pengadukan dan variasi banyaknya koagulan. Perbandingan efektifitas koagulan terbaik ini bertujuan untuk mengetahui koagulan mana yang paling efektif untuk menurunkan konsentrasi COD. Grafik perbandingan koagulan PAC dengan koagulan campuran PAC dan tawas pada variasi waktu pengadukan dapat dilihat pada Gambar 5.14



Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Koagulan PAC dengan Koagulan campuran PAC dan tawas pada variasi waktu pengadukan dengan berat koagulan 10 g

Gambar 5.14 menunjukkan bahwa koagulan yang paling efektif untuk menurunkan kadar COD yaitu pada koagulan campuran PAC dan tawas. Namun pada saat waktu pengadukan 90 menit, % penurunan COD menurun dibanding dengan koagulan PAC. Hal ini disebabkan karena tidak adanya pengecekkan pH sehingga kerja koagulan kurang optimum selain itu juga bisa disebabkan karena perbedaan kecepatan pengadukan sehingga hasil penurunan COD kurang signifikan.

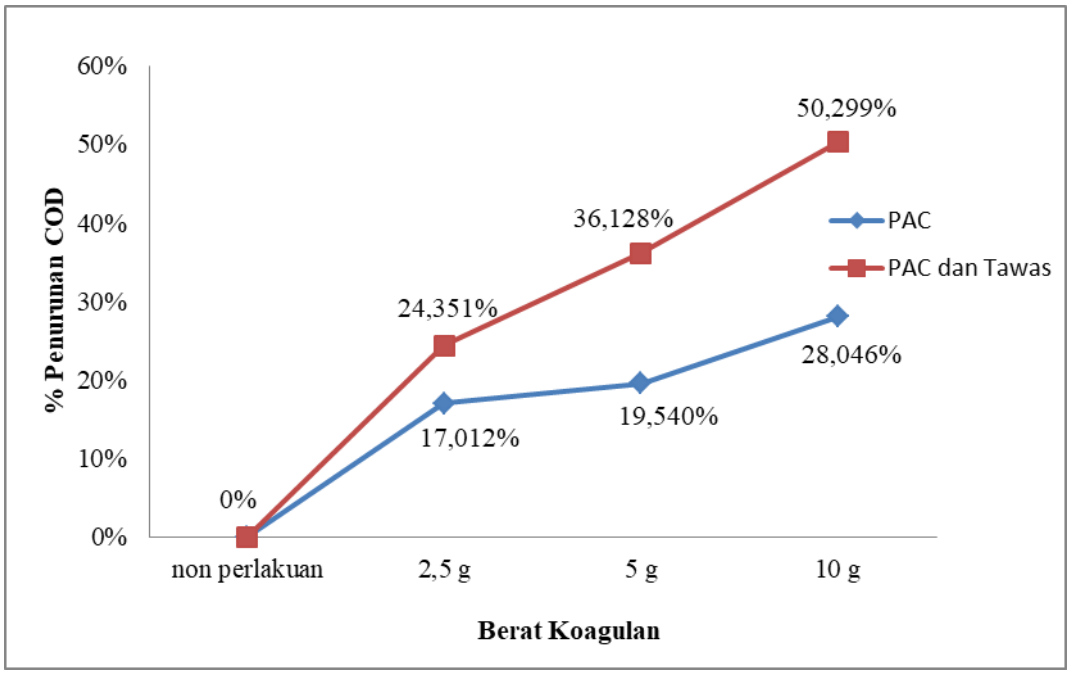
Menurut Murray (1999) penggunaan koagulan aluminium sulfat menyebabkan pelepasan sebuah ion hidrogen untuk tiap gugus hidrogen yang dihasilkan. Ion hidrogen yang dihasilkan ini menyebabkan penurunan pH yang cukup tajam, sehingga air yang diolah menjadi lebih asam. Hal ini dapat dilihat dari reaksi sebagai berikut:

Aluminium Sulfat:

$$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \longrightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2SO_4$$

$$3H_2SO_4 \longrightarrow 6H^+ + 3SO_4^{2-}$$

Dari reaksi diatas dapat dilihat bahwa pada reaksi hidrolisis, aluminium sulfat dalam air melepas ion H^+ sebanyak $6H^+$. Sedangkan pada reaksi hidrolisis PAC hanya dilepaskan 3 buah ion H^+. Hal ini akan menyebabkan pH air yang menggunakan aluminium sulfat akan bersifat lebih asam daripada yang menggunakan koagulan PAC. Grafik perbandingan koagulan PAC dengan koagulan campuran PAC dan tawas pada variasi banyaknya koagulan dapat dilihat pada Gambar 5.15



Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Koagulan PAC dengan Koagulan Campuran PAC dan Tawas pada Variasi Banyaknya Koagulan dengan Waktu Pengadukan 90 menit

Gambar 5.15 menunjukkan bahwa koagulan yang paling efektif untuk menurunkan kadar COD yaitu pada koagulan campuran PAC dan tawas dimana hasil penurunan yang paling optimum terdapat pada banyak koagulan 10 gram dengan penurunan 50,299%. Kecepatan pengadukan membantu proses koagulasi dimana koagulasi akan terdistribusi secara merata kedalam air dengan cepat. Hal ini memudahkan muatan positif koagulan berikatan dengan muatan negatif yang terdapat pada partikel koloid. Akibatnya kestabilan partikel koloid menjadi terganggu (destabilisasi partikel koloid). Destabilisasi partikel koloid dapat terjadi bila terdapat energi kinetik yang cukup. Energi kinetik inilah yang diperoleh dari pengadukan. Tingginya kecepatan pengadukan dapat menyebabnya terpecahnya flok-flok yang telah terbentuk (Nurlina dkk, 2015).

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengolahan limbah cair industri tempe untuk menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dengan metode koagulasi menggunakan koagulan PAC dan aluminium sulfat dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Banyaknya koagulan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh dalam kooagulasi, bahwa semakin banyak koagulan yang diberikan maka semakin kecil konsentrasi COD dan semakin besar % penurunan konsentrasi COD. Banyak koagulan terbaik yang diperlukan untuk menurunkan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe dengan metode koagulasi menggunakan koagulan PAC dan campuran PAC dan tawas yaitu sebanyak 10 g dengan penurunan konsentrasi COD sebesar 28,046% dan 50,299%.
2. Waktu pengadukan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh dalam koagulasi, bahwa semakin besar waktu pengadukan yang digunakan maka semakin kecil konsentrasi COD dan semakin besar % penurunan konsentrasi COD. Waktu pengadukan terbaik yang diperlukan untuk menurunkan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe dengan metode koagulasi menggunakan koagulan PAC dan campuran PAC dengan tawas yaitu sebesar 90 menit dengan penurunan konsentrasi COD sebesar 27,047% dan 24,074%.
3. Keefektifan koagulan yang optimum dalam menurunkan konsentrasi COD yaitu pada koagulan campuran PAC dan tawas. Pada variasi waktu pengadukan terbaik yaitu selama 90 menit dengan penurunan konsentrasi COD sebesar 24,074%. Sedangkan untuk variasi banyaknya koagulan terbaik yaitu sebanyak 10 gram dengan penurunan konsentrasi COD sebesar 50,299%.

6.2 Saran

Berdasarkan pengamatan dan pengalaman selama melakukan penelitian terdapatbeberapa saran yang dapat dipertimbangkan yaitu:

1. Diharapkan melakukan penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe dengan metode koagulasi menggunakan koagulan selain PAC dan aluminium sulfat yang mampu meningkatkan penurunan konsentrasi COD secara lebih cepat.
2. Diharapkan pengolahan tambahan untuk mengurangi konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe agar bisa menurunkan konsentrasi COD hingga dibawah baku mutu.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh pH terhadap penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri tempe dengan metode koagulasi agar hasilnya lebih optimum.

DAFTAR PUSTAKA

Alaerts, G dan Santika, S. 2007. *Metode Penelitian Air*. Usaha Nasional. Surabaya.

Amir Rizal dan James Nobelia Isnaniawardhana. 2010. *Penentuan Dosis Optimum Aluminium Sulfat dalam Pengolahan Air Sungai Cileueur Kota Ciamis dan Pemanfaatan Resirkulasi Lumpur dengan Parameter pH, Warna, Kekeruhan dan TSS*. Program Studi Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Anna, F. R., Dadan, S., Nyoman, S. 2017. Pengolahan Air Limbah Tekstil Melalui Proses Koagulasi-Flokulasi dengan Menggunakan Lempung Sebagai Penyumbang Partikel Tersuspensi. *Jurnal Penelitian Geoteknologi LIPI*. Vol. 31. No. 2. Maret 2017. 105-114.

