

PENGARUH TINGGI DAN LAMA PENGGENANGAN TERHADAP PERTUMBUHAN PADI KULTIVAR SINTANUR DAN DINAMIKA POPULASI RHIZOBAKTERI PEMFIKSASI NITROGEN NON SIMBIOSIS

Rachmawati, D. dan Retnaningrum, E.

Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Jalan Teknik Selatan Sekip Utara Yogyakarta 55281
E-mail: diahbudiharjo@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh tinggi dan lama penggenangan terhadap pertumbuhan tanaman padi (*Oryza sativa* L.) kultivar Sintanur dan densitas rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiosis. Percobaan menggunakan rancangan acak lengkap pola faktorial dengan perlakuan tinggi dan lama penggenangan. Tinggi genangan terdiri atas 4 tingkat, yaitu 0, 2, 4 dan 8 cm dari permukaan tanah. Lama penggenangan terdiri atas 3 tingkat, yaitu 1 minggu, 2 minggu dan 3 minggu. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah anakan, biomassa tanaman, rasio akar/tajuk, pH tanah dan densitas rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiosis. Analisis data dilakukan dengan ANOVA dan perbedaan antar perlakuan dibandingkan menggunakan DMRT pada taraf signifikansi 95%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggenangan meningkatkan tinggi tanaman, jumlah anakan, biomassa tanaman dan nisbah akar tajuk. Selama periode penggenangan pH menurun dibawah 7, sebagai respons terhadap kondisi hipoksia. Densitas rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiosis pada perlakuan lama penggenangan 2 dan 3 minggu tidak berbeda nyata tetapi berbeda nyata dengan penggenangan 1 minggu. Densitas rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiosis menurun dengan meningkatnya lama waktu penggenangan.

Kata kunci: Penggenangan, pertumbuhan padi, hipoksia, rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiosis

ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the effects of depth and duration of inundation during vegetative growth phase on growth of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Sintanur and density of non symbiotic N_2 -fixing rhizobacteria. Experiment design used was completely randomized design with factorial pattern of depth and duration of inundation. Depth of inundation consists of 4 levels: 0, 2, 4 and 8-cm from the soil surface, while the duration of inundation consists of 3 levels; 1 week, 2 weeks and 3 weeks. The observed parameters were plant height, number of tillers, plant biomass, root-shoot ratio, chlorophyll content, pH, and the density of non symbiotic N_2 -fixing rhizobacteria. Data analysis was carried out by ANOVA and the differences between treatments were compared using DMRT at significance level of 95%. The results showed that inundation increased the plant height, number of tillers, plant biomass and root shoot ratio. During the period of inundation, the pH falls below 7 as a response to hypoxia. Density of non symbiotic N_2 -fixing rhizobacteria in the treatment of 2 and 3 weeks of inundation is not significantly different but significantly different to 1 week inundation. The density of non symbiotic N_2 -fixing rhizobacteria has been reduced with increasing duration of inundation.

Key words: Inundation, growth of rice, hypoxia, non symbiotic N_2 -fixing rhizobacteria

PENDAHULUAN

Upaya peningkatan produktivitas tanaman padi menghadapi berbagai kendala faktor lingkungan. Fluktuasi ketersediaan air merupakan masalah dalam pertumbuhan padi. Ketersediaan air yang cukup merupakan keuntungan bagi pertumbuhan tanaman padi sawah. Tanaman padi membutuhkan volume yang berbeda-beda untuk setiap fase pertumbuhannya. Air memiliki peranan yang sangat penting pada saat pembentukan anakan dan inisiasi malai. Status air juga mempengaruhi pembentukan anakan (Tsai and Lai, 1990), pertumbuhan akar dan penyerapan mineral (Marschner, 1995).

