

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang penulis lakukan terdapat beberapa jurnal penelitian terdahulu yang telah dilakukan dan dijadikan sebagai referensi penulisan pada penelitian yang akan penulis lakukan. Jurnal yang digunakan sebagai referensi penelitian mempunyai rentang tahun terbit jurnal 10 tahun terakhir sehingga kebaruan dari penelitian masih relevan. Topik jurnal yang digunakan untuk referensi penelitian dapat diklasterkan sesuai dengan judul tugas akhir penulis dengan 2 topik utama yaitu tentang pengolahan limbah *laundry* menggunakan metode *moving bed biofilm reactor* (MBBR), dan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Pseudomonas putida*.

Terdapat 3 penelitian terdahulu yang membahas tentang efektifitas menggunakan metode *moving bed biofilm reactor* (MBBR) dalam menyisihkan parameter-parameter pencemaran air limbah. Terdapat 2 jurnal penelitian yang membahas tentang kemampuan dari bakteri genus *Pseudomonas* dalam mendegradasi polutan limbah *laundry*. Terdapat 3 jurnal pada tabel penelitian terdahulu yang membahas tentang kemampuan dari bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dalam mengurangi atau mendegradasi kadar polutan dari beberapa parameter. Dan terdapat 2 jurnal yang membahas tentang kemampuan bakteri *Pseudomonas putida* dalam mendegradasi limbah *laundry*.

Tabel 2.1 Ringkasan penelitian terdahulu

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
1.	(Said & Santoso, 2018)	Untuk mengetahui penurunan zat organik (BOD dan COD) dan TSS dengan	Untuk penyisihan COD paling optimum yaitu 88,72%, untuk parameter BOD paling optimum	Jenis limbah yang digunakan, waktu tinggal pengolahan

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		menggunakan proses <i>moving bed biofilm reactor</i> pada limbah domestik.	89,7% dengan waktu tinggal yang sama yaitu 8 jam. Dan untuk parameter TSS paling optimum.	limbah, dan penambahan bakteri dalam prosesnya.
2.	(Khadijah <i>et al.</i> , 2023)	Mengetahui manfaat bakteri <i>Pseudomonas putida</i> dalam menurunkan kadar fosfat pada limbah <i>laundry</i>	Penurunan kadar fosfat pada limbah paling efektif dengan penambahan bakteri <i>Pseudomonas putida</i> 15% dengan waktu aerasi selama 4 minggu sebesar 1,7 mg/L.	Perbedaan penambahan metode MBBR pada pengolahannya, penambahan jenis bakteri, dan waktu pengolahannya
3.	(Al Kholif, 2018)	Mengetahui penurunan kadar pencemaran <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD), <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD), <i>Total Suspended Solid</i> (TSS), dan partikel tercampur, serta untuk menghilangkan bahan nutrisi dan	Metode MBBR efektif untuk menurunkan beban pencemar untuk parameter BOD ₅ mencapai 83,3%, kadar COD sebesar 84,2% dan pada parameter TSS mencapai 90% pada limbah cair domestik.	Penggunaan jenis limbah, penambahan bakteri, dan waktu tinggal.

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		komponen beracun agar dapat didegradasikan agar konsentrasi yang ada menjadi lebih rendah dengan menggunakan metode MBBR.		
4.	(Kusuma <i>et al.</i> , 2019a)	Dilakukan penelitian untuk mengetahui konsentrasi awal limbah <i>laundry</i> dan efektivitas penurunan konsentrasi parameter COD, BOD, surfaktan dan fosfat menggunakan metode MBBR.	Mampu menurunkan polutan limbah <i>laundry</i> dengan efektivitas penurunan terbaik pada waktu hari ke 10 pengolahan sebesar 91 % dari konsentrasi 441 mg/L menjadi 39,67 mg/L untuk BOD, efisiensi COD sebesar 93,81% dari konsentrasi 910,5 mg/L menjadi 56,63 mg/L, efisiensi fosfat sebesar 86,10% dari konsentrasi 38,24 mg/L menjadi 5,31 mg/L, dan efisiensi	Jenis penambahan bakteri, waktu tinggal, dan rasio kaldness yang dipakai.

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			surfaktan sebesar 88,22 % dari konsentrasi 47,8 mg/L menjadi 5,62 mg/L.	
5.	(Maharani & Wesen, 2018)	Mengetahui kemampuan kombinasi bakteri <i>Pseudomonas putida</i> dan <i>Pseudomonas aeruginosa</i> dalam mendegradasi LAS dan BOD.	Persentase terbesar dalam penyisihan LAS dan BOD adalah 99,01% dan 97,18%. Penyisihan LAS terbesar yaitu pada konsentrasi LAS awal 168,93 mg/l dan waktu tinggal 24 jam, sedangkan penyisihan BOD terbesar yaitu pada konsentrasi limbah 600,22 mg/l dan waktu tinggal 18 jam.	Kombinasi pemakaian bakteri, komposisi dari bakteri yang dipakai
6.	(Suriani, 2015)	Untuk mengetahui potensi bakteri anggota genus <i>Pseudomonas</i> dari perairan sungai sekitar kampus Universitas Brawijaya yang	Lima isolat bakteri anggota genus <i>Pseudomonas</i> memiliki potensi mendegradasi LAS dengan bakteri isolat paling optimal yaitu dengan kode P 2.1	Pemilihan jenis bakteri, waktu pengolahan limbah, metode pengolahan.