Asmadi dan Suharno. 2012. *Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah*. Gosyen Publishing. Pontianak.

Astuti, D dan Darnoto, S. 2009. Pengaruh Penambahan Poly Aluminium Chloride (PAC) terhadap tingkat kekeruhan, Warna dan Total Suspended Solid (TSS) pada Leachate (air lindi) di TPAS Putri Cempo Mojosongo Surakarta. *Jurnal Kesehatan*. ISSN 1979-7621. Vol. 2. No. 2. Desember 2009. 179-184.

BSN. 2009. SNI 6989.2:2009. *Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan Refluks Tertutup secara Spektrofotometri* . Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

Day, R.A., dan Underwood, A.L. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Edisi Keenam. Erlangga. Jakarta.

Effendy H. 2003. *Telaah Kualitas Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Cetakan Kelima. Kanisius. Yogyakarta.

Eko, H dan Catur Yuantari, MG. 2011. Pengolahan Air Limbah Laboratorium dengan Menggunakan Koagulan Alum Sulfat dan Poly Aluminium Chloride di Laboratorium Kesehatan Universitas Dian Nuswantoro Semarang. Universitas Dian Nuswantoro. Semarang. *Jurnal Kesehatan*. Vol. 11. No. 2. Mei 2011. 150-159.

Elleuch, R.S., Hammemi, I., Khannous, L., Nasri, M., Gharsallah, N. 2014. Wastewater Treatment of Bottle Oil Washing Water (BOWW) by Hybrid Coagulation-Flocculation and Biological Process. *Tribol*. Int. 37, 327-332.

Hudha, M. I., Jimmy, dan Muyassaroh. 2014. Studi Penurunan COD dan TSS Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Proses Elektrokimia. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*. Surabaya.

Indriyati dan Susanto Prayitno. 2009. Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kecap Secara Koagulasi dan Flokulasi. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol. 3. No. 10. November 2009. 265-270.

Ismayanda M. Husin. 2011. Produksi Aluminium Sulfat dari Koalin dan Asam Sulfat dalam Reaktor Berpengaduk Menggunakan Proses Kering. Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Banda Aceh. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. ISSN 1412-5064. Vol. 8. No. 1. Maret 2011. 47-52.

Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2009. *Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta.

Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.

Kiely, G. 1997. *Environmental Engimeering*. The McGraww-Hill Companies. London.

Lilis, Hartono. 2006. *Pengolahan Limbah Industri Pembersih Rumah Tangga Secara Koagulasi*. Skripsi S1 Kimia Program Sarjana. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia.

Manurung, J. 2009. *Studi Efek Jenis dan Berat Koagulan terhadap Penurunan Nilai COD dan BOD pada Pengolahan Air Limbah dengan Cara Koagulasi*. Skripsi Ilmiah. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatera Utara. Medan.

Murray. 1999. *Biokim Haper*. Edisi ke-24. Buku Kedokteran EGC. Jakarta

Ngamlerdpokin, K., Kumjadpai, S., Chatanon, P., Tungmanee, U., Chuenchuanchom, S., Jaruwat, P., Lertsathitphongs, P., Hunsom, M. 2011. *Remediation of Biodiesel Wastewater by Chemical and Electro Coagulation: A Comparative Study*. J. Environ. Manage. 92, 2454-2460.

Noviani, H. 2012. *Analisis Penggunaan Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) dan Kitosan pada Proses Penjernihan Air di PDAM Tirta Pakuan*. Bogor.

Nurhasan dan B. Pramudyanto.1987. *Pengolahan Air Buangan Industri.* Tahu.Yayasan Bina Lestari dan WALHI. Semarang.

Pemerintah Republik Indonesia. 2001. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Jakarta.

Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah. *Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5. 2012 Perubahan Atas Peraturan Daerah Provinsi Jawa*

Tengah Nomor 10 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah Untuk Kegiatan Industri. Jawa Tengah. Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah.

Said, Muhammad. 2009. Pengolahan Air Limbah Laboratorium dengan Menggunakan Koagulan Alum Sulfat dan Poli Aluminium Klorida (PAC). Jurusan Kimia FMIPA. Universitas Sriwijaya. Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains.* Vol. 9. No. 12. Desember 2009. 1-8.

