

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

1. Rahmah, Surahma Asti Mulasari, 2015.

Penelitian dengan judul “Pengaruh Metode Koagulasi, Sedimentasi dan Variasi Filtrasi Terhadap Kadar TSS, COD dan Warna pada Limbah Cair Batik”.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan terhadap penurunan kadar COD dan warna limbah cair Industri Batik menggunakan metode koagulasi, sedimentasi, dan variasi filtrasi. Namun tidak ada perbedaan penurunan kadar TSS menggunakan pengolahan dengan metode koagulasi, sedimentasi, dan variasi filtrasi. Variasi filtrasi A (dengan media arang aktif dan pasir kuarsa) dapat menurunkan TSS sebesar 99,8%; COD sebesar 99,49%; dan kadar warna sebesar 99,6%. Variasi filtrasi B (dengan media arang aktif dan zeolit) dapat menurunkan TSS sebesar 99,6%; COD sebesar 92,31%; dan kadar warna sebesar 89,92%. Variasi filtrasi C (dengan media zeolit dan pasir kuarsa) dapat menurunkan TSS sebesar 99,7%; COD sebesar 89,92%; dan kadar warna sebesar 99,3%. Variasi filtrasi A dengan media arang aktif dan pasir kuarsa memiliki hasil paling tinggi untuk menurunkan kadar TSS, COD, dan warna pada limbah cair Industri Batik.

Perbedaan dari penelitian sebelumnya dengan penelitian saat ini adalah pada penelitian sebelumnya bertujuan untuk menurunkan kadar TSS, COD, dan warna dalam limbah cair Industri Batik menggunakan metode koagulasi, sedimentasi, dan variasi filtrasi. Sementara penelitian saat ini hanya bertujuan untuk menguji efektivitas metode koagulasi-flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi dalam menurunkan kadar TSS (*Total Suspended Solid*) limbah cair Industri Tahu.

2. Bernaded Oka Anggraini, 2018.

Penelitian dengan judul “Peningkatan Efektivitas Proses Koagulasi-Flokulasi dengan Menggunakan Alumunium Sulfat dan Polydadmac”.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan dosis optimum pada sampel air baku buatan dengan kekeruhan 30,4 NTU dan 40,5 NTU koagulan Alumunium Sulfat adalah 30 ppm dan koagulan Polydadmac sebanyak 0,2 ppm. Sedangkan untuk sampel dengan kekeruhan awal 50,2 NTU dosis optimum koagulan Alumunium Sulfat adalah sebanyak 50 ppm dan Polydadmac sebanyak 0,2 ppm.

Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian saat ini adalah pada penelitian sebelumnya bertujuan untuk meningkatkan efektivitas proses Koagulasi-Flokulasi dengan penambahan koagulan Alumunium Sulfat dan Polydadmac, sedangkan pada penelitian saat ini adalah untuk menguji efektivitas metode Koagulasi-Flokulasi, Sedimentasi, dan Filtrasi dalam menurunkan kadar TSS (*Total Suspended Solid*) limbah cair Industri Tahu.

3. Bambang Murwanto, 2018.

Penelitian dengan judul “Efektivitas Jenis Koagulan *Poly Aluminium Chloride* Menurut Variasi Dosis dan Waktu Pengadukan terhadap Penurunan Parameter Limbah Cair Industri Tahu”.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan dosis PAC yang efektif untuk menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS limbah cair industri tahu dengan presentase tertinggi adalah 300mg/l dengan waktu pengadukan 25 menit dengan presentase 85,48%. Pada variasi dosis, setelah dilakukan analisa, tidak ada perbedaan signifikan pada masing-masing dosis koagulan. Peneliti menyimpulkan semakin tinggi dosis PAC yang ditambahkan maka akan semakin tinggi pula kadar BOD, COD, dan TSS yang turun.

Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian saat ini adalah penelitian sebelumnya memiliki tujuan untuk mengetahui efektivitas

koagulan *Poly Aluminium Chloride* ditinjau dari variasi dosis dan waktu pengadukan. Sementara penelitian saat ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas metode koagulasi-flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi dalam penurunan kadar TSS limbah cair industri tahu.

Tabel II.1 Penelitian-penelitian yang Terdahulu

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Variabel, Jenis, dan Rancangan Penelitian	Hasil Penelitian
1	Rahmah, Surahma Asti Mulasari, 2015	Pengaruh Metode Koagulasi, Sedimentasi dan Variasi Filtrasi Terhadap Kadar TSS, COD dan Warna pada Limbah Cair Batik	<p>a. Variabel bebas : Penambahan koagulan tawas dan variasi media filtrasi berupa arang aktif, pasir kuarsa, dan zeolit</p> <p>b. Variabel terikat : Penurunan kadar TSS, COD, dan warna pada limbah cair industri batik</p> <p>c. Jenis penelitian ini adalah <i>true experiment</i> dengan rancangan <i>pre test post test group design</i>.</p> <p>d. Analisis data dengan menggunakan <i>one way anova</i>.</p>	Variasi filtrasi A dengan media arang aktif dan pasir kuarsa memiliki hasil paling tinggi dalam menurunkan kadar TSS, COD, dan warna pada limbah cair Industri Batik yaitu sebesar 99,8%; 99,49%; dan 99,6%.
2	Bernaded Oka Anggraini, 2018	Peningkatan Efektivitas Proses Koagulasi-Flokulasi dengan Menggunakan Alumunium Sulfat dan Polydadmac	<p>a. Variabel Bebas : Dosis koagulan Alumunium Sulfat dan polydadmac</p> <p>b. Variabel terikat : Penurunan nilai kekeruhan pada sampel air baku buatan</p>	Dosis optimum untuk menurunkan tingkat kekeruhan 30,4 NTU dan 40,5 NTU pada sampel dengan koagulan Alumunium Sulfat adalah 30 ppm dan koagulan Polydadmac 0,2 ppm. Sedangkan untuk sampel

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Variabel, Jenis, dan Rancangan Penelitian	Hasil Penelitian
				dengan tingkat kekeruhan awal 50,2 NTU dosis optimum koagulan Alumunium Sulfat adalah 50 ppm dan Polydadmac 0,2 ppm.
3	Bambang Murwanto, 2018	Efektivitas Jenis Koagulan <i>Poly Aluminium Chloride</i> Menurut Variasi Dosis dan Waktu Pengadukan terhadap Penurunan Parameter Limbah Cair Industri Tahu	<p>a. Variabel Bebas : Variasi dosis koagulan PAC dan waktu pengadukan.</p> <p>b. Variabel terikat : Penurunan kadar BOD, COD, TSS pada limbah cair industri tahu</p> <p>c. Jenis Penelitian ini adalah <i>experiment pre-post test experiment</i> dengan rancangan <i>Control Time Series Design</i></p> <p>d. Analisis Data dengan menggunakan <i>mean</i> dan <i>range</i> dalam bentuk analisis bivariate dan uji anova</p>	<p>Terjadi penurunan kadar BOD minimal 42,6% maksimal 70,7% dengan waktu pengadukan 10 menit dan 25 menit.</p> <p>Penurunan COD minimal 0,86% maksimal 36,36% dengan waktu pengadukan 10 menit dan 25 menit.</p> <p>Penurunan TSS minimal 5,66% maksimal 85,48%, dengan waktu pengadukan 10 menit dan 25 menit.</p> <p>Dimana kadar penambahan PAC minimal yaitu 75 mg/L dan kadar maksimal 300 mg/L.</p>

B. Telaah Pustaka Lain yang Relevan dengan Masalah

1. Industri Tahu

a. Definisi

Industri tahu adalah perusahaan skala rumahan yang umumnya memiliki pekerja kurang dari 10 orang. Biaya yang diperlukan dalam menjalankan usaha ini tidak begitu besar. Teknologi dan proses pembuatan tahu terbilang sederhana dan mudah dipelajari sehingga siapapun bisa membuatnya. Industri tahu tidak membutuhkan tempat produksi yang luas sehingga dapat beroperasi baik di daerah pedesaan maupun perkotaan apabila limbahnya dapat ditangani dengan baik. Industri tahu dalam proses produksinya menghasilkan limbah padat dan limbah cair. Limbah padat berupa ampas tahu dan limbah cair yang tidak berbahaya, namun apabila limbah cair tahu dibuang begitu saja ke lingkungan secara terus-menerus tanpa ada pengolahan terlebih dahulu dapat mengakibatkan pencemaran dan penurunan kualitas lingkungan.

Tahu adalah produk makanan dengan bahan baku kedelai yang sudah dikenal sejak zaman dahulu. Tahu dikenal pada abad ke 22 di China. Tahu berasal dari kata Tao Hu yang memiliki arti kacang hancur seperti bubur. Tahu banyak digemari oleh masyarakat Indonesia karena rasanya yang nikmat, memiliki gizi tinggi, dan harga yang juga terjangkau. Tahu merupakan makanan yang sering dijumpai di Indonesia, baik itu untuk kalangan bawah maupun kalangan atas. Pangsa pasar tahu sudah semakin luas, karena selain diolah menjadi menu lauk pauk, kini banyak pula variasi produk masakan yang terbuat dari tahu seperti tahu bakso, siomay, dan gado-gado. Bahkan tahu pun dapat diolah menjadi cemilan seperti kripik tahu dan lain-lain.

Tahu merupakan jenis produk makanan yang tidak tahan lama. Tahu hanya memiliki usia simpan selama 2-3 hari. Kandungan air dan protein yang tinggi didalam tahu menyebabkan tahu mudah rusak, karena kandungan ini pula tahu menjadi media yang memiliki potensi

bagi mikroorganisme pembusuk untuk tumbuh. Umumnya produsen tahu hanya memproduksi tahu dengan jumlah yang sesuai dengan kemampuan mereka menjual hasil produksinya.

Dalam meningkatkan ketahanan pada produk tahu, umumnya produsen tahu akan menambahkan bahan sebagai pengawet. Namun penggunaan terhadap bahan pengawet perlu diperhatikan, alangkah lebih baik bila menggunakan bahan pengawet yang aman dikonsumsi dan tidak menyebabkan resiko timbulnya penyakit bahkan kematian untuk konsumen. Pemakaian bahan pengawet seperti formalin perlu dihindari. Tahu yang diawetkan menggunakan formalin dapat dibedakan melalui teksturnya yang kompak dan keras serta memiliki kadar air sedikit. Tahu yang aman untuk dikonsumsi yaitu memiliki ciri-ciri warna yang cerah, bersih, tidak keras, dan tidak berbau. Bahan alami seperti kunyit dapat digunakan sebagai pewarna pada tahu.

