

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Syarat Tumbuh Tanaman Padi

Tanaman padi dapat hidup baik didaerah yang berhawa panas dan banyak mengandung uap air. Curah hujan yang baik rata-rata 200 mm per bulan atau lebih, dengan distribusi selama 4 bulan, curah hujan yang dikehendaki per tahun sekitar 1500 -2000 mm. (Warintek Bantul, 2008)

Tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman padi adalah tanah sawah yang kandungan fraksi pasir, debu dan lempung dalam perbandingan tertentu dengan diperlukan air dalam jumlah yang cukup. Padi dapat tumbuh dengan baik pada tanah yang ketebalan lapisan atasnya antara 18 -22 cm dengan pH antara 4-7. (Dinas Pertanian dan Kehutanan Kabupaten Bantul, 2008)

2.2. Pertumbuhan Tanaman Padi

Pertumbuhan tanaman padi dapat dibedakan menjadi 2 fase, meliputi fase vegetatif, generatif. (AAK, 1990)

2.2.1 Fase vegetatif

Fase vegetatif tanaman padi dimulai pada saat berkecambahnya biji sampai dengan terbentuk primordia malai. Fase vegetatif meliputi perkecambahan, pertumbuhan akar, pertumbuhan batang dan pertumbuhan daun. Fase vegetatif tanaman padi terjadi antara umur 0-52 hari setelah tanam (Anonim, 2002). Salah satu fase pertumbuhan vegetatif disajikan dalam (Gambar 1)



Gambar 1. Fase vegetatif tanaman padi

2.2.2 Fase generatif

Menurut Salfah dan Daryanto (1984) bunga padi pada umumnya mengalami penyerbukan sendiri, namun kadang - kadang penyerbukan silang. Penyerbukan silang berkisar antara 1 % - 5 %, pemasakan butir malai ada 4 stadia yaitu masak susu, masak kuning, masak penuh, masak mati. Fase generatif tanaman padi terjadi antara umur 52-82 hari setelah tanam (Anonim,2002). Salah satu fase pertumbuhan generatif disajikan dalam (Gambar 2)



Gambar 2. Fase generatif tanaman padi

Fase reproduktif tanaman padi terjadi pada saat pembentukan dan perkembangan kuncup bunga, buah dan biji, atau pada pembesaran dan pendewasaan struktur penyimpanan makanan. Fase reproduktif tanaman padi terjadi antara umur 82-110 hari setelah tanam (Anonim,2002). Salah satu fase pertumbuhan reproduktif tanaman padi disajikan dalam (Gambar 3).



Gambar 3. Fase reproduktif tanaman padi

2.3. Nutrisi Tanaman Padi

Tingkat ketersediaan unsur hara bagi tanaman bergantung pada banyak faktor, antara lain status hara dalam tanah dengan keragaman jenis dan sifatnya, ketersediaan air (irigasi), jenis tanaman yang ditanam yang diusahakan, dan pola pemupukan selumnya (Tisdale, Nelson, And Beaton. 1985)

Kekurangan unsur hara pada tanaman sering termanifestasikan pada daun (Devian 2006) upaya untuk mengatasi kekurangan unsur hara adalah pemupukan dengan pupuk an-organik atau pupuk organik sesuai kebutuhan tanaman. Masalah umum dalam pemupukan adalah rendahnya efisiensi serapan unsur hara oleh tanaman. Efisiensi pemupukan N dan K tergolong rendah, berkisar antara 30-40% (Setyorini dan Ladiyani 2008).

Masih rendahnya produktivitas padi sawah di antaranya disebabkan oleh kurangnya ketersediaan hara dalam tanah (Sudaryono, 1994 dan Suyamto, 1994). Unsur hara yang diperlukan oleh tanaman padi sawah dapat diberikan melalui pemupukan. nitrogen (N), posfor (P), dan kalium (K) merupakan hara yang paling banyak dibutuhkan tanaman padi sawah dibanding hara lainnya. Sebagai gambaran kebutuhan pupuk budidaya disajikan dalam tabel 1

Tabel 1. Kebutuhan pupuk budidaya tanaman padi (kg/ha)

No	Sumber	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Pupuk organik (t/ha)	Hasil (t/ha)
1	Djaenuddin (2000)	54	60	55	7	3
2	Idris, 2002	90	72	50	8	5,4
3	Abdulrahman, 2007	135	36	20	5	6,0

2.4 Peranan NPK

2.4.1 Nitrogen (N)

Unsur nitrogen penting bagi tanaman dan dapat disediakan oleh manusia melalui pemupukan. Nitrogen umumnya diserap oleh tanaman dalam bentuk NO_3^- dan NH_4^+ walaupun urea (H_2NCONH_2) dapat juga dimanfaatkan oleh tanaman karena urea secara cepat dapat diserap melalui epidermis daun (Leiwakabessy, Wahjudin, Suwarno 2003). Menurut Hardjowigeno (2003), nitrogen di dalam tanah terdapat dalam berbagai bentuk yaitu protein (bahan organik), senyawa-senyawa amino, amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-). Bentuk N yang diabsorpsi oleh tanaman berbeda-beda. Ada tanaman yang lebih baik tumbuh bila diberi NH_4^+ ada pula tanaman yang lebih baik diberi NO_3^- dan ada pula tanaman yang tidak terpengaruh oleh bentuk-bentuk N (Leiwakabessy, Wahjudin, Suwarno 2003).