Sugiharto. 2007. *Dasar-Dasar Pengolahan Limbah*. Universitas Indonesia. Jakarta.

Suharto. 2011. *Limbah Kimia dalam Pencemaran Air dan Udara*. CV. Andi Offset. Yogyakarta.

Suriawiria, Unus. 1996. *Air dalam Kehidupan dan Lingkungan yang Sehat*. Penerbit Alumni. Bandung.

Suryadiputra, P. 1995. *Lingkungan Hidup Permasalahan dan Pengelolaannya*. Universitas Udayana. Denpasar.

Suryadiputra. 1995. *Koagulasi dan Flokulasi*. Gramedia. Jakarta.

Sutapa D. A. I. 1999. *Lumpur Aktif : Alternatif Pengolah Limbah Cair. Jurnal Studi Pembangunan, Kemasyarakatan & Lingkungan*. No.3. 25-38. Peneliti Puslitbang Limnologi-LIPI. Cibinong.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Pembuatan Larutan H_2SO_4 20%

M_1 x V_1 = M_2 x V_2

97% x V_1 = 20% x 50 mL

$V_1 = \frac{1000}{97} = 10{,}3$ mL

Keterangan:

M_1: Kadar asam H_2SO_4 pekat

V_1: Volume asam H_2SO_4 pekat yang dibutuhkan

M_2: Kadar asam H_2SO_4

V_2: Volume asam H_2SO_4 20%

Lampiran 2. Perhitungan Pembuatan Larutan Larutan Standar KHP 0 ppm, 100 ppm, 300 ppm ,500 ppm , 1000 ppm dari 1000 ppm

1. Larutan Standar KHP 0 ppm

M_1 x V_1 = M_2 x V_2

1000 ppm x V_1 = 0 ppm x 100 mL

$V_1 = \frac{0}{1000}$ = 0 mL

Keterangan:

M_1: Konsentrasi larutan standar KHP 1000 ppm

V_1 : Volume larutan standar KHP 1000 ppm yang dibutuhkan

M_2: Konsentrasi larutan standar KHP 0 ppm

V_2 : Volume larutan standar KHP 0 ppm

2. Larutan Standar KHP 100 ppm

M_1 x V_1 = M_2 x V_2

1000 ppm x V_1 = 100 ppm x 100 mL

$V_1 = \frac{10000}{1000}$ = 10 mL

Keterangan:

M_1: Konsentrasi larutan standar KHP 1000 ppm

V_1 : Volume larutan standar KHP 1000 ppm yang dibutuhkan

M_2: Konsentrasi larutan standar KHP 100 ppm

V_2 : Volume larutan standar KHP 100 ppm

3. Larutan Standar KHP 300 ppm

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

1000 ppm x V_1 = 300 ppm x 100 mL

$V_1 = \frac{30000}{1000}$ = 30 mL

Keterangan:

M_1: Konsentrasi larutan standar KHP 1000 ppm

V_1 : Volume larutan standar KHP 1000 ppm yang dibutuhkan

M_2: Konsentrasi larutan standar KHP 300 ppm.

V_2 : Volume larutan standar KHP 300 ppm.

4. Larutan Standar KHP 500 ppm

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

1000 ppm x V_1 = 500 ppm x 100 mL

$V_1 = \frac{50000}{1000}$ = 50 mL

Keterangan:

M_1: Konsentrasi larutan standar KHP 1000 ppm.

V_1 : Volume larutan standar KHP 1000 ppm yang dibutuhkan.

M_2: Konsentrasi larutan standar KHP 500 ppm.

V_2 : Volume larutan standar KHP 500 ppm.

5. Larutan Standar KHP 1000 ppm

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

1000 ppm x V_1 = 1000 ppm x 100 mL

$V_1 = \frac{100000}{1000}$ = 100 mL

Keterangan:

M_1: Konsentrasi larutan standar KHP 1000 ppm.

V_1 : Volume larutan standar KHP 1000 ppm yang dibutuhkan.

M_2: Konsentrasi larutan standar KHP 0 ppm.

V_2 : Volume larutan standar KHP 0 ppm.

