

Pengolahan Air Limbah dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Industri Kimia

Salsabila Fitria Ekoputri¹, Aulia Rahmatunnissa¹, Fadia Nulfaidah¹, Yuki Ratnasari¹,
Mohammad Djaeni², Dessy Agustina Sari^{1*}

¹Program Studi Teknik Kimia Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang – Jawa Barat

²Departemen Teknik Kimia Universitas Diponegoro, Semarang – Jawa Tengah

*Koresponden email: dessy.agustina8@ft.unsika.ac.id

Diterima: 11 Desember 2023

Disetujui: 16 Desember 2023

Abstract

Utilities are one of the supporting processes in a factory, consisting of units providing water, steam, electricity, fuel procurement, compressed air, and wastewater treatment. Wastewater from industrial processes contains: toxic pollutants, organic and inorganic materials, also other industrial materials are toxic, mutagenic, and carcinogenic, so treatment is needed to overcome this. Wastewater treatment can use coagulation and flocculation methods. Coagulation is the process of adding chemicals to the water that causes the separation of particles to destabilize the particles and allow them to adhere to other particles (to remove) in the following process. Factors that can affect the success of the coagulation process include the type of coagulant used, coagulant dose, moving process, and pH. Meanwhile, flocculation removes water turbidity by collecting small particles into larger particles with the addition of chemical flocculants. The flocculants are divided into two, perikinetic flocculation and optokinetic flocculation. This article aims to determine the effectiveness of wastewater treatment in the chemical industry using the coagulation-flocculation method. The coagulation-flocculation process can reduce pollution of the aquatic environment so as not to aggravate cases of environmental pollution.

Keywords: *coagulation, flocculation, utility, wastewater treatment*

Abstrak

Utilitas merupakan salah satu penunjang suatu proses dalam pabrik yang biasanya terdiri dari penyediaan air, listrik, *steam*, pengadaan bahan bakar, udara bertekanan, dan pengolahan air limbah. Air limbah hasil dari proses industri mengandung polutan beracun, bahan organik dan anorganik, dan bahan industri lainnya yang bersifat toksik mutagenik, karsinogenik sehingga diperlukan sebuah proses pengolahan untuk mengatasi hal tersebut. Pengolahan air limbah dapat menggunakan metode koagulasi dan flokulasi. Koagulasi adalah proses penambahan bahan kimia ke dalam air yang menyebabkan pemisahan partikel dengan tujuan untuk mendestabilisasi partikel dan memungkinkan partikel tersebut melekat pada partikel lain sehingga dapat dihilangkan pada proses selanjutnya. Faktor yang dapat mempengaruhi keberhasilan koagulasi yaitu jenis koagulan, dosis koagulan, proses pengadukan dan pH. Sementara itu, flokulasi adalah penyisihan kekeruhan air dengan cara pengumpulan partikel kecil menjadi partikel yang lebih besar dengan penambahan flokulan kimia. Flokulan terbagi dua jenis yaitu flokulasi perikinetik dan flokulasi ortokinetik. Artikel ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas pengolahan air limbah pada industri kimia dengan menggunakan metode koagulasi flokulasi. Pengolahan air limbah menggunakan metode koagulasi flokulasi dapat mengurangi pencemaran lingkungan perairan sehingga tidak memperparah kasus pencemaran lingkungan.

Kata Kunci: *flokulasi, koagulasi, pengolahan air limbah, utilitas*

1. Pendahuluan

Pabrik kimia merupakan bagian dari industri proses kimia yang mengolah bahan baku menjadi suatu hasil atau produk dengan menggunakan proses kimia. Utilitas merupakan hal penting dalam menunjang keberlangsungan suatu proses dalam sebuah pabrik. Utilitas bertanggung jawab dalam menyediakan daya, panas, dan listrik untuk menunjang proses industri [1]. Sistem dalam utilitas industri dihasilkan oleh boiler, generator dan turbin uap [2]. Beberapa jenis utilitas yang umumnya hampir kita temukan pada pabrik kimia yaitu penyediaan air (air proses, air umpan boiler, air sanitasi, air pendingin dan air untuk perumahan dan perkantoran), listrik, *steam*, pengadaan bahan bakar udara bertekanan, dan pengolahan air limbah.

Pabrik kimia memiliki dampak yang sangat berpengaruh bagi lingkungan, seperti limbah yang dihasilkan dari suatu proses di pabrik kimia. Berdasarkan keputusan Menperindag RI Nomor:

231/MPP/Kep/7/1997 Pasal 1 tentang Prosedur Impor Limbah, menyatakan bahwa limbah adalah bahan/barang sisa atau bekas dari suatu kegiatan atau proses produksi yang fungsinya sudah berubah dari aslinya, kecuali yang dapat dimakan oleh manusia dan hewan. Limbah dapat dibagi menjadi empat jenis berdasarkan bentuk dan wujudnya yaitu limbah padat, limbah gas, limbah suara dan limbah air.

