

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. TINJAUAN UMUM BAKTERI

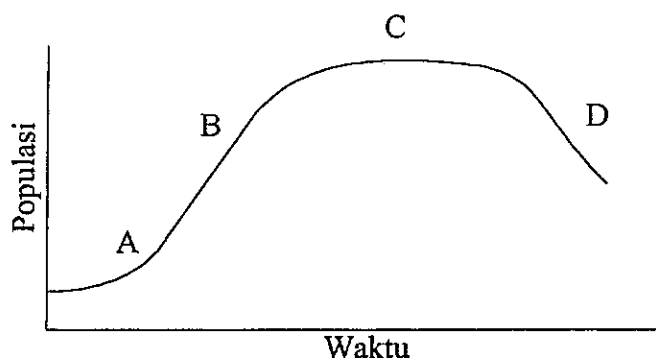
Bakteri merupakan sel prokariotik yang khas, uniseluler dan tidak mengandung struktur yang terbatas membran di dalam sitoplasmanya. Sel-selnya memiliki ciri berbentuk kokus, batang atau spiral. Bakteri memiliki ukuran diameter antara 0,5 um - 1,0 um panjang 1,5 um - 2,5 um. Reproduksi secara aseksual dengan pembelahan biner. Beberapa dapat tumbuh pada suhu 0 °C, ada yang tumbuh baik pada sumber air panas yang suhunya 90 °C atau lebih. Kebanyakan tumbuh pada berbagai suhu di antara kedua suhu ekstrim ini. Bakteri menyebabkan berbagai perubahan kimiawi substansi pada pertumbuhannya, bakteri dapat menguraikan berbagai substansi. Bakteri berperan penting dalam lingkungan kita karena dapat menguraikan penumpukan bahan- bahan di tanah maupun di laut. Beberapa jenis bakteri dapat menyebabkan penyakit pada hewan (termasuk manusia), tanaman dan protista yang lain. Bakteri tersebar luas di permukaan bumi, atmosfer dan lingkungan kita setiap hari. Pada beberapa bakteri, motilitas terjadi karena adanya flagela. Endospora dapat dibentuk oleh beberapa spesies. Dengan beberapa pengecualian sel-sel secara individu dikelilingi oleh suatu dinding sel yang kaku yang terbuat dari peptidoglikan (Pelczar dan Chan, 1981).

## B. PERTUMBUHAN BAKTERI

Istilah pertumbuhan pada bakteri dan mikroorganisme lain mengacu pada perubahan di dalam hasil panen sel (pertambahan total masa sel), bukan pada perubahan organisme. Pertumbuhan menyatakan pertambahan jumlah dan/atau massa menjadi lebih besar dari yang terkandung di dalam inokulum awal. Selama fase pertumbuhan seimbang ("balanced growth"), pertambahan massa bakteri berbanding lurus (proporsional) dengan pertambahan komponen seluler yang lain seperti DNA, RNA dan protein. (Pelczar dan Chan, 1981).

Pada pertumbuhan mikroorganisme misalnya bakteri, selang untuk terbentuknya dua sel anakan dari satu sel induk dinamakan generasi, dan waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya pembelahan sel tersebut dinamakan waktu generasi. Waktu generasi tersebut berbeda-beda tiap-tiap jenis bakteri. (Brock dan Madigan, 1991).

Hubungan antara jumlah sel dengan waktu pertumbuhan dapat dinyatakan dalam kurva pertumbuhan. Kurva pertumbuhan normal bakteri pada umumnya dapat dibagi dalam empat fase, yaitu: fase permulaan (fase lag), fase logaritma (fase eksponensial), fase maksimum dan fase kematian (Timotius, 1982).



Gambar 01: Kurva Pertumbuhan Bakteri

Keterangan : A: Fase permulaan  
 B: Fase logaritma  
 C: Fase maksimum  
 D: Fase kematian

### C. BAKTERI PENGURAI HIDROKARBON

Bakteri yang mampu menguraikan senyawa-senyawa hidrokarbon yang kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana disebut sebagai kelompok bakteri hidrokarbonoklastik (Reymond, 1974). Kehadiran bakteri hidrokarbonoklastik ini sangat penting dalam proses daur ulang elemen-elemen dan materi organik dalam senyawa hidrokarbon untuk kembali masuk ke dalam rantai makanan (Austin, 1988).

Jenis bakteri hidrokarbonoklastik menurut Austin (1988) meliputi *Achromobacter*, *Brevibacterium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Microbacterium*, *Pseudomonas* dan *Vibrio*. *Pseudomonas* menjadi genus dominan pada cuplikan sampel (Jobson, *et al.*, 1972 ; Walker dan Colwell, 1976).

Genus bakteri hidrokarbonoklastik semuanya dapat menggunakan senyawa hidrokarbon sebagai satu-satunya sumber karbon (C) untuk hidupnya (Kadarwati, 1989).

