



PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI

**Lukman Handoko
Bambang Suhartawan
Isran Asnawi
Alianto
Asmadi**

PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI

Penulis :

Lukman Handoko

Bambang Suhartawan

Isran Asnawi

Alianto

Asmadi



GET PRESS INDONESIA

PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI

Penulis :

Lukman Handoko

Bambang Suhartawan

Isran Asnawi

Alianto

Asmadi

ISBN : 978-623-198-533-0

Editor: Mila Sari., S.ST., M.Si

Penyunting : Dhinie Anjelicha, S.Tr.Kes

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : Get Press Indonesia

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Palarik Air Pacah RT 001 RW 006

Kelurahan Air Pacah Kecamatan Koto Tengah

Padang Sumatera Barat

Website : www.getpress.co.id

Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, 28 Juli 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Pengolahan Limbah Industri.

Buku ini membahas tentang Pengolahan Fisika I : (*Equalization, Screening Dan Grit Removal*), Pengolahan Fisika II (*Flotation*), Pengolahan Kimia (Koagulasi Dan Flokulasi), Pengolahan Biologi I (Aerob Dan Anaerob), Pengolahan Biologi Ii (Mikrobiologi Dan Limbah Cair) Dan Pengolahan Teknologi Maju (Membran Biorektor).

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan, mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Penulis, 28 Juli 2023

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
BAB 1 PENGOLAHAN FISIKA I : EQUALIZATION, SCREENING, SHREDDING, GRIT REMOVAL.....	1
1.1 PENDAHULUAN	1
1.2 MANFAAT	2
1.3 KONSEP EQUALIZATION, SCREENING, SHREDDING, DAN GRID REMOVAL	4
1.4 KESIMPULAN.....	15
DAFTAR PUSTAKA	17
BAB 2 PENGOLAHAN FISIKA II : FLOTATION	19
2.1. PENDAHULUAN.....	19
2.2. PENGERTIAN FLOTASI	20
2.3. JENIS-JENIS FLOTASI	20
2.4. FAKTOR-FAKTOR FLOTASI	24
2.5. TAHAPAN FLOTASI.....	28
2.6. PEMANFAATAN FLOTASI	28
DAFTAR PUSTAKA	30
BAB 3 PENGOLAHAN KIMIA : KOAGULASI DAN FLOKULASI.....	31
3.1 PENGERTIAN KOAGULASI DAN FLOKULASI	31
3.2 FENOMENA PROSES	33
3.3 JENIS DAN TIPE KOAGULAN.....	35
3.4 PERSIAPAN PROSES KOAGULASI FLOKULASI DI LABORATORIUM...41	
3.5 PERALATAN PROSES PENGOLAHAN	45
DAFTAR PUSTAKA	48
BAB 4 PENGOLAHAN BIOLOGI I: AEROB DAN ANAEROB.....	51
4.1 PRINSIP PENGOLAHAN.....	51
4.2 PENGOLAHAN SECARA AEROB.....	55
4.3 PENGOLAHAN SECARA ANAEROB.....	61
DAFTAR PUSTAKA	66

BAB 5 PENGOLAHAN BIOLOGI II : MIKROBIOLOGI DAN LIMBAH CAIR..... 69

5.1 PENDAHULUAN	69
5.2 MIKROORGANISME PENGURAI LIMBAH CAIR	71
5.3 EFEKTIFITAS MIKROORGANISME DALAM MENGURAIKAN LIMBAH CAIR	78
DAFTAR PUSTAKA	86

BAB 6 PENGOLAHAN TEKNOLOGI MAJU: MEMBRAN BIOREAKTOR 91

6.1 PENDAHULUAN	91
6.2 BIOREAKTOR MEMBRAN (BRM)	94
6.3 SPESIFIKASI PRODUK MEMBRANE BIOREACTOR (MBR).....	96
6.4 APLIKASI BRM	99
6.5 KELEBIHAN DAN KEUNTUNGAN SISTEM BIOREAKTOR MEMBRAN (BRM)	111
DAFTAR PUSTAKA	113

BIODATA PENULIS.....116

BAB 1

PENGOLAHAN FISIKA I : EQUALIZATION, SCREENING, SHREDDING, GRIT REMOVAL

Oleh Lukman Handoko

1.1 Pendahuluan

Pengolahan Fisika, pengolahan pendahuluan, juga dikenal sebagai pengolahan primer, merupakan langkah penting dalam proses pengolahan air limbah. Ini biasanya merupakan tahap pertama dalam mengolah air limbah setelah memasuki pabrik atau fasilitas pengolahan. Tujuan utama dari pengolahan awal adalah untuk menghilangkan padatan dan material berukuran besar yang dapat menyebabkan masalah operasional, merusak peralatan, atau mengganggu proses pengolahan selanjutnya.

Metode pengolahan fisik meliputi sedimentasi, flotasi, penyaringan, pengupasan, pertukaran ion, adsorpsi, dan proses lain yang menyelesaikan penghilangan zat terlarut dan tak larut tanpa perlu mengubah struktur kimianya. (Woodard, 2001)

Air limbah yang masuk ke instalasi pengolahan mengandung berbagai jenis bahan padat dan tersuspensi, termasuk puing-puing, pasir, pasir, batu, plastik, dan benda besar lainnya. Perawatan awal berfokus pada menghilangkan bahan-bahan ini untuk melindungi peralatan hilir, mencegah penyumbatan, serta meningkatkan efisiensi proses perawatan selanjutnya.

Setelah pengolahan pendahuluan selesai, air limbah menjalani proses pengolahan lebih lanjut, seperti pengolahan sekunder (*biological treatment*) dan pengolahan tersier (*advanced treatment*) untuk menghilangkan zat organik dan anorganik terlarut dan tersuspensi, patogen, dan nutrisi. Proses selanjutnya ini diperlukan untuk mencapai standar kualitas air yang diinginkan sebelum air limbah yang diolah dapat dibuang atau digunakan kembali.

Secara keseluruhan, pengolahan pendahuluan memainkan peran penting dalam pengolahan air limbah dengan menghilangkan padatan dan material berukuran besar yang dapat menyebabkan masalah operasional dan menghambat efektivitas proses pengolahan selanjutnya. Dengan menghilangkan padatan ini secara efisien, pengolahan pendahuluan membantu melindungi peralatan, meningkatkan efisiensi pengolahan secara keseluruhan, dan memastikan kualitas air limbah yang diolah.

1.2 Manfaat

Pengolahan awal di instalasi pengolahan air limbah menawarkan beberapa manfaat penting. Berikut adalah beberapa keuntungan utama dari perawatan pendahuluan: Perlindungan peralatan hilir: Penghapusan padatan besar dan puing-puing selama perawatan awal membantu melindungi pompa, pipa, dan peralatan lainnya dalam proses perawatan. Benda besar dapat menyebabkan penyumbatan dan kerusakan peralatan, yang menyebabkan perbaikan dan gangguan operasional yang mahal. Dengan membuang bahan-bahan ini, pengolahan awal memastikan kelancaran fungsi proses hilir.

Penegahan penyumbatan dan penyumbatan: Padatan besar, seperti kain perca, plastik, dan kotoran lainnya, dapat menyumbat pipa, pompa, dan komponen lain dari sistem pengolahan. Perawatan awal, khususnya penggunaan layar,

mencegah bahan-bahan tersebut memasuki sistem, mengurangi risiko sumbatan dan sumbatan. Ini meningkatkan efisiensi dan keandalan proses pengolahan air limbah secara keseluruhan.

Pengurangan biaya pemeliharaan dan operasional: Dengan menghilangkan padatan dan pasir yang besar, perawatan pendahuluan mengurangi frekuensi kerusakan peralatan, perbaikan, dan persyaratan pemeliharaan. Hal ini menyebabkan penghematan biaya untuk instalasi pengolahan air limbah, karena mereka dapat menghindari perbaikan dan gangguan yang mahal dalam proses pengolahan.

Perlindungan proses pengolahan biologis: Pengolahan awal memainkan peran penting dalam melindungi proses pengolahan biologis hilir, seperti lumpur aktif atau filtrasi biologis. Proses ini mengandalkan populasi mikroba yang sehat untuk memecah bahan organik dan polutan dalam air limbah. Padatan besar dan puing-puing dapat berdampak negatif pada proses pengolahan biologis dengan mengganggu pertumbuhan dan aktivitas mikroba. Dengan membuang bahan-bahan ini, pengolahan pendahuluan membantu mempertahankan kondisi optimal untuk pengolahan biologis yang efektif.

Peningkatan efisiensi dan kinerja tahap pengolahan selanjutnya: Menghilangkan padatan besar, pasir, dan serpihan dalam pengolahan awal meningkatkan efisiensi dan efektivitas keseluruhan tahap pengolahan selanjutnya. Dengan mengurangi beban padatan dan puing-puing, proses pengolahan sekunder dan tersier dapat berfokus pada penghilangan polutan terlarut, nutrisi, dan patogen secara lebih efektif. Hal ini menyebabkan air olahan berkualitas lebih tinggi yang memenuhi standar peraturan atau dapat digunakan kembali untuk berbagai keperluan.

Perlindungan lingkungan: Pengolahan awal memainkan peran penting dalam melindungi lingkungan dengan mencegah pembuangan padatan besar, puing-puing, dan polutan ke badan

air penerima. Dengan membuang bahan-bahan ini, pengolahan awal mengurangi dampak pada ekosistem perairan dan membantu menjaga kualitas air.

Secara keseluruhan, perawatan pendahuluan memberikan manfaat yang signifikan dengan melindungi peralatan hilir, mencegah penyumbatan, mengurangi biaya pemeliharaan, mengoptimalkan proses pengolahan biologis, meningkatkan efisiensi pengolahan, dan menjaga lingkungan. Ini adalah langkah penting dalam keseluruhan proses pengolahan air limbah.

1.3 Konsep Equalization, Screening, Shredding, dan Grid Removal

1.3.1 Equalization

Equalization, dalam konteks pengolahan air limbah, mengacu pada proses penyeimbangan dan pemulusan variasi laju aliran, konsentrasi polutan, dan karakteristik lain dari air limbah yang mempengaruhinya. Ini melibatkan penggunaan cekungan atau tangki pemerataan untuk menyimpan air limbah sementara, memungkinkan pelepasan terkontrol dan aliran yang konsisten ke proses pengolahan hilir. (Chia Ho *et al.*, 2023)

Konsep *Equalization* didasarkan pada pengakuan bahwa karakteristik air limbah dapat bervariasi secara signifikan sepanjang hari, minggu, atau tahun. Variasi ini dapat diakibatkan oleh faktor-faktor seperti pembuangan industri, perubahan musiman dalam penggunaan air, limpasan air hujan, atau fluktuasi dalam laju aliran domestik. Fluktuasi ini dapat menimbulkan tantangan bagi proses pengolahan selanjutnya, khususnya sistem pengolahan biologis yang bergantung pada kondisi stabil untuk performa optimal. (Goel, Flora and Chen, 2005)

Proses *Equalization* bertujuan untuk mengatasi tantangan ini dengan menyediakan penyangga untuk air limbah. Cara kerja Proses *Equalization* secara umum:

1. *Equalization Basin/Tank*: Bak atau tangki ekualisasi digunakan untuk menyimpan air limbah selama jangka waktu tertentu. Ukuran dan desain cekungan/tangki pemerataan bergantung pada faktor-faktor seperti variasi laju aliran yang diantisipasi, beban polutan, dan tingkat pemerataan yang diinginkan.
2. *Balancing Flow and Load* : Air limbah diarahkan ke bak/tangki pemerataan, di mana ia ditahan selama jangka waktu tertentu. Selama waktu ini, aliran air limbah merata, dan konsentrasi polutan, nutrisi, dan parameter lainnya menjadi lebih konsisten.
3. *Controlled Release* : Setelah periode pemerataan, air limbah secara bertahap dilepaskan dari bak/tangki pemerataan pada tingkat yang terkendali. Pelepasan terkontrol ini membantu memuluskan variasi aliran dan memberikan influen yang lebih stabil ke proses pengolahan selanjutnya.

Manfaat Proses *Equalization* :

1. Mitigasi Aliran Puncak: Dengan menyimpan aliran berlebih selama periode permintaan tinggi atau peristiwa lonjakan, pemerataan membantu mengelola aliran puncak, mencegah kelebihan beban hidraulik dari sistem pengolahan. Hal ini memastikan bahwa instalasi pengolahan dapat menangani aliran tanpa menyebabkan gangguan atau mengorbankan efisiensi pengolahan.
2. Menyeimbangkan Muatan: Pemerataan membantu menyeimbangkan muatan organik dan nutrisi dengan memungkinkan pencampuran air limbah dengan karakteristik yang berbeda. Hal ini mengurangi beban kejutan pada proses pengolahan biologis, meningkatkan kinerja dan efisiensi pengolahan secara keseluruhan.

3. Penyesuaian pH: Dalam beberapa kasus, pemerataan juga dapat digunakan untuk menyesuaikan dan menstabilkan tingkat pH air limbah influen. Ini sangat penting ketika ada fluktuasi pH yang signifikan yang dapat berdampak negatif pada proses pengolahan selanjutnya.

Secara keseluruhan, pemerataan memainkan peran penting dalam mengoptimalkan kinerja instalasi pengolahan air limbah. Ini membantu memuluskan variasi laju aliran, konsentrasi polutan, dan tingkat pH, memberikan pengaruh yang lebih konsisten dan dapat dikelola ke proses pengolahan hilir. Dengan memastikan kondisi yang stabil dan terkendali, pemerataan meningkatkan efisiensi pengolahan, mengurangi risiko masalah operasional, dan membantu memenuhi persyaratan peraturan untuk kualitas efluen.

1.3.2 Screening

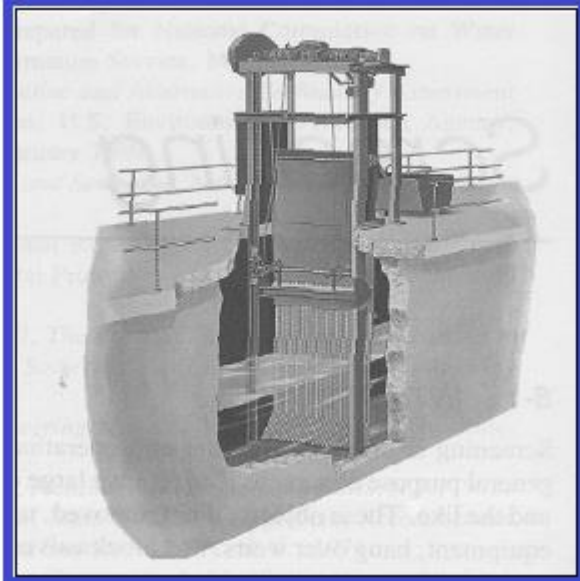
Screening adalah proses penting dalam pengolahan air limbah yang melibatkan penghilangan padatan besar, puing-puing, dan bahan lain yang tidak diinginkan dari air limbah influen. Ini biasanya merupakan langkah pertama dalam tahap pengolahan awal dan dilakukan untuk melindungi proses dan peralatan pengolahan hilir. (Chia Ho *et al.*, 2023)

Konsep *Screening* berkisar pada penggunaan layar, yang merupakan penghalang fisik dengan bukaan atau perforasi dengan ukuran tertentu. Layar dirancang untuk menangkap dan menahan benda padat, seperti kain, plastik, tongkat, daun, dan kotoran lainnya, sambil membiarkan air limbah melewatinya. Berikut cara kerja proses penyaringan secara umum:

1. Pemilihan *Screen* : Berbagai jenis *Screen* tersedia untuk instalasi pengolahan air limbah, termasuk *Screen* batang, *Screen* halus, *Screen* drum, dan *Screen* langkah. Pemilihan jenis saringan yang sesuai bergantung pada faktor-faktor

seperti ukuran dan sifat padatan yang diharapkan dalam air limbah influen, laju aliran, ketersediaan ruang, dan kebutuhan operasional.

2. Instalasi: *Screen* biasanya ditempatkan di saluran masuk instalasi pengolahan atau di saluran khusus tempat air limbah mengalir. *Screen* diposisikan sedemikian rupa sehingga memotong aliran air limbah, mencegah lewatnya padatan yang lebih besar.
3. Tangkap Padat: Saat air limbah mengalir melalui saringan, padatan besar, serpihan, dan benda yang lebih besar dari bukaan saringan terperangkap dan tertahan. Bahan-bahan ini menumpuk di permukaan *Screen* atau di area kumpulan yang terletak di belakang *Screen*, membentuk apa yang dikenal sebagai pemutaran.
4. Pembersihan dan Penghapusan: Seiring waktu, padatan dan kotoran yang ditangkap dapat menumpuk dan menghalangi aliran melalui *Screen*. Untuk memastikan pengoperasian yang berkelanjutan, *Screen* dirancang untuk dibersihkan atau dibersihkan secara berkala. Hal ini dapat dilakukan secara manual, di mana operator secara fisik menghapus skrining yang terkumpul, atau melalui mekanisme otomatis seperti penggaruk, sikat, atau semprotan yang mengeluarkan dan mengangkat skrining ke titik pengumpulan terpisah.



Gambar 1.1 Cable Operated Bar Screen

Sumber : (U.S. EPA, 2000)

Manfaat Proses *Screening*:

1. **Perlindungan Peralatan Hilir:** Dengan menghilangkan padatan dan serpihan besar, penyaringan mencegah bahan-bahan ini masuk dan merusak peralatan pengolahan hilir, seperti pompa, pipa, dan katup. Ini membantu meminimalkan risiko penyumbatan, penyumbatan, dan masalah operasional, memastikan kelancaran fungsi seluruh proses perawatan.
2. **Pemeliharaan Efisiensi Proses:** Penyaringan memastikan bahwa proses pengolahan selanjutnya, seperti pengolahan biologis atau unit pengolahan lanjutan, dapat beroperasi secara efisien. Dengan membuang material besar dan obstruktif, penyaringan mengurangi beban pada proses ini, mengoptimalkan kinerjanya, dan meningkatkan efisiensi perawatan secara keseluruhan.

3. Meningkatkan Keselamatan: Penyaringan mencegah masuknya benda berbahaya atau berpotensi membahayakan ke dalam sistem perawatan, melindungi peralatan dan operator dari potensi bahaya keselamatan.
4. Perlindungan Lingkungan: Dengan menghilangkan padatan besar dan puing-puing, penyaringan membantu mencegah pembuangan bahan-bahan ini ke badan air penerima. Ini melindungi ekosistem perairan, menjaga standar kualitas air, dan meminimalkan dampak lingkungan dari proses pengolahan air limbah.

Secara keseluruhan, *Screening* adalah langkah penting dalam pengolahan air limbah, memastikan penghilangan padatan besar dan kotoran secara efektif sebelum air limbah melanjutkan ke tahap pengolahan selanjutnya. Ini memainkan peran penting dalam menjaga peralatan, mengoptimalkan efisiensi perawatan, dan melindungi lingkungan.

1.3.3 Shredding

Konsep *Shredding* dalam pengolahan air limbah mengacu pada proses mekanis memecah bahan padat yang lebih besar menjadi potongan atau partikel yang lebih kecil. Ini sering dilakukan sebagai bagian dari tahap perawatan pendahuluan, khususnya dalam kombinasi dengan skrining atau sebagai langkah terpisah sebelum skrining. Pencabikan digunakan untuk lebih mengurangi ukuran padatan yang tidak dapat dengan mudah melewati layar, membuatnya lebih mudah untuk ditangani dan dihilangkan.(Chia Ho *et al.*, 2023)

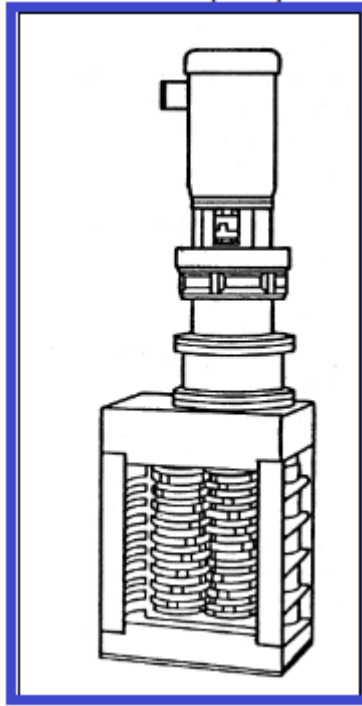
Proses *Shredding* melibatkan penggunaan peralatan yang disebut penghancur atau kominutor, yang dirancang untuk memotong, memotong, atau menggiling benda padat menjadi fragmen yang lebih kecil. Beginilah cara kerja proses penghancuran secara umum:

Seleksi Mesin *Shredding*: Berbagai jenis mesin penghancur dapat digunakan berdasarkan persyaratan khusus dari instalasi pengolahan air limbah. Jenis umum termasuk penggiling, pemotong, atau macerator. Pemilihan tergantung pada faktor-faktor seperti ukuran dan jenis padatan yang ada dalam air limbah, ukuran partikel yang diinginkan, persyaratan kapasitas, dan pertimbangan operasional.

Tindakan Mekanis: Bahan padat, seperti kain perca, plastik, dan kotoran lainnya, dimasukkan ke dalam mesin penghancur. Mekanisme penghancuran, yang dapat melibatkan bilah yang berputar, pemotong, atau cakram gerinda, secara mekanis memecah padatan menjadi potongan-potongan kecil. Ukuran partikel parut dapat bervariasi tergantung pada peralatan dan pengaturan khusus yang digunakan.

Kompatibilitas Layar: Dalam beberapa kasus, penghancuran dilakukan bersamaan dengan penyaringan. Partikel yang diparut kemudian diarahkan ke layar, di mana fragmen yang lebih kecil dapat melewati bukaan, sedangkan potongan yang lebih besar ditangkap sebagai penyaringan. Ini membantu untuk lebih menyempurnakan penghilangan padatan sebelum memasuki proses pengolahan hilir.

Penanganan Padatan: Padatan atau penyaringan yang diparut biasanya dikumpulkan dalam wadah terpisah atau sistem konveyor untuk pembuangan atau pengolahan lebih lanjut. Padatan yang dikumpulkan dapat diangkut ke unit dewatering atau fasilitas penanganan lumpur untuk diproses dan dibuang lebih lanjut.



Gambar 1.2 Wastewater Grinder: Channel Unit

Sumber : (U.S. EPA, 2000)

Manfaat Proses *Shredding*:

Efisiensi Penyaringan yang Ditingkatkan: Merobek bahan padat mengurangi ukurannya, memungkinkan pemindahan yang lebih efektif selama proses penyaringan. Partikel yang lebih kecil memiliki kemungkinan yang lebih tinggi untuk melewati bukaan layar, menghasilkan efisiensi penyaringan yang lebih baik dan mengurangi risiko penyumbatan atau penyumbatan.

Peningkatan Perlindungan Peralatan: Dengan memecah benda padat yang lebih besar, penghancuran membantu melindungi peralatan hilir, seperti pompa, katup, dan pipa, dari potensi kerusakan atau penyumbatan. Hal ini memperpanjang masa pakai peralatan dan memastikan kelancaran pengoperasian sistem pengolahan air limbah.

Efisiensi Pengolahan yang Ditingkatkan: Ukuran partikel yang lebih kecil dicapai melalui penghancuran memfasilitasi proses pengolahan hilir yang lebih efektif, khususnya pengolahan biologis. Peningkatan luas permukaan padatan parut meningkatkan aktivitas mikroba dan mempercepat dekomposisi bahan organik, meningkatkan efisiensi pengolahan.

Pemeliharaan yang Diminimalkan: Penghancuran membantu mengurangi frekuensi pemeliharaan dan pembersihan yang diperlukan untuk layar dan peralatan lain di bagian hilir. Dengan memecah padatan menjadi fragmen yang lebih kecil, potensi pengotoran peralatan dan masalah operasional berkurang, sehingga mengurangi perawatan dan meningkatkan efisiensi operasional.

Secara keseluruhan, pencabikan merupakan komponen penting dari pengolahan pendahuluan di instalasi pengolahan air limbah. Ini membantu memecah lebih lanjut bahan padat yang lebih besar, meningkatkan efisiensi penyaringan, melindungi peralatan hilir, meningkatkan proses pengolahan, dan mengoptimalkan kinerja keseluruhan sistem pengolahan air limbah.

1.3.4 Grit Removal

Grit Removal adalah proses penting dalam pengolahan air limbah yang berfokus pada pemisahan dan penghilangan partikel anorganik, seperti pasir, kerikil, dan grit, dari air limbah influen. Partikel-partikel ini, secara kolektif disebut sebagai "pasir", dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan, meningkatkan persyaratan perawatan, dan mengurangi efisiensi proses pengolahan hilir (Yan *et al.*, 2014; McNamara, Sherony and Herrick, 2014) Konsep *Grit Removal* melibatkan langkah-langkah berikut:

1. Pemilihan *Grit Chamber*: *Grit chamber* dirancang untuk menyediakan lingkungan yang terkontrol untuk

pengendapan dan pembuangan grit dari air limbah. Ada dua jenis utama *grit chamber*: *grit chamber horizontal flow* dan *aerated grit chamber*. Pemilihan jenis yang sesuai tergantung pada faktor-faktor seperti laju aliran, distribusi ukuran partikel, ketersediaan ruang, dan tujuan perawatan.

2. **Penyelesaian Grit:** Dalam ruang *grit*, air limbah masuk dengan laju aliran yang terkontrol, memberikan waktu yang cukup bagi partikel grit untuk mengendap. Desain bejana mempromosikan rezim aliran diam, yang memfasilitasi proses pengendapan. Grit, yang lebih padat daripada komponen organik dan cair dari air limbah, mengendap di dasar ruangan di bawah gaya gravitasi.
3. **Pengumpulan Grit:** Setelah grit mengendap, grit dikumpulkan dan dikeluarkan dari bagian bawah ruang grit. Mekanisme berbeda digunakan untuk pengumpulan grit, termasuk sistem bucket, konveyor sekrup, atau pengangkat udara. Mekanisme ini mengangkut grit yang terkumpul ke wadah atau sistem konveyor terpisah untuk diproses atau dibuang lebih lanjut.
4. **Pencucian Pasir (opsional):** Dalam beberapa kasus, pencucian pasir dapat digunakan untuk menghilangkan bahan organik atau kotoran yang menempel dari pasir yang terkumpul. Pencucian grit melibatkan pemberian grit ke kombinasi air, agitasi, dan proses klasifikasi untuk memisahkan bahan organik dari partikel grit. Ini membantu meningkatkan kebersihan dan kualitas pasir yang terkumpul.