Limbah padat adalah sisa hasil kegiatan industri pabrik yang berbentuk padat meliputi katalis bekas yang sudah tidak terpakai dan sampah domestik yang berasal dari pabrik atau kantor. Limbah padat dapat didaur ulang dan atau dimanfaatkan kembali hingga memiliki nilai ekonomis. Limbah gas adalah limbah yang memanfaatkan udara sebagai media. Penambahan gas ke udara yang melampaui kandungan udara tentunya akan menurunkan kualitas udara sehingga dapat mencemari udara dan mengganggu kesehatan masyarakat. Limbah gas yang dapat ditemui di pabrik seperti asap, partikel, uap dan debu dari hasil proses dan pembakaran. Limbah suara yaitu jenis limbah yang berupa gelombang bunyi yang merambat di udara. Limbah suara biasanya berasal dari mesin atau alat pada proses kimia, peralatan elektronik, peralatan konstruksi dan sumber-sumber lainnya.

Limbah cair merupakan sisa hasil buangan aktivitas pabrik berupa cairan atau bahan buangan lainnya yang tersuspensi atau terlarut dalam air, seperti bocoran-bocoran zat reaktan dan produk dari alat-alat, oli bekas yang sudah tidak digunakan, air domestik, air yang telah ditambah bahan kimia tertentu. Air limbah hasil dari proses industri ini umumnya memiliki karakter yang berbeda, kemungkinan ada yang mengandung polutan beracun. Selain itu, bahan kimia yang berasal dari industri biasanya mengandung bahan organik dan anorganik dengan konsentrasi yang berbeda-beda. Banyak bahan dalam industri kimia bersifat toksik, mutagenik, karsinogenik atau hampir tidak dapat terurai secara hayati. Maka sebab itu, diperlukan instalasi pengolahan air limbah yang dapat memisahkan dan memecah zat berbahaya yang terkandung dalam air limbah tersebut. Instalasi pengolahan air limbah memiliki peran penting dalam mengurangi pencemaran di lingkungan perairan, dengan cara mengurangi konsentrasi polutan dalam air limbah dan sumber polusi lainnya melalui suatu proses pengolahan sebagai bentuk penanganan [3].

Proses pengolahan limbah di industri kimia dapat dilakukan dengan banyak cara salah satunya adalah dengan menggunakan metode koagulasi flokulasi yang biasanya diikuti dengan proses sedimentasi, filtrasi, dan desinfeksi pada tahap primer, lalu dilanjutkan dengan klorinasi. Metode ini banyak digunakan dalam melakukan pengolahan air sebelum akhirnya didistribusikan ke konsumen [4] [5]. Tujuan dari ulasan artikel ini, yaitu membahas mengenai pengolahan air limbah dengan sistem pengolahan kimia menggunakan metode flokulasi dan koagulasi.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada artikel ulasan ini dengan menggunakan studi literatur dari berbagai sumber yang berkaitan dengan pengolahan air limbah. Kriteria dalam pemilihan artikel atau sumber yang digunakan adalah buku, artikel dan jurnal yang membahas utilitas, pengolahan air limbah, koagulasi dan flokulasi. Teknik studi pustaka menggunakan pencarian sumber atau literatur dalam bentuk data primer berupa jurnal nasional maupun jurnal internasional 10 tahun terakhir (2012 – 2022). Bahan yang digunakan dalam penyusunan *review* ini sebanyak 34 buah artikel dengan menggunakan kata kunci pengolahan air limbah, metode koagulasi dan flokulasi di industri kimia. Penyusunan manuskrip ini melibatkan peran media *online* seperti: Google dan situs jurnal (Science Direct, Elsevier, Google Scholar), buku, serta pendukung lainnya.

3. Hasil dan Pembahasan

Keberadaan kegiatan industri tidak hanya memberikan dampak positif, melainkan dapat menimbulkan dampak negatif seperti limbah atau residu dari suatu industri. Pengolahan limbah dilakukan untuk mengurangi dampak dari limbah industri terhadap lingkungan. Pengolahan limbah harus disesuaikan menurut jenis dan karakteristiknya. Limbah industri memiliki beberapa macam jenis, diantaranya dapat berupa zat padat, gas, atau cair. Masing-masing dari jenis limbah tersebut memiliki metode pengelolaan dan pembuangan yang berbeda-beda. Dalam pengelolaannya, limbah industri berkaitan dengan limbah di berbagai sektor, seperti industri, biologis, rumah tangga, sebelum, selama atau setelah produksi, bahkan setelah digunakan oleh konsumen. Pada umumnya, limbah dihasilkan oleh aktivitas manusia seperti ekstraksi dan pengolahan bahan baku [6], [7].

