

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Biologi Bakteri *Bacillus* sp.

Menurut Madigan (2005) klasifikasi *Bacillus* sp. adalah sebagai berikut :

Kingdom	: Bacteria
Phylum	: Firmicutes
Class	: Bacilli
Order	: Bacillales
Family	: Bacillaceae
Genus	: <i>Bacillus</i>
Species	: <i>Bacillus</i> sp.

Bacillus sp. merupakan bakteri berbentuk batang, dengan ukuran 0,3 – 2,2 μm x 127 – 7,0 μm . Sebagian besar *Bacillus* sp. bersifat motil, bergerak dengan flagelum lateral yang khas. Dalam keadaan lingkungan yang tidak mendukung biasanya bakteri ini membentuk endospora. Bakteri ini merupakan bakteri gram positif, dengan sifat kemoheterotrof.

Kemoheterotrof adalah organisme yang memperoleh sumber energinya dari senyawa kimia, sedangkan sumber nutrisi untuk metabolismenya berasal dari bahan organik. Jalur metabolisme *Bacillus* sp. adalah melalui respirasi aerob, dimana proses perombakan bahan organik menjadi ATP

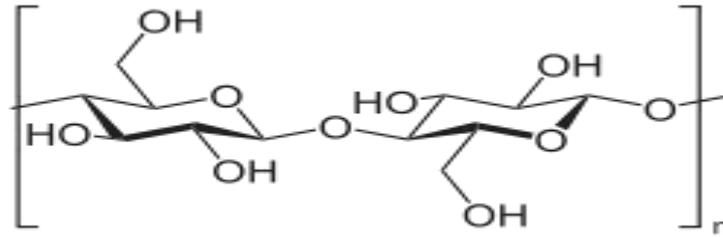
dibantu oleh adanya oksigen (Pelczar dan Chan, 2005). Morfologi bakteri *Bacillus* sp dengan pewarnaan spora dapat dilihat pada Gambar. 1



Gambar 2. Morfologi *Bacillus* spp dengan pewarnaan spora.
(Foto. Gutierrez-Jimenez ASM MicrobeLibrary.org)

B. Selulosa

Selulosa merupakan senyawa organik yang paling melimpah di bumi. Selulosa banyak ditemukan pada daun kering, kayu, dan kapas. Selulosa adalah bahan pembentuk komponen serat penyusun dinding sel tumbuhan. Molekul selulosa tersusun oleh rantai – rantai D-glukosa yang terikat satu sama lain oleh ikatan hidrogen. Disakarida yang diperoleh dari hidrolisis selulosa adalah selobiosa yang kemudian harus dihidrolisis lagi untuk mendapatkan monosakarida. Proses hidolisis dapat dilakukan dengan menggunakan katalis asam atau dapat juga dengan menggunakan enzim (Fessenden dan Fessenden, 1982).



Gambar 3. Struktur kimia selulosa (Fessenden dan Fessenden, 1982).

C. Enzim Selulase

Enzim adalah molekul protein yang berfungsi sebagai biokatalisator dalam reaksi kimia tanpa mengalami perubahan bentuk pada suatu siklus reaksi. Enzim mempunyai ciri – ciri sebagai berikut: bersifat spesifik, tanggap terhadap lingkungan, mempercepat terjadinya reaksi, dapat digunakan terus menerus selama reaksi berlangsung, tidak mengganggu keseimbangan reaksi, dan memberi efek yang besar terhadap reaksi yang dikatalis. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi aktivitas enzim, yaitu: pH medium, suhu, konsentrasi substrat, konsentrasi enzim, dan inhibitor. Enzim biasanya bekerja optimum pada pH 6-8. Beberapa enzim walaupun berasal dari organisme dalam satu spesies memiliki respon yang berbeda terhadap suhu. Senyawa logam yang bersifat racun (ion Pb^+ , Ag^+ , Hg^{++}) juga dapat menghambat kerja enzim (Salisbury dan Ross, 1995).

Enzim selulase merupakan enzim yang berperan dalam degradasi materi selulosa pada serat tumbuhan sehingga menjadi gula sederhana (Wahyuningtyas dkk., 2013). Enzim selulase dapat diproduksi dari mikroba selulolitik baik kapang maupun bakteri. Kapang selulolitik yang biasa digunakan dari jenis *Trichoderma*, *Aspergillus*, dan *Penicillium*. Sedangkan

bakteri yang bisa menghasilkan selulase adalah *Pseudomonas* sp., *Cellulomonas* sp., *Bacillus* sp., *Micrococcus* sp., *Cellovibrio* sp., dan *Sporosphytophaga* sp. (Lynd *et al.*, 2002).