Gambar 1.3 Showing the inner view of grit removal
Sumber : (Salvi and Patil, 2021)

Manfaat Proses *Grit Removal*:

1. **Perlindungan Peralatan:** Penghapusan grit membantu melindungi peralatan hilir, seperti pompa, katup, dan saluran pipa, dari keausan dan kerusakan abrasif. Dengan menghilangkan partikel pasir, yang dapat bersifat abrasif dan menyebabkan erosi, masa pakai peralatan diperpanjang, sehingga mengurangi kebutuhan perawatan dan gangguan operasional.
2. **Pencegahan Penyumbatan Pipa:** Partikel grit, jika tidak dihilangkan, dapat terakumulasi dalam pipa dan saluran, menyebabkan penurunan kapasitas aliran dan peningkatan risiko penyumbatan. Penghapusan grit mencegah akumulasi partikel-partikel ini, memastikan kelancaran aliran air limbah melalui sistem pengolahan.
3. **Optimalisasi Proses Pengolahan:** Adanya grit dapat mengganggu kinerja proses pengolahan hilir, seperti pengolahan biologis atau filtrasi. Dengan menghilangkan grit, efisiensi dan efektivitas proses ini ditingkatkan, meningkatkan kinerja pengolahan secara keseluruhan dan kualitas efluen.

4. Pengurangan Biaya Perawatan: Penghapusan grit mengurangi frekuensi perawatan dan pembersihan yang diperlukan untuk peralatan dan proses hilir. Hal ini mengarah pada penghematan biaya dengan meminimalkan kebutuhan akan perbaikan, mengurangi waktu henti, dan meningkatkan efisiensi operasional instalasi pengolahan air limbah secara keseluruhan.
5. Perlindungan Lingkungan: Dengan menghilangkan pasir, pembuangan partikel anorganik ini ke badan air penerima dapat dicegah. Ini membantu melindungi lingkungan, menjaga kualitas air dan menjaga keseimbangan ekologis ekosistem perairan.

Grit Removal adalah langkah penting dalam pengolahan air limbah yang memastikan perlindungan peralatan, meminimalkan persyaratan pemeliharaan, dan mengoptimalkan efisiensi proses pengolahan hilir. Dengan menghilangkan grit secara efektif, keseluruhan kinerja dan keandalan sistem pengolahan air limbah ditingkatkan.

1.4 Kesimpulan

Proses fisika, pengolahan awal, termasuk *Equalization*, *Screening*, *Shredding* dan *Grit Removal*, memainkan peran penting dalam pengolahan air limbah. Proses ini biasanya diterapkan pada tahap awal pengolahan untuk menghilangkan padatan besar, puing-puing, dan pasir dari air limbah influen sebelum menjalani pengolahan lebih lanjut.

Penyaringan melibatkan penggunaan layar untuk menangkap dan mempertahankan benda padat yang lebih besar, melindungi peralatan hilir dan mengoptimalkan efisiensi perawatan. Penghancuran lebih lanjut memecah padatan menjadi fragmen yang lebih kecil, meningkatkan efisiensi

penyaringan dan memfasilitasi proses pengolahan hilir. Penghapusan grit berfokus pada pemisahan dan penghilangan partikel anorganik dari air limbah, melindungi peralatan, mengurangi persyaratan perawatan, dan mengoptimalkan kinerja perawatan.

Proses perawatan pendahuluan ini menawarkan berbagai manfaat. Mereka mencegah kerusakan peralatan, mengurangi risiko penyumbatan atau penyumbatan, meningkatkan efisiensi pengolahan, meminimalkan biaya perawatan, dan melindungi lingkungan dengan memastikan pembuangan bahan yang tidak diinginkan dari air limbah. Dengan menerapkan pengolahan pendahuluan yang efektif, instalasi pengolahan air limbah dapat mencapai operasi yang lebih andal dan efisien, yang mengarah pada peningkatan kualitas limbah dan kelestarian lingkungan.

Secara keseluruhan, proses pengolahan pendahuluan merupakan komponen penting dari sistem pengolahan air limbah, memberikan dasar untuk pengolahan hilir yang berhasil dan memastikan perlindungan peralatan dan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chia Ho, Y. *et al.* (2023) *Advanced Technologies for Solid, Liquid, and Gas Waste Treatment, Advanced Technologies for Solid, Liquid, and Gas Waste Treatment.* doi: 10.1201/9781003260738.
- Goel, R. K., Flora, J. R. V and Chen, J. P. (2005) 'Flow Equalization and Neutralization BT - Physicochemical Treatment Processes', in Wang, L. K., Hung, Y.-T., and Shammas, N. K. (eds). Totowa, NJ: Humana Press, pp. 21–45. doi: 10.1385/1-59259-820-x:021.
- McNamara, B., Sherony, M. and Herrick, P. (2014) 'Relative performance of grit removal systems', *87th Annual Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference, WEFTEC 2014*, 7, pp. 4919–4929. doi: 10.2175/193864714815939796.
- Salvi, S. S. and Patil, P. (2021) 'a Case Study on Sewage Treatment Plant 1', 9(5), p. 4216. Available at: www.ijcrt.org.
- U.S. EPA (2000) 'Wastewater Technology Fact Sheet Package Plants', *United States Environmental Protection Agency*, pp. 1–7. Available at: http://www3.epa.gov/npdes/pubs/final_sgrit_removal.pdf.
- Woodard, F. (2001) *Industrial Waste Treatment Handbook - Chapter 8 Methods for Treating Wastewaters from Industry.* Butterworth–Heinemann. Available at: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=G4tT0ESK VpUC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Industrial+Waste+Treatment+Handbook&ots=bGetm9o-5U&sig=6M9iOtEqYqpYvAcBOa2SFlgL9vQ#v=onepage&q=Industrial+Waste+Treatment+Handbook&f=false>.
- Yan, P. *et al.* (2014) 'Grit Separation Module Performance and Influencing Factors for Grit Removal Efficiency from Activated Sludge', *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 49(1), pp. 121–129. doi: 10.1080/01496395.2013.828311.

BAB 2

PENGOLAHAN FISIKA II : FLOTATION

Oleh Bambang Suhartawan

2.1. Pendahuluan

Pembuangan air limbah rumah tangga (domestik) dan industri ke dalam badan air dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan jika kualitas air limbah tidak memenuhi baku mutu limbah. Pengolahan air limbah industri proses flotasi dilakukan dengan cara flotasi gas induksi untuk menghilangkan lemak, minyak dan padatan tersuspensi lainnya dalam air limbah. Untuk mengoptimalkan proses flotasi ini maka udara dilarutkan ke dalam air di bawah tekanan dan selanjutnya udara dilepaskan pada tekanan atmosfer dalam tangka flotasi. Dengan demikian akan dihasilkan gelembung udara yang dapat menjebak bahan asing. Gelembung dapat dihasilkan oleh impeller, eductor dan sparger. Gelembung-gelembung yang dihasilkan dapat menyebabkan materi asing melayang di permukaan dan membentuk lapisan buih yang menebal dan kemudian dihilangkan oleh skimmer.

Sedangkan pada proses flotasi mineral berharga dilakukan berdasarkan perbedaan tegangan permukaan dari mineral di dalam air (agua) dengan cara mengikat dan mengapungkan mineral dalam bentuk buih di permukaan. Mekanisme flotasi didasarkan atas perbedaan sifat partikel, yaitu hidrofilik (dapat berikatan dengan air) dan hidrofobik (tidak dapat berikatan dengan air). Partikel yang bersifat hidrofilik tetap berada dalam cairan/larutan, sedangkan partikel yang bersifat hidrofobik akan terpisah dari cairan/larutan dan

bergabung dengan gelembung gas dan membentuk buih yang siap dipisahkan dengan media larutannya.

2.2. Pengertian Flotasi

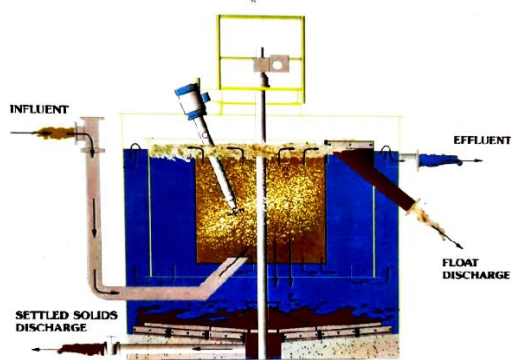
Flotasi berasal dari kata float yang artinya mengapung atau mengambang. Flotasi dapat diartikan sebagai pemisahan suatu zat dari zat lain dalam suatu cairan/larutan berdasarkan perbedaan sifat permukaan zat yang akan dipisahkan. Zat yang bersifat hidrofilik tetap menyatu dengan cairan/larutan, sedangkan zat yang bersifat hidrofobik akan tertarik dan terikat pada gelembung udara dan selanjutnya terbawa ke permukaan membentuk buih yang dapat dipisahkan dengan cairan tersebut. Flotasi pada prosesnya akan melibatkan 3 (tiga) fase yaitu cair (sebagai media), padat (partikel yang terkandung dalam cairan) dan gas (gelembung udara).

2.3. Jenis-Jenis Flotasi

Terdapat dua metode flotasi yang sering digunakan untuk memisahkan campuran :

2.3.1. *Dispersed Air Floatation*

Suatu proses flotasi dengan ukuran diameter gelembung udara yang lebih besar yang melalui proses agitasi secara mekanik dan sparger air injection. Flotasi dapat terjadi akibat bergabungnya partikel hidrofobik dengan gelembung udara berbentuk buih yang mengapung di permukaan untuk kemudian dipisahkan. Jenis flotasi seperti ini sering digunakan untuk pemisahan bahan tambang dan pemisahan logam-logam berat, misalnya logam Fe (Besi), Cu (Tembaga), Ni (Nikel) dan Cr (Crom) juga pada proses recycle kertas.



Gambar 2. 1. Proses Dispersed Air Floatation

Sumber :

<https://faisolhezim1994.blogspot.com/2014/04/jenis-jenis-syarat-faktor-faktor-dan.htm>

2.3.2. *Dissolved Floatation*

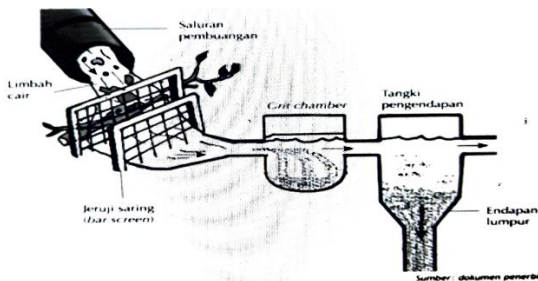
Flotasi dengan ukuran diameter gelembung udara antara (70 – 90 mikrom). Jenis flotasi ini biasa digunakan pada proses water treatment yaitu proses pemisahan secara fisika dengan menggunakan air dalam kondisi jenuh (*saturated*) untuk kemudian dilakukan pemisahan padatan yang terlarut dalam air kemudian dilakukan pengikatan dengan gelembung gas sehingga menjadi busa yang mengambang di permukaan air.

Flotasi udara terlarut (DAF) adalah proses pengolahan air yang mengklarifikasi air limbah (atau air lainnya) dengan menghilangkan bahan tersuspensi seperti minyak atau padatan. Penghapusan dicapai dengan melarutkan udara dalam air atau air limbah di bawah tekanan dan kemudian melepaskan udara pada tekanan atmosfer dalam bak tangki pengapungan. Udara yang dilepaskan membentuk gelembung-gelembung kecil yang menempel pada bahan tersuspensi yang menyebabkan bahan

tersuspensi mengapung ke permukaan air yang kemudian dapat dihilangkan dengan alat skimming.

Flotasi udara terlarut sangat banyak digunakan dalam mengolah limbah cair industri dari kilang minyak, pabrik petrokimia dan kimia, pabrik pengolahan gas alam, pabrik kertas, pengolahan air umum dan fasilitas industri serupa. Proses yang sangat mirip yang dikenal sebagai flotasi gas terinduksi juga digunakan untuk pengolahan air limbah. Flotasi buih umumnya digunakan dalam pengolahan bijih mineral.

Dalam industri minyak, unit flotasi gas terlarut (DGF) tidak menggunakan udara sebagai media flotasi karena risiko ledakan. Gas nitrogen digunakan sebagai gantinya untuk membuat gelembung.

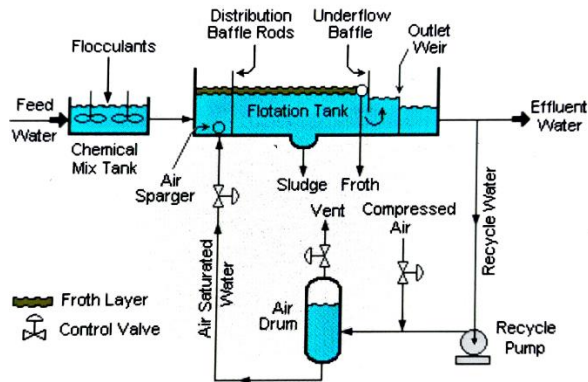


Gambar 2.2. Proses Dissolved Flotation

Sumber : <https://faisolhezim1994.blogspot.com/2014/04/jenis-jenis-syarat-faktor-faktor-dan.htm>

2.3.3. *Spontaneous Flotation*

Proses flotasi ini terjadi secara spontan, yang disebabkan karena massa jenis partikel lebih kecil disbanding massa jenis air.

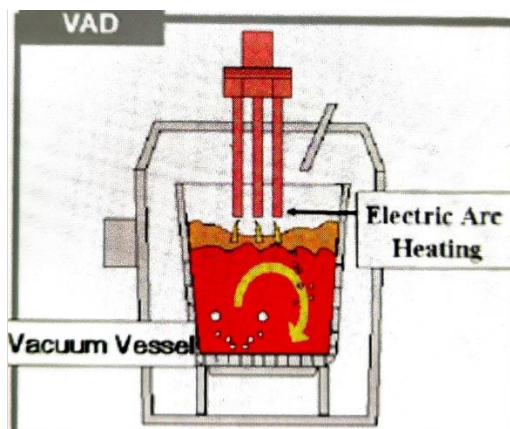


Gambar 2.3. Proses Spotaneous Floatation

Sumber : <https://faisolhezim1994.blogspot.com/2014/04/jenis-jenis-syarat-faktor-faktor-dan.htm>

2.3.4. *Vacum Floatation*

Proses flotasi jenis ini dilakukan dengan cara melarutkan udara ke dalam air pada tekanan atmosfer, selanjutnya divacumkan dengan tekanan yang lebih rendah maka akan terjadi penurunan kelarutan udara dalam air sehingga diperoleh udara yang keluar dari larutan dalam bentuk gelembung-gelembung gas yang halus (sangat kecil).



Gambar 2.4. Proses Vacum Floatation

Sumber : <https://faisolhezim1994.blogspot.com/2014/04/jenis-jenis-syarat-faktor-faktor-dan.htm>

2.4. Faktor-Faktor Flotasi

Terdapat sekurang-kurangnya delapan factor yang mempengaruhi flotasi limbah, yaitu :

2.4.1. Ukuran Partikel

Semakin besar ukuran partikel akan semakin cepat mengendap, sehingga lebih sulit untuk dilakukan flotasi disbanding ukuran partikel yang kecil. Ukuran partikel sangat menentukan apakah suatu mineral dapat mengapung atau tidak. Semakin besar partikel semakin sulit menempel di permukaan gelembung-gelembung gas dan juga semakin sulit naik ke permukaan Bersama busa atau buih. Sifat hidrofobisitas dan berat jenis partikel juga menentukan optimalnya pengapungan partikel tersebut. Recovery ukuran partikel berkisar 20 – 100 μm umumnya akan diperoleh hasil flotasi tertinggi.

2.4.2. pH Larutan

Pada proses flotasi, semakin tinggi pH larutan semakin mudah mengendap, dengan demikian semakin sulit terflotasi

2.4.3. Surfaktan

Sesuaiakan fungsinya surfaktan merupakan kolektor yang merupakan agen yang bersifat *polar* dan *nonpolar*. Fungsi ini dapat mengubah sifat partikel hidrofil menjadi hidrofob.

2.4.4. Zat Koagulan

Penambahan koagulan dalam air limbah dapat mengubah ukuran partikel menjadi lebih kecil, sehingga semakin sulit mengendap dan semakin mudah mengalami flotasi.

2.4.5. Laju Udara

Laju udara berfungsi sebagai pengikat partikel yang bersifat hidrofobik. Flotasi pada partikel kasar dapat dihasilkan persen padatan yang lebih besar.

2.4.6. Ketebalan Lapisan Buih

Pada proses flotasi akan dihasilkan buih yang merupakan gabungan busa dengan partikel yang akan dipisahkan. Semakin tebal buih semakin tinggi kandungan partikel hasil flotasi.

2.4.7. Penambahan Reagen Kimia

Perbedaan sifat permukaan hidrofobik dan hidrofilik dapat dilakukan dengan penambahan reagen kimia agar permukaan mineral berubah. Reagen kimia yang biasa digunakan dalam proses flotasi memiliki fungsi utama sebagai berikut :

1. *Frother*

Penambahan senyawa frother ke dalam proses flotasi dapat menurunkan tegangan permukaan gas dan cairan serta menghasilkan gelembung dan buih yang lebih stabil pada permukaan air limbah. Contoh frother yang biasa digunakan adalah senyawa alkohol, minyak pinus dan asam kresalat.

Pada proses flotasi ada 3 (tiga) fungsi frother, yaitu :

- a. Mencegah perpaduan antara gelembung udara dan menjaga kestabilan gelembung dalam waktu yang cukup lama.
- b. Meningkatkan ketahanan gelembung terhadap bermacam-macam tekanan dari luar.
- c. Mengurangi kecepatan gelembung di dalam pulp (bubur) sehingga kontak gelembung dengan mineral-mineral akan menimbulkan kondisi yang semakin baik untuk flotasi.

2. *Collector*

Fungsi collectors dalam proses flotasi adalah menurunkan tegangan permukaan antara padat dan cair dan meningkatkan tegangan antara padat dan gas. Kondisi ini berakibat meningkatkan sudut kontak (α). Senyawa kimia yang biasa digunakan sebagai collectors adalah sabun, asam-asam lemah dan amina.

3. *Activators*

Kelompok senyawa kimia yang dapat meningkatkan pengaruh collectors disebut activators. Dengan demikian fungsi utama activators adalah :

- Merubah permukaan mineral menjadi bersifat hydrophobic;
- Mengaktifkan mineral terhadap kolektor;
- Meningkatkan aktifitas mineral yang sudah aktif terhadap kolektor.
- Memastikan permukaan mineral mampu berinteraksi dengan kolektor.

Beberapa contoh activators yang biasa digunakan misalnya CuSO_4 , Ca , Ca(OH)_2 , dan Na_2S .

4. *Depressant*

Depressants merupakan lawan dari activators, yaitu mencegah terjadinya reaksi antara kolektor dengan permukaan mineral. Prinsip kerja depressants adalah berinteraksi dengan permukaan mineral yang tidak akan diapungkan. Beberapa fungsi depressants dalam proses flotasi adalah :

- Mencegah mineral untuk tidak terapung;
- Merubah mineral hydrophobic menjadi hidrophilic;
- Memastikan bahwa mineral tertentu tetap dalam keadaan tidak terapung;
- Mengnonaktifkan interaksi mineral terhadap kolektor;

- e. Memastikan mineral hydrophilic tidak berubah menjadi hydrophobic.

Beberapa contoh depressants yang sering digunakan dalam industry adalah NaCN dan ZnSO_4 .

5. *Promoters*

Promoters dalam flotasi adalah suatu zat yang berfungsi sebagai activators dan depressants.

2.4.8. Ukuran Gelembung Udara

Beberapa factor yang mempengaruhi ukuran gelembung udara dalam proses flotasi adalah

1. Konsentrasi pembuih

Semakin tinggi konsentrasi frother yang ditambahkan ke dalam air limbah, semakin tinggi pula kemampuan menurunkan tegangan permukaan air. Kondisi ini dapat mencegah penggabungan gelembung udara dan menjadikan ukuran gelembung udara semakin kecil.

2. Kecepatan impeller

Pergerakan secara turbulen dapat meningkatkan deformasi ukuran gelembung udara. Semakin tinggi kecepatan impeller semakin tinggi pula kecepatan turbulen suspensi air limbah dan keadaan ini mengakibatkan semakin kecil ukuran gelembung udara.

3. Kecepatan aliran udara

Semakin cepat aliran udara dalam proses flotasi akan semakin cepat pembentukan gelembung udara.

2.5. Tahapan Flotasi

Guna mendapatkan hasil flotasi yang optimal, proses flotasi perlu dilalui tahapan sebagai berikut :

2.5.1. *Grinding and Classifying*

Proses ini dimaksudkan untuk memperoleh ukuran partikel yang lebih kecil dan seragam, sehingga proses flotasi akan lebih mudah dilaksanakan.

2.5.2. *Conditioning*

Conditioning dilakukan pada kondisi basah dan dimaksudkan agar pulp menjadi lebih mudah dilakukan flotasi. Jenis reagen yang ditambahkan pada proses ini adalah *modifier*, *collector* dan *frother*.

2.5.3. *Processing*

Proses ini ditandai dengan masuknya gelembung udara ke dalam pulp. Gelembung udara tersebut diinjeksikan ke dalam tangka untuk mengapungkan padatan agar mudah dipisahkan. Dengan adanya gaya dorong yang dimiliki oleh gelembung tersebut menyebabkan padatan dengan massa jenis lebih besar dari massa jenis air dapat terdorong ke permukaan, demikian juga padatan yang massa jenisnya lebih kecil dari massa jenis air pun lebih mudah terdorong ke permukaan.

2.6. Pemanfaatan Flotasi

Flotasi adalah metode yang sangat serbaguna untuk memisahkan partikel secara fisik berdasarkan perbedaan kemampuan gelembung udara untuk secara selektif menempel pada permukaan mineral tertentu pada bubur mineral/air. Partikel dengan gelembung udara yang melekat kemudian

dibawa ke permukaan dan dihilangkan, sedangkan partikel yang tetap benar-benar dibasahi tetap berada dalam fase cair.

Buih flotasi dapat disesuaikan dengan berbagai pemisahan mineral, karena dimungkinkan untuk menggunakan bahan kimia perawatan untuk mengubah permukaan mineral secara selektif sehingga memiliki sifat yang diperlukan untuk pemisahan. Saat ini digunakan untuk banyak aplikasi yang beragam, dengan beberapa contohnya adalah:

1. Memisahkan mineral sulfida dari silika gangue (dan dari mineral sulfida lainnya);
2. Memisahkan kalium klorida (silvit) dari natrium klorida (halit);
3. Memisahkan batubara dari pembentuk abu mineral; menghilangkan mineral silikat dari bijih besi;
4. Memisahkan mineral fosfat dari silikat; dan bahkan aplikasi non-mineral seperti menghilangkan tinta dari kertas koran daur ulang.
5. Sangat berguna untuk memproses bijih berbutir halus yang tidak dapat menerima gravitasi konvensional konsentrasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Farrah Diba, Annisa Maulidya, Rahmaini Adha dan Wilmon Zarli, (2014), "*Flotasi*", Universitas Andalas.
- Mukimin A, (2006), "*Pengolahan Limbah Industri Berbasis Logan dengan Teknologi Elektrokoagulasi Flotasi*", universitas Diponegoro.
- Satriananda, (2012), "*Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Proses Flotasi Udara Terlarut*", Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- Utama BS, Simorangkir ME, Widiassa IN, (2012), "*Pemisahan Fat, Oil dan Grease (FOG) dari Limbah Footcourt dengan Dissolved Air Foatation*", Jurnal Teknologi Kimia Industri Vol. 1 No. 1.
- Widodo LU, Sholekhah BA, dan Ilma HH, (2021), "*Pengolahan Limbah Cair Industri Elektroplating dengan Proses Flotasi Menggunakan Methyl Ester Sulfonate (MES) sebagai Collector*", Journal of Research and Technology Vol. 7 No. 2 Desember 2021: 227–236.

BAB 3

PENGOLAHAN KIMIA : KOAGULASI DAN FLOKULASI

Oleh Isran Asnawi

3.1 Pengertian Koagulasi Dan Flokulasi

Air bersih yang digunakan untuk kebutuhan sehari-hari dan industri pada umumnya disediakan dari air permukaan, seperti air danau, sungai, laut, atau bahkan dari limbah domestik. Air ini tentunya memiliki kualitas yang belum memenuhi standar baku mutu. Salah satu parameter penting yang perlu dikontrol adalah kekeruhan. Standar baku mutu nilai kekeruhan untuk air kebutuhan mandi dan higiene sanitasi adalah 25 NTU (berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 32 Tahun 2017 tentang kualitas air kebutuhan higiene sanitasi, kolam renang, SPA, dan pemandian umum). Pada umumnya sediaan air permukaan memiliki nilai kekeruhan lebih dari 25 NTU sehingga perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Pengolahan yang populer digunakan untuk mengurangi nilai kekeruhan ini adalah metode koagulasi flokulasi.

Kekeruhan air berasal dari partikel kasar, suspensi, dan koloid yang terkandung dalam air dengan ukuran 10 nm hingga 10 μm . Penghilangan partikel-partikel ini dapat dilakukan dengan menambahkan bahan kimia tertentu agar dapat terjadi ikatan dan interaksi antara partikel kasar air dengan bahan kimia yang ditambahkan. Proses penambahan bahan kimia untuk menyisihkan partikel kasar atau kekeruhan dalam air ini disebut proses koagulasi.

Unit koagulasi ini tergolong ke dalam metode pengolahan secara kimiawi karena melibatkan reaksi kimia dalam prosesnya. Secara tahapan pengolahan, unit koagulasi tergolong ke dalam pengolahan primer (*primary treatment*) karena merupakan salah satu tahapan pendahuluan dari keseluruhan unit proses pengolahan. Adapun tujuan dari tahapan pendahuluan ini adalah untuk menghilangkan partikel-partikel kasar dalam air yang dapat berupa koloid dan suspensi sebelum dilanjutkan ke tahapan sekunder atau tersier.