Terdapat cara aman dan murah yang dapat dilakukan untuk mengawetkan tahu, yaitu dengan menambahkan kalium sorbat. Tahu yang direndam dalam air mendidih yang telah dicampur dengan kalium sorbat 0,3% dapat menghasilkan tahu dengan usia simpan seminggu dalam suhu kamar. Terdapat cara lain yang sering dilakukan oleh pembuat tahu yaitu dengan merendam tahu dalam larutan kunyit yang telah disaring dan ditambah air jeruk nipis lalu dipanaskan sampai mendidih. Cara tersebut dapat menghasilkan tahu dengan usia simpan selama kurang lebih 3 hari.

b. Proses Produksi Tahu

1). Penyortiran

Tahap awal proses produksi produk tahu adalah dengan memilih kedelai yang baik. Kedelai yang dipilih yaitu kedelai yang masih baru dan tidak tersimpan terlalu lama di gudang. Hal ini perlu diperhatikan karena kedelai yang masih baru dapat menghasilkan produk tahu yang memiliki aroma serta bentuk yang baik. Kedelai

yang digunakan pada umumnya kedelai yang memiliki warna kuning, putih, atau hijau, dan sangat jarang menggunakan kedelai berwarna hitam.

2). Pencucian dan perendaman

Setelah kedelai disortir, kedelai dicuci bersih kemudian direndam selama 6 jam, lama perendaman ini tergantung pada masing-masing industri, ada pula industri yang merendam kedelai selama 7 sampai 8 jam. Setelah direndam kedelai dibilas dengan air bersih dan ditiriskan untuk selanjutnya dilakukan penggilingan.

3). Penggilingan

Kedelai yang sudah dibilas kemudian digiling dengan menggunakan mesin sambil ditambah air sedikit demi sedikit sampai menghasilkan bubur kedelai berwarna putih. Bubur kedelai inilah yang selanjutnya direbus untuk dijadikan tahu. Bubur kedelai hasil gilingan tersebut selanjutnya dituang kedalam bak perebusan dengan menggunakan ember.

4). Perebusan

Perebusan bubur kedelai menggunakan bak yang terbentuk dari semen yang di dalamnya dilapisi oleh bahan *stainless* yang memiliki diameter 1 m dan tinggi kurang lebih 1,2 m. Perebusan dengan menggunakan api kompor, dengan bahan bakar berupa kayu, sekam padi, atau menggunakan uap panas sampai mendidih. Perebusan tahu membutuhkan waktu selama kurang lebih 1 jam sambil dilakukan pengadukan terus-menerus.

5). Penyaringan

Setelah mendidih, selanjutnya bubur kedelai disaring dengan menggunakan kain kasa atau kain blaco yang sangat halus, penyaringan dilakukan sambil dibilas dengan air hangat agar sari kedelai dapat terekstrak keluar seluruhnya. Hasil endapan bubur kedelai ditampung dalam bak yang terbuat dari semen yang bagian dalamnya dilapisi dengan bahan *stainless*. Agar sari kedelai dapat

terpisahkan lebih optimal, dilakukan pemerasan atau pengepresan kemudian ampasnya dipisahkan. Filtrat yang ditampung dalam bak kemudian diberi larutan asam sambil diaduk pelan. Larutan asam terbuat dari cuka yang diencerkan dengan formulasi beragam tergantung masing-masing industri tahu. Pemberian larutan asam bertujuan untuk membantu terjadinya penggumpalan sari-sari kedelai.

6). Pencetakan

Setelah sari kedelai mengendap dan menggumpal, selanjutnya dilakukan pencetakan. Pencetakan tahu dilakukan menggunakan cetakan yang terbuat dari kayu berlapis kain halus dan tipis, selanjutnya sari kedelai dituang ke dalam cetakan hingga penuh dan dipres. Proses pengepresan ini menggunakan alat pemberat dapat berupa ember yang diisi air, tahu yang dihasilkan akan semakin keras apabila benda yang digunakan untuk mengepres semakin berat pula.

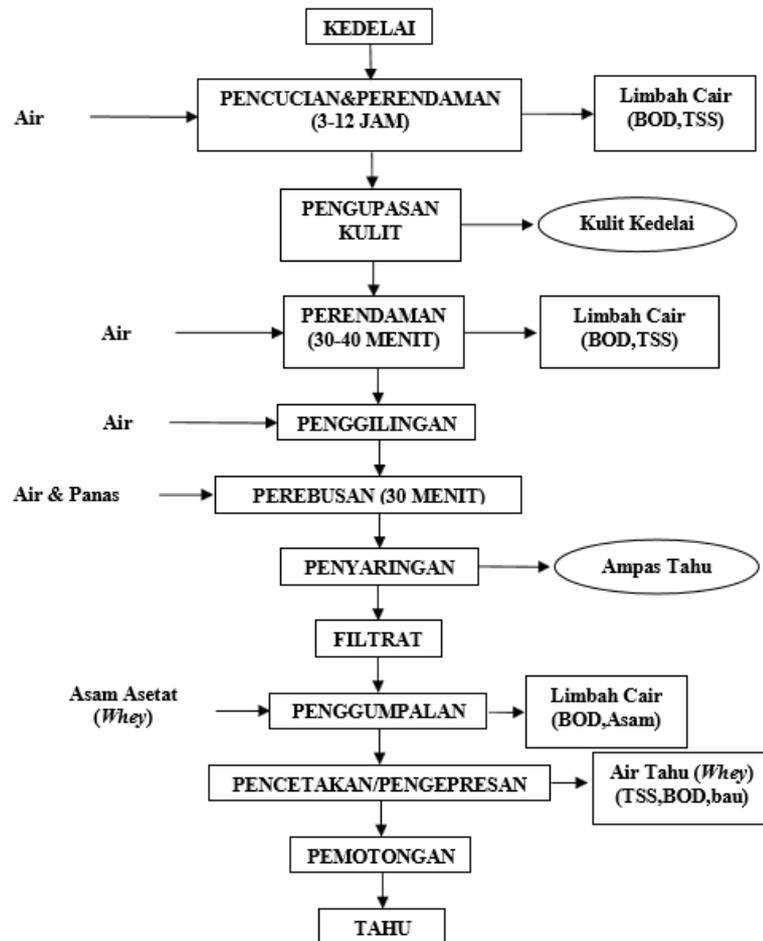
7). Pemotongan

Setelah sari kedelai dipres selama kurang lebih 15 menit, dan memiliki kadar air yang rendah maka akan dihasilkan lembaran tahu yang memiliki bentuk sesuai dengan cetakannya dan siap dipotong. Setelah tahu dingin tahu dipotong sesuai dengan keinginan konsumen di pasar. Pemotongan tahu dilakukan dengan menggunakan pisau *stainless* yang tajam.

8). Pengemasan

Setelah tahu dipotong, tahu dikemas dengan dimasukkan ke dalam wadah berbentuk persegi terbuat dari seng dan siap di distribusikan kepada tengkulak.

Gambar 2.1 Diagram Alir Proses Produksi Tahu



Sumber : KLH, 2006

c. Limbah Industri Tahu

Limbah di industri tahu terbagi menjadi 2, yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat berupa biji kedelai yang jelek, kulit kedelai, dan batu yang terikut dalam biji berasal dari proses pencucian dan perendaman. Selain itu limbah ampas hasil penyaringan yang berasal dari pengolahan kedelai menjadi susu kedelai dan kemudian disaring. Umumnya limbah padat yang dihasilkan tidak begitu banyak, yaitu sekitar 0,3% dari bahan baku kedelai.

Industri tahu pada umumnya membutuhkan banyak air untuk digunakan saat proses pembuatan tahu maupun saat proses pencucian alat dan pencucian biji kedelai. Limbah cair industri tahu berasal dari proses pencucian dan perendaman kedelai, pencucian peralatan pembuatan tahu, penyaringan dan pengepresan atau pencetakan tahu. Pada beberapa industri tahu, sebagian kecil dari limbah tersebut (khususnya air dadih) dimanfaatkan kembali sebagai bahan penggumpal tahu. Air dadih atau *whey* adalah limbah cair yang dihasilkan berupa cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu.

Limbah cair industri tahu masih mengandung zat-zat organik misalnya protein, karbohidrat, dan lemak. Bahan-bahan organik ini ada dalam limbah cair baik berupa padatan tersuspensi maupun terlarut. Adanya senyawa-senyawa organik tersebut menyebabkan limbah cair industri tahu mengandung BOD, COD, dan TSS yang tinggi. Padatan tersuspensi atau padatan terendap limbah cair tahu misalnya potongan tahu yang hancur pada saat pemrosesan karena kurang sempurna penggumpalannya. Padatan tersuspensi maupun terlarut, dapat mengalami perubahan fisika, kimia, dan hayati yang menghasilkan zat toksis atau menciptakan tumbuhnya kuman dimana kuman tersebut dapat berwujud kuman penyakit atau kuman lainnya yang bersifat merugikan baik pada produk tahu itu sendiri maupun bagi tubuh manusia. Limbah cair ini apabila sering dibuang secara langsung ke lingkungan tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu dapat menimbulkan bau busuk dan mencemari lingkungan.

Tabel II.2 Baku Mutu Air Limbah Tahu

No	Parameter	Kadar Maksimal	Satuan
1.	BOD ₅	150	mg/l
2.	COD	300	mg/l
3.	TSS	100	mg/l
4.	Ph	6,0 - 9,0	-
5.	Volume air limbah maksimum (m ³ /ton kedelai)	20	m ³

Sumber : Pergub Jawa Timur No. 72 Tahun 2013

d. Karakteristik Limbah Industri Tahu

1). Temperatur

Air limbah industri tahu biasanya memiliki temperatur lebih tinggi dari temperatur normal di badan air. Hal ini dikarenakan proses pembuatan tahu selalu dalam temperatur panas pada saat proses penggumpalan atau pada saat proses penyaringan, yaitu pada suhu 60-80 derajat celsius. Limbah panas yang dihasilkan yaitu sisa air susu tahu yang tidak menggumpal menjadi tahu, berwarna kuning muda dan apabila melewati satu hari akan memiliki rasa asam atau kecut.