Penyediaan nitrogen berhubungan dengan penggunaan karbohidrat. Apabila persediaan N sedikit maka hanya sebagian kecil hasil fotosintesa yang dirubah menjadi protein dan sisanya diendapkan. Apabila persediaan N cukup banyak, maka sedikit sekali yang mengendap karena sebagian besar dijadikan protein, jadi banyak protoplasma yang terbentuk. Karena protoplasma banyak mengikat air, maka tanaman yang dipupuk banyak N biasanya mempunyai kadar air tinggi di dalam sel vegetatif. Sebagai akibatnya tanaman ini tidak resisten terhadap serangan hama ataupun penyakit (Leiwakabessy *et. Al* 2003). Fungsi N adalah untuk memperbaiki pertumbuhan vegetatif tanaman (tanaman yang tumbuh pada tanah yang cukup N akan berwarna lebih hijau) dan membantu proses pembentukan protein (Hardjowigeno 2003).

Menurut Leiwakabessy (2003), pemberian N yang banyak akan menyebabkan pertumbuhan vegetatif berlangsung hebat sekali dan warna daun menjadi hijau tua. Kelebihan N dapat memperpanjang umur tanaman dan memperlambat proses pematangan karena tidak seimbang dengan unsur lainnya seperti P, K dan S. Kemudian gejala-gejala kebanyakan N lainnya yaitu batang menjadi lemah, mudah roboh (Hardjowigeno 2003) dan dapat mengurangi daya tahan tanaman terhadap penyakit dan hama (Soepardi 1983).

Kekurangan N biasanya menyebabkan pertumbuhan tanaman tertekan, daun-daun menjadi kering, pertumbuhan akar terbatas dan daun cenderung mudah rontok/senesens (Soepardi 1983). Kenyataan ini membuktikan mobilitas N di dalam tanaman. Apabila akar tanaman tidak dapat mengambil N yang cukup untuk pertumbuhannya maka senyawa N di dalam daun-daun tua mengalami proses autolisis (Leiwakabessy *et, al* 2003).

2.4.2 Fosfor (P)

Fosfor bersama-sama dengan nitrogen dan kalium, digolongkan sebagai unsur-unsur utama walaupun diabsorpsi dalam jumlah yang lebih kecil dari kedua unsur tersebut. Tanaman biasanya mengabsorpsi P dalam bentuk $H_2PO_4^-$ dan sebagian kecil dalam bentuk sekunder HPO_4^{2-} . Absorpsi kedua ion itu oleh tanaman dipengaruhi oleh pH tanah sekitar akar. Pada pH tanah yang rendah, absorpsi bentuk $H_2PO_4^-$ akan meningkat (Leiwakabessy *et, al* 2003). Sedangkan menurut Hardjowigeno (2003), fosfat paling mudah diserap oleh tanaman pada pH sekitar netral (pH 6-7).

Menurut Hardjowigeno (2003), unsur-unsur P di dalam tanah berasal dari bahan organik (pupuk kandang dan sisa-sisa tanaman), pupuk buatan (TSP dan Urea) dan mineral-mineral di dalam tanah (apatit). Tanaman dapat juga mengabsorpsi fosfat dalam bentuk P-organik seperti asam nukleik dan phytin. Bentuk-bentuk ini berasal dari dekomposisi bahan organik dan dapat langsung dipakai oleh tanaman. Tetapi karena tidak stabil dalam suasana dimana aktifitas mikroba tinggi, maka peranan mereka sebagai sumber fosfat bagi tanaman di lapangan menjadi kecil (Leiwakabessy *et, al* 2003).

Fosfor merupakan unsur yang mobil di dalam tanaman. Apabila terjadi kekurangan fosfat maka fosfat di dalam jaringan yang tua diangkat ke bagian meristem yang sedang aktif. Tetapi oleh karena kekurangan unsur ini dapat menghambat seluruh pertumbuhan tanaman, maka gejala yang jelas pada daun seperti halnya kekurangan unsur-unsur N dan K jarang terlihat. Peranan fosfat adalah sangat khusus dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Fosfat atau radikal fosforil di dalam sel-sel tanaman diangkat ke golongan aseptor melalui suatu reaksi yang disebut fosforilasi sehingga reaktivitas dari suatu zat bertambah. Fosforilasi akan mengurangi energi aktivasi dari penghalang (barrier) di dalam sel tanaman sehingga memungkinkan semua reaksi-reaksi kimia di dalam proses biologi berlangsung sempurna dan dipercepat (Soepardi 1983).