Koagulasi adalah unit proses pengolahan air yang berlangsung dengan cara penambahan bahan kimia penjernih melalui pengadukan cepat. Selain itu, terdapat bagian dari proses ini yang berlangsung secara fisika, sehingga terkadang unit pengolahan ini disebut sebagai pengolahan secara fisika dan kimia. Pada saat penambahan bahan kimia, ion bahan kimia dengan partikel koloid saling berinteraksi dengan menyebabkan destabilisasi koloid. Destabilisasi koloid ini membentuk gumpalan yang disebut flok. Tahapan penjernihan kemudian dilanjutkan dengan proses stabilisasi koloid yang disebut flokulasi.

Flokulasi adalah proses terbentuknya gumpalan atau flok (yang terbentuk dari proses koagulasi) yang distabilisasi dengan cara pengadukan lambat. Selama proses pengadukan lambat ini, terjadi stabilisasi flok sehingga memperbesar ukuran dan massa flok. Pengadukan kemudian dihentikan dan dilanjutkan tahap sedimentasi, dimana partikel flok turun ke dasar wadah secara gravitasi. Dari serangkaian proses ini diperoleh hasil bagian atas berupa air yang lebih jernih dan bagian bawah berupa residu.

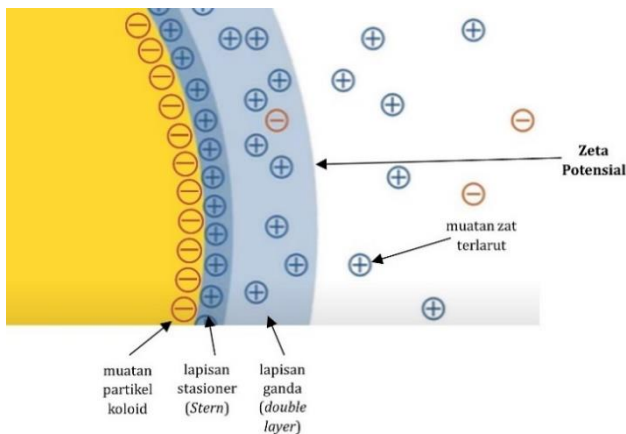
3.2 Fenomena Proses

Fenomena proses yang terjadi pada koagulasi dan flokulasi dapat dijelaskan melalui teori stabilisasi dan destabilisasi koloid. Jika suatu partikel koloid berada dalam air maka partikel tersebut akan mengalami dispersi. dispersi ini dapat berlangsung dalam waktu lama (stabil) karena adanya gaya tolak-menolak antar partikel. Gaya ini seringkali disebabkan oleh muatan listrik pada partikel koloid atau efek adsorpsi pada permukaannya. Muatan listrik akibat gaya tolak menolak partikel ini disebut sebagai zeta potensial.

Sebelum pembahasan lanjut mengenai peran zeta potensial pada proses koagulasi, perlu diketahui bagaimana muatan partikel koloid, air, dan ion garam (koagulan) saling berinteraksi satu sama lain. Ketika partikel koloid berada dalam air maka partikel tersebut akan bermuatan negatif. Hal ini disebabkan karena air memiliki konstanta dielektrik yang cukup tinggi. Secara umum, media dengan konstanta dielektrik yang lebih rendah akan membawa muatan negatif. Ketika di dalam air tersebut mengandung ion garam terlarut lain (selain partikel koloid), maka muatan ion (positif) ini berkumpul di sekitar partikel dan membentuk lapisan yang tertata rapi tidak bergerak menutupi permukaan partikel. Lapisan ini juga disebut lapisan stasioner atau lapisan Stern.

Partikel muatan positif akan menetralkan muatan permukaan negatif. Namun karena partikel berukuran besar dan tidak dapat menetralkan muatan permukaan sepenuhnya, maka terdapat sisa muatan. Muatan ion yang tersisa ini menarik lebih banyak ion dari air di sekitarnya sehingga lapisan kedua terbentuk di sekitar partikel. Lapisan ini lebih jauh dari permukaan partikel. Daya tarik muatan negatif semakin lemah

dengan jarak sehingga lapisan kedua ini kurang tertata dan bergerak (kurang stabil). Lapisan kedua disebut lapisan ganda (*double layer*). Sisi terakhir ion stasioner dan ion difusi akan membentuk suatu garis batas muatan. Garis batas muatan ini memiliki perbedaan potensial sebagai gaya tolak menolak zeta potensial yang dapat diukur. (Eckenfelder, 2000) Ilustrasi ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 3.1. Interaksi partikel koloid dan muatan zat terlarut saat membentuk flok (Sumber: dokumentasi pribadi)

Nilai zeta potensial pada garis batas muatan mengalami penurunan dibandingkan sebelum ditambahkan garam ion terlarut. Ketika zeta potensial mengalami penurunan, gaya tolak-menolak antara partikel-partikel semakin berkurang sehingga partikel-partikel tersebut lebih mungkin untuk saling mendekat. Fenomena ini disebut sebagai destabilisasi koloid. Pada tahap ini, gumpalan besar atau penggumpalan akan terbentuk (koagulasi). Nilai zeta potensial 0 mengindikasikan tidak ada lagi muatan (netralisasi muatan) pada partikel tersebut dalam artian telah terbentuk gumpalan yang diinginkan. Nilai zeta potensial pada derajat koagulasi ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1 Nilai Zeta Potensial pada berbagai derajat koagulasi

Nilai Zeta Potensial (mV)	Derajat Koagulasi
0 hingga +3	Maksimum
-4 hingga -1	Baik
-10 hingga -5	Cukup
-20 hingga -11	Rendah

Sumber: (Nanocomposix, 2022)

Pengendalian zeta potensial dapat dilakukan dengan menggunakan bahan koagulan atau pengendap, yang bertujuan untuk mengurangi zeta potensial partikel-partikel koloid sehingga memfasilitasi terjadinya penggumpalan. Dalam proses koagulasi, partikel-partikel yang tadinya terdispersi dapat menggumpal bersama-sama membentuk flok yang lebih besar dan lebih mudah dipisahkan dari larutan melalui proses sedimentasi. Selain zeta potensial, nilai kekeruhan juga menjadi parameter yang digunakan untuk mengetahui keberhasilan proses koagulasi dan flokulasi.

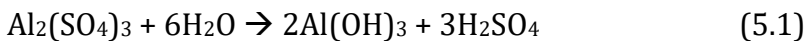
3.3 Jenis dan Tipe Koagulan

3.3.1 Koagulan Garam Alumunium

Aluminium merupakan salah satu jenis koagulan yang umum digunakan pada instalasi pengolahan air. Aluminium yang ditambahkan ke dalam air masukan (limbah) berupa $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (alumunium sulfat) dengan bahasa dagang di Indonesia adalah tawas. Bahan ini banyak digunakan sebagai koagulan di instalasi

pengolahan air dan air limbah karena efektivitas dan efisiensi penggunaannya dalam skala besar.

Aluminium sulfat yang berada dalam air akan membentuk hidroksida aluminium $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ atau polihidroksida aluminium (reaksi 5.1). Hidroksida aluminium ini bersifat amfoterik, artinya dapat berperan sebagai asam maupun basa. Molekul-molekul hidroksida aluminium ini dapat menyerap ion hidrogen atau ion hidroksida dari media, sehingga mengubah keasaman atau kebasaan larutan. Perubahan keasaman atau kebasaan ini dapat mempengaruhi muatan permukaan partikel koloid dan mengurangi zeta potensial. Ion H^+ yang terbentuk pada larutan dapat meningkatkan terjadinya destabilisasi koloid sebagai awal mula proses koagulasi terjadi (Eckenfelder, 2000).



Fenomena interaksi aluminium dengan partikel koloid juga dapat dijelaskan secara adsorpsi. Aluminium mengalami adsorpsi (penjerapan) pada permukaan partikel koloid. Ion aluminium dapat teradsorpsi (terjerap) pada permukaan partikel koloid, dengan menggantikan ion lain yang sebelumnya teradsorpsi. Dalam beberapa kondisi, adsorpsi aluminium dapat mengubah muatan permukaan partikel dan menurunkan zeta potensial (Winarni, Iswanto and Karina, 2011).

Koagulan lain yang juga banyak digunakan pada industri pengolahan air adalah PAC. *Poly Aluminium Chloride* (selanjutnya disingkat PAC) memiliki rumus kimia $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{(3n-m)}$, dengan n adalah bilangan polimerisasi yang bervariasi dan m adalah jumlah ion klorida yang tergantung pada tingkat penetrasi klorin ke dalam struktur PAC. PAC juga merupakan koagulan berbasis aluminium seperti tawas. Ketika bertemu dengan air, maka PAC akan mengalami hidrolisis membentuk kompleks $\text{Al}(\text{OH})_3$. Kompleks ini menjadi agen koagulan yang

memberi efek asam pada air dan membantu terjadinya destabilisasi koloid.

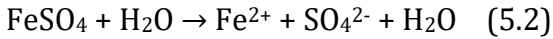
Ketika membandingkan efektivitas *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dengan tawas, kedua koagulan tersebut memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing tergantung pada kondisi air yang diolah. Namun, secara umum, PAC cenderung lebih efektif dalam banyak aplikasi pengolahan air dibandingkan dengan tawas karena dapat menjernihkan air lebih efektif. Dari sisi efektivitas, PAC memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menggumpalkan partikel koloid, menghilangkan kekeruhan, dan mengurangi konsentrasi zat organik terlarut dalam air. Hal ini disebabkan oleh struktur polimer kompleks yang terbentuk setelah hidrolisis PAC, yang mampu membentuk gumpalan yang lebih besar dan stabil. Selain itu, PAC umumnya lebih stabil dalam menjaga pH air yang diolah dibandingkan dengan tawas. Ini memungkinkan PAC untuk tetap efektif dalam berbagai rentang pH, sehingga meminimalkan kebutuhan untuk penyesuaian pH tambahan dalam proses pengolahan air.

Perbandingan efisiensi tawas dan PAC dapat dilihat dari sisi jumlah penggunaan bahan, ekonomi, dan residu yang dihasilkan. PAC cenderung membutuhkan konsentrasi yang lebih rendah daripada tawas untuk mencapai efek koagulasi yang sama. Hal ini dapat mengurangi biaya dan meminimalkan potensi pengaruh negatif terhadap air yang diolah. Lumpur yang dihasilkan dari penggunaan PAC cenderung memiliki karakteristik yang lebih baik untuk dipisahkan secara fisik daripada lumpur yang dihasilkan dari penggunaan tawas. Hal ini dapat memudahkan proses pengendapan dan filtrasi lumpur dalam pengolahan air (Risdianto, 2007).

3.3.2 Koagulan Garam Besi

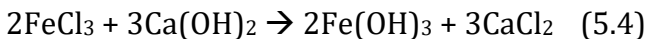
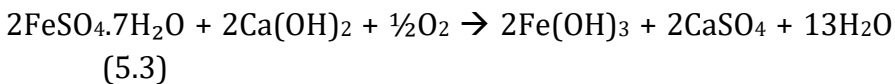
Koagulan garam besi dapat berupa besi sulfat (FeSO_4) dan besi klorida (FeCl_3) yang juga umum digunakan dalam

pengolahan air. Kedua koagulan ini mengandung ion besi (Fe^{2+} atau Fe^{3+}) yang memiliki kemampuan untuk membentuk gumpalan koagulan dengan partikel-partikel dalam air. Koagulan besi sulfat ketika bertemu dengan air maka akan mengalami hidrolisis menghasilkan senyawa yang dapat dilihat pada reaksi 5.2 berikut:



Ion Fe^{2+} yang terbentuk dapat teroksidasi menjadi Fe^{3+} dengan bantuan oksigen terlarut sebagai oksidator. Ion Fe^{3+} merupakan bentuk paling aktif koagulan untuk mengdestabilisasi muatan negatif partikel koloid. Setelah terjadi hidrolisis dan oksidasi, ion besi (Fe^{2+} atau Fe^{3+}) dalam besi sulfat berinteraksi dengan partikel koloid, zat organik terlarut, dan partikel-partikel tersuspensi dalam air. Interaksi ini mengarah pada pembentukan gumpalan-gumpalan kecil yang disebut flok. Flok ini terbentuk melalui pembentukan ikatan fisik atau adhesi antara partikel-partikel tersebut.

Secara praktis, reaksi hidrolisis dan redoks pada besi sulfat pada umumnya hanya dapat berlangsung dengan adanya alkalinitas yang cukup. Alkalinitas dapat menaikkan pH hingga terbentuk ion Fe^{3+} yang berupa $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Untuk menjaga alkalinitas biasanya ditambahkan zat kapur untuk mempercepat pembentukan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ sebagai agen koagulan seperti yang ditampilkan pada reaksi 5.3 berikut :



Ditinjau dari sisi efektivitas koagulasi, besi klorida umumnya dianggap lebih efektif daripada besi sulfat karena mekanisme reaksi pembentukan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ pada besi klorida lebih

singkat daripada besi sulfat sehingga berpotensi menghasilkan gumpalan yang lebih besar dan lebih padat (reaksi 5.4). Ditinjau dari sisi pH dan alkalinitas, besi sulfat bekerja pada kondisi air dengan pH yang rendah dan alkalinitas yang tinggi sedangkan besi klorida lebih efektif dalam air dengan pH yang lebih tinggi atau alkalinitas yang rendah. Hal ini penting untuk dipertimbangkan saat memilih koagulan yang sesuai dengan karakteristik air yang akan diolah.

3.3.3 Agen Aditif Koagulasi Flokulasi

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi keberhasilan proses koagulasi flokulasi. Salah satunya adalah penambahan aditif selain koagulan untuk menunjang proses (dalam beberapa referensi disebut sebagai koagulan pembantu). Salah satu syarat keberlangsungan proses koagulasi adalah pH, sehingga dalam hal ini perlu dilakukan pengkondisian alkalinitas untuk menjaga keseimbangan pH air. Bahan yang dapat digunakan berupa kapur atau sodium karbonat. Adanya pengkondisian alkalinitas ini dapat mempercepat efektivitas koagulan PAC untuk reaksi hidrolisis. Begitupula dengan koagulan besi, agen alkalinitas ditambahkan untuk menunjang reaksi hidrolisis dan redoks (reaksi 5.3).

Pentingnya mempertahankan stabilitas flok juga menjadi faktor penentu keberhasilan proses flokulasi. Dalam hal ini upaya yang dilakukan untuk mendukung hal tersebut adalah dengan menambahkan flokulan. Flokulan merupakan pengental atau pengendap yang berfungsi mengikat flok sehingga lebih mudah mengendap ke bagian dasar larutan. Flokulan dapat terdiri dari berbagai jenis bahan kimia, seperti polielektrolit, poliakrilamida (PAM), atau bahan-bahan alami seperti tanin atau pati. Pemilihan flokulan yang tepat tergantung pada karakteristik air atau air limbah yang diolah dan tujuan pengolahan yang diinginkan.

3.3.4 Koagulan Alami Dari Tumbuhan Dan Hewan

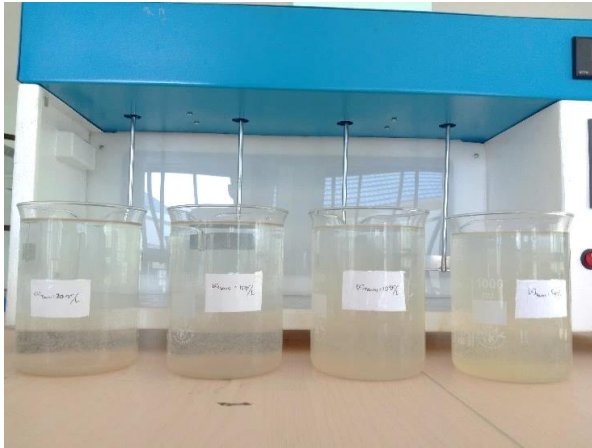
Proses koagulasi flokulasi juga dapat dibantu menggunakan koagulan alami (non-sintetik) yang berasal dari tumbuhan dan hewani. Terdapat banyak penelitian yang mengkaji potensi penggunaan jenis tumbuhan dan hewan tertentu untuk menunjang proses koagulasi. Munculnya penggunaan koagulan alami (dibalik efektivitas hasil koagulan sintesis) diinisiasi oleh adanya resiko yang ditimbulkan dari penggunaan koagulan sintesis. Berdasarkan kajian oleh (El-taweel *et al.*, 2023) dan (Choy *et al.*, 2014), beberapa dampak buruk kesehatan dapat ditimbulkan akibat penggunaan koagulan sintetik, seperti penyakit Alzheimer, yang terjadi karena adanya residu aluminium masuk ke tubuh manusia dan menumpuk di otak. Resiko Kesehatan juga muncul seperti konstipasi, kram perut, dan kehilangan energi. Hal ini membuat Koagulan alami menjadi koagulan yang bebas toksik dan menghasilkan residu yang ramah lingkungan. Selain itu, koagulan alami jumlahnya melimpah di alam dan dapat ditumbuhkan dengan biaya relatif murah dibandingkan koagulan sintesis.

Koagulan alami dan tumbuhan atau hewani memiliki senyawa aktif sebagai koagulan. Beberapa senyawa aktif pada koagulan alami antara lain tanin, polisakarida, dan protein. Ketiga senyawa aktif tersebut memiliki gugus fungsi $-OH$, $-COOH$, and $-NH_2$ yang menunjang mekanisme reaksi hidrolisis untuk destabilisasi koloid pada proses koagulasi. Tanin merupakan golongan senyawa polifenol alami dengan turunan utama berupa taninol. Contoh tumbuhan yang mengandung tanin dan digunakan sebagai koagulan adalah kulit pohon akasia (*Acacia mearnsii*), daun teh (*Camellia sinensis*) dan kayu manis (*Cinnamomum sp.*). Polisakarida dalam bentuk kitosan juga merupakan senyawa aktif koagulan alami. Kitosan ini dapat

diperoleh dari kulit udang, kepiting, dan kerang. Kitin dapat diubah menjadi kitosan melalui proses deasetilasi. Kitosan memiliki sifat koagulasi dan adsorpsi yang berguna dalam pengolahan air dan air limbah. Senyawa aktif lain sebagai sumber koagulan alami adalah protein. Protein dengan gugus amina yang bersifat amfoter dapat membantu penggumpalan partikel dalam air. Biji buah kelor (*Moringa oleifera*) merupakan tanaman yang mengandung senyawa aktif protein, tanin, dan polisakarida.

3.4 Persiapan Proses Koagulasi Flokulasi di Laboratorium

Setiap air masukan yang diolah memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Persiapan laboratorium perlu dilakukan pada unit koagulasi untuk mengetahui konsentrasi terbaik koagulan agar diperoleh nilai zeta potensial dan nilai kekeruhan yang efektif dan efisien. Persiapan laboratorium ini sering disebut sebagai tes jar (dalam bahasa inggris disebut sebagai *Jar Test*) untuk menentukan konsentrasi koagulan optimum yang digunakan untuk mengolah air masukan sebelum diterapkan pada instalasi pengolahan air dan air limbah. Tes jar dilakukan di laboratorium menggunakan alat pengaduk yang terdiri dari banyak tangkai pengaduk yang dapat dilangsungkan secara bersamaan (gambar 5.2).



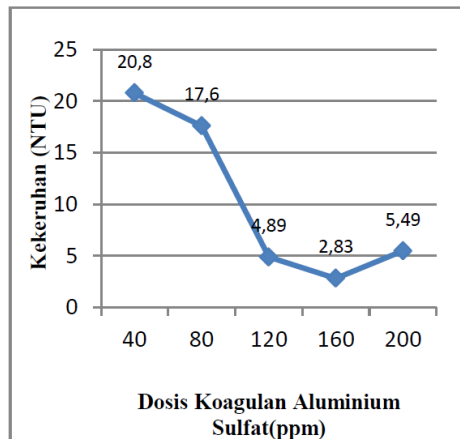
Gambar 3.2. Alat Tes Jar Di Laboratorium (sumber: dokumentasi pribadi)

Prinsip kerja dari tes jar koagulasi flokulasi adalah melakukan uji coba proses secara skala laboratorium dengan membuat berbagai variasi konsentrasi koagulan yang dicampurkan ke air masukan yang kemudian diaduk secara bersamaan hingga diperoleh konsentrasi koagulan optimum. Proses koagulasi dilangsungkan selama 1 menit dan flokulasi selama 15 menit. Setelah melalui proses flokulasi, flok diendapkan. Bagian atas air yang lebih jernih kemudian diukur kekeruhan dan zeta potensialnya. Prosedur lengkap dan detail dari tes jar dapat mengacu pada SNI 19-6449-2000 tentang Metode Pengujian Koagulasi-Flokulasi dengan Cara Jar (Badan Standardisasi Nasional, 2000).

Selain konsentrasi koagulan optimum, terdapat beberapa data yang dapat diperoleh dari pengujian tes jar, yaitu berupa (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2022):

- 1) pH optimum, dapat diperoleh melalui uji coba berbagai variasi penambahan yang dilakukan sebelum koagulasi.

- 2) Kekeruhan dan warna, diukur sebelum dan sesudah uji tes jar untuk mengetahui persen efektivitas proses koagulasi flokulasi.
- 3) Kondisi alkalinitas, diperlukan untuk menjaga keseimbangan pH selama proses. Pengkondisian alkalinitas dilakukan sebelum koagulasi dengan menambahkan zat kapur, sodium karbonat, atau silika.
- 4) Kecepatan pengadukan, dapat diatur untuk diterapkan pada kondisi operasi di lapangan.
- 5) Waktu penjernihan, dapat dianalisis untuk mengetahui kondisi operasi yang efisien di lapangan.
- 6) Metode penambahan koagulan, dimana beberapa metode penambahan koagulan menjadi faktor penentu keberhasilan proses di lapangan. Beberapa metode penambahan antara lain penambahan dari atas wadah, penambahan dari dari dasar wadah, penambahan koagulan bersamaan dengan agen aditif, atau penambahan koagulan berurutan dengan agen aditif.



Gambar 3.3. Contoh data grafik hasil tes jar koagulasi flokulasi (sumber: (Margaretha *et al.*, 2012))

Penentuan konsentrasi koagulan optimum dilakukan dengan mengukur parameter air hasil proses. Parameter yang dimaksud antara lain nilai kekeruhan yang paling rendah atau nilai zeta potensial yang paling mendekati nol. Apabila dari berbagai variasi konsentrasi koagulan terdapat satu variabel yang memenuhi parameter tersebut, maka variabel tersebut dianggap sebagai konsentrasi koagulan optimum. Contoh data hasil tes jar koagulasi flokulasi dapat dilihat pada gambar 5.3.

Dari gambar 5.3, dapat dilihat bahwa diantara variasi konsentrasi koagulan yang diuji coba (40 ppm, 80 ppm, 120 ppm, 160 ppm, dan 200 ppm), konsentrasi koagulan optimum adalah 160 ppm karena menghasilkan air dengan nilai kekeruhan paling rendah diantara konsentrasi lain yaitu 2,83 NTU. Konsentrasi 160 ppm menjadi acuan dalam penentuan konsentrasi optimum pada instalasi pengolahan air dan air limbah skala besar. Misalkan dalam suatu instalasi, terdapat tangki penambahan koagulan dengan kapasitas 10 m³. Pada tangki tersebut air diisi penuh sesuai kapasitas yang kemudian ditambahkan koagulan secara *batch*. Dari sini dapat dihitung jumlah kg koagulan yang perlu ditambahkan agar tercapai konsentrasi 160 ppm dalam tangki tersebut.

Diketahui:

$$\text{ppm} = \text{mg/L}$$

$$10 \text{ m}^3 = 10000 \text{ L}$$

$$160 \text{ ppm} = \frac{160 \text{ mg}}{1 \text{ L}}$$

$$\frac{160 \text{ mg}}{1 \text{ L}} = \frac{x \text{ mg}}{10000 \text{ L}}$$

$$x \text{ mg} = 1600000 \text{ mg}$$

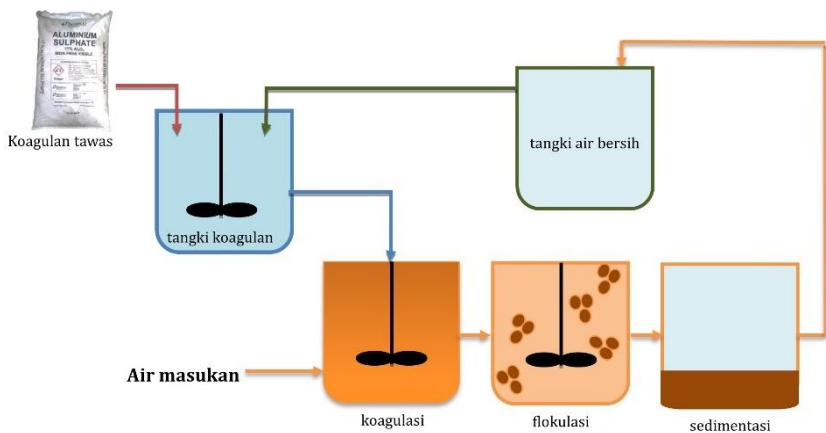
$$x = 1,6 \text{ kg}$$

Dengan demikian, berdasarkan perhitungan diatas cukup ditambahkan 1,6 kg koagulan alumunium sulfat pada wadah tangki koagulan kapasitas 10 m³.

3.5 Peralatan Proses Pengolahan

Peralatan koagulasi flokulasi yang digunakan di instalasi pengolahan air dan air limbah terdiri atas beberapa bagian utama. Berikut adalah beberapa peralatan umum digunakan pada unit koagulasi dan flokulasi di instalasi pengolahan air dan air limbah (Reynolds and Richards, 1982):

- 1) Tangki koagulan, merupakan wadah penampungan koagulan dimana pada koagulan padat dilarutkan dengan air untuk menghasilkan larutan koagulan yang siap diinjeksikan ke dalam bak koagulasi.
- 2) Bak koagulasi, merupakan tempat berlangsungnya koagulasi. Pada bak ini dilakukan penambahan koagulan terhadap air masukan yang dilengkapi dengan pengaduk untuk melangsungkan pengadukan cepat.