2). Warna

Warna air limbah industri tahu yaitu transparan hingga kuning muda disertai dengan adanya suspensi warna putih. Zat terlarut dan tersuspensi yang mengalami perubahan kimia maupun hayati akan mengalami perubahan warna. Hal ini dikarenakan adanya proses dimana kadar oksigen di dalam air buangan menjadi nol maka air buangan berubah menjadi warna hitam dan berbau busuk.

3). Bau

Bau air limbah industri tahu dikarenakan adanya proses pemecahan protein oleh mikroba alam. Bau sungai atau saluran air akan menjadi menyengat apabila keadaan di saluran tersebut sudah berubah menjadi anaerob. Bau tersebut adalah akibat terpecahnya penyusun dari protein dan karbohidrat, sehingga timbul bau busuk dari gas H₂S.

4). Kekeruhan

Air limbah yang keruh disebabkan oleh padatan yang terlarut dan tersuspensi dalam air. Zat yang menyebabkan keruh adalah zat organik atau zat-zat yang tersuspensi dari tahu atau zat organik terlarut yang sudah terpecah sehingga air limbah berubah menjadi seperti emulsi keruh.

5). Kebutuhan Oksigen Bio Kimia (KOB) atau *Bio Chemical Oxygen Demand* (BOD)

Padatan yang terdapat dalam limbah cair industri tahu terdiri dari zat organik dan zat anorganik. Zat organik berupa protein, karbohidrat, lemak, dan minyak. Protein dan karbohidrat yang terpecah melalui proses hayati akan menghasilkan amoniak, sulfida dan asam-asam lainnya. Untuk mengetahui besarnya jumlah zat organik yang terlarut dalam air limbah dapat diketahui dengan melihat besarnya angka BOD (*Bio Chemical Oxygen Demand*). Angka BOD ini menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroba dalam memecah zat organik dalam air limbah, angka BOD dinyatakan dalam satuan mg per liter atau ppm (*part per million*).

6). Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK) atau *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Parameter ini menunjukkan zat organik non biodegradasi yang dapat dioksidasi oleh bahan kimia K₂Cr₂O₇ dalam asam, misalnya SO₃ (Sulfit), NO₂ (Nitrit) kadar tinggi dan zat-zat reduktor lainnya.

Besarnya angka COD biasanya dua sampai tiga kali lipat dari BOD.

7). pH

pH dalam limbah cair industri tahu cenderung asam dikarenakan penambahan asam cuka pada saat proses pembuatan tahu. pH dalam air limbah sangat dipengaruhi oleh kegiatan mikroba dalam memecah bahan organik, dan pada kondisi asam ini akan terlepas zat-zat yang mudah menjadi gas.

e. Dampak Limbah Industri Tahu

(Herlambang, 2002) menuliskan dampak yang ditimbulkan dari limbah cair industri tahu adalah terganggunya kehidupan biotik. Turunnya kualitas air perairan akibat meningkatnya kandungan bahan organik. Aktivitas organisme dapat memecah molekul organik yang kompleks menjadi molekul organik yang sederhana. Zat anorganik seperti ino fosfat dan nitrat dapat dipakai sebagai makanan oleh tumbuhan yang melakukan fotosintesis.

Limbah cair yang dihasilkan mengandung padatan tersuspensi dan terlarut yang apabila mengalami perubahan fisika, kimia, dan hayati akan menimbulkan gangguan kesehatan karena menghasilkan zat beracun atau menciptakan media tumbuhnya kuman penyakit. Timbulnya media kuman penyakit ini akan merugikan baik bagi produk tahu sendiri maupun bagi tubuh manusia. Bila dibiarkan, air limbah industri tahu akan berubah warna menjadi coklat kehitaman dan berbau busuk, hal ini dikarenakan adanya proses dimana kadar oksigen di dalam air buangan menjadi nol. Apabila air limbah tahu merembes ke dalam tanah yang dekat dengan sumur, maka dapat mengkontaminasi sumur. Apabila air limbah dibuang ke sungai yang airnya masih digunakan untuk kebutuhan sehari-hari, maka dapat menimbulkan gangguan kesehatan berupa penyakit gatal, diare, kolera,

radang usus dan penyakit lainnya khususnya penyakit yang berkaitan dengan air yang kotor dan sanitasi lingkungan yang buruk.

f. Pengolahan Limbah Padat Industri Tahu

Limbah padat industri tahu meliputi ampas tahu dari hasil pemisahan bubur kedelai. Ampas tahu masih memiliki kandungan protein yang tinggi sehingga bisa dimanfaatkan kembali menjadi produk makanan lainnya, seperti kecap, tauco, dan tepung. Pemakaian tepung ampas tahu sebagai substitusi gandum mempunyai manfaat yaitu dihasilkannya suatu produk yang masih mempunyai nilai gizi dan nilai ekonomi serta mengurangi pencemaran lingkungan.

Prinsip penggunaan tepung ampas tahu ini adalah sebagai bahan pengganti. Dimana proses awalnya yaitu ampas tahu diperas dan dikukus selama 15 menit. Ampas yang telah dikukus selanjutnya dijemur diatas terik matahari atau dioven dengan temperatur 100°C selama 24 jam. Setelah kering dihaluskan dengan cara diblender atau diayak. Tepung yang sudah jadi disimpan ditempat yang kering. Tepung ampas tahu ini dapat digunakan menjadi bahan baku pengganti terigu atau tepung beras brbagai makanan. Selain itu tepung ampas tahu juga dapat digunakan untuk pembuatan pakan ternak.

g. Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu

Metode pengolahan limbah cair industri tahu digolongkan atas 3 jenis metode pengolahan, yaitu secara fisika, kima, dan biologis.

1). Cara Fisika

Prinsip pengolahan secara fisika yaitu mengurangi beban pencemar khususnya padatan tersuspensi atau koloid dari limbah cair. Proses yang dapat digunakan antara lain yaitu filtrasi (penyaringan) dan sedimentasi (pengendapan). Filtrasi menggunakan media penyaring untuk menjernihkan dan memisahkan pertikel-partikel kasar dan padatan tersuspensi dari air limbah. Padatan tersuspensi yang lolos

selanjutnya disisihkan dalam unit sedimentasi dimana pada unit sedimentasi dilakukan penambahan koagulan untuk membentuk partikel flok. Partikel flok ini dipisahkan dari air limbah dengan memanfaatkan gaya gravitasi, dimana flok ini akan turun kebawah dan menjadi endapan.

2). Cara Kimia

Prinsip pengolahan secara kimia yaitu menghilangkan atau mengkonversi senyawa-senyawa polutan dalam limbah cair dengan penambahan bahan kimia atau reaksi kimia. Beberapa proses yang dapat diterapkan di industri tahu yaitu koagulasi-flokulasi dan netralisasi. Koagulasi pada dasarnya merupakan proses destabilisasi atau pemisahan antara partikel koloid bermuatan dengan cara penambahan ion-ion bermuatan berlawanan (koagulan) ke dalam koloid, yang kemudian koloid menjadi netral dan dapat beraglomerasi satu sama lain membentuk mikroflok. Selanjutnya mikroflok-mikroflok yang telah terbentuk dengan dibantu oleh pengadukan lambat mengalami makroflok (flokulasi), sehingga dapat dipisahkan dari dalam larutan dengan cara pengendapan atau filtrasi.

Koagulan yang digunakan pada umumnya yaitu polielektrolit, alumunium, kapur dan garam-garam besi. Masalah dalam pengolahan limbah secara kimiawi adalah banyaknya endapan lumpur yang dihasilkan, sehingga perlu penanganan lebih lanjut.

3). Cara Biologis

Prinsip pengolahan secara biologis yaitu dapat menurunkan kadar zat organik terlarut dengan memanfaatkan mikroorganisme atau tumbuhan air. Pada dasarnya cara biologi adalah pemutusan molekul kompleks menjadi molekul sederhana oleh mikroorganisme. Proses ini sangat peka terhadap suhu, pH, oksigen terlarut (DO), dan zat-zat inhibitor terutama zat-zat beracun. Mikroorganisme yang digunakan adalah bakteri, algae, atau

protozoa. Sedangkan tumbuhan air yang dapat digunakan termasuk gulma air.

2. TSS (*Total Suspended Solid*)

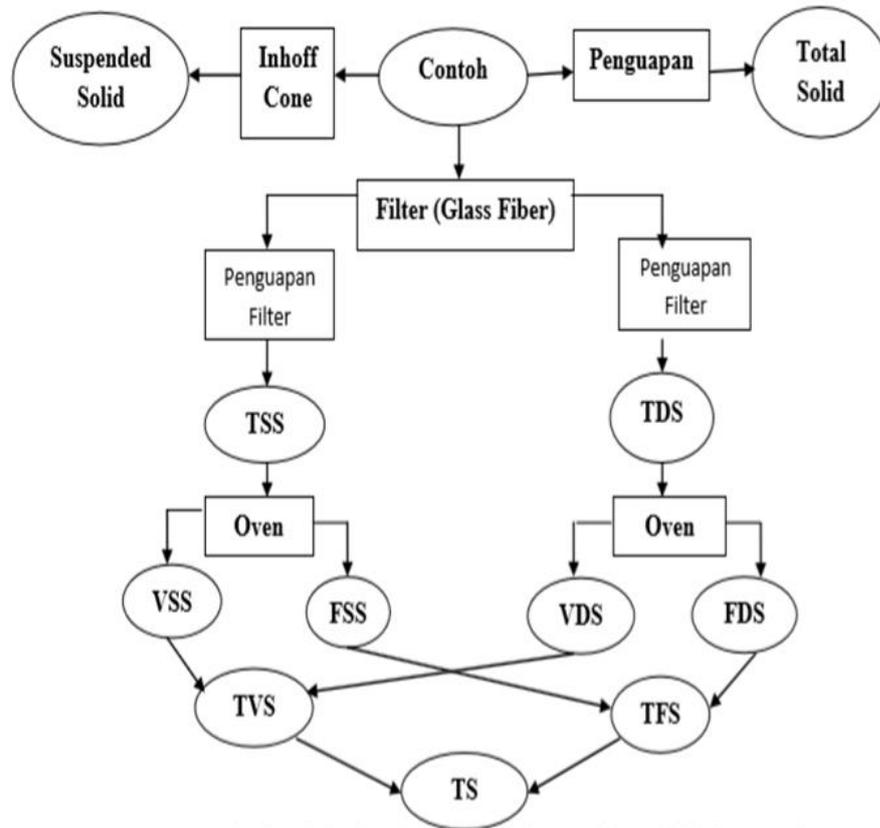
a. Definisi

TSS adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan pada air, tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap, terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya tidak lebih besar dari sedimen, misalnya tanah liat, bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikroorganisme dan sebagainya (Nasution, M.I, 2008). TSS adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2 mikrometer atau lebih besar dari ukuran koloid. Ukuran partikel koloid umumnya berkisar antara 0,01 – 1,0 nm. Padatan total (Total Solid/TS) diperoleh dengan cara menguapkan sampai kering contoh limbah cair, kemudian melakukan penimbangan terhadap residunya.