Pengolahan Air Limbah

Pada umumnya air limbah merupakan salah satu masalah yang disebabkan oleh karakteristik fisika, kimia maupun biologis. Sifat pertama meliputi suhu, warna, bau dan kekeruhan. Suhu air limbah lebih tinggi dibandingkan dengan suhu air minum. Hal ini disebabkan karena adanya aktivitas mikroba, kelarutan gas dan viskositas dari air limbah tersebut. Berbeda dengan air bersih atau air minum, air limbah memiliki

warna keabuan, sedangkan air limbah septik berwarna abu-abu tua hingga hitam. Kemudian, air limbah memiliki perbedaan bau tergantung jenisnya. Contohnya air limbah segar cenderung memiliki bau berminyak dan menyengat di hidung. Limbah septik memiliki bau busuk yang diakibatkan oleh gas hidrat dan produk sampingnya dari proses dekomposisi. Air limbah industri memiliki bau yang khas dari limbah bahan kimia. Kekeuhan air limbah disebabkan oleh berbagai macam padatan yang tersuspensi. Semakin pekat warna dan tekstur air limbah maka semakin besar kekeuhan yang terjadi [8].

Karakteristik kimia dari air limbah diantaranya total solid, *organic matter* (*Biochemical Oxygen Demand* - BOD, *Chemical Oxygen Demand* - COD, *total organic carbon*), total nitrogen (*organic nitrogen*, amonia, nitrat, nitrit), total phosphorus (organik dan anorganik phosphorus), pH dan kebasaaan [8-10]. Karakteristik biologis dari air limbah yang memiliki peranan penting di dalamnya adalah organisme seperti bakteri, archaea, protozoa, jamur, virus dan helminths [8].

Setiap industri memiliki persyaratan dalam pengolahan air untuk mendapatkan air yang berkualitas tinggi, serta untuk keperluan yang menuntut seperti air umpan boiler atau sintesis kimia murni. Pada proses pengolahan air, biasanya akan menghasilkan lumpur organik dan mineral dari sedimentasi dan filtrasi [6]. Pengolahan air limbah industri umumnya berkaitan dengan proses untuk mengolah limbah cair dari produk sampingan pada suatu proses industri. Proses fisikokimia sangat penting dalam pengolahan air limbah salah satunya yaitu proses koagulasi dan flokulasi [11]. Proses ini merupakan suatu metode yang efektif untuk pengolahan air limbah baik dalam skala besar maupun kecil [12]. Metode ini bertujuan untuk mengurangi kekeuhan dengan cara mengumpalkan partikel halus dan koloid menjadi partikel yang lebih besar [13]. Koagulasi dan flokulasi digunakan untuk memisahkan bagian padatan tersuspensi dari air. Partikel tersuspensi bervariasi dalam sumber, muatan, ukuran, bentuk, dan kerapatan partikel [14].

Koagulasi

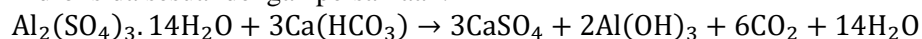
Koagulasi adalah proses terjadinya destabilisasi suspensi atau suatu larutan koloid tertentu. Peranan adalah untuk mengatasi peningkatan stabilitas suatu sistem dengan penggunaan bahan kimia yang sesuai (umumnya dikenal sebagai agen koagulan). Pada proses koagulasi dilakukan *flash mixing* atau proses pengadukan cepat yang bertujuan untuk mempercepat dan menyeragamkan penyebaran zat kimia melalui air yang diolah. Sehingga proses koagulasi dapat berjalan dengan waktu yang sangat singkat.

Koagulasi adalah proses penambahan bahan kimia ke dalam air yang menyebabkan pemisahan partikel. Partikel dalam sumber air berada dalam kondisi stabil. Tujuan penerapan proses koagulasi adalah untuk mendestabilisasi partikel dan memungkinkan partikel tersebut melekat pada partikel lain sehingga dapat dihilangkan pada proses selanjutnya. Selain itu, koagulan juga berfungsi sebagai media penggumpal bahan pada air limbah dan terbentuklah flok yang kemudian secara mudah dipisahkan dan diendapkan. Dalam proses koagulasi terdapat koagulan berbasis anorganik seperti tawas (aluminium sulfat), natrium aluminat, besi sulfat, besi klorida, dan sebagainya [15], [16]. Ion-ion logam trivalen, seperti Al^{3+} dan Fe^{3+} merupakan koagulan tradisional yang digunakan dalam proses pengolahan limbah air.

Industri kimia umumnya dalam proses koagulasi memanfaatkan aluminium sulfat dan *Poly Aluminium Chloride* - PAC [17], [18]. Ion tersebut bereaksi dengan air untuk membentuk "produk terhidrolisis" dan atau endapan, yang akan bereaksi dengan partikel bermuatan negatif untuk membentuk mikroflok. Koagulan berfungsi sebagai media penggumpal bahan pada air limbah dan terbentuklah flok yang kemudian secara mudah dipisahkan dan diendapkan.

