

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Bakteri *Bacillus firmus*

Menurut Safitri (2010), *Bacillus firmus* termasuk bakteri gram positif, memiliki ukuran panjang 3-4  $\mu\text{m}$  dan lebar 1,0  $\mu\text{m}$ . Bentuk koloni bulat dengan tepian keriput, membentuk spora dan bersifat motil. Menurut Shanaz (2008), *B. firmus* menghasilkan *extraselluler alkalin protease* yang berpotensi sebagai bioremediator. Spora *B. firmus* berbentuk oval dengan permukaan licin.

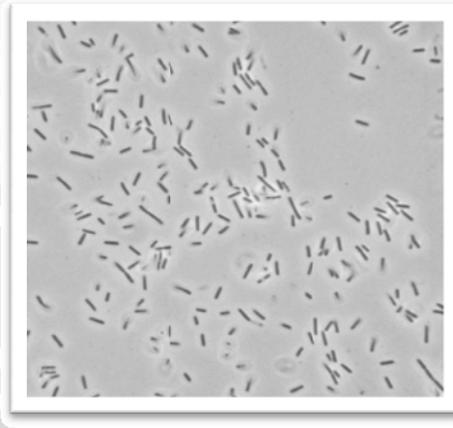
Adapun klasifikasi *Bacillus* spp (Anonymous, 2008<sup>b</sup>) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Bacteria
Filum	: Firmicutes
Kelas	: Bacilli
Order	: Bacillales
Famili	: Bacillaceae
Genus	: Bacillus
Spesies	: <i>Bacillus</i> spp

*B. firmus* (Gambar 2) merupakan bakteri gram positif, bakteri non patogenik, terdapat di alam bebas dan aman diaplikasikan. *B. firmus* merupakan bakteri nitrifikasi positif dapat tumbuh pada suhu maksimum 40-45<sup>o</sup>C dan pada suhu minimum 5-10<sup>o</sup>C. Media tumbuh *B. firmus* adalah *nutrient agar* (NA) dan *nutrient broth* (NB) (Shanaz, 2008).

Menurut Fajriana (2008), *Bacillus* spp. merupakan bakteri aerob dan anaerob fakultatif, banyak dari *Bacillus* dapat menurunkan polimer seperti protein, pati, dan pektin, sehingga bakteri ini merupakan penyumbang penting kepada siklus karbon dan nitrogen. Akan tetapi apabila terkontaminasi, dapat

menyebabkan pembusukan. Berdasarkan pewarnaan sel vegetatif didapatkan warna kemerahan dan warna endosporanya adalah hijau.



**Gambar 2. Bakteri *Bacillus firmus* (Anonymous, 2008<sup>b</sup>)**

Menurut Roza dan Zafran (1998), menyatakan bahwa peranan bakteri secara probiotik pada akuakultur adalah berkompetisi dengan patogen, menambah nutrisi dengan menyediakan nutrisi esensial, membantu pencernaan dengan memproduksi enzim esensial, menyerap bahan organik terlarut dan memproduksi substansi yang menghambat perkembangan patogen. Begitu juga menurut Shanaz (2008), bahwa *B. firmus* bukan termasuk bakteri yang bersifat patogen.

Species *Bacillus* sangat cocok untuk produksi enzim, kecuali *B. cereus* dan *B. anthracis*. Mikroba jenis *Bacillus* tidak menghasilkan toksin dan mudah ditumbuhkan. Kemampuan *Bacillus* untuk bertahan pada temperatur tinggi, tidak adanya hasil samping metabolik, dan kemampuannya untuk menghasilkan sejumlah besar protein ekstrasel membuat *Bacillus* merupakan organisme favorit untuk industri (Susanti, 2002).

## 2.2 Pertumbuhan Bakteri

Pertumbuhan merupakan proses bertambahnya ukuran atau substansi atau masa zat suatu organisme, pada organisme bersel satu pertumbuhan lebih

diartikan sebagai kemampuan untuk menghasilkan 2 sel. Sedangkan pertumbuhan koloni, yaitu penambahan jumlah koloni, ukuran koloni yang semakin besar atau substansi atau massa mikroba dalam koloni tersebut semakin banyak, pertumbuhan pada mikroba diartikan sebagai penambahan jumlah sel mikroba itu sendiri (Habibie, 2010).

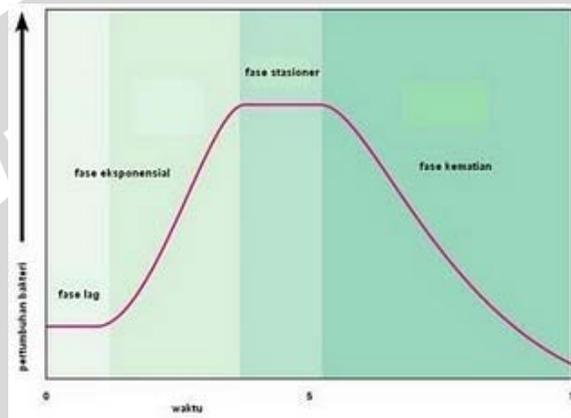
Menurut Fardiaz (2000), pertumbuhan dapat didefinisikan sebagai penambahan secara teratur semua komponen di dalam sel hidup. Pada organisme multiseluler, pertumbuhan diartikan sebagai peningkatan jumlah sel organisme dimana ukuran sel juga menjadi lebih besar. Sedangkan pada organisme uniseluler, pertumbuhan merupakan penambahan jumlah sel yang berarti juga penambahan jumlah organisme. Menurut Pirzada (2009), kebutuhan mikroorganisme untuk pertumbuhan dapat dibedakan menjadi dua kategori, yaitu kebutuhan fisik dan kebutuhan kimiawi atau kemas. Aspek-aspek fisik dapat mencakup suhu, pH dan tekanan osmotik. Sedangkan kebutuhan kemas meliputi air, sumber karbon, nitrogen, oksigen, mineral dan faktor penumbuh.