Zat padat tersuspensi merupakan tempat berlangsungnya reaksi kimia yang heterogen, dan memiliki fungsi sebagai bahan pembentuk endapan yang paling awal serta dapat menghalangi kemampuan produksi zat organik dalam suatu perairan. Zat padat tersuspensi dapat menghalangi proses penetrasi cahaya matahari ke permukaan dan bagian yang lebih dalam sehingga tidak berlangsung efektif, hal tersebut menyebabkan fotosintesis tidak berlangsung sempurna.

Sebaran zat padat tersuspensi dalam air laut dipengaruhi oleh masukan yang berasal dari aliran air sungai, selain itu dapat pula berasal dari udara dan perpindahan karena endapan tersuspensi akibat pengikisan tanah (Tarigan, M.S., 2010).

Gambar 2.2 Langkah-Langkah Penyaringan dilakukan untuk memisahkan Total Suspended Solid (TSS) dari Total Padatan Zat Terlarut



Sumber : (Purwanto, 2004)

Tabel II.3 Pengelompokan Zat Padat dalam Limbah Cair

Kelompok Zat Padat	Prosedur Mendapatkan Padatan
Total Solids (TS)	Residu yang tersisa setelah contoh diuapkan dan dipanaskan pada suhu 103 ⁰ C - 105 ⁰ C
Total Volatile Solids (TVS)	Padatan yang dapat diuapkan dan dipanaskan pada suhu 500 ⁰ C, ±50 ⁰ C
Total Fixed Solids (TFS)	Residu yang tersisa setelah Total Suspended Solids dibakar pada suhu 500 ⁰ C, ±50 ⁰ C.
Total Suspended Solids (TSS)	Bagian TSS yang tersisa dikertas saring dengan porositas tertentu, yang diukur setelah dikeringkan pada suhu 105 ⁰ C.
Volatile Suspended Solids (VSS)	Padatan yang dapat diuapkan dan dipanaskan pada saat TSS dibakar pada suhu 500 ⁰ C, ±50 ⁰ C
Fixed Suspended Solids (FSS)	Residu yang tersisa setelah TSS dibakar pada suhu 500 ⁰ C, ±50 ⁰ C.
Total Dissolved Solids (TDS) (TSTSS)	Padatan yang lolos melewati filter dan kemudian diuapkan dan dipanaskan pada suhu tertentu 105 ⁰ C.
Total Volatile Dissolved Solids (VDS)	Padatan yang dapat diuapkan dipanaskan pada saat pembakaran TDS (500 ⁰ C, ±50 ⁰ C).
Fixed Dissolved Solids (FDS)	Residu yang tersisa setelah pembakaran TDS pada suhu ±500 ⁰ C
Settleable Solids	Zat pada suspensi yang ditunjukkan dalam ml per liter, setelah diendapkan dalam periode waktu tertentu

Sumber : Metcalf & Eddy, 2001 dalam (Purwanto, 2004)

b. Faktor-faktor yang Mempengaruhi TSS (*Total Suspended Solid*)

Faktor-faktor yang mempengaruhi peningkatan TSS (*Total Suspended Solid*) antara lain :

1). Laju Aliran Air yang Sangat Deras

Laju aliran badan air merupakan faktor utama dalam konsentrasi TSS. Air yang mengalir cepat dapat membawa partikel dan sedimen yang berukuran besar. Hujan lebat dapat mengambil pasir, lumpur, tanah liat, dan partikel organik (seperti daun dan tanah) dan membawanya ke permukaan air. Selain itu, perubahan laju aliran air juga dapat mempengaruhi TSS. Apabila kecepatan atau arah alir meningkat secara tiba-tiba, maka partikel dari sedimen bawah akan tersuspensi.

2). Longsor Akibat Erosi

Erosi tanah yang diakibatkan aktifitas atau gangguan dari permukaan tanah, seperti bangunan konstruksi tanah, kebakaran hutan, logging, dan pertambangan. Hal tersebut dapat meningkatkan konsentrasi TSS dalam badan air.

3). Air Limbah dalam Badan Air

Air limbah dari rumah tangga yang berisi sisa makanan, kotoran manusia, dan bahan padat lainnya dapat meningkatkan konsentrasi TSS dalam badan air. Selain itu, air buangan dari tanaman pengolahan air limbah dapat pula menambah jumlah padatan tersuspensi dalam air.

4). Jasad Renik Hasil Pembusukan Tumbuhan dan Hewan

Tanaman dan hewan yang mengalami pembusukan akan melepaskan partikel tersuspensi dan partikel tersebut dapat berkontribusi pada konsentrasi TSS (*Total Suspended Solid*) dalam air.

c. Prinsip Analisa TSS (*Total Suspended Solid*)

Berdasarkan SNI 06-6989.3-2004 Tentang Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (TSS) secara Gravimetri, contoh uji yang homogen disaring dengan kertas saring yang sebelumnya telah ditimbang. Residu yang tertahan pada kertas saring dikeringkan hingga mencapai berat konstan, pengeringan dilakukan pada suhu 103⁰C sampai dengan 105⁰C. Kenaikan berat kertas saring mewakili padatan tersuspensi total (TSS). Jika ukuran padatan tersuspensi menghambat saringan dan memperlambat penyaringan, maka diameter pori-pori saringan perlu diperbesar atau dilakukan pengurangan volume contoh uji. Untuk memperoleh estimasi TSS dilakukan perhitungan terhadap perbedaan antara padatan terlarut total dan padatan total.

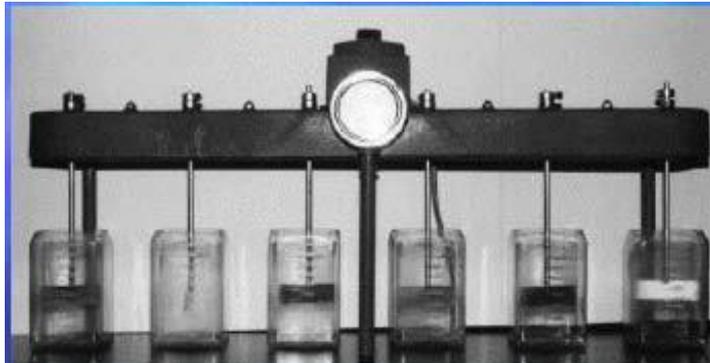
d. Penurunan Kadar TSS (*Total Suspended Solid*)

Beberapa metode dapat digunakan untuk menurunkan kadar TSS (*Total Suspended Solid*). Metode koagulasi, sedimentasi, dan filtrasi adalah metode yang paling umum dalam menurunkan kadar TSS (*Total Suspended Solid*). Metode koagulasi adalah pengolahan secara kimia dengan menambahkan bahan koagulan kedalam air limbah untuk menurunkan kadar TSS (*Total Suspended Solid*). Sedimentasi dan filtrasi adalah metode yang digunakan dengan prinsip pengendapan dan penyaringan. Filtrasi dapat dilakukan menggunakan bahan filter yang beragam seperti tanah, kerikil, pasir sungai, dan kompos lumpur (*mature sewage sludge*). Namun ada pula metode yang dirancang dengan menggunakan kombinasi keempat unsur tersebut untuk menghilangkan TSS (*Total Suspended Solid*).

3. Jartest

Jartest adalah serangkaian test untuk mengevaluasi proses-proses koagulasi dan flokulasi serta menentukan dosis pemakaian bahan kimia.

Gambar 2.3 Jartest



Sumber : Russel dkk, 1989 dalam (Risdianto, 2007)

Pada proses pengolahan air bersih atau air limbah, untuk mengurangi jumlah polutan dalam air atau air limbah selalu diperlukan bahan kimia tertentu dengan dosis tertentu pula. Penambahan bahan kimia tidak bisa dilakukan dengan sembarangan, harus dengan dosis yang sesuai dan bahan kimia yang cocok serta harus memperhatikan pH nya. Maka dari itu tujuan dilakukannya jartest antara lain :

- a. Mengevaluasi koagulan dan flokulan.
- b. Menentukan dosis bahan kimia.
- c. Mencari pH yang optimal.

4. Koagulasi

Koagulasi adalah proses pemisahan partikel koloid dengan cara penambahan senyawa kimia yang disebut koagulan. Koloid memiliki ukuran tertentu, karena memiliki muatan listrik maka gaya tarik-menarik antar partikel lebih kecil daripada gaya tolak-menolak. Pada kondisi stabil tersebut, penggumpalan partikel tidak dapat terjadi. Melalui proses koagulasi inilah dapat terjadi destabilisasi atau pemisahan partikel

sehingga partikel partikel-partikel koloid dapat bersatu dan membentuk gumpalan.

a. Mekanisme proses koagulasi

Proses koagulasi merupakan salah satu cara pengolahan air untuk mengurangi kontaminan yang ada di dalamnya. Koagulasi merupakan proses destabilisasi atau pemisahan muatan partikel koloid, *suspended solid*, serta padatan tidak mengendap, dengan ditambahkan koagulan dan dilakukan pengadukan cepat untuk menguraikan bahan kimia secara merata. Dalam suatu suspensi, koloid tidak mengendap (bersifat stabil) dan terpelihara ketika dalam keadaan terurai, karena memiliki gaya elektrostatis dari ionisasi bagian permukaan koloid serta adsorpsi ion-ion dari larutan sekitar. Koloid dibagi menjadi dua, yaitu koloid *hidrofilik* yang bersifat mudah larut dalam air (*soluble*) dan koloid *hidrofobik* yang bersifat sukar larut dalam air (*insoluble*). Dispersi atau penguraian koloid hidrofobik dapat terjadi secara fisik atau kimia dan tidak bisa terdispersi kembali secara spontan di dalam air.