Mikroorganisme tertentu dapat menghasilkan partikel yang disebut selulosom. Partikel selulosom merupakan kumpulan molekul enzim yang akan terdisintegrasi menjadi enzim-enzim. Enzim – enzim ini kemudian bergabung menghasilkan kerjasama yang sinergis untuk mendegradasi selulosa. Dengan demikian enzim selulase tidak hanya terdiri dari satu struktur molekul enzim, akan tetapi merupakan kumpulan dari beberapa molekul enzim yang bekerja bersama untuk hidrolisis selulosa (Belitz dkk., 2008). Beberapa kompleks enzim selulase yang mendegradasi selulosa antara lain: endo-1,4- β -D-glucanase (endoselulase, carboxymethylcellulase atau CMCCase), exo-1,4- β -D-glucanase (cellobiohydrolase) dan β -glucosidase (cellobiase) (Ikram *et al.*, 2005).

Enzim selulase memiliki banyak manfaat dalam kehidupan. Manfaat selulase antara lain untuk proses *deinking* kertas yaitu pengolahan kembali limbah kertas bekas yang kemudian digunakan sebagai bahan baku pembuatan kertas baru (Rismijana dkk., 2003). Enzim selulase juga sering digunakan untuk pembuatan pupuk organik yang berasal dari limbah pertanian seperti: jerami padi, sekam padi, dan batang jagung. Limbah pertanian mengandung banyak selulosa sehingga sulit untuk terdegradasi secara alami dan membutuhkan waktu yang cukup lama sehingga untuk mempercepat proses degradasinya dibutuhkan enzim selulase (Anindyawati, 2010).

Di alam, enzim selulase merupakan enzim ekstraseluler yang dihasilkan oleh bakteri selulolitik yang hidup pada saluran pencernaan hewan tertentu, sehingga enzim selulase yang dihasilkannya membantu proses pencernaan selulosa pada makanan di dalam saluran pencernaan selama proses metabolismenya. Pada ternak enzim selulase biasanya tidak diberikan dalam bentuk enzim tapi dalam bentuk probiotik yang bersifat selulolitik. Probiotik merupakan makanan tambahan berupa mikroba hidup baik bakteri (misal: *Bacillus* sp.) maupun kapang. Probiotik mempunyai pengaruh yang menguntungkan pada hewan inang karena dapat memperbaiki keseimbangan mikroba dalam saluran pencernaan serta meningkatkan aktivitas metabolismenya. Peningkatan metabolisme ini disebabkan oleh enzim ekstraseluler yang diproduksi bakteri probiotik (Sumardi dkk., 2010).

D. Pertumbuhan Bakteri

Setiap organisme hidup baik bakteri maupun tumbuhan dan hewan memerlukan makanan atau nutrisi untuk pertumbuhannya. Organisme yang berbeda memiliki kebutuhan nutrisi yang berbeda. Nutrisi adalah substansi anorganik dan organik dalam suatu larutan yang melintasi membran sitoplasma. Beberapa nutrisi yang dibutuhkan oleh bakteri adalah sumber karbon, nitrogen, ion anorganik, dan air. Sumber nutrisi ini digunakan untuk sintesis protoplasma dan menyediakan energi bagi semua proses metabolisme. Berbeda dengan organisme eukariot, proses pencernaan makanan pada bakteri terjadi di luar sel atau ekstraseluler (Volk dan Wheeler, 1988).

Menurut Volk dan Wheeler (1988) Fase fase pertumbuhan bakteri dapat dibagi menjadi 4 fase, yaitu:

- a. Fase tenggang (lag) adalah fase yang terjadi apabila bakteri diinokulasikan pada medium baru yang komposisi nutriennya berbeda dengan komposisi nutrisi medium yang digunakan sebelumnya. Dalam kondisi tenggang pertumbuhan atau pembelahan sel biasanya tidak segera terjadi. Periode tenggang atau merupakan tahap penyesuaian bakteri pada lingkungan. Lama waktu yang dibutuhkan bervariasi tergantung pada jenis bakteri, umur biakan, dan nutrisi yang tersedia dalam medium tumbuhnya. Namun demikian, pada fase tenggang sebenarnya sel sangat aktif bermetabolisme dan juga berlangsung sintesis enzim dan komponen penting lainnya secara aktif.
- b. Fase logaritmik adalah fase dimana waktu generasi bakteri tidak berubah (tetap). Waktu generasi bervariasi tergantung pada jenis bakteri, kadar nutrisi dalam medium, pH, dan ketersediaan oksigen. Pada fase logaritmik sebagian sel mulai membelah, sebagian lagi telah setengah selesai membelah dan sebagian lainnya telah selesai membelah. Sel bakteri dapat dipertahankan dalam fase logaritma dengan terus menerus memindahkannya ke dalam medium segar yang mengandung susunan yang sama.
- c. Fase stasioner adalah fase dimana biakan bakteri menjadi tua dan mendekati populasi bakteri maksimum yang dapat didukung medium. Pada fase stasioner, laju pertumbuhan sel berkurang dan beberapa sel mati. Laju pertumbuhan bakteri sama dengan laju kematiannya

