

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Mikroba Biodekomposer

Biodekomposer merupakan bioaktivator perombak bahan organik biologis yang diracik khusus untuk meningkatkan efisiensi dekomposisi sisa-sisa tanaman, mengurangi penyebab penyakit, dan masalah lingkungan pada sistem penumpukan sampah. Biodekomposer merupakan konsorsium mikroba perombak selulosa dan lignin dengan fungsi metabolik yang komplementer merombak dan mengubah residu organik menjadi bahan organik tanah, serta menyuburkan tanah. Penggunaan biodekomposer pada residu bahan organik pertanian mampu mengubah lingkungan mikro tanah dan komunitas mikroba menuju peningkatan kualitas tanah dan produktivitas tanaman (Saraswati, 2004).

Manfaat mikroba dalam usaha pertanian belum disadari sepenuhnya, bahkan sering diposisikan sebagai komponen habitat yang merugikan, karena pandangan umum terhadap mikroba lebih terfokus secara selektif pada mikroba patogen yang menimbulkan penyakit pada tanaman. Padahal sebagian besar spesies mikroba merupakan mikroflora yang bermanfaat, kecuali beberapa jenis spesifik yang dapat menyebabkan penyakit bagi tanaman (Watanabe, 1979).

Agen dekomposer dapat digunakan untuk mempercepat dan meningkatkan kualitas hasil pengomposan, dan telah diproduksi secara komersial, umumnya dalam bentuk konsorsium mikroorganisme (disebut dengan bioaktivator). Dekomposer adalah makhluk hidup yang berfungsi untuk menguraikan bahan

organik baik yang berasal dari tumbuhan maupun hewan, sehingga materi yang diuraikan dapat diserap oleh tumbuhan yang hidup disekitar daerah tersebut (Saraswati, 2007).

Menurut Endah (2004), terdapat beberapa dekomposer yang diantaranya berasal dari :

1. Bakteri. Bakteri yang hidup dalam tanah memegang peranan penting dalam meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman, sehubungan dengan kemampuannya dengan mengikat N₂ dari udara dan mengubah amonium menjadi nitrat.
2. *Aktinomisetes*. Tiga genus dari *aktinomisetes* yang baik berada dalam tanah, yaitu species *Nokordia*, yang sangat berhubungan dengan bakteri, terutama pada *Mycobakteria*, *Crynebakteri*, species yang termasuk genus *Streptomyces* dan *Micromonospora* adalah lebih rapat hubungannya pada fungi.
3. Fungi. Termasuk ke dalamnya golongan- golongan besar antara lain golongan *Fikomisetes*, *Askomisetes*, *Hipomisetes* atau cendawan imperfekti dan *Basidiomisetes*.
4. Algae (ganggang). Merupakan tanaman mikroskopis, tanaman tingkat rendah yang mempunyai klorofil dengan jaringan tubuh yang tidak berderferensiasi, tidak membentuk akar, batang dan daun.
5. Protozoa. Protozoa makhluk hidup uniseluler, dengan ukuran yang beragam antara 3 sampai 1.000 µm.
6. Cacing tanah. Manfaat cacing tanah sebagai agensia pendekomposer dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a) Dapat mempercepat pelapukan sisa-sisa tanaman.
- b) Kotoran cacing dapat meningkatkan kesuburan tanah atau kadar NPK pada tanah yang di huninya.
- c) Lorong-lorong yang dibuatnya dalam tanah (terutama pada lapisan top soil) memungkinkan masuknya udara segar ke dalam tanah dan terdesaknya kelebihan zat CO₂ ke luar dalam tanah.

2.2 Nutrisi dan Medium Bagi Kehidupan Mikroba Biodekomposer

Medium pertumbuhan adalah tempat untuk menumbuhkan mikroba. Mikroba memerlukan nutrisi untuk memenuhi kebutuhan energi dan untuk bahan pembangun sel, untuk sintesa protoplasma dan bagian-bagian sel lain. Setiap mikroba mempunyai sifat fisiologi tertentu, sehingga memerlukan nutrisi tertentu pula. Susunan kimia sel mikroba relatif tetap, baik unsur kimia maupun senyawa yang terkandung di dalam sel. Hasil analisis kimia menunjukkan bahwa penyusun utama sel adalah unsur kimia C, H, O, N, dan P, yang jumlahnya + 95 % dari berat kering sel, sedangkan sisanya tersusun dari unsur-unsur lain. Apabila dilihat susunan senyawanya, maka air merupakan bagian terbesar dari sel, sebanyak 80-90 %, dan bagian lain sebanyak 10-20 % terdiri dari protoplasma, dinding sel, lipida untuk cadangan makanan, polisakarida, polifosfat, dan senyawa lain.

Mikroorganisme dapat ditumbuhkan dan dikembangkan pada suatu substrat yang disebut medium, untuk menumbuhkan dan mengembangbiakkan mikroorganisme tersebut harus sesuai susunannya dengan kebutuhan jenis-jenis mikroorganisme yang bersangkutan. Beberapa mikroorganisme dapat hidup baik

pada medium yang sangat sederhana yang hanya mengandung garam anorganik di tambah sumber karbon organik seperti gula atau molases (Volk dan Wheeler, 1993).

Pond dkk (1995), menyatakan bahwa *molases* adalah limbah utama industri pemurnian gula. Molases merupakan sumber energi yang esensial dengan kandungan glukosa didalamnya. *Molasses* memiliki kandungan protein kasar 3,1 %; serat kasar 0,6 %; lemak kasar 0,9 %; dan abu 11,9 %.