Lampiran 2. Penentuan Kadar COD dalam Sampel Limbah Tempe Menggunakan Koagulan PAC pada Pengaruh Waktu Pengadukan

1. **Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Sebelum Perlakuan**

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$0{,}170 = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$x = \frac{0{,}170 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$$x = 620{,}567 \text{ ppm} \times 100(fp) = 62056{,}7 \text{ ppm}$$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{62056{,}7\ ppm}{62056{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 0\%$$

2. **Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 30 menit**

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$0{,}148 = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$x = \frac{0{,}148 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$$x = 542{,}553\ ppm \times 100(fp) = 54255{,}3\ ppm$$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{54255{,}3\ ppm}{62056{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 12{,}571\%$$

3. **Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 60 menit**

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$0{,}131 = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$x = \frac{0{,}131 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$$x = 482{,}269\ ppm \times 100(fp) = 48226{,}9\ ppm$$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{48226{,}9\ ppm}{62056{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 22{,}285\%$$

4. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 90 menit

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}116 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$$x = \frac{0{,}116 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$x = 429{,}078\ ppm \times 100(fp) = 42907{,}8\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{42907{,}8\ ppm}{62056{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 30{,}857\%$$

5. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 30 menit

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}131 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$$x = \frac{0{,}131 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$x = 482{,}269\ ppm \times 100(fp) = 48226{,}9\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{48226{,}9\ ppm}{62056{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 22{,}285\%$$

6. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 60 menit

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}141 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$$x = \frac{0{,}141 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$x = 517{,}730\ ppm \times 100(fp) = 51773{,}0\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$
$$= 100\% - \left(\frac{51773{,}0\ ppm}{62056{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$
$$= 16{,}571\%$$

7. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 90 menit

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$0{,}134 = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$x = \frac{0{,}134 + 0{,}005}{0{,}000282}$$
$$x = 492{,}907\ ppm \times 100(fp) = 49290{,}7\ ppm$$
$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$
$$= 100\% - \left(\frac{49290{,}7\ ppm}{62056{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$
$$= 20{,}571\%$$

8. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 30 menit

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$0{,}157 = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$x = \frac{0{,}157 + 0{,}005}{0{,}000282}$$
$$x = 574{,}468\ ppm \times 100(fp) = 57446{,}8\ ppm$$
$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$
$$= 100\% - \left(\frac{57446{,}8\ ppm}{62056{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$
$$= 7{,}428\%$$

9. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 60 menit

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$0{,}147 = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$x = \frac{0{,}147 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$$x = 539{,}007\ ppm \times 100(fp) = 53900{,}7\ ppm$$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{53900{,}7\ ppm}{62056{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 13{,}142\%$$

10. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 90 menit

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$0{,}118 = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$x = \frac{0{,}118 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$$x = 436{,}170\ ppm \times 100(fp) = 43617{,}0\ ppm$$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{43617{,}0\ ppm}{62056{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 29{,}714\%$$

Lampiran 3. Penentuan Kadar COD dalam Sampel Limbah Tempe Menggunakan Koagulan Campuran PAC dan Tawas pada Pengaruh Waktu Pengadukan

1. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Sebelum Perlakuan

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$0{,}175 = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$x = \frac{0{,}175 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$$x = 638{,}297\ ppm \times 100(fp) = 63829{,}7\ ppm$$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{63829{,}7\ ppm}{63829{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 0\%$$

2. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 30 menit

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}152 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$x = \frac{0{,}152 + 0{,}005}{0{,}000282}$

$x = 556{,}737\ ppm \times 100(fp) = 55673{,}7\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$
$$= 100\% - \left(\frac{55673{,}7\ ppm}{63829{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$
$$= 12{,}778\%$$

3. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 60 menit

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}143 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$x = \frac{0{,}143 + 0{,}005}{0{,}000282}$

$x = 524{,}822\ ppm \times 100(fp) = 52482{,}2\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$
$$= 100\% - \left(\frac{52482{,}2\ ppm}{63829{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$
$$= 17{,}778\%$$

4. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 90 menit

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}129 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$x = \frac{0{,}129 + 0{,}005}{0{,}000282}$

$x = 475{,}177\ ppm \times 100(fp) = 47517{,}7\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{47517{,}7\ ppm}{63829{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 25{,}556\%$$

5. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 30 menit

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}151 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$$x = \frac{0{,}151 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$x = 553{,}191\ ppm \times 100\ (fp) = 55319{,}1\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{55319{,}1\ ppm}{63829{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 13{,}333\%$$

6. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 60 menit

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}141 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$$x = \frac{0{,}141 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$x = 517{,}730\ ppm \times 100\ (fp) = 51773{,}0\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{51773{,}0\ ppm}{63829{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 18{,}889\%$$

7. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 90 menit

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}138 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$$x = \frac{0{,}138 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$x = 507{,}092\ ppm \times 100\ (fp) = 50709{,}2\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$
$$= 100\% - \left(\frac{50709{,}2\ ppm}{63829{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$
$$= 20{,}555\%$$

8. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 30 menit

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$0{,}137 = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$x = \frac{0{,}137 + 0{,}005}{0{,}000282}$$
$$x = 503{,}546\ ppm \times 100\ (fp) = 50354{,}6\ ppm$$
$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$
$$= 100\% - \left(\frac{50354{,}6\ ppm}{63829{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$
$$= 21{,}111\%$$

9. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 60 menit

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$0{,}130 = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$x = \frac{0{,}130 + 0{,}005}{0{,}000282}$$
$$x = 478{,}723\ ppm \times 100\ (fp) = 47872{,}3\ ppm$$
$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$
$$= 100\% - \left(\frac{47872{,}3\ ppm}{63829{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$
$$= 25{,}000\%$$

10. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Waktu Pengadukan 90 menit

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$0{,}128 = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$x = \frac{0{,}128 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$$x = 471{,}631\ ppm \times 100\ (fp) = 47163{,}1\ ppm$$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{47163{,}1\ ppm}{63829{,}7\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 26{,}111\%$$

Lampiran 4. Penentuan Kadar COD dalam Sampel Limbah Tempe Menggunakan Koagulan PAC pada Pengaruh Banyaknya Koagulan

1. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Sebelum Perlakuan

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$0{,}140 = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$x = \frac{0{,}140 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$$x = 514{,}184\ ppm \times 100(fp) = 51418{,}4\ ppm$$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{51418{,}4\ ppm}{51418{,}4\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 0\%$$

2. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 2,5 gram

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$0{,}120 = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$x = \frac{0{,}120 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$$x = 443{,}262\ ppm \times 100(fp) = 44326{,}2\ ppm$$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{44326{,}2\ ppm}{51418{,}4\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 13{,}793\%$$

3. **Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 5 gram**

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}112 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$x = \frac{0{,}112 + 0{,}005}{0{,}000282}$

$x = 414{,}893\ ppm \times 100(fp) = 41489{,}3\ ppm$

$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$

$= 100\% - \left(\frac{41489{,}3\ ppm}{51418{,}4\ ppm} \times 100\%\right)$

$= 19{,}310\%$

4. **Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 10 gram**

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}098 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$x = \frac{0{,}098 + 0{,}005}{0{,}000282}$

$x = 365{,}248\ ppm \times 100(fp) = 36524{,}8\ ppm$

$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$

$= 100\% - \left(\frac{36524{,}8\ ppm}{51418{,}4\ ppm} \times 100\%\right)$

$= 28{,}966\%$

5. **Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 2,5 gram**

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}113 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$x = \frac{0{,}113 + 0{,}005}{0{,}000282}$

$x = 418{,}439\ ppm \times 100(fp) = 41843{,}9\ ppm$

$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$

$$= 100\% - \left(\frac{41843{,}9\ ppm}{51418{,}4\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 18{,}621\%$$

6. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 5 gram

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}107 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$$x = \frac{0{,}107 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$x = 397{,}163\ ppm \times 100(fp) = 39716{,}3\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{39716{,}3\ ppm}{51418{,}4\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 22{,}759\%$$

7. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 10 gram

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}096 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$$x = \frac{0{,}096 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$x = 358{,}156\ ppm \times 100(fp) = 35815{,}6\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{35815{,}6\ ppm}{51418{,}4\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 30{,}345\%$$

8. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 2,5 gram

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}113 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$$x = \frac{0{,}113 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$x = 418{,}439\ ppm \times 100(fp) = 41843{,}9\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$
$$= 100\% - \left(\frac{41843{,}9\ ppm}{51418{,}4\ ppm} \times 100\%\right)$$
$$= 18{,}621\%$$

9. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 5 gram

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$0{,}116 = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$x = \frac{0{,}116 + 0{,}005}{0{,}000282}$$
$$x = 429{,}078\ ppm \times 100(fp) = 42907{,}8\ ppm$$
$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$
$$= 100\% - \left(\frac{42907{,}8\ ppm}{51418{,}4\ ppm} \times 100\%\right)$$
$$= 16{,}552\%$$

10. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 10 gram

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$0{,}104 = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$x = \frac{0{,}104 + 0{,}005}{0{,}000282}$$
$$x = 386{,}524\ ppm \times 100(fp) = 38652{,}4\ ppm$$
$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$
$$= 100\% - \left(\frac{38652{,}4\ ppm}{51418{,}4\ ppm} \times 100\%\right)$$
$$= 24{,}828\%$$

Lampiran 5. Penentuan Kadar COD dalam Sampel Limbah Tempe Menggunakan Koagulan campuran PAC dan Tawas pada Pengaruh Banyaknya Koagulan

1. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Sebelum Perlakuan

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$0{,}162 = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$x = \frac{0{,}162 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$$x = 592{,}198\ ppm \times 100(fp) = 59219{,}8\ ppm$$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{59219{,}8\ ppm}{59219{,}8\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 0\%$$

2. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 2,5 gram

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$0{,}131 = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$x = \frac{0{,}131 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$$x = 482{,}269\ ppm \times 100(fp) = 48226{,}9\ ppm$$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{48226{,}9\ ppm}{59219{,}8\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 18{,}563\%$$

3. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 5 gram

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$0{,}072 = 0{,}000282x - 0{,}005$$

$$x = \frac{0{,}072 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$$x = 273{,}049\ ppm \times 100(fp) = 27304{,}9\ ppm$$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{27304{,}9\ ppm}{59219{,}8\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 53{,}892\%$$

4. **Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 10 gram**

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}064 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$x = \frac{0{,}064 + 0{,}005}{0{,}000282}$

$x = 244{,}680\ ppm \times 100(fp) = 24468{,}0\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$
$$= 100\% - \left(\frac{24468{,}0\ ppm}{59219{,}8\ ppm} \times 100\%\right)$$
$$= 58{,}683\%$$

5. **Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 2,5 gram**

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}125 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$x = \frac{0{,}125 + 0{,}005}{0{,}000282}$

$x = 460{,}992\ ppm \times 100(fp) = 46099{,}2\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$
$$= 100\% - \left(\frac{46099{,}2\ ppm}{59219{,}8\ ppm} \times 100\%\right)$$
$$= 22{,}156\%$$

6. **Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 5 gram**

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}141 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$x = \frac{0{,}141 + 0{,}005}{0{,}000282}$

$x = 517{,}730\ ppm \times 100(fp) = 51773{,}0\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{51773{,}0\ ppm}{59219{,}8\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 12{,}575\%$$

7. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 10 gram

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}087 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$$x = \frac{0{,}087 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$x = 326{,}241\ ppm \times 100(fp) = 32624{,}1\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{32624{,}1\ ppm}{59219{,}8\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 44{,}910\%$$

8. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 2,5 gram

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}108 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$$x = \frac{0{,}108 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$x = 400{,}709\ ppm \times 100(fp) = 40070{,}9\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - \left(\frac{40070{,}9\ ppm}{59219{,}8\ ppm} \times 100\%\right)$$

$$= 32{,}335\%$$

9. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 5 gram

$y = 0{,}000282x - 0{,}005$

$0{,}092 = 0{,}000282x - 0{,}005$

$$x = \frac{0{,}092 + 0{,}005}{0{,}000282}$$

$x = 343{,}971\ ppm \times 100(fp) = 34397{,}1\ ppm$

$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$
$$= 100\% - \left(\frac{34397{,}1\ ppm}{59219{,}8\ ppm} \times 100\%\right)$$
$$= 41{,}916\%$$

10. Konsentrasi COD pada Limbah Tempe Hasil Koagulasi dengan Banyaknya Koagulan 10 gram

$$y = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$0{,}083 = 0{,}000282x - 0{,}005$$
$$x = \frac{0{,}083 + 0{,}005}{0{,}000282}$$
$$x = 312{,}056\ ppm \times 100(fp) = 31205{,}6\ ppm$$
$$Penurunan\ Kadar\ COD\ (\%) = 100\% - \left(\frac{A}{B} \times 100\%\right)$$
$$= 100\% - \left(\frac{31205{,}6\ ppm}{59219{,}8\ ppm} \times 100\%\right)$$
$$= 47{,}305\%$$