Jenis hidrokarbon yang biasa hadir sebagai pencemar di alam adalah toluol, xylol, naphtalene, fenantren, fenol, hidrokuinon (Metelev *et al*, 1983).

#### **D. TINJAUAN TENTANG *Pseudomonas***

Menurut Buchanan dan Gibbons (1974) dalam Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, *Pseudomonas* merupakan organisme bersel tunggal, berbentuk batang lurus atau melengkung, tetapi tidak melingkar. Umumnya mempunyai ukuran 0,5-1 um dan panjang 1,5-4 um. Pergerakan terjadi dengan adanya flagela polar; monotrik atau multitrik, Gram negatif, kemoorganotrof: metabolisme respiratori, tidak pernah fermentatif, aerob kecuali untuk spesies yang mampu melakukan denitrifikasi dalam respirasi anaerob, katalase positif.

Anggota dari genus *Pseudomonas* biasanya dijumpai di tanah, perairan tawar dan perairan laut dimana aktifitasnya penting dalam mineralisasi bahan-bahan organik. Beberapa spesies menyebabkan penyakit pada tanaman, dan menunjukkan bermacam tingkat "host specificity".

Sebagian besar spesies *Pseudomonas* yang dipelajari, termasuk yang bersifat parasit tidak memerlukan faktor tumbuh dan dapat berkembang dalam medium mineral dengan satu senyawa organik sebagai sumber karbon dan energi yang utama.

Suatu sifat yang menonjol dari anggota genus ini adalah kemampuannya untuk menggunakan suatu jenis senyawa organik sebagai satu-satunya atau sumber karbon dasar untuk tumbuh.

Beberapa spesies menghasilkan asam dari proses oksidatif dari alkohol dan gula-gula aldosa, terutama bila tersedia dalam konsentrasi tinggi. Kebanyakan anggota genus ini bersifat oksidase positif, tetapi beberapa spesies menunjukkan reaksi oksidase negatif.

Anggota genus ini tumbuh pada suhu 4-43 °C. Sebagian besar spesies tumbuh optimum pada suhu sekitar 30 °C. Semua spesies dapat tumbuh baik pada pH netral atau alkalin (7 - 8,5), sebagian besar dapat tumbuh pada pH 6,0 atau dibawahnya.

Untuk mengetahui suatu genus bakteri, diperlukan karakterisasi yang ditinjau dari morfologi dan reaksi biokimia. Menurut Cowan (1975) macam uji yang harus dilakukan untuk karakterisasi *Pseudomonas* sp antara lain adalah: uji bentuk, motilitas, pertumbuhan aerob, pertumbuhan anaerob, katalase, oksidase, produksi asam dari glukosa dan oksidatif-fermentatif seperti yang tercantum pada Tabel 01.

Tabel 1. Tabel Karakterisasi Bakteri Gram-negatif

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Bentuk	R	S	S	S	S/R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Motilitas	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	D	-	-	+	-	
Pertumbuhan aerob	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	
Pertumbuhan anaerob	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
Katalase	d	D	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	D	-	D	-	
Oksidase	-	x	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	
Glukosa (asam)	D	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	D	-	-	+	
Karbohidrat (F/O/-)	F/-	-	O	-	O	-	O	-	O	O	F	F	F	F	NT	-	-	F	
<i>Bacteroides</i>	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Veillonella</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Neisseria</i>	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Branhamella</i>	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Acinetobacter</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Moraxella</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Brucella</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Bordetella</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Chromobacterium lividum</i>	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Alcaligenes</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Flavobacterium</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Pseudomonas</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Actinobacillus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Pasteurella</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	
<i>Necromonas</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	
<i>Cardiobacterium</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	
<i>Chromobacterium violaceum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	
<i>Beneckea</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	
<i>Vibrio</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	
<i>Plesiomonas</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	
<i>Aeromonas</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	
<i>Enterobacteria</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	
<i>Haemophilus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	
<i>Eikenella</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	
<i>Campylobacter</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	
<i>Streptobacillus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	
<i>Mycoplasmas</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	

F : fermentatif

O : oksidatif

R : rod

S : spirillum

Sumber : Cowan (1975).

## E. FENOL SEBAGAI PENCEMAR

Fenol merupakan senyawa hidrokarbon dan didefinisikan sebagai derivat benzen ( $C_6H_5OH$ ). Terdapat dalam air limbah industri maupun limbah rumah tangga, air ledeng dan air alami (Greenberg, Clesceri dan Eaton, 1992).

Kehadiran fenol dalam air dapat menyebabkan gangguan yang serius pada perairan tersebut. Fenol bersifat toksik dan merupakan pencemar yang tersebar luas, dengan demikian kehadiran fenol dengan konsentrasi tinggi dapat menyebabkan keracunan bahkan dapat mematikan organisme akuatik dan mengganggu kesehatan ternak, burung, hewan lain dan manusia (Metelev *et al.*, 1983).