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		tercemar limbah detergen dalam mendegradasi detergen.	sebesar 74,29% selama 28 hari.	
7.	(Litaay <i>et al.</i> , 2013)	Untuk mengetahui anggota genus <i>Pseudomonas</i> dalam mereduksi toksisitas limbah detergen terutama dalam menurunkan kandungan Fosfat Limbah cair Rumah Sakit.	Bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i> dapat menurunkan kandungan fosfat dalam limbah cair rumah sakit dengan presentase 47,30%.	Perbedaan penggunaan jenis limbah, perbedaan jenis bakteri <i>Pseudomonas</i> yang digunakan, penambahan metode dalam pengolahan.
8.	(Wijayanti, 2016)	Mengetahui kemampuan pengujian dari bakteri yang terdapat pada limbah cair <i>laundry</i> menggunakan lumpur aktif untuk meremediasi limbah <i>laundry</i> .	Isolat bakteri AW2 yang diperkirakan dari genus <i>Pseudomonas</i> mampu menurunkan kadar BOD 56,25%, TSS 70,30%, dan fosfat 20,71%. Dan cenderung lebih baik dalam meremediasi limbah <i>laundry</i> dari pada isolat AW1 yaitu dari genus	Metode pengolahan, penggunaan bakteri dari genus <i>Pseudomonas</i> .

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			<i>Enterobacter</i> penyisihannya 95,86% dengan waktu tinggal 4 jam.	
9.	(Dani & Fitri, 2022)	Mengetahui kemampuan bioremediasi menggunakan biougmentasi bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i> dan <i>Bacillus subtilitis</i> dalam menurunkan kadar pencemaran air tanah tercemar solar.	Mendapatkan presentase degradasi parameter TPH dan benzene sebesar 87% dan 99% sehingga dapat memenuhi baku mutu untuk air tanah dengan parameter TPH dan baku mutu tentang air yang digunakan untuk keperluan higie sanitasi untuk parameter benzene.	Jenis limbah yang akan digunakan, waktu pendegradasi polutan, campuran jenis bakteri yang dipakai.
10.	(Dahlan <i>et al.</i> , 2019)	Mengetahui pengaruh biodegradasi oleh bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i> terhadap BOD, COD, TDS, TSS, dan pH limbah cair songket	Terjadi penurunan kadar BOD terendah yaitu 31,2 mg/L, penurunan COD terendah yaitu 73 m/L, penurunan TSS terendah yaitu 18,9 mg/L, penurunan pH menjadi 6,28 dengan	Perbedaan penggunaan jenis limbah yang akan diolah, metode pengolahan limbah, waktu pengolahan.

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		menggunakan proses pemisahan membran bioreaktor.	waktu terbaik pada pengolahan waktu 4 jam.	

2.2 Teori-teori yang Relevan

2.2.1 Limbah Cair

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, menerangkan bahwa air limbah adalah air yang berasal dari suatu proses dalam suatu kegiatan. Menurut Umroningsih (2022) limbah cair adalah kombinasi atau campuran air dan polutan yang terbawa oleh air atau dalam fase cair, baik dalam bentuk terlarut maupun tersuspensi, yang dibuang dari industri, pemukiman (perkantoran, rumah, dan perdagangan), dan kadang-kadang tercampur dengan sumber permukaan, tanah, atau hujan.

Zat atau kandungan yang terdapat dalam limbah cair bergantung dari sumber atau asal limbah tersebut. Sehingga komposisi air limbah satu dengan lainnya sangatlah berbeda. Untuk menentukan kandungan yang terkandung dalam dapat dilihat dari karakteristik yang ada pada limbah cair. Karakteristik juga dapat menjadi salah satu faktor untuk menentukan kualitas yang membentuk limbah cair (Sandra *et al.*, 2022). Karakteristik limbah cair dapat dikategorikan menjadi 3 kategori sebagai berikut :

- a) Karakteristik fisik, terdiri dari warna, bau, *total suspended solid* (TSS), kekeruhan, temperatur, *total solid* (TS).
- b) Karakteristik kimia, terdiri dari *biological oxygen demand* (BOD), *dissolved oxygen* (DO), *chemical oxygen demand* (COD), amonia, pH,

logam, gas metan, lemak dan minyak.

- c) Karakteristik biologi, terdiri dari virus, *Shigella spp*, *Salmonella spp*, *Vibrio cholera*, *Bacillus antraksis*, dan *Mycobacterium tuberculosis*.