Molasses dapat dibedakan menjadi dua, yaitu: (1) *Cane-molases*, merupakan molasses yang memiliki kandungan 25 – 40 % sukrosa dan 12 – 25 % gula pereduksi dengan total kadar gula 50 – 60 % atau lebih. Kadar protein kasar sekitar 3 % dan kadar abu sekitar 8 – 10 %. (2) *Beet-molases* merupakan pakan pencahar yang normalnya diberikan pada ternak dalam jumlah kecil (Cheeke, 1999).

Keuntungan molases sebagai medium pembawa adalah kadar karbohidrat tinggi (48-60%), kadar mineral cukup untuk perkembangan mikroorganisme artinya molases yang mengandung cukup gula dan mineral apabila dicampur ke dalam produk komersial yang berisi mikroorganisme akan membantu mempertahankan lingkungan mikroba. Molases juga mengandung vitamin B kompleks dan unsur-unsur mikro yang penting bagi kehidupan mikroorganisme seperti kobalt, boron, jodium, tembaga, mangan dan seng (Cheeke, 1999).

Molases digunakan oleh jasad hidup sebagai sumber energi, bahan pembangun sel, dan sebagai aseptor atau donor elektron. Dalam garis besarnya bahan makanan yang dibutuhkan oleh makhluk hidup dibagi menjadi tujuh

golongan yaitu air, sumber energi, sumber karbon, sumber aseptor elektron, sumber mineral, faktor tumbuh, dan sumber nitrogen.

Air merupakan komponen utama sel mikroba dan medium. Fungsi air adalah sebagai sumber oksigen untuk bahan organik sel pada respirasi. Selain itu air berfungsi sebagai pelarut dan alat pengangkut dalam metabolisme. Selain itu jasad hidup juga memerlukan sumber energi baik berupa senyawa organik atau anorganik yang dapat dioksidasi dan cahaya terutama cahaya matahari.

Sumber karbon untuk mikroba dapat berbentuk senyawa organik maupun anorganik. Senyawa organik meliputi karbohidrat, lemak, protein, asam amino, asam organik, garam asam organik, polialkohol, dan sebagainya. Senyawa anorganik misalnya karbonat dan gas CO₂ yang merupakan sumber karbon utama terutama untuk tumbuhan tingkat tinggi. Aseptor elektron ialah agensia pengoksidasi. Pada mikrobial yang dapat berfungsi sebagai aseptor elektron ialah O₂, senyawa organik, NO₃⁻, NO₂⁻, N₂O, SO₄, CO₂, dan Fe³⁺.

Mineral merupakan bagian dari sel. Unsur penyusun utama sel ialah C, O, N, H, dan P. unsur mineral lainnya yang diperlukan sel ialah K, Ca, Mg, Na, S, Cl. Unsur mineral yang digunakan dalam jumlah sangat sedikit ialah Fe, Mn, Co, Cu, Bo, Zn, Mo, Al, Ni, Va, Sc, Si, Tu, dan sebagainya yang tidak diperlukan jasad. Unsur yang digunakan dalam jumlah besar disebut unsur makro, dalam jumlah sedang unsur oligo, dan dalam jumlah sangat sedikit unsur mikro. Selain berfungsi sebagai penyusun sel, unsur mineral juga berfungsi untuk mengatur tekanan osmose, kadar ion H⁺ (kemasaman, pH), dan potensial oksidasireduksi (Sumarsih, 2010).

Selain hal-hal diatas faktor tumbuh juga sangat diperlukan untuk pertumbuhan yaitu sebagai prekursor, atau penyusun bahan sel dan senyawa ini tidak dapat disintesis dari sumber karbon yang sederhana. Faktor tumbuh sering juga disebut zat tumbuh dan hanya diperlukan dalam jumlah sangat sedikit. Berdasarkan struktur dan fungsinya dalam metabolisme, faktor tumbuh digolongkan menjadi asam amino, sebagai penyusun protein; base purin dan pirimidin, sebagai penyusun asam nukleat; dan vitamin sebagai gugus prostetis atau bagian aktif dari enzim.

Susunan dan kadar nutrisi suatu medium untuk pertumbuhan mikroba harus seimbang agar mikroba dapat tumbuh optimal. Hal ini perlu dikemukakan mengingat banyak senyawa yang menjadi zat penghambat atau racun bagi mikroba jika kadarnya terlalu tinggi (misalnya garam dari asam lemak, gula, dan sebagainya).

2.3 Konsorsium Bakteri Biodekomposer

Biodekomposer yang digunakan dalam penelitian ini merupakan konsorsium yang terdiri dari 6 genus bakteri yaitu *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Escherichia*, dan *Aerococcus*.

A. *Bacillus*

Bacillus mempunyai ciri morfologi koloni berupa warna putih susu/agak krem, bentuk tidak beraturan dan menyebar, tepi berlekuk, elevasi timbul, permukaan mengkilat, diameter 1,065 mm, kepekatan seperti mentega, bentuk pada medium miring serupa batang. Sedangkan secara mikroskopis spesies ini

mempunyai ciri selnya berbentuk basil, gram positif, bergerak, mempunyai endospora, tidak berkapsula, ukuran panjang 1,560 μm , diameter 0,269 μm , respirasi aerob, katalase positif, gugus fermentasi negatif, aerob, basa, dan oksidase positif (Bergeys, 1994).