Gambar 3.4. Unit Koagulasi Flokulasi Pada Instalasi Pengolahan Air (sumber: dokumentasi pribadi)

- 3) Bak flokulasi, merupakan tempat berlangsungnya flokulasi, dimana flok yang terbentuk distabilisasi melalui pengadukan lambat.
- 4) Bak sedimentasi (*clarifier*), digunakan untuk memisahkan flok yang sudah terbentuk dari air atau cairan proses. Flok dengan massa yang lebih tinggi akan turun ke dasar tangki dan kemudian diperoleh air yang lebih jernih pada bagian atas.
- 5) Filter, dimana cairan yang jernih dapat melewati filter untuk menghilangkan partikel-partikel halus yang tersisa setelah melalui bak koagulasi, flokulasi, dan pengendapan,. Filter bisa berupa media pasir, karbon aktif, atau media lainnya tergantung pada jenis partikel yang perlu dihilangkan.
- 6) Tangki penyimpanan (*reservoir*), dimana pada bagian ini ditampung air keluaran hasil proses yang telah memenuhi standar baku mutu. Air ini siap digunakan untuk kebutuhan dan dapat dialirkan kembali ke bak koagulan untuk melarutkan koagulan padatan.



Gambar 3.5. Instalasi pengolahan air dan air limbah dengan unit koagulasi flokulasi (sumber: dokumentasi pribadi)

Penting untuk dicatat bahwa peralatan yang digunakan dalam industri dapat bervariasi tergantung pada jenis industri dan aplikasi khususnya. Penjelasan di atas memberikan gambaran umum tentang peralatan yang sering digunakan dalam proses koagulasi flokulasi di instalasi pengolahan air dan air limbah.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional (2000) *SNI 19-6449-2000 Metode Pengujian Koagulasi Flokulasi dengan cara Jar*. Jakarta.
- Choy, S. Y. *et al.* (2014) 'Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification', *Journal of Enviromental Sciences*, 26, pp. 2178–2189. doi: 10.1016/j.jes.2014.09.024.
- Eckenfelder, W. J. W. (2000) *Industrial Water Pollution Control*. 3th edn. Singapore: Mc Graw Hill Book Co.
- El-taweel, R. M. *et al.* (2023) 'A review of coagulation explaining its definition, mechanism, coagulant types, and optimization models; RSM, and ANN', *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 6(January), p. 100358. doi: 10.1016/j.crgsc.2023.100358.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2022) *Buku Materi Pelatihan Berbasis Kompetensi: Mengoperasikan Pengadukan Cepat*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Air Minum.
- Margaretha *et al.* (2012) 'Pengaruh Kualitas Air Baku Terhadap Dosis dan Biaya Koagulan Alumunium Sulfat dan Poly Alumunium Chloride', *Jurnal Teknik Kimia*, 18(4), pp. 21–30.
- Nanocomposix (2022) *Zeta Potential Nanoparticle Analysis*. Available at: <https://nanocomposix.com/products/zeta-potential-nanoparticle-analysis?variant=14138179780> (Accessed: 30 May 2023).
- Reynolds, T. D. and Richards, P. A. (1982) *Unit Operations and Process in Environmental Engineering*. 2nd Editio, Wadsorth, CA. 2nd Editio. Boston: PWS Publishing Company.
- Risdianto, D. (2007) *Optimisasi Proses Koagulasi Flokulasi untuk Pengolahan Air Limbah Industri Jamu (Studi Kasus PT. Sido Muncul)*. Universitas Diponegoro.

Winarni, Iswanto, B. and Karina, C. (2011) 'Pengaruh Pengadukan pada Koagulasi Menggunakan Alum', *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 5(6), pp. 201–206. doi: 10.25105/urbanenvirotech.v5i6.694.

BAB 4

PENGOLAHAN BIOLOGI I: AEROB DAN ANAEROB

Oleh Isran Asnawi

4.1 Prinsip Pengolahan

Pengolahan air limbah secara aerob dan anaerob adalah dua metode yang umum digunakan dalam proses pengolahan air limbah secara biologi. Pada prinsipnya, metode pengolahan ini melibatkan mikroba aerob dan anaerob dalam mengurai polutan pada air limbah. Karakteristik polutan yang akan diurai oleh mikroba ini adalah senyawa organik yang menjadi nutrisi bagi keberlangsungan hidup mikroba. Senyawa organik ini dapat diukur melalui parameter BOD dan COD. Pemilihan metode pengolahan air limbah secara aerob atau anaerob, tergantung pada faktor-faktor seperti karakteristik air limbah, tingkat pengolahan yang diinginkan, ketersediaan sumber daya, dan kondisi lingkungan setempat. Dalam beberapa kasus, kedua metode ini juga dapat digunakan secara bersamaan dalam sistem pengolahan air limbah yang lebih kompleks untuk mencapai hasil yang optimal.

Pengolahan air limbah secara aerob melibatkan penggunaan oksigen dalam proses penguraian senyawa organik yang terkandung dalam air limbah. Proses ini memerlukan keberadaan oksigen terlarut di dalam air atau udara yang ditiupkan ke dalam reaktor pengolahan air limbah. Mikroba aerob, seperti bakteri dan jamur, menggunakan oksigen untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air limbah menjadi karbon dioksida, air, dan biomassa. Proses aerob biasanya

terjadi dalam bakteri aerobik yang bekerja dengan baik dalam kondisi lingkungan yang kaya oksigen.

Pengolahan air limbah secara anaerob terjadi dalam kondisi tanpa oksigen atau dengan konsentrasi oksigen yang sangat rendah. Proses ini melibatkan mikroba anaerob, terutama bakteri, yang dapat mengurai senyawa organik dalam air limbah tanpa oksigen. Bakteri anaerob menghasilkan metana (gas) dan lumpur aktif sebagai produk sampingan dari penguraian senyawa organik.

Beberapa hal mendasar yang diperlukan untuk keberlangsungan proses pengolahan secara aerob dan anaerob antara lain adanya populasi mikroba, reaktor sebagai wadah interaksi antara mikroba dengan air limbah, ketersediaan oksigen terlarut dalam air limbah (khusus untuk proses aerob), dan ketersediaan nutrisi. Pengolahan air limbah secara aerob dan anaerob dilakukan dengan tujuan yang diuraikan sebagai berikut (Ningtias *et al.*, 2018):

- 1) Menghilangkan partikel koloid tak mengendap dalam air limbah.
- 2) Menstabilkan senyawa organik dan anorganik yang terlarut pada air limbah dengan cara mengubah kandungan pencemar menjadi partikel biosolid dan gas
- 3) Menyisihkan senyawa organik atau mengubah bentuk (transformasi) senyawa organik menjadi senyawa lain dengan rantai yang lebih pendek dan tidak berbahaya
- 4) Menggunakan kembali senyawa organik yang terdapat dalam air limbah seperti gas metana atau residu-residu pengolahan.
- 5) Menyisihkan BOD dan COD yang tidak diinginkan dalam air limbah.

- 6) Menyisihkan senyawa nitrogen atau amonia dalam air limbah secara nitrifikasi, denitrifikasi, atau anammox.

Karakteristik limbah yang mempengaruhi pemilihan antara desain secara aerob atau anaerob meliputi komposisi senyawa organik, konsentrasi nutrisi, ketersediaan oksigen, dan stabilitas limbah. Senyawa organik apabila kandungannya tinggi, umumnya cocok untuk pengolahan aerob. Mikroba aerob memerlukan oksigen untuk mengoksidasi senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Konsentrasi nutrisi, seperti seperti nitrogen dan fosfor juga menjadi faktor penting dalam pertumbuhan mikroba. Jika limbah mengandung konsentrasi nutrisi yang tinggi, seperti dalam limbah domestik atau limbah industri dengan sisa makanan, pengolahan aerob dengan pertumbuhan tersuspensi, dapat efektif dalam menghilangkan nutrisi tersebut.

Ketersediaan oksigen merupakan faktor utama pemilihan desain pengolahan aerob atau anaerob. Pengolahan aerob memerlukan ketersediaan oksigen yang cukup. Jika limbah memiliki akses terbatas terhadap oksigen, seperti limbah dengan kandungan padat yang tinggi atau limbah dalam kondisi tercuali, pengolahan anaerob mungkin lebih sesuai. Mikroba anaerob dapat menguraikan senyawa organik tanpa memerlukan oksigen eksternal. Namun proses anaerob ini secara umum menghasilkan hasil samping berupa biogas. Biogas ini dapat dijadikan sebagai sumber energi yang potensial. Selain itu terdapat kondisi keberadaan oksigen terbatas namun masih memiliki suplai oksigen dari gugus fungsi oksigen. Kondisi ini disebut kondisi anoksik. Anoksik biasanya digunakan untuk penyisihan nitrogen pada air limbah melalui proses denitrifikasi.

Stabilitas limbah juga merupakan salah satu faktor penentu desain pengolahan. Pengolahan anaerob sering lebih cocok untuk limbah yang lebih stabil, yang cenderung terurai lebih lambat atau sulit terurai. Limbah yang terkontaminasi dengan bahan kimia yang dapat menghambat mikroba anaerob juga dapat menjadi tantangan dalam pengolahan anaerob. Dalam kasus limbah yang tidak stabil atau mengandung senyawa yang sulit terurai, pengolahan aerob dapat lebih efektif dalam mempercepat degradasi limbah.

Terdapat dua kategori utama pengolahan secara biologi yang didasarkan pada interaksi mikroba dengan substrat atau lingkungannya yaitu:

- 1) Proses biakan tersuspensi (*suspended growth*) yaitu pertumbuhan mikroba dalam keadaan tersuspensi dan terdistribusi di setiap media cair.
- 2) Proses biakan melekat (*attached growth*), yaitu pertumbuhan mikroba berlangsung pada media secara melekatkan diatas permukaan media tersebut dan membentuk lapisan biofilm.

Dalam proses biakan tersuspensi, mikroba ditumbuhkan dalam suspensi cair dengan metode pencampuran yang tepat. Metode biakan tersuspensi ini banyak digunakan pada pengolahan air limbah domestik dan industri untuk penguraian senyawa organik dengan bantuan oksigen terlarut (aerob) dan penguraian nitrat/nitrit secara anoksik. Namun apabila dalam air limbah mengandung konsentrasi organik tinggi dan lumpur organik maka biakan tersuspensi dilangsungkan secara anaerob. Tipe pengolahan biakan tersuspensi dapat berlangsung secara aerob dan anaerob dengan klasifikasi sebagai berikut (Tchobanoglous *et al.*, 2014):

- 1) Tipe pengolahan biakan tersuspensi secara aerob, antara lain lumpur aktif, kolam aerasi, aerobik digester, dan membran bioreaktor.
- 2) Tipe pengolahan biakan tersuspensi secara anaerob, antara lain anaerobik digester dan proses anammox.

Dalam proses biakan melekat, mikroba mengurai senyawa organik atau nutrisi secara melekat pada bahan kemasan inert. Senyawa organik dan nutrisi sebagai substrat dialirkan melewati biofilm. Material dari biofilm ini dapat berupa batu, kerikil, terak, pasir, kayu, dan berbagai plastik dari bahan sintesis. Proses biakan melekat juga dapat dioperasikan secara aerob dan anaerob. Tipe pengolahan biakan melekat diklasifikasikan sebagai berikut (Tchobanoglous *et al.*, 2014):

- 1) Tipe pengolahan biakan melekat secara aerob antara lain *moving bed biofilm reactor* (MBBR), *packed bed reactor*, reaktor biologis putar, dan filter resapan.
- 2) Tipe pengolahan biakan melekat secara anaerob antara lain *anaerobic packed and fluidized bed* dan *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB).

4.2 Pengolahan Secara Aerob

Proses pengolahan secara aerob memerlukan keberadaan oksigen terlarut di dalam air atau udara yang ditiupkan ke dalam sistem pengolahan limbah. Berikut dijelaskan beberapa teknik pengolahan limbah secara aerob yang umum digunakan.

4.2.1 Lumpur Aktif

Lumpur aktif merupakan metode pengolahan secara aerob dengan tipe biakan tersuspensi. Pada metode ini, air limbah dicampur dengan lumpur aktif yang mengandung

mikroba aerob dalam tangki pengolahan. Mikroba aerob ini dapat berupa bakteri dan jamur yang mengkonsumsi senyawa organik dalam limbah menggunakan oksigen terlarut sebagai sumber energi. Suplai oksigen dilakukan dengan proses aerasi menggunakan aerator dfusi. Proses ini menghasilkan biomassa baru, air yang lebih jernih, dan karbon dioksida sebagai produk sampingan. Lumpur aktif dapat dioperasikan dalam sistem aliran berkelanjutan (*continuous flow*) atau dalam sistem tumpak (*batch*).

Biomassa yang dihasilkan dari reaksi biokimia di dalam tangki aerasi terbentuk akibat adanya substrat dalam lumpur. Pengendapan biomassa terjadi dalam tangki pengendapan sekunder. Bagian padat dalam tangki tersebut kemudian disirkulasi ke dalam tangki aerasi untuk mempertahankan konsentrasi biomassa dalam reaktor sehingga berpengaruh terhadap efisiensi sistem. Lumpur sisa dari pengolahan ini kemudian diarahkan menuju tempat pengolahan lumpur. Sehingga dapat diketahui bahwa terdapat tiga jenis lumpur yang terlibat dalam proses ini, yaitu lumpur sisa, lumpur biomassa yang berada pada bak aerasi, dan lumpur sekunder yang berada pada tangki sedimentasi (Sperling, 2007).

4.2.2 Kolam Aerasi

Kolam aerasi merupakan metode pengolahan secara aerob dengan tipe biakan tersuspensi. Pada metode ini, pertumbuhan mikroba aerob dilangsungkan pada media permukaan terbuka yang terkena udara. Air limbah dialirkan melalui saluran terbuka atau kolam dangkal yang ditumbuhi mikroba aerob. Mikroba ini secara alami menguraikan senyawa organik dalam limbah saat terpapar oksigen di udara. Proses ini menghasilkan penguraian limbah yang lebih lanjut dan

peningkatan kualitas air. Pada kolam aerasi digunakan aerator permukaan (*surface aerator*) sebagai tenaga pengadukan dan menyuplai oksigen terlarut sehingga mencegah tumbuhnya alga dalam kolam.

Pengolahan dengan kolam aerasi merupakan kombinasi dari sistem lumpur aktif dan kolam stabilisasi. Kolam aerasi memiliki efisiensi penyiihan BOD lebih besar dari 90% dengan waktu retensi cukup panjang yaitu 2 waktu 6 hari. Waktu retensi kurang dari dua hari tidak dianjurkan karena terlalu singkat untuk memungkinkan terbentuknya flokulen yang baik. Konsentrasi padatan dapat mencapai 200-500 mg/L (Reynolds and Richards, 1982).

4.2.3 Digester Aerobik

Digester aerobik (*aerobic digestion*) merupakan bagian dari metode pengolahan secara aerob dengan tipe biakan tersuspensi. Digester aerobik, juga dikenal sebagai reaktor aerobik, adalah suatu sistem yang mengkombinasikan prinsip pengolahan limbah aerob dengan konsep digester. Digester aerobik bekerja dengan memberikan oksigen secara terkontrol ke dalam limbah untuk mendukung pertumbuhan mikroba aerob yang menguraikan senyawa organik. Limbah yang diolah pada digester aerobik adalah lumpur hasil pengolahan air limbah menggunakan tangki terbuka atau tertutup yang terpisah dari sistem proses cair. Pengolahan ini cocok menangani lumpur hasil pengolahan dari lumpur aktif, *trickling filter*, atau lumpur primer dari berbagai pengolahan biologi (Shammas and Wang, 2007).

Digester aerobik beroperasi dengan prinsip yang sama dengan proses lumpur aktif. Ketika nutrisi habis, mikroba memasuki fase endogen dan jaringan sel dioksidasi secara

aerobik menjadi CO_2 , H_2O , NH_4^+ , NO_2^- , dan NO_3^- . Bagian dari digester aerobik antara lain aerator, pompa resirkulasi lumpur, pipa, pengaduk, dan sekat pengumpul sampah. Digester aerobik dirancang mirip dengan tangki aerasi persegi panjang dan menggunakan aerator konvensional.

4.2.4 Membran Bioreaktor

Membran Bioreaktor (MBR) merupakan bagian dari metode pengolahan secara aerob dengan tipe biakan tersuspensi. Prinsip dari membran bioreaktor adalah penggunaan membran yang terendam di dalam bioreaktor yang bertujuan untuk mempercepat proses pemisahan biomassa. Sebelum masuk ke dalam membran, limbah diolah secara biologis konvensional melalui tangki aerasi. Biomassa yang terbentuk hasil dari proses biokimiawi di teruskan ke membran. Membran dalam hal ini berfungsi untuk menggantikan peran kolam sedimentasi konvensional untuk memisahkan padatan dan cairan lebih cepat dan efisien.

Proses ini menggabungkan keuntungan bioreaktor konvensional dengan kemampuan membran untuk memisahkan padatan, mikroba, dan senyawa terlarut dari air limbah. Hasilnya adalah air yang lebih bersih dan padatan yang terkonsentrasi, yang dapat diolah lebih lanjut atau dibuang dengan lebih aman.

4.2.5 *Moving Bed Biofilm Reactor*

Moving Bed Biofilm Reactor (selanjutnya disingkat MBBR) berlangsung secara aerob dengan tipe biakan melekat dan suspensi secara bersamaan. MBBR merupakan proses pengolahan biologi menggunakan lumpur aktif yang ditingkatkan dengan menambahkan media biofilm yang bergerak bebas di dalam reaktor aerasi. Media biofilm ini

disebut sebagai biokarir sebagai tempat tumbuh mikroba secara melekat yang akan terakumulasi membentuk biomassa. Biokarir tersebut memiliki luas permukaan yang besar untuk memaksimalkan kontak antara air limbah, udara dan mikroba.

Biokarir yang digunakan untuk MBBR adalah berbahan HDPE dengan massa jenis $0,95 \text{ g/cm}^3$ dan berbentuk silinder kecil dengan bagian bergerigi di luarnya. Silinder ini memiliki panjang 7 mm dan diameter 10 mm yang tersebar merata di setiap bagian reaktor. Jumlah biokarir yang dimasukkan ke dalam air limbah adalah tergantung kapasitas reaktor dan debit air limbah, namun biasanya dimasukkan maksimal 70% (Said and Santoso, 2018).

4.2.6 Reaktor *Packed Bed*

Reaktor *packed-bed* merupakan bagian dari metode pengolahan secara aerob dengan tipe biakan melekat. Pada reaktor *packed bed* digunakan sistem aerobik biofilter secara lekat diam, dimana mikroba akan tumbuh di atas media yang terbuat dari plastik atau batu, untuk membentuk suatu lapisan biofilm. Suatu reaktor *packed bed* berbentuk silinder vertikal (sering juga disebut kolom) dengan air limbah masukan yang dapat dialirkan dari atas ke bawah (*up flow*) atau dari bawah ke atas (*down flow*).

Di dalam suatu reaktor *packed bed* terdapat media (*packing material*) yang tidak bergerak selama proses reaksi. Bahan tersebut bisa berupa butiran kecil, serpihan, atau bahan berpori dengan luas permukaan yang besar. Fungsi dari bahan pengisian adalah untuk memberikan area permukaan yang luas agar kontak antara reaktan dan katalis dapat terjadi dengan baik. air limbah yang mengandung senyawa organik (BOD dan COD), amonia, dan fosfor akan terdifusi kedalam lapisan biofilm

yang melekat pada permukaan medium. Pada saat yang bersamaan yang berlangsung aerob, senyawa organik, amonia, dan fosfor pada air limbah akan diuraikan oleh mikroba yang ada didalam lapisan biofilm untuk membentuk biomasa (Tchobanoglous *et al.*, 2014) (Titiresmi, 2016).

4.2.7 Reaktor Biologis Putar

Reaktor biologis putar (*rotating biological contactor*) disingkat RBC merupakan bagian dari metode pengolahan secara aerob dengan tipe biakan melekat. Prinsip kerja dari reaktor biologis putar adalah air limbah yang mengandung senyawa organik dikontakkan dengan lapisan biofilm di dalam reaktor yang bentuknya berupa piringan (*disk*) yang berputar secara perlahan. Piringan yang berputar terbuat dari bahan polimer atau plastik yang ringan dan disusun dari berjajar-jajar pada suatu poros sehingga membentuk suatu modul. Modul ini dalam keadaan tercelup sebagian ke dalam air limbah yang mengalir secara kontinyu ke dalam reaktor tersebut. Mikroba akan melekat pada piringan dan mengurai senyawa organik yang terkandung pada limbah dan akan membentuk biomassa. Kondisi ini berlangsung secara aerob. Biomassa yang semakin menebal akan mengelupas dari mediumnya karena gaya berat dan terbawa aliran keluar. Selanjutnya, mikroba pada permukaan piringan akan tumbuh lagi dengan sendirinya hingga terjadi kesetimbangan sesuai dengan kandungan senyawa organik yang ada dalam air limbah (Said, 2005).

4.2.8 Filter Resapan

Filter resapan atau lebih umum dikenal sebagai *trickling filter* merupakan bagian dari metode pengolahan secara aerob dengan tipe biakan melekat. Prinsip kerja dari filter resapan ini adalah menyemprotkan air limbah ke dalam suatu tumpukan

media berpori yang selanjutnya penguraian senyawa organik akan berlangsung secara aerob dan membentuk biofilm pada media. Sistem penyemprotan air limbah dilakukan secara berputar mengelilingi tangki yang tertuju pada media berpori. Media berpori ini terbuat dari bahan serat sintetis, jerami, atau batuan yang berfungsi sebagai tempat penempelan mikroba aerob.

Air limbah yang disemprotkan akan meresap ke arah sistem drainase yang terletak di bagian bawah tangki. Resapan ke bawah ini memungkinkan pertumbuhan bakteri pada permukaan media berpori, dalam bentuk biofilm. Air limbah yang melewati biofilm, akan mengalami kontak antara mikroba dan senyawa organik. Air dengan kandungan senyawa organik yang sudah berkurang ditampung pada bagian bawah tangki sebagai air luaran.

4.3 Pengolahan Secara Anaerob

Pengolahan limbah secara anaerob adalah metode pengolahan limbah yang melibatkan penggunaan mikroba anaerob (yang dapat beroperasi tanpa oksigen) untuk menguraikan senyawa organik dalam air limbah. Proses ini terjadi dalam kondisi tanpa atau dengan konsentrasi oksigen yang sangat rendah. Berikut dijelaskan beberapa teknik pengolahan limbah secara anaerob yang umum digunakan.

4.3.1 Digester Anaerobik

Digester anaerob merupakan bagian dari metode pengolahan secara anaerob dengan tipe biakan tersuspensi. Pada digester anaerobik, proses penguraian senyawa organik berlangsung pada reaktor tertutup mikroba anaerob. Proses ini

menghasilkan biogas dan lumpur aktif sebagai produk sampingan. Biogas dapat digunakan sebagai sumber energi, sedangkan lumpur aktif dapat dikembalikan ke reaktor untuk menjaga populasi mikroba anaerob. Produksi biogas yang dihasilkan antara lain metana sebanyak 55-75%, karbondioksida 25-45%, dan sejumlah kecil hidrogen sulfida, hidrogen, dan nitrogen (Reynolds and Richards, 1982).

Digester anaerobik secara umum digunakan untuk mengolah sampah atau limbah padat rumah tangga untuk menghasilkan biogas. Biogas ini umumnya mengandung biogas dan gas hasil samping berupa metana, karbondioksida, dan sulfur. Biogas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai sumber energi untuk pemanasan, pembangkit listrik, atau digunakan dalam proses industri.

4.3.2 Proses Anammox

Anaerobic ammonium oxidation (anammox) merupakan proses biologis yang mampu mengubah amonium (NH_4^+) menjadi gas nitrogen (N_2) menggunakan nitrit sebagai akseptor elektron dalam kondisi anaerob. Proses ini spesifik dilakukan untuk penyisihan nitrogen pada air limbah. Pada aplikasinya, proses anammox dibantu oleh bakteri anammox genus *Candidatus brocadia* yang bekerja pada rentang suhu 20-43 °C di dalam suatu reaktor. Proses anammox bekerja pada berbagai jenis reaktor, seperti *sequencing batch reactor* (SBR), *fluidized bed reactor* (FBR), *upflow biofilter* (UBF), *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB), *membrane bioreactor* (MBR), *air lift reactor* (ALR), dan *rotating biological contactor* (RBC). Berdasarkan hasil penelitian oleh (Zulkarnaini, Afrianita and Putra, 2020) proses anammox yang dilangsungkan pada reaktor upflow anaerob sludge blanket (UASB) menghasilkan efisiensi penyisihan nitrogen sebesar 77%.

Penyisihan nitrogen pada air limbah secara umum dapat berlangsung melalui metode nitrifikasi, denitrifikasi, dan anammox. Perbedaan utama antara nitrifikasi, denitrifikasi, dan anammox adalah terletak pada kondisi oksigen yang diperlukan, produk akhir yang dihasilkan, serta kelompok mikroba yang terlibat dalam setiap proses. Nitrifikasi terjadi dalam kondisi aerobik dan menghasilkan nitrat (NO_3^-), sedangkan denitrifikasi dan Anammox terjadi dalam kondisi anaerobik dan menghasilkan gas nitrogen (N_2). Denitrifikasi melibatkan bakteri denitrifikasi, sementara Anammox melibatkan *Anammox bacteria*. Ketiga proses ini dapat digunakan secara terpisah atau dikombinasikan dalam sistem pengolahan air limbah untuk mengurangi kadar nitrogen secara efektif.

Jika dibandingkan dengan proses nitrifikasi dan denitrifikasi, proses anammox mampu menghemat kebutuhan oksigen hingga 60%, mengurangi produksi lumpur hingga 90%, dan mengurangi penyebab pemanasan global karena lebih sedikit memproduksi N_2O . Di habitat alami dan habitat buatan seperti sungai, danau, muara, akuifer air tanah, lahan basah, sawah, everglades, tanah, dan air laut keberadaan bakteri anammox dapat ditemukan (Lulrahman, Silvia and Zulkarnaini, 2022).