Penggenangan tanaman padi selama beberapa periode dalam pertumbuhan sampai pemanenan dapat mengubah sifat kimiawi, mikrobiologi, dan ketersediaan nutrisi dalam tanah. Perubahan lingkungan tersebut selanjutnya mempengaruhi keberadaan dan aktivitas mikrobia yang berada di dalamnya. Aktivitas mikrobia tanah sangat menentukan tingkat ketersediaan hara dan produktivitas tanah. Keadaan reduksi akibat penggenangan akan mengubah aktivitas mikrobia tanah, dimana peran mikrobia aerob akan digantikan dengan mikrobia anaerob yang menggunakan sumber energi dari senyawa kimia teroksidasi yang mudah direduksi yang berperan sebagai penerima elektron seperti NO_3^- , SO_4^{2-} , Fe^{3+} dan Mn^{4+} . Pada rhizosfer akan terjadi interaksi antara tanaman dan mikrobia tanah. Beberapa mikrobia tanah berperan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman sebagai *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (Metting, 1992). Rhizobakteri adalah sejumlah spesies bakteri yang berasosiasi dengan rhizosfer suatu tanaman. Beberapa Rhizobakteri tersebut dapat menginduksi pertumbuhan tanaman. Rhizobakteri pemfiksasi N non simbiosis pada rhizosfer tanaman padi adalah *Agromonas*, *Alcaligenes*, *Aquaspirillum*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Klebsiella* dan *Pseudomonas* (Roger *et al.*, 1992). Bakteri pemfiksasi nitrogen non simbiotik diketahui sebagai rhizobakteri yang dapat memacu pertumbuhan tanaman. Rhizobakteri mempengaruhi lingkungan dengan meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman (Barriuso, 2008).

Tanaman padi umumnya tahan dalam genangan air, namun bila genangan itu terlalu lama maka tanaman akan mati. Hal ini karena pada saat tanaman terendam air, suplai oksigen dan karbon dioksida menjadi berkurang sehingga mengganggu proses fotosintesis dan respirasi (Setyorini dan Abdulrachman, 2008). Efek genangan sangat kompleks dan bervariasi tergantung genotip, status karbohidrat sebelum dan sesudah genangan, tingkat perkembangan tanaman pada saat terjadi genangan, tingkat dan lama, serta derajat turbiditas air

genangan (Jackson and Ram, 2003; Das *et al.*, 2005). Secara morfologis dan fisiologis, efek genangan dapat dicirikan dengan klorosis daun, hambatan pertumbuhan, elongasi daun dan batang yang terendam, dan kematian keseluruhan jaringan tanaman. Sebagian besar kultivar padi memperlihatkan pemanjangan batang sebagai tanggapan terhadap penggenangan. Elongasi batang selama penggenangan merupakan strategi penghindaran (*escape strategy*) yang memungkinkan tanaman padi untuk melakukan metabolisme secara aerob dan fiksasi CO₂ dengan batangnya ke permukaan air (Vriezen *et al.*, 2003; Sarkar *et al.*, 2006). Selain itu, Penggenangan juga menginduksi pembentukan akar adventif dengan adanya etilen yang juga memfasilitasi pembentukan aerenkim (Vriezen *et al.*, 2003). Vasellati *et al.* (2001) mengemukakan bahwa penggenangan meningkatkan jaringan aerenkim pada korteks akar dan helaian daun dan menurunkan jumlah rambut akar per unit panjang akar. Pembentukan aerenkim merupakan salah satu adaptasi morfologi terhadap cekaman hipoksia. Ada-nya aerenkim berfungsi sebagai sistem udara internal untuk menyediakan oksigen secara difusi ke sistem perakaran (Shimamura *et al.*, 2007).