Menurut Kusnaldi dkk (2003), bakteri anggota genus *Bacillus* berperan sebagai redusen (*decomposer*) berperan menguraikan bahan organik dan sisa-sisa jasad hidup yang mati menjadi unsur-unsur kimia (mineralisasi bahan organik), enzim yang dihasilkan oleh bakteri ini antara lain enzim lipase, amilase dan protease.

B. *Pseudomonas*

Pseudomonas mempunyai ciri morfologi koloni berupa warna kekuningan, bentuk bundar, tepi berombak, elevasi datar, permukaan suram, diameter 1,5-2 mm, pekat, bentuk pada medium miring serupa pedang. Sedangkan secara mikroskopis spesies ini mempunyai ciri selnya berbentuk basil, gram negatif, tidak berkapsula, tidak berspora, bergerak, respirasi aerob, katalase positif, asam, oksidase negatif dan panjang 1 μm serta diameter 0,5 μm (Bergeys, 1994).

Anggota genus *Pseudomonas* memegang peranan penting dalam meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman, sehubungan dengan kemampuannya dengan mengikat N_2 dari udara dan mengubah amonium menjadi nitrat. Bakteri ini menghasilkan enzim selulolitik (Djumhana, 2007).

C. *Micrococcus*

Micrococcus mempunyai ciri morfologi koloni berupa warna krem dengan tepian bening, bentuk L, tepi licin, elevasi seperti tombol, permukaan mengkilat,

diameter 1,5 mm, pekat, bentuk pada medium miring serupa pedang. Sedangkan secara mikroskopis spesies ini mempunyai ciri selnya berbentuk kokus, gram positif, tidak berkapsula, tidak berspora, tidak bergerak, respirasi aerob, katalase positif, basa, oksidase positif dan diameter 2,5 μm (Bergeys, 1994).

Dalam kaitannya dengan pengomposan bakteri *Micrococcus* selain dapat menambat N juga menghasilkan thiamin, riboflavin dan giberelin yang dapat mempercepat perkecambahan bila diaplikasikan pada benih dan merangsang regenerasi bulu-bulu akar sehingga penyerapan unsur hara melalui akar menjadi optimal. Metabolit mikroba yang bersifat antagonis bagi mikroba lainnya seperti antibiotik dapat pula dimanfaatkan untuk menekan mikroba patogen tular tanah, disekitar perakaran tanaman. Untuk memenuhi kebutuhan hidupnya mikroba tanah melakukan immobilisasi berbagai unsur hara sehingga dapat mengurangi hilangnya unsur hara melalui pencucian. Unsur hara yang diimmobilisasi diubah sebagai massa sel mikroba dan akan kembali lagi tersedia untuk tanaman setelah terjadi mineralisasi yaitu apabila mikroba mati (Saraswati, 2010).

Menurut Perry (2005), bakteri *Micrococcus* selain dapat menambat N juga menghasilkan thiamin, riboflavin, nicotin indol acetic acid dan giberelin yang dapat mempercepat perkecambahan bila diaplikasikan pada benih dan merangsang regenerasi bulu-bulu akar sehingga penyerapan unsur hara melalui akar menjadi optimal.

D. *Escherichia*

Genus *Escherichia* mempunyai ciri morfologi koloni berupa warna putih, bentuk tidak beraturan dan menyebar, tepi berlekuk, elevasi timbul, permukaan

mengkilat, pekat, bentuk pada medium miring serupa batang. Sedangkan secara mikroskopis spesies ini mempunyai ciri selnya berbentuk basil, gram negatif, bergerak, tidak mempunyai endospora, tidak berkapsula, respirasi anaerob fakultatif, asam, dan oksidase negative (Bergeys, 1994).

Bakteri *Escherichia* merupakan salah satu mikroba pelarut fosfat. Mikroba pelarut fosfat bersifat menguntungkan karena mengeluarkan berbagai macam asam organik seperti asam formiat, asetat, propional, laktat, glikolat, fumarat, dan suksinat. Asam-asam organik ini dapat membentuk khelat organik (kompleks stabil) dengan kation Al, Fe atau Ca yang mengikat P sehingga ion $H_2PO_4^-$, menjadi bebas dari ikatannya dan tersedia bagi tanaman untuk diserap (Kusnaldi, 2003).

E. Lactobacillus

Mempunyai ciri morfologi koloni berupa warna putih, bentuk tidak beraturan dan menyebar, tepi berlekuk, elevasi timbul, permukaan mengkilat, diameter 1,065 mm, kepekatan seperti mentega. Sedangkan secara mikroskopis spesies ini mempunyai ciri selnya berbentuk basil, gram positif, tidak motil, tidak mempunyai endospora, tidak berkapsula, ukuran panjang 1,312 μm , respirasi anaerob fakultatif, katalase negatif, asam, dan oksidase positif (Bergeys, 1994).

Bakteri *Lactobacillus* merupakan bakteri yang penting dalam pembentukan asam laktat. *Lactobacillus* toleran terhadap asam, tidak bisa mensintesis perfirin, dan melakukan fermentasi dengan asam laktat sebagai metabolit akhir yang utama. Bakteri ini membentuk gerombolan dan merupakan bagian dari spesies heterofermentatif fakultatif, dimana bakteri ini memproduksi

asam laktat dari gula heksosa dengan jalur Embelen-Meyerlhof dan dari pentose dengan jalur 6-fosfoglukonat, fosfoketolase. (Kandler, 1986).