Menurut Pirzada (2009), pertumbuhan mikroba dalam suatu medium mengalami fase-fase yang berbeda dengan fase lag, fase eksponensial, fase stasioner dan fase kematian, dilihat pada Gambar 3 (Habibie, 2010).

Bakteri yang ditumbuhkan dalam media tertentu akan mengalami empat fase dalam pertumbuhannya (Prayogo, 2009), yaitu :

- Fase adaptasi (lag) adalah pada fase ini tidak ada penambahan populasi, sel bakteri melakukan penyesuaian diri terhadap keadaan lingkungan. Kurva pada fase ini umumnya mendatar.
- Fase logaritmik (eksponensial) adalah pada fase ini terjadi pertumbuhan yang sangat pesat, jumlah sel meningkat secara eksponensial, populasi menjadi dua kali lipat.

- Fase statis adalah pada fase ini populasi telah mencapai puncak pertumbuhan yang tidak dapat dilampaui lagi. Pengurangan sumber nutrisi serta penumpukan produk beracun menyebabkan beberapa sel mati, sedangkan jumlah sel hidup tetap. Biasanya bentuk kurva adalah mendatar.
- Fase penurunan (kematian) adalah sel yang mati bertambah lebih cepat dari yang terbentuk. Laju kematian semakin cepat menjadi eksponensial.



Gambar 3. Fase Pertumbuhan Bakteri (Habibie, 2010)

### 2.3 Limbah Organik Tambak

Salah satu penyebab penurunan kualitas lingkungan perairan tambak adalah buangan limbah air budidaya selama operasional yang mengandung konsentrasi tinggi dari limbah organik dan nutrisi sebagai konsekuensi dari masukan akuinput dalam budidaya udang yang menghasilkan sisa pakan dan feces yang terlarut ke dalam air untuk kemudian dibuang ke perairan sekitarnya (Rachmansyah, 2001).

Pada tambak semi-intensif dan tambak intensif sejalan dengan masa pemeliharaan jumlah bahan organik yang berasal dari kotoran sisa pakan dan jasad mati dapat terakumulasi di dasar tambak dari waktu ke waktu. Menumpuknya bahan organik secara berlebihan di dasar tambak (lumpur) akan

menurunkan daya dukung lingkungan tambak dan dapat mengakibatkan terbentuknya kondisi anaerob pada dasar tambak akibat aktivitas mikroorganisme, sehingga membahayakan kehidupan hewan-hewan makrobenthos dan udang yang hidup di dasar tambak. Bahan organik yang umumnya terdapat dalam tanah dasar tambak berkisar antara 0,18–7,2% dengan nilai rata-rata 1,4% (Isdarmawan, 2005).

Limbah hasil metabolisme dapat terbentuk menjadi dua, yaitu terlarut dan tersuspensi. Pada sebuah tambak yang dikelola dengan baik, kira-kira sebanyak 30% dari jumlah pakan yang digunakan akan menjadi limbah padat. Penguraian limbah akan menyebabkan larutnya nutrisi ke dalam air. Akumulasi limbah yang berlebihan diketahui sebagai penyebab penyakit pada operasional budidaya ikan (Novriadi, 2002).

### 2.3.1 Pembusukan Sisa Pakan

Pakan merupakan penghasil utama limbah organik di perairan. Penggunaan pakan menghasilkan limbah yang mengakibatkan turunnya kualitas lingkungan. Pakan yang digunakan dalam tambak udang menghasilkan limbah organik terutama nitrogen dan fosfor yang mencemari perairan. Limbah organik merupakan penyebab utama kegagalan budidaya tambak udang yang dialami hampir seluruh tambak di Indonesia. Serangan penyakit udang yang meluas di Indonesia terjadi beberapa tahun setelah maraknya penggunaan pakan tambahan dalam wajah baru tambak udang modern. Virus bercak putih (*white spot virus*) muncul pada tambak setelah maraknya pembukaan tambak intensif di Indonesia. Udang dipaksakan hidup berdesakan dalam tambak dengan lingkungan yang tercemar karena penggunaan pakan dalam jumlah besar dan obat-obatan (Libriyanto, 2008).

Kualitas air cepat mengalami penurunan bila sisa pakan yang terimbun sangat besar. Bila penimbunan pakan di dasar tambak tidak segera diantisipasi, maka sebagian bahan organik akan terjadi proses dekomposisi. Dalam proses dekomposisi akan membutuhkan sejumlah besar oksigen. Kebutuhan ini semakin besar dengan makin meningkatnya kandungan limbah dari bahan organik tersebut. Kualitas air yang buruk akibat tertimbunnya sisa pakan di dasar tambak merupakan kondisi yang “baik” untuk berkembangnya penyakit. Bila tidak ada upaya untuk mempercepat dekomposisi sisa pakan atau mengeluarkan dari tambak/kolam, maka mudah sekali udang terserang penyakit (Kordi, 2010).