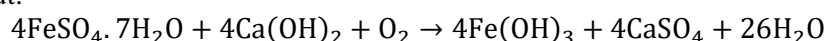
1. Aluminium sulfat

Aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) adalah salah satu koagulan yang umum digunakan karena dapat harganya murah dan mudah didapatkan. Koagulan ini berfungsi untuk koagulasi koloid pada air limbah dengan kebasaaan tinggi. Nilai pH optimum yang diperlukan dari koagulan ini yaitu sekitar 4,5-8,0. Alkalinitas yang ada di dalam air akan bereaksi dengan aluminium sulfat (alum) sehingga menghasilkan aluminium hidroksida sesuai dengan persamaan:

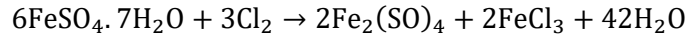


2. Ferrous sulfate - $FeSO_4$

Ferrous sulfate digunakan pada air limbah dengan kebasaaan tinggi. Nilai pH optimum yang dibutuhkan untuk koagulan ini sekitar 4-7. Koagulan ini membutuhkan alkalinitas dalam bentuk ion hidroksida agar menghasilkan reaksi yang cepat. Senyawa $Ca(OH)_2$ dan $NaOH$ biasanya ditambahkan untuk meningkatkan pH sampai titik tertentu dimana ion Fe^{2+} diendapkan sebagai $Fe(OH)_3$. Reaksinya adalah sebagai berikut:



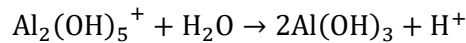
Agar reaksi di atas terjadi, pH harus dinaikkan menjadi 7-9,5. Selain itu, ferrous sulfat jika direaksikan dengan klorin dan persamaan reaksi menjadi:



Reaksi ini terjadi pada pH yang rendah yaitu sekitar 4.

3. Poly Aluminium Chloride – PAC

Penggunaan PAC banyak digunakan karena memiliki korosi yang rendah dan aman. Hal ini disebabkan karena air hasil pengolahan tidak mengalami penurunan pH yang signifikan seperti penggunaan aluminium sulfat. Selain itu PAC juga dapat menarik partikel lain dalam media air sehingga berat, bentuk dan ukurannya semakin besar dan mudah mengendap. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



PAC mempunyai rentang pH sekitar 5-9. Proses koagulasi dengan PAC juga berjalan lebih baik sehingga waktunya lebih singkat untuk bereaksi jika dibandingkan dengan aluminium sulfat.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi keberhasilan dalam proses koagulasi diantaranya suhu, dosis koagulan, proses pengadukan, dan derajat keasaman. Suhu. Penelitian yang dilakukan oleh Peneliti [19] mengungkapkan bahwa semakin tinggi suhu (5 – 40°C) maka semakin baik efisiensi koagulasi PASiC dalam mereduksi kekeruhan air pada Yellow River, China. Pengamatan serupa juga ditunjukkan oleh [20] bahwa penghilangan fosfat dari sintesis air limbah menggunakan cairan lumpur hidroklorik bauksit menurun secara perlahan melalui pereduksian suhu. Cara ini mengakibatkan pembentukan flok berjalan lebih cepat dibandingkan suhu normal.

Dosis koagulan biasanya tergantung pada kandungan koloid atau padatan tersuspensi dalam fluida [21]. Jika kadar yang dibutuhkan telah sesuai maka pembentukan inti flok akan berjalan secara cepat. Proses pengadukan harus dilakukan secara merata agar semua koagulan dapat bereaksi dengan partikel atau ion yang berada di dalam air. Semakin cepat pengadukan maka flok akan semakin cepat terbentuk pH. Peneliti [22] mengungkapkan kation logam sebagai koagulan memberikan hasil yang efektif jika nilai pH sebesar 9. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh [23] memberikan hasil bahwa penggunaan koagulan magnesium klorida dengan pH lebih tinggi (kisaran 11,0 - 11,5) secara efektif dapat menghilangkan pengotor dari air limbah alkali. Setiap jenis koagulan mempunyai pH yang berbeda-beda. Proses koagulasi akan bekerja baik jika pH berada pada keadaan yang optimum [24].

Sejumlah faktor tersebut juga ditunjukkan dari hasil penelitian [25] bahwa dosis koagulan, pH dan dosis polielektrolit mempengaruhi proses koagulasi pada sampel limbah. Kadarnya yang rendah juga dapat menyebabkan pembentukan flok yang lebih besar dengan kuantitas yang lebih sedikit. Hal ini diakibatkan dari laju pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan laju nukleasi, dan menghasilkan area permukaan menjadi lebih kecil. Lokasi ini merupakan tempat terjadinya adsorpsi bahan organik.