2.2.1.1 Klasifikasi Limbah Cair

Menurut (Listyaningrum, 2022) limbah cair dapat diklasifikasikan dalam empat kelompok diantaranya yaitu:

1. Limbah cair domestik (*domestic wastewater*), adalah limbah cair yang berasal dari rumah tangga, tempat usaha, gedung, dan perkantoran. Biasanya dipisahkan menjadi dua kategori: *black water* yang berasal dari kotoran atau limbah toilet berupa tinja, dan *grey water* yang terdiri dari limbah dapur, air detergen, dan air cucian.
2. Limbah cair industri (*industrial wastewater*), yaitu limbah yang berbentuk cair dan berasal dari produk-produk yang digunakan dalam industri. Air dari industri pengolahan makanan, sisa pewarna kain dan bahan dari industri tekstil, serta air dari industri kimia dan farmasi adalah beberapa contohnya.
3. Rembesan dan luapan (*infiltration and inflow*), yakni limbah cair yang berasal dari berbagai sumber, baik yang meluap dari permukaan maupun meresap ke dalam tanah hingga mencapai saluran pembuangan limbah cair. Air limbah dapat meluap melalui bagian saluran yang terbuka atau yang terhubung ke permukaan, sedangkan air limbah dapat meresap ke dalam saluran melalui pipa yang retak, rusak, atau bocor. Contohnya termasuk pendingin ruangan (AC), air limbah dari talang atap, bangunan komersial dan industri, serta perkebunan atau pertanian.
4. Air hujan (*storm water*), yaitu limbah cair yang berasal dari aliran air hujan di atas permukaan tanah. Aliran air hujan di permukaan tanah dapat melewati dan membawa partikel-partikel buangan padat atau cair sehingga dapat disebut limbah cair.

2.2.1.2 Air Limbah *Laundry*

Grey water dan *black water* adalah dua kategori yang digunakan untuk menggambarkan limbah cair domestik. *Black water* terdiri dari air toilet berwarna hitam yang mengandung air kencing dan kotoran, sedangkan *grey water* terdiri dari air cucian yang mengandung sabun, detergen, dan minyak. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa kategori limbah cair *laundry* termasuk dalam limbah *grey water* (Mu'in *et al*, 2017).

Usaha *laundry* adalah salah satu penyedia jasa layanan yang menyediakan sarana pencucian pakaian (Ardiyanto & Yuantari, 2016). Dalam aktifitas usaha *laundry* pasti akan menghasilkan limbah berupa limbah cair *laundry*. Limbah *laundry* merupakan air sisa / air buangan dari kegiatan pencucian. Limbah cucian sangat berdampak buruk terhadap lingkungan dan merupakan potensi penyebab pencemaran yang signifikan. Adanya polutan limbah cair sisa siklus *laundry* yang menimbulkan kekeruhan dan menghalangi sinar matahari mencapai air, serta mengandung beberapa senyawa yang jika terakumulasi dalam jumlah banyak akan mengganggu ekosistem lingkungan perairan sehingga berdampak buruk bagi lingkungan (Stefhany *et al.*, 2013).

2.2.1.3 Karakteristik Air Limbah *Laundry*

Limbah *laundry* mengandung bahan pemutih, pewangi, pelembut, dan sisa deterjen yang berbahaya bagi kesehatan lingkungan dan sulit terurai (Widyaningsih, 2023). Kandungan dalam detergen mempunyai sekitar 25 macam bahan yang secara umum dapat dikelompokkan menjadi: (1) surfaktan, (2) builder, (3) *bleaching agents* dan (4) *additives*. Dengan komposisi penyusun terbesar dari detergen yaitu bahan *builders* antara 70-80%, bahan dasar sekitar 20-30%, dan bahan aditif relatif sedikit antara 2-8%. Dibandingkan dengan sabun biasa, detergen lebih sering digunakan dalam usaha *laundry* karena sifat surfaktannya (*surface active agent*) dapat menurunkan

tegangan permukaan air dan memudahkan bahan dibersihkan dengan air. Biasanya, surfaktan anionik yang ditemukan di detergen sebagian besar berasal dari bahan kimia sulfonat dan merupakan turunan dari hidrokarbon minyak bumi (Gaspersz & Fitrihidajati, 2022). Pemakaian detergen akan menghasilkan limbah karena setelah pemakaian, air bekas cucian yang telah mengandung detergen dibuang di lingkungan (Apriyani, 2017).

Berdasarkan penelitian (Kusuma *et al.*, 2019a) limbah *laundry* memiliki karakteristik awal dengan kandungan BOD 441 mg/l, kandungan COD sebesar 910,5 mg/l, pH sebesar 9, kandungan fosfat 38,24 mg/l, dan kandungan surfaktan 47,8 mg/l. Kandungan tersebut masih melebihi nilai baku mutu yang telah ditetapkan sesuai dengan peraturan yang berlaku sehingga perlu adanya pengolahan lanjutan untuk menangani limbah tersebut.

2.2.1.4 Baku Mutu Air Limbah *Laundry*

Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dari suatu usaha dan/atau kegiatan pengertian tersebut berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah dan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 Tentang Perubahan Atas Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah.