Menurut *The World Shrimp Farming* dalam Libriyanto (2008), menghitung hanya 25% dari total pakan yang diberikan menghasilkan biomassa (daging) udang yang dipanen. Diperkirakan sebanyak 77% nitrogen dan 85% fosfor dalam pakan udang yang terbuang (larut dalam air). Limbah organik yang terbuang ini dapat menyebabkan ledakan plankton (bloom) dan masalah kekurangan oksigen pada perairan. Peristiwa ini dikenal sebagai pembusukan di perairan. Pada saat digenangi air, bahan organik tersebut akan terurai pada kondisi anaerob sehingga dapat menghasilkan gas beracun seperti  $H_2S$  dan  $NH_4$  yang sangat membahayakan kehidupan udang maupun organisme lainnya di perairan.

Sebagian besar akibat yang dapat ditimbulkan adalah ekskresi bahan organik bernitrogen (baik yang berasal dari faeces maupun metabolisme) maupun pakan yang tidak termakan dalam jumlah yang besar. Sebagai gambaran dapat dijelaskan dengan menggunakan pendekatan nilai ‘food conversion ratio’ (FCR). FCR merupakan nilai perbandingan yang menggambarkan berapa bobot pakan yang diberikan dan masuk ke dalam tambak guna mencapai satuan bobot udang saat panen. Jadi, bilamana diasumsikan bahwa nilai FCR adalah 1,5–2,0, maka berarti bahwa untuk mencapai 1 kg bobot (basah) udang diperlukan pakan (kering) sebanyak 1,5–2,0

kg. Dengan demikian terdapat buangan yang setara dengan bobot pakan (kering) sebesar 0,5-1,0 kg yang tertinggal di lingkungan untuk setiap 1 kg udang yang dihasilkan. Nilai ini akan meningkat hingga 6 kali lipat atau lebih bilamana perhitungan didasarkan pada konversi bobot pakan basah ke bobot udang basah, yaitu sekitar 3,0-6,0 kg atau lebih yang berupa limbah buangan. Bila rata-rata produksi udang sebesar 10 ton/ha/tahun, maka potensi limbah buangan dari tambak tersebut adalah sebesar 30-60 ton/ha/tahun (Isdarmawan, 2005).

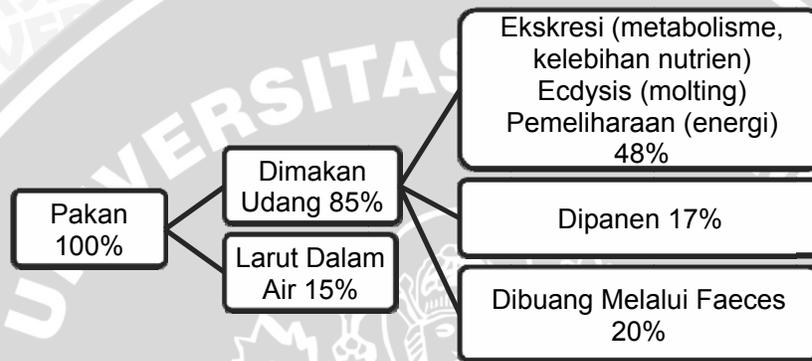
### 2.3.2 Padat Penebaran Benih Tinggi

Daya dukung atau mutu lingkungan berpengaruh nyata pada kehidupan biota budidaya yang ditujukan pada kesehatan, pertumbuhan, dan kelangsungan hidup. Kondisi berjejal di dalam tambak yang ditimbulkan oleh padat penebaran tinggi, berpengaruh nyata dengan penurunan kualitas air. Semakin tinggi padat penebaran maka semakin mempercepat penurunan kualitas air, karena selain banyaknya sisa metabolisme biota, juga tertibunnya sisa pakan di tambak, dan jumlah oksigen semakin menurun sejalan dengan kebutuhan konsumsi oksigen karena padatnya biota di dalam tambak (Libriyanto, 2008).

Penyakit udang di tambak terkait dengan kondisi fisik udang yang dipelihara dan mutu lingkungan. Pada tambak udang pola intensif (padat penebaran tinggi), udang dipaksakan untuk hidup berjejal di dalam kolam tambak. Dalam kondisi demikian, udang yang dipelihara mengalami tekanan (stress) dan daya tahan hidup menurun. Pada saat yang bersamaan, tingkat penimbunan limbah meningkat. Penguraian limbah ini oleh bakteri pengurai membutuhkan oksigen. Udang pun harus bersaing memperebutkan oksigen yang terbatas tersebut. Situasi ini meningkatkan resiko udang mengalami kematian (Libriyanto, 2008).

### 2.3.3 Pembusukan Kotoran Udang

Menurut Libriyanto (2008), hanya 16% dari total pakan udang yang diubah menjadi biomassa udang, sebagian besar sisanya menjadi limbah organik sebagai pakan yang tidak dikonsumsi (larut dalam air), kotoran ikan, ekskresi, dan lainnya. Prosentase pakan yang dimanfaatkan udang dan yang terbuang diuraikan pada Gambar 4 di bawah ini.