Beberapa peranan fosfat yang penting ialah dalam proses fotosintesa, perubahan-perubahan karbohidrat dan senyawa-senyawa yang berhubungan dengannya, glikolisis, metabolisme asam amino, metabolisme lemak, metabolisme sulfur, oksidasi biologis dan sejumlah reaksi dalam proses hidup (Leiwakabessy, *et. al* 2003). Selain itu, fosfor adalah penyusun fosfolid,

nucleoprotein dan fitin, yang selanjutnya akan menjadi banyak tersimpan di dalam biji. Fosfor sangat berperan aktif dalam mentransfer energi dalam sel dan dapat meningkatkan efisiensi kerja kloroplas (Hakim, Nyakpa, Lubis, Nugroho, Diha , Hong, Bailey. 1986). Fosfor betul-betul merupakan unsur yang sangat penting dalam proses transfer energi, suatu proses vital dalam hidup dan pertumbuhan (Leiwakabessy *et. Al* 2003).

Sering terjadi kekurangan P di dalam tanah yang disebabkan oleh jumlah P yang sedikit di tanah, sebagian besar terdapat dalam bentuk yang tidak dapat diambil oleh tanaman dan terjadi pengikatan (fiksasi) oleh Al pada tanah masam atau oleh Ca pada tanah alkalis. Gejala-gejala kekurangan P yaitu pertumbuhan terhambat (kerdil) karena pembelahan sel terganggu, daun-daun menjadi ungu atau coklat mulai dari ujung daun, terlihat jelas pada tanaman yang masih muda (Hardjowigeno, 2003).

2.4.3 Kalium (K)

Menurut Hardjowigeno (2003), unsur K dalam tanah berasal dari mineral-mineral primer tanah (feldspar dan mika) dan pupuk buatan (ZA). Bentuk mineral ini kurang tahan terhadap pengaruh air, terutama air yang mengandung CO₂ (Hakim *et al.* 1986). Kalium merupakan unsur ketiga yang penting setelah nitrogen dan fosfor. Kalium diserap oleh tanaman dalam jumlah yang cukup besar, kadang-kadang lebih besar dari nitrogen seperti halnya pada tanaman ubi-ubian (Ismunadji, 1976). Kalium diabsorpsi oleh tanaman dalam bentuk K⁺, dan dijumlahkan dalam berbagai kadar di dalam tanah. Bentuknya dapat ditukar atau bentuk yang tersedia bagi tanaman biasanya dalam bentuk pupuk K yang larut dalam air seperti KCl, K₂SO₄, KNO₃, K-Mg-Sulfat- dan pupuk-pupuk majemuk.

Kebutuhan tanaman akan K cukup tinggi dan akan menunjukkan gejala kekurangan apabila kebutuhannya tidak tercukupi. Dalam keadaan demikian maka terjadi translokasi K dari bagian-bagian yang tua ke bagian-bagian yang muda. Dengan demikian gejalanya mulai terlihat pada bagian bawah dan bergerak ke ujung tanaman. Gejala ini muncul karena kalium adalah unsur yang mobil dan mudah bergerak dari satu tempat ke tempat lain di dalam tanaman (Ismunadji, Partohardjono, Satsijati, 1976).

Kalium mempunyai peranan yang penting dalam proses-proses fisiologis seperti : (1) Metabolisme karbohidrat, pembentukan, pemecahan dan translokasi pati, (2) Metabolisme nitrogen dan sintesa protein, (3) Mengawasi dan mengatur aktivitas beragam unsur mineral, (4) Netralisasi asam-asam organik yang penting bagi proses fisiologis, (5) Mengaktifkan berbagai enzim, (6) Mempercepat pertumbuhan jaringan meristematik, dan (7) Mengatur stomata dan hal-hal yang berhubungan dengan air. Kalium disini tidak terlibat sebagai komponen penyusun tetapi hanya sebagai bentuk anorganik saja (Hakim *et al.* 1986). Ismunadji *et al.* (1976) mengatakan bahwa kalium berperan dalam metabolisme air dalam tanaman, mempertahankan turgor, membentuk batang yang lebih kuat dan sangat berpengaruh terhadap hasil.

Pengaruh kekurangan kalium secara keseluruhan baik terhadap pertumbuhan maupun terhadap kualitasnya merupakan akibat pengaruhnya terhadap proses-proses fisiologis. Proses fotosintesis dapat berkurang bila kandungan kaliumnya rendah dan pada saat respirasi bertambah besar. Hal ini akan menekan persediaan karbohidrat yang tentu akan mengurangi pertumbuhan tanaman. Peranan kalium dan hubungannya dengan kandungan air dalam tanaman

adalah penting dalam mempertahankan turgor tanaman itu yang sangat diperlukan agar proses-proses fotosintesa dan proses-proses metabolisme lainnya dapat berkurang dengan baik (Leiwakabessy 2003 *et. al*).