Flokulasi

Flokulasi adalah proses manifestasi destabilisasi dengan mempercepat pembentukan flok (misalnya kekuatan, ukuran dan kepadatannya) dan mengatur konsentrasi jumlah akhir partikel yang tidak stabil. Proses flokulasi dilakukan setelah proses koagulasi. Koagulasi partikel koloid belum terbentuk kokoh sehingga membutuhkan penyempurnaan dan penyatuan melalui proses flokulasi. Flokulasi partikel dengan penambahan flokulan kimia merupakan langkah penting dalam pengolahan air [16]. Pada tahap ini penambahan agregasi dilibatkan untuk kemudian dilakukan pengadukan secara lambat untuk menghasilkan struktur yang mengendap [26]. Acuan proses ini terdapat pada induksi partikel yang tidak stabil untuk dapat menyatu melalui pembuatan kontak. Akhirnya, pembentukan sebuah aglomerat besar berlangsung melalui pemisahan dan dilanjutkan proses pengendapan secara gravitasi. Waktu yang dibutuhkan untuk itu adalah sekitar 20 hingga 45 menit melalui penambahan polielektrolit organik atau flokulan.

Tujuan dilakukan flokulasi pada air limbah selain lanjutan dari proses koagulasi adalah meningkatkan penyisihan *Suspended Solid* (SS) dan BOD dari pengolahan fisik, memperlancar proses *conditioning* air limbah industri, meningkatkan kinerja *secondary clarifier* dan proses lumpur aktif serta digunakan sebagai *pretreatment* untuk proses pembentukan *secondary effluent* dalam filtrasi.

Flokulan terbagi dua jenis yaitu flokulasi perikinetik dan flokulasi ortokinetik. Yang pertama diakibatkan oleh gerak Brown atau gerak panas. Adanya tumbukan molekul dari air menimbulkan adanya gerak acak oleh partikel koloid. Pada keadaan ini terjadi gabungan antar partikel sangat kecil sekitar 1 < 100 milimikron. Kemudian, flokulasi orthokinetik diakibatkan oleh terbentuknya gerakan air dari proses

pengadukan. Kecepatan aliran fluida akan berubah terhadap tempat dan waktu. Perbedaan kecepatan tersebut mengakibatkan terjadinya tumbukan antar partikel [27]. Jenis flokulator seperti *static*, *paddle*, dan *turbine mixers* memiliki waktu mixing yang sama yaitu 600-1800 detik.

Selain kedua jenis flokulan tersebut, keberadaan flokulan garam aluminium biasanya menghasilkan lumpur. Perannya sebagai pupuk pertanian karena tingginya kandungan aluminium yang dimilikinya. Lalu, flokulan besi memiliki sifat korosif yang tinggi sehingga penuaan peralatannya lebih cepat dan dapat meningkatkan biaya pengolahan air limbah [15]. Untuk langkah alternatif lainnya adalah penggunaan flokulan organik yang berasal dari hewan dan tumbuhan (pati singkong, biji Moringa oleifera, biji *Plantago ovata*, benih jagung[11]).

Pengaplikasian di Industri

Proses pemisahan air limbah menggunakan metode koagulasi-flokulasi ini telah banyak digunakan di industri kimia seperti *pulp and paper*, farmasi, petrokimia, kosmetik, makanan, pengolahan mineral, logam dan tekstil [21]. Pada industri pupuk, air limbah akan memasuki flokulator kemudian diinjeksikan bahan-bahan kimia yaitu *Aluminium Chlorohydrate (ACH)*, *coagulant aid (separant)* dan *caustic soda (NaOH)*. ACH berfungsi untuk menjernihkan air dengan membesarkan ukuran partikel koloid sehingga lebih mudah untuk membentuk flok dan kemudian mengendap. Biasanya penggunaan 1 *bed* (50 kg) ACH dibutuhkan air sebanyak 5,5 in NaOH berfungsi untuk mengatur pH (kisaran 5,8 – 6,2). pH harus lebih kecil dari 6,2 agar flok yang terbentuk tidak akan pecah. Jika NaOH yang diinjeksikan 1 cm NaOH maka dibutuhkan 10 inci air untuk melarutkannya. *Coagulant aid* berfungsi untuk menyatukan flok yang terbentuk menjadi gumpalan yang lebih besar sehingga mudah dipisahkan dengan pengendapan.