**Gambar 4. Prosentase Pakan yang Dimanfaatkan dan yang Terbuang Pada Tambak Udang (Libriyanto, 2008)**

Konsentrasi bahan organik tertinggi di sedimen terdapat pada lapisan teratas hingga kedalaman 5 cm. Umumnya bahan organik pada lapisan ini masih baru dan peka terhadap dekomposisi cepat oleh mikroorganisme. Bahan organik pada lapisan yang lebih dalam dan tanah dasar tambak umumnya lebih tua dan sebagian sudah terdekomposisi, sehingga bahan organik di lapisan ini akan terurai lebih lambat (Agus, 2008).

Dampak negatif limbah organik menurut Supono (2008) antara lain sebagai berikut:

- Dapat mengotori dasar tambak atau mempersempit *feeding area*
- Proses penguraian limbah organik membutuhkan oksigen
- Bahan organik menghasilkan gas-gas beracun seperti  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{NO}_2$
- Menyuburkan plankton yang merugikan seperti blue green algae (BGA)

- Merangsang berkembangnya organisme patogen seperti jamur, protozoa dan vibrio

Salah satu upaya dalam mengurangi limbah organik di perairan yaitu dengan cara biodegradasi. Menurut Supono (2008), pengolahan limbah secara biodegradasi ini merupakan penguraian/perombakan secara biologis limbah dalam tambak menjadi senyawa-senyawa yang tidak berbahaya bagi udang dan tidak menyebabkan turunnya kualitas air. Biodegradasi ini ditentukan oleh faktor biotik (komposisi dan sifat bakteri) dan faktor abiotik (fisika dan kimia air, serta bahan/komposisi limbah).

Menurut Afrianto (2009), pengolahan limbah secara biologis dilakukan dengan menggunakan tanaman dan mikroba. Jenis tanaman yang digunakan dapat berupa eceng gondok, *duckweed*, dan kiambang. Jenis mikroba yang digunakan adalah bakteri, jamur, protozoa dan ganggang. Pemilihan jenis mikroba yang digunakan tergantung dari jenis limbah. Bakteri merupakan mikroba yang paling sering digunakan pada pengolahan limbah secara biologis. Bakteri yang digunakan bersifat kemoheterotrof dan kemoautotrof. Bakteri kemoheterotrof memanfaatkan bahan organik sebagai sumber energi, sedangkan bakteri kemoautotrof memanfaatkan bahan anorganik sebagai sumber energi.

Mikroorganisme mempunyai kemampuan dalam memecah atau menguraikan rantai panjang karbohidrat, protein dan lemak yang menyusun pakan yang diberikan. Kemampuan ini diperoleh karena adanya enzim-enzim khusus yang dimiliki oleh mikroba untuk memecah ikatan tersebut (Feliatra, *et al.*, 2004). Menurut Prayogo (2009), dalam pendegradasian bahan organik tersebut diperlukan adanya bakteri dari golongan bakteri proteolitik, bakteri lipolitik dan bakteri amilolitik.

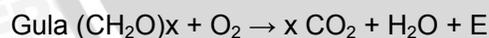
### 2.3.4 Proses Perombakan Bahan Organik

#### a. Dekomposisi Aerob

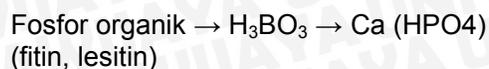
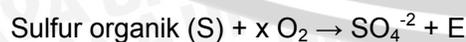
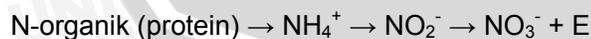
Di daerah dengan konsentrasi oksigen cukup, bahan organik diasimilasi dengan suspensi atau didekomposisi oleh bakteri heterotrofik aerob (dekomposer). Dekomposer merupakan bagian dari makanan *deposit feeder*. Detritivor penggali (*polychaeta*) mengaduk sedimen (*bioturbasi*) dan menyebabkan oksigenasi. Kebanyakan produk yang dapat larut oleh mikroba terdifusi ke atas di dalam air pore ke sedimen/air interfase dan dikembalikan ke kolom air (Simarmata, 2007).

Pada dekomposisi aerob, mikroorganisme aerob, mengkonversi bahan organik yang tersedia menjadi komponen inorganik, karbondioksida, nitrat, sulfat, dan fosfat, dan mengurangi oksigen di perairan. Pada kondisi tertentu aktivitas bakteri aerob obligat *Actinomycetes* dan beberapa species (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Corynebacterium* dan *Flavobacterium*) sangat terbatas (Gunnison, *et al.*, 1985).

Menurut Saraswati, *et al.*, (2011), penguraian aerob merupakan proses penguraian bahan organik dengan menggunakan oksigen. Hasil akhir dari penguraian aerob merupakan produk metabolisme biologi berupa CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, unsur hara dan sebagian humus. Reaksi yang terjadi pada perombakan sistem aerob:



(Selulosa, heiselulosa)



Reaksi utuh:

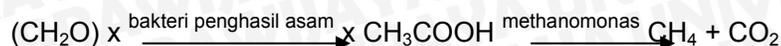


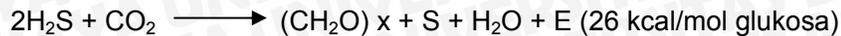
### b. Dekomposisi Anaerob

Agen oksidasi degradasi anaerob cenderung digunakan karena berkurangnya energi yang kembali. Beberapa bakteri (*Clostridium*, anaerob obligat, *Bacillus*, anaerob fakultatif) memecah komponen makromolekular detritus menjadi molekul yang lebih sederhana dengan hidrolisis dan proses fermentasi. Produk ini adalah substrat untuk bakteri anaerob yang menyempurnakan mineralisasi bahan organik. Jenis yang paling penting adalah bakteri pereduksi nitrat, pereduksi sulfat dan methanogen (penghasil metan) (Simarmata, 2007).