2.5 *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR)

PGPR merupakan agens (mikroba) yang ada di tanah sifatnya menguntungkan bagi tanaman, Termasuk sebagai agen penginduksi ketahanan, hidup di daerah sekitar perakaran (*rhizosfer*), yang mengeluarkan eksudat yang dikeluarkan akar sebagai nutrisi bagi mikroba. Mayyasari (2009), Saat ini, mikroba bermanfaat dalam meningkatkan ketahanan atau kesehatan tanaman, yang banyak diteliti adalah kelompok rhizobakteri sebagai pemacu pertumbuhan tanaman (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) PGPR

Manfaat PGPR yaitu sebagai agen pengendali hayati yang dapat menekan organisme pengganggu tanaman di lapang, memperbaiki atau meningkatkan pertumbuhan tanaman, meningkatkan hasil produksi tanaman, menurunkan atau menyediakan unsur hara tertentu. PGPR adalah penambahan bakteri pada perakaran tanaman (rizosfer) yang memiliki peranan penting dalam pertumbuhan tanaman. Sehingga dapat menekan pertumbuhan patogen tanaman, dengan dua mekanisme: (1) memacu pertumbuhan tanaman sehingga tanaman lebih sehat sehingga tak mudah diserang oleh patogen dan (2) menghasilkan metabolit tertentu seperti: antibiotik, siderofore dan HCN yang dapat membunuh patogen. PGPR memiliki beberapa fungsi khusus bagi tanaman antara lain dapat meningkatkan kesuburan dan sebagai agen pengendali biologis yang berkorelasi dengan pemacu pertumbuhan tanaman dapat menghambat pertumbuhan *sclerotium rolfsii* dan *ftyhium ultimun* (Nelson, 2004)

Aplikasi PGPR dapat dilakukan melalui penyempnaan dan perendaman benih. Perlakuan PGPR merupakan alternatif yang cukup baik digunakan dalam perlindungan tanaman karena PGPR dapat diaplikasikan ke benih atau disemprotkan pada tanah untuk pembibitan atau saat pindah tanam

Hasil penelitian Amalia (2007), penggunaan PGPR terbukti dapat mengendalikan serangan penyakit antraknosa yang disebabkan oleh cendawan *colletotrichum capsici* sehingga mampu menekan kejadian penyakit pada buah cabai. Kemudian Wirianti (2006) menyatakan bahwa pemberian perlakuan rhizobakteri selain berpengaruh terhadap tinggi tanaman dan juga mampu memperbanyak daun, sebagaimana disajikan dalam tabel 2

Tabel 2. Tinggi tanaman maksimum, Jumlah cabang maksimum dan Jumlah daun maksimum, Bobot akar maksimum dan Bobot biji pada perlakuan PGPR

Perlakuan	Tinggi Tanaman Maksimum (cm)	Jumlah cabang maksimum (bh)	Jumlah daun maksimum (tangkai)	Bobot akar (g)		Bobot kering biji (g)
				Basah	Kering	
Kontrol	41 a	6 a	94 a	39,02 a	9,14 a	6,05 a
PGPR	60,6 b	9 b	324 b	120,78 b	28,14 b	20,1c

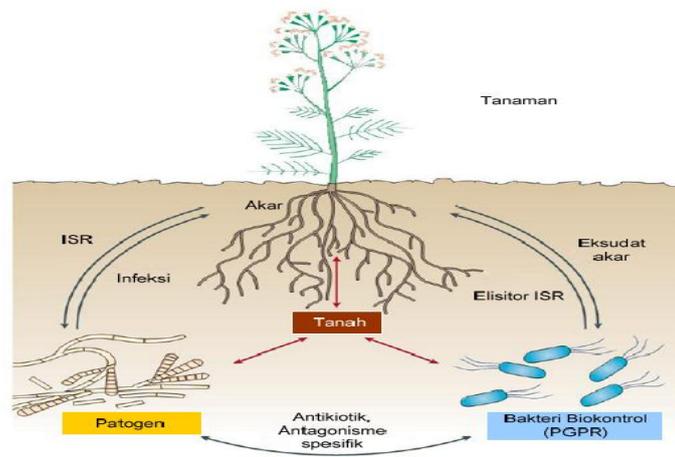
Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji Durjan ($p \leq 0,05$)

2.6 Mekanisme PGPR Sebagai Proteksi tanaman

Menurut Istikorini (2002), mekanisme pengendalian hayati bisa terjadi melalui berbagai mekanisme dan ditunjukkan oleh gambar 4, (1). Antagonisme, mikroorganisme antagonis adalah mikroorganisme yang mempunyai pengaruh merugikan terhadap mikroorganisme lain yang tumbuh dan berasosiasi dengannya. Hal ini biasanya terjadi ketika terjadi persaingan antar mikroorganisme dalam hal ruang hidup, nutrisi dan cekaman faktor lingkungan.