F. *Aerococcus*

Genus *Aerococcus* mempunyai ciri morfologi koloni berupa warna putih, bentuk tidak beraturan dan menyebar, tepi berlekuk, elevasi timbul, permukaan mengkilat, kepekatan seperti mentega. Sedangkan secara mikroskopis spesies ini mempunyai ciri selnya berbentuk kokus, gram positif, bergerak, tidak mempunyai endospora, tidak berkapsula, ukuran pendek, respirasi anaerob fakultatif, catalase negatif, basa, oksidase negative (Bergeys, 1994).

Dalam proses pengomosan genus *Aerococcus* berperan sebagai agen pembusuk alami, yang akan mendekomposisi sampah-sampah organik menjadi materi anorganik sehingga dapat mengurangi kuantitas sampah, menyuburkan tanah dan dapat menjadi sumber nutrisi bagi tumbuhan.

2.4 Pola Pertumbuhan Bakteri

Suatu bakteri yang dimasukkan ke dalam medium baru yang sesuai akan tumbuh memperbanyak diri. Jika pada waktu-waktu tertentu jumlah bakteri dihitung dan dibuat grafik hubungan antara jumlah bakteri dengan waktu maka akan diperoleh suatu grafik atau kurva pertumbuhan.

Pertumbuhan populasi mikrobial dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Biakan sistem tertutup (*batch culture*)

Pada biakan sistem tertutup, pengamatan jumlah sel dalam waktu yang cukup lama akan memberikan gambaran berdasarkan kurva pertumbuhan bahwa terdapat fase-fase pertumbuhan yang berbeda, yang berturut-turut disebut dengan

fase lag, fase eksponensial, fase stasioner dan fase kematian. Pada fase kematian eksponensial tidak diamati pada kondisi umum pertumbuhan kultur bakteri, kecuali bila kematian dipercepat dengan penambahan zat kimia toksik, panas atau radiasi (Iqbalali, 2008).

1. Fase lamban

Fase lamban merupakan periode awal dan merupakan fase penyesuaian diri (adaptasi), sehingga tidak ada pertambahan jumlah sel bahkan kadang-kadang jumlah sel menurun.

2. Fase cepat

Fase cepat merupakan periode pembiakan yang cepat. Pada periode ini dapat teramati ciri-ciri sel yang aktif. Waktu generasi pada setiap bakteri dapat ditentukan pada fase cepat ini. Pada fase tersebut dapat terlihat beberapa sel mulai membelah, yang lainnya setengah membelah, dan yang lainnya lagi selesai membelah.

3. Fase statis

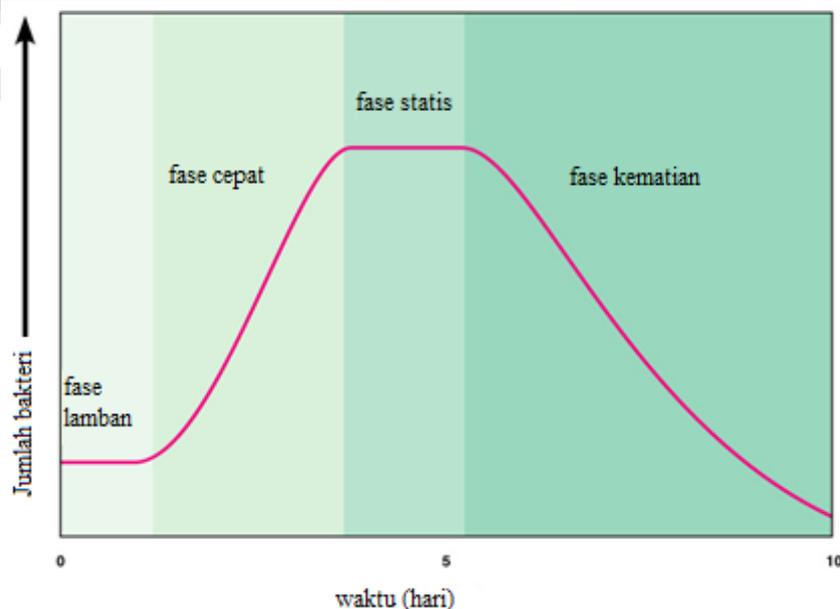
Pada fase statis pembiakan mulai berkurang dan beberapa sel mati. Apabila laju pembiakan sama dengan laju kematian, maka secara keseluruhan jumlah sel tetap konstan. Hal ini dapat disebabkan karena berkurangnya nutrisi ataupun terbentuknya produk metabolisme yang cenderung menumpuk mungkin menjadi racun bagi bakteri yang bersangkutan.

4. Fase kematian

Pada fase kematian yang dipercepat kecepatan kematian sel terus meningkat sedang kecepatan pembelahan sel nol, sampai pada fase kematian

logaritma maka kecepatan kematian sel mencapai maksimal, sehingga jumlah sel hidup menurun dengan cepat seperti deret ukur. Walaupun demikian penurunan jumlah sel hidup tidak mencapai nol, dalam jumlah minimum tertentu sel mikrobia akan tetap bertahan sangat lama dalam medium tersebut.