Pada proses pencelupan tekstil [28], dekolorisasi limbah pewarna sisa setelah pencelupan campuran kapas atau poliamida dapat menggunakan pewarna reaktif dan asam dengan metode koagulasi flokulasi. Peneliti ini membuktikan bahwa metode koagulasi-flokulasi dapat menurunkan warna aliran limbah *dye bath* dan menghilangkan surfaktan serta zat warna dengan berat molekul yang tinggi. Tiga koagulan anorganik yang kerap kali dimanfaatkan untuk aliran limbah yaitu $(Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O)$, $(FeSO_4 \cdot 7H_2O)$, $(FeCl_3 \cdot 6H_2O)$ dan flokulan kationik komersial (Colfloc RDeCiba). Dari pengujian yang dilakukan hasil yang paling baik adalah pengkombinasian antara flokulan organik dan $Al_2(SO_4)_3$ melalui penambahan zat antibusa pada nilai pH yang telah disesuaikan mendekati netral.

Proses koagulasi flokulasi juga dapat digunakan dalam industri air minuman untuk menghilangkan kandungan logam seperti timbal, kadmium, besi total, kromium total, nikel dan seng dengan cara penambahan polimer. Pada penelitian yang dilakukan [22] menggunakan koagulan besi klorida dengan bahan pembantu koagulan (polimer, poliakrilamida non-ionik). Keberadaan polimer ini membantu meningkatkan dosis polimer maka efisiensi penyisihan logam juga semakin tinggi. Sumber polimer yang berasal dari alam dapat memanfaatkan limbah kulit udang [29].

Industri kilang minyak juga membutuhkan proses koagulasi flokulasi contohnya pada penelitian [30]. Air limbah berasal dari unit pengolahan limbah air pada kilang minyak porto, galp energi dimana sampel dikumpulkan pada keluaran tangki oksidasi sulfida dan tangki oksidasi koagulasi. Penelitian ini memanfaatkan bahan kimia larutan polialuminium klorida, aluminium sulfat $(Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O)$ dan besi sulfat $(Fe_2(SO_4)_3)$. Flokulan yang digunakan adalah NALCO 71405 dan poliakrilamida dengan berat molekul yang tinggi. Tujuan proses koagulasi-flokulasi pada industri minyak adalah untuk mengoptimalkan penurunan konsentrasi bahan organik, minyak dan lemak serta kontaminan lainnya. Kemudian, efluen yang didapatkan memiliki karakteristik yang sesuai dan siap diolah melalui proses biologis aerobik dengan memperhatikan kondisi operasi tertentu, misalnya pH yang optimal. Hasil peneliti lainnya juga menerapkan kondisi anerobik melalui penggunaan lumpur aktif [9] dan kebutuhan waktu retensi prosesnya [31-33].

Industri *pulp and paper* juga menghasilkan air limbah yang tidak mudah diolah karena adanya sejumlah besar bahan kimia (seperti banyak garam natrium dari asam organik). Selain itu, sejumlah besar lignin yang ada dalam air limbah menyebabkan warna, kekeruhan, dan COD yang tinggi. Air limbah ini biasanya tidak termanfaatkan kembali dan membebani proses pengolahan. Peneliti [34] mengkaji tentang air limbah pada salah satu pabrik ini melalui proses koagulasi-flokulasi. Keterlibatan aluminium klorida sebagai koagulan dan polimer alami termodifikasi, pati-g-PAM-g PDMC (poliakrilamida dan poli 2-metakriloloksietil trimetil amonium klorida) sebagai flokulan memberikan kontribusi nyata pada penanganan limbah air ini.

Air limbah yang sudah dilakukan pengolahan dapat digunakan kembali, serta dapat dibuang ke saluran pembuangan sanitasi atau ke air permukaan di lingkungan [7]. Salah satu cara dalam mengurangi pembuangan air limbah adalah menghadirkan proses daur ulang air limbah, maupun pengolahan air limbah. Peranan proses seperti koagulasi-flokulasi mampu menghasilkan olahan air limbah termanfaatkan kembali dalam proses produksi.

4. Kesimpulan

Teknologi pengolahan air limbah dengan metode koagulasi-flokulasi merupakan salah satu cara pemisahan yang bekerja cukup efisien dan efektif. Teknologi ini dapat memisahkan padatan yang tersuspensi dari air, memecah zat berbahaya dalam air limbah, dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan perairan sehingga tidak berkontribusi lebih pada pencemaran lingkungan. Dari *review* yang telah dilakukan diketahui bahwa proses pemisahan air limbah menggunakan metode koagulasi-flokulasi di industri kimia lebih banyak menggunakan jenis aluminium sulfat - $Al_2(SO_4)_3$ dengan kisaran pH optimum sebesar 6,0 – 7,0.