(2). ISR (*Induced Systemic Resistance*) atau ketahanan terimbis adalah ketahanan yang berkembang setelah tanaman diinokulasi lebih awal dengan elisitor biotik (mikroorganisme avirulen, non patogenik, saprofit) dan elisitor abiotik (asam salisilat, asam 2 kloroetil fosfonat). (3). Proteksi silang tanaman yang diinokulasi dengan strain virus yang lemah hanya sedikit menderita kerusakan, tetapi akan terlindung dari infeksi strain yang kuat. Strain yang dilemahkan antarlain dapat dibuat dengan pemanasan *in vivo*, pendinginan *in vivo* dan dengan asam nitrit

Mekanisme antagonisme dan ketahanan berimbis terjadi secara simultan, sehingga rhizobakteri mampu menghambat pertumbuhan jamur pathogen secara langsung dan tidak langsung (Paul, 2007). Beberapa studi *in vitro* terkait mekanisme biofungisida melalui antagonisme telah banyak dilakukan. Menurut Haas and Devago (2005), *Pseudomonas fluorescens* dapat mengeluarkan senyawa antibiotik (antifungal), siderofor, dan metabolit sekunder lainnya yang sifatnya dapat menghambat aktivitas jamur *Fusarium oxysporum*. Senyawa siderofor, seperti *pyoverdin* atau *pseudobacin* diproduksi pada kondisi lingkungan tumbuh yang miskin ion Fe. Senyawa ini menghelat ion Fe sehingga tidak tersedia bagi mikroorganisme lain. Ion Fe sangat diperlukan oleh spora *F. oxysporum* untuk berkecambah. Dengan tidak tersedianya ion Fe maka infeksi *F. oxysporum* ke tanaman berkurang. Sementara senyawa antibiotik yang dihasilkan antara lain : phenazine-1-carboxylate, pyoluteorin, pyrrolnitrin, 2,4-diacetylphloroglucinol, phenazine-1-carboxamide, pyocyanine, hidrogen cyanide dan viscosinamide (Haas, 2005; Adesina, 2007). Untuk jelas ditunjukkan dalam (Gambar 4)



Gambar 4. Interaksi antara bakteri biokontrol (PGPR), tanaman, patogen dan tanah. Interaksi terjadi melalui signal biotik dan abiotik; ISR (*induced systemic resistance*) dikeluarkan oleh bakteri PGPR. (Haas and Devago, 2005).

2.7 Mekanisme PGPR Sebagai Pemacu Pertumbuhan Tanaman

Berdasarkan banyak penelitian sebelumnya, *Pseudomonas* sp. Telah diketahui merupakan salah satu anggota kelompok bakteri PGPR atau bakteri rhizosfer pemacu pertumbuhan tanaman (Glickmann *et al.* 1998; Lindow *et al.* 1998; Vasanthakumar & Manus 2004; Dey *et al.* 2004; Picard & Bosco 2005). Menurut Woitke (2004), PGPR merupakan kelompok mikroorganisme yang hidup bebas yang dapat memberikan keuntungan bagi pertumbuhan tanaman dengan cara mengkolonisasi bagian perakarannya atau hidup di daerah rhizosfer. Mikroorganisme yang ada di tanah atau rhizosfer tanaman memegang peranan penting dalam berbagai proses di dalam tanah yang secara tidak langsung akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman (Tilak, Ranganyaki, Pal, Saxena 2005). Beberapa bakteri rhizosfer selain *Pseudomonas* yang memiliki kemampuan tersebut diantaranya *Rhizobium* (Zahran 1999)

Penggunaan bakteri PGPR seperti *Pseudomonas* sebagai inokulan pupuk alami (*biofertilizer*) telah dilakukan sejak 60 tahun lalu, dan saat ini telah terbukti

bahwa PGPR merupakan inokulan potensial yang ternyata tidak hanya meningkatkan pertumbuhan tanaman (Alvarez, Gagne, Antoun 1995), namun pada beberapa galur bakteri potensial ternyata mampu membantu tanaman dalam menghadapi cekaman lingkungan seperti limitasi air dan nutrisi serta pencemaran senyawa toksik (Shen 1997).