Langkah awal proses reduksi nitrat yaitu reduksi  $\text{NO}_3^-$  menjadi  $\text{NO}_2^-$ , oleh berbagai bakteri termasuk *Bacillus*, *Clostridium*, dan *Pseudomonas*. Kemampuan reduksi nitrat komplit menjadi  $\text{N}_2\text{O}$  dan  $\text{N}_2$  juga dimiliki oleh heterotrof sampai autotrof contoh *Alcaligenes*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Chromobacterium*, *Corynebacterium*, *Paracoccus*, *Hyphomicrobium*, *Hydrogenomonas*, *Pseudomonas* dan *Thiobacillus* (Gunnison, et al., 1985). Reduksi nitrat (denitrifikasi) umumnya dengan cepat diikuti deplesi oksigen dan hasilnya yaitu  $\text{CO}_2$ , air dan nitrogen (melalui nitrit). Pereduksi nitrat (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Thiobacillus denitrificans*) adalah anaerob fakultatif dan menggunakan oksigen jika suplainya cukup (Simarmata, 2007).

Menurut Saraswati, et al., (2011), penguraian anaerob merupakan proses penguraian bahan organik tanpa menggunakan oksigen. Hasil akhir dari penguraian anaerob terutama berupa  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$  serta sejumlah hasil antara timbul bau busuk karena adanya  $\text{H}_2\text{S}$  dan sulfur organik. Reaksi yang terjadi pada perombakan sistem anaerob, adalah sebagai berikut:





## 2.4 Bioremediasi

Menurut Fahmi (2008), bioremediasi didefinisikan sebagai proses penguraian limbah organik/anorganik polutan secara biologi dalam kondisi terkendali dengan tujuan mengontrol, mereduksi atau bahkan mereduksi bahan pencemar dari lingkungan. Penguraian senyawa kontaminan ini umumnya melibatkan mikroorganisme (khamir, fungi, dan bakteri).

Bioremediasi merupakan bagian dari bioteknologi lingkungan yang memanfaatkan proses alami biodegradasi dengan menggunakan aktivitas mikroorganisme yang dapat memulihkan tanah, air dan sedimen dari kontaminasi terutama senyawa organik. Ide yang mendasari bioremediasi adalah semua mikroorganisme mampu mengonsumsi substrat dari alam untuk pertumbuhan dan metabolismenya. Bakteri, protista dan jamur sangat baik digunakan untuk mendegradasi molekul kompleks dengan memasukkan bahan tersebut ke dalam metabolismenya. Kemampuan untuk mendegradasi tergantung pada enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme (Herdiyantoro, 2005).

Menurut Fahmi (2008), proses bioremediasi yang melibatkan mikroba terbagi menjadi 3 macam yaitu:

- Bioaugmentasi, merupakan suatu bioteknologi untuk meningkatkan produksi akuakultur dan pelestarian lingkungannya. Hal ini disebabkan oleh timbulnya masalah yang sering dihadapi dalam sistem akuakultur yaitu terjadinya penurunan kualitas air yang meliputi, oksigen terlarut, ammonia, nitrit dan lain-lain. Bioaugmentasi merupakan sumbangan bioteknologi dalam bidang akuakultur, yaitu suatu pemberian bakteri nitrifikasi dan bakteri pemecah limbah organik ke dalam badan air.

- Biostimulasi, yaitu suatu proses yang dilakukan melalui penambahan zat gizi tertentu yang dibutuhkan oleh mikroorganisme atau menstimulasi kondisi lingkungan sedemikian rupa (misalnya pemberian aerasi) agar mikroorganisme tumbuh dan beraktivitas lebih baik.
- Bioremediasi intrinsik, yaitu proses bioremediasi tanpa campur tangan manusia.

Secara ekonomi dan fungsi, penggunaan teknik bioremediasi harus dapat berkompetisi dengan teknologi remediasi lainnya, seperti pembakaran (insinerasi) atau perlakuan kimia. Karena teknik bioremediasi ini dianggap lebih mudah, cepat, murah dan efisien, dengan hanya memanfaatkan organisme dalam mendegradasi toksikan. Maka kemudian kita dapat memanfaatkan potensi dari mikroorganisme tersebut untuk mendegradasi bahan pencemar yang terdapat pada lingkungan, sehingga lama kelamaan dengan sendirinya kualitas dan fungsi lingkungan akan kembali pada kondisi normal (Fahmi, 2008).