Pertumbuhan bakteri pada umumnya ditandai dengan empat fase yang khas, yakni periode awal yang tampaknya tanpa pertumbuhan (fase lamban atau lag phase) diikuti oleh suatu periode pertumbuhan yang cepat (fase log), kemudian mendatar (fase statis atau fase stasioner), dan akhirnya diikuti oleh suatu penurunan populasi sel-sel hidup (fase kematian atau penurunan) dapat dilihat pada gambar 2.1. Di antara setiap fase ini ada suatu periode peralihan yang menunjukkan lamanya waktu sebelum semua sel memasuki fase yang baru. Ciri-ciri tambahan yang berkaitan dengan keempat fase pertumbuhan tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini (Filzahazny, 2008)



Gambar 2.1 Grafik pertumbuhan mikroba dalam biakan sistem tertutup (batch culture)

Dari gambar tersebut diterangkan secara berturut-turut mulai dari fase lag atau adaptasi, fase pertumbuhan eksponensial, fase stasioner dan fase penurunan logaritma atau fase kematian.

2. Biakan Sistem Terbuka (*Continuous culture*)

Di dalam sistem ini, sel dapat dipertahankan terus menerus pada fase pertumbuhan eksponensial atau fase pertumbuhan logaritma. *Continuous culture* mempunyai ciri ukuran populasi dan kecepatan pertumbuhan dapat diatur pada nilai konstan menggunakan khemostat. Untuk mengatur proses di dalam khemostat, diatur kecepatan aliran medium dan kadar substrat (nutrien pembatas). Sebagai nutrien pembatas dapat menggunakan sumber C (karbon), sumber N atau faktor tumbuh, pada sistem ini, ada aliran keluar untuk mempertahankan volume biakan dalam khemostat sehingga tetap konstan.

2.5 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pertumbuhan Bakteri

Aktivitas mikroba dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungannya, perubahan lingkungan dapat mengakibatkan perubahan sifat, morfologi dan fisiologi mikroba. Beberapa kelompok mikroba sangat resisten terhadap perubahan faktor lingkungan. Mikroba tersebut dapat dengan cepat menyesuaikan diri dengan kondisi baru tersebut. Faktor lingkungan meliputi faktor-faktor abiotik (fisika dan kimia), dan faktor biotik.

2.5.1 Faktor Abiotik

1. Air

Semua organisme membutuhkan air untuk kehidupannya. Air berperan dalam reaksi metabolik dalam sel dan merupakan alat pengangkut zat gizi ke dalam sel atau hasil metabolit ke luar sel. Semua kegiatan ini membutuhkan air dalam bentuk cair dan apabila air tersebut mengalami kristalisasi dan membentuk es atau terikat secara kimiawi dalam larutan gula atau garam, maka air tersebut tidak dapat digunakan oleh mikroorganisme.

Pengaruh air terhadap pertumbuhan mikroorganisme dinyatakan sebagai aktivitas air (A_w), yaitu jumlah air bebas yang tersedia dan dapat digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme dalam bahan makanan. Jenis mikroorganisme yang berbeda membutuhkan jumlah air yang berbeda untuk pertumbuhannya. Kebanyakan bakteri dapat hidup pada $A_w > 0.90$, sedangkan kebanyakan kapang dan khamir berturut-turut dapat hidup pada $A_w > 0.70$ dan $A_w > 0.80$. Pada A_w yang rendah, mikroorganisme akan mati karena sel-sel di mikroorganisme akan berdifusi ke luar sebagai akibat terjadinya proses kesetimbangan osmotik. Dengan kata lain, selama konsentrasi solut di luar sel lebih besar dibanding di dalam sel, maka migrasi air akan terjadi untuk menyeimbangkan konsentrasi. Migrasi air dari dalam sel menyebabkan sel mati disebabkan oleh dehidrasi.

2. Oksigen

Beberapa mikroorganisme memerlukan oksigen untuk pertumbuhannya, yang disebut mikroorganisme aerobik. Contoh mikroorganisme aerobik adalah kapang. Untuk beberapa mikroorganisme lainnya, oksigen bersifat racun. Mikro-

organisme ini dinamakan anaerob, seperti *Clostridium botulinum*. Kebanyakan mikroorganisme dapat tumbuh pada kondisi tanpa dan dengan adanya oksigen. Kelompok ini disebut fakultatif anaerobik, contohnya *Bacillus*, kebanyakan khamir dan bakteri lainnya.

3. Suhu

a. Suhu pertumbuhan mikroba

Pertumbuhan mikroba memerlukan kisaran suhu tertentu. Kisaran suhu pertumbuhan dibagi menjadi suhu minimum, suhu optimum, dan suhu maksimum. Suhu minimum adalah suhu terendah tetapi mikroba masih dapat hidup. Suhu optimum adalah suhu paling baik untuk pertumbuhan mikroba. Suhu maksimum adalah suhu tertinggi untuk kehidupan mikroba.

Berdasarkan kisaran suhu pertumbuhannya, mikroba dapat dikelompokkan menjadi mikroba psikrofil (kriofil), mesofil, dan termofil. Psikrofil adalah kelompok mikroba yang dapat tumbuh pada suhu 0-30°C dengan suhu optimum sekitar 15°C. Mesofil adalah kelompok mikroba pada umumnya, mempunyai suhu minimum 15°C suhu optimum 25-37°C dan suhu maksimum 45-55°C.