Mekanisme pemacu tumbuh tanaman oleh *Pseudomonas* sp. belum sepenuhnya diketahui hingga kini, namun demikian terdapat banyak jalur mengenai bagaimana aktivitas pemacu tumbuh *Pseudomonas* sp. terhadap pertumbuhan tanaman (Cattelan, Hartel, Fuhrmann, 1999). Jalur aktivitas tersebut diantaranya dengan memproduksi atau mengubah konsentrasi dari hormon pertumbuhan tanaman seperti IAA, asam giberelat (Bottini *et al.* 1989), sitokinin dan etilen serta dengan melarutkan fosfat, kalium atau nutrisi yang lain sehingga tersedia bagi tanaman (Dey, Pal, Bhatt, Chauhan. 2004).

Peningkatan produktivitas tanaman dengan memanfaatkan PGPR salah satunya *Pseudomonas* sp. sebagai inokulan pemacu tumbuh merupakan langkah yang efektif. Hal ini berkaitan dengan pengurangan penggunaan pupuk atau bahan kimia yang kurang baik jika diaplikasikan terus menerus pada lahan pertanian. Beberapa keuntungan nyata penggunaan mikroba sebagai pupuk biologis dibandingkan bahan kimia diantaranya: (1) produk mikroba umumnya lebih aman daripada bahan kimia karena bersifat *bio-degradable* sehingga tidak menimbulkan efek berbahaya jika terakumulasi dalam rantai makanan (2) penggunaan mikroba sebagai inokulan akan mengurangi penggunaan pupuk yang terus menerus akibat adanya replikasi dari mikroba di dalam ekosistemnya (3) Target organisme bagi PGPR dengan aktivitas anti fungi akan sangat spesifik

sehingga meminimalisasi pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman (Shen 1997).

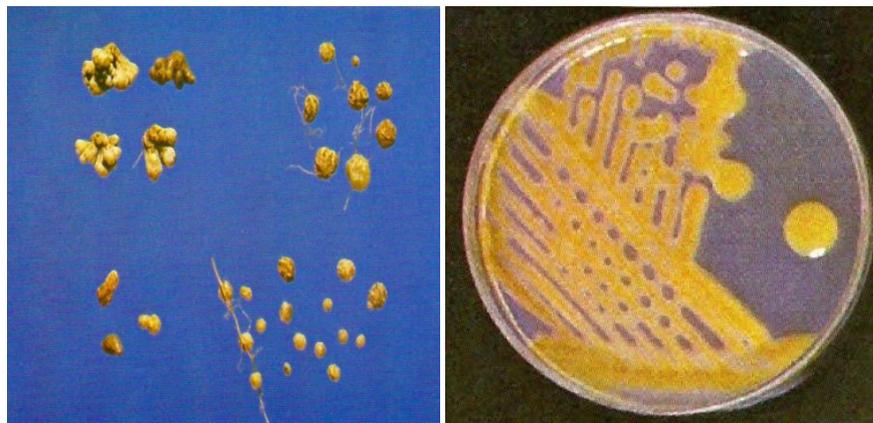
2.8 Peranan Mikroba PGPR

2.8.1 *Rhizobium*

Bakteri *Rhizobium* adalah salah satu contoh kelompok bakteri yang berkemampuan sebagai penyedia hara bagi tanaman. Kelompok bakteri ini akan menginfeksi akar tanaman dan membentuk bintil akar di dalamnya. *Rhizobium* hanya dapat memfikasi nitrogen dari atmosfer bila ada di bintil akar (Rahmawati, 2005).

Suatu pigmen merah yang disebut leghemoglobin dijumpai dalam bintil akar antara bakteroid dan selubung membran yang mengelilinginya. Jumlah leghemoglobin di dalam bintil akar memiliki hubungan langsung dengan jumlah nitrogen yang difikasi (Rao, 1994)

Rhizobium mampu mencukupi 80% kebutuhan nitrogen tanaman dan meningkatkan produksi antara 10% – 25% tapi tanggapan tanaman tergantung pada kondisi tanah dan efektifitas populasi (Susanto, 2002). Sebagai gambaran tumbuh bintil akar , untuk jelasnya disajikan dalam (Gambar 5)

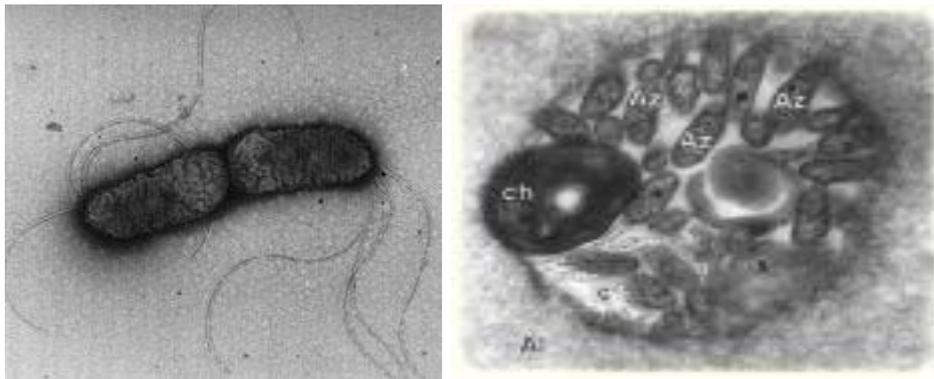


Gambar 5. Bentuk bintil akar yang terinfeksi Bakteri *Rhizobium* (kiri), Bakteri *Rhizobium* yang tumbuh dalam media cawan agar (kanan)