sehingga jumlah keseluruhan bakteri akan tetap. Selain menyusutnya ketersediaan nutrisi dalam medium, produk limbah metabolisme cenderung menumpuk dan memungkinkan menjadi racun bagi bakteri.

- d. Fase kematian adalah fase berhentinya pertumbuhan bakteri. Pada fase ini pertumbuhan bakteri berhenti, sehingga laju kematian melampaui laju pertumbuhan. Akibatnya jumlah bakteri dalam medium menurun.

E. Media Mandels Bagi Pertumbuhan Bakteri *Bacillus* sp.

Media merupakan komponen penting untuk pertumbuhan bakteri. Media tumbuh bakteri mencerminkan karakteristik dari bakteri tersebut. salah satu karakteristik bakteri adalah kemoheterotrof, yaitu bakteri yang membutuhkan karbon organik sebagai bahan makanan dan beberapa ion anorganik terlarut sebagai sumber energinya, salah satu contohnya *Bacillus* sp. Beberapa komponen media, misalnya yeast ekstrak merupakan senyawa kompleks yang mengandung unsur – unsur kimia, antara lain: glukosa, asam amino, vitamin, dan garam mineral (Pelczar *et al*, 1993).

Yeast ekstrak biasanya digunakan sebagai sumber makanan esensial yang dapat mempengaruhi kecepatan pertumbuhan mikroorganisme, terutama bakteri. Yeast ekstrak diketahui mengandung beberapa unsur mikronutrient, diantaranya: aluminium (Al), barium (Ba), cadmium (Cd), kobalt (Co), chromium (Cr), copper (Cu), besi (Fe), gallium (Ga), magnesium (Mg), mangan (Mn), molybdenum (Mo), nikel (Ni), timbal(Pb), timah (Sn), strontium (Sr), titanium (Ti), vanadium (V), dan seng (Zn). Beberapa bakteri

membutuhkan unsur – unsur tersebut untuk pertumbuhannya, akan tetapi pada beberapa bakteri yang lainnya unsur logam tersebut justru dapat menghambat pertumbuhan bakteri (Grant dan Pramer, 1962).

Beberapa senyawa lain yang sering terkandung dalam media adalah *peptone* atau *tryptone water*, senyawa ini merupakan sumber nitrogen dan beberapa vitamin. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ juga berperan sebagai sumber nitrogen dan sumber energi bagi bakteri. KH_2PO_4 adalah larutan penyangga (*buffer*) yang berfungsi menyeimbangkan pH media, selain itu juga berfungsi sebagai ion esensial yang dibutuhkan oleh bakteri. Senyawa – senyawa lain yang berfungsi sebagai ion esensial bagi bakteri antara lain: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Selain glukosa, asam amino, nitrogen dan unsur – unsur mikronutrient yang dibutuhkan oleh bakteri, bakteri juga membutuhkan NaCl untuk menjaga tekanan osmotik sel nya dan air untuk melarutkan bahan makanan (Pelczar *et al*, 1993).

F. Medan Magnet dan Pengaruhnya Terhadap Aktivitas Enzim dan Pertumbuhan Bakteri

Halliday dan Resnick (1999) menyatakan bahwa medan magnet adalah suatu medan atau area yang dipengaruhi oleh gaya magnetik. Gaya magnetik dapat ditimbulkan oleh arus listrik yang dialirkan pada kumparan kawat yang dililitkan secara rapat pada sebuah batang besi. Kumparan kawat yang dilaliri arus listrik tersebut kemudian disebut solenoida, yang dapat menimbulkan induksi magnetik. Induktansi solenoida bergantung pada sifat bahan (μ_0), banyak nya lilitan (N) dan luas penampang (A). Menurut Ishag

(2007) induksi magnetik adalah perubahan medan magnetik yang menimbulkan arus listrik, dan sebaliknya aliran arus listrik pada sebuah kawat juga dapat menimbulkan medan magnet.