Mikroba yang tahan hidup pada suhu tinggi dikelompokkan dalam mikroba termofil. Mikroba ini mempunyai membran sel yang mengandung lipida jenuh, sehingga titik didihnya tinggi. Selain itu dapat memproduksi protein termasuk enzim yang tidak terdenaturasi pada suhu tinggi. Di dalam DNA-nya mengandung guanin dan sitosin dalam jumlah yang relatif besar, sehingga molekul DNA tetap stabil pada suhu tinggi. Kelompok ini mempunyai suhu minimum 40°C, optimum pada suhu 55-60°C dan suhu maksimum untuk

pertumbuhannya 75°C. Untuk mikroba yang tidak tumbuh dibawah suhu 30°C dan mempunyai suhu pertumbuhan optimum pada 60°C, dikelompokkan kedalam mikroba termofil obligat. Untuk mikroba termofil yang dapat tumbuh dibawah suhu 30°C, dimasukkan kelompok mikroba termofil fakultatif.

Bakteri yang hidup di dalam tanah dan air, umumnya bersifat mesofil, tetapi ada juga yang dapat hidup diatas 50°C (termotoleran). Contoh bakteri termotoleran adalah *Methylococcus capsulatus*. Contoh bakteri termofil adalah *Bacillus*, *Clostridium*, *Sulfolobus*, dan bakteri pereduksi sulfat/sulfur. Bakteri yang hidup di laut (fototrof) dan bakteri besi (*Gallionella*) termasuk bakteri psikrofil.

b. Suhu tinggi

Apabila mikroba dihadapkan pada suhu tinggi diatas suhu maksimum, akan memberikan beberapa macam reaksi. (1) Titik kematian thermal, adalah suhu yang dapat memetikan spesies mikroba dalam waktu 10 menit pada kondisi tertentu. (2) Waktu kematian thermal, adalah waktu yang diperlukan untuk membunuh suatu spesies mikroba pada suatu suhu yang tetap. Faktor-faktor yang mempengaruhi titik kematian thermal ialah waktu, suhu, kelembaban, spora, umur mikroba, pH dan komposisi medium.

c. Suhu rendah

Apabila mikroba dihadapkan pada suhu rendah dapat menyebabkan gangguan Metabolism, akibatnya adalah (1) Cold shock , adalah penurunan suhu yang tiba-tiba menyebabkan kematian bakteri, terutama pada bakteri muda atau pada fase logaritmik, (2) Pembekuan (freezing), adalah rusaknya sel dengan

adanya kristal es di dalam air intraseluler, (3) Lyofilisasi , adalah proses pendinginan dibawah titik beku dalam keadaan vakum secara bertingkat. Proses ini dapat digunakan untuk mengawetkan mikroba karena air protoplasma langsung diuapkan tanpa melalui fase cair (sublimasi).

4. Nilai pH

Setiap organisme mempunyai kisaran nilai pH dimana pertumbuhan masih memungkinkan dan masing-masing biasanya mempunyai pH optimum. Kebanyakan organisme tumbuh 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 lebih sempit dibandingkan dengan kapang dan khamir. Sebagai contoh, kebanyakan bakteri tidak dapat tumbuh pada pH di bawah 4.0 dan di atas 8.0, sedangkan kapang mempunyai kisaran pH pertumbuhan 1.5-11.0, khamir mempunyai kisaran pH pertumbuhan 1.5-8.5.

2.5.2 Faktor Biotik

Di alam jarang sekali ditemukan mikroba yang hidup sebagai biakan murni, tetapi selalu berada dalam asosiasi dengan jasad-jasad lain. Antar jasad dalam satu populasi atau antar populasi jasad yang satu dengan yang lain saling berinteraksi.

1. Interaksi dalam satu populasi mikroba

Interaksi antar jasad dalam satu populasi yang sama ada dua macam, yaitu interaksi positif maupun negatif. Interaksi positif menyebabkan meningkatnya kecepatan pertumbuhan sebagai efek sampingnya. Meningkatnya kepadatan populasi, secara teoritis meningkatkan kecepatan pertumbuhan. Interaksi positif

disebut juga kooperasi. Sebagai contoh adalah pertumbuhan satu sel mikroba menjadi koloni atau pertumbuhan pada fase lag (fase adaptasi).

Interaksi negatif menyebabkan turunnya kecepatan pertumbuhan dengan meningkatnya kepadatan populasi. Misalnya populasi mikroba yang ditumbuhkan dalam substrat terbatas, atau adanya produk metabolik yang meracun. Interaksi negatif disebut juga kompetisi. Sebagai contoh jamur *Fusarium* dan *Verticillium* pada tanah sawah, dapat menghasilkan asam lemak dan H₂S yang bersifat meracun.

2. Interaksi antar berbagai macam populasi bakteri

Apabila dua populasi yang berbeda berasosiasi, maka akan timbul berbagai macam interaksi. Interaksi tersebut menimbulkan pengaruh positif, negatif, ataupun tidak ada pengaruh antar populasi mikroba yang satu dengan yang lain. Nama masing-masing interaksi adalah sebagai berikut:

Nama Interaksi	Pengaruh Interaksi	
	Populasi A	Populasi B
Netralisme	0	0
Komensalisme	0	+
Sinergisme (protokooperasi)	+	+
Mutualisme (simbiosis)	+	+
Kompetisi	-	-
Amensalisme (antagonisme)	+	-
Predasi	+	-
Parasitisme	+	-

Keterangan: 0: tidak berpengaruh, +: pengaruh positif, -: pengaruh negative

a. Netralisme

Netralisme adalah hubungan antara dua populasi yang tidak saling mempengaruhi. Hal ini dapat terjadi pada kepadatan populasi yang sangat rendah atau secara fisik dipisahkan dalam mikrohabitat, serta populasi yang keluar dari habitat alamiahnya. Sebagai contoh interaksi antara mikroba *Allocthonous* (nonindigenous) dengan mikroba *Autochthonous* (indigenous), dan antar mikroba nonindigenous di atmosfer yang kepadatan populasinya sangat rendah. Netralisme juga terjadi pada keadaan mikroba tidak aktif, misal dalam keadaan kering beku, atau fase istirahat (spora, kista).