Air limbah merupakan bahan buangan yang berbentuk cair yang mengandung bahan kimia yang sukar untuk dihilangkan dan berbahaya, sehingga air limbah tersebut harus diolah agar tidak mencemari dan tidak membahayakan kesehatan lingkungan, air limbah yaitu air dari suatu daerah pemukiman, perkantoran dan industri yang telah dipergunakan untuk berbagai keperluan, harus

dikumpulkan dan dibuang untuk menjaga lingkungan hidup yang sehat dan baik (Khaliq, 2019). Sehingga sebelum dibuang ke lingkungan air limbah termasuk air limbah *laundry* harus memenuhi baku mutu sesuai dengan peraturan yang berlaku. Berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 Tentang Perubahan Atas Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah.

Tabel 2.2 Baku mutu limbah *laundry*

Parameter	Kadar Paling Tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/ton)
		Detergen
BOD ₅	75	0,075
COD	180	0,180
TSS	60	0,06
Minyak dan Lemak	15	0,015
Fosfat (PO ₄)	2	0,002
MBAS	3	0,003
pH	6,0 - 9,0	

(Sumber : Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 12 Tahun 2012)

2.2.1.5 Parameter Air Limbah *Laundry*

a. pH

Secara umum, skala pH menunjukkan seberapa asam atau basa suatu air. Jika pH air sama dengan 7, maka air dianggap netral; bila kurang dari 7, dianggap asam; dan bila lebih besar dari 7, dianggap basa (Pamungkas, 2016). pH merupakan salah satu unsur yang mempengaruhi aktivitas mikroorganisme dalam medium yang digunakan untuk memecah molekul organik. Nilai pH antara 5-8 sangat ideal untuk pemecahan senyawa organik (Pamungkas, 2016).

b. ***Total Suspended Solid (TSS)***

Padatan tersuspensi yang berukuran lebih kecil dari 0,45 mikron yang terdapat dalam limbah dikenal sebagai padatan tersuspensi total atau *Total Suspended Solid (TSS)*. Kekeruhan disebabkan oleh pengaruh bahan tersuspensi dan dapat menghalangi sinar matahari mencapai tanaman air (Widyaningsih, 2023). Kekeruhan air disebabkan oleh adanya partikel tersuspensi seperti kotoran, tanah liat, dan senyawa organik terlarut (Aditya, Pratama. Wisnu, Irawan. Sutrisno, 2016).

c. ***Biological Oxygen Demand (BOD)***

Jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk melakukan penguraian aerobik bahan organik dalam suatu larutan dikenal sebagai kebutuhan oksigen biokimia atau BOD. Angka BOD menggambarkan jumlah bahan organik yang terdegradasi secara alami di dalam air, namun juga dapat digunakan untuk menggambarkan jumlah oksigen yang ada (Pramyani & Marwati, 2020).

d. ***Chemical Oxygen Demand (COD)***

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam satu liter larutan diukur dalam miligram per liter (mg/l). Senyawa organik dalam COD meliputi senyawa yang dapat diolah secara biologis (*biodegradable*) dan tidak dapat diolah secara biologis (*non-biodegradable*) (Rahadian *et al.*, 2017).

e. **Surfaktan**

Senyawa yang dikenal sebagai surfaktan (juga dikenal sebagai zat aktif permukaan) mempunyai kemampuan untuk menurunkan tegangan permukaan air. Kotoran yang larut dalam air dan tidak larut dalam air dihilangkan dari pakaian dengan surfaktan. Karena molekul surfaktan mempunyai satu ujung hidrofilik dan satu ujung hidrofobik (satu atau lebih rantai hidrokarbon), hal ini

dimungkinkan. Karena produksinya sederhana dan murah, surfaktan ionik adalah jenis yang paling sering digunakan dalam operasi *laundry*. Alkyl Benzene Sulfonates (ABS) dan Linear Alkyl Benzene Sulfonates (LAS) adalah dua jenis surfaktan anionik yang sering digunakan (Apriyani, 2017).

f. **Fosfat**

Fosfat ini berasal dari Sodium Tripolyphosphate (STPP) yang merupakan salah satu bahan yang kadarnya besar dikandung dalam detergen yang digunakan sebagai *builder* yang merupakan komponen penting kedua penyusun detergen. Bahan *builder* digunakan dalam detergen untuk mengikat mineral terlarut guna melunakkan air sadah dan memungkinkan surfaktan bekerja sebagaimana mestinya (Zairinayati & Shatriadi, 2019).

2.2.2 Metode Pengolahan Limbah Cair *Laundry*

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Pasal 3 ayat (2) disebutkan bahwa setiap usaha dan/atau kegiatan yang menghasilkan air limbah wajib melakukan pengolahan air limbah yang dihasilkannya dan dapat dilakukan secara tersendiri maupun terintegrasi (Dinda Arba Fauzia & Frency Siska, 2022).