4.3.3 Anaerobik Packed And Fluidized Bed

Reaktor anaerobik *packed bed* dan *fluidized bed* merupakan dua jenis reaktor terpisah untuk pengolahan air limbah secara biologi. Kedua jenis reaktor ini mengolah air limbah dengan tipe biakan melekat dengan proses yang berlangsung secara anaerob. Pada reaktor *anaerobic packed bed* limbah dialirkan pada kolom yang berisi media biofilm secara lekat diam. Pada reaktor anaerobik *fluidized bed* juga berupa

kolom yang berisi media biofilm dengan mikroba anaerob, namun media di dalam kolom terfluidisasi atau bergerak secara acak. Media biofilm di dalam kolom *packed bed* dan *fluidized bed* ini mengandung mikroba anaerob yang mengurai senyawa organik air limbah. Karena proses berlangsung secara anaerob, maka dari proses ini dihasilkan biogas.

Media biofilm pada reaktor anaerobik *fluidized bed* merupakan media padat berpori yang tersusun dari pasir atau bahan sintetis. Media ini memiliki massa jenis yang ringan sehingga dapat mengapung dalam air limbah. Air limbah dialirkan melalui media tersebut dari bawah ke atas atau sebaliknya dengan kecepatan aliran yang cukup tinggi. Aliran ini menyebabkan media padat menjadi terfluidisasi atau bergerak secara acak, sehingga menciptakan turbulensi dan kontak yang intens antara air limbah dan mikroba anaerob yang melekat pada media. Mikroba ini akan menguraikan senyawa organik dalam air limbah menjadi gas metana dan karbon dioksida.

Perbedaan utama antara reaktor anaerobik *packed bed* dan anaerobik *fluidized bed* terletak pada media yang digunakan dan aliran air limbah di dalam reaktor. Reaktor *packed bed* menggunakan media padat yang tetap, sedangkan reaktor *fluidized bed* menggunakan media yang terfluidisasi. Desain dan operasi keduanya dipilih tergantung pada karakteristik air limbah, kebutuhan pengolahan, dan faktor-faktor lainnya yang relevan dalam pengolahan air limbah secara anaerobik.

4.3.4 Upflow Anaerobic Sudge Blanket (UASB)

Reaktor *upflow anaerobic sudge blanket* (UASB) merupakan bagian dari metode pengolahan secara anaerob dengan tipe biakan melekat. Cara kerja reaktor ini adalah limbah dialirkan dari bawah melalui kolom reaktor yang mengandung

lumpur aktif anaerob. Lumpur aktif ini mengandung mikroba anaerob yang mengurai senyawa organik dalam air limbah. Proses ini menghasilkan produksi biogas yaitu metana.

Air limbah dimasukkan ke dalam reaktor UASB dari bawah, yang menghasilkan aliran naik melalui kolom reaktor. Aliran naik ini memungkinkan kontak antara air limbah dan biomassa mikroba yang ada di dalam reaktor. Di bagian bawah reaktor, terbentuk lapisan lumpur (*sludge blanket*) yang merupakan campuran dari biomassa mikroba anaerob, partikel organik, dan endapan padat lainnya. Ketika air limbah naik melalui reaktor, bahan organik dalam air limbah diuraikan oleh mikroba anaerob dalam lapisan lumpur. Gas metana sebagai hasil penguraian ini akan naik ke bagian atas reaktor dan dapat dikumpulkan untuk digunakan sebagai sumber energi yang potensial. Setelah air limbah mengalami proses penguraian bahan organik, air yang tersisa naik melalui lapisan lumpur dan masuk ke bagian atas reaktor. Di bagian atas reaktor, air mengalami pemisahan dari lumpur dan kemudian dikeluarkan sebagai air yang lebih jernih.

DAFTAR PUSTAKA

- Lulrahman, F., Silvia, S. and Zulkarnaini (2022) 'Penyisihan Nitrogen dengan Proses Anammox Menggunakan Lumpur Muara Penjalinan Kota Padang sebagai Inokulum', *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 23(2), pp. 143–150.
- Ningtias, B. C. *et al.* (2018) 'Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Anoksik-Aerobik Moving Bed Biofilm Reactor (Studi Kasus: Penyisihan Amonia Dan Karbon Dalam Air Limbah Domestik)', *Jurnal Air Indonesia*, 8(2), pp. 177–188. doi: 10.29122/jai.v8i2.2377.
- Reynolds, T. D. and Richards, P. A. (1982) *Unit Operations and Process in Environmental Engineering*. 2nd Editio, Wadsworth, CA. 2nd Editio. Boston: PWS Publishing Company.
- Said, N. I. (2005) 'Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Reaktor Biologis Putar (Rotating Biological Contactor) dan Parameter Disain', *Jurnal Air Indonesia*, 1(2), pp. 178–188.
- Said, N. I. and Santoso, T. I. (2018) 'Penghilangan Polutan Organik dan Padatan Tersuspensi di dalam Air Limbah Domestik Dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)', *Jurnal Air Indonesia*, 8(1), pp. 33–46. doi: 10.29122/jai.v8i1.2382.
- Shammas, N. K. and Wang, L. K. (2007) 'Aerobic Digestion BT - Biosolids Treatment Processes', in Wang, L. K., Shammas, N. K., and Hung, Y.-T. (eds). Totowa, NJ: Humana Press, pp. 177–205. doi: 10.1007/978-1-59259-996-7_6.
- Sperling, M. Von (2007) *Biological Wastewater Treatment Series - Volume 5: Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors*. London: IWA Publishing.
- Tchobanoglous, G. *et al.* (2014) *Wastewater Engineering (Treatment and Resource Recovery) - Metcalf & Eddy I AECOM*. 5th Editio. New York: Mc Graw Hill Education.
- Titiresmi (2016) 'Penurunan Bahan Organik Air Limbah Industri Permen dengan menggunakan Reaktor Packed Bed

berdasarkan Variasi Waktu Tinggal', *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 12(3), p. 283. doi: 10.29122/jtl.v12i3.1237.

Zulkarnaini, Afrianita, R. and Putra, I. H. (2020) 'Aplikasi Proses Anammox Dalam Penyisihan Nitrogen Menggunakan Reaktor Up-FlowAnaerobic Sludge Blanket Application', *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(1), pp. 31–039.

BAB 5

PENGOLAHAN BIOLOGI II :

MIKROBIOLOGI DAN LIMBAH CAIR

Oleh Alianto

5.1 Pendahuluan

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengendalikan pencemaran dan penyuburan perairan yang lebih dikenal dengan sebutan eutrofikasi adalah dengan melakukan pengolahan limbah cair pada sumbernya. Limbah cair merupakan hasil samping dari proses produksi yang tidak dapat digunakan serta dapat menimbulkan pencemaran bila tidak dikelola dengan baik. Limbah cair yang sumbernya berasal dari berbagai aktifitas manusia akhir-akhir ini masih merupakan salah satu permasalahan serius bagi lingkungan. Salah satu sumber produksi limbah cair yang menimbulkan dampak besar dan negatif bagi lingkungan adalah kegiatan industri. Limbah cair dari sumber proses produksi kegiatan industri lebih berbahaya dari sumber lainnya seperti pemukiman dan pertanian. Faktor penyebabnya adalah limbah cair industri volumenya lebih besar dan sifatnya simultan serta jenisnya lebih beragam dari waktu ke waktu. Hal ini bila tidak dikendalikan dengan baik akan menyebabkan terjadinya pencemaran dan eutrofikasi yang banyak menimbulkan kerugian bagi manusia dan lingkungan itu sendiri.

Pencemaran yang disebabkan oleh limbah cair industri terutama golongan B3 (bahan berbahaya beracun) akan berdampak buruk pada tanah dan perairan. Konsekuensi dari

pencemaran adalah semua organisme yang ada di tanah dan perairan akan mengalami kematian. Sebaliknya berbeda dengan eutrofikasi atau yang lebih dikenal dengan sebutan pengkayaan nutrisi atau penyuburan perairan. Faktor penyebab terjadinya eutrofikasi adalah bahan organik dalam bentuk nitrogen dan fosfat anorganik terlarut dengan konsentrasi tinggi di perairan. Konsekuensi dari eutrofikasi berdampak pada perairan dengan terjadinya blooming mikroalga. Blooming akan berdampak baik pada perairan bila tidak didominasi mikroalga tertentu. Sebaliknya bila didominasi mikroalga tertentu akan berdampak buruk dengan memicu terjadinya red tide. Pada kondisi red tide, mikroalga akan menghasilkan racun yang akan merugikan perairan baik secara ekologi (sumberdaya perairan dan kualitas air) maupun ekonomi.

Upaya untuk mengantisipasi dan mengendalikan dampak buruk dari limbah cair industri telah ditemukan. Seiring dengan berjalannya waktu cara atau teknologi pengolahan limbah cair industri telah banyak diterapkan penggunaannya. Namun pada kenyataannya pemanfaatan teknologi pengolahan limbah cair industri tersebut masih jauh dari yang diharapkan. Beberapa kendala yang dihadapi dalam penggunaannya antara lain biaya yang diperlukan sangat tinggi dan penerapannya sangat sulit. Selain itu, kendala lain yang dihadapi dalam penggunaan teknologi tersebut adalah masih kurangnya kesadaran beberapa atau pelaku industri tentang pentingnya pengelolaan limbah cair. Salah satu alternatif yang dapat digunakan dan mudah diaplikasikan dalam pengolahan limbah cair industri adalah pengolahan secara biologi. Pemanfaatan dan penerapan penggunaannya pengolahan limbah cair secara biologi ini umumnya dikenal dengan biodegradasi atau bioremediasi.

Pengolahan limbah cair secara biologi pada kenyataannya sering dipilih untuk digunakan karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan cara lainnya termasuk secara fisik dan kimia. Meitiniarti et al. (2008) memberikan dua kelebihan dan alasan pengolahan limbah cair industri secara biologi. Pertama adalah biaya yang dibutuhkan pengelolaan limbah cair secara biologi lebih sedikit. Kedua adalah pengolahan limbah cair secara biologi menghasilkan lumpur hasil pengolahan yang tidak terlalu banyak bila dibandingkan dengan pengolahan secara kimia atau fisik. Hal ini disebabkan karena pengolahan limbah cair secara biologi menggunakan mikroorganisme pengurai untuk mengoksidasi limbah cair. Mikroorganisme yang digunakan sebagai agen organisme pengurai pada pengelolaan limbah cair secara biologi mudah diperoleh dan tersebar di alam dengan melimpah.

5.2 Mikroorganisme Pengurai Limbah Cair

Mikroorganisme merupakan organisme yang berukuran kecil atau mikrokospis yang tidak dapat dilihat dengan mata manusia secara langsung. Beberapa organisme yang tergolong mikroorganisme mempunyai sebaran luas dan dapat ditemukan dengan melimpah dalam jumlah tinggi. Selain itu, secara keseluruhan mikroorganisme memiliki kemampuan adaptasi dan respon yang cepat pada perubahan lingkungannya (Dwipayana et al., 2009). Hal inilah yang menjadi salah satu alasan mendasar mikroorganisme sering digunakan sebagai agen bioremediator pada pengolahan limbah cair industri secara biologi. Kelompok mikroorganisme yang digunakan sebagai agen bioremediator dalam penguraian limbah cair industri secara biologi terdiri dari bakteri, jamur atau fungi, mikroalgae atau fitoplankton dan protozoa.

5.2.1 Bakteri

Bakteri yang terdapat atau hidup pada limbah cair sangat beragam dan salah satunya adalah bakteri pengurai. Bakteri pengurai dalam limbah cair berperan sebagai pengurai bahan organik, anorganik dan logam-logam (Martini et al., 2020). Selain itu, bakteri pengurai berperan pula dalam menguraikan senyawa-senyawa seperti residu pestisida, residu minyak, residu detergen dan residu lainnya (Suriawiria, 2008). Berdasarkan tahapan dan perannya, bakteri pengurai limbah cair industri terbagi atas:

- a. Bakteri saprofilik, kelompok bakteri ini menghasilkan enzim ekstraseluler yang berperan menguraikan bahan organik kompleks yang tidak larut seperti polisakarida, lemak, protein dan karbohidrat menjadi bahan organik yang larut dalam air (Indriyati, 2005; Cahyani, 2021). Contoh bakteri yang termasuk kelompok ini adalah *Anaerobacterium chartisolvens*, *Clostridium* sp., *Clostridium thermocellum*, *Clostridium cellulolyticum*, *Ruminococcus albus* dan *Bellilinea caldifistulae*, (Amin et al., 2020).
- b. Bakteri asidogenik, kelompok bakteri ini berperan menguraikan bahan organik terlarut menjadi asam organik rantai pendek seperti asam butirat, asam propionat, asam amino, asam asetat dan asam-asam lainnya (Indriyati, 2005; Cahyani, 2021). Contoh bakteri yang termasuk kelompok ini adalah *Bacteroides caccae*, *Advenella faeciporci*, *Bifidobacterium animalis*, *Cloacibacillus porcorum* dan *Christensenella minuta* (Amin et al., 2020).
- c. Bakteri asetogenik, kelompok bakteri ini berperan menguraikan asam propionat, asam amino, asam butirat, maupun asam rantai panjang lainnya menjadi asam organik yang mudah menguap atau volatil seperti asam asetat

(Indriyati, 2005; Cahyani, 2021). Contoh bakteri yang termasuk kelompok ini adalah *Acetobacterium woodii*, *Clostridium thermoautotrophicum*, *Clostridium aceticum*, dan *Acetobacterium wieringae* (Amin et al., 2020).

- d. Bakteri metanogenesis, kelompok bakteri ini berperan mengkonversi asam organik volatil menjadi gas metan (CH_4) dan karbondioksida (CO_2) (Indriyati, 2005; Cahyani, 2021). Contoh bakteri yang termasuk kelompok ini adalah *Methanobacterium aarhusense*, *Methanimicrococcus baltticola*, *Methanobacterium alcaliphilum*, *Methanobacterium aggregans*, *Methanobacterium arcticum* dan *Methanogenic bacteria* (Amin et al., 2020).
- e. Bakteri selulolitik, kelompok bakteri ini berperan menguraikan selulosa dengan menghasilkan enzim selulase (Winarni dan Nenegb, 2013). Bakteri ini menguraikan molekul kompleks pada substrat tidak larut dalam air dengan enzim selulase. Enzim selulase merupakan enzim yang memegang peranan penting dalam proses biokonversi limbah-limbah organik selulosa menjadi glukosa (Meryandini, 2009). Contoh bakteri yang termasuk kelompok ini adalah *Cellulomonas*, *Bacillus*, *Streptomyces*, *Pseudomonas* dan *Cytophaga*, *Cellvibrio* (Lynd, et al., 2002).
- f. Bakteri pelarut fosfat, kelompok bakteri ini berperan mengekskresikan sejumlah asam organik dengan nilai molekul rendah seperti oksalat, suksinat, tartrat, sitrat, laktat, ketoglutarat, asetat, formiat, propionate, glikonat, glutamat, glioksilat, malat, fumarat (Gunarto dan Nurhayati, 1994). Contoh bakteri yang termasuk kelompok ini adalah *Pseudomonas diminuta*, *P. putida*, *P. striata*, *P. fluorescens*, *P. cerevisia*, *P. aeruginosa*, *P. denitrificans*, *P. rathhonis*, *Bacillus*

polymyxa, *B. laevolacticus*, *B. megatherium*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Escherichia freundii*, *Cunninghamella*, *Brevibacterium* spp., *Thiobacillus* sp., dan *Thiobacillus* sp. (Widiastuti et al., 2019).

- g. Bakteri lipolitik, kelompok bakteri ini menghasilkan enzim ekstraseluler lipase dalam menghidrolisis lipid menjadi asam lemak dan gliserol. Enzim tersebut dapat menurunkan kadar minyak dan lemak pada limbah cair. Contoh bakteri yang termasuk kelompok ini adalah *Bacillus*, *Bacillus cereus* dan *Clostridium* (Widiastuti et al., 2019).

5.2.2 Jamur

Jamur memiliki peran penting dalam menguraikan bahan organik, anorganik dan logam pada limbah cair industri. Jamur memiliki kemampuan menguraikan limbah cair industri karena salah satunya dapat menghasilkan enzim lakase. Enzim lakase berperan dalam proses penguraian bahan organik, lignin, dekolonisasi, dan detoksifikasi limbah cair (Dewi, 2018). Kemampuan lainnya dari jamur adalah dapat menghasilkan enzim ekstraseluler nonspesifik seperti Lignin Peroksida (LiP), Mangan Peroksida (MnP) dan Laccase (Lac) (Awaludin et al., 2001). Ketiga enzim yang dihasilkan jamur tersebut memiliki dua peran penting pada penguraian limbah cair.

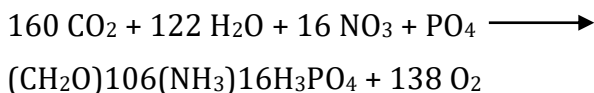
Peran pertama ketiga enzim tersebut menyebabkan jamur dapat menguraikan senyawa-senyawa polimer (Neelamegam et al., 2004). Peran kedua enzim-enzim tersebut adalah digunakan jamur untuk memutus ikatan rangkap amin aromatik dan pemutusan rantai karbon siklik pada zat warna azo (Coulibaly et al., 2003). Ikatan rangkap amin aromatik dan rantai karbon siklik merupakan penyebab terbentuknya warna azo. Warna azo penyebab warna pada limbah cair dan dapat

hilang warnanya dengan terputusnya ikatan rangkap amin aromatik dan rantai karbon siklik. Jenis-jenis jamur pengurai limbah cair industri sangat beragam. Beberapa jenis jamur yang umumnya terdapat pada limbah cair industri terdiri dari:

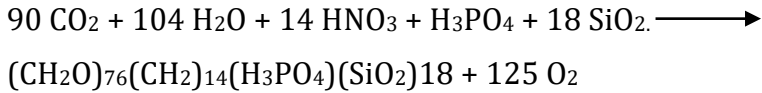
- a. *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Gliocladium*, *Paecilomyces*, *Syncephalastrum* dan *Gonatobotryum* (Lubis et al. 2022).
- b. *Trichoderma* sp. dan *Aspergillus* sp. (Indrawati dan Fakhruddin, 2016).
- c. *Candida utilis* (Poesponegoro, 1998).
- d. *Aspergillus* sp. dan *Ganoderma applanatum* (Pertiwi et al., 2020).
- e. *Penicillium corylophilum*, *Pleurotus ostreatus* dan *Aspergillus niger* (Dewi et al., 2020).
- f. *Fusarium*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigatus*, *Candida*, *Penicillium* dan *Mucor* (Widiastuti et al., 2019).

5.2.3 Mikroalga

Mikroalga atau yang lebih dikenal dengan fitoplankton sudah banyak digunakan sebagai bioremediator pada berbagai pengolahan limbah cair secara biologi termasuk limbah cair industri. mikroalga mempunyai dua peran penting dalam pengolahan limbah cair secara biologi. Peran pertama adalah sebagai sumber dan penghasil oksigen secara alami. Peran kedua adalah dapat menyerap amonia, nitrit, nitrat, ortofosfat dan silikat dengan cepat yang ada disekitarnya. Peran penting tersebut berlangsung secara alami melalui proses fotosintesis. Proses fotosintesis mikroalga umumnya berlangsung sebagai berikut (Millero, 2006):



Proses fotosintesis mikroalga khususnya kelompok Bacillariophyceae berlangsung sebagai berikut (Millero, 2006):



Mikroalga yang umumnya terdapat pada limbah cair industri terdiri dari kelompok tertentu. Kelompok mikroalga tersebut terdiri dari Chlorophyceae, Bacillariophyceae, Chrysophyceae, Cyanophyceae, dan Euglenophyceae (Opat et al. 2016). Kelompok dan jenis mikroalga yang terdapat pada limbah cair industri disajikan pada Tabel 9.1.

Tabel 1 Mikroalga dan perannya dalam limbah cair industri

No.	Kelompok	Jenis
1	Bacillariophyceae	<i>Bacillaria</i> , <i>Aulacoseira</i> , <i>Cymatopleura</i> , <i>Eunotia</i> , <i>Fragilaria</i> , <i>Gyrosigma</i> , <i>Melosira</i> , <i>Navicula</i> , <i>Tabellaria</i> dan <i>Pinnularia</i>
2	Chrysophyceae	<i>Ochromonas</i> dan <i>Mallomonas</i>
3	Chlorophyceae	<i>Bracteacoccus</i> , <i>Chlorochytrium</i> , <i>Ankistrodesmus</i> , <i>Botryococcus</i> , <i>Chloromonas</i> , <i>Clamydomonas</i> , <i>Closterium</i> , <i>Crucigenia</i> , <i>Cyanidium</i> , <i>Eudorina</i> , <i>Hydrodictyon</i> , <i>Sphaerocystis</i> , <i>Trochiscia</i> dan <i>Staurodesmus</i>
4	Cyanophyceae	<i>Gloeocapsa</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Borzia</i> , <i>Chroococcus</i> , <i>Stichosiphon</i> dan <i>Limnothrix</i>
5	Euglenophyceae	<i>Lepocinclis</i> , <i>Menoidium</i> , <i>Phacus</i> dan <i>Euglena</i>

Sumber: Opat et al. (2016)

5.2.4 Protozoa

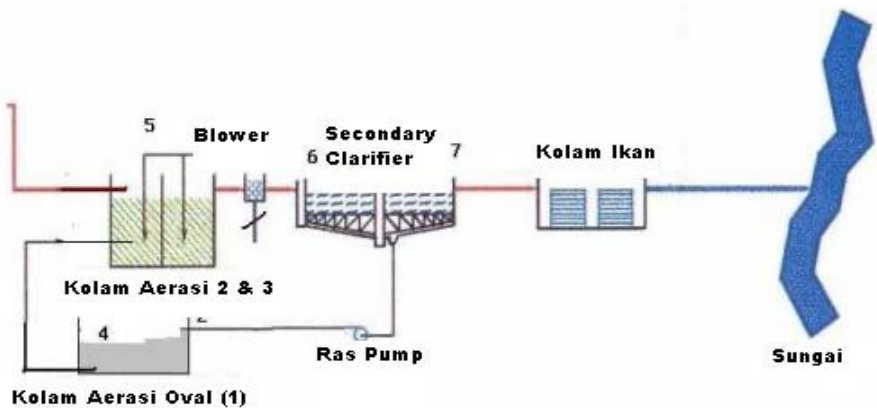
Protozoa pada limbah cair industri salah satu perannya adalah mempertahankan kualitas air dengan memakan

mikroalga, bakteri dan mikrofungi atau jamur. Protozoa memakan bakteri, mikroalga dan jamur yang telah mati mengendap di dasar maupun yang masih hidup. Beberapa unit pengolahan limbah cair industri dilengkapi dengan kolam ikan. Sebagai contoh kolam ikan pada bagian akhir unit pengolahan limbah cair industri tekstil berisi ikan yang nanti akan memakan protozoa yang berasal dari unit pengolahan sebelumnya. Kolam ikan pada unit pengolahan limbah cair industri tekstil disajikan pada Gambar 9.1.

Beberapa kelompok dan jenis-jenis protozoa yang terdapat dalam limbah cair industri meliputi (Opat et al., 2016):

Sarcodina terdiri dari *Amoeba*, *Arcella*, *Centropyxis*, dan *Euglypha*

Ciliata terdiri dari *Balantidium*, *Oxytricha*, dan *Vorticella*



Gambar 5.1. Unit pengolahan limbah cair industri tekstil
(Sumber: Komarawidjaja, 2007).

5.3 Efektifitas Mikroorganisme Dalam Menguraikan Limbah Cair

Indikator efektifitas mikroorganisme pada penguraian limbah cair industri dapat diketahui dari perubahan parameter-parameter kualitas airnya. Parameter-parameter kualitas air tersebut meliputi COD (chemical oksigen demand), BOD (Biological oksigen demand), TSS (Total Suspended Solid), TDS (Total Disolved Solid), pH, suhu, N-total (Nitrogen total) dan lain-lain. Efektifitas mikroorganisme yang berperan memberikan kontribusi pada penguraian limbah cair industri dapat diketahui dari pertumbuhannya. Pertumbuhan mikroorganisme meliputi laju pertumbuhan, waktu generasi, dan waktu doubling serta kelimpahan (jumlah sel, koloni dan individu).

5.3.1 Bakteri

Efektifitas bakteri pada penguraian limbah cair industri sangat bervariasi. Efektifitas bakteri pada penguraian limbah cair industri tergantung pada jenis bakteri dan sumber limbah cair industri. Sebagai contoh efektifitas dari 5 jenis bakteri dari genera *Bacillus* pada penguraian limbah cair industri cat. Efektifitas dari 5 jenis bakteri dari genera *Bacillus* pada penguraian limbah cair indutsri cat ditunjukkan dengan penurunan konsentrasi COD sebesar 67,2% (Dwipayana et al., 2009). Kontribusi 5 jenis *Bacillus* pada penguraian limbah cair industri cat berbeda-beda. Faktor penyebabnya adalah 5 jenis dari genera *Bacillus* memiliki pertumbuhan yang berbeda-beda. *Bacillus cereus* memberikan kontribusi yang besar pada penurunan konsentrasi COD limbah cair industri cat dibandingkan dengan 4 jenis *Bacillus* lainnya. Kontribusi dari 5 jenis bakteri dari genera *Bacillus* pada penguraian limbah cair industri cat disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pertumbuhan 5 Jenis Bakteri Pada Limbah Cair Industri Cat

No.	Jenis Bakteri	Pertumbuhan	
		Waktu Generasi (menit)	Laju (per jam)
1.	<i>Bacillus licheniformis</i>	35	1,17
2.	<i>Bacillus cereus</i>	19	2,18
3.	<i>Bacillus subtilis</i>	45,04	0,92
4.	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	44,67	0,93
5.	<i>Bacillus megaterium</i>	53	0,79

Sumber: Dwipayana et al. (2009)

Tingginya atau besarnya kontribusi *Bacillus cereus* ditunjukkan pertumbuhannya dengan nilai laju pertumbuhan yang tinggi dan waktu generasi yang rendah. Hal ini berarti *Bacillus cereus* dapat menggunakan dengan cepat unsur-unsur dalam limbah cair industri cat sebagai sumber karbon untuk pertumbuhannya. Secara keseluruhan, efektifitas *Bacillus cereus* dalam menurunkan konsentrasi COD pada limbah cair industri lebih tinggi dibandingkan dengan kombinasi *Bacillus* sp. dengan bakteri jenis lainnya. Rendahnya efektifitas *Bacillus* sp. maupun kombinasi *Bacillus* sp. dengan bakteri jenis lainnya terjadi pula pada penguraian limbah cair industri tahu tempe. Efektifitas *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. dalam menurunkan konsentrasi COD dalam limbah cair industri tahu tempe hanya sebesar 1%. Efektifitas kedua jenis bakteri dan kombinasi antara keduanya pada penguraian limbah cair industri tahu tempe disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Efektifitas Bakteri Pada Penguraian Limbah Cair Industri Tahu Tempe

No	Jenis	Efektifitas (%)					
		Penurunan				Peningkatan	
		COD	BOD	TSS	N-Total	TDS	Amilum
1	<i>Pseudomonas</i> sp.	1	33	2,9	12	21	1,9
2	<i>Bacillus</i> sp.	1	9	46	5,2	21	-
3	<i>Pseudomonas</i> sp. dan <i>Bacillus</i> sp.	1	23	8,1	8,9	21	41

Sumber: Retno et al. (2019)

5.3.2 Jamur

Jamur merupakan salah satu mikroorganisme dengan pertumbuhan tergolong cepat. Komariah (2012) mengemukakan pertumbuhan jamur seperti *Candida albicans* tergolong cepat dengan waktu berkisar dari 48-72 jam. Pada umumnya jumlah koloni *Candida albicans* yang terbentuk berkisar dari 372-1380 koloni (Nurdin dan Nurdin, 2020). Biomassa jamur pada berbagai kondisi sampai mencapai pertumbuhan maksimal berkisar dari 0,01 – 0,13 g (Hakim et al., 2020). Pertumbuhan jamur yang tergolong cepat dengan jumlah koloni dan biomassa tinggi tersebut disebabkan beberapa kemampuan yang tidak dimiliki jamur. Pertama adalah jamur memiliki kemampuan menguraikan senyawa organik pada kondisi pH dan oksigen rendah serta pembatas nitrogen (Poesponegoro, 1998).