Bioremediator yang baik harus mengandung mikroba yang mampu membersihkan limbah berkarbon secara efektif dari air. Anggota genus *Bacillus*, seperti *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. cereus*, *B. coagulans* dan dari genus *Phenibacillus*, seperti *P. polymyxa* merupakan contoh untuk bioremediasi detritus organik (Anthony dan Philip, 2006). *B. firmus* menghasilkan extraselluler alkalin protease yang berpotensi sebagai bioremediator (Shanaz, 2008). Menurut Anthony dan Philip (2006), jika strain *Bacillus* tertentu ditambahkan ke air dalam jumlah yang cukup maka dapat berpengaruh. Bakteri ini akan bersaing dengan bakteri flora jika tersedia bahan organik, seperti sisa pakan dan feces udang.

Upaya untuk menurunkan kandungan bahan organik kompleks dalam limbah cair telah banyak dilakukan cara aerob maupun anaerob. Proses aerob berarti bahwa penguraian bahan organik dilakukan oleh bakteri yang dalam aktivitasnya memerlukan kehadiran oksigen ( $O_2$ ). Sebaliknya, proses anaerob

berarti dilakukan oleh bakteri yang aktivitasnya tidak memerlukan oksigen (Husin, 2008).

## **2.5 Parameter Kualitas Air**

### **2.5.1 Ammonia**

Menurut Libes (1992), ammonia merupakan salah satu konstituen dari kimia air laut (asin) sampai dengan tawar sebagaimana merupakan representasi di perairan tambak. Sebagai bagian dari unsur nitrogen maka keberadaannya sebagian besar dikontrol oleh reaksi-reaksi reduksi-oksidasi (redoks) yang lewat perantaraan fitoplankton dan bakteri. Akibatnya, nitrogen yang terdapat di air laut dan sedimen termasuk tambak banyak dalam keadaan oksidasi.

Ammonia ini sebenarnya merupakan unsur yang disukai oleh fitoplankton khususnya dalam bentuk ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Dalam bentuk ammonia bebas sendiri unsur ini sangat dihindari ketersediaannya di air oleh biota akuatik karena sifat toksiknya. Oleh sebab itu, keberadaannya pada kondisi alami akan dioksidasi menjadi nitrat yang tidak bersifat toksik. Proses ini akan berlangsung apabila ditemukan ketersediaan oksigen yang mencukupi (Isdarmawan, 2005).

### **2.5.2 Nitrat dan Nitrit**

Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) adalah ion-ion anorganik alami, yang merupakan bagian dari siklus nitrogen. Aktifitas mikroba di tanah atau air menguraikan sampah yang mengandung nitrogen organik pertama-pertama menjadi ammonia, kemudian dioksidasikan menjadi nitrit dan nitrat. Oleh karena nitrit dapat dengan mudah dioksidasikan menjadi nitrat, maka nitrat adalah senyawa yang paling sering ditemukan di dalam air bawah tanah maupun air yang terdapat di permukaan. Pencemaran oleh pupuk nitrogen, termasuk ammonia anhidrat seperti juga sampah organik hewan maupun manusia, dapat

meningkatkan kadar nitrat di dalam air. Senyawa yang mengandung nitrat di dalam tanah biasanya larut dan dengan mudah bermigrasi dengan air bawah tanah (Thompson, 2004).

Nitrat dibentuk dari asam nitrit yang berasal dari ammonia melalui proses oksidasi katalitik. Nitrit juga merupakan hasil metabolisme dari siklus nitrogen. Bentuk pertengahan dari nitrifikasi dan denitrifikasi. Nitrat dan nitrit adalah komponen yang mengandung nitrogen berikatan dengan atom oksigen, nitrat mengikat tiga atom oksigen sedangkan nitrit mengikat dua atom oksigen. Di alam, nitrat sudah diubah menjadi bentuk nitrit atau bentuk lainnya (Ruse, 1999).

Menurut Effendi (2003), nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi ammonia menjadi nitrit. Nitrat adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung pada kondisi aerob. Oksidasi ammonia menjadi nitrit dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas*, sedangkan oksidasi nitrit menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri *Nitrobacter*. Kedua jenis bakteri tersebut merupakan bakteri kemotrofik, yaitu bakteri yang yang mendapatkan energi dari proses kimiawi. Oksidasi nitrat menjadi ammonia ditunjukkan dalam persamaan berikut (a). Sedangkan oksidasi nitrit menjadi nitrat ditunjukkan dalam persamaan (b).



Pada kondisi yang normal, baik nitrit maupun nitrat adalah komponen yang stabil, tetapi dalam suhu yang tinggi akan tidak stabil dan dapat meledak pada suhu yang sangat tinggi dan tekanan yang sangat besar. Biasanya, adanya ion klorida, bahan metal tertentu dan bahan organik akan mengakibatkan nitrat dan nitrit menjadi tidak stabil. Jika terjadi kebakaran, maka tempat penyimpanan nitrit maupun nitrat sangat berbahaya untuk didekati karena dapat terbentuk gas

beracun dan bila terbakar dapat menimbulkan ledakan. Bentuk garam dari nitrat dan nitrit tidak berwarna dan tidak berbau serta tidak berasa. Bersifat higroskopis (Ruse, 1999).