Menurut Dat *et al.*, (2004), cekaman oksigen rendah (hipoksia) juga memicu respons seluler tanaman seperti penurunan pH. Peristiwa ini diamati pada kebanyakan organisme dan merupakan faktor penting untuk ketahanan (*survival*) tanaman pada kondisi hipoksia. Penurunan pH sebagai salah satu tanggapan setelah terjadi hipoksia akar. Perubahan pH seluler mengawali kematian sel dan pembentukan aerenkim. Selain itu, perubahan pH juga berhubungan dengan ABA dalam mengatur stomata dan sebagai sinyal selama kekeringan dan cekaman banjir (Jackson and Ram, 2003).

Padi merupakan tanaman yang dapat tumbuh dengan baik pada kondisi tergenang. Akan tetapi, kondisi genangan yang di atas normal juga akan mempengaruhi kondisi tanaman padi itu sendiri, terutama produksi padi yang dihasilkan. Perbedaan waktu dan lama penggenangan akan memberikan pengaruh yang berbeda pada pertumbuhan padi sawah. Tinggi dan lamanya penggenangan secara substansial mempengaruhi pertumbuhan tanaman padi. Tinggi genangan memberikan informasi kondisi tanah aerob atau anaerob, tetapi penelitian tentang bagaimana tinggi genangan dan lama penggenangan mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan toleransi tanaman padi terhadap penggenangan masih terbatas. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk menganalisis respons pertumbuhan dan ciri fisiologis tanaman padi varietas Sintanur pada tinggi dan lama penggenangan yang berbeda. Selain itu, juga diamati dinamika populasi rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiotik pada tinggi dan lama penggenangan yang berbeda.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Desain Penelitian

Penelitian dilakukan di rumah kaca Fakultas Biologi UGM pada bulan Mei-Agustus 2009. Bahan yang

digunakan meliputi benih padi (*Oryza sativa* L. cv. Sintanur) diperoleh dari Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Yogyakarta, tanah sawah, pupuk urea, SP36 dan KCl, aseton, serta media (*Nitrogen-Free Media*). Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan pola faktorial yang terdiri atas dua faktor. Faktor pertama adalah tinggi genangan air terdiri atas 4 tingkat, yaitu T0= tanpa genangan, T1= tinggi genangan 2 cm, T2= tinggi genangan 4 cm dan T3= Tinggi genangan 8 cm dari permukaan tanah; Faktor kedua adalah lama penggenangan terdiri atas 3 tingkat, yaitu L1= 1 minggu, L2= 2 minggu dan L3= 3 minggu. Tiap-tiap kombinasi perlakuan dengan 5 ulangan.

Prosedur Penelitian

Tanah sawah yang akan digunakan dikering anginkan, dihaluskan dan disaring dengan menggunakan ayakan berdiameter 5 mm. Tiap-tiap pot diisi 5 kg tanah dan pupuk urea 2 g, SP 36 0,5 g dan KCl 0,5 g. Pemberian pupuk urea, SP36 dan KCl dilakukan satu hari sebelum benih padi ditanam ke dalam pot percobaan.

Biji padi yang akan dijadikan bibit dipilih dengan cara direndam dalam air. Biji yang baik direndam selama 48 jam, selanjutnya dikecambahkan dengan menaruh biji pada cawan petri yang telah diberi kapas yang telah dibasahi secukupnya. Setelah berkecambah, biji dipindahkan ke tempat pembibitan dengan media tanah. Bibit padi yang telah berumur 14 hari dipindah ke pot ember plastik telah berisi media tanam. Pada setiap pot ditanam 2 bibit padi dengan kedalaman 2 cm dari permukaan tanah. Pada saat tanam semua pot diberi air sampai kapasitas lapang dan keadaan ini dipertahankan sampai umur 1 minggu. Satu minggu setelah pindah tanam disisakan satu tanaman yang baik pertumbuhannya. Setelah itu dilakukan penggenangan air sesuai dengan perlakuan.