5. Daftar Pustaka

- [1] P. Varbanov, S. Perry, Y. Makwana, X. X. Zhu, and R. Smith, "Top-level analysis of site utility systems," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 82, no. A6, pp. 784–795, Jun. 2004, doi: 10.1205/026387604774196064.
- [2] T. Petroulas and G. V. Reklaitis, "Computer-aided synthesis and design of plant utility systems," *AIChE J.*, vol. 30, no. 1, pp. 69–78, Jan. 1984, doi: 10.1002/aic.690300112.
- [3] A. Matilainen, N. Lindqvist, and T. Tuhkanen, "Comparison of the efficiency of aluminium and ferric sulphate in the removal of natural organic matter during drinking water treatment process," *Environmental Technology*, vol. 26, no. 8, pp. 867–876, Aug. 2005, doi: 10.1080/09593332608618502.
- [4] S. Raghuvanshi, V. Bhakar, C. Sowmya, and K. S. Sangwan, "Waste water treatment plant life cycle assessment: treatment process to reuse of water," *Procedia CIRP*, vol. 61, pp. 761–766, 2017, doi: 10.1016/j.procir.2016.11.170.
- [5] M. Y. Wani, N. Hasan, and M. A. Malik, "Chitosan and aloe vera: two gifts of nature," *Journal of Dispersion Science and Technology*, vol. 31, no. 6, pp. 799–811, May 2010, doi: 10.1080/01932690903333606.
- [6] C. Godswill and H. Twinomuhwezi, "Industrial waste management, treatment, and health issues: wastewater, solid, and electronic wastes," *Industrial Waste*, vol. III, no. 2, pp. 1081–1119, 2020.
- [7] A. R. Raheem, P. Vishnu, and A. M. Ahmed, "Impact of product packaging on consumer buying decision," *European Journal of Scientific Research*, vol. 122, no. 2, pp. 125–134, 2014, doi: <https://doi.org/10.26666/rmp.jesr.2020.2.4>.
- [8] A. C. Godswill and A. C. Godspel, "Physiological effects of plastic wastes on the endocrine system (Bisphenol A, Phthalates, Bisphenol S, PBDEs, TBBPA)," *International Journal of Bioinformatics and Computational Biology*, vol. 4, no. 2, pp. 11–29, 2019.
- [9] D. Agustina Sari and S. Sukanta, "Kajian kualitas limbah cair secara anaerobik melalui COD, BOD5, dan TDS: studi kasus pada PT JKLMN," *JCPE*, vol. 2, no. 2, p. 52, Nov. 2017, doi: 10.33536/jcpe.v2i2.167.
- [10] S. D. M. Suherman, M. A. Firdaus, M. H. D. Ryansyah, and D. A. Sari, "Teknologi dan metode pengolahan limbah cair sebagai pencegahan pencemaran lingkungan," *Barometer*, vol. 5, no. 1, pp. 232–238, Sep. 2020, doi: 10.35261/barometer.v5i1.3809.
- [11] M. Maraschin, K. F. Hedlund Ferrari, and E. Carissimi, "Acidification and flocculation of sludge from a water treatment plant: New action mechanisms," *Separation and Purification Technology*, vol. 252, p. 117417, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.seppur.2020.117417.
- [12] Z. Badrus, "Potential of Natural flocculant in coagulation-flocculation wastewater treatment process," in *E3S Web of Conferences*, 2018, pp. 1–5. doi: 10.1051/e3sconf/20187305006.
- [13] C. Y. Teh, P. M. Budiman, K. P. Y. Shak, and T. Y. Wu, "Recent advancement of coagulation–flocculation and its application in wastewater treatment," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 55, no. 16, pp. 4363–4389, Apr. 2016, doi: 10.1021/acs.iecr.5b04703.
- [14] N. B. Prakash, V. Sockan, and P. Jayakaran, "Waste water treatment by coagulation and flocculation," *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, vol. 3, no. 2, pp. 479–484, 2014.
- [15] H. Li, S. Wu, C. Du, Y. Zhong, and C. Yang, "Preparation, performances, and mechanisms of microbial flocculants for wastewater treatment," *IJERPH*, vol. 17, no. 4, p. 1360, Feb. 2020, doi: 10.3390/ijerph17041360.
- [16] F. Xiao, K. M. Lam, X. Y. Li, R. S. Zhong, and X. H. Zhang, "PIV characterisation of flocculation dynamics and floc structure in water treatment," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 379, no. 1–3, pp. 1–28, Apr. 2011, doi: 10.1016/j.colsurfa.2010.11.053.