Apabila koagulan ditambahkan ke dalam air, maka koagulan akan terdisosiasi menjadi ion. Ion logam akan mengalami hidrolisis menghasilkan ion kompleks logam hidroksida bermuatan positif. Komplek-komplek logam hidroksida tersebut merupakan ion-ion bermuatan sangat positif dan teradsorpsi pada permukaan koloid. Hal ini dapat menyebabkan reaksi di dalam air, antara lain :

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

Pengurangan potensial elektrositas yang terjadi dalam proses koagulasi bisa disebut dengan destabilisasi. Mekanisme proses destabilisasi ini terdiri dari beberapa langkah, yaitu :

- 1). Pengurangan muatan permukaan partikel dengan metode lapisan muatan ganda (*double-charge layer*).

Penambahan ion ke dalam air akan meningkatkan kekuatan ionik dan menurunkan gaya tolak. Dengan penambahan garam ke dalam air, muatan koloidal tidak dikurangi secara signifikan, tetapi hanya memperkecil jarak muatan dari partikel, sehingga lapisan ganda dapat berkurang.

- 2). Netralisasi muatan dengan adsorpsi ion yang berlawanan muatan.

Proses ini dilakukan dengan penambahan bahan kimia untuk proses destabilisasi. Penambahan ion yang muatannya berlawanan dengan ion koloid dapat menyebabkan netralisasi lapisan tunggal dari koloid. Netralisasi muatan terjadi saat koagulan ditambahkan secara berlebihan.

- 3). Penggabungan antar partikel dengan polimer.

Polimer-polimer yang mengandung situs aktif sepanjang rantainya dapat menyebabkan adsorpsi koloid. Koloid akan terikat pada beberapa situs sepanjang rantai polimer.

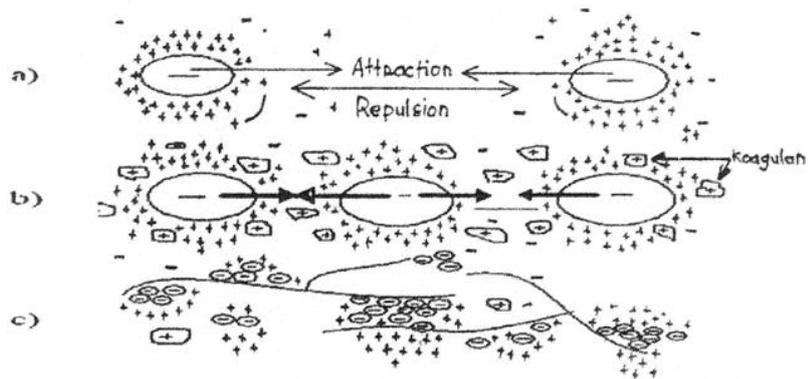
- 4). Penjebakan oleh flok

Saat koagulan ditambahkan ke dalam air, maka akan terbentuk flok yang akan mengendap. Koloid akan ikut terjebak dalam flok dan ikut mengendap. Untuk suspensi yang encer, laju koagulasi lebih rendah karena konsentrasi koloid yang rendah sehingga kontak antar partikel tidak memadai, bila digunakan dosis koagulan yang terlalu besar akan mengakibatkan restabilisasi koloid. Untuk mengatasi hal ini, agar konsentrasi koloid berada di titik dimana flok-flok dapat terbentuk dengan baik, maka dilakukan proses *recycle* sejumlah *settled sludge* sebelum atau sesudah *rapid mixing*

dilakukan. Tindakan ini dapat dilakukan untuk meningkatkan efektifitas pengolahan.

Proses koagulasi dalam air meliputi tiga tahap, yaitu : penambahan dan pencampuran koagulan, pemisahan antara partikel koloid atau disebut destabilisasi, dan benturan antar partikel yang sudah mengalami destabilisasi akibat gerakan molekul atau pengadukan.

Gambar 2.4 Mekanisme koagulasi



Sumber : Hammer 2000, dalam (Risdianto, 2007)

Keterangan :

- a) Gaya yang ditunjukkan oleh partikel koloid pada kondisi stabil.
- b) Destabilisasi partikel koloid oleh penambahan koagulan.
- c) Pembentukan flok-flok yang terikat membentuk benang panjang.

b. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi

Menurut Hammer, 2007 dalam (Sari, 2018) proses koagulasi dipengaruhi oleh berbagai macam faktor antara lain :

1). Dosis koagulan

Kebutuhan koagulan atau dosis koagulan pada proses koagulasi air keruh sangat bergantung pada jenis air keruhnya. Air dengan

tingkat kekeruhan tinggi membutuhkan dosis yang tepat agar pengendapan dapat berlangsung dengan baik. Dosis koagulan yang tepat akan mampu mengendapkan dan mengurangi partikel koloid yang menyebabkan kekeruhan pada air dengan maksimal. Penentuan dosis koagulan dengan metode *Jar Test* dapat digunakan untuk membantu menentukan dosis bahan kimia sebagai koagulan dalam proses koagulasi.

2). Kecepatan pengadukan

Pengadukan dalam koagulasi diutuhkan untuk menggabungkan koagulan dengan bahan organik dalam air, melarutkan koagulan, dan menggabungkan inti-inti endapan menjadi molekul yang lebih besar. Kecepatan pengadukan yang tepat sangatlah penting dalam proses koagulasi. Kurangnya kecepatan putaran dalam pengadukan akan menyebabkan koagulan sulit terdispersi dengan baik, dan sebaliknya apabila kecepatan pengadukan terlalu tinggi akan menyebabkan pecahnya flok-flok yang sudah terbentuk dan menjadi pengendapan tidak sempurna.

3). Derajat keasaman

Derajat keasaman (*power of hydrogen* atau pH) satuan besaran yang menyatakan sifat asam dan basa suatu larutan. Derajat keasaman (pH) mempengaruhi koagulasi air keruh. Karena derajat keasaman air keruh menentukan pemilihan koagulan yang akan digunakan dalam koagulasi. Pemilihan jenis koagulan yang tepat sesuai kondisi pH air keruh akan membantu proses koagulasi.

4). Waktu pengendapan

Pengandapan bertujuan untuk memisahkan benda terlarut atau tersuspensi pada air keruh. Pengendapan juga bertujuan untuk memisahkan lumpur yang terbentuk akibat penambahan bahan kimia (koagulan). Waktu pengendapan adalah waktu yang diperlukan untuk mengendapkan flok-flok yang terbentuk pada proses koagulasi.

5). Pengaruh kekeruhan

Kekeruhan adalah keadaan dimana sifat larutan yang mengandung zat tersuspensi di dalamnya. Semakin tinggi intensitas cahaya yang dihamburkan maka semakin tinggi kekeruhan dan sebaliknya. Dalam proses koagulasi, hal-hal yang perlu diperhatikan mengenai kekeruhan yaitu :

- a). Kebutuhan koagulan tergantung pada kekeruhan , tetapi penambahan koagulan tidak selalu berkorelasi linear terhadap kekeruhan.
- b). Ukuran partikel yang beragam jauh lebih mudah untuk dikoagulasi. Hal ini karena pusat aktif lebih mudah terbentuk pada partikel berukuran kecil, sementara partikel berukuran besar mempercepat pengendapan. Kombinasi dua partikel inilah yang mempermudah proses koagulasi.

6). Pengaruh jenis koagulan

Pemilihan koagulan disesuaikan dengan jenis koloid dalam air. Jenis koagulan biasanya memiliki kandungan ion yang berlawanan dengan muatan ion yang terdapat dalam air tersebut. Hal ini bertujuan untuk mengurangi daya tolak menolak antara sesama koloid sehingga terbentuk flok.

7). Pengaruh temperatur

Temperatur berkaitan dengan viskositas air, semakin tinggi suhu air maka semakin kecil viskositasnya. Viskositas ini akan berpengaruh pada pengendapan flok. Ini terjadi karena bertambahnya suhu akan meningkatkan gradien kecepatan sehingga flok akan terlarut kembali. Peningkatan suhu akan menyebabkan peningkatan dosis koagulan seperti alum pada pH netral. Spesies muatan positif Al menurun dengan peningkatan temperatur.

8). Pengaruh garam-garam di air

Garam mineral sangat dipengaruhi senyawa pembentuk konsentrasinya yang terdapat dalam air terlarut. Pengaruh yang disebabkan oleh garam di air adalah kemampuan untuk menggantikan ion hidroksinya pada senyawa kompleks hidroksi. Selain itu, garam mineral juga berpengaruh dalam menentukan pH dan dosis koagulan.

9). Komposisi kimia larutan

Air mengandung bermacam-macam koloid dan elektrolit pada keadaan air yang alami. Larutan elektrolit merupakan sistem yang kompleks dengan kandungan yang tidak mudah diinterpretasikan. Kompleks merupakan masalah koloid dan fenomena koagulasi menunjukkan bahwa setiap teori atau penelitian empiris dapat dengan mudah terjadi kesalahan atau pengecualian tertentu.

c. Macam-macam bahan koagulan

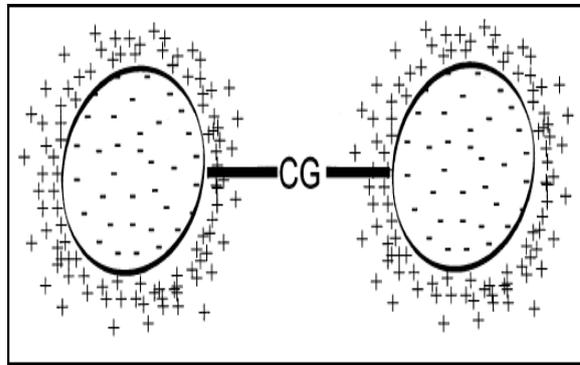
Koagulan adalah bahan kimia yang mampu menetralkan partikel koloid dan mampu mengikat partikel koloid tersebut menjadi gumpalan atau flok. Efektifitas dari kerja koagulan bergantung pada pH dan dosis dari pemakaian serta bergantung pula pada karakteristik air limbah yang diolah.

Koagulan adalah bahan kimia yang menyebabkan destabilisasi muatan negatif partikel dalam suspensi. Zat ini merupakan donor muatan positif yang digunakan untuk mendestabilisasi muatan negatif partikel.

Koagulasi didefinisikan sebagai proses destabilisasi muatan koloid padatan tersuspensi termasuk bakteri dan virus, dengan suatu bahan koagulan, sehingga akan terbentuk flok-flok halus yang dapat diendapkan. Pengadukan cepat (*flash mixing*) merupakan bagian penting dalam koagulasi. Pengadukan cepat bertujuan untuk mempercepat dan menyebarkan penyebaran zat kimia melalui air

yang diolah. Koagulan yang umum dipakai dalam proses koagulasi adalah Aluminium Sulfat, Feri Sulfat, Ferro Sulfate, dan PAC.