### 2.5.3 Total Bahan Organik

Pada tambak semi-intensif dan tambak intensif sejalan dengan masa pemeliharaan jumlah bahan organik yang berasal dari kotoran sisa pakan dan jasad mati dapat terakumulasi di dasar tambak dari waktu ke waktu. Menumpuknya bahan organik secara berlebihan di dasar tambak (lumpur) akan menurunkan daya dukung lingkungan tambak dan dapat mengakibatkan terbentuknya kondisi an aerob pada dasar tambak akibat aktivitas mikroorganisme, sehingga membahayakan kehidupan hewan-hewan makrobenthos dan udang yang hidup di dasar tambak. Bahan organik yang umumnya terdapat dalam tanah dasar tambak berkisar antara 0,18–7,2% dengan nilai rata-rata 1,4% (Isdarmawan, 2005).

Menurut Effendi (2003), penentuan masing-masing organik tersebut cukup sulit karena sangat kompleks. Oleh karena itu, ditentukan kandungan total bahan organik atau TOC (*Total Organic Carbon*). Karbon yang merupakan penyusun utama bahan organik merupakan elemen/unsur yang melimpah pada semua makhluk hidup.

Menurut Boyd (1986), faktor-faktor yang mempengaruhi proses dekomposisi dari bahan organik dalam tanah dasar tambak selain keberadaan mikroorganisme juga adalah :

- a. Komposisi bahan organik, suhu, pH, supply hara, supply oksigen, kelembaban tanah dan waktu

- b. Penggunaan air tanah yang berlebihan pada kawasan pertambakan udang juga akan meningkatkan intrusi bahan organik dari dasar tanah tambak ke dalam lapisan tanah jauh di bawah tanah dasar tambak.

#### 2.5.4 Oksigen Terlarut

Menurut Kordi (2010), dilihat dari jumlahnya, oksigen terlarut adalah satu jenis gas terlarut dalam air dengan jumlah yang sangat banyak, yaitu menempati urutan kedua setelah nitrogen. Namun dilihat dari segi kepentingan untuk budidaya perairan, termasuk udang, oksigen menempati urutan teratas. Rendahnya kadar oksigen dapat berpengaruh terhadap fungsi biologis dan lambatnya pertumbuhan, bahkan dapat mengakibatkan kematian. Di tambak, oksigen juga berfungsi sebagai pengoksidasi bahan organik yang ada di dasar tambak. Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk pernafasan udang tergantung ukuran, suhu dan tingkat aktivitasnya dan batas minimumnya adalah 3 ppm atau 3 mg/l.

Oksigen sangat diperlukan oleh bakteri untuk dapat menguraikan buangan sisa pakan dan nitrogen menjadi senyawa yang bermanfaat. Namun pada kondisi oksigen yang terbatas, bakteri pengurai akan menghasilkan senyawa pengurai seperti ammonia dan nitrit yang bersifat racun buat ikan dan udang (Hakim, 2008).

Di tambak, oksigen berfungsi sebagai pengoksidasi bahan organik yang ada di dasar tambak. Batas minimum kandungan oksigen di tambak yaitu 3 ppm atau 3 mg/l. Kandungan oksigen di dalam air yang dianggap optimum bagi budidaya udang adalah 5-10 ppm. Laju respirasi terlihat tetap pada batas kelarutan oksigen 3-4 ppm pada suhu 20-30°C (Kordi, 2010).

### 2.5.5 *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Menurut Hakim (2008), oksigen sangat diperlukan oleh bakteri untuk dapat menguraikan buangan sisa pakan dan nitrogen menjadi senyawa yang bermanfaat. Namun pada kondisi oksigen yang terbatas, bakteri pengurai akan menghasilkan senyawa pengurai seperti ammonia dan nitrit yang bersifat racun buat ikan dan udang.

Di tambak, oksigen berfungsi sebagai pengoksidasi bahan organik yang ada di dasar tambak. Batas minimum kandungan oksigen di tambak yaitu 3 ppm atau 3 mg/l. Kandungan oksigen di dalam air yang dianggap optimum bagi budidaya udang adalah 5-10 ppm. Laju respirasi terlihat tetap pada batas kelarutan oksigen 3-4 ppm pada suhu 20-30°C (Kordi, 2010).

Kandungan DO dalam perairan tambak sangat berpengaruh terhadap fisiologi udang. Kadar oksigen merupakan faktor lingkungan yang terpenting pada tambak udang. Apabila terjadi penurunan kandungan oksigen terlarut dalam air (merupakan variabel kualitas air pembatas utama dalam budidaya), akan mengakibatkan biota/kultivan stress dan mudah terserang penyakit dan memiliki pertumbuhan yang lambat, laju konsumsi pakan dan kelulusan kehidupan yang rendah (Boyd, 1986). Dalam perairan berkadar oksigen 1,0 mg/l udang akan berhenti makan, tidak menunjukkan perbedaan laju konsumsi pakan pada konsentrasi 1,5 mg/l, tidak tumbuh pada 1,0-1,4 mg/l, memiliki pertumbuhan terbatas di bawah 5 mg/l dan normal pada konsentrasi di atas 5 mg/l. Dengan demikian DO harus dipertahankan di atas 2,0 mg/l (Isdarmawan, 2005).

BOD atau *Biological Oxygen Demand* adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerob (Hariyadi, 2004). BOD merupakan gambaran kadar bahan organik

yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbondioksida dan air (Effendi, 2003).

Kebutuhan BOD didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang diperlukan oleh organisme pada saat pemecahan bahan organik pada kondisi aerob. Pemecahan bahan organik diartikan bahwa bahan organik ini digunakan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh dari proses oksidasi (Salmin, 2005).