Berdasar pedoman penetapan baku mutu menurut Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. Kep. 02/Men. KLH/I/1988 air yang boleh dipergunakan untuk kegiatan peternakan dan perikanan adalah air dengan konsentrasi fenol maksimal 0,001 mg/l, sedangkan air minum adalah air dengan konsentrasi fenol maksimal 0,002 mg/l.

Pada tahap klorinasi pada proses pengolahan air, fenol akan menimbulkan bau dan rasa tidak enak karena terbentuknya klorfenol. Fenol dengan konsentrasi yang tinggi akan menyebabkan keracunan pada ikan, terutama pada kulit, otot, insang, organ digestif, hati, limpa dan ginjal (Metelev *et al.*, 1983).

## F. SUMBER PENCEMARAN FENOL

Pencemaran fenol dapat berasal dari berbagai sumber. Hal ini sering berkaitan dengan fungsi atau kegunaan fenol. Fenol juga mempunyai sifat sebagai antiseptik, oleh karena itu banyak digunakan sebagai desinfektan, misalnya asam karbolat ( $C_6H_5OH$ ) yang paling banyak digunakan. Selain sebagai antiseptik, fenol juga digunakan dalam pembuatan bahan peledak serta obat-obatan (asam salisilat, salol, fenantren), pewarna, plastik (karbolit dan bekelit) serta resin (Metelev *et al.*, 1983). Air limbah berbagai kegiatan ini dapat menjadi sumber pencemaran fenol.

## G. DEGRADASI FENOL

Pada tahun-tahun belakangan ini banyak penelitian tentang masalah-masalah yang disebabkan oleh kehadiran hidrokarbon pada lingkungan perairan, terutama karena berat molekulnya yang tinggi dan strukturnya yang kompleks. Degradasi oleh aktifitas mikrobial dengan cepat memecah molekul, menjadi molekul dengan berat molekul lebih rendah (Gaudy dan Gaudy, 1981).

Menurut William dan Sayer (1994) urutan katabolisme substrat aromatik secara aerobik pada bakteri dapat dibagi dalam tiga bagian, yaitu:

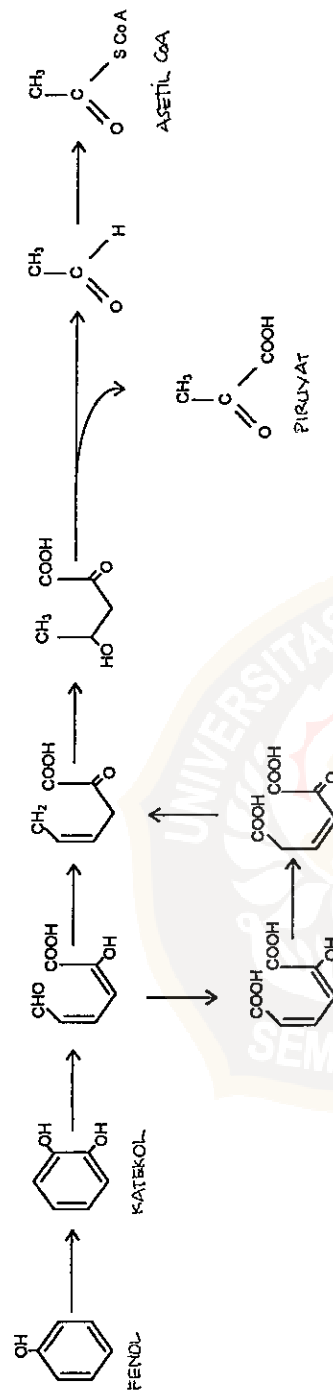
1. Pertama-tama substrat aromatik mengalami perubahan pada gugus hidroksilnya, menjadi dihidroksiaromatik. Dihidroksiaromatik yang terbentuk biasanya katekol (1,2-dihidroksibenzen) yang merupakan senyawa metabolit dalam katabolisme aerobik dari semua substrat aromatik.



2. Katekol selanjutnya dimanfaatkan sebagai substrat dalam katabolisme tahap kedua, yaitu pembukaan atau pemecahan cincin benzen dengan penambahan molekul oksigen pada satu ikatan karbon dengan karbon (C-C) pada cincin benzen tersebut menghasilkan asam alifatik jenuh.
3. Perubahan produk tahap kedua, yang meliputi penguraian cincin benzen yang sudah terbuka menjadi senyawa alifatik kecil yang dapat langsung memasuki metabolisme sentral.

Skema degradasi fenol terlihat pada Gambar 02.





**Gambar 02 : Tahapan Penguraian Fenol Menjadi Senyawa Alifatik Oleh Bakteri**  
 ( Williams dan Sayer, 1994 )