Gambar 2.5 Proses pengikatan partikel koloid oleh koagulan



Sumber : (Risdianto, 2007)

1). *Polyaluminium Chloride (PAC)*

PAC merupakan bentuk polimerisasi kondensasi dari garam Aluminium, berbentuk cair dan merupakan koagulan yang sangat baik. PAC memiliki daya koagulasi yang lebih besar daripada Alum dan dapat menghasilkan flok yang stabil walaupun pada suhu yang rendah dan pengerjaannya pun mudah (Alerts, 1984 : 56 dalam Sari, 2018).

Poly Aluminium Chloride adalah salah satu produk polimer Aluminium yang digunakan untuk mentralkan muatan koloid serta membentuk jembatan penghubung antara koloid-koloid tersebut, sehingga proses koagulasi-flokulasi dapat berlangsung secara efisien. Beberapa keunggulan yang dimiliki PAC dibanding koagulan lainnya adalah :

- a) PAC dapat bekerja di tingkat pH yang lebih luas, dengan begitu tidak diperlukan pengoreksian terhadap pH, kecuali bagi air atau limbah tertentu.
- b) Kandungan belerang dengan dosis cukup akan mengoksidasi senyawa karboksilat rantasi siklik membentuk alifatik dan

gugusan rantai hidrokarbon yang lebih pendek dan sederhana sehingga mudah untuk diikat membentuk flok.

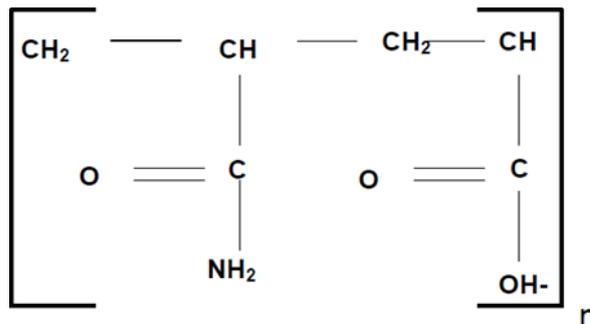
- c) Penggunaan PAC yang berlebihan tidak menyebabkan keruh, sementara koagulan lain (seperti Aluminium Sulfat, Besi Chloride, dan Ferro Sulfate) akan menyebabkan keruh apabila ditambahkan pada air yang memiliki kekeruhan rendah.
- d) Dalam penjernihan air, PAC dapat digunakan tanpa perlu adanya bahan pembantu. Ini dikarenakan PAC mengandung suatu polimer khusus yang memiliki struktur polielektrolit, hal inilah yang menjadi keunggulan PAC selain sederhana namun juga hemat.
- e) Pembentukan flok oleh PAC dapat berlangsung lebih cepat dikarenakan gugus aktif aluminat yang bekerja secara efektif dalam mengikat koloid dimana ikatan ini diperkuat dengan rantai polimer dari gugus polielektrolit sehingga gumpalan floknya menjadi lebih padat.

PAC adalah garam yang dibentuk dari Aluminium Chloride yang diperuntukkan untuk memberi daya penggumpalan dan pemadatan gumpalan pada proses koagulasi dan flokulasi, dimana gumpalan dan endapan yang dihasilkan lebih besar bila dibandingkan dengan garam-garam aluminium dan besi lainnya. PAC tidak membutuhkan koagulan aid (katalisator penggumpalan) sebagai bahan tambahan. Cukup menggunakan PAC saja gumpalan dan endapan yang dihasilkan dapat lebih maksimal. Selain itu, PAC dapat bekerja dalam jangkauan pH yang luas, keefektifan PAC berada pada pH 6-9. PAC dapat mengumpulkan zat-zat yang tersuspensi dalam air membentuk flok-flok (kepingan-kepingan gumpalan) yang akan mengendap dengan cepat dan membentuk sludge (lumpur endapan) yang dapat disaring dengan mudah.

2). *Polyacrylamide*

Polyacrylamide atau polimer *acrylamide* adalah polimer yang larut dalam air. Polimer ini digunakan sebagai flokulan dalam pengolahan air minum. *Polyacrylamide* merupakan anion yang paling sering digunakan. Pada umumnya bahan ini digunakan sebagai bahan tambahan setelah koagulan pertama, seperti tawas. *Polyacrylamide* digunakan untuk membuat flok lebih besar dan cepat mengendap karena mempunyai berat molekul yang tinggi (Ariffin, 2012 dalam Anggarani et al., 2015). dalam pengolahan air minum, penggunaan *polyacrylamide* harus dikontrol karena *polyacrylamide* ini bersifat karsinogenik. Dosis maksimum yang digunakan adalah dibawah 1mg/L. Gambar 2.5 merupakan struktur molekul dari *polyacrylamide*.

Gambar 2.6 Struktur *Polyacrylamide*

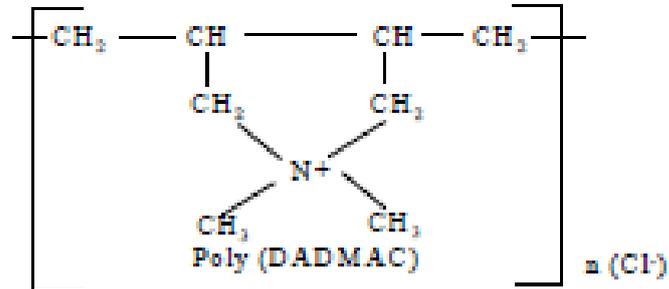


Sumber : Leopold, 2009 dalam (Anggarani et al., 2015)

3). *PolyDADMAC (Superfloc)*

Poly diallyl dimethyl ammonium chloride atau *PolyDADMAC* merupakan polielektrolit dengan jenis muatan positif (kation). *PolyDADMAC* memiliki rumus molekul yang dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut.

Gambar 2.7 Struktur *PolyDADMAC*



Sumber : Leopold, 2009 dalam (Anggarani et al., 2015)

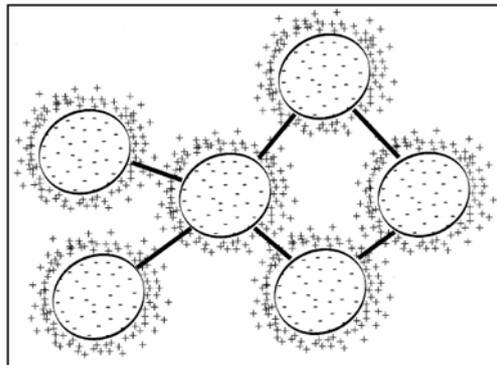
PolyDADMAC merupakan penyusun dari bahan flokulan, yaitu *superfloc*. *PolyDADMAC* merupakan polimer yang memiliki densitas muatan yang tinggi, sehingga dapat menggabungkan partikel tersuspensi menjadi efektif dalam proses flokulasi, menghilangkan warna, membunuh alga dan menghilangkan organik seperti humus (Mwangi, 2013 dalam Anggarani et al., 2015). Keuntungan menggunakan polimer ini yaitu mempunyai muatan positif yang besar dan *pH – insensitive* (Tripathy, 2006 dalam Anggarani et al., 2015). Penggunaan *PolyDADMAC* harus dengan dosis yang sangat rendah, yaitu kurang dari 1 mg/L karena dapat bereaksi dengan klorin memproduksi air yang memiliki kandungan karsinogenik.

5. Flokulasi

Flokulasi adalah proses pembentukan flok, yang pada dasarnya merupakan pengelompokan/aglomerasi antar partikel dengan koagulan (menggunakan proses pengadukan lambat atau *slow mixing*). Pada proses flokulasi terjadi penggabungan beberapa partikel menjadi flok berukuran besar. Partikel yang berukuran besar akan mudah untuk diendapkan (Risdianto, 2007).

Flokulasi adalah proses lambat yang bergerak secara terus-menerus selama partikel-partikel tersuspensi bercampur dalam air, sehingga partikel menjadi lebih besar dan bergerak menuju proses sedimentasi. Dasar dari flokulasi adalah untuk mengendapkan flok-flok dengan penambahan flokulan. Flokulasi merupakan suatu tahap kombinasi antara pencampuran dan pengadukan atau agitasi yang menghasilkan agregasi yang akan mengendap setelah penambahan flokulan. Flokulasi adalah proses fisika dimana air yang terpolusi diaduk untuk meningkatkan tumbukan interpartikel yang dapat memacu pembentukan partikel-partikel yang lebih besar dalam waktu 1-2 jam sehingga partikel-partikel tersebut dapat mengendap.

Gambar 2.8 Proses pengikatan partikel koloid oleh flokulan



Sumber : (Risdianto, 2007)

Proses flokulasi bertujuan untuk mempercepat penggabungan flok-flok yang terbentuk dalam proses koagulasi. Partikel-partikel yang telah distabilkan kemudian saling bertumbukan dan tarik-menarik membentuk flok yang ukurannya makin lama makin membesar serta mudah mengendap. Gradien kecepatan merupakan faktor penting dalam desain bak flokulasi. Jika nilai gradien terlalu besar maka gaya geser yang timbul dapat mencegah pembentukan flok, sebaliknya jika gaya gradien terlalu rendah maka proses penggabungan antar partikel tidak akan terjadi dan akan sulit menghasilkan flok yang besar dan mudah mengendap. Nilai

gradient kecepatan proses flokulasi dianjurkan berkisar antara 90/detik hingga 30/detik.

Proses flokulasi merupakan proses pembentukan bongkahan dari partikel yang tidak bermuatan seketika mereka berdekatan atau mengalami kontak satu sama lain melalui pengadukan lambat atau agitasi (pergolakan) secara perlahan-lahan pada kumpulan partikel yang terdestabilisasi. Proses ini akan menghasilkan flok-flok yang akan diam dan tersaring keluar pada perlakuan lebih lanjut. Pembentukan flok akan ideal pada proses pengadukan secara perlahan-lahan antara 2-3 rpm. Partikel-partikel yang halus akan saling berbenturan dan saling mengikat, sehingga menjadi bongkahan yang lebih besar. Pengadukan yang terlalu cepat dapat memecahkan bongkahan. Prinsip dasar dari proses flokulasi adalah *mixing* (pencampuran) yang dalam hal ini berarti mencampurkan bahan koagulan dengan bahan cair atau limbah cair sehingga terbentuk suatu sistem yang berfase tunggal atau muti fase yang homogen.