2.8.2 *Azospirillum* dan *Azotobacter*

Bakteri *azospirillum* dan *azotobacter* adalah bakteri yang sama-sama ada diperakaran tanaman, bakteri yang mampu meningkatkan hasil pertanian tertentu apabila diinokulasikan pada tanaman. Infeksi yang disebabkan oleh bakteri inilah yang mampu menyebabkan perubahan morfologi perakaran, meningkatkan akar rambut, menyebabkan percabangan akar lebih berperan dalam penyerapan hara dan dapat meningkatkan daya kecambah benih tanaman (Rahmawati, 2005).

Hasil penelitian Susanto (2002), menyatakan bahwa apabila *azotobacter* dan *azospirillum* secara bersama-sama, maka *azospirillum* lebih efektif dalam meningkatkan hasil tanaman, untuk jelasnya disajikan dalam (Gambar 4)



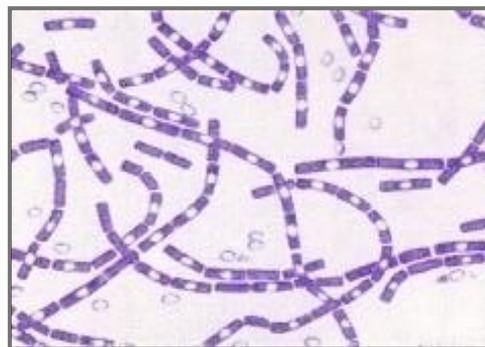
Gambar 6. *Azospirillum* sp hasil pembesaran mikroskop electron (kiri), transmisi mikroskop electron dari bakteri PGPR *Azospirillum brasiliense* (Az) yang menempati satu ruang sel yang sama (kanan).

2.8.3. *Bacillus*

Bacillus sp. dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan kandungan mineral daun pisang (jaiz –Vega, 2004) . Sedangkan pada pada bibit padi meningkatkan pertumbuhan dan produksi padi hingga 43% (Thakuria, 2004)

Secara umum bakteri genus *Bacillus* mampu merespon cekaman dari lingkungan melalui beberapa mekanisme, yakni melalui perkembangan kompetensi sel, produksi enzim dan sporulasi (Schaechter, 2004). Menurut Moat

et al. (2002), *mode of action* pertama, respons kompetensi pada *Bacillus subtilis* ditunjukkan dengan kemampuannya menerima fragmen DNA asing yang menempel pada situs protein spesifik com (*Competence cell membrane*) pada membran selnya. Pengaturan kompetensi sel pada bakteri ini terfokus pada tiga tipe pengaturan terkait cekaman sel oleh faktor lingkungan, yaitu pengaturan nutrisi, motilitas dan enzim penghancur makromolekul. Untuk jelasnya disajikan dalam (Gambar 5).



Gambar 7. Bakteri *Bacillus*

2.9. Bahan Organik

2.9.1 Peranan Bahan Organik Terhadap Sifat Fisika Tanah

Salah satu peran bahan organik yaitu sebagai granulator, yaitu memperbaiki struktur tanah. Menurut Arsyad (1989) peranan bahan organik dalam pembentukan agregat yang stabil terjadi karena mudahnya tanah membentuk kompleks dengan bahan organik. Hal ini berlangsung melalui mekanisme: Penambahan bahan organik dapat meningkatkan populasi mikroorganisme tanah, diantaranya jamur dan cendawan, karena bahan organik digunakan oleh mikroorganisme tanah sebagai penyusun tubuh dan sumber energinya. Miselia atau hifa cendawan tersebut mampu menyatukan butir tanah

menjadi agregat, sedangkan bakteri berfungsi seperti semen yang menyatukan agregat.

Peningkatan secara fisik butir-butir prima oleh miselia jamur dan *actinomycetes*. Dengan cara ini pembentukan struktur tanpa adanya fraksi liat dapat terjadi dalam tanah. Peningkatan secara kimia butir-butir liat melalui ikatan bagian-bagian pada senyawa organik yang berbentuk rantai panjang. Peningkatan secara kimia butir-butir liat melalui ikatan antar bagian negatif liat dengan bagian negatif (karboksil) dari senyawa organik dengan perantara basa dan ikatan hidrogen. Peningkatan secara kimia butir-butir liat melalui ikatan antara bagian negatif liat dan bagian positif dari senyawa organik berbentuk rantai polimer (Stevenson, 1994).