Waktu yang diperlukan untuk proses oksidasi bahan organik secara sempurna menjadi karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) adalah tidak terbatas. Penghitungan nilai BOD biasanya dilakukan pada hari ke 5 karena pada saat itu persentase reaksi cukup besar, yaitu 70-80% dari nilai BOD total (Salmin, 2005).

#### **2.5.6 Suhu**

Suhu merupakan salah satu faktor pengendali kecepatan reaksi biokimia karena dapat menentukan laju metabolisme udang dan organisme periaran lainnya melalui perubahan aktivitas molekul yang terkait (Isdarmawan, 2005). Beberapa jenis mikroorganisme dapat hidup pada daerah temperatur yang luas sedangkan jenis lainnya hidup pada daerah yang terbatas. Pada umumnya batas daerah temperatur bagi kehidupan mikroorganisme terletak diantara  $0^\circ\text{C}$  dan  $90^\circ\text{C}$ , sehingga untuk masing-masing mikroorganisme dikenal nilai temperatur minimum, optimum, dan maksimum (Suriawiria, 1993).

Suhu yang rendah akan mengakibatkan sistem metabolisme menjadi lebih rendah sebaliknya pada suhu tinggi akan memacu metabolisme menjadi lebih cepat. Pada banyak kasus, keberhasilan budidaya udang terjadi pada kisaran suhu perairan  $20^\circ\text{--}30^\circ\text{C}$  dan suhu yang ideal untuk air tambak berkisar antara  $28^\circ\text{--}32^\circ\text{C}$  (Isdarmawan, 2005).

Suhu sangat berkaitan erat dengan konsentrasi oksigen terlarut dalam air dan konsumsi oksigen hewan air. Suhu berbanding terbalik dengan konsentrasi jenuh oksigen terlarut, tetapi berbanding lurus dengan laju konsumsi oksigen hewan air dan laju reaksi kimia dalam air (Kordi, 2010).

Menurut Budiyanto (2010), masing-masing mikroba memerlukan suhu tertentu untuk hidupnya. Suhu pertumbuhan suatu mikroba dapat di bedakan dalam suhu minimum, optimum dan maksimum. Berdasarkan atas perbedaan suhu pertumbuhannya, dapat dibedakan mikroba yang psikrofil (0-30°C), mesofil (25-40°C), dan termofil (50°C atau lebih).

### **2.5.7 Derajat Keasaman (pH)**

pH didefinisikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen  $[H^+]$  yang mempunyai skala antara 0 sampai 14. pH mengindikasikan apakah air tersebut netral, basa atau asam. Air dengan pH dibawah 7 termasuk asam dan diatas 7 termasuk basa. pH merupakan variabel kualitas air yang dinamis dan berfluktuasi sepanjang hari. Pada perairan umum yang tidak dipengaruhi aktivitas biologis yang tinggi, nilai pH jarang mencapai diatas 8,5, tetapi pada tambak ikan atau udang, pH air dapat mencapai 9 atau lebih (Supono, 2008).

Kebanyakan mikroorganisme tumbuh baik pada pH sekitar 7,0 (6,6-7,5) dan hanya beberapa yang dapat tumbuh di bawah pH 4,0. bakteri mempunyai kisaran pH pertumbuhan yang lebih sempit dibandingkan dengan kapang dan khamir. Sebagai contoh, kebanyakan bakteri tidak dapat tumbuh pada pH dibawah 4 dan di atas 8, sedangkan kapang mempunyai kisaran pH pertumbuhan 1,5 sampai 8-8,5 (Fardiaz, 2000).

Menurut Budiyanto (2010), berdasarkan atas perbedaan daerah pH untuk pertumbuhannya, dapat dibedakan mikroba yang asidofil, mesofil (neutrofil) dan alkalofil. pH optimum pertumbuhan bagi kebanyakan bakteri antara 6,5 dan 7,5,

namun beberapa spesies dapat tumbuh dalam keadaan sangat masam atau sangat alkali. Bila bakteri dikultivasi di dalam suatu medium yang mula-mula disesuaikan pHnya misal 7, maka mungkin pH ini akan berubah sebagai akibat adanya senyawa-senyawa asam atau basa yang dihasilkan selama pertumbuhannya. Pergeseran pH ini dapat sedemikian besar sehingga menghambat pertumbuhan seterusnya organisme itu.

### 2.5.8 Salinitas

Salinitas dapat didefinisikan sebagai total konsentrasi ion-ion terlarut dalam air. Dalam budidaya perairan, salinitas dinyatakan dalam permil ( $^{\circ}/_{\infty}$ ) atau ppt (gram/liter). Tujuh ion utama yaitu sodium, potasium, kalium, magnesium, klorida, sulfat dan bikarbonat mempunyai kontribusi besar terhadap besarnya salinitas, sedangkan yang lain dianggap kecil (Boyd, 1986).

Menurut Davis, *et al.* (2004), salinitas suatu perairan dapat ditentukan dengan menghitung jumlah kadar klor yang ada dalam suatu sampel (klorinitas). Sebagian besar petambak membudidayakan udang dalam air payau (15-30 ppt). Meskipun demikian, udang laut mampu hidup pada salinitas dibawah 2 ppt dan di atas 40 ppt.