Secara spesifik, proses flokulasi dapat terbagi menjadi 3 langkah :

- a. Pelarutan reagen melalui pengadukan cepat (sekitar 1 menit, 100rpm).
- b. Pengadukan lambat untuk membentuk flok-flok (sekitar 15 menit, 20rpm).
- c. Proses sedimentasi (15-20 menit).

6. Sedimentasi

a. Definisi

Sedimentasi adalah salah satu proses pemisahan campuran padatan dan cairan (*slurry*) menjadi cairan bening dan *sludge* (*slurry* yang memiliki konsentrasi lebih pekat). Sedimentasi merupakan proses pemisahan suspensi secara mekanik menjadi dua bagian, yaitu *slurry* dan supernatant. *Slurry* adalah bagian yang memiliki konsentrasi partikel lebih paling besar, dan supernatant adalah bagian cairan yang bening, yang keduanya terjadi pada suhu seragam untuk mencegah pergeseran fluida yang diakibatkan karena konvensi. Proses

sedimentasi memanfaatkan adanya gaya gravitasi, yaitu dengan mendiamkan suspensi hingga membentuk endapan yang terpisah dari beningan (Foust, 1980). Beberapa pengertian mengenai sedimentasi yaitu :

- 1). Sedimentasi adalah pemisahan *solid-liquid* dengan pengendapan secara gravitasi untuk menyisahkan *suspended solid*.
- 2). Sedimentasi adalah proses pemisahan campuran padatan dan cairan (*slurry*) menjadi cairan berupa beningan dan *sludge* (*slurry* yang konsentrasinya lebih pekat).
- 3). Sedimentasi adalah proses pengendapan zat padat tersuspensi non koloidal dalam air yang dilakukan dengan memanfaatkan adanya gaya gravitasi.

Pada umumnya, sedimentasi digunakan untuk pengolahan air minum, pengolahan air limbah, dan pengolahan air limbah tingkat lanjutan. Sedimentasi biasanya dilakukan setelah proses koagulasi-flokulasi, untuk memperbesar partikel flok sehingga flok menjadi lebih berat dan dapat turun dan tenggelam dibawah dalam waktu lebih cepat.

Sedimentasi dapat dilakukan pada awal maupun akhir dari unit sistem pengolahan. Jika kekeruhan *influent* tinggi, maka dilakukan proses sedimentasi awal (*primary sedimentation*) yang diawali dengan proses koagulasi flokulasi, yang dengan demikian beban pada *treatment* berikutnya akan berkurang. *Secondary treatment* yang terletak di akhir proses pengolahan bertujuan untuk memisahkan lumpur yang terkumpul dari proses sebelumnya, dimana lumpur tersebut akan dipompa ke unit pengolahan lumpur tersendiri. Kecepatan pengendapan partikel di air bergantung pada berat jenis, bentuk dan ukuran partikel, viskositas air dan kecepatan aliran bak pengendap.

b. Jenis-jenis sedimentasi

1). Sedimentasi Fluvial

Sedimentasi fluvial yaitu jenis sedimentasi yang terjadi karena pengendapan hasil erosi di sungai. Hasil pengendapan di sungai dapat berupa batu, kerikil, pasir, dan lumpur yang menutupi air sungai. Hasil sedimentasi fluvial ini biasanya dimanfaatkan untuk bahan bangunan dan pengaspalan jalan.

2). Sedimentasi Limnis

Sedimentasi limnis yaitu jenis sedimentasi yang merupakan hasil pengendapan erosi yang terjadi di danau. Hasil sedimentasi limnis berupa delta, lapisan batu kerikil, pasir, dan lumpur.

3). Sedimen Marin

Sedimentasi marin yaitu suatu pengendapan hasil erosi terbanyak yang terjadi di laut. Salah satu bentuk sedimentasi marin adalah gunduk pasir (*sand dunes*). Gunduk pasir berasal dari pasir yang terangkat ke udara saat ombak terpecah di pantai yang landai. Selanjutnya pasir terbawa ke darat dan terendapkan membentuk timbunan pasir.

c. Fungsi sedimentasi

Secara keseluruhan, fungsi dari proses sedimentasi yaitu :

- 1). Mengurangi beban kerja unit filtrasi sehingga dapat memperpanjang umur pemakaian unit penyaring selanjutnya.
- 2). Mengurangi biaya yang diperlukan untuk operasi instalasi pengolahan.
- 3). Memisahkan partikel utuh (partikel diskrit) seperti pasir dan untuk memisahkan padatan melayang (suspensi) yang telah menggumpal.

Pada pengolahan air minum, penerapan sedimentasi khususnya untuk :

- 1). Pengendapan air permukaan, khususnya untuk pengolahan dengan sistem filter pasir cepat.

- 2). Pengendapan flok hasil koagulasi flokulasi, sebelum disaring dengan filter pasir cepat.
- 3). Pengendapan flok hasil penurunan kesadahan dengan menggunakan soda-kapur.
- 4). Pengendapan lumpur pada penyisihan besi dan mangan.

Pada pengolahan air limbah, penerapan sedimentasi digunakan untuk :

- 1). Penyisihan grit, pasir, dan silt (lanau).
- 2). Penyisihan padatan tersuspensi pada *clarifier* pertama.
- 3). Penyisihan flok/lumpur biologis hasil proses *activated sludge* pada *clarifier* akhir.
- 4). Penyisihan humus pada *clarifier* akhir setelah trickling filter.

Pada pengolahan air limbah tingkat lanjutan, sedimentasi bertujuan untuk menyisahkan lumpur setelah koagulasi dan sebelum proses filtrasi. Prinsip sedimentasi juga digunakan dalam pengendalian partikel udara. Prinsip sedimentasi pada pengolahan air minum dan air limbah adalah sama, baik metode dan peralatannya.

d. Faktor yang mempengaruhi kecepatan sedimentasi

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan proses sedimentasi yaitu :

- 1). Ukuran partikel, bentuk partikel, dan konsentrasi partikel. Dimana semakin besar ukuran, bentuk, dan konsentrasi partikel maka semakin banyak yang terendapkan.
- 2). Viskositas cairan, dimana viskositas cairan berpengaruh pada kecepatan sedimentasi. Viskositas dapat mempercepat proses sedimentasi dengan cara memperlambat cairan agar partikel tidak lagi tersuspensi.

- 3). Temperatur, jika temperatur turun maka laju pengendapan akan berkurang. Akibatnya waktu tinggal di kolam sedimentasi akan bertambah.
- 4). Berat jenis partikel

e. Proses sedimentasi

Proses sedimentasi secara umum diartikan sebagai proses pengendapan akibat adanya gaya gravitasi, dimana partikel yang memiliki berat jenis lebih berat dari berat jenis air akan turun kebawah menjadi endapan dan partikel yang memiliki berat jenis lebih rendah dari berat jenis air akan mengapung, kecepatan pengendapan partikel akan berubah seiring dengan bertambahnya ukuran partikel dan berat jenisnya. Pengendapan kandungan zat padat dalam air diogolongkan menjadi pengendapan diskrit (kelas 1), pengendapan flokulen (kelas 2), pengendapan zone, dan pengendapan kompresi/tertekan (*Martin D, 2001; Peavy, 1985; Reynolds, 1977* dalam (Arifiani & Hadiwidodo, 2007)).

Air tidak jernih umumnya mengandung residu, dimana residu tersebut dapat dihilangkan dengan proses penyaringan (filtrasi) dan pengendapan (sedimentasi). Dalam mempercepat proses penghilangan residu diperlukan penambahan koagulan, koagulan yang umum digunakan adalah tawas (alum). Untuk memaksimalkan proses penghilangan residu, koagulan sebaiknya dilarutkan dalam air terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam tangki pengendapan.

Proses sedimentasi dilakukan dalam sebuah tangki dimana tangki tersebut memiliki fungsi mengendapkan kotoran-kotoran berupa pasir dan lumpur. Pada tangki sedimentasi memiliki waktu tinggal, dan pada tangki sedimentasi diinjeksikan klorin yang memiliki fungsi sebagai oksidator dan desinfektan, dimana klorin berguna untuk menghilangkan bau dan rasa pada air.

Mekanisme proses sedimentasi secara umum adalah sebagai berikut :

- 1). Pengendapan partikel flokulen berlangsung secara gravitasi.
- 2). Flok yang dihasilkan pada proses koagulasi-flokulasi memiliki ukuran yang semakin besar, dimana hal ini dapat meningkatkan kecepatan pengendapan.
- 3). Untuk menghindari pecahnya flok yang telah terbentuk, maka aliran air dalam bak pengendapan harus laminar. Untuk tujuan ini digunakan indikator bilangan Reynold (NRe) dan bilangan Froude (NFr).
- 4). Aliran air yang masuk pada inlet diatur supaya tidak mengganggu pengendapan. Biasanya dengan cara memasang *diffuser wall* atau *perforated baffle* untuk meratakan aliran ke bak pengendap dengan kecepatan rendah. Diusahakan agar inlet bak langsung menerima air dari outlet bak flokulator.
- 5). Air yang keluar melalui outlet diatur agar tidak mengganggu flok yang telah mengendap. Biasanya dibuat pelimpah (weir) dengan tinggi air diatas weir yang cukup tipis (1,5 cm).

7. Filtrasi

a. Definisi

Filtrasi adalah pengolahan limbah secara fisika dengan prinsip pemisahan bahan cemar dalam air limbah menggunakan teknik penyaringan (Rahmah and Mulasari, 2016). Filtrasi adalah suatu proses penyaringan yang bertujuan memisahkan zat padat tersuspensi dalam air atau air limbah menggunakan media berpori. Proses dari filtrasi yaitu berupa pemisahan liquid-liquid dengan cara melewatkan liquid tersebut pada media atau bahan-bahan yang berpori untuk menyisihkan sebanyak-banyaknya zat padat tersuspensi dari liquid tersebut.

b. Prinsip Kerja Filtrasi

Prinsip kerja filtrasi terbagi menjadi 2, yaitu :

- 1). Filtrasi dengan aliran vertikal, yaitu dilakukan dengan pembagian air limbah ke dalam beberapa bak atau *filter bed* secara bergantian. Air atau air limbah akan melewati media filter secara vertikal, karena dilakukan secara bergantian maka memerlukan operator untuk pengaturan kelp (*dosing*). Proses yang terjadi pada filtrasi ini cenderung anaerobik.
- 2). Filtrasi dengan aliran horizontal, yaitu air atau air limbah melewati media filter secara horizontal. Filtrasi ini memiliki prinsip kerja yang berbeda, dimana media filtrasi horizontal secara pemanen terendam oleh air atau air limbah yang melewati media tersebut. Proses yang terjadi pada filtrasi ini yaitu sebagian aerobik dan sebagian anaerobik.

c. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Filtrasi

1). Debit filtrasi

Pada proses filtrasi, debit air yang terlalu besar dapat menyebabkan kurang berfungsinya media filter secara efisien. Air yang melewati media filter terlalu cepat akan mengurangi waktu kontak antara air dan media filter sehingga proses filtrasi tidak berlangsung sempurna. Selain itu, aliran air yang terlalu cepat juga dapat menyebabkan partikel-partikel halus yang tersaring akan lolos.