Sifat - sifat magnetik suatu bahan umumnya ditentukan oleh besar kecilnya permeabilitas relatif dari bahan tersebut terhadap medan magnet luar (μ_r). Terdapat 3 jenis bahan menurut sifat magnetiknya yaitu ferromagnetik jika permeabilitasnya lebih besar dari satu ($\mu_r > 1$), paramagnetik jika permeabilitasnya sama dengan satu ($\mu_r = 1$), dan diamagnetik jika permeabilitasnya kurang dari nol ($\mu_r < 0$) (Wiyanto, 2008).

Menurut Wiyanto (2008) bahan paramagnetik memiliki kutub – kutub magnet yang berkaitan dengan lintasan elektron yang tidak berpasangan, keberadaan medan magnet luar menyebabkan spin elektron mengalami torsi sedemikian rupa dan orientasi momen dipolnya menjadi cenderung searah dengan medan magnet luar. Halliday dan Resnick (1999) menjelaskan pada bahan paramagnetik, efek magnetik elektronnya saling meniadakan, gerakan spin dan lintasannya saling menghilangkan satu sama lain sehingga atom atau ionnya tidak bersifat magnetik, contohnya adalah pada gas – gas mulia seperti neon dan oksigen.

Pada bahan diamagnetik keberadaan medan magnet luar akan mengubah laju orbital elektron sehingga menghasilkan perubahan orbital momen dipole yang berlawanan arah dengan arah medan magnet luar. Proses magnetisasi pada bahan diamagnetik terjadi karena adanya perubahan medan magnet dari tidak ada menjadi ada yang kemudian akan mengubah gerak elektron di dalam

orbital – orbital atomnya sedemikian rupa sehingga arus orbitalnya menghasilkan medan magnet yang berlawanan arah dengan arah medan magnet luar. Materi diamagnetik merupakan bahan yang memiliki kemampuan merespon gaya magnet (*susepibilitas magnetic*) rendah sehingga sifat magnetik bahan yang bersifat diamagnetik tidak signifikan seperti gas mulia (Ar, Ne, He), bahan alkali (Li, Na, K), kalsium, antimon, bismuth, grafit, emas, perak, tembaga, hidrogen dan CO₂ (Wiyanto, 2008).

Ferromagnetik merupakan bahan yang tetap memiliki sifat kemagnetan walaupun bahan itu sudah tidak berada dalam pengaruh medan magnet luar. Contoh bahan yang bersifat ferromagnetik adalah besi (Fe), nikel (Ni), dan cobalt (Co). (Wiyanto, 2008).

Beberapa senyawa logam seperti besi (Fe), timbal (Pb), magnesium (Mg), tembaga (Cu), kalium (K), kalsium (Ca), natrium (Na), dan klor (Cl) merupakan bahan pencemar dalam limbah cair yang sulit untuk didegradasi. Induksi medan magnet pada limbah cair diketahui dapat menurunkan persentase kandungan logam berat dan sekaligus menurunkan jumlah bakteri di dalam limbah tersebut. Sebagian besar bakteri yang masih hidup di dalam limbah cair adalah bakteri yang berbentuk bacilli. Hal ini menunjukkan bahwa medan magnet dapat menurunkan jumlah bakteri pada air limbah, kecuali bakteri yang berbentuk basil. Medan magnet juga dapat meningkatkan pH air limbah, sehingga menguntungkan bagi bakteri yang dapat hidup pada pH netral sampai basa (Alkhazan dan Saddiq, 2010).

Dalam fluida statis, medan magnet juga berpengaruh terhadap presipitasi dalam larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 . Penurunan laju presipitasi dalam suatu larutan akan menyebabkan pergerakan secara terus menerus pada partikel – partikel yang terkandung didalamnya. Dengan demikian proses penyerapan nutrisi pada organisme hidup seperti tumbuhan dan mikroorganisme akan lebih cepat dan mudah (Saksono dkk., 2007). Selain itu, menurut (Paeghi dan Seyedpour, 2013) pemaparan medan magnet Pada tanaman hortikultura dapat meningkatkan kecepatan perkecambahan pada tanaman gandum. Peningkatan kecepatan perkecambahan ini didukung oleh adanya peningkatan enzim yang mengkatalis reaksi dalam proses metabolisme biji dan kecambah, yaitu enzim α – amilase.