- [17] A. D. Zand and H. Hoveidi, "Comparing aluminium sulfate and poly-aluminium chloride (PAC) performance," *Journal of Applied Biotechnology Reports*, vol. 2, no. 3, pp. 287–292, 2015.
- [18] J. M. Ebeling, S. R. Ogden, P. L. Sibrell, and K. L. Rishel, "Application of chemical coagulation aids for the removal of suspended solids (TSS) and phosphorus from the microscreen effluent discharge of an intensive recirculating aquaculture system," *North American Journal of Aquaculture*, vol. 66, pp. 198–207, Jul. 2004, doi: 10.1577/A03-056.1.
- [19] B.-Y. Gao, Q.-Y. Yue, and Y. Wang, "Coagulation performance of polyaluminum silicate chloride (PASiC) for water and wastewater treatment," *Separation and Purification Technology*, vol. 56, pp. 225–230, Aug. 2007, doi: 10.1016/j.seppur.2007.02.003.
- [20] Y. Zhao et al., "Evaluation of a novel composite inorganic coagulant prepared by red mud for phosphate removal," *Desalination*, vol. 273, pp. 414–420, Jun. 2011, doi: 10.1016/j.desal.2011.01.065.
- [21] K. E. Lee, N. Morad, T. T. Teng, and B. T. Poh, "Development, characterization and the application of hybrid materials in coagulation/flocculation of wastewater: A review," *Chemical Engineering Journal*, vol. 203, pp. 370–386, Sep. 2012, doi: 10.1016/j.cej.2012.06.109.
- [22] O. S. Amuda, I. A. Amoo, I. Ko, and A. Oo, "Coagulation / flocculation process in the removal of trace metals present in industrial wastewater," *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, vol. 10, no. 3, pp. 159–162, Oct. 2006, doi: 10.4314/jasem.v10i3.17339.
- [23] L. Semerjian and G. M. Ayoub, "High-pH–magnesium coagulation–flocculation in wastewater treatment," *Advances in Environmental Research*, vol. 7, pp. 389–403, Jan. 2003, doi: 10.1016/S1093-0191(02)00009-6.
- [24] Z. Rahimah, H. Heldawati, and I. Syauiqiah, "Pengolahan limbah deterjen dengan metode koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan kapur dan PAC," *Konv*, vol. 5, no. 2, pp. 52–59, Mar. 2018, doi: 10.20527/k.v5i2.4767.
- [25] O. S. Amuda and I. A. Amoo, "Coagulation/flocculation process and sludge conditioning in beverage industrial wastewater treatment," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 141, no. 3, pp. 778–783, Mar. 2007, doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.07.044.
- [26] Y. Okour, H. K. Shon, and I. El Saliby, "Characterisation of titanium tetrachloride and titanium sulfate flocculation in wastewater treatment," *Water Science and Technology*, vol. 59, no. 12, pp. 2463–2473, Jun. 2009, doi: 10.2166/wst.2009.254.
- [27] S. Y. Choy, K. M. N. Prasad, T. Y. Wu, and R. N. Ramanan, "A review on common vegetables and legumes as promising plant-based natural coagulants in water clarification," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 12, pp. 367–390, Jan. 2015, doi: 10.1007/s13762-013-0446-2.
- [28] V. Golob, A. Vinder, and M. Simonic, "Efficiency of the coagulation/flocculation method for the treatment of dyebath effluents," *Dyes and Pigments*, vol. 67, pp. 93–97, Nov. 2005, doi: 10.1016/j.dyepig.2004.11.003.
- [29] I. Iyan and D. A. Sari, "Pengo optimalan nilai guna limbah kulit udang," *Barometer*, vol. 5, no. 1, pp. 224–226, 2020.
- [30] C. E. Santo, V. J. P. Vilar, C. M. S. Botelho, A. Bhatnagar, E. Kumar, and R. A. R. Boaventura, "Optimization of coagulation–flocculation and flotation parameters for the treatment of a petroleum refinery effluent from a Portuguese plant," *Chemical Engineering Journal*, vol. 183, pp. 117–123, Feb. 2012, doi: 10.1016/j.cej.2011.12.041.
- [31] D. A. Sari, S. Sukanta, and A. Hakiim, "Anaerobic wastewater treatments: prediction of retention time on RT/RW Plant," *ins*, vol. 3, no. 1, pp. 134–137, Apr. 2018, doi: 10.23960/ins.v3i1.134.
- [32] R. Y. Naulina et al., *Kimia industri*. Bandung: Penerbit Widina Media Utama, 2023. [Online]. Available: <https://repository.penerbitwidina.com/media/publications/563628-kimia-industri-64fe6020.pdf>
- [33] S. D. M. Suherman, M. A. Firdaus, M. H. D. Ryansyah, and D. A. Sari, "Teknologi dan metode pengolahan limbah cair sebagai pencegahan pencemaran lingkungan," *Barometer*, vol. 5, no. 1, pp. 232–238, Sep. 2020, doi: 10.35261/barometer.v5i1.3809.
- [34] J.-P. Wang, Y.-Z. Chen, Y. Wang, S.-J. Yuan, and H.-Q. Yu, "Optimization of the coagulation-flocculation process for pulp mill wastewater treatment using a combination of uniform design and response surface methodology," *Water Research*, vol. 45, pp. 5633–5640, Nov. 2011, doi: 10.1016/j.watres.2011.08.023.