2). Konsentrasi kekeruhan

Efisiensi filtrasi sangat dipengaruhi oleh konsentrasi kekeruhan. Air yang memiliki konsentrasi kekeruhan sangat tinggi dapat menyebabkan tersumbatnya lubang pori dari media penyaring atau dapat disebut *clogging*. Karena hal tersebut, maka sering dibatasi seberapa besar tingkat konsentrasi kekeruhan suatu air baku (influen) yang diperbolehkan masuk kedalam proses filtrasi. Jika suatu air baku memiliki konsentrasi kekeruhan sangat tinggi, maka

dapat dilakukan pengolahan terlebih dahulu untuk menurunkan tingkat kekeruhannya, seperti dengan cara koagulasi flokulasi dan sedimentasi.

3). Kedalaman media, ukuran, dan material

Tebal tipisnya media penyaring mempengaruhi lamanya pengaliran dan daya saring. Media yang tebal biasanya memiliki daya saring yang tinggi, namun membutuhkan waktu penyaringan yang lama. Sebaliknya, media penyaring yang tipis memiliki daya saring yang rendah namun waktu penyaringan yang singkat. Ukuran besar kecilnya diameter butiran media baik itu komposisinya, proporsinya, maupun bentuk susunan dari diameter butiran media filtrasi dapat mempengaruhi porositas, laju filtrasi, dan kemampuan daya saring.

Keadaan media penyaring yang kasar atau halus menimbulkan variasi ukuran rongga antar butiran. Ukuran pori media penyaring mempengaruhi porositas dan kemampuan menyaring partikel halus yang ada dalam air baku. Lubang pori yang terlalu besar dapat menyebabkan lolosnya partikel halus yang akan disaring, sebaliknya lubang pori yang terlalu halus akan meningkatkan kemampuan menyaring partikel namun dapat pula menjadi penyebab terjadinya *clogging* (penyumbatan lubang pori oleh partikel halus yang tertahan).

d. Media Filtrasi

Salah satu komponen penting dalam pengolahan air dengan metode filtrasi adalah media penyaring atau media filter air. Ada beberapa jenis media filter air yang sering digunakan seperti zeolite, kerikil, pasir aktif, dan juga karbon aktif. Bahan-bahan tersebut memiliki kelebihan masing-masing dalam menurunkan kadar pencemar dalam air.

1). Kerikil

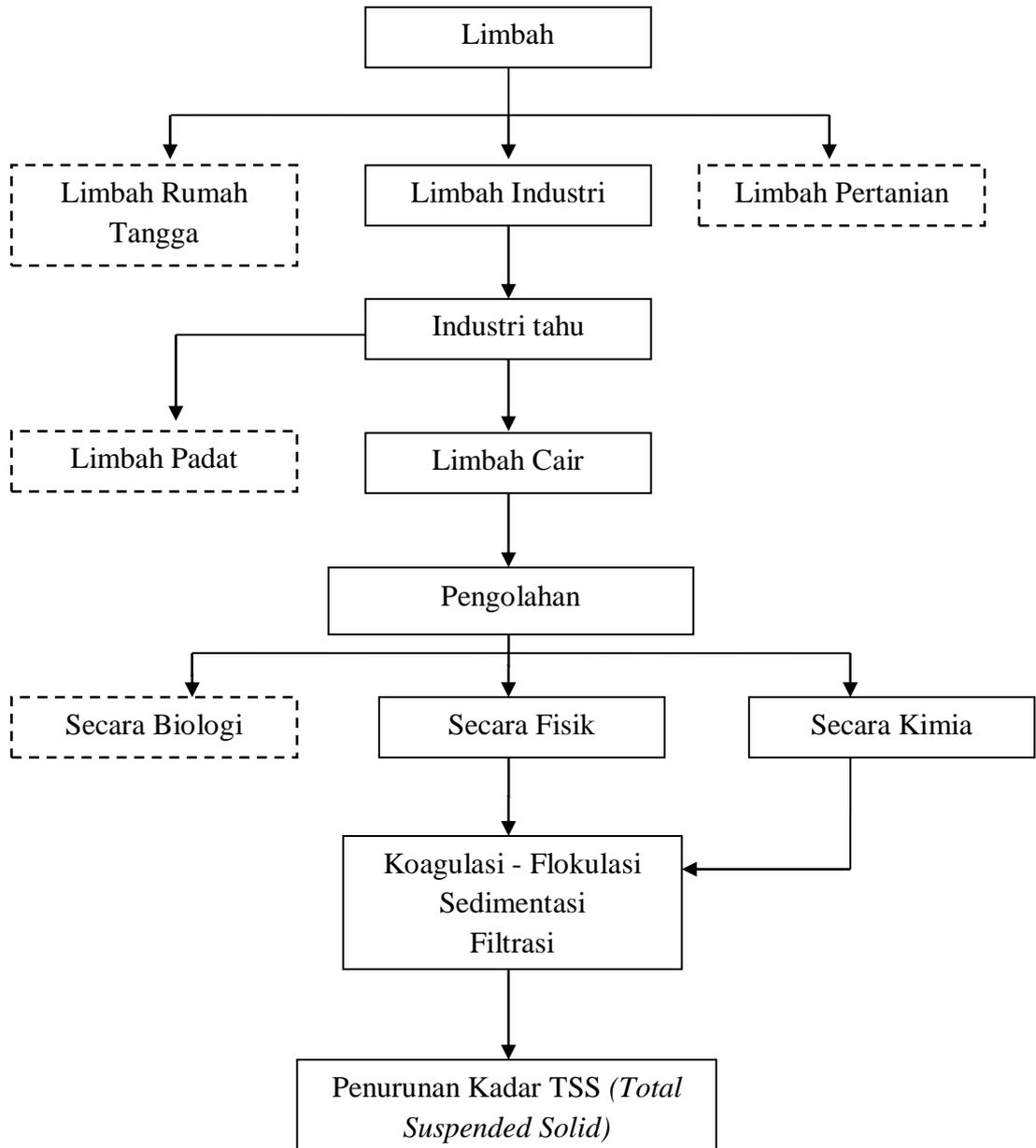
Dalam proses filtrasi, kerikil berfungsi sebagai media penyangga, diameter kerikil yang digunakan biasanya antara 1 - 2,5 cm. Batuan kerikil memiliki bentuk yang tidak beraturan namun ukurannya dapat disamakan melalui proses pengayakan analisa kerikil. Di Indonesia, pembagaian fradasi kerikil sesuai dengan lubang ayakan yang terdiri dari 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, 40 mm.

2). Ijuk

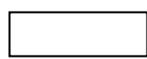
Ijuk berfungsi sebagai penyaring kotoran yang ukurannya lebih besar. Ijuk digunakan karena memiliki kelenturan sekaligus kepadatan sehingga mudah menyaring kotoran besar pada air.

C. Kerangka Teori

Gambar 2.9 Kerangka Teori



Keterangan :



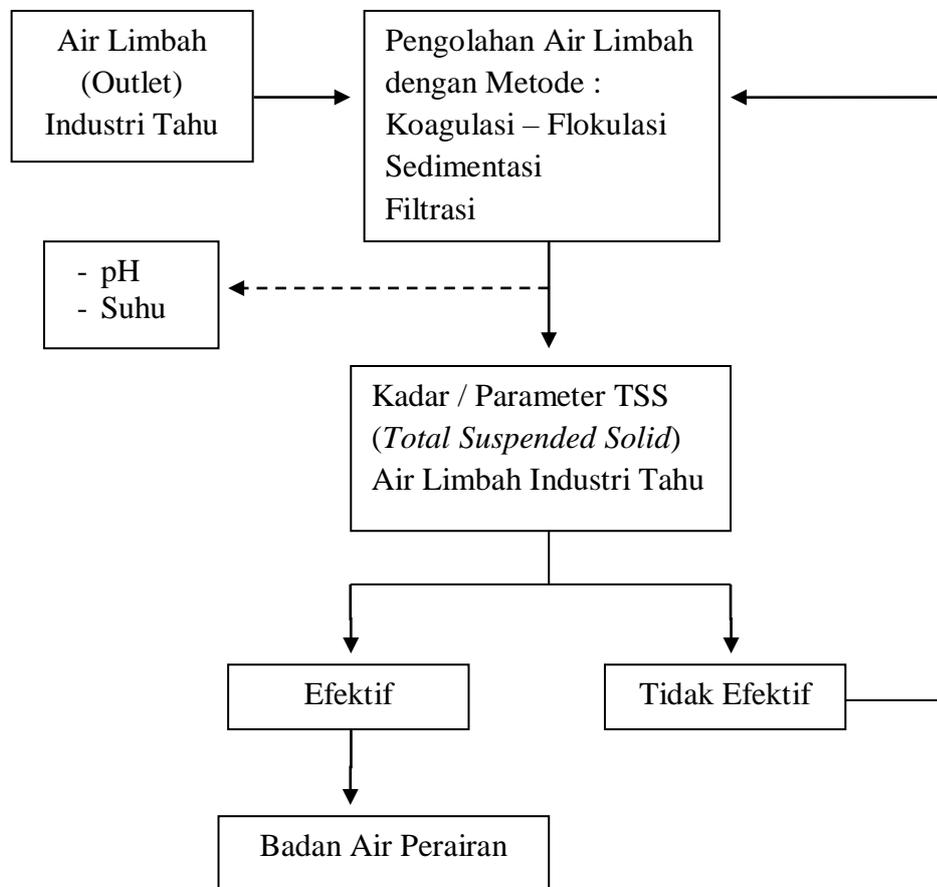
: Diteliti



: Tidak diteliti

D. Kerangka Konsep

Gambar 2.10 Kerangka Konsep



Keterangan :

—————> : Diteliti

- - - - -> : Tidak diteliti