Pengolahan limbah cair adalah kegiatan untuk menjaga kualitas air yang keluar dari hasil kegiatan/aktivitas tetap bersih dengan menghilangkan atau mengurangi polutan yang ada dalam air limbah tersebut, sehingga berkurang/hilangnya sifat-sifat dari polutan tersebut (Ervina, 2018). Berdasarkan buku Pengelolaan Limbah Cair (Manalu *et al.*, 2023) limbah cair dapat dikelompokkan berdasarkan metode pengolahannya yang digunakan untuk mengurangi atau menghilangkan kontaminan polutan yang terkandung di dalamnya, diantaranya sebagai berikut :

a) Pengolahan Fisik

Untuk memisahkan atau menghilangkan polutan besar yang terdapat

pada limbah cair digunakan pengolahan fisik. Metodenya mencakup pada pengendapan, penyaringan (*screening*), dan proses fisik lainnya untuk menghilangkan atau mereduksi partikel, minyak dari limbah cair, dan padatan terlarut seperti pasir dan tanah serta sampah - sampah yang mungkin terbawa air limbah.

b) Pengolahan Kimia

Pengolahan kimia adalah jenis pengolahan limbah dimana polutan dalam limbah cair diubah atau dihilangkan dengan menggunakan bahan kimia. Contoh metodenya : koagulasi-flokulasi, penetralan pH, oksidasi kimia.

c) Pengolahan Biologi

Pengolahan secara biologis merupakan suatu teknik pengolahan limbah cair yang menguraikan unsur-unsur organik pada limbah dengan menggunakan mikroorganisme seperti jamur, bakteri, atau alga. Contoh metodenya: bioremediasi baik pengolahan aerobik (dengan menggunakan oksigen) ataupun anaerobik (tanpa menggunakan oksigen), fitoremediasi, pengolahan lumpur aktif.

d) Pengolahan Termal

Pemrosesan termal merupakan pengolahan yang melibatkan pemanasan limbah cair untuk menguapkan atau menguraikan bahan berbahaya, sehingga menghilangkan kontaminasi. Contoh metode: pemanasan limbah cair dalam insinerator dan pirolisis.

e) Pengolahan Adsorpsi

Proses pengolahan adsorpsi melibatkan penggunaan adsorben, seperti zeolit atau karbon aktif, untuk menyerap polutan berbahaya dari limbah cair.

f) Pengolahan Membran

Pengolahan membran adalah salah satu jenis pengolahan limbah cair dimana polutan dipisahkan dari air menurut ukuran dan jenisnya menggunakan membran berpori kecil. Contoh metode: osmosis terbalik, filtrasi membran, nanofiltrasi.

g) Pengolahan Elektrokimia

Pengolahan elektrokimia adalah jenis pengolahan limbah cair di mana polutan dihilangkan menggunakan proses elektrokimia. Contoh metode: elektrokoagulasi, elektroflotasi.

h) Pengolahan Radiasi

Pengolahan radiasi adalah teknik menghilangkan bakteri dan kontaminan dari air limbah dengan menggunakan radiasi pengion atau radiasi ultraviolet (UV). Contoh metode: radiasi ultraviolet untuk desinfeksi air limbah.

2.2.2.1 Proses Pengolahan Air Limbah *Laundry*

Proses pengolahan air limbah *laundry* dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti metode kimia, dan metode biologi. Metode pengolahan kimia yang dapat dilakukan pada limbah *laundry* seperti koagulasi-flokulasi dengan bahan koagulan kapur dan poly aluminium chloride (PAC), serta adsorpsi menggunakan karbon aktif dan zeolit. Selain itu pengolahan air limbah *laundry* juga dapat dilakukan menggunakan metode biologi. Salah satu dari metode biologi adalah menggunakan metode *moving bed biofilm reactor* (MBBR) yaitu metode yang memanfaatkan bakteri pengurai yang tumbuh pada media lekat MBBR berupa *kaldness* yang dapat mendegradasi zat-zat polutan yang ada dalam limbah cair *laundry* (Kusuma *et al.*, 2019b).

2.2.2.2 *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), salah satu teknik bioremediasi pengolahan limbah hayati, menggunakan biofilm berupa sistem pertumbuhan perlekatan terfluidisasi dimana mikroorganisme berkembang biak dan tumbuh di dalam media (Anisa & Herumurti, 2017). Proses pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*) dan proses pertumbuhan melekat (*attached growth*) adalah dua prosedur pengolahan limbah yang digunakan dengan MBBR. Kedua prosedur ini diharapkan akan meningkatkan jumlah mikroorganisme di dalam

reaktor dan meningkatkan efektivitas proses penghilangan polutan (Dickdoyo & Cahyonugroho, 2021).

Dalam penggunaan metode MBBR media yang digunakan adalah *kaldness* yaitu media yang digunakan sebagai tempat melekatnya mikroorganisme atau bakteri. Media yang digunakan dalam metode MBBR kali ini adalah dengan *kaldness* tipe K5. Media *kaldness* merupakan media MBBR yang terbuat dari plastik dengan bahan *high density polyethylene* (HDPE) dengan bentuk silinder kecil yang memiliki rongga di bagian dalamnya sebagai tempat terbentuknya biofilm (Dickdoyo & Cahyonugroho, 2021).

2.2.2.3 Bioremediasi

Bioremediasi adalah penerapan proses biologis, seperti degradasi, detoksifikasi, demineralisasi, atau transformasi, untuk menurunkan konsentrasi polutan atau racun ke tingkat yang lebih rendah tingkat bahayanya. Bioremediasi dikenal sebagai teknik pengolahan remediasi yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis dibandingkan dengan teknik lainnya seperti fisika dan kimia (Melati, 2020).

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses bioremediasi antara lain :

- a. Mikroba memiliki kemampuan untuk mendegradasi/ mengurangi, mentransformasi/mengubah dan menyerap senyawa pencemar dalam limbah. Mikroba yang digunakan bisa berupa fungi/jamur, bakteri, ataupun alga.
- b. Nutrisi/*nutrient* merupakan salah satu kebutuhan mikroba untuk berkembang. Contoh nutrisi yang dibutuhkan mikroba antara lain seperti unsur karbon (C), Nitrogen (N), Posfor (P).
- c. Lingkungan adalah tempat mikroba untuk berkembang yang dapat dipengaruhi oleh oksigen, suhu, DO, dan pH (Puspitasari, 2016).

Bioremediasi dengan menggunakan mikroorganisme dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis, diantaranya:

1. Biostimulasi

Biostimulasi adalah proses bioremediasi dengan cara menambahkan nutrient dan oksigen dalam bentuk cair ataupun gas ke dalam limbah yang bertujuan untuk menyediakan nutrisi bagi mikroorganisme berupa bakteri yang di dalam limbah tersebut untuk berkembang.

2. Bioaugmentasi

Bioaugmentasi adalah proses bioremediasi dengan menambahkan mikroorganisme ke dalam limbah yang dapat mendegradasi polutan yang terkandung dalam limbah.

3. Bioremediasi Intrinsik

Bioremediasi intrinsik adalah proses bioremediasi yang terjadi secara alami di lingkungan yang tercemar. Atau tidak ada penambahan berupa mikroorganisme dan *nutrient* ke dalam limbah tersebut (Fannyn, 2019).

2.2.3 Bakteri Pengurai Air Limbah *Laundry*

Pada dasarnya secara alamiah terdapat mikroba di alam yang berpotensi sebagai pengurai limbah yang biasa disebut dengan bakteri pendegradasi. Terdapat berbagai jenis bakteri di alam yang berpotensi sebagai bakteri pendegradasi. Diantaranya dua jenis bakteri berikut ini yang memiliki kemampuan untuk menguraikan limbah cair detergen.

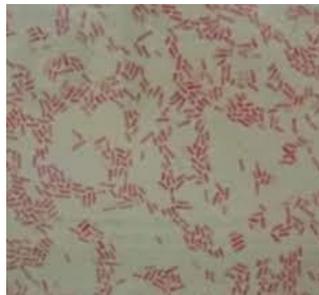
2.2.3.1 Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

Pseudomonas aeruginosa adalah bakteri yang termasuk kedalam bakteri obligat dan termasuk bakteri gram-negatif berbentuk sel batang dengan ukuran 0,5-1,0 μm , tidak memiliki spora, tidak berkapsul, dan memiliki flagella polair atau lopotrich sehingga dapat bergerak aktif. Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* termasuk dalam golongan gram negatif (-) karena pada waktu identifikasi menggunakan media tumbuh BAP membentuk koloni besar, putih

abu-abu, *smooth*, keping dan membuat pigmen hijau-biru (Oktaviani, 2018). *Pseudomonas aeruginosa* bersifat aerobik atau anaerobic fakultatif karena dapat menggunakan Arigin dan Nitrat sebagai penerima electron pernapasan (Notoatmodjo, 2018). Bakteri ini dapat membentuk biofilm pada substrat dan media kultur. Pembentukan biofilm *Pseudomonas aeruginosa* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, komposisi nutrisi (karbohidrat, protein), kondisi lingkungan (pH dan suhu pertumbuhan), serta senyawa inhibitor yang lain (Wahyudi & Soetarto, 2021). Kondisi optimum untuk bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dapat tumbuh dengan optimal berada pada suhu 25-37°C dan dengan kondisi pH 7-9 (Rahayu & Mangkoedihardjo, 2022).

Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* mempunyai klasifikasi sebagai berikut (Sapto, 2011) :

Kingdom : Bacteria
Phylum : Proteobacteria
Kelas : Gamma Proteobacteria
Orde : Pseudomonadales
Famili : Pseudomonadaceae
Genus : Pseudomonas
Spesies : *Pseudomonas aeruginosa*



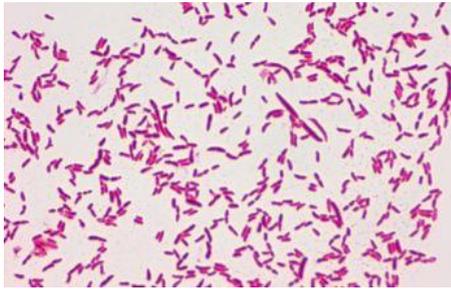
Gambar 2.1 Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*
(Sumber : (Nugroho, 2016))

2.2.3.2 Bakteri *Pseudomonas putida*

Bakteri *Pseudomonas putida* merupakan salah satu bakteri gram negatif yang mempunyai ukuran 0,5 -1,0 μm . Bakteri ini mempunyai bentuk batang lonjong dan mempunyai sifat aerobik, tidak membentuk spora, dan oksidasi positif. Memiliki satu atau lebih flagel yang digunakan sebagai motilitas. Motilitas adalah kemampuan suatu organisme untuk bergerak secara independen, menggunakan energi metabolik. Bakteri ini dapat tumbuh optimal pada suhu ruang dan bakteri ini dapat ditemukan pada lingkungan yang lembab (Nurmalasari, 2018). Kondisi optimum untuk pertumbuhan bakteri *Pseudomonas putida* berada pada suhu 25-30°C dengan rentang pH 5,5 – 8,5 (Rahayu & Mangkoedihardjo, 2022).

Bakteri *Pseudomonas putida* termasuk ke dalam bakteri hidrokarbonoklastik yaitu bakteri yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi atau menguraikan berbagai berbagai jenis hidrokarbon selain itu bakteri ini juga mampu menghasilkan biosurfaktan yang menunjukkan bahwa isolat bakteri *Pseudomonas putida* memiliki potensi untuk dalam upaya bioremediasi lingkungan akibat pencemaran hidrokarbon (Sunaryanto & Hayati, 2023). Berdasarkan (Nurmalasari, 2018) bakteri *Pseudomonas putida* dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom	: Bacteria`
Filum	: Proteobacteria
Kelas	: Zymobacter
Ordo	: Pseudomonadales
Famili	: Pseudomonadaceace
Genus	: Pseudomonas
Spesies	: <i>Pseudomonas putida</i>



Gambar 2.2 Bakteri *Pseudomonas putida*
(Sumber :*Eramus MC University Medical Center Rotterdam*)

2.2.3.3 Pewarnaan Gram Bakteri

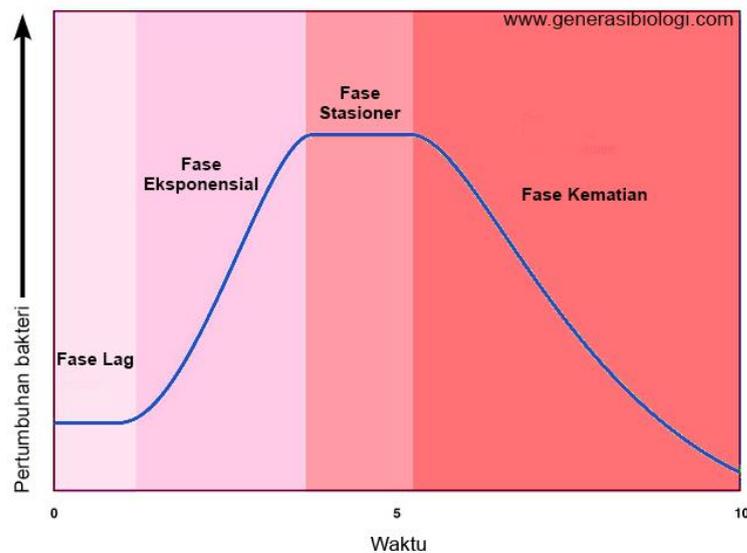
Bakteri yang terdapat di alam terdiri dari berbagai jenis yang dapat dikelompokkan berdasarkan bentuk atau jenisnya. Sebelum bakteri itu dimanfaatkan maka diperlukan sebuah identifikasi untuk menentukan jenis bakteri apa yang ingin digunakan.

Salah satu metode yang paling populer untuk mengidentifikasi bakteri adalah pewarnaan gram. Pewarnaan gram memungkinkan pengamatan morfologi sel, termasuk ciri gram, bentuk sel, dan organisasi sel. Pewarnaan bakteri memiliki tujuan utama untuk menambahkan warna pada sel atau bagian-bagian bakteri, sehingga meningkatkan kontras dan membuat gambar tampak lebih tajam. Metode pewarnaan yang paling populer yaitu untuk mengidentifikasi bakteri adalah pewarnaan gram. Prosedur ini melibatkan pengolesan pada kaca preparat, setelah bakteri terfiksasi, ditangani dengan larutan berikut: larutan yodium, larutan alkohol (zat pemutih), pewarna kristal violet, dan safranin (Amin *et al.*, 2023).

Bakteri gram negatif memiliki warna merah muda karena memiliki dinding lipid tebal, yang memungkinkannya menyerap pewarna kristal ungu. Namun, bila terkena alkohol, warna ungu memudar. Pada akhirnya, dinding sel menyerap pewarna safranin sehingga menyebabkan bakteri gram negatif berubah warna menjadi merah muda. Sedangkan, bakteri gram positif memiliki warna ungu dikarenakan memiliki dinding sel peptidoglikan yang tebal sehingga

ketika diberi pewarna kristal violet warna ungu akan menyerap walaupun telah diberikan alkohol dan safranin dikarenakan lapisan peptidoglikan yang tebal tidak dapat dilunturkan oleh alkohol (Aniyah & Shovitri, 2014).

2.2.3.4 Fase Pertumbuhan Bakteri



Gambar 2.3 Grafik pertumbuhan bakteri

(Sumber :Homecare24.id, 2023)

Pertumbuhan mikroorganisme ditandai dengan peningkatan massa atau jumlah sel dibandingkan inokulum awal. Pertumbuhan merupakan suatu proses *irreversible* atau proses kehidupan yang tidak dapat diubah (Efendi & Efendi, 2013). Fase dalam pertumbuhan bakteri terbagi menjadi 4 fase, sesuai dengan **Gambar 2.3** yang menunjukkan grafik pertumbuhan mikroorganisme atau bakteri. (Irianto, 2007)

a. Fase Adaptasi (*lag phase*)

Fase *lag* atau bisa disebut juga dengan fase adaptasi awal atau fase penyesuaian aktivitas dari mikroorganisme dari lingkungan lama ke lingkungan tempat hidupnya yang baru. Fase *lag* merupakan fase adaptasi dari kemampuan mikroorganisme atau bakteri untuk menyesuaikan diri terhadap kondisi baru. Banyak faktor seperti

komposisi media, jumlah sel dalam inokulum pada awalnya, pH, suhu, dan karakteristik fisiologis bakteri pada media sebelumnya, dapat mempengaruhi kemampuan bakteri untuk beradaptasi dengan fase *lag* (Risna *et al.*, 2022).

b. Fase perbanyakan (*eksponensial phase*)

Fase pertumbuhan kedua adalah fase eksponensial. Tahap ini ditunjukkan dengan dimulainya fase pertumbuhan yang pesat. Sifat, pH, suhu, dan nutrisi dalam media semuanya mempengaruhi pertumbuhan bakteri selama fase eksponensial. Fase ini diperlukan bakteri untuk melakukan pembelahan sel atau penggadaan atau disebut dengan waktu generasi (Risna *et al.*, 2022).

c. Fase Konstan (*stasioner phase*)

Ketika tingkat pertumbuhan dan kematian mikroba sama, maka terjadilah fase yang disebut fase *stasioner*. Ini menghasilkan perkiraan jumlah total mikroorganisme yang tersisa. Ketika pertumbuhan bakteri mencapai titik ini, yang menandai dimulainya fase *stasioner*, laju pertumbuhannya akan mulai menurun (Risna *et al.*, 2022).

d. Fase Kematian (*death phase*)

Fase kematian adalah fase dimana jumlah kematian mikroorganisme mengalami peningkatan ditandai dengan penurunan jumlah sel (Risna *et al.*, 2022).

Perhitungan jumlah bakteri merupakan salah satu cara yang dilakukan untuk mengetahui pertumbuhan bakteri pada suatu media cair, baik itu koloni sel yang hidup maupun koloni sel bakteri yang mati. Metode yang digunakan adalah perhitungan secara langsung dan perhitungan secara tidak langsung. Perhitungan bakteri secara Turbidimetri (kekeruhan) dengan memakai alat spektrofotometer adalah contoh perhitungan jumlah bakteri secara tidak langsung. Fungsi alat spektrofotometer dalam laboratorium adalah mengukur transmitan atau absorbansi suatu sampel yang dinyatakan dalam fungsi panjang gelombang. Metode turbidimetri

merupakan cara yang cepat untuk menghitung jumlah bakteri dalam suatu larutan dengan menggunakan alat spektrofotometer (Rosmania & Yanti, 2020). Pada penelitian yang dilakukan oleh (Sari *et al.*, 2020) pengukuran menggunakan spektrofotometer atau menggunakan nilai *Optical Density* (OD) bertujuan untuk mengetahui jumlah isolat bakteri yang terdapat dalam suspensi yang digunakan pada proses pengolahan limbah. Kemudian pada penelitian (Azzahra & Trimulyono, 2023) pengukuran bakteri *Pseudomonas fluorescens* juga diukur menggunakan nilai absorbansinya atau menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 625 nm.

2.3 Hipotesis

Terdapat beberapa hipotesis yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Penggunaan metode *moving bed biofilm reactor* (MBBR) dapat menurunkan parameter BOD, COD, TSS, surfaktan, dan fosfat dalam limbah *laundry*.
2. Dengan adanya penambahan bakteri pendegradasi akan menambah keefektifan metode *moving bed biofilm reactor* (MBBR) dalam mendegradasi/mengurangi beban pencemar dalam limbah *laundry* dengan perbandingan paling optimal pada presentase penambahan 25% *P. aeruginosa* + 75% *P. putida* atau pada sampel A.