b. Komensalisme

Hubungan komensalisme antara dua populasi terjadi apabila satu populasi diuntungkan tetapi populasi lain tidak terpengaruh. Contohnya adalah: Bakteri *Flavobacterium brevis* dapat menghasilkan ekskresi sistein. Sistein dapat digunakan oleh *Legionella pneumophila*.

c. Sinergisme

Suatu bentuk asosiasi yang menyebabkan terjadinya suatu kemampuan untuk dapat melakukan perubahan kimia tertentu di dalam substrat. Apabila asosiasi melibatkan 2 populasi atau lebih dalam keperluan nutrisi bersama, maka disebut Sintropisme. Sintropisme sangat penting dalam peruraian bahan organik tanah, atau proses pembersihan air secara alami

d. Mutualisme (Simbiosis)

Mutualisme adalah asosiasi antara dua populasi mikroba yang keduanya saling tergantung dan sama-sama mendapat keuntungan. Mutualisme sering

disebut juga simbiosis. Simbiosis bersifat sangat spesifik (khusus) dan salah satu populasi anggota simbiosis tidak dapat digantikan tempatnya oleh spesies lain yang mirip. Contohnya adalah Bakteri *Rhizobium* sp. Yang hidup pada bintil akar tanaman kacang-kacangan.

e. Kompetisi

Hubungan negatif antara 2 populasi mikroba yang keduanya mengalami kerugian. Peristiwa ini ditandai dengan menurunnya sel hidup dan pertumbuhannya. Kompetisi terjadi pada 2 populasi mikroba yang menggunakan nutrisi / makanan yang sama, atau dalam keadaan nutrisi terbatas. Contohnya adalah antara protozoa *Paramecium caudatum* dengan *Paramecium aurelia*.

f. Parasitisme

Parasitisme terjadi antara dua populasi, populasi satu diuntungkan (parasit) dan populasi lain dirugikan (host / inang). Umumnya parasitisme terjadi karena keperluan nutrisi dan bersifat spesifik. Ukuran parasit biasanya lebih kecil dari inangnya. Terjadinya parasitisme memerlukan kontak secara fisik maupun metabolik serta waktu kontak yang relatif lama. Contohnya adalah bakteri *Bdellovibrio* yang memparasit bakteri *E. coli*. Jamur *Trichoderma* sp. Memparasit jamur *Agaricus* sp.

g. Predasi

Hubungan predasi terjadi apabila satu organisme predator memangsa atau memakan dan mencerna organisme lain. Umumnya predator berukuran lebih besar, dan peristiwanya berlangsung cepat. Contohnya adalah Protozoa (predator) dengan bakteri. Protozoa *Didinium nasutum* (predator) dengan *Paramecium*

caudatum.

2.6 Kajian Al Qur'an Tentang Bakteri

Allah menciptakan alam seisinya sebagai rahmat untuk kemaslahatan umat manusia. Manusia berhak untuk memanfaatkan kekayaan alam semaksimal mungkin dalam rangka untuk meningkatkan kesejahteraan mereka serta sebagai bentuk rasa syukur atas nikmat yang telah diberikan oleh Allah SWT. Seperti yang disebutkan dalam Al-Qur'an surat Al-Baqarah ayat 29 :

هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا ثُمَّ أَسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سَمَوَاتٍ
وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ﴿٢٩﴾

“Dia-lah Allah, yang menjadikan segala yang ada di bumi untuk kamu dan Dia berkehendak (menciptakan) langit, lalu dijadikan-Nya tujuh langit. dan Dia Maha mengetahui segala sesuatu” (QS.Al-Baqarah:29).

Dalam tafsir Ibnu Katsir, ayat ini menegaskan Allah telah menganugerahkan karunia yang besar kepada manusia, menciptakan langit dan bumi untuk manusia, untuk diambil manfaatnya, sehingga manusia dapat menjaga kelangsungan hidupnya dan agar manusia berbakti kepada Allah Penciptanya kepada keluarga dan masyarakat. Pada akhir ayat Allah menyebutkan "Dan Dia Maha Mengetahui segala sesuatu", maksudnya ialah ilmu Allah itu meliputi seluruh apa yang diciptakan-Nya, baik benda itu kecil, maupun besar, nampak atau tidak nampak, semuanya itu diatur, dikuasai dan diketahui oleh Allah (Ghofar, 2007: 99).

Ayat ini mengisyaratkan keadaan manusia agar menuntut ilmu untuk memikirkan segala macam ciptaan Allah, sehingga dapat menambah iman dan memurnikan ketaatan hanya kepada Allah saja. Dari ayat tersebut seharusnya kita

semua sebagai manusia yang lemah harus sadar. Allah-lah yang menjadikan segala yang ada di muka bumi ini untuk kita kelola sebagai sebuah amanah. Hanya Allah yang berhak menjadikan segala sesuatu sebagai sumber kenikmatan bagi manusia. Allah telah menciptakan alam semesta untuk kepentingan dan kesejahteraan semua makhluk-Nya. Dalam Al Qur'an surat al Baqarah ayat 26 juga disebutkan, yang berbunyi :