Pertumbuhan jamur pada kondisi lingkungan dengan pH dan oksigen rendah serta pembatas nitrogen berlangsung dengan cepat. Pada kondisi seperti ini jamur menggunakan

nutrisi yang digunakan patogen. Akhirnya patogen tidak mendapatkan nutrisi dan menyebabkan patogen mati. Kedua adalah jamur dapat melakukan proses denitrifikasi lebih cepat dengan menghilangkan senyawa nitrit dan nitrat. Ketiga adalah jamur memproduksi antibiotik yang berperan menurunkan pertumbuhan bakteri dan patogen, serta meningkatkan penguraian bahan organik. Efektifitas beberapa jenis jamur dalam menguraikan limbah cair industri sebagai berikut:

- a. *Ganoderma applanatum* dan *Aspergillus* sp. pada industri kain batik dapat mendekolorisasi senyawa benzene pada pewarna batik sampai toksisitasnya berkurang sebesar 99% (Pertiwi et al., 2020).
- b. *Pleurotus ostreatus* pada industri kain batik dapat mendekolorisasi *xylidine ponceau*, *congo red*, dan *methyl orange* sampai sebesar 100% dan warna *indigo carmine*, *malachite green*, dan *bismark brown* sebesar 96% dan 85%, serta menurunkan COD dan BOD sebesar 79,7% dan 93,9%, dan konsentrasi seng (Zn) sebesar 62,4% (Dewi et al., 2020).
- c. *Daedaleopsis eff. confragosa* pada industri tekstil dapat mendekolorisasi warna sebesar 81,05% serta menurunkan TSS, COD dan BOD secara berturut-turut sebesar 70,21%, 85,17% dan 74,09% (Dinatha et al., 2013).

5.3.3 Mikroalga

Efektifitas mikroalga pada penguraian limbah cair industri tergolong tinggi. Efektifitas mikroalga pada penguraian limbah cair industri ditunjukkan dengan kemampuannya dalam menurunkan konsentrasi karbondioksida (CO₂) dan amonia (NH₃) serta meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut (DO) serta nilai pH dan suhu. Efektifitas mikroalga pada peningkatan

dan penurunan konsentrasi parameter kualitas air pada limbah cair industri disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Efektifitas mikroalga pada penguraian limbah cair industri

No.	Industri	Efektifitas (%)				
		Peningkatan			Penurunan	
		DO	pH	Suhu	CO ₂	NH ₃
1 ^a	Pengolahan susu	100	41,05	-	70,34	-
2 ^b	Karet	100	16,66	10,34	-	80,32
3 ^c	Kelapa Sawit	-	20	-	-	-
4 ^d	Kelapa Sawit	-	5,47	-	-	93,25

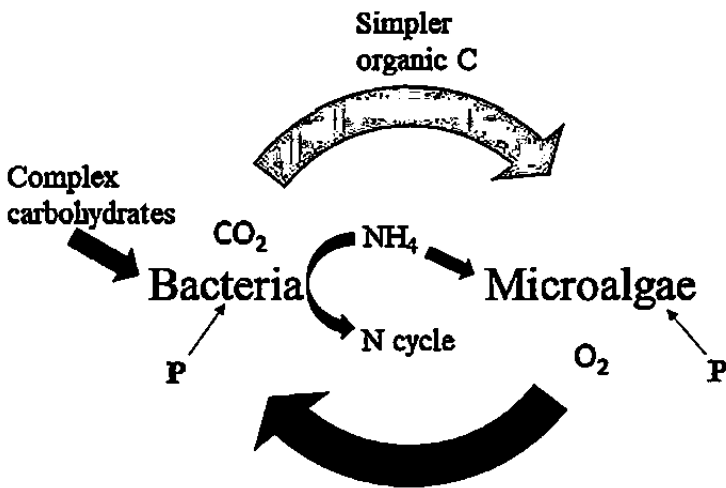
Sumber:^aPratiwi et al. (2022), ^bOpat et al. (2016), ^cElvitriana et al. (2017), ^dHabib et al. (2003)

Sebagai contoh efektifitas mikroalga pada peningkatan konsentrasi DO dan penurunan konsentrasi NH₃ pada penguraian limbah cair industri karet tergolong tinggi. Penurunan dan peningkatan parameter limbah cair industri karet tercapai pada waktu yang bersamaan dengan kelimpahan sel mikroalga sebesar 1599,46 ind/L (Opat et al., 2016). Kelompok mikroalga yang memberikan kontribusi pada penguraian limbah cair industri karet adalah Chlorophyceae. Hal ini ditunjukkan kelimpahan Chlorophyceae sebesar 1519,43 ind/L.

5.3.4 Simbiosse Bakteri, jamur dan Mikroalga

Bakteri dan mikroalga merupakan dua mikroorganisme yang saling ketergantungan antara satu dengan lainnya. Bakteri

berperan sebagai reduker atau pengurai dan mikroalga sebagai produsen atau penghasil oksigen. Proses penguraian limbah cair industri oleh bakteri akan berkurang bila kelimpahannya di atas 1×10^7 sel/ml (Amalia, 2011). Faktor penyebabnya adalah oksigen terlarut berkurang atau habis. Keberadaan mikroalga berperan menyediakan dan menyuplai oksigen bagi bakteri agar proses penguraian tetap berlangsung terus menerus. Mikroalga menggunakan bahan anorganik seperti CO_2 dan NH_3 (hasil penguraian bakteri) sebagai sumber energi untuk pertumbuhannya. Simbiosis bakteri dan mikroalga disajikan pada Gambar 9.2.



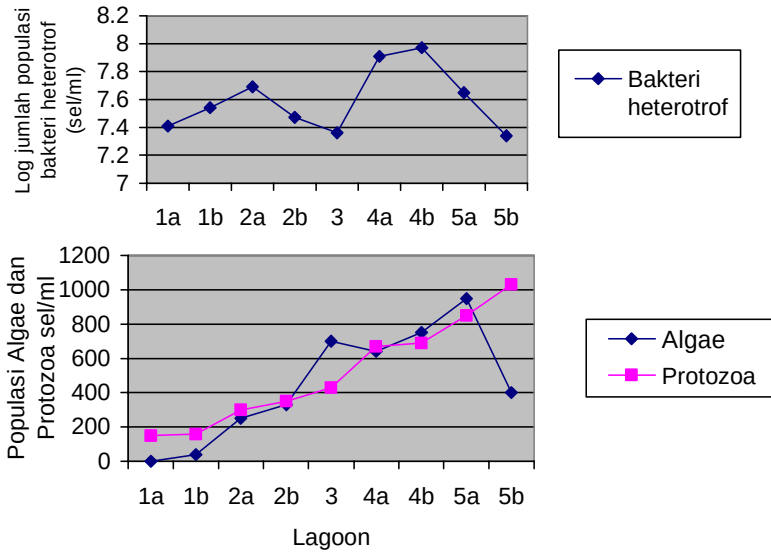
Gambar 5.2. Simbiosis Bakteri Dan Mikroalga
(Sumber: Udaiyappan Et Al., 2020).

Sebaliknya pada kondisi pH rendah, proses penguraian limbah cair oleh bakteri akan berhenti atau tidak dapat berlangsung. Pada kondisi seperti ini perannya digantikan oleh jamur yang dapat berkembang dengan baik pada pH rendah. Beberapa hasil penelitian menunjukkan efektifitas simbiosis antara bakteri dan mikroalga atau sebaliknya, diantaranya:

- a. *Chorella* sp. yang ditambahkan bakteri dapat menurunkan konsentrasi N-total sebesar 71,89% (Saragih et al., 2019).
- b. Fitoplankton yang ditambahkan EM₄ (effective mikroorganisme) dapat menurunkan konsentrasi amonia sebesar 85% (Afifah et al. 2021). EM₄ merupakan sumber mikroorganisme pengurai yang terdiri dari *Actinomycetes*, *Yeast*, dan bakteri asam laktat yang dapat memecah senyawa karbohidrat dan protein menjadi senyawa yang lebih sederhana (Sundari et al., 2014).
- c. *Chorella* sp. yang ditambahkan dengan Agrobost (bakteri) dapat menurunkan konsentrasi BOD sebesar 93,49% dan COD sebesar 93,88% serta meningkatkan nilai DO sebesar 70,72% dan pH sebesar 120,24% (Zalfiatri et al., 2022). Agrobost merupakan pupuk cair organik yang mengandung bakteri seperti *Azotobacter*, *Azospirillum*, Mikroba Pelarut *Lactobacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. dan bakteri yang dapat menguraikan selulosa, hormon tumbuh indole acetic acid dan enzim selulase.
- d. *Chlorella* sp. yang ditambahkan Starbact dapat menguraikan limbah cair industri sagu dengan penurunan konsentrasi COD, BOD, nitrat, fosfat, TSS, secara berturut-turut sebesar 62,79%, 52,34%, 64,28%, 48,51%, 60,59%, serta meningkatkan DO dan pH sebesar 88,81%, dan 13,84% (Restuhadi et al., 2017). Mikroorganisme pada Starbact terdiri dari *Nitrosomonas* sp., *Lactobacillus* sp., *Nitrobacter* sp., *Saccharomyces* dan *Aerobacter* sp.

5.3.5 Simbiose Bakteri, Mikroalga Dan Protozoa

Efektifitas simbiose bakteri, mikroalga dan protozoa pada penguraian limbah cair industri ditunjukkan oleh pola pertumbuhannya. Pola pertumbuhan bakteri, mikroalga dan protozoa cenderung sama. Awal fase pertumbuhan ketiga mikrorganisme ini menunjukkan pola yang sama-sama mengalami peningkatan. Simbiose bakteri, mikroalga dan protozoa disajikan pada Gambar 9.3.



Gambar 5.3. Simbiose Bakteri, Mikroalga Dan Protozoa (Sumber: Parwanayoni, 2008).

Akhir fase pertumbuhan fase pertumbuhan bakteri dan mikroalga menunjukkan pola penurunan. Sebaliknya berbeda dengan protozoa yang menunjukkan pola peningkatan. Hal ini berarti bakteri dan mikroalga intensif di makan oleh protozoa.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, A.S., Prajati, G., Adicita, Y., Darwin, & Firmansyah, Y.W. 2021. Pemanfaatan Mikroalga dalam Penurunan Kadar Amonia dengan Variasi Penambahan Effective Microorganism. *Serambi Engineering*, 6(2), 1762-1767.
- Amelia, S. 2011. Pertumbuhan Sel Bakteri. *Makalah*. Departemen Mikrobiologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Sumatera Utara.
- Amin, F. R., Khalid, H., El-Mashad, H., Chen, C., Liu, G., & Zhang, R. 2020. Functions of Bacteria and Archaea Participating In The Bioconversion of Organic Waste for Methane Production. *Science of the Total Environment*, 143007.
- Awaludin, R., Darah, I., Ibrahim, C.O, & Abd, M.U. 2001. Decolorozation Of Commercially Available Synthetic Dyes By The White Rot Fungus *Phanerochaete chrysosporium* 141446 (ATCC 34541). Proceeding NSF Workshop, Kuala Lumpur.
- Cahyani, A.N. 2021. Analisis Bakteri Dominan Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal Dengan Tingkat Resiko Sangat Tinggi di Kabupaten Sleman. *Tugas Akhir*. Program studi Teknik Lingkungan, Universitas islam Indonesia. Yogyakarta.
- Coulibaly, L., Germain, G., & Spiros, A.N. 2003. Utilization of Fungi for Biotreatment of Raw Wastewaters. Review. *Afr. J. Biotechnol*, 2(12), 620-630.
- Dewi, R.S., Mumpuni, A., & Yusiana, R.A. 2020. Chromium Removal of Batik Wastewater Using *Aspergillus* sp. and *Penicillium* sp. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 593(1), 012022.
- Dewi, R.S. 2018. *Baglog Jamur Pengolah Alami Limbah Batik*. Purwokerto: UNSOED Press.
- Dinatha, N.M., Sibarani, J., & Mahardika, I.G. 2013. Degradasi Limbah Tekstil Menggunakan Jamur Lapuk Putih *Daedaleopsis eff. confragosa*. *Jurnal Bumi Lestari*, 13(2), 288-296.

- Dwipayana., Ariesyady, H.D., & Sukandar. 2009. Identifikasi Keberagaman Bakteri Pada Lumpur Hasil Pengolahan Limbah Cat Dengan Teknik Konvensional. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 15(1), 7-17.
- Elvitriana., Munir, E., Delvian., & Wahyuningsih, H. 2017. Degradasi Zat Organik Pada Limbah Cair Industri Kelapa Sawit Oleh Mikroalga Hijau. *Jurnal Serambi Engineering*, 1(2), 109-113.
- Gunarto, L. & Nurhayati, L. 1994. Karakteri Sasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat Pada Tanah di Indonesia. Makalah disampaikan pada Seminar Tahunan 1994 Hasil Penelitian Tanaman Pangan, Balai Penelitian Tanaman Pangan Bogor, 29-30 Maret 1994.
- Habib, M.A.B., Yusoff, F.M., Phang, S.M., Kamarudin, M.S., & Mohamed, S. 2003. Growth and Nutritional Values of Molina Micrura Fed on *Chlorella vulgaris* Grown in Digested Palm Oil Mill Effluent. *Asian Fisheries Science*, 16, 107-119.
- Hakim, L., Kurniatuhadi, R., & Rahmawati. 2020. Karakteristik Fisiologis Jamur Halofilik Berdasarkan Faktor Lingkungan Dari Sumur Air Asin Di Desa Suak, Sintang, Kalimantan Barat. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*, 5(2), 227-232.
- Indrawati, I., & Fakhrudin, S.D. 2016. Isolasi dan Identifikasi Jamur Patogen pada Air Sumur dan Air Sungai di Pemukiman Warga Desa Karangwangi, Cianjur, Jawa Barat. *Jurnal Biodjati*, 1(1), 27-38. <https://journal.uinsgd.ac.id/index.php/biodjati/article/view/1017>
- Indriyati. 2005. Pengolahan Limbah Cair Organik Secara Biologi Menggunakan Reaktor Anaerobik Lekat Diam. *Jurnal Air Indonesia*, 3(1), 340-343.
- Komarawidjaja, W. 2007. Peran Mikroba Aerob Dalam Pengolahan Limbah Cair Tekstil. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(3), 223-228.
- Komariah, S.R. 2012. Kolonisasi Candida Dalam Rongga Mulut. *Majalah Kedokteran*, Fakultas Kedokteran, Universitas Kristen Indonesia, 28(1), 40-47.

- Lubis, S.S., Faradilla, M., & Harahap, D. 2022. Karakterisasi Fungi Selulolitik Dari Serasah Daun Mangrove Asal Hutan Mangrove Lamnga Kabupaten Aceh Besar. *KENANGA: Journal of Biological Sciences and Applied Biology*, 2(2), 1-10. <https://doi.org/10.22373/kenanga.v2i1>.
- Lynd, L.R., Weimer, P.J., Zyl, W.H.V., & Pretorius, I.S. 2002. Microbial Cellulose Utilization: Fundamental Sand Biotechnology. *Microbiol Mol. Biol.*, 6(6), 506-577. <https://doi.org/10.1128/MMBR.66.3.506-577.2002>.
- Martini, S., Yuliwati, E., & Kharismadewi, D. 2020. Pembuatan Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri. *Destilasi*, 5(2), 26-33.
- Meitiniarti, V.I., Soetarto, E.S., Sugiharto, E., Timotius, K.H. 2008. Optimum Concentration of Glucose and Orange II for Growth and Decolorization of Orange II by *Enterococcus faecalis* ID6017 under Static Culture. *Microbiology Indonesia*, 2, 73-78.
- Meryandini, A. 2009. Isolasi Bakteri Selulolitik dan Karakteristik Enzimnya. *Makara Sains*, 13(1), 32-38.
- Millero, F.J. 2006. Chemical Oceanography. Boca Raton: CRC Press Taylor and Francis Group.
- Neelamegam, R., Baskaran, V., Dhanasekar, R. & Viruthagiri, T. 2004. Decolourization of synthetic dyes using rice straw attached *Pleurotus ostretatus*. *Indian Journal of Chemical Technology*, 11, 622-625.
- Nurdin, E., & Nurdin, G.M. 2020. Perbandingan Variasi Media Alternatif Dengan Berbagai Sumber Karbohidrat Terhadap Pertumbuhan *Candida albicans*. *Jurnal Bionature*, 21(1), 1-5.
- Opat, M.O., Setyawati, T.R., & Yanti, A.H. 2016. Inventarisasi Mikroalga dan Protozoa pada Instalansi Pengolahan Air Limbah Karet Sistem Biofilter Skala Laboratorium. *Probiont*, 4(3), 19-25.
- Parwanayoni, N.M.S. 2008. Pergantian Populasi Bakteri Heterotrof, Algae dan Protozoa di Lagoon BTDC Unit Penanganan Limbah Nusa Dua Bali. *Jurnal Bumi Lestari*, 8(2), 180-185.

- Pertiwi, S., Dewi, R.S., Sari, A.A. 2020. Decolorization of Indigosol Blue Dye Using *Trametes Versicolor* F200 and *Aspergillus* sp. *BioEksakta: Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, 2(2), 222-226.
- Poesponegoro, M. 1998. Bioflukolasi Mikroorganisme dan Peranannya Dalam Pengolaha Air Limbah Secara Biologi. *JKTI*, 8(1-2), 46-54.
- Pratiwi, Y., Rahayu, S.S., & Sukmawati, P.D. 2022. Uji Kemampuan Mikroalga Sebagai Bioremediator Limbah Cair Industri Pengolahan Susu. Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Universitas PGRI Ronggolawe. 7(1), 1031-1038.
- Restuhadi, F., Zalfiatri, Y., & Pringgondani, D.A. 2017. Pemanfaatan symbiosis mikroalga *Chlorella* sp. dan Starbact untuk menurunkan kadar polutan limbah cair sagu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 11(2), 140-153.
- Retno, K.R., , Wibowo, Nugroho Jati, A.W.N., & Yulianti, L.I.M. 2019. Peranan Bakteri Indigenus Dalam Degradasi Limbah Cair Pabrik Tahu. *Biota*, 4(1), 8-15.
- Saragih, L.R., Elystia, S., & Muria, S.R. 2019. Pengaruh Interaksi Mikroalga *Chlorella* sp. dan Bakteri Bioprisma terhadap Penurunan Kadar Nitrogen Total pada Medium Limbah Cair Tahu. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik*, 6(2), 1-6.
- Sundari, I., Ruf, W., & Dewi, E. 2014. Pengaruh Penggunaan Bioaktivator EM₄ dan Penambahan Tepung Ikan Terhadap Spesifikasi Pupuk Organik Cair Rumput Laut *Gracilaria* sp. *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 3(3), 88-94.
- Suriawiria, Unus. 2008. Mikrobiologi Air. Bandung: Penerbit PT. Alumni.
- Udaiyappan, A.F.M., Hasan, H.A., Takriff, M.S., & Abdullah, S.R.S. 2020. Microalgae-Bacteria Interaction In Palm Oil Mill Effluent Treatment, *Journal of Water Process Eng.*, 35, 101203. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101203>.
- Zalfiatri, Y., Restuhadi, F., Dewi, Y.K., Pramana, A., Ayu, D.F., & Hasibuan, A.I.R.S. 2022. Pengaplikasian teknologi simbiosis mutualisme mikroalga *Chlorella* sp. dan agrobost

pada limbah cair sagu dengan scale up experiment. *Jurnal Litbang Industri*, 12(1), 21-26.

Widiastuti, L., Sulistiyanto, Y., Jaya, A., Jagau, Y., & Neneng, L. 2019. Potensi Mikroorganisme Sebagai Biofertilizer Dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Surya Medika*, 5(1), 1-12. <https://doi.org/10.33084/jsm.v5i1.941>.

Winarti, S & Nenebg, L. 2013. Pengaruh Pemberian Limbah Kelapa Sawit Terhadap Sifat Fisik, Kimia dan Biologi Tanah Pada Lahan Kritis Eks Penambangan Emas. *Jurnal AGRYPEAT*, 14(2), 53-58.

BAB 6

PENGOLAHAN TEKNOLOGI MAJU: MEMBRAN BIOREAKTOR

Oleh Asmadi

6.1 Pendahuluan

Pembuangan limbah cair hasil industri yang tidak melewati proses pengolahan terlebih dahulu akan menyebabkan tingginya kasus pencemaran lingkungan di Indonesia. Untuk mengatasi makin meningkatnya pencemaran lingkungan khususnya badan air, setiap industri di Indonesia diwajibkan membangun unit instalasi pengolahan air limbah (IPAL) guna mengurangi beban pencemaran air permukaan. Namun demikian beberapa masalah yang menjadi kendala yang sering ditemukan di lapangan saat ini adalah terbatasnya lahan yang tersedia untuk pembangunan instalasi pengolahan limbah, biayanya yang mahal, serta kebutuhan akan unit pengolahan limbah yang kompak dan dapat diandalkan.

Teknologi pengolahan limbah yang ada saat ini tidak mampu menghasilkan efluen yang memenuhi standar buangan limbah. Proses pengolahan limbah yang sering digunakan untuk mengolah limbah khususnya limbah organik adalah proses pengolahan secara biologis seperti proses lumpur aktif.

Proses ini memanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi dan menguraikan bahan organik yang terdapat di dalam air limbah. Proses perlakuan berjalan alamiah sehingga seringkali memerlukan waktu yang lama dan juga membutuhkan lahan yang luas. Kualitas keluaran yang sangat ditentukan oleh tahap sedimentasi juga merupakan permasalahan yang sering

dihadapi pada proses lumpur aktif sehingga perhatian yang intensif diperlukan untuk menjaga karakteristik pengendapan lumpur yang baik. Semakin ketatnya standar baku mutu buangan limbah menyebabkan kebutuhan akan teknologi yang dapat diandalkan semakin mendesak.

Kehadiran teknologi membran sebagai proses pemisahan memberikan alternatif baru untuk meningkatkan kinerja pengolahan air limbah konvensional. Kombinasi membran dengan proses lumpur aktif memunculkan sistem pengolahan limbah yang disebut *bioreaktor membran*. Sistem ini memungkinkan pengolahan limbah yang berbasis pada konsep "*reuse*" (pemanfaatan kembali) yang mengubah paradigma limbah sebagai sektor non-profit menjadi limbah sebagai sektor profit. Efluen yang dihasilkan dari sistem bioreaktor membran memiliki kualitas yang memenuhi standar *re-use* dibandingkan kualitas efluen yang dihasilkan proses konvensional yang hanya ditujukan untuk memenuhi standar buangan.

Konsep pemanfaatan kembali yang ditawarkan oleh teknologi membran terbukti dapat menghasilkan keuntungan diantaranya penghematan dari segi biaya operasional (air, listrik, bahan kimia, dll). Hal ini tentunya memberikan implikasi positif tidak saja bagi pihak industri karena proses menjadi hampir selalu menguntungkan (*profitable*) tetapi juga bagi kelestarian lingkungan yang selama ini acapkali terabaikan.

Adanya tiga jenis bioreaktor membran yang berfungsi berdasarkan karakteristik spesifik air limbah yaitu; 1) bioreaktor membran pemisahan biomassa, 2) bioreaktor membran aerasi, dan 3) bioreaktor membran ekstraktif memungkinkan luasnya aplikasi bioreaktor membran dalam mengolah berbagai jenis limbah baik toksik maupun non-toksik. Saat ini telah terdapat lebih dari 500 instalasi bioreaktor membran di berbagai negara yang mengolah limbah domestik,

perkotaan, maupun berbagai jenis limbah industri (Stephenson, T., Judd, S.J., Jefferson, B., and Brindle., K., 2000).

Bioreaktor membran disingkat BRM merupakan teknologi pengolahan limbah yang mengkombinasikan proses biologis untuk mendegradasi limbah dan proses membran untuk pemisahan biomassa adalah bioreaktor yang paling luas aplikasinya. Bioreaktor Membran menggantikan peran kolam sedimentasi untuk memisahkan padatan dan cairan pada teknologi konvensional (lumpur aktif). Dengan membran, kinerja pemisahan menjadi lebih baik karena pemisahan tidak lagi dibatasi oleh kondisi hidrodinamik lumpur seperti waktu tinggal lumpur (SRT, *sludge retention time*), waktu tinggal cairan (HRT, *hydraulic retention time*) serta laju pembuangan lumpur.