2.9.2 Peranan Bahan Organik Terhadap Sifat Kimia Tanah

Salah satu peranan bahan organik terhadap sifat kimia tanah adalah meningkatkan kation yang mudah dipertukarkan dan pelarutan sejumlah unsur hara dari mineral oleh asam humus. Bahan organik dapat menjaga keberlangsungan suplai dan ketersediaan hara dengan adanya kation yang mudah dipertukarkan. Nitrogen, fosfor dan belerang diikat dalam bentuk organik dan asam humus hasil dekomposisi bahan organik akan mengekstraksi unsur hara dari batuan mineral.

Mempengaruhi kemasaman atau pH. Penambahan bahan organik dapat meningkatkan atau malah menurunkan pH tanah, hal ini bergantung pada jenis tanah dan bahan organik yang ditambahkan. Penurunan pH tanah akibat penambahan bahan organik dapat terjadi karena dekomposisi bahan organik yang banyak menghasilkan asam-asam dominan. Sedangkan kenaikan pH akibat

penambahan bahan organik yang terjadi pada tanah masam dimana kandungan aluminium tanah tinggi , terjadi karena bahan organik mengikat Al sebagai senyawa kompleks sehingga tidak terhidrolisis lagi (Novizan, 2005).

Peranan bahan organik terhadap perbaikan sifat kimia tanah tidak terlepas dalam kaitannya dengan dekomposisi bahan organik, karena pada proses ini terjadi perubahan terhadap komposisi kimia bahan organik dari senyawa yang kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Proses yang terjadi dalam dekomposisi yaitu perombakan sisa tanaman atau hewan oleh mikroorganisme tanah atau enzim-enzim lainnya, peningkatan biomassa organisme, dan akumulasi serta pelepasan akhir. Akumulasi residu tanaman dan hewan sebagai bahan organik dalam tanah antara lain terdiri dari karbohidrat, lignin, tanin, lemak, minyak, lilin, resin, senyawa N, pigmen dan mineral, sehingga hal ini dapat menambahkan unsur-unsur hara dalam tanah (Stevenson, 1994)

Fungsi bahan organik dalam meningkatkan kesuburan kimiawi adalah pengikatan atau penyerapan ion lebih besar, meningkatkan kapasitas pertukaran kation. Humus merupakan kompleks koloidal dengan modifikasi lignin poliuronida, lempung, protein dan senyawa lain berfungsi sebagai misel yang kompleks. Misel mengandung muatan negatif dari gugus $-COOH$ dan $-OH$ yang memungkinkan pertukaran kation meningkat. Fungsi bahan organik dalam meningkatkan kesuburan kimiawi juga akibat penurunan hilangnya unsur hara karena pelindian sebab bahan organik mengikat ion dan mobilisasi N, P, dan S, pelarutan sejumlah unsur hara terutama fosfat dan mineral oleh asam-asam organik sehingga membantu pelapukan kimia mineral dan sebagai gudang unsur hara (Stevenson, 1992, Schnitzer, 1991).

2.9.3 Peranan Bahan Organik Terhadap Sifat Biologi Tanah

Jumlah dan aktivitas metabolik organisme tanah meningkat. Secara umum, pemberian bahan organik dapat meningkatkan pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme. Bahan organik merupakan sumber energi dan bahan makanan bagi mikroorganisme yang hidup di dalam tanah. Mikroorganisme tanah saling berinteraksi dengan kebutuhannya akan bahan organik karena bahan organik menyediakan karbon sebagai sumber energi untuk tumbuh (Stevenson, 1994).

Kegiatan jasad mikro dalam membantu dekomposisi bahan organik meningkat. Bahan organik segar yang ditambahkan ke dalam tanah akan dicerna oleh berbagai jasad renik yang ada dalam tanah dan selanjutnya didekomposisikan jika faktor lingkungan mendukung terjadinya proses tersebut. Dekomposisi berarti perombakan yang dilakukan oleh sejumlah mikroorganisme (unsur biologi dalam tanah) dari senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana. Hasil dekomposisi berupa senyawa lebih stabil yang disebut humus. Makin banyak bahan organik maka makin banyak pula populasi jasad mikro dalam tanah (Brady, 19990).

Bahan organik dapat meningkatkan kapasitas tukar kation dua sampai tiga puluh kali lebih besar daripada koloid mineral yang meliputi 30 sampai 90% dari tenaga jerap suatu tanah mineral. Peningkatan KTK akibat penambahan bahan organik dikarenakan pelapukan bahan organik akan menghasilkan humus (koloid organik) yang mempunyai permukaan dapat menahan unsur hara dan air sehingga dapat dikatakan bahwa pemberian bahan organik dapat menyimpan pupuk dan air yang diberikan di dalam tanah. Peningkatan KTK menambah kemampuan tanah untuk menahan unsur- unsur hara (Buckman (1882) dan Brady; Sanchez, (1976)