﴿ إِنَّ اللَّهَ لَا يَسْتَحْيِي أَنْ يَضْرِبَ مَثَلًا مَّا بَعُوضَةً فَمَا فَوْقَهَا فَأَمَّا الَّذِينَ ءَامَنُوا فَيَعْلَمُونَ أَنَّهُ الْحَقُّ مِنْ رَبِّهِمْ وَأَمَّا الَّذِينَ كَفَرُوا فَيَقُولُونَ مَاذَا أَرَادَ اللَّهُ بِهَذَا مَثَلًا يُضِلُّ بِهِ كَثِيرًا وَيَهْدِي بِهِ كَثِيرًا وَمَا يُضِلُّ بِهِ إِلَّا الْفَاسِقِينَ ﴾

Yang artinya: “*Sesungguhnya Allah tidak segan-segan membuat perumpamaan nyamuk atau yang lebih rendah dari itu. Adapun orang-orang yang beriman, maka mereka yakin bahwa perumpamaan itu benar dari Tuhan mereka, tetapi yang kafir mengatakan: Apakah maksud Allah menjadikan ini untuk perumpamaan? Dengan perumpamaan itu banyak orang yang disesatkan Allah dan dengan perumpamaan itu pula banyak orang yang diberinya petunjuk. Dan tidak ada yang disesatkan Allah kecuali orang-orang yang fasik*”.

Dalam ayat ini Allah tidak segan-segan membuat perumpamaan dengan sesuatu yang Dia kehendaki, misalnya dengan nyamuk atau yang lebih rendah darinya. Semua itu adalah makhluk-Nya dan keajaiban kebijakan-Nya dalam penciptaan nyamuk dan semut itu sama seperti keajaiban kebijakan-Nya dalam penciptaan gajah dan unta. Bahkan , bentuk dan susunan makhluk yang kecil lagi hina ini lebih memukau dan menakjubkan dari makhluk yang besar (al-Qarni, 2008: 23).

Menurut Al-Mahalli (2008), kata مَا (apa juga) kata penyerta yang diberi keterangan dengan kata-kata yang dibelakangnya menjadi maf'ul sani atau objek

ke dua hingga berarti tamsil perbandingan apapun juga, sedangkan kata-kata dibelakangnya menjadi maf'ul sani. Kata *بَعُوضَةٌ* dalam ayat ini “seekor nyamuk” adalah serangga kecil. Sedangkan pada kata *فَمَا فَوْقَهَا* (atau yang lebih atas dari itu) artinya yang lebih besar dari itu. Menurut Ghoffar (2007), terdapat dua pendapat pada penggalan ayat *فَمَا فَوْقَهَا*, salah satunya menyatakan “Artinya yang lebih kecil dan hina”. Pendapat kedua menyatakan “Artinya yang lebih besar darinya”, karena tidak ada yang lebih hina dan kecil daripada nyamuk. Disini Allah memberitahukan bahwa Dia tidak pernah menganggap remeh sesuatu apapun yang telah dijadikan-Nya sebagai perumpamaan meskipun hal yang hina dan kecil seperti halnya nyamuk. Sebagaimana Dia tidak memandang remeh penciptaannya, Diapun tidak segan untuk membuat perumpamaan dengan nyamuk tersebut, sebagaimana Dia telah membuat perumpamaan dengan lalat dan laba-laba.

Dalam tafsir Al-Maraghi, yang dimaksud dengan yang lebih kecil dibanding nyamuk ialah sesuatu yang lebih kecil bentuknya dibandingkan nyamuk. Misalnya kuman, kuman tersebut tidak bisa dilihat dengan mata telanjang, dan hanya bisa dilihat dengan bantuan mikroskop (Mustafa: 114).

Maka, Allah adalah Tuhan bagi makhluk yang kecil dan yang besar. Pencipta nyamuk dan gajah, dan mukjizat (kejaiban) pada nyamuk adalah mukjizat pada gajah itu sendiri, yaitu mukjizat kehidupan. Keajaiban rahasia yang tertutup yang tidak ada yang mengetahuinya kecuali Allah. Kemudian yang menjadi pelajaran dalam perumpamaan itu bukanlah pada fisik dan bentuk, tetapi perumpamaan itu hanya alat untuk menerangi dan membuka pandangan. Oleh karena itu didalam membuat perumpamaan itu tidak ada sesuatu yang tercela dan tidak perlu malu menyebutkannya (Quthb, 2008: 61)

Dalam kaitannya dengan perumpamaan penciptaan nyamuk dan yang lebih rendah dari itu, bahwasannya kekuasaan Allah itu teramat sangat besar, bahkan kebesaran Allah itu tidak akan hilang jika Dia membuat perumpamaan yang dianggap remeh, seperti halnya bakteri. Dalam kaitannya dengan bakteri, yang merupakan makhluk ciptaan Allah yang jauh lebih kecil dari nyamuk, mempunyai manfaat yang sangat besar bagi lingkungan disekitar kita. Di lingkungan sekitar kita, tidak lepas dengan yang namanya sampah, baik organik maupun yang anorganik, disinilah peranan bakteri ciptaan Allah yang mempunyai ukuran sangat kecil tetapi mempunyai manfaat yang sangat besar dalam mendegradasi sampah-sampah organik, sehingga tanah menjadi subur dan dapat digunakan oleh tanaman sebagai nutrisinya. Dari sini dapat diketahui bahwa hanya orang-orang yang tertutup dari cahaya Allah dan hikmah-Nya yang meragukan akan ciptaan dan karunia Allah yang diberikan kepada kita.