Membran dapat memisahkan hampir seluruh bakteri *coliform*, padatan tersuspensi (*suspended solid*) dan menghasilkan efluen dengan kualitas yang sangat baik. Efluen yang dihasilkan dari unit membran memiliki kualitas yang sangat baik sehingga unit *posttreatment* tidak dibutuhkan lagi.

Bioreaktor membran terendam memiliki potensi yang sangat besar untuk mengolah air limbah menggantikan proses konvensional yang ada saat ini. Berikut ini adalah penelitian beberapa ahli yang membandingkan antar kinerja lumpur aktif (*conventional activated sludge*) dan bioreaktor membran terendam (BRM). MBR secara efektif menghilangkan/ menyisakan polutan mencapai: a). COD 93% hingga 100%, b). Padatan Tersuspensi/ TSS dan kekeruhan air mendekati nol, c). Kualitas air olahan yang sangat baik dan stabil, d) Sangat Baik untuk penggunaan kembali air limbah/ *Water-Recycle*.

Membran bioreaktor sendiri adalah suatu sistem pengolahan air limbah dengan cara merendam membrane dalam bioreaktor sebagai metode filtrasi lanjutan. Sistem ini terbukti 98% lebih efektif dalam menetralkan air limbah dari

kontaminan dan zat kimia berbahaya. Selain itu, hasil pengolahan air limbah melalui IPAL MBR juga sudah memenuhi baku mutu air bersih sehingga aman untuk digunakan kembali.

Instalasi pengolahan air limbah atau biasa disingkat IPAL adalah satu perangkat komponen yang memiliki struktur dan teknik untuk memproses serta mengolah air limbah sehingga tidak akan mencemari lingkungan. Air limbah yang di maksud di sini bisa berupa limbah domestik (rumah tangga), limbah industri, sisa operasional pabrik, hingga limbah rumah sakit dan pertanian. Selain untuk mendapatkan kualitas limbah yang tidak mencemari lingkungan, IPAL juga memiliki beberapa manfaat lainnya yaitu sebagai berikut; menetralsir kontaminan pada limbah, menghilangkan zat kimia berbahaya, mengolah cairan limbah baik domestik maupun industri agar dapat digunakan kembali, melindungi ekosistem makhluk hidup, menjaga kebersihan air aliran sungai, dan mengurangi biaya produksi (Wenten, 2004)

6.2 Bioreaktor Membran (BRM)

Bioreaktor membran (BRM) dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis BRM yaitu bioreaktor membran untuk pemisahan biomassa, bioreaktor membran aerasi, dan bioreaktor membran ekstraktif. Ketiga jenis bioreaktor membran ini memiliki fungsi masing-masing yang disesuaikan dengan jenis air limbah. Gambar 3 menunjukkan skema secara garis besar tipe bioreaktor membran.

Bioreaktor membran untuk pemisahan biomassa merupakan bioreaktor membran yang aplikasinya paling luas dibandingkan dua bioreaktor membran lainnya. Saat ini bioreaktor membran untuk pemisahan biomassa telah diaplikasikan hingga skala industri. Jumlah instalasi bioreaktor

membran telah mencapai lebih dari 500 plant. Tabel 1 dibawah ini menunjukkan beberapa instalasi bioreaktor membran yang tersebar di berbagai tempat dengan kapasitas instalasi lebih dari 50.000 galon per hari. Sebagian besar manufaktur bioreaktor membran didominasi oleh perusahaan-perusahaan besar pada negara maju maupun negara berkembang (Adham, S. and Gaggiardo, P.,1998)

Tabel 1. Instalasi Bioreaktor Membran lokasi, Aplikasi dan Kapasitas

No.	Lokasi	Aplikasi	Kapasitas (galon/hari)
1	Prancis	Pabrik susu	211.260
2	Prancis	Air minum	105.680
3	Tokyo, Jepang	Perhotelan	19.260
4	Chiba, Jepang	Gedung perkantoran	121.532
5	Kumamoto, Jepang	Bir	92.470
6	Shizuoka, Jepang	Industri	158.520
7	Aomori, Jepang	Industri makanan laut	52.840
8	Okinawa, Jepang	Industri	118.890
9	Prancis	Perkotaan	237.780
10	B.C., Kanada	Rekreasi/domestik	200.000

Sumber: Adham, S. and Gaggiardo, P.,1998

Peran membran pada bioreaktor membran pemisahan biomassa adalah menggantikan bak sedimentasi sekunder pada proses pengolahan limbah lumpur aktif. Dengan demikian, pemisahan antara efluen dan biomassa yang biasanya mengandalkan pada proses sedimentasi digantikan dengan proses filtrasi menggunakan membran. Hal ini menghasilkan keuntungan utama berupa penghematan ruang dan dihasilkannya kualitas efluen yang jauh lebih baik dibandingkan kualitas efluen yang dihasilkan proses sedimentasi. Sejumlah kasus yang ada menunjukkan bahwa efluen yang dihasilkan dari bioreaktor membran tidak saja memenuhi standar buangan tetapi juga memiliki kualitas yang memenuhi syarat untuk digunakan kembali sebagai air proses.

Proses membran yang biasa digunakan untuk bioreaktor membran pemisahan biomassa adalah mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF), dan nanofiltrasi (NF). Dengan ukuran pori yang dimiliki ketiga proses membran ini, maka dapat dipastikan hampir seluruh biomassa maupun pengotor yang terdapat pada umpan yang berasal dari bioreaktor dapat direjeksi sehingga yang melewati membran adalah air yang telah terpisah dari biomassa dan pengotor lainnya. Konfigurasi bioreaktor membran untuk pemisahan biomassa pada awalnya berupa bioreaktor dan modul membran yang terpisah, belakangan kemudian muncul konfigurasi dimana modul membran direndam langsung ke dalam bioreaktor (Wenten, 2004)

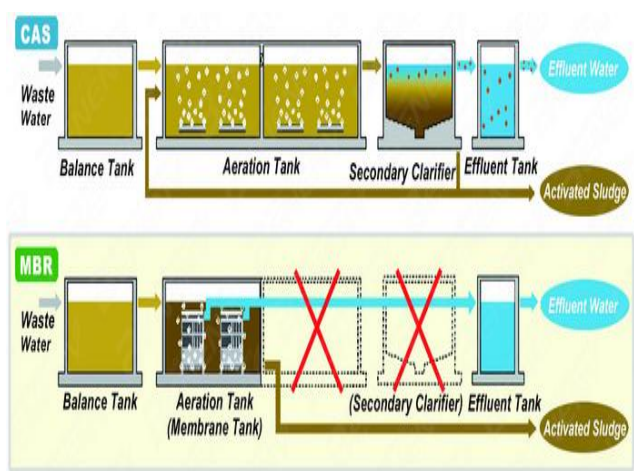
Setiap konfigurasi memiliki kelemahan dan keunggulan masing-masing, namun demikian masalah yang sama-sama dihadapi kedua konfigurasi ini adalah *fouling*. Beberapa metode telah dikembangkan untuk mengendalikan masalah *fouling* pada bioreaktor membran, diantaranya adalah pengendalian turbulensi, pengoperasian pada fluks sub-kritis, dan/atau pemilihan material membran yang tahan *fouling*. Bioreaktor pemisahan biomassa dapat dilakukan dalam kondisi aerob dan anaerob (Gander, M., Jefferson, B., and Judd., S., 2.000)

6.3 Spesifikasi Produk Membrane Bioreactor (MBR)

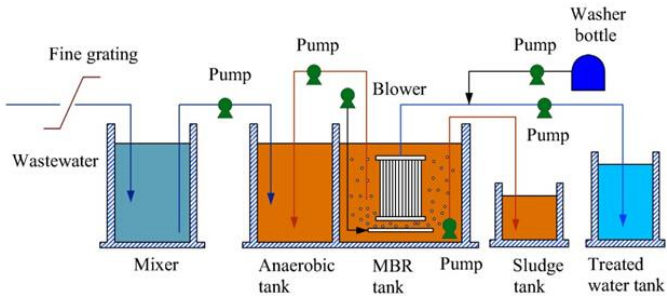
Kebutuhan untuk mendaur ulang air limbah dan peraturan lingkungan yang lebih ketat membuat sistem MBR solusi yang sangat tepat untuk pengolahan air limbah saat ini dan masa depan. Sistem membran bioreaktor disesuaikan untuk memenuhi tuntutan yang berkembang, dan menawarkan solusi yang tepat untuk solusi pengolahan limbah saat ini.

Proses MBR menghasilkan limbah dari kualitas yang cukup tinggi untuk didaur ulang dengan aman ke perairan lokal (pesisir, permukaan, sungai atau sungai). Selain itu limbah dapat

direklamasi untuk irigasi. modul MBR dirancang dengan kebutuhan lahan yang sangat kecil. sistem ini mengintegrasikan serat membran berlubang, pipa inlet udara, pipa air outlet dan pipa aerasi ke dalam modul tunggal. sistem MBR merupakan solusi sempurna untuk perawatan yang efisien dan menggunakan desain yang sangat kompak.



Gambar 6.1. Diagram Alir proses MBR dan *Activated Sludge*
(Sumber :www.alibaba.com/product-detail/BENENV-Membrane-Bioreactor-MBR-similar-to_60442424135.html)



Gambar 6.2. Diagram Alir proses MBR
(Sumber: <https://www.membrane-solutions.com/iMBR.htm>)

Tabel 2. Kinerja bioreaktor membran dalam penghilangan

COD, BOD, SS, dan total N

Industri	Proses	Influen				Eflien			
		COD mg/L	BOD ₅ mg/L	SS g/L	N-NTK mg/L	COD mg/L	BOD ₅ mg/L	SS g/L	N-NTK mg/L
Kosmetik	Aerobik	6.500	2.400	1.900	40	<100	20	<5	0,4
Pemrosesan susu	Aerobik	4.200	2.600	650	110	40	<10	<5	4,2
Tekstil	Aerobik	10.000	-	-	-	600	-	-	-
Jus buah	Aerobik	2.250	-	-	-	24	-	-	-
Penyamakan	Aerobik	7.600	-	-	-	190	-	-	-
Air limbah <i>oil</i>	Aerobik	4.300-6.900	919-1.360	253-889	-	180-660	3-34	1-11	-
<i>Sludge heat treated liquor</i>	Anaerobik	9.200-10.600	4.300-5.000	180-520	160-310	1.500-2.200	150-230	<5	250
<i>Sweet whey</i>	Anaerobik	58.000	34.000	5.200	-	700	300	<10	-
Tepung tapioka	Anaerobik	35.000	15.000	13.000	-	270	70	<10	-
Air limbah sintetik tapioka	Anaerobik	9.700	-	-	-	300	-	-	-

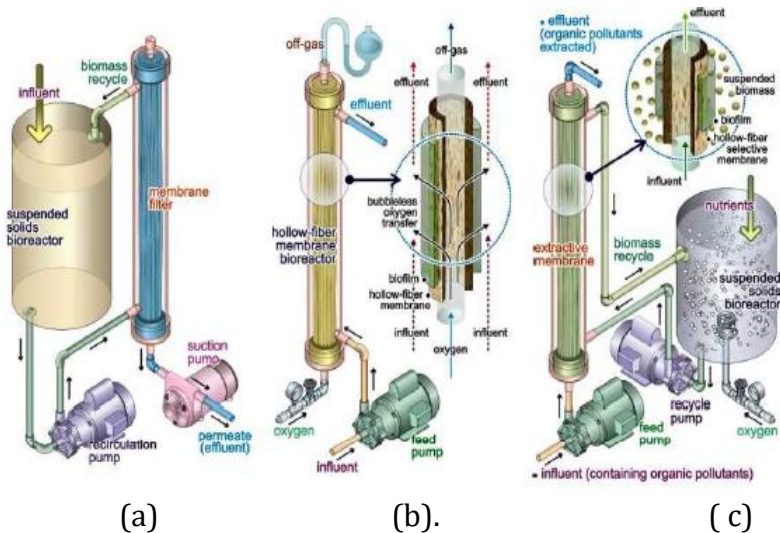
Sumber: Adham, S. and Gaggiardo., P.,1998

Pada tabel 2 menunjukkan dengan jelas kinerja bioreaktor membran dalam penghilangan COD, BOD, SS, dan total N. Efisiensi penghilangan COD, BOD₅, SS dan total N rata-rata di atas 97%. Beban COD yang sangat tinggi yaitu 58.000 ppm seperti pada limbah *sweet whey* berhasil diolah dengan bioreaktor membran dengan efisiensi penghilangan kurang-lebih 98%. (Adham, S. and Gaggiardo., P.,1998)

Pada Tabel 2 juga terlihat bahwa aplikasi bioreaktor membran telah merambah ke berbagai industri seperti industri komestik, industri pemrosesan susu, industri tekstil, industri jus buah, industri penyamakan, industri penghasil limbah berminyak, dan industri tapioka. Hingga saat ini penelitian-penelitian di bidang bioreaktor membran masih terus berlangsung. Beberapa diantaranya tidak dicantumkan di dalam Tabel diatas namun dapat diulas sedikit bahwa penelitian yang ada saat ini diantaranya telah pula mengolah limbah-limbah lain seperti limbah perkotaan, limbah domestik, limbah industri kimia, limbah lindi, limbah kertas, limbah farmasi, limbah kelapa sawit, limbah pulp kraft, limbah *wool scour*, dll (Adham, S. and Gaggiardo., P.,1998)

6.4 Aplikasi BRM

Aplikasi BRM yang paling luas skala aplikasinya adalah BRM pemisahan biomassa (Gbr. 3a). Kedua BRM lainnya yaitu BRM aerasi (Gbr. 3b) dan BRM ekstraktif (Gbr. 3c) masih dalam tahap pengembangan dan belum diaplikasikan secara luas dalam skala industri.



Gambar 6.3. Skema Tiga Tipe Bioreaktor Membran

Keterangan: (a); bioreaktor membran pemisahan biomassa; (b): bioreaktor membran aerasi; (c): bioreaktor membran ekstraktif) (Sumber: Wenten, 2004)

Kemunculan Bioreaktor Membran Aerasi (BRMA) seperti dapat dilihat skemanya pada Gbr. 3(b), berkaitan dengan rendahnya efisiensi proses aerasi konvensional pada sistem pengolahan limbah secara biologis. Aerasi pada sistem pengolahan limbah ditujukan untuk memenuhi kebutuhan oksigen mikroba pendegradasi limbah yang terdapat di dalam bioreaktor. Aerasi menjadi faktor penting yang menentukan kinerja sistem khususnya sistem yang mengolah limbah dengan

kandungan BOD atau COD tinggi. Transfer oksigen untuk kebutuhan oksigen pada BRMA tidak dapat dilakukan hanya dengan transfer oksigen secara alamiah, namun diperlukan peralatan aerator dan diffuser.

Penggunaan oksigen murni menggunakan *multi-stage reactor surface oxygenation* pada BRMA sejauh ini merupakan alternatif menarik untuk mencapai efisiensi aerasi yang tinggi di dalam sistem pengolahan air limbah. Metode ini mampu menghasilkan perpindahan oksigen dengan cukup tinggi yaitu 50-90% (Adham, S. and Gaggiardo., P.,1998). Sebelumnya perlu ditekankan bahwa pada BRMA, mikroba yang digunakan berada dalam bentuk terikat/melekat pada media suport dan tumbuh dalam bentuk film biologis (biofilm), tidak dalam bentuk suspensi. Kelebihan pada sistem BRMA adalah proses aerasi berlangsung melalui kontak langsung oksigen dengan biofilm mikroba tanpa melewati *bulk* sehingga efisiensi penggunaan oksigen menjadi jauh lebih tinggi 1-3 kali dibandingkan proses aerasi konvensional (Adham, S. and Gaggiardo., P.,1998).

Jenis membran yang umum digunakan untuk BRMA adalah membran tak berpori (*dense*) yang permeabel terhadap gas, membran berpori yang hidrofobik, dan membrane komposit. Penggunaan membran untuk aerasi mampu menghasilkan aerasi yang tidak disertai pembentukan gelembung udara (*bubbleless oxygen mass transfer*), ataupun bila disertai pembentukan gelembung udara, gelembung udara yang dihasilkan memiliki ukuran yang sangat halus (*fine bubble*) (Wanten, 2004).

BRMA telah diaplikasikan pada berbagai jenis air limbah dan berbagai laju pembebanan. Berdasarkan hasil penelitian yang ada, diketahui bahwa dalam penerapannya, BRMA cocok digunakan untuk mengolah limbah dengan BOD tinggi, biodegradasi senyawa organik volatil dan pengolahan limbah berupa kombinasi nitrifikasi, denitrifikasi dan/atau oksidasi

karbon pada biofilm yang sama. Limbah primer, limbah sintetik, dan efluen bir merupakan contoh air limbah yang telah diolah menggunakan BRMA.

Berikut hasil penelitian yang telah dirangkum oleh Stephenson *et al.* (Adham, S. and Gagliardo., P.,1998). menunjukkan efisiensi penghilangan organik oleh BRMA sebesar 63-91% pada laju pembebanan 0,06 - 33,8 kg/m³/hari. BRMA dengan kemampuannya melakukan penetrasi oksigen secara sempurna memastikan bahwa ketika melakukan pengolahan limbah dengan BOD/COD tinggi, biofilm yang ada seluruhnya aktif berfungsi dalam biodegradasi polutan, Secara umum persen penyisihan polutan bervariasi dengan kisaran 28-98% namun sebagian besar berada pada kisaran persen penyisihan polutan di atas 75% (Timberlake, D.L., Strand, S.E., and Williamson, K.J.,1988)

Bioreaktor membran ekstraktif (BRME) (Gbr. 3c) merupakan tipe bioreactor membran yang paling akhir kemunculannya. BRME memiliki kesamaan dengan bioreactor membran aerasi (BRMA) dimana mikroba yang digunakan berada dalam bentuk pertumbuhan terikat (biofilm). Berbeda dengan BRMA yang menekankan pada peningkatan efisiensi aerasi, BRME lebih ditekankan pada peningkatan efisiensi pengolahan limbah toksik dengan cara mengekstrak senyawa toksik tersebut kemudian diolah secara tersendiri (Wenten, 2004).

Sebagian besar limbah terkontaminasi oleh senyawa organik toksik sehingga digolongkan sebagai limbah berbahaya. Penggolongan suatu senyawa sebagai senyawa toksik didasarkan atas kemampuan senyawa tersebut dalam berbagai konsentrasi untuk memberikan efek merusak terhadap lingkungan (khususnya kehidupan akuatik) dan manusia (Metcalf & Eddy, I.,1991)

Salah satu contoh senyawa organik toksik misalnya fenol dapat dijumpai pada limbah yang dihasilkan industri kimia, industri pulp dan kertas, industri penyamakan, dan industri obat-obatan (Lederberg, J., Alexander, M., Hopwood, D.A., Iglewski, B.H., and Laskin., A.I., 1992). Meskipun kontaminasi senyawa organik toksik ini umumnya pada konsentrasi rendah, senyawa organik toksik ini tetap harus dipisahkan dari aliran limbah dengan alasan kesehatan dan juga agar aliran limbah tersebut bisa diproses lebih lanjut dengan metode yang sesuai. Pengolahan limbah toksik secara biologis mampu menghilangkan senyawa organik toksik dari lingkungan, menurunkan toksisitas senyawa organik toksik, ataupun keduanya . Namun demikian pada sejumlah kasus, kondisi limbah sangat ekstrim sehingga mikroba tidak dapat tumbuh akibatnya limbah toksik tidak dapat didegradasi secara biologis. (Lederberg, J., Alexander, M., Hopwood, D.A., Iglewski, B.H., and Laskin, A.I., 1992)

Teknologi konvensional yang umum digunakan adalah *steam-stripping* dan adsorpsi karbon namun teknologi ini masih meninggalkan residu kontaminan pekat yang harus dibuang. Pada kondisi dimana limbah diolah secara biologis (dalam hal ini kondisi anorganik limbah masih memungkinkan pertumbuhan mikroba), mikroba akan terlebih dahulu mendegradasi senyawa organik yang mudah di biodegradasi sehingga acapkali senyawa organik toksik menjadi tidak terdegradasi dan menjadi "*hard COD*" (Livingston, A.G., Arcangeli, J.P., Boam, A.T., Zhang, S., Marangon, M., and Santos, L.M.F.d., 1998). Oleh karena itu, pencampuran limbah toksik dengan limbah dari unit proses lain sebaiknya dihindari untuk menghindari peluang terbentuknya "*hard COD*". Pengolahan limbah toksik langsung di tempat limbah dihasilkan (*point of source*) akan mengeliminasi kemungkinan tersebut di atas.

Sebagian besar senyawa kimia organik toksik yang menjadi kontaminan ini sebenarnya dapat didegradasi oleh mikroorganisme yang spesifik tetapi karakteristik limbah anorganik seperti asam, basa, atau garam konsentrasi tinggi menyebabkan mikroorganisme pendegradasi tidak dapat tumbuh. BRME bekerja dengan cara mengekstrak senyawa toksik tersebut dari limbah kemudian ditransfer menuju biofilm mikroba pendegradasi yang ditumbuhkan dalam biomedium yang sesuai untuk pertumbuhannya. Dengan cara ini BRME memungkinkan mikroba untuk mendegradasi organik toksik yang sebelumnya berada di lingkungan dengan konsentrasi garam atau pH ekstrim. Sama seperti halnya BRM aerasi, senyawa organik toksik yang sukar larut dalam air (*VOC/volatile organic compound*) dapat pula diolah dengan BRME (Fane, A.G. and Parameshwaran, K. , 2001)

Pada kasus ini teknologi BRME merupakan teknologi alternatif yang lebih hemat dibandingkan metode konvensional. Biaya pembuangan limbah dapat dipangkas dan biaya pengoperasian bioreaktor lebih murah dibandingkan biaya listrik yang dikeluarkan untuk proses konvensional seperti *steam-stripping* atau unit karbon adsorpsi. Sebagian besar hasil penelitian menunjukkan efisiensi penghilangan yang sangat tinggi yaitu 99%, beberapa bahkan di atas 99% yaitu untuk penghilangan anilin, 4- kloroanilin, 2,3-dikloroanilin, 3,4-dikloroanilin, senyawa nitroaromatik, 3-klorobenzoat, 2,4-diklorofenol, dan benzen (Wenten, 2004)

Perkembangan BRM untuk pemisahan biomassa pada awalnya tercatat pada tahun 1969 dimana Smith dkk., melaporkan tentang penggunaan membran UF sebagai pengganti tahap sedimentasi pada proses lumpur aktif. Tahun 1970, Hardt, dkk., menggunakan bioreaktor aerob untuk mengolah limbah sintetik dengan mode operasi *dead-end* menggunakan membran UF untuk pemisahan biomassa dengan

konsentrasi biomassa 23- 30.000 mg/l. Tahun 1960-an, Dorr-Oliver Inc., mengembangkan proses MST (*Membrane Sewage System*) menggunakan modul UF plate & frame. Tahun 1970-an teknologi ini memasuki Jepang dengan kesepakatan lisensi antara Dorr-Oliver dan Sanki Engineering Co. Ltd. Tahun 1993, sebanyak 39 sistem BRM eksternal ini telah diaplikasikan untuk pengolahan limbah sanitasi dan industri. Sebelumnya pada tahun 1982, Dorr-Oliver memperkenalkan sistem MARS (*Membrane Anaerobic Reactor System*) untuk pengolahan limbah berat industri makanan. Sistem ini dikembangkan lebih lanjut di Afrika Selatan dalam bentuk ADUF (*Anaerobic Digester Ultra Filtration*) (Wenten, 2004)..

Akhir tahun 1980-an dan awal 1990-an, Zenon Environmental mengembangkan sistem BRM untuk pengolahan limbah industri. Pada tahun 1980, perusahaan Jepang Mitsui Petrochemical Company memperkenalkan sistem BRM dengan nama UBIS (*Ultra Biological System*) untuk mengolah limbah pada gedung Marunochi, Tokyo. Sistem ini dikembangkan oleh Rhone Poulenc, Perancis. Air limbah yang berasal dari toilet, dapur, bak cuci, dan pengepelan lantai, dikumpulkan dan disalurkan ke reaktor lumpur aktif aerobik.

Membran UF plate-and-frame (Plejade) digunakan untuk mengolah air dan memisahkan lumpur. HRT yang digunakan kurang-lebih 1 jam dengan konsentrasi lumpur 20 g/l. Pencucian kimia dilakukan setiap 45 hari untuk menjaga fluks pada 100 dan 120 LMH. Efluen BRM mengandung BOD <5 mg/l dan tanpa sama sekali padatan tersuspensi. Efluen ini kemudian digunakan sebagai air pembilas toilet. Sistem UBIS ini telah dipasang di lebih dari 40 bangunan dan memproduksi lebih dari 5000 m³/hari. Tahun 1989, berkaitan dengan program Aqua Renaissance '90, pemerintah Jepang mengembangkan BRM dengan membran datar terendam bekerja-sama dengan perusahaan Kubota. Aplikasi BRM dilaporkan pula dilakukan

dengan menggunakan teknologi ASMEX (*Activated Sludge and Membrane Complex System*).