Pada perlakuan penggenangan, tinggi genangan air (setinggi 2 cm, 4 cm dan 8 cm diatas permukaan tanah) dipertahankan dengan menambahkan sejumlah air setiap hari. Pada bagian dalam ember yang digunakan dibuat garis setinggi 2 cm, 4 cm, dan 8 cm diatas permukaan tanah. Jika permukaan air telah dibawah garis tersebut, dilakukan penambahan air hingga setinggi garis tersebut. Pada perlakuan tanpa penggenangan, ketersediaan air dipertahankan pada kondisi kapasitas lapang. Setelah periode penggenangan berakhir, pertumbuhan tanaman padi dengan kondisi kapasitas lapang sampai panen. Selanjutnya dilakukan pengamatan pertumbuhan tanaman padi dan densitas rhizobakteri pemfiksasi N non simbiosis.

Pengamatan pertumbuhan

Parameter pertumbuhan yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah anakan, biomassa tanaman, nisbah akar tajuk tanaman, kadar klorofil, pH tanah, kandungan NO₃⁻ dan NH₄⁺ tanah. Tinggi tanaman diukur dari permukaan tanah sampai ujung daun tertinggi. Jumlah anakan dihitung berdasarkan jumlah anakan yang terbentuk pada tiap tanaman. Biomassa tanaman yang diukur meliputi kering akar dan tajuk. Biomassa tanaman padi ditimbang pada saat panen.

Berat kering akar dan tajuk ditimbang setelah tanaman dikeringkan dalam oven dengan temperatur 80°C sampai mencapai berat konstan. Selanjutnya, dihitung nisbah akar tajuk tanaman. Kadar klorofil daun diukur berdasarkan metode spektrofotometri. Daun seberat 0,1 gram digerus dalam lumpang porselin dan dilarutkan dalam 10 mL aceton 80%. Selanjutnya, ekstrak disaring dengan kertas saring *Whatman No. 1* dan Larutan dimasukkan dalam tabung reaksi dan ditutup dengan aluminium foil. Kemudian larutan tersebut dimasukkan ke dalam kuvet dan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 645 dan 663 nm. Kadar klorofil dapat dinyatakan dalam mg klorofil setiap gram bahan (Yoshida *et al.*, 1976). Pengukuran pH tanah dilakukan langsung terhadap tanah dalam pot menggunakan pH meter.

Penghitungan densitas rhizobakteri pemfiksasi N non simbiosis

Penghitungan densitas rhizobakteri pemfiksasi N non simbiosis dilakukan pada sebelum perlakuan penggenangan, setelah perlakuan penggenangan 1, 2, dan 3 minggu. Sampel tanah dikoleksi dari tanah rhizosfer tanaman padi yaitu dengan jarak antara 2-5 mm dari permukaan akar. Tanah sebanyak 1 gram kemudian diencerkan secara seri dengan akuades steril dengan kelipatan 10 yaitu 10^{-1} sampai 10^{-4} . Selanjutnya sebanyak 0,1 mL suspensi sampel yang telah diencerkan diinokulasikan secara *pour plate* pada *Nitrogen-Free Media* (Salantur, *et al.*, 2006). Selanjutnya, kultur ditumbuhkan pada temperatur 28-30°C selama 3-7 hari sampai terjadi pertumbuhan berupa koloni bakteri. Koloni bakteri yang terbentuk dihitung jumlahnya, dan selanjutnya dihitung densitas rhizobakteri pemfiksasi N non simbiosis (Rao, 1999).

Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis dengan ANAVA untuk mengetahui adanya pengaruh beda nyata dan

dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf signifikansi 5% untuk mengetahui beda antar perlakuan (Gomez dan Gomez, 1984). Selanjutnya, data disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan gambar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan Tanaman

Pertumbuhan tanaman digunakan sebagai indikator untuk mengetahui karakteristik tanaman dan hubungannya dengan faktor lingkungan. Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui tanggapan tanaman padi kultivar Sintanur terhadap penggenangan pada fase pertumbuhan vegetatif. Tanaman padi membutuhkan volume air yang berbeda-beda