

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Botani Tanaman Padi

Tanaman padi termasuk golongan tumbuhan *Gramineae* dengan batang yang tersusun dari beberapa ruas. Tanaman padi yang mempunyai nama botani *Oryza sativa* dengan nama lokal padi *paddy*. Daunnya memanjang dengan ruas searah batang daun. Pada batang utama dan anakan membentuk rumpun pada fase generative dan membentuk malai. Akar serabutnya terletak pada kedalaman 20-30 cm. Malai padi terdiri dari sekumpulan bunga padi yang timbul dari buku paling atas. Bunga padi terdiri dari tangkai bunga, kelopak bunga *lemma* (gabah padi yang besar), *palae* (gabah padi yang kecil, putik, kepala putik, tangkai sari, kepala sari, dan bulu *awu* pada ujung *lemma*). Padi dapat dibedakan menjadi padi sawah dan padi gogo. Padi sawah biasanya ditanam di daerah dataran rendah yang memerlukan penggenangan, sedangkan padi gogo ditanam di dataran tinggi pada lahan kering. Tidak terdapat perbedaan morfologis dan biologis antara padi sawah dan padi gogo, yang membedakan hanyalah tempat tumbuhnya.

Perkecambahan adalah munculnya tunas (tanaman kecil dari biji). Embrio yang merupakan calon individu baru terdapat di dalam benih. Jika suatu benih tanaman ditempatkan pada lingkungan yang menunjang dan memadai, benih tersebut akan berkecambah. Perkecambahan benih dapat dibedakan menjadi dua, yaitu: Perkecambahan epigeal adalah ruas batang di bawah daun lembaga atau hipokotil sehingga mengakibatkan daun lembaga dan kotiledon terangkat ke atas tanah, sedangkan perkecambahan hipogeal adalah ruas batang teratas (epikotil) sehingga daun lembaga ikut tertarik ke atas tanah, tetapi kotiledon tetap di bawah tanah, misalnya pada tanaman padi (*Oryza sativa* L.) (Pratiwi, 2006).

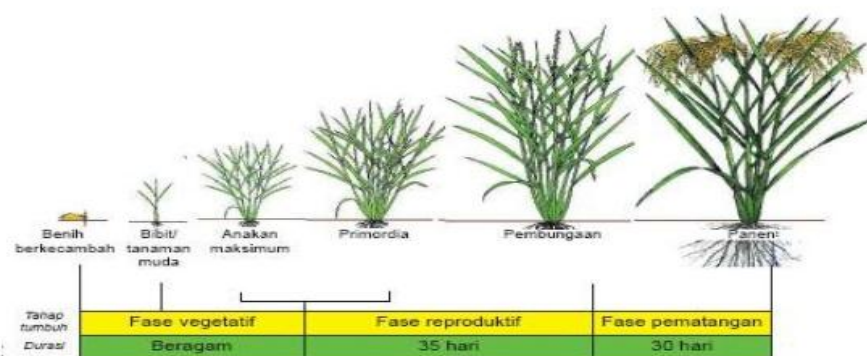
Akar tanaman padi berfungsi menyerap air dan zat-zat makanan dari dalam tanah terdiri dari :1) akar tunggang yaitu akar yang tumbuh pada saat benih berkecambah, 2) akar serabut yaitu akar yang tumbuh dari akar tunggang setelah tanaman berumur 5 – 6 hari. Ciri khas daun tanaman padi yaitu adanya sisik dan telinga daun, hal ini yang menyebabkan daun tanaman padi dapat dibedakan dari jenis rumput yang lain. Adapun bagian daun padi yaitu: 1) helaian daun terletak pada batang padi, bentuk memanjang seperti pita, 2) pelepah daun menyelubungi batang yang berfungsi memberi dukungan pada ruas bagian jaringan, 3) lidah daun terletak pada perbatasan antara helaian daun dan leher daun.

Perkecambahan adalah munculnya tunas (tanaman kecil dari biji). Embrio yang merupakan calon individu baru terdapat di dalam benih. Jika suatu benih tanaman ditempatkan pada lingkungan yang menunjang dan memadai, benih tersebut akan berkecambah. Perkecambahan benih dapat dibedakan menjadi dua, yaitu: perkecambahan *epigeal* adalah ruas batang di bawah daun lembaga atau hipokotil sehingga mengakibatkan daun lembaga dan kotiledon terangkat ke atas tanah, misalnya pada kacang hijau *Phaseolus radiatus*, sedangkan perkecambahan hipogeal adalah ruas batang teratas *epikotil* sehingga daun lembaga ikut tertarik ke atas tanah, tetapi kotiledon tetap di bawah tanah, misalnya pada tanaman padi *Oryza sativa* L. (Pratiwi, 2006).

2.2 Efektifitas Bahan Organik pada Fase Pertumbuhan Tanaman Padi

Pertumbuhan tanaman adalah pertambahan ukuran yang dapat diketahui dengan adanya pertambahan panjang, diameter, dan luas bagian tanaman. Dalam pertumbuhannya tanaman padi memiliki beberapa tahapan atau Fase. Menurut Yoshida (1981) pertumbuhan tanaman padi dibagi menjadi 2 fase yaitu fase vegetatif dan fase generatif. namun ada yang membagi lagi fase generatifnya menjadi fase reproduktif dan pemasakan. Berikut ialah fase pertumbuhan yang dilalui oleh tanaman padi:

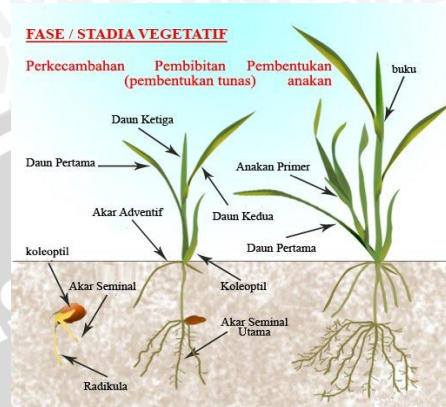
Pola Fase Pertumbuhan Padi



Joko Pramono, BPTP Jateng 2012

Gambar 1. Fase pertumbuhan tanaman padi (Joko Pramono, 2012)

Fase pertumbuhan padi terdiri dari 2 fase yaitu fase vegetatif dan fase generatif, pada fase generatif dibagi menjadi dua fase reproduktif dan fase pemasakan. Fase reproduktif dimulai dari inisiasi primordial malai sampai berbunga. Fase pemasakan dimulai dari berbunga sampai panen.



Gambar 2. Fase Vegetatif Tanaman Padi (Anonymous, 2016)

Fase vegetatif diawali saat berkecambah sampai inisiasi primordial malai. Pemberian bahan organik paling efektif yaitu pada fase vegetatif dimana pada fase tersebut terbentuk anakan yang cepat sampai tercapai anakan yang maksimal, pertambahan tinggi tanaman dan daun tumbuh secara teratur, lama stadia vegetatif 55 hari setelah semai (hss).



Gambar 3. Fase Generatif Tanaman Padi (Anonymous, 2016)

Pada fase generatif terdapat 2 fase yaitu fase reproduksi dan fase pemasakan. Pertumbuhan pada fase reproduksi ditandai dengan perpanjangan ruas batang, jumlah anakan berkurang, daun bendera muncul dan pembungaan. Fase pemasakan ditandai dengan daun menua dan pertumbuhan biji atau bulir ialah

pertambahan ukuran biji, bobot dan perubahan warna. Lama stadia dalam fase pemasakan sekitar 30 hari.

Fase pertumbuhan padi dapat diperinci lagi, menjadi 9 bagian. Bagian awal dimulai dari perkecambahan sampai terbentuk daun pertama, kurang lebih membutuhkan waktu 3 hari. Stadia bibit, dimulai dari pembentukan daun pertama sampai terbentuk anakan pertama, lama waktu stadia tersebut sekitar 3 minggu atau sampai pada berumur 24 hari. Stadia anakan, pembentukan anakan semakin bertambah sampai batas maksimal padi berumur 60 hari.

Stadia saat terbentuk bulir, saat padi berumur 82 hari. Stadia perkembangan bulir, bulir tumbuh makin sempurna sampai terbentuk biji sekitar 2 minggu saat padi berumur 92 hari. Stadia pembungaan, saat muncul bunga, polinasi dan fenilisasi. Stadia biji berisi cairan menyerupai susu, bulir kelihatan berwarna hijau, padi berumur 100 hari. Stadia pemasakan biji, baru berukuran maksimal, keras dan berwarna kuning, bulir mulai merunduk, tanaman padi berumur 116 hari (Soedarmo, 1995).

2.2 Pengaruh Biourine Sapi Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman

Biourine ialah salah satu jenis pupuk organik cair yang bahan dasarnya berupa urine sapi. Urine sapi ialah cairan dari proses pembuangan sisa metabolisme oleh ginjal kemudian dikeluarkan dari dalam tubuh sapi melalui proses urinasi. Proses urinasi diperlukan untuk membuang molekul – molekul sisa dalam darah yang disaring oleh ginjal untuk menjaga homeostatis cairan tubuh.

Bahan organik belum banyak dimanfaatkan atau digunakan oleh masyarakat secara luas, sedangkan untuk pupuk organik telah lama digunakan petani. Pupuk organik atau nutrisi berasal dari kotoran hewan. Kotoran hewan dapat berupa padat dan cair (urine ternak) dengan kandungan zat hara yang berlainan. Urine sapi sebagai hasil metabolisme mempunyai kadar unsur hara yang lebih tinggi dibandingkan kadar unsur hara yang terkandung dalam kotoran padatnya (Novizan, 2002). Oman (2003) menyatakan bahwa penambahan urine sapi pada pembuatan pupuk organik cair menunjukkan peningkatan yang nyata terhadap kandungan N-total yang dihasilkan.

Tabel 1. Komposisi unsur hara kotoran dari beberapa jenis ternak (Lingga dan Marsono, 2004)

Jenis Ternak	Kadar Hara (%)			
	Nitrogen	Fosfor	Kalium	Air
Kuda				
Padat	0,55	0,30	0,40	75
Cair	1,40	0,02	1,60	90
Sapi				
Padat	0,40	0,20	0,10	85
Cair	1,00	0,50	1,50	92
Kerbau				
Padat	0,60	0,30	0,34	85
Cair	1,00	0,15	1,50	92
Kambing				
Padat	0,60	0,30	0,17	60
Cair	1,50	0,13	1,80	85
Domba				
Padat	0,75	0,50	0,45	60
Cair	1,35	0,05	2,10	85
Babi				
Padat	0,95	0,35	0,40	80
Cair	0,40	0,10	0,45	87
Ayam				
Padat	1,00	0,80	0,40	55
Cair	1,00	0,80	0,40	55

Biourin sapi adalah bahan organik penyubur tanaman yang berasal dari hasil fermentasi anaerobik dari urin dan feses sapi yang masih segar (Wati, Nurlaelih dan Santosa, 2014). Biourin adalah urin maupun feses sapi yang telah melalui proses fermentasi sehingga memiliki kandungan enzim, hormon, dan nutrisi yang baik bagi tanah maupun tanaman (Rinanto, Azizah dan Santosa, 2015). Pada bahan cair kotoran sapi terdapat enzim dan mikroba penghancur sisa makanan ternak dan hormon (Simanungkalit *et al.*, 2006), yang diharapkan dapat mempercepat proses metabolisme pada tanah maupun tanaman sehingga akan meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Pada penelitian Kumar (2013) menyatakan bahwa urine sapi sangat efektif sebagai sumber alami yang potensial enzim lipase. Lipase merupakan enzim yang mempunyai peran dalam reaksi hidrolisa dan transesterifikasi (Riwayati, Hartati dan Kurniasari, 2012).

Biourin merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan ketersediaan, kecukupan, dan efisiensi serapan hara bagi tanaman yang mengandung mikroorganisme sehingga dapat mengurangi penggunaan pupuk anorganik (N,P,K) dan meningkatkan hasil tanaman secara maksimal. Adanya bahan organik dalam biourin mampu memperbaiki sifat fisika, kimia, dan biologi tanah

(Dharmayanti, Supadma dan Arthagama, 2013). Pada pembuatan biourin sapi perlu terlebih dahulu dilakukan fermentasi. Prinsip dari fermentasi ini adalah bahan limbah organik dihancurkan oleh mikroba dalam kisaran temperatur dan kondisi tertentu. Ternyata hasil fermentasi selain mengurangi bau menyengat yang tak sedap juga kualitasnya lebih baik dari urine sapi segar (Murdowo, 2004 dalam Mirna, Salim, dan Gani, 2013). Perbedaan kandungan hara sebelum dan sesudah fermentasi urine sapi dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Perbedaan kandungan hara dan sifat urin sapi sebelum dan sesudah fermentasi (Murdowo, 2004 dalam Mirna, Salim, dan Gani, 2013).

Urine Sapi	pH	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Na (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)	Warna	Bau
Sebelum fermentasi	7.2	1.0	0.5	1.5	1.1	0.2	3726	300	101	18	Kuning	Menyengat
Sesudah fermentasi	8.7	2.7	2.4	3.8	5.8	7.2	7692	507	624	510	Hitam	Tidak Menyengat

Menurut Yuliarta *et al.*, (2014) bahwa kandungan yang dimiliki urin sapi yang melalui proses fermentasi menghasilkan hormon IAA yang merupakan hormon jenis auksin. Auksin tersebut berasal dari berbagai zat yang terkandung dalam protein hijauan dan makanannya, karena auksin tidak terurai dalam tubuh maka auksin dikeluarkan sebagai filtrat bersama dengan urin yang mengeluarkan zat spesifik yang mendorong perakaran. Fungsi auksin mempengaruhi pertambahan panjang batang, pertumbuhan, diferensiasi dan percabangan akar, perkembangan buah, dominansi apikal, fototropisme dan geotropisme (Santoso, 2010). Susetyo (2013) menyatakan bahwa karena baunya yang khas, urin sapi juga dapat mencegah datangnya berbagai hama tanaman, sehingga urin sapi juga dapat berfungsi sebagai pengendalian hama tanaman serangga. Phrimantoro (1995) (dalam Hendrawati, Sudana, dan Wirya, 2015) menyatakan bahwa biourin selain memiliki kandungan unsur hara dan zat pengatur tumbuh yang tinggi, biourin juga mengandung zat penolak untuk beberapa jenis serangga hama. Aroma urin ternak yang cukup khas juga dikatakan dapat mencegah datangnya berbagai hama tanaman sehingga urin sapi juga dapat berfungsi sebagai pengendali hama.

Pembuatan biourin sapi tergantung pada formula pembuatan. Pada pembuatan formula biourin sapi tingkat komposisi kepekatan pengenceran air

yang berbeda berpengaruh pada tanaman. Pengenceran dengan air bertujuan untuk menghasilkan formula biourin sapi yang lebih banyak sehingga dapat diaplikasikan ke banyak tanaman. Jika biourin sapi tidak diencerkan maka dibutuhkan urin sapi lebih banyak dan kurang efektif jika diaplikasikan pada lahan yang luas. Biourin sapi dibuat dari hasil pengolahan limbah kotoran ternak sapi dengan cara fermentasi. Menurut Santosa *et al.*, (2014) bahwa Biourin adalah suatu cairan yang terbuat dari urin sapi 1 liter dicampur 5 kg feses sapi segar dan 50 liter air kemudian diaduk sekitar 5 menit tiap hari dan dibiarkan sekitar 1 minggu, yang selanjutnya dapat digunakan untuk tanaman dengan menyiramkan atau menyemprotkan kepada tanaman pangan maupun sayuran. Penelitian Santosa *et al.*, (2014) menunjukkan bahwa aplikasi biourin (biourin yang digunakan adalah 1 liter urin sapi dan 5 kg kotoran padat sapi dicampur dengan 50 liter air dan diperam dalam waktu sekitar 1 minggu) dengan dosis pemberian biourin 1000 L/ha meningkatkan hasil bobot umbi panen bawang merah sebesar 2114,77 g/m² meningkat 18,8 % dibanding hasil umbi panen dari perlakuan tanpa biourin yaitu 1778 g/m². Pada penelitian Santosa *et al.*, (2014) juga menunjukkan bahwa aplikasi biourin yang digunakan adalah 1 liter urin sapi dan 5 kg kotoran padat sapi dicampur dengan 50 liter air dan diperam dalam waktu sekitar 1 minggu dengan dosis pemberian biourin 1000 L/ha meningkatkan pertumbuhan tanaman padi Ciherang (tinggi tanaman, jumlah daun per rumpun, luas daun per-lembar daun dan indeks luas daun dan bobot gabah per m² masing-masing meningkat 5,1%, 6,8%, 11,9%, 10,2% dan 11,4%).

Biourin sapi diaplikasikan pada tanaman setelah tanaman tumbuh, karena pada saat masa pertumbuhan dan perkembangbiakkan tanaman banyak membutuhkan nutrisi. Biourin langsung diserap oleh tanaman dan sebagian lagi masih diuraikan. Karena biourin mudah menguap dan tercuci oleh air hujan. Nitrat yang terbentuk akan hilang oleh faktor cuaca, seperti hujan dan sinar matahari. Bila cuaca berawan dan udara lembab, kehilangan unsur N akan lebih kecil dibanding kondisi cuaca panas, kering dan banyak angin. Sebelum diaplikasikan ke tanaman, biourin perlu diencerkan terlebih dahulu agar terhindar dari plasmolisis. Plasmolisis dapat menyebabkan tanaman layu dan mati (Perdana,

Yamika, dan Santoso, 2015). Cara pemberian biourin adalah dengan cara disiramkan disekitar tanaman.

2.3 Pengaruh PGPR Terhadap Pertumbuhan Tanaman

PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) merupakan rizibacteria pemicu pertumbuhan tanaman berperan penting dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman, perlindungan hasil panen dan kesuburan lahan. PGPR dapat merangsang pertumbuhan baik secara langsung maupun tidak langsung (Glick, 1995). Secara langsung, PGPR merangsang pertumbuhan, meningkatkan asupan nutrisi, pertumbuhan tanaman ditingkatkan secara tidak langsung karena PGPR menghasilkan senyawa anti mikroba yang menekan pertumbuhan fungi penyebab penyakit tumbuhan (fitopagenik), melibatkan kemampuan PGPR dalam menurunkan pengaruh yang merusak atau mengganggu dari patogen tanaman terhadap hasil tanaman budidaya. PGPR sendiri sudah banyak yang telah dikenal secara luas dua diantaranya adalah *Pseudomonas* sp dan *Bacillus* sp (Kloepper, *et al.*, 1999). Selain kedua genus tersebut, dilaporkan antara lain genus *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Acetobacter*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Rhizobium*, *Erwinia*, *Flavobacterium* dan *Bacillus* (Glick, 1995). Beberapa genus bakteri terseleksi mampu menstimulasi pertumbuhan, baik tanaman legum maupun yang bukan legum pada skala lapangan. Bakteri tersebut terbukti memproduksi fitohormon, yaitu auksin, sitokinin, giberelin, etilen, dan asam absisat.

Hasil penelitian Manuksela (2004) beberapa jenis agens hayati dari kelompok rhizobakteri yang memiliki kemampuan memacu pertumbuhan tanaman, seperti *Bacillus* sp. Menurut Taufik (2010) Rizobakteri yang digunakan mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman secara vegetatif yaitu tinggi tanaman, jumlah daun dan jumlah cabang, selain itu juga dapat meningkatkan pertumbuhan generatif tanaman yaitu pada jumlah bunga, jumlah buah dan berat buah jika dibandingkan dengan perlakuan control atau tanpa pemberian PGPR terhadap tanaman. Aplikasi *Pseudomonas fluorencens* P60 mampu meningkatkan senyawa fenol didalam jaringan tanaman, menurunkan intensitas penyakit layu fusarium, menekan laju infeksi, menurunkan kepadatan akhir patogen, meningkatkan tinggi tanaman, bobot kering akar dan bobot buah pertanaman (Soesanto *et al.*, 2010).

2.4.1 *Pseudomonas* sp.

Pseudomonas sp. adalah bakteri yang memiliki habitat beragam dan memiliki ciri-ciri berupa bakteri gram negatif yang berbentuk bulat panjang atau batang, hampir semuanya motil dengan flagella monotrikus, politrikus dan lofotrikus (Buchanan dan Gibbons 1996). Bakteri *Pseudomonas* sp memiliki banyak manfaat untuk memacu pertumbuhan tanaman dengan memproduksi fitohormon yaitu IAA. Hormon *Indole Acetic Acid* (IAA) merupakan salah satu hormon pertumbuhan tanaman yang sangat penting. IAA merupakan hormon pertumbuhan kelompok auksin yang berguna untuk merangsang pertumbuhan tanaman. Auksin berguna untuk meningkatkan pertumbuhan sel batang, menghambat proses pengguguran daun, merangsang pembentukan buah, serta merangsang pertumbuhan kambium, dan menghambat pertumbuhan tunas ketiak (Tjondronegoro *et al.*, 1989).

Pseudomonas kelompok bakteri PGPR yang cukup banyak diteliti mengenai kemampuannya sebagai agen biokontrol atau agen pengendali hayati. Mekanisme *Pseudomonas* sp. dalam menekan pertumbuhan fungi patogen tanaman diantaranya dengan menghasilkan siderofor, β -1,3 glukanas (Chernin & Chet, 2002), kitinase (Selitrennikoff 2001), antibiosis, dan sianida.

2.4.2 *Bacillus* spp.

Secara umum genus *Bacillus* adalah bakteri gram positif berbentuk batang, bersifat aerobik, dan membentuk endospora atau sel berbentuk spora. Endospora *Bacillus* berbentuk bundar, oval, silindris. Keunggulan *Bacillus* dibandingkan dengan bakteri lain adalah kemampuannya menghasilkan endospora yang tahan panas dan dingin, juga terhadap pH yang ekstrim, pestisida, pupuk, dan waktu penyimpanan (Gordon, 1989). Selain itu bakteri ini memiliki sifat katalase positif sehingga mampu menguraikan peroksida toksik menjadi air dan oksigen.

Bacillus sp. Termasuk kelompok PGPR yang memiliki banyak potensi karena bakteri ini mampu memproduksi IAA, bakteri pelarut fosfat dapat menyediakan fosfat terikat dengan kation logam menjadi fosfat yang dapat terlarut yang dapat diserap tanaman, mensekresi siderofor dan beran sebagai agen

biokontrol dengan menginduksi sistem kekebalan tanaman serta menghasilkan antibiotik (Compant *et al.*, 2005).

2.4.3 *Azotobacter*

Azotobacter termasuk bakteri gram negatif dalam genus yang biasanya motil, berbentuk oval atau bola dan banyak yang berbentuk kapsul. *Azotobacter* merupakan bakteri aerob dan hidup bebas dengan menambat nitrogen. Terdapat perbedaan pada masing-masing strain *Azotobacter* yang bervariasi dalam kimia, biologi dan karakter lainnya. Beberapa strains memiliki kemampuan memfiksasi nitrogen lebih tinggi dibandingkan dengan strains lainnya.

Azotobacter menggunakan karbon untuk proses metabolismenya dari substansi sederhana atau substansi senyawa dari karbon yang ada di alam. Persamaannya, medium yang digunakan untuk pertumbuhan *Azotobacter* memerlukan keberadaan nitrogen organik, mikro nutrisi dan garam untuk meningkatkan kemampuan fiksasi nitrogen oleh *Azotobacter*. Di samping memfiksasi nitrogen, *Azotobacter* juga menghasilkan Thiomine, Riboflavin, Nicotin, indol acetic acid and gibberalin.

Kemampuan *Azotobacter* dalam memproduksi fitohormon sitokinin dan auksin dilaporkan pertama kali oleh Vancura dan Macura pada tahun 1960 (Vancura, 1988). Sampai saat ini sejumlah penelitian telah membuktikan kemampuan rizobakteri *Azotobacter*, *chroococcum*, *A. beijerinckii*, *A. paspali* maupun *A. vinelandii* dalam memproduksi fitohormon terutama sitokinin. Ketika *Azotobacter* diaplikasikan ke dalam benih, perkecambahan benih diperbaiki ke tingkat yang lebih baik, juga *Azotobacter* berperan dalam mengontrol penyakit tanaman melalui substansi yang dihasilkan oleh *Azotobacter*.

2.4.4 *Azospirillum sp*

Bakteri *Azospirillum sp.* merupakan bakteri gram negatif digolongkan ke dalam kelompok bakteri diazotrof endofitik fakultatif karena bakteri itu mengandung enzim nitrogenase dan mampu menambat N secara hayati dan dapat hidup dalam jaringan akar dan mengkolonisasi permukaan akar. *Azospirillum brasilense* dapat dijumpai pada berbagai jenis tanah, rizosfer, dan tanaman serta dapat diinokulasi dari rizosfer gandum. Umumnya *A. brasilense* dijumpai pada tanah bertekstur pasir-liat berpasir tanah aluvial, laterit, dan salin sulfat. Bakteri

tersebut dapat hidup dengan baik di daerah tropika dan subtropika dan dapat hidup pada semua jenis tanah dan perakaran tanaman (Tien, 1979).

Bakteri *Azospirillum* merupakan mikroba penambat N yang hidup berasosiasi dengan tanaman di dalam akar. Asosiasi antara *Azospirillum* dengan akar tanaman mampu meningkatkan efisiensi pemupukan. Asosiasi antara *Azospirillum* sp. dengan tanaman diduga bersifat simbiosis karena bakteri itu menggunakan senyawa malat sebagai sumber C untuk pertumbuhannya, asosiasi yang bersifat simbiosis antara *Azospirillum* sp. dengan tumbuhan berlangsung karena bakteri menerima fotosintat dari tumbuhan dan sebaliknya bakteri menyediakan N untuk tumbuhan dari N yang difiksasinya, zat pengatur tumbuh, vitamin, dan unsur besi. Beberapa laporan menunjukkan pengaruh positif inokulasi *Azospirillum* terhadap pertumbuhan tanaman (Gunarto, 2001).

Di samping perannya secara langsung dalam meningkatkan kandungan N tanaman, *Azospirillum* sp. juga mampu menghasilkan fitohormon yang barangkali berpengaruh lebih besar terhadap pertumbuhan tanaman daripada N yang disumbangkan (Ladha dan Watanabe, 1987, dan Zaki *at al.*, 1992). Selain dapat menambat N dari udara, bakteri *Azospirillum* sp. juga memproduksi zat pengatur tumbuh tanaman seperti auksin, giberelin, dan sitokinin yang berguna bagi pertumbuhan tanaman. (Tien, 1979)

2.4.5 *Aspergillus* sp

Aspergillus sp terdapat di alam sebagai saprofit, tumbuh di daerah tropik dengan kelembaban yang tinggi. Jamur ini dapat melarutkan fosfat adalah bermacam-macam spesies dari genera *Aspergillus*, *Penicillium*, dan khamir. Beberapa varitas dari spesies jamur *Aspergillus niger* mempunyai daya tinggi untuk melarutkan fosfat.

Mikroba pelarut fosfat heterotrof dapat menghasilkan asam-asam organik. Berbagai asam organik tersebut terutama asam-asam hidroksi dapat mengikat secara khelat dan membentuk kompleks yang relatif stabil dengan kation-kation Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , dan Al^{3+} , sehingga fosfat yang semula terikat oleh kation-kation tersebut menjadi terlarut. Beberapa bakteri disamping menghasilkan asam organik non-volatil juga dapat membentuk asam volatil. Asam organik yang dihasilkan oleh satu jenis bakteri dapat bermacam-macam, seperti asam glukonat.

Pembentukan asam organik seperti asam-asam karboksilat yang terjadi selama perombakan bahan organik oleh jamur dapat menyebabkan larutnya batu fosfat. Pelarutan batu fosfat dapat diketahui dengan meningkatnya Ca yang terlepas dari batu fosfat. Dari metode tersebut diketahui bahwa pelarutan batu fosfat meningkat terus sampai hari ke 90. Peningkatan jumlah asam karboksilat dan total keasaman organik sebanding dengan peningkatan pelarutan batu fosfat (Goenadi *et al.*, 1993).

2.5 Mekanisme Kerja PGPR

Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) memainkan peranan penting dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman, perlindungan hasil panen dan kesuburan lahan. PGPR dapat merangsang pertumbuhan baik secara langsung maupun secara tidak langsung (Glick,1995). Secara langsung, PGPR merangsang pertumbuhan, meningkatkan asupan nutrisi. Pertumbuhan tanaman ditingkatkan secara tidak langsung karena PGPR menghasilkan senyawa anti mikroba yang menekan pertumbuhan fungi penyebab penyakit tumbuhan (fitopagenik), melibatkan kemampuan PGPR dalam menurunkan pengaruh yang merusak atau mengganggu dari patogen tanaman terhadap hasil tanaman budidaya. Strain PGPR sendiri sudah banyak yang telah dikenal secara luas, dua diantaranya adalah *Pseudomonas* sp dan *Bacillus* sp.

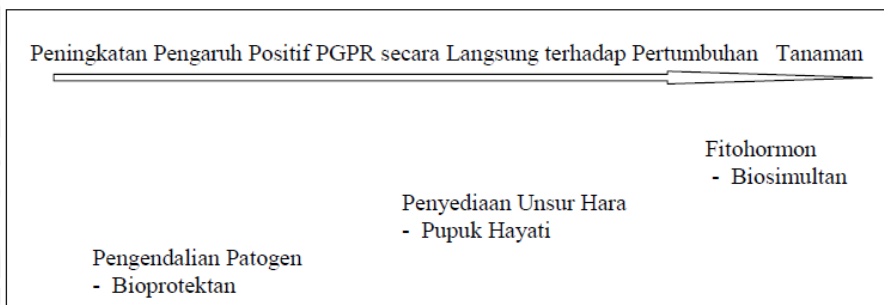
Pengaruh PGPR secara langsung dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman terjadi melalui bermacam-macam mekanisme, di antaranya fiksasi nitrogen bebas yang ditransfer ke dalam tanaman, produksi siderophore yang mengkhelat besi (Fe) dan membuatnya tersedia bagi akar tanaman, melarutkan mineral seperti fosfor dan sintesis fitohormon. Peningkatan langsung dari pengambilan mineral melalui peningkatan dalam spesifik flux ion di permukaan tanaman karena keberadaan PGPR ini telah juga dilaporkan. Strains PGPR bisa jadi menggunakan satu atau lebih mekanisme ini dalam rizosfer. Telah diketahui bahwa PGPR mensintesis auksin dan sitokinin atau terlibat dalam sintesis etilen tanaman (Glick,1995).

Pengaruh PGPR secara tidak langsung dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman terjadi melalui penekanan dari fitopatogen yang dilakukan melalui mekanisme yang berbeda. Kemampuan ini termasuk dalam

memproduksi siderofor yang mengkhelat Fe, menjadikannya tidak tersedia bagi patogen, kemampuan dalam mensintesis metabolit anti fungal seperti antibiotik, dinding sel fungal-lysing enzim atau hidrogen sianida, yang menekan pertumbuhan patogen jamur; kemampuan untuk bersaing secara sukses dengan patogen untuk nutrisi atau unsur hara atau tempat khusus dalam perakaran tanaman; dan kemampuannya dalam menimbulkan resistensi sistemik (Glick, 1995).

Indikasi adanya mekanisme kerja yang mendukung pertumbuhan oleh PGPR adalah pada saat strain bakteri meningkatkan pertumbuhan secara tidak langsung dengan cara mengubah keseimbangan mikrobial dalam rizosfer. Siderofor pengkhelat Fe, antibiotik, dan HCN diproduksi oleh beberapa PGPR dan telah dikaitkan dengan kemampuannya mereduksi patogen tanaman serta rizobakteria yang bersifat toksik. Kaitan HCN dalam mendukung pertumbuhan secara langsung melalui penemuan bahwa beberapa rizobakteria yang bersifat toksik menghasilkan HCN, yang menghambat pertumbuhan tanaman dan bahwa rizobakteria yang merugikan ini dapat dihambat oleh beberapa strain PGPR (Schippers, 1988 dalam Kloepper, *et al.*, 1985).

Bakteri ini diketahui aktif mengkolonisasi di daerah akar tanaman dan memiliki 3 peran utama bagi tanaman yaitu : 1) sebagai biofertilizer, PGPR mampu mempercepat proses pertumbuhan tanaman melalui percepatan penyerapan unsur hara, 2) sebagai biostimulan, PGPR dapat memacu pertumbuhan tanaman melalui produksi fitohormon dan 3) sebagai bioprotektan, PGPR melindungi tanaman dari patogen (Rai, 2006) hal ini dapat dilihat pada gambar 1. Yazdani *et al.*, (2009) juga melaporkan bahwa inokulasi bakteri rhizobacteria terbukti efisien digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil biji tanaman jagung, mengurangi biaya pembelian pupuk dan mengurangi gas rumah kaca, meningkatkan ketersediaan hara N dan mengurangi kehilangan N karena pencucian.



Gambar 4. Mekanisme PGPR (Tenuta, 2006)

Lingkungan rizosfir yang dinamis dan kaya akan sumber energi dari senyawa organik yang dikeluarkan oleh akar tanaman (eksudat akar) merupakan habitat bagi berbagai jenis mikroba untuk berkembang dan sekaligus sebagai tempat pertemuan dan persaingan mikroba. Tiap tanaman mengeluarkan eksudat akar dengan komposisi yang berbeda-beda sehingga berperan juga sebagai penyeleksi mikroba; meningkatkan perkembangan mikroba tertentu dan menghambat perkembangan mikroba lainnya (Husen *et al.*, 2003). Semakin banyak eksudat akar, akan semakin besar jumlah dan keragaman mikroba.