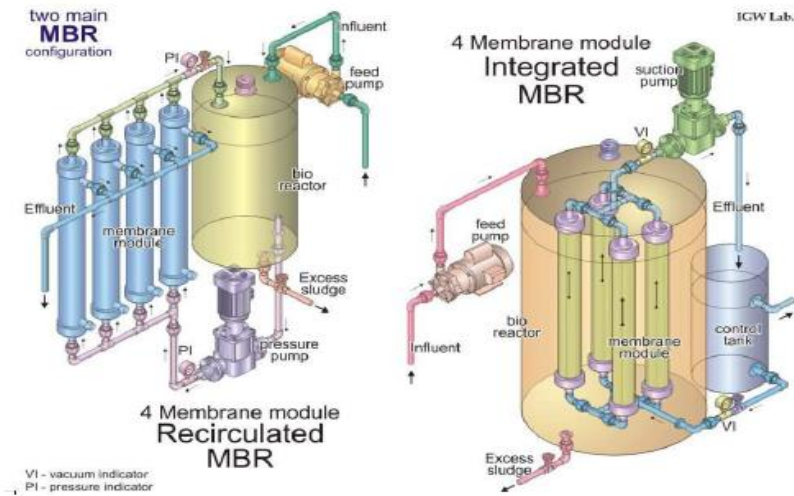
Proses ini diadaptasi dari sistem UBIS yang dikembangkan oleh Mitsui Petrochemical Industry. Berdasarkan survei yang dilakukan Adham & Gagiiardo (Metcalf & Eddy, I., 1991). Saat ini bioreaktor membran untuk pemisahan biomassa telah diaplikasikan hingga skala industri. Jumlah instalasi telah mencapai lebih dari 500 plant dimana aplikasi terbesar pada pengolahan limbah industri (27%) dan domestik (27%) diikuti pengolahan limbah yang ditujukan untuk *in-building* (24%), perkotaan (12%) dan *landfill leachate* (9%) (Wenten, 2004)

Sebagian besar manufaktur bioreaktor membran didominasi oleh perusahaan-perusahaan besar seperti Kubota, Zenon, Suez-LDE, dan Mitsubishi-Rayon. Survey mengenai instalasi BRM yang dilakukan oleh South Australian (SA) (Wenten 2022). Latar belakang pemasangan BRM di berbagai tempat yang tersebar di British Columbia, Kanada, Amerika Serikat, dan Inggris (UK). BRM-BRM ini terdapat di komunitas kecil, komunitas daerah (regional), ataupun daerah satelit yang sedang berkembang yang berlokasi di pedalaman, daerah-daerah subkota/ pengembangan baru, dan juga di daerah kota.

Alasan penerapan BRM diantaranya didasari oleh kebutuhan meng-*upgrade* sistem pengolahan yang sudah ada, area sensitif, *upgrade* sistem pengolahan yang disertai dengan penggunaan Reverse Osmosis (RO), pembangunan instalasi pengolahan limbah baru, *small footprint*, *package plant*, *high profile*, *state of the art process*, alternatif filtrasi tersier, demonstrasi teknologi, daur-ulang air dan hubungan dengan sistem air minum, kemampuan untuk pengendalian salinitas, dan plant baru yang dibangun sebagai antisipasi peraturan yang akan datang.

Bioreaktor membran untuk pemisahan biomassa pada awalnya berupa bioreactor dan modul membran yang terpisah,

belakangan kemudian muncul konfigurasi dimana modul membran direndam langsung ke dalam bioreactor.



Gambar 6.4. Bioreaktor membran konfigurasi eksternal dan terendam

(Sumber: Indra Nafi Akhsani, 2016)

Perbandingan BRM eksternal (kadang disebut juga BRM tubular) dan BRM terendam. Kondisi biologis pada dasarnya sama untuk kedua sistem akan tetapi kondisi filtrasi berbeda nyata. Pada sistem eksternal, filtrasi berlangsung dengan mode operasi *inside-out* sementara pada sistem terendam, filtrasi berlangsung dengan mode operasi *outside-in*. Sistem eksternal mampu mencapai fluks yang lebih tinggi tapi membutuhkan kecepatan tangensial yang tinggi (3-5 m/det) dan tekanan operasi yang secara signifikan lebih tinggi karena adanya hilang tekan (*pressure-drop*) di sepanjang membran. Hal ini menghasilkan rasio recycle yang besar (aliran umpan terhadap aliran permeat) antara 25 dan 75 dan konsumsi energi antara 4 dan 12 kWh per m³ yang diolah. Kebalikannya, membran

terendam bekerja pada tekanan yang lebih kecil, tanpa resirkulasi biomassa, tapi dibutuhkan aerasi untuk *scouring* membran. Konsumsi energy untuk filtrasi (termasuk pompa dan aerasi) antara 0,3-0,6 kWh per m³ terolah, 10-20 kali lebih kecil dibandingkan sistem eksternal (Wenten, 2004)

Bioreaktor pemisahan biomassa dapat dilakukan dalam kondisi aerob dan anaerob. Data berikut menunjukkan kinerja bioreaktor membran untuk pemisahan biomassa yang telah diaplikasikan berbagai limbah industri. dengan jelas kinerja bioreaktor membran dalam penghilangan COD, BOD, SS, dan total N. Efisiensi penghilangan COD, BOD₅, SS dan total N rata-rata di atas 97%. Beban COD yang sangat tinggi yaitu 58.000 ppm seperti pada limbah *sweet whey* berhasil diolah dengan bioreaktor membran dengan efisiensi penghilangan kurang-lebih 98%. Pada Tabel 6 juga terlihat bahwa aplikasi bioreaktor membran telah merambah ke berbagai industri seperti industri komestik, industri pemrosesan susu, industri tekstil, industri jus buah, industri penyamakan, industri penghasil limbah berminyak, dan industri tapioka. Hingga saat ini penelitian-penelitian di bidang bioreaktor membran masih terus berlangsung.

Beberapa diantaranya tidak dicantumkan di dalam hasil penelitian namun dapat diulas sedikit bahwa penelitian yang ada saat ini diantaranya telah pula mengolah limbah-limbah lain seperti limbah perkotaan, limbah domestik, limbah industri kimia, limbah lindi, limbah kertas, limbah farmasi, limbah kelapa sawit, limbah pulp kraft, dll. (Wenten, 2004). Namun demikian terdapat beberapa faktor yang menghambat pemakaian membrane secara luas yaitu masalah penyumbatan atau *fouling* dan biaya operasi jangka panjang yang secara bertahap meningkat. *Fouling* membran menyebabkan penurunan fluks filtrasi dan peningkatan biaya akibat kebutuhan untuk pencucian/penggantian membran yang tersumbat. Banyak

peneliti menyebutkan bahwa fouling terutama disebabkan oleh eksopolimer yang dihasilkan selama lisis bakteri.

Beberapa studi juga telah dilakukan untuk mengkuantifikasi masing-masing fraksi terhadap *fouling* dimana koloid memegang peran utama dalam proses fouling (Casey, E., Glennon, B., and Hamer, G.,1999). Beberapa metode telah dikembangkan untuk mengendalikan masalah fouling pada bioreaktor membran diantaranya adalah pengendalian turbulensi, pengoperasian pada fluks sub-kritis, pemilihan material membran yang tahan fouling, *periodic backwashing*, dan penambahan flokulan-koagulan. *Fouling* dapat dikendalikan melalui proses pencucian secara berkala.

Metode pencucian membran dapat dibedakan ke dalam empat golongan, yaitu pencucian hidraulik, pencucian mekanis, pencucian kimiawi, dan pencucian elektrik. Pemilihan metode pencucian bergantung pada konfigurasi modul, tipe membran, ketahanan kimia, dan jenis foulant. Pencucian hidraulik meliputi *backflushing*, *pressurize-depressurize* tekanan, dan perubahan aliran pada frekuensi tertentu. Pada metode *backflushing*, arah aliran permeat dibalik secara periodik. Pada metode tersebut, produk dialirkan dari sisi permeat menuju sisi umpan. Metode tersebut mereduksi waktu operasi efektif juga menyebabkan kehilangan permeat ke larutan umpan. Hal ini menyebabkan *backflush* dalam aplikasi industri sangat terbatas sehingga diperlukan optimalisasi. Optimalisasi proses *backflush* dilakukan terhadap durasi dan interval *backflush*. Peningkatan laju produk setelah dilakukan *backflush* sematamata merupakan fungsi tekanan *backflush* dan interval antara dua *backflush*. Belakangan ini, waktu interval *backflush* telah dikurangi hingga hitungan detik yang menandakan pula tahanan cake tetap rendah karena tidak sempat membentuk lapisan (Wenten, 2004)

Teknik *backflush* terbaru dengan frekuensi tinggi dan waktu yang sangat singkat juga telah dikembangkan. Dengan

waktu *backflush* yang sangat singkat (0,06 detik) dan interval maksimum 5 detik (disarankan 1-3 detik) didapatkan hasil yang sangat baik (Timberlake, D.L., Strand, S.E., and Williamson, K.J.,1988). Karena waktu *backflush* efektif yang sangat singkat dan tekanan *backflush* yang relative tinggi (1 bar di atas tekanan umpan) metode ini disebut sebagai "*backshock*". Kehilangan permeat selama *backshock* menjadi sangat rendah dan hampir tidak mempengaruhi aliran permeat.

Teknik *backshock* yang dikombinasikan dengan struktur membran asimetrik terbalik memungkinkan filtrasi pada kecepatan *crossflow* yang sangat rendah dan fluks permeat yang sangat stabil. *Backshock* dengan frekuensi tinggi akan mencegah membran dari penyumbatan dan memungkinkan filtrasi dengan fluks yang sangat stabil (Osa, J.J., Eguia, E., Vidart, T., Jacome, A., Lorda, I., Amieva, J., and Tejero, I., 1997) Dengan metode tersebut, permasalahan fouling pada proses klarifikasi larutan tersuspensi dapat diatasi (Wenten , 2004).

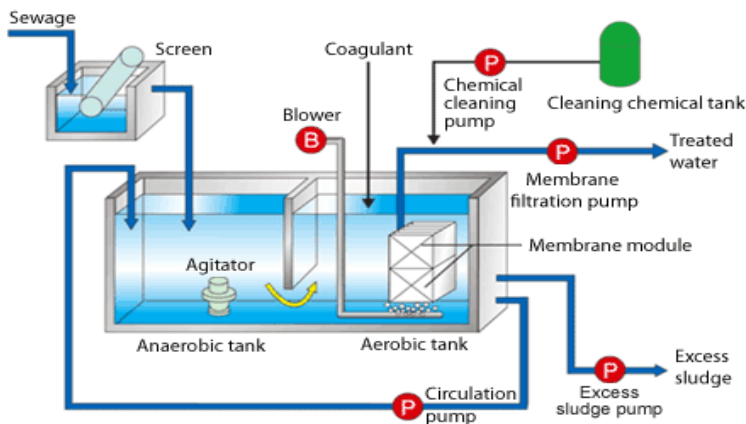
Metode lainnya yaitu pencucian mekanis, hanya dapat diterapkan pada sistem modul tubular seperti dengan metode ultrasonik. Adapun pencucian kimiawi merupakan metode yang paling penting untuk mereduksi *fouling* menggunakan bahan kimia yang dapat digunakan secara terpisah maupun terkombinasi. Konsentrasi bahan kimia dan waktu pencucian juga merupakan hal yang penting karena berkaitan dengan ketahanan membran terhadap bahan kimia. Pencucian secara elektrik merupakan metode pencucian yang sangat khusus. Dengan mengaplikasikan arus listrik melewati membran, partikel-partikel atau molekul-molekul bermuatan akan bermigrasi sesuai dengan arah arus listrik.

Pencucian elektrik dapat dilakukan tanpa mengganggu proses yang sedang berjalan dimana arus listrik dihidupkan hanya pada interval-interval waktu tertentu (Brindle, K., Stephenson, T., and Semmens, M.J.,1998). Selain

pencucian, *fouling* juga dapat dikendalikan dengan mengatur laju alir membran seperti mengoperasikan membran di bawah fluks kritisnya (Brindle, K., Stephenson, T., and Semmens, M.J.,1999). Dengan metode seperti ini, penumpukan *foulant* dipermukaan membran dapat dihindari. Selain itu, membran dapat dioperasikan dengan fluks yang stabil.

Dari pembahasan terdahulu telah ditunjukkan bahwa proses BRM memiliki beberapa keunggulan yang tidak dimiliki oleh proses lumpur aktif konvensional, seperti kebutuhan ruang yang lebih kecil, tingkat penyisihan padatan yang lebih baik, desinfeksi yang hampir menyeluruh, laju pembebanan yang lebih tinggi, dan produksi lumpur yang lebih rendah, namun pada akhirnya keputusan pemilihan teknologi yang akan digunakan sering kali ditentukan oleh pertimbangan ekonomi.

Berdasarkan perbandingan tersebut, sistem bioreaktor membran terlihat lebih menarik. Dari pada lumpur aktif konvensional sebab keperluan ruang dan konsumsi energinya jauh lebih rendah. Studi yang dilaporkan oleh Adham & Gaggiardo (1998) juga menunjukkan bahwa pada skala yang kecil (1 MGal/hari), sistem bioreaktor membran lebih ekonomis dibandingkan dengan sistem konvensional.



Gambar 6.5. Aplikasi Desain Membran Bioreaktor dalam Pengolahan Air Limbah Industri

(Sumber; I.G. Wenten, A.N. Hakim, Aryanti, 2004)

6.5 Kelebihan dan Keuntungan Sistem Bioreaktor Membran (BRM)

1. Kelebihan Sistem Bioreaktor Membran

Dari penelitian-penelitian tersebut, bioreaktor membran sangat potensial digunakan untuk mengolah limbah baik limbah domestik maupun limbah industri. Kelebihan sistem bioreaktor membran terendam adalah :

- a. Biomassa dapat direjeksi dengan sempurna. Efluen yang dihasilkan oleh bioreaktor membran terendam tidak tergantung dari efisiensi pengolahan biologis. Dengan demikian, produk BRM terendam bersih dari kista dan protozoa, serta dapat mereduksi bakteri dan virus. Efluen ini, sesuai dengan standar baku air bersih.
- b. Waktu tinggal padatan yang lama dapat diperoleh dan lumpur yang dihasilkan sangat sedikit.
- c. Rentang MLSS yang dapat diolah lebih tinggi dibanding dengan metode lumpur aktif. Desain BRM dapat mengolah limbah dengan kandungan MLSS 8-15 mg/l bahkan sampai 50 mg/l, sedangkan dengan lumpur aktif hanya sekitar 3,5 mg/l. Level pencemar pada efluen seperti bahan organik, nitrogen, fosfor dan padatan terlarut sangat rendah sehingga tidak dibutuhkan pengolahan lanjutan. Dapat digunakan pada skala kecil untuk pengolahan limbah pemukiman atau untuk dikomersialisasikan.
- d. Membran menahan mikroorganisme di bioreaktor selama mungkin termasuk bakteri nitrogen, sehingga laju reduksi bahan organik dan nitrogen berlangsung cepat.

- e. Konfigurasi dan instalasi alat sederhana, sehingga dapat mereduksi biaya konstruksi dan operasi. Peralatan yang dibutuhkan tidak banyak, termasuk tidak membutuhkan pompa lumpur dan pompa resirkulasi.

2. Keuntungan menggunakan IPAL system Bioreaktor Membrane dibanding metode konvensional:

- a. Hasil olahan dijamin masuk baku mutu air bersih
- b. Hemat tempat, hanya perlu 50% dari luas lahan untuk system konvensional
- c. Hasil olahan bisa digunakan kembali (reuse)
- d. Dengan system modular, memudahkan instalasi
- e. Cocok digunakan untuk Industri, faskes maupun pengolahan limbah domestik dengan lahan terbatas
- f. Maintenance yang mudah dan murah.

DAFTAR PUSTAKA

- Adham, S. and Gaggiardo., P., Membrane Bioreactors for Water Repurification – Phase I. 1998: Desalination Research and Development Program Report No. 34. U.S. Department of The Interior.
- Aptel, P. and Buckley, C.A., Categories of membrane operations, in Water Treatment Membrane Processes, J. Mallevalle, P. Odendaal, and M.R. Wiesner, Editors. 1996, McGraw-Hill: New York.
- Brindle, K., Stephenson, T., and Semmens, M.J., Nitrification and oxygen utilisation in a membrane aeration bioreactor. . Journal of Membrane Science, 1998. 144: p. 197-209.
- Brindle, K., Stephenson, T., and Semmens, M.J., Pilot Plant Treatment of a High Strength Brewery Wastewater Using a Membrane Aeration Bioreactor. Water Environment Research, 1999. 71: p. 1197-1204.
- Buckley, C. and Hurt, Q., Membrane Applications: A Contaminant-Based Perspective, in Water Treatment Membran Processes, J. Mallevalle, P. Odendaal, and M.R. Wiesner, Editors. 1996, McGraw-Hill: New York.
- Casey, E., Glennon, B., and Hamer, G., Review of Membrane Aerated Biofilm Reactors. Resources, Conservation and Recycling, 1999. 27: p. 203-215.
- Defrance, L. and Jaffrin, M.Y., Comparison between filtrations at fixed transmembrane pressure and fixed permeate flux: application to a membrane bioreactor used for wastewater treatment. Journal of Membrane Science, 1999. 152: p. 203-210.
- Dunn, I.J., Heinzle, E., Ingham, J., and Prenosil, J.E., Biological Reaction Engineering : Principles, Applications and Modelling with PC Simulation 1992, Germany: VCH.
- Gander, M., Jefferson, B., and Judd., S., Membrane Bioreactors for Domestic Wastewater Treatment: A Review With Cost

Considerations. Separation and Purification Technology, 2000. 18: p. 119-130.

Horan, N.J., Biological Wastewater Treatment Systems : Theory and Operation. 1991, England: John Wiley & Sons, Ltd.

Lederberg, J., Alexander, M., Hopwood, D.A., Iglewski, B.H., and Laskin, A.I., Encyclopedia of Microbiology. Vol. 2 D-L. 1992, Toronto: Academic Press, Inc.

Lederberg, J., Alexander, M., Hopwood, D.A., Iglewski, B.H., and Laskin, A.I., Encyclopedia of Microbiology Vol. 2 A-C. 1992, Toronto Academic Press, Inc.

Livingston, A.G., Arcangeli, J.P., Boam, A.T., Zhang, S., Marangon, M., and Santos, L.M.F.d., Extractive Membrane Bioreactors for Detoxification of Chemical Industry Wastes: Process Development. Desalination, 1998. 149: p. 211-215.

Livingston, A.G., Brookes, P.R., and Santos, L.M.F.d., Removal and Destruction of Priority Pollutants from Chemical Industry Wastewaters Using An Innovative Membrane Bioreactor. IchemE Symposium Series, 1993. 132: p. 131-136.

Livingston, A.G., Boam, A.T., Zhang, S.F., and Arcangeli, J.P. Extractive Membrane Bioreactor for Detoxifying Aqueous Wastes from The Chemicals Industry. <http://www.che.utoledo.edu/nams98/scripts/viewpap.cfm?ID=212>

Masters, G.M., Introduction to Environmental Engineering and Science. 1991: PrenticeHall, Inc. USA

Mc Kane, L. and Kandel, J., Microbiology: Essential and Applications. 1986, Singapore: McGraw-Hill, Inc.

Metcalf & Eddy, I., Wastewater Engineering: Treatment, disposal, and reuse. Vol. 3rd ed. 1991: Metcalf & Eddy, Inc.

Indra Nevi Ikhsani: Aplikasi Membran Bioreaktor dalam Pengolahan Air Limbah Industri

Osa, J.J., Eguia, E., Vidart, T., Jacome, A., Lorda, I., Amieva, J., and Tejero, I., Wastewater Treatment With Biofilm Membrane

- Reactors, in International Conference in Advanced Wastewater Treatment Processes. 1997: UK. p. 11-17.
- Shuler, M.L. and Kargi., F., Bioprocess Engineering : Basic Concepts. 1992: PrenticeHall International, Inc. .
- Suzuki, Y., Miyahara, S., and Tokeishi, K., Oxygen supply method using gas permeable film for wastewater treatment. Water Science and Technology, 1993. 28(7): p. 243-250.
- Stephenson, T., Judd, S.J., Jefferson, B., and Brindle., K., Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment. 2000: IWA Publishing Company.
- Tijhuis, L., Loosdrecht, M.C.M.v., and Heijnen, J.J., Formation and growth of heterotrophic aerobic biofilms on small suspended particles in airlift reactor. Biotechnology and Bioengineering, 1994. 44: p. 595-608.
- Timberlake, D.L., Strand, S.E., and Williamson, K.J., Combined Aerobic Heterotrophic Oxidation, Nitrification And Denitrification In A Permeable Support Biofilm. Water Research, 1988. 22: p. 1513-1517.
- Yamagiwa, K., Ohkawa, A., and Hirasa, O., Simultaneous Organic Carbon Removal and Nitrification by Biofilm Formed on Oxygen Enrichment Culture. Journal of Chemical Engineering of Japan, 1994. 27: p. 638-643.
- Wenten, 2004. Teknologi Membran Dalam Pengolahan Air Dan Limbah Industri. Studi Kasus: Pemanfaatan Ultrafiltrasi Untuk Pengolahan Air Tambak., Departemen Teknik Kimia – ITB, Jl. Ganesha 10 Bandung

BIODATA PENULIS



Dr. Lukman Handoko, S.KM, MT

Dosen Program Studi Teknik Keselamatan Dan Kesehatan
Kerja
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Dr. Lukman Handoko, S.KM, MT lahir di Nganjuk, Jawa Timur, adalah dosen Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja - Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya sejak 2003. Memperoleh gelar Doktor Kesehatan Masyarakat pada Program Doktor Kesehatan Masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia.

Memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi *Industrial Ergonomics and Safety* Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya; gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat pada Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga, Surabaya. Sebagai Asessor Kompetensi Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP) bidang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), Keselamatan dan Kesehatan Kerja Kebakaran, Memperoleh Sertifikat Ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja Umum dari Depnakertrans RI pada Tahun 2004, Ahli Pengadaan barang/Jasa Pemerintah pada tahun

2016, Sertifikat Auditor Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan kerja (SMK3) dari Depnakertrans RI Tahun 2020, Sertifikat Keselamatan dan Kesehatan Kerja Kebakaran Kelas D dan C Tahun 2020, Sertifikat Keselamatan dan Kesehatan Kerja Kebakaran Kelas B serta Ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja Kebakaran dari Depnakertrans RI Tahun 2021. Penulis telah menghasilkan beberapa buku dan modul. Pernah Memenangkan Hibah Iptek bagi Masyarakat (IbM) DRPM Sebagai Ketua pada tahun 2014, 2016 dan 2017. Penelitian Dosen Pemula DRPM tahun 2015. Mengikuti berbagai workshop, simposium, oral presentasi tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Bisa kontak ke : Email : lukman.handoko@ppns.ac.id

BIODATA PENULIS



Drs. Bambang Suhartawan, M.MT

Dosen Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Sains dan Teknologi Jayapura

Penulis lahir di Blitar tanggal 13 Pebruari 1964. Penulis adalah dosen tetap dengan status PNS-DPK pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Sains dan Teknologi Jayapura. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Kimia Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Cenderawasih Jayapura pada tahun 1989. Pendidikan Pasca Sarjana diperoleh dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya jurusan Manajemen Teknik Lingkungan pada tahun 2002. Penulis meniti karir berawal sebagai Guru SMA pada tahun 1990, tahun 2008 pindah ke Dinas Pendidikan Pemuda dan Olahraga Provinsi Papua sebagai Kepala Seksi Teknologi dan Informasi Pendidikan, tahun 2011 mendapat kepercayaan sebagai Kepala Dinas Pendidikan dan Pengajaran Kabupaten Keerom, tahun 2014 sebagai Staf Ahli Bupati Bidang Pembangunan di kabupaten yang sama, tahun 2017 sebagai sekretaris Dinas Pemuda dan Olahraga Kabupaten Keerom, tahun 2018 kembali mendapat kepercayaan sebagai Kepala Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kabupaten Keerom dan baru tahun 2021 mutasi sebagai Dosen PNS berstatus diperbantukan di Universitas Sains dan Teknologi Jayapura hingga saat ini.

BIODATA PENULIS



Isran Asnawi, S.Si., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Kimia Mineral
Politeknik Industri Logam Morowali

Penulis lahir di Bulukumba, Sulawesi Selatan, tanggal 9 Januari 1991. Penulis merupakan dosen tetap di Program Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik Industri Logam Morowali. Penulis telah menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia Universitas Muslim Indonesia. Pada tahun 2018, penulis mulai berkarir sebagai dosen di Politeknik ATI yang kemudian menjadi dosen tetap di Politeknik Industri Logam Morowali hingga saat ini. Penulis menekuni beberapa rumpun bidang ilmu kimia, seperti kimia analisis, teknik kimia, kimia lingkungan, dan mikrobiologi. Penulis juga aktif sebagai ketua Satuan Penjamin Mutu Internal di perguruan tinggi saat ini.

BIODATA PENULIS



Dr. Alianto, S.Pi., M.Si.

Dosen Program Studi S2 Sumberdaya Akuatik
Pascasarjana Universitas Papua

Penulis lahir di Wanci tanggal 5 Maret 1970. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Sumberdaya Akuatik Pascasarjana Universitas Papua. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Universitas Pattimura dan melanjutkan S2 dan S3 pada Program Studi Ilmu Perairan, Institut Pertanian Bogor. Penulis mengajar mata kuliah Pengendalian Pencemaran dan Eutrofikasi Perairan, Kuliatas Air, Produktivitas Perairan pada Program Studi S1 Manajemen Sumberdaya Perairan dan mata kuliah Produktivitas dan Eutrofikasi Perairan pada Program Studi S2 Sumberdaya Akuatik, Pascasarjana, Universitas Papua.

BIODATA PENULIS



Asmadi, S.T., M.Si

Dosen Program Studi Sarjana Terapan Kesehatan Lingkungan
Politeknik Kesehatan Kemenkes Pontianak

Penulis Lahir di Sekura, Kabupaten Sambas, Prov.Kalimantan Barat, 24 Agustus 1969, adalah anak pertama dari pasangan Bachtiar (ayah) dan Rasiah (ibu). Jenjang Pendidikan S1 Teknik Lingkungan ditempuh di Universitas Diponegoro, Kota Semarang lulus tahun 2003. Pendidikan S2 Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (PSL), lulus tahun 2010 di Institut Pertanian Bogor. Saat ini sebagai dosen aktif di Politeknik Kesehatan Kemenkes Pontianak. Beberapa buku yang sudah di terbitkan diantaranya; 1).*Teknologi Pengolahan Air Minum*, tahun terbit: 2011, ISBN: 978-602-9018-24-0, Penerbit: Gosyen Publishing Yogyakarta, 2).*Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah*, Tahun Terbit: 2012, ISBN: 978-602-9018-38-7, Penerbit: Gosyen Publishing, Yogyakarta, 3).*Pengelolaan Limbah Medis Rumah Sakit*, Tahun Terbit: 2013 ISBN: 978-602-9018-69-1 Penerbit: Gosyen Publishing Yogyakarta; 4).*Kesehatan Lingkungan*, tahun terbit 2023 ISBN: 978-623-487-741-0 Penerbit: Eureka Media Aksara Purbalingga. Email: asmadi.griyahasada@gmail.com. HP/WA: 081256672766