

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang dapat dijadikan sebagai dasar dilakukannya penelitian ini yaitu penelitian yang telah dilakukan oleh Ramadhan (2015), memaparkan bahwa efektivitas konsorsium bakteri dalam mengolah limbah cair mampu menurunkan kadar BOD 50,17%; COD 50,38%; dan TSS 55,22%. Selain itu penelitian dari Turista (2017), juga menyatakan bahwa konsorsium bakteri mampu menurunkan kadar COD 74,40%; BOD 71,75%; dan TSS 58,44%. Penelitian lain yang telah dilakukan oleh Zulkifliani *et al* (2015) juga menyatakan bahwa bakteri *Pseudomonas aeruginosa* mampu mengurai fenol dengan efektivitas penurunan 75,67%. Selain fenol, *Pseudomonas aeruginosa* juga mampu menurunkan kadar BOD hingga mencapai konsentrasi 31,2 mg/L; COD 73 mg/L; dan TSS 18,9 mg/L (Dahlan *et al.*, 2019). Penelitian yang telah dilakukan oleh Fitriani *et al* (2016) memaparkan bahwa bakteri *Klebsiella* spp. mampu menurunkan kadar fenol dari 500 ppm menjadi 3,1 ppm. Selain itu, penelitian Fauziah (2016) juga memaparkan bahwa *Klebsiella* sp. juga mampu mengurai fenol, BOD, COD, dan TSS dengan persentase penurunan sebesar 20,48%; 24,86%; 27,77%; dan 40,75%. Penelitian lain yang menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus subtilis* mampu mengurai bahan organik dengan efektivitas sebesar 83,3% merupakan penelitian yang telah dilakukan oleh Arfiati *et al* (2020). Selain itu, penelitian yang telah dilakukan oleh Vijayaraghavan *et al* (2021) juga menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus subtilis* memiliki kemampuan menurunkan kadar BOD dengan efektivitas 87% dan COD 91%. Penelitian yang telah dilakukan oleh Hossain *et al* (2022) memaparkan bahwa pengolahan limbah cair secara biologis (proses aerobik) mampu menyisihkan kadar BOD 91,67% dan COD 85,45%.

Tabel 2.1. Ringkasan penelitian terdahulu

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
1	Ramadhan (2015)	<p>Untuk mengetahui Pengaruh konsorsium bakteri <i>A.baumannii</i> & <i>B.subtilis</i>; <i>A.baumannii</i> & <i>E.gergoviae</i> ; <i>B.subtilis</i> & <i>E.gergoviae</i> ; dan <i>A.baumannii</i>, <i>B.subtilis</i>, & <i>E.gergoviae</i> terbaik dalam mengurai kandungan pH, TSS, minyak & lemak, amonia, COD, dan BOD pada limbah cair pembekuan ikan kaca.</p>	<p>Efektivitas konsorsium 2 spesies bakteri yang paling efektif dalam menurunkan kadar pencemar yaitu perlakuan konsorsium bakteri <i>Acinetobacter baumani</i> & <i>Enterobacter gergoviae</i> dengan persentase penurunan kadar TSS 55,22%; minyak & lemak 29%; amonia 95,26%; COD 50,38%; BOD 50,17%; dan kenaikan nilai pH dari 6,65 menjadi 8,1. Sedangkan konsorsium dari 3 spesies bakteri dapat menurunkan kadar TSS 44,35%; minyak & lemak 29,09%; kenaikan amonia 94,95%; COD 48,93%; BOD 45,94%; dan kenaikan nilai pH dari 6,65 menjadi 8,35. Dengan efektivitas pengamatan terbaik terjadi pada hari ke-10.</p>	<p>Spesies bakteri, jenis limbah cair, dan tidak melakukan pengujian parameter amonia, minyak dan lemak</p>

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
2	Zulkiflian <i>i et al</i> (2015)	Untuk mengetahui kemampuan bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i> dengan <i>Bacillus subtilis</i> dalam mengurai senyawa fenol	Efektivitas bakteri dalam mengurai senyawa fenol dengan waktu tinggal selama 48 jam yaitu sebesar 75,67% (konsentrasi fenol awal 40 ppm) untuk isolat <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ; 56,47% (konsentrasi fenol awal 20%) untuk isolat <i>Bacillus subtilis</i> ; dan 54,36% (konsentrasi fenol awal 20 ppm) untuk konsorsium bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i> dan <i>Bacillus subtilis</i> .	Jenis limbah cair dan waktu tinggal
3	Fauziah (2016)	Untuk mengetahui kemampuan bakteri <i>Klebsiella sp.</i> dalam mengurai senyawa fenol, mengetahui waktu inkubasi yang paling optimum, dan	Diketahui bakteri <i>Klebsiella sp.</i> mampu menurunkan kadar fenol dengan persentase penurunan 18,64%; BOD 24,86%; COD 27,77%; TSS 40,75%; dengan nilai pH 2, dan kadar DO mencapai 300 mg/L untuk jenis limbah lab. analitik. Bakteri <i>Klebsiella sp.</i> juga mampu	Konsorsium bakteri, jenis limbah cair, tidak melakukan pengujian parameter DO

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		mengetahui karakteristik limbah laboratorium sebelum dan sesudah diolah	mengurai limbah lab. kimia fisika dengan persentase penurunan kadar fenol 20,48%; BOD 6,2%; COD 7,39%; kenaikan kadar TSS; 83,06%; dengan nilai pH 3 dan kadar DO mencapai 225 mg/L. Sedangkan kemampuan bakteri <i>Klebsiella</i> sp. dalam mengurai limbah lab. anorganik menunjukkan persentase penurunan kadar fenol 14,74%; BOD 17,93%; COD 18,34%; kenaikan kadar TSS 88,51%; dengan nilai pH 2, dan kadar DO mencapai 260 mg/L. Selain itu, diketahui juga waktu inkubasi yang paling optimum selama 60 jam.	
4	Fitriana <i>et al</i> (2016)	Mengisolasi dan mengidentifikasi bakteri yang dapat mengurai	Diketahui isolat bakteri yang mampu mengurai fenol dengan penurunan kadar fenol	Tujuan penelitian, jenis limbah cair,

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		Fenol dari Danau Tempe Kabupaten Waji Sulawesi Selatan	terbesar yaitu terjadi pada isolat C ₁ F (<i>Klebsiella</i> spp.) yang mampu menurunkan kadar fenol dari 500 ppm menjadi 3,1 ppm; isolat S ₁ F (<i>Enterobacter agglomerans</i>) yang mampu menurunkan kadar fenol dari 500 ppm menjadi 5,1 ppm; dan isolat H ₂ F (<i>Enterobacter hafnia</i>) yang mampu menurunkan kadar fenol dari 500 ppm menjadi 7,8 ppm. Dengan waktu tinggal selama 48 jam.	konsorsium bakteri, dan waktu tinggal
5	Turista (2017)	Untuk mengetahui kemampuan isolat tunggal, konsorsium ganda, dan ketiga konsorsium bakteri jenis <i>Enterobacter gergovia</i> , <i>Vibrio</i>	Efektivitas penurunan kadar BOD yang paling besar untuk isolat tunggal bakteri jenis <i>Pseudomonas stutzeri</i> 53,91%; untuk konsorsium ganda bakteri jenis <i>Vibrio parahaemolyticus</i> dan <i>Pseudomonas stutzeri</i> 62,49%; dan komposisi 3 konsorsium bakteri 71,75%. Efektivitas penurunan kadar	Jenis limbah cair, jenis bakteri, dan Pemilihan komposisi konsorsium bakteri.

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		<p><i>parahaemolyticus</i>, dan <i>Pseudomonas stutzeri</i> dalam mengurai limbah cair organik untuk menurunkan kadar pencemar</p>	<p>COD yang paling besar untuk isolat tunggal bakteri jenis <i>Pseudomonas stutzeri</i> 64,97%; untuk konsorsium ganda bakteri jenis <i>Vibrio parahaemolyticus</i> dan <i>Pseudomonas stutzeri</i> 70,45%; dan komposisi 3 konsorsium bakteri 74,40%. Efektivitas penurunan kadar TSS yang paling besar untuk isolat tunggal bakteri jenis <i>Vibrio parahaemolyticus</i> 36,84%; untuk konsorsium ganda bakteri jenis <i>Vibrio parahaemolyticus</i> dan <i>Pseudomonas stutzeri</i> 56,25%; dan komposisi 3 konsorsium 58,44%. Persentase kenaikan kadar DO yang paling besar untuk isolat tunggal bakteri jenis <i>Vibrio parahaemolyticus</i> 80,82%; untuk konsorsium ganda bakteri jenis <i>Enterobacter gergovia</i> dan</p>	

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			<i>Vibrio parahaemolyticus</i> 81,98%; dan komposisi 3 konsorsium bakteri 84,15%.	
6	Dahlan <i>et al</i> (2019)	Untuk mengetahui pengaruh tekanan umpan, waktu filtrasi, dan biodegradasi oleh bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i> terhadap penurunan kadar BOD, COD, TDS, TSS, dan pH pada limbah cair songket	Diperoleh hasil penelitian dengan tekanan umpan dan waktu filtrasi terbaik dalam menurunkan kadar BOD, COD, TDS, TSS, dan pH terjadi pada tekanan 5 psig dan pada waktu filtrasi 4 jam. Sedangkan pengaruh biodegradasi <i>Pseudomonas aeruginosa</i> dalam mengolah limbah cair songket mampu menurunkan kadar BOD hingga mencapai konsentrasi 31,2 mg/L; COD 73 mg/L; TSS 18,9 mg/L; dengan nilai pH 6,28; dan penurunan fluks menjadi 14,2857 L/m ² .jam.	Jenis limbah cair, konsorsium bakteri, dan tidak melakukan pengujian parameter TDS
7	Arfiati <i>et al</i> (2020)	Untuk mengetahui pengaruh dinamika jumlah bakteri <i>Bacillus</i>	Selama waktu inkubasi 24 jam kepadatan bakteri <i>bacillus subtilis</i> mengalami peningkatan dari kepadatan 10 ⁵ CFU/mL menjadi 2,44 x	Tujuan penelitian, jenis limbah cair, konsorsium

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		<p><i>subtilis</i> yang digunakan sebagai agen bioremediasi terhadap penurunan kadar bahan organik pada limbah budidaya ikan lele sangkuriang</p>	<p>10^5 CFU/mL; 10^6 CFU/mL menjadi $2,21 \times 10^6$ CFU/mL; 10^7 menjadi $1,66 \times 10^7$ CFU/mL. Sedangkan waktu inkubasi selama 120 jam, bakteri mengalami kenaikan dari $2,44 \times 10^5$ CFU/mL menjadi $5,69 \times 10^5$ CFU/mL; dari $2,21 \times 10^6$ CFU/mL menjadi $5,51 \times 10^6$ CFU/mL; dari $1,66 \times 10^7$ CFU/mL menjadi $5,3 \times 10^7$. Adapun pengaruh kepadatan bakteri terhadap penurunan kadar bahan organik yang paling tinggi pada perlakuan penambahan bakteri dengan kepadatan 10^6 CFU/mL yang menunjukkan efektivitas penurunan sebesar 83,3%.</p>	<p>bakteri, dan parameter pengujian</p>
8	Vijayaragavan <i>et al</i> (2021)	<p>Untuk menganalisis kemampuan multi biokatalis</p>	<p>Didalam bioreaktor unggul bergerak kemampuan <i>Bakteri bacillus subtilis</i> dalam mengurai</p>	<p>Tujuan penelitian, jenis limbah cair, dan</p>

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		<p>penghasil bakteri <i>Bacillus subtilis</i> AQ03 dalam mengurai sulfametoksin dan sulfametaoksazol di reaktor biofilm unggul bergerak</p>	<p>sulfametoksin $100 \pm 1,5\%$ dan sulfametaoksazol $95,2 \pm 3,1\%$ setelah 8 hari proses pengurai, sedangkan setelah 10 hari proses penguraian efektivitasnya mencapai $100 \pm 0\%$. Selain itu <i>Bacillus subtilis</i> AQ03 juga mampu menghilangkan kadar BOD dengan efektivitas 87% dan efektivitas COD 91%.</p>	<p>konsorsium bakteri</p>
9	Hossain <i>et al</i> (2022)	<p>Untuk mengetahui perbandingan efektivitas proses pengolahan limbah cair tekstil secara biologis menggunakan lumpur aktif dengan proses pengolahan limbah cair</p>	<p>Efektivitas proses pengolahan limbah cair tekstil secara biologis dengan menggunakan lumpur aktif (secara aerob) mampu menyisihkan kadar TDS 66,67%; EC 60%; BOD 91,67%; dan COD 85,45% dengan efisiensi penyisihan tertinggi terjadi pada waktu aerasi selama 96 jam. Sedangkan efektivitas proses pengolahan limbah cair tekstil secara kimiawi</p>	<p>Tujuan penelitian, jenis limbah cair, konsorsium bakteri, dan tidak melakukan pengujian parameter TDS dan EC</p>

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		<p>tekstil secara kimiawi dengan menggunakan fenton. Selain itu juga untuk mengetahui waktu aerasi bakteri aerob yang paling efisien dalam mengolah limbah cair tekstil.</p>	<p>dengan menggunakan fenton mampu menyisihkan kadar TDS 74,71%; EC 55,11%; BOD 88,33%; dan COD 83,63%.</p>	
10	Fardami <i>et al</i> (2022)	<p>Untuk mengisolasi dan mengidentifikasi bakteri penghasil biosurfaktan dari tanah terkontaminasi hidrokarbon</p>	<p>Diketahui hasil isolasi dan identifikasi bakteri penghasil biosurfaktan yang diisolasi dari tanah terkontaminasi hidrokarbon meliputi bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i>, <i>Bacillus subtilis</i>, <i>Klebsiella</i> sp., <i>Enterobacter cloacae</i>, <i>Pantoea agglomerans</i>, <i>Pseudomonas</i> sp., <i>Enterobacter alvei</i>, dan <i>Bacillus</i> sp.</p>	<p>Tujuan penelitian, metode penelitian, dan jenis limbah</p>

2.2 Teori-teori yang Relevan

2.2.1 Limbah Cair

Air yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang sudah tidak terpakai dan mengandung bahan pencemar baik berupa polutan organik maupun anorganik disebut dengan air limbah atau limbah cair (Martini *et al.*, 2020). Kandungan zat pencemar pada limbah cair dapat membahayakan manusia maupun makhluk hidup lainnya yang dimana umumnya limbah cair ini dihasilkan dari berbagai kegiatan salah satunya kegiatan industri dan kegiatan domestik (Azkari, 2015). Klasifikasi limbah cair berdasarkan sumbernya dapat dibagi menjadi tiga jenis antara lain:

a. Limbah cair domestik

Limbah cair domestik adalah limbah cair yang dihasilkan dari berbagai kegiatan rumah tangga seperti dari dapur (contohnya air bekas cucian piring), kamar mandi (contohnya limbah cair dari detergen atau sabun), WC (air seni dan feses manusia), dan lain-lain. Dari beberapa kegiatan tersebut, limbah cair domestik yang dihasilkan ini umumnya banyak mengandung senyawa organik yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.

b. Limbah cair industri

Limbah cair industri adalah limbah cair yang dihasilkan dari suatu industri. Kandungan bahan pencemar pada limbah cair industri ini sangat bervariasi. Dimana karakteristik bahan pencemar tersebut disesuaikan berdasarkan standar baku mutu limbah cair yang digunakan oleh suatu industri sesuai dengan jenis usaha dan/atau kegiatannya.

c. Limbah cair kotapraja

Limbah cair kotapraja adalah limbah cair yang bersumber dari tempat umum, tempat ibadah, perhotelan, perdagangan, dan dari perkotaan. Umumnya limbah cair ini mengandung bahan pencemar yang jenis dan karakteristiknya sama dengan limbah cair domestik. (Armus *et al.*, 2022).

Selain klasifikasi limbah cair berdasarkan sumbernya, limbah cair juga dapat dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan karakteristiknya yaitu antara lain:

a. Karakteristik fisika

Karakteristik fisika limbah cair dapat ditentukan berdasarkan sifat fisik limbah cair yang meliputi beberapa parameter seperti bau, warna, suhu, kekeruhan, TDS, dan TSS.

b. Karakteristik kimia

Karakteristik kimia limbah cair dapat ditentukan berdasarkan sifat kimia limbah cair. Biasanya untuk menentukan sifat kimia tersebut dilakukan pengujian yang membutuhkan bahan kimia, alat-alat analisis laboratorium, dan prosedur pengujian yang benar agar menghasilkan data yang akurat. Sifat kimia limbah cair ini dapat diketahui dari beberapa parameter uji yang meliputi parameter pH, COD, BOD, DO, amonia, gas methan, lemak dan minyak, fenol, dan berbagai jenis logam berat.

c. Karakteristik biologi

Karakteristik biologi limbah cair salah satunya dapat ditentukan berdasarkan kandungan makhluk hidup yang bersifat pathogen dalam limbah cair seperti virus, *shigella* sp., *salmonella* sp., dan beberapa mikroorganisme yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya (Armus *et al.*, 2022).

2.2.2 Limbah Cair Obat Tradisional

Limbah cair obat tradisional merupakan limbah yang berasal dari industri yang memproduksi obat-obatan tradisional. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 05 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah untuk Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Obat Tradisional atau Jamu, diketahui karakteristik limbah cair obat tradisional meliputi pH, BOD, COD, TSS, dan Fenol. Karakteristik tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. *Potential Hydrogen (pH)*

pH merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat keasaman atau kebasaan suatu cairan. Parameter ini termasuk salah satu parameter yang penting karena dapat digunakan sebagai indikator untuk mengukur kualitas limbah cair (Ramayanti & Amna, 2019). Nilai pH dapat diperoleh dari hasil pengukuran yang didasarkan atas banyaknya jumlah ion hidrogen atau dapat diketahui dengan rumus $\text{pH} = -\text{Log} (\text{H}^+)$ yang dimana rentang nilainya antara 1 – 14. Hasil pengukuran pH yang menunjukkan nilai 7 merupakan nilai pH netral yang menandakan kandungan ion H^+ dan OH^- dalam suatu cairan berada dalam jumlah yang seimbang. Untuk nilai $\text{pH} < 7$ merupakan pH asam yang menandakan tingginya kandungan ion H^+ dalam suatu cairan, sedangkan apabila nilai $\text{pH} > 7$ maka pH bersifat basa yang menandakan tingginya konsentrasi ion OH^- dalam suatu cairan. (Kareliasari, 2021)

b. *Total Suspended Solid (TSS)*

Padatan tersuspensi total atau yang disingkat dengan TSS adalah partikel tersuspensi yang memiliki diameter $> 1 \mu\text{m}$ yang dapat tertahan pada saringan berdiameter pori sebesar $0,45 \mu\text{m}$. Padatan tersuspensi ini dapat terdiri dari berbagai macam zat seperti pasir, bahan-bahan anorganik, bahan organik yang melayang-layang, dan lain-lain. (Nicola, 2015). TSS ini merupakan salah satu parameter yang penting karena dapat menyebabkan perubahan fisika, kimia, dan biologi yang akan berdampak pada turunnya kualitas perairan. Perubahan secara fisika ditandai dengan semakin meningkatnya partikel padat pada perairan menyebabkan air menjadi lebih keruh sehingga hal tersebut akan menjadi penghalang masuknya cahaya matahari ke perairan. Cahaya matahari ini mempengaruhi ekosistem perairan dimana makhluk hidup yang kekurangan cahaya matahari akan (Rinawati *et al.*, 2016).

c. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

BOD merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur banyaknya oksigen yang diperlukan oleh suatu mikroorganisme untuk

mengurai senyawa organik dalam limbah cair oleh mikroorganisme aerob. Prinsip dari pengujian BOD adalah jumlah total oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme aerob untuk menunjukkan jumlah bahan organik yang dapat diurai (Atima, 2015). Semakin tinggi bahan organik dalam air limbah akan menyebabkan semakin kecil nilai oksigen terlarut. Hal tersebut dikarenakan tingkat konsumsi mikroorganisme terhadap oksigen dalam mengurai bahan organik semakin meningkat pula. Hal inilah yang menyebabkan hasil pengukuran konsentrasi BOD menjadi tinggi (Kareliasari, 2021).

d. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi zat pencemar pada air limbah melalui reaksi kimia. Prinsip dari pengujian COD adalah reaksi oksidasi senyawa organik oleh kalium bikromat yang digunakan sebagai sumber oksigen (Kareliasari, 2021). Penggunaan kalium bikromat dalam pengujian COD memegang peranan penting sebagai oksidator kuat yang dapat mengoksidasi seluruh bahan organik baik yang mudah terurai maupun yang sulit terurai melalui reaksi secara kimia. Jika dibandingkan dengan BOD, nilai COD menunjukkan jumlah total bahan organik yang ada. Dimana selisih nilai COD dengan BOD menggambarkan banyaknya senyawa organik yang sulit terurai. Sehingga nilai COD tidak akan pernah lebih kecil dari nilai BOD (Atima, 2015).

e. Fenol (C_6H_5OH)

Fenol merupakan senyawa yang mudah larut dalam air dan termasuk ke dalam senyawa hidrokarbon aromatik. Fenol ini lebih dikenal dengan nama asam karbolat yang merupakan senyawa yang cukup berbahaya karena bersifat toksik dengan bau yang sangat menyengat dan sulit diurai oleh mikroorganisme (Hermawan, 2016). Senyawa fenol merupakan salah satu senyawa organik yang umumnya dihasilkan dari industri dalam wujud limbah. Limbah yang mengandung

senyawa fenol dalam konsentrasi yang rendah sekalipun dapat berdampak pada kehidupan mikroorganisme dan menyebabkan turunnya konsentrasi oksigen terlarut (Setyaningtyas *et al.*, 2018).

Adapun baku mutu air limbah untuk usaha dan/atau kegiatan pengolahan obat tradisional atau jamu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 05 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Berikut Tabel 2.2 Baku mutu air limbah untuk usaha dan/atau kegiatan pengolahan obat tradisional atau jamu yang menunjukkan nilai ambang batas untuk setiap parameter.

Tabel 2.2. Baku mutu air limbah untuk usaha dan/atau kegiatan pengolahan obat tradisional atau jamu

Parameter	Konsentrasi paling tinggi (mg/L)	Beban pencemaran paling tinggi (kg/ton bahan baku)
pH	6 – 9	
TSS	100	1,5
BOD	75	1,12
COD	150	2,25
Fenol	0,2	0,003
Kuantitas air limbah paling tinggi (m ³ per ton bahan baku)	15	

2.2.3 Pengolahan Limbah Cair

Pengolahan limbah cair adalah suatu proses untuk mengurangi zat pencemar pada limbah cair yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia maupun makhluk hidup lainnya. Prinsip dasar pengolahan limbah cair ditujukan agar limbah hasil olahan memenuhi baku mutu sehingga dapat dinyatakan aman jika *direlease* ke lingkungan (Hidayati, 2014). Pengolahan limbah cair ini dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis berdasarkan karakteristiknya yang meliputi:

a. Pengolahan secara fisika

Pengolahan secara fisika pada umumnya ditujukan untuk mengolah limbah cair yang mengandung partikel-partikel kecil maupun

besar. Biasanya pengolahan secara fisika diletakkan pada tahap awal sebelum masuk pada pengolahan lanjutan. Pada tahap ini dilakukan proses pemisahan antara padatan dengan cairan seperti penyaringan, pengendapan, flotasi, dan lain-lain.

b. Pengolahan secara kimia

Pengolahan secara kimia merupakan proses pengolahan yang umumnya menggunakan bahan kimia. Beberapa proses yang termasuk kedalam proses pengolahan secara kimia meliputi proses klorinasi, netralisasi, koagulasi, flokulasi, dan lain-lain. Proses ini biasanya ditujukan untuk mengolah limbah cair yang mengandung partikel-partikel kecil yang sulit mengendap, kandungan logam berat yang tinggi, dan beberapa zat organik yang bersifat toksik.

c. Pengolahan secara biologi

Pengolahan secara biologis merupakan proses pengolahan limbah cair dengan menggunakan tumbuhan ataupun mikroorganisme untuk mengurai zat pencemar yang terkandung pada limbah cair. Proses biologis ini ditujukan untuk mengolah limbah cair dengan kandungan bahan organik yang cukup tinggi, selain itu juga dapat menyisihkan konsentrasi bahan anorganik dalam limbah cair. Pada umumnya proses tersebut dilakukan dengan memanfaatkan bakteri sebagai agen pengurai. Bakteri yang digunakan dapat berupa bakteri aerob maupun anaerob. (Kencanawati, 2016).

2.2.4 Bioremediasi

Salah satu bidang bioteknologi lingkungan yang memanfaatkan proses biologis dalam mengendalikan pencemaran lingkungan disebut juga sebagai bioremediasi. Proses bioremediasi itu sendiri adalah proses pengolahan limbah dengan memanfaatkan mikroorganisme untuk mereduksi senyawa polutan pada air limbah (Anggraeni, 2019). Mikroorganisme yang dimanfaatkan sebagai agen pengurai polutan limbah baik mikroorganisme yang bersifat aerob maupun anaerob disebut juga sebagai bioremediator.

Mikroorganisme digunakan dalam proses pengolahan limbah karena memiliki kemampuan memanfaatkan senyawa organik sebagai sumber energi dan nutrisi bagi pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme itu sendiri. Senyawa organik yang dirombak oleh mikroorganisme akan diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana. Perubahan senyawa tersebut mengindikasikan perubahan sifat yang tadinya toksik menjadi tidak toksik bagi lingkungan dengan ditandai adanya penurunan konsentrasi zat pencemar. Tetapi konsentrasi mikroorganisme juga berpengaruh dalam hal ini, dimana apabila konsentrasi mikroorganisme terlalu tinggi maka akan menyebabkan proses pengolahan menjadi tidak optimal karena terjadi persaingan atau perebutan untuk memperoleh nutrisi. Sehingga sebelum melakukan pengolahan limbah cair dengan teknologi bioremediasi, perlu diketahui terlebih dahulu konsentrasi mikroorganisme yang paling optimum dalam mengolah limbah cair dengan volume tertentu. (Kallang, 2020).

Berdasarkan stimulasi pertumbuhan mikroorganisme, bioremediasi dapat dibedakan menjadi tiga jenis antara lain:

a. Biostimulasi

Biostimulasi merupakan sebuah proses yang dilakukan dengan menambahkan nutrisi, energi, dan menstimulasi kondisi lingkungan sedemikian rupa agar mikroorganisme dapat tumbuh dan berkembang dengan baik.

b. Bioaugmentasi

Bioaugmentasi merupakan suatu proses bioremediasi yang dilakukan dengan menambahkan beberapa jenis mikroorganisme yang mempunyai sifat mengurai kontaminan tertentu pada limbah. Proses ini cukup sulit dilakukan karena perlu mengontrol kondisi lingkungan tercemar agar mikroorganisme yang ditambahkan dapat beradaptasi dengan baik dan mampu mendegradasi kontaminan secara maksimal.

c. Bioremediasi Intrinsik

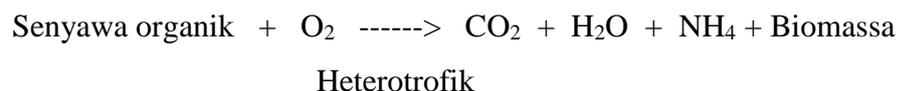
Bioremediasi intrinsik merupakan proses bioremediasi yang terjadi secara alami pada lingkungan yang tercemar tanpa penambahan

mikroorganisme, nutrisi, stimulasi kondisi lingkungan, dan lain-lain. bioremediasi intrinsik ini murni dilakukan oleh mikroorganisme indigen tanpa adanya campur tangan manusia. (Farida, 2016)

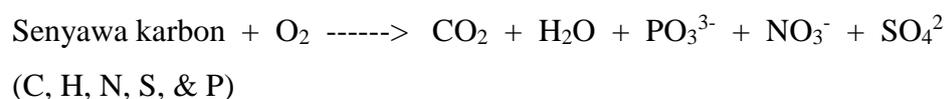
2.2.5 Proses Aerobik

Proses aerobik merupakan proses pengolahan limbah cair secara biologis dengan memanfaatkan bakteri aerob, yaitu bakteri yang membutuhkan oksigen bebas (Nuraini, 2016). Pada sistem pengolahan limbah cair, proses aerobik ini biasanya ditempatkan setelah proses anaerobik. Hal tersebut dikarenakan beban pengolahan pada proses aerobik jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan proses anaerobik. Selain itu, senyawa samping yang dihasilkan pada proses anaerobik yang dapat menyebabkan pencemaran berupa senyawa hidrogen sulfida (H_2S) dan amonia (NH_3) yang belum hilang. Sehingga adanya proses aerobik dapat dijadikan sebagai unit untuk menyempurnakan proses pengolahan yang belum maksimal pada proses anaerobik (Hartaja, 2017). Adapun reaksi penguraian senyawa organik oleh bakteri aerob yaitu sebagai berikut (Indriatmoko *et al.*, 2019) :

- Reaksi keseluruhan



- Reaksi penguraian senyawa karbon oleh bakteri aerob (Nurmayanti, 2019)

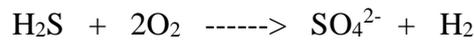


- Unsur C dari senyawa organik + O_2 -----> CO_2
- Unsur H dari senyawa organik + O_2 -----> H_2O
- Unsur N dari senyawa organik + O_2 -----> NO_3^-
- Unsur S dari senyawa organik + O_2 -----> SO_4^{2-} (aq)
- Unsur P dari senyawa organik + O_2 -----> PO_4^{3-} (aq)

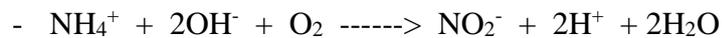
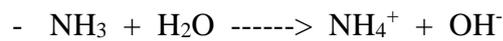
Sedangkan untuk penguraian senyawa organik oleh bakteri aerob berupa hidrogen sulfida (H_2S) dan amonia (NH_3) yang dihasilkan dari proses anaerobik yaitu dengan mengoksidasi H_2S menjadi sulfat serta mengubah

amoniam (NH_3) menjadi amonium (NH_4), kemudian amonium (NH_4) diubah lagi menjadi nitrit (NO_2^-), selanjutnya nitrit diubah lagi menjadi nitrat (NO_3^-). Adapun reaksi kimianya sebagai berikut (Indriatmoko *et al.*, 2019):

- Reaksi penguraian H_2S



- Reaksi nitrifikasi



2.2.6 Bakteri Pengurai Limbah Cair

Bakteri merupakan makhluk hidup bersel tunggal dengan ukuran dan bentuk yang sangat beragam namun tidak memiliki klorofil. Cara bakteri berkembang biak yaitu dengan melakukan pembelahan sel atau yang disebut juga dengan perkembangbiakan secara aseksual (Sila, 2021). Setiap jenis atau spesies bakteri memiliki cara hidupnya tersendiri yang dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:

a. Heterotrof

Bakteri heterotrof merupakan bakteri yang cara hidupnya dengan memanfaatkan zat organik dari lingkungan sebagai sumber makanan untuk bakteri dapat bertahan hidup atau dengan kata lain bakteri ini tidak dapat menghasilkan makanan sendiri. Zat organik yang digunakan sebagai sumber makanan bagi bakteri berasal dari hasil dekomposisi senyawa organik seperti sisa-sisa mikroorganisme yang telah mati ataupun bahan organik berupa protein, karbohidrat, lemak, sisa-sisa makanan, dan lain-lain. Dengan sifat tersebut, bakteri heterotrof disebut juga sebagai bakteri pengurai (Agustiningtyas, 2014).

b. Autotrof

Bakteri autotrof merupakan bakteri yang dapat memproduksi makanan sendiri dengan memanfaatkan senyawa anorganik. Dalam produksi makanan, bakteri ini tetap memerlukan sejumlah sumber energi

berupa cahaya matahari dan hasil oksidasi beberapa senyawa anorganik (Kesumah, 2020).

2.2.7 Pewarnaan gram

Berdasarkan pewarnaan gram, bakteri dibedakan menjadi dua jenis yaitu bakteri gram positif dan bakteri gram negatif. Prinsip dari pewarnaan gram ini didasarkan pada perbedaan struktur dari dinding sel bakteri. Dinding sel pada bakteri gram positif memiliki lapisan peptidoglikan yang tebal sedangkan dinding sel pada bakteri gram negatif memiliki lapisan lipid yang tebal. Ketika bakteri diberi pewarna kristal violet, dinding sel pada bakteri gram positif maupun gram negatif akan menyerap warna tersebut sehingga terbentuklah warna ungu pada bakteri.

Namun yang membedakan disini apabila bakteri dibilas dengan alkohol, warna ungu pada bakteri gram negatif akan luntur, hal tersebut dikarenakan dinding sel dengan kandungan lipid yang cukup tebal tidak dapat mempertahankan warna. Sehingga apabila diberi pewarna kedua (pewarna safranin), bakteri gram negatif akan menyerap kembali warna tersebut dan terbentuklah warna merah. Sedangkan bakteri gram positif ketika dibilas dengan alkohol ataupun diberi pewarna safranin akan tetap berwarna ungu, hal ini dikarenakan lapisan peptidoglikan yang tebal tidak dapat dihilangkan oleh alkohol. (Suarjana *et al.*, 2017)

2.2.8 Bakteri Pengurai Limbah

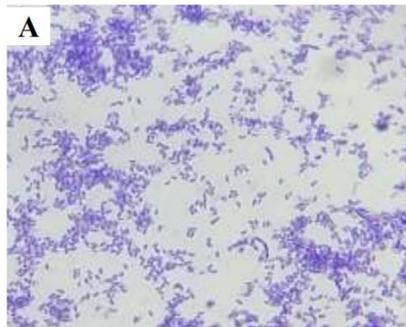
Beragam jenis bakteri dapat ditemukan diberbagai tempat salah satunya jenis bakteri pengurai limbah. Bakteri pengurai limbah dapat digunakan untuk menguraikan beberapa senyawa organik seperti protein, lemak, dan karbohidrat. Bakteri yang terkandung pada limbah cair dapat berasal dari berbagai sumber seperti feses manusia, lumpur, sampah, dan lain-lain (Sila, 2021). Beberapa bakteri yang umumnya mempunyai kemampuan menguraikan bahan pencemar pada limbah cair antara lain:

a. Bakteri *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis merupakan salah satu bakteri gram positif yang bersifat aerobik, heterotrofik saprofit, katalase positif, dan mampu

membentuk spora (Eni, 2022). Bakteri *Bacillus subtilis* memiliki ukuran sel sebesar 0,5 – 2,5 µm x 1,2 – 10 µm dengan bentuk batang dan hanya memiliki satu sel. Bakteri ini dapat bertahan pada kondisi lingkungan dengan rentang pH antara 2-8 dan pada suhu -5°C sampai 75°C. Namun pada kondisi lingkungan yang optimum populasi bakteri ini dapat meningkat dua kali lipat (Suriani & Muis, 2016). Adapun lingkungan yang optimum bagi pertumbuhan bakteri *Bacillus subtilis* yaitu pada rentang pH antara 7 – 8 (Khaira *et al.*, 2019). Dan karena bakteri *Bacillus subtilis* ini termasuk kedalam golongan bakteri mesofilik sehingga suhu optimumnya berkisar antara 25-40°C (Arfiati *et al.*, 2020). Beberapa klasifikasi bakteri jenis *Bacillus subtilis* yaitu sebagai berikut (Nuraini, 2016):

Kingdom : *Bacteria*
Phylum : *Firmicutes*
Class : *Bacilli*
Orde : *Bacillales*
Family : *Bacillaceae*
Genus : *Bacillus*
Spesies : *Bacillus subtilis*



Gambar 2.1. Bakteri *Bacillus subtilis*

(Sumber: Purwaningsih & Wulandari, 2021)

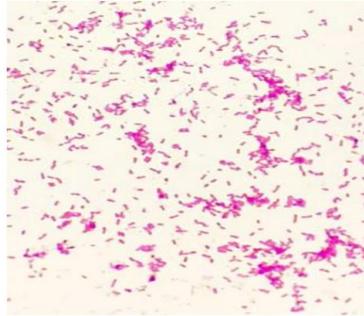
Kemampuan adaptasi bakteri ini pada kondisi lingkungan yang ekstrim dan nutrisi yang tidak memadai dengan membuat strategi untuk bertahan hidup berupa pembentukan *stress-resistant endospore* yang berasal dari hasil sintesis PHA (Kresnawaty *et al.*, 2014). Selain itu,

Proses metabolisme yang dilakukan oleh bakteri *Bacillus subtilis* tidak menghasilkan senyawa samping yang metabolik namun menghasilkan sebagian besar protein ekstrasel. Dari kemampuannya tersebut bakteri ini banyak dimanfaatkan oleh beberapa industri untuk memecahkan masalah pada skala industri (Liliasari, 2016). Salah satu pemanfaatan bakteri *Bacillus subtilis* di industri yaitu digunakan untuk mengolah limbah cair industri. Dalam pengolahan limbah cair, bakteri ini biasanya digunakan sebagai agen pengendali biologi berupa penguraian bahan organik atau kontaminan yang terkandung pada limbah cair untuk meningkatkan kualitas perairan (Arfiati *et al.*, 2020).

b. Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

Pseudomonas aeruginosa merupakan salah satu bakteri yang termasuk kedalam bakteri hidrokarbonklastik yang memiliki kemampuan mengurai berbagai senyawa hidrokarbon dan salah satu bakteri penghasil biosurfaktan (Gultom *et al.*, 2019). Selain itu bakteri ini juga mampu mengoksidasi lipid namun tidak dapat mengoksidasi senyawa glukosa atau karbohidrat. Keberadaan *Pseudomonas aeruginosa* tersebar luas di alam dan salah satunya dapat ditemukan diberbagai tempat seperti pada *effluent* limbah cair industri, deterjen pembersih, dan pembersih lipid pada proses pengolahan makanan. Berikut beberapa klasifikasi bakteri jenis *Pseudomonas aeruginosa* yaitu sebagai berikut (Rahayu, 2015):

Kingdom : *Bacteria*
Phylum : *Proteobacteria*
Kelas : *Gamma Proteobacteria*
Ordo : *Pseudomonadales*
Family : *Pseudomonaceae*
Genus : *Pseudomonas*
Spesies : *Pseudomonas aeruginosa*



Gambar 2.2. Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

(Sumber: Shafira *et al.*, 2022)

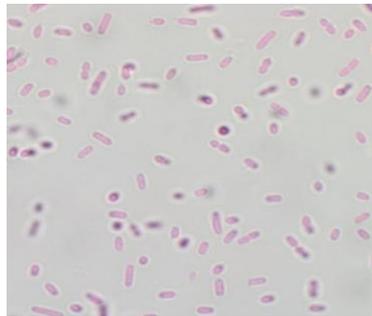
Karakteristik dari bakteri ini berupa gram negatif yang memiliki sifat aerobik obligat dengan ukuran sebesar $0,6 \times 2 \mu\text{m}$, mempunyai flagella untuk pergerakannya, serta bentuk koloninya yang tunggal, ganda, dan beberapa membentuk rantai pendek. *Pseudomonas aeruginosa* dapat bertahan pada kisaran suhu antara $37 - 42^\circ\text{C}$, suhu pertumbuhan yang mencapai 42°C dapat dijadikan sebagai pembeda antara spesies *Pseudomonas aeruginosa* dengan spesies *Pseudomonas* lainnya (Dahlan *et al.*, 2019). Sedangkan lingkungan yang optimum untuk pertumbuhan bakteri ini berada pada kisaran suhu antara $25 - 37^\circ\text{C}$, dengan rentang pH antara $7 - 9$ (Rahayu & Mangkoedihardjo, 2022). Spesies *Pseudomonas aeruginosa* menjadi Satu-satunya bakteri penghasil pigmen pyocyanine (dengan warna biru kehijauan) dan pigmen pioverdin fluorescine (dengan warna kehijauan) (Usnaini, 2017).

c. Bakteri *Klebsiella sp.*

Klebsiella sp. merupakan salah satu bakteri gram negatif yang berbentuk batang, memiliki sifat aerob fakultatif yang artinya dapat tumbuh dan berkembang dengan kondisi ada atau tanpa oksigen, tidak mampu membentuk spora, non-motil, dan memiliki flagel (Fauziah, 2016). *Klebsiella sp.* memiliki rentang pertumbuhan optimal pada pH $7-8$ (Sarni *et al.*, 2015). *Klebsiella sp.* biasanya digunakan sebagai agen pengurai hidrokarbon karena bakteri ini mampu memanfaatkan senyawa karbon dalam limbah cair sebagai sumber energi untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangannya (Fauziah, 2016). Selain itu,

Klebsiella sp. juga memiliki kemampuan dalam menghidrolisis kandungan lipid pada instalasi pengolahan limbah cair industri kelapa (Sayuti *et al.*, 2016)

Kingdom : *Bacteria*
Phylum : *Protobacteria*
Class : *Gammaproteobacteria*
Ordo : *Enterobacteriales*
Family : *Enterobacteriaceae*
Genus : *Klebsiella*
Spesies : *Klebsiella* sp.



Gambar 2.3. Bakteri *Klebsiella* sp.

(Sumber: Franke *et al.*, 2020)

2.2.9 Pertumbuhan Bakteri

Pertumbuhan bakteri merupakan proses bertambahnya jumlah sel, koloni, populasi, atau ukuran bakteri. Pertumbuhan bakteri ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pH, temperatur, nutrisi, dan oksigen. Beberapa faktor tersebut perlu dikontrol agar mendapatkan kondisi lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan bakteri. Adapun faktor yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri dapat dirinci sebagai berikut (Yulianti, 2016):

a. pH (derajat keasaman)

pH dalam hal ini merupakan tingkat keasaman dari lingkungan tempat bakteri bertumbuh dan berkembang. Umumnya bakteri dapat tumbuh secara optimal pada pH netral yaitu rentang pH antara 6,0 – 8,0 (Bahter *et al.*, 2016). Namun beberapa bakteri dapat tumbuh dengan baik diluar rentang tersebut karena setiap jenis atau spesies bakteri yang

berbeda memiliki resistensi tersendiri terhadap kondisi lingkungan dengan pH asam maupun basa.

b. Temperatur (suhu)

Sama halnya dengan pH, temperatur atau suhu yang optimum bagi pertumbuhan bakteri berbeda-beda sesuai dengan spesies bakterinya. Umumnya, suhu yang optimum untuk pertumbuhan bakteri yaitu berada pada temperatur 37°C. Namun beberapa jenis bakteri dapat tumbuh pada suhu yang ekstrim, dimana kelompok bakteri tersebut yaitu:

- Psikrofil, merupakan bakteri dengan kisaran suhu pertumbuhan antara 0 - 20°C.
- Mesofil, merupakan bakteri dengan kisaran suhu pertumbuhan antara 20 - 45°C.
- Termofil, merupakan bakteri dengan kisaran suhu pertumbuhan diatas 45.

c. Nutrisi

Nutrisi digunakan oleh bakteri sebagai sumber energi dan pertumbuhan sel-selnya. Nutrisi yang diperlukan oleh bakteri berupa senyawa organik maupun anorganik seperti karbon, fosfor, zat besi, beberapa logam, dan lain-lain. Nutrisi tersebut salah satunya dapat diperoleh dari lingkungan yang tercemar, dimana bakteri akan memanfaatkan bahan organik sebagai sumber nutrisi yang merupakan kontaminan bagi lingkungan tersebut. Bakteri yang kekurangan nutrisi dapat menghambat pertumbuhan sel hingga menyebabkan kematian.

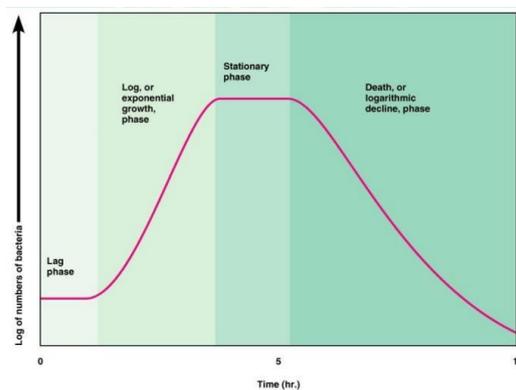
d. Oksigen

Oksigen ini diperlukan oleh bakteri untuk membantu proses metabolisme, namun beberapa bakteri tidak membutuhkan oksigen. Berdasarkan kebutuhan akan oksigen, bakteri dapat dikelompokkan menjadi 4 jenis yaitu:

- Aerob, bakteri yang memerlukan oksigen untuk proses metabolisme.
- Anaerob, bakteri yang tidak memerlukan oksigen untuk proses metabolisme.

- Anaerob fakultatif, bakteri yang dapat melakukan metabolisme pada kondisi ada atau tanpa oksigen.
- Mikroaerofil, bakteri yang memerlukan oksigen lebih rendah dari konsentrasi oksigen normal yang ada di udara.

Bakteri yang tumbuh dan berkembang umumnya melewati beberapa fase. Fase pertumbuhan bakteri meliputi fase adaptasi (*lag phase*), fase perbanyakan (*exponential phase*), fase konstan (*stationary phase*), dan fase kematian (*death phase*) (Yulianti, 2016). Fase tersebut dapat digambarkan melalui grafik pertumbuhan bakteri berikut ini.



Gambar 2.4. Grafik pertumbuhan bakteri

(Sumber: Nadhifah, 2021)

a. Fase adaptasi (*lag phase*)

Fase ini terjadi ketika bakteri baru saja di pindahkan ke media pertumbuhan yang baru, sehingga bakteri perlu beradaptasi dengan kondisi lingkungan pada media tersebut. Fase adaptasi ditandai dengan terjadinya penambahan ukuran sel bakteri yang semakin besar karena komposisi kimiawi mengalami perubahan. Adapun proses yang terjadi pada fase ini berupa penyesuaian media yang dilakukan dengan mensintesis enzim baru dan memulihkan beberapa metabolit (produk dari metabolisme) yang bersifat toksik yang merupakan bawaan dari media lama.

b. Fase perbanyakan (*exponential phase*)

Fase perbanyakan atau *exponential phase* terjadi ketika bakteri mengalami pertumbuhan yang sangat cepat. Jika dilihat pada grafik

pertumbuhan bakteri, grafik mengalami kenaikan pada fase ini. Fase perbanyakan sering dikenal dengan fase pembelahan, dimana aktivitas sel mengalami peningkatan dan terjadi pembelahan sel dengan kecepatan pembelahan/pertumbuhan yang konstan karena didukung dari kondisi lingkungan yang ideal. Pada fase ini, beberapa senyawa yang terbentuk dapat berupa asam laktat, asam organik, etanol, beberapa enzim, dan lain-lain.

c. Fase konstan (*stationary phase*)

Fase konstan atau *stationary phase* terjadi ketika laju pertumbuhan dan laju kematian sel mengalami keseimbangan dimana jumlah sel yang mati sama dengan jumlah sel yang hidup. Dengan begitu jumlah sel akan tetap konstan. Pada fase ini bakteri tidak lagi mengalami pembelahan sel dan beberapa sel akan mengalami kematian. Bakteri yang tidak dapat melakukan pembelahan sel maupun yang mengalami kematian dapat disebabkan karena beberapa faktor seperti kekurangan nutrisi, penumpukan produk hasil metabolisme bakteri yang bersifat toksik, kekurangan oksigen terlarut, serta ketersediaan air yang semakin menurun. Namun kondisi tersebut akan membuat bakteri beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Proses adaptasi pada lingkungan yang tidak menguntungkan ini akan menghasilkan produk metabolisme berupa metabolit sekunder seperti biosurfaktan, antibiotik, dan antioksidan.

d. Fase kematian (*death phase*)

Fase kematian atau *death phase* terjadi ketika laju kematian bakteri lebih tinggi dari pada laju pertumbuhan sel-sel baru sehingga akan menyebabkan penurunan jumlah sel. Beberapa faktor yang menyebabkan laju kematian bakteri semakin cepat yakni karena energi seluler mengalami penurunan dan terjadi autolisis sel atau proses penghancuran sel oleh enzim yang berasal dari dalam sel bakteri itu sendiri. Umumnya bakteri mampu bertahan hanya beberapa jam setelah masuk pada fase kematian. Namun beberapa bakteri dapat bertahan hingga bertahun-

tahun setelah memasuki fase kematian karena bakteri tersebut mampu mengubah sel nya menjadi spora. (Rahayu, 2015)

2.2.10 Kepadatan bakteri

Optical density (OD) merupakan nilai yang digunakan untuk mengukur jumlah sel bakteri yang terdapat dalam suatu medium. Pengukuran OD ini didasarkan atas metode perhitungan bakteri secara *turbidity* yaitu kekeruhan medium yang dinyatakan sebagai kepadatan bakteri (Putera, 2018). Metode *turbidity* merupakan cara cepat yang digunakan untuk menghitung banyaknya bakteri secara tidak langsung dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang tertentu (Rosmania & Yanti, 2020). Penggunaan spektrofotometer untuk menghitung kepadatan bakteri berupa nilai OD, perlu melalui dua tahap. Tahap yang pertama yaitu kalibrasi alat dengan mengisi kuvet menggunakan akuades yang telah disterilkan sebagai blanko. Kemudian tahap keduanya mengganti kuvet yang larutan blanko dengan sampel medium cair yang akan diamati kepadatan bakertinya (Setiawan, 2019).

Prinsip kerja dari alat ini berupa penghamburan cahaya, yaitu cahaya akan dilewatkan pada suatu medium yang berisi suspensi bakteri. Bakteri ini akan menyerap cahaya yang dipancarkan pada sampel kemudian mengubahnya dalam bentuk angka berupa nilai absorbansi. Nilai absorbansi yang muncul dinyatakan sebagai nilai *optical density* (OD) Sedangkan cahaya yang dilewatkan pada medium akan ditangkap oleh detector dan dinyatakan sebagai persen transmittan (%T). Hubungan antara %T dengan nilai absorbansi yaitu ketika nilai %T semakin rendah maka nilai absorbansi semakin tinggi. Hal tersebut dikarenakan jumlah bakteri yang terdapat dalam sampel semakin banyak yang akan membuat semakin banyak pula cahaya yang diserap oleh bakteri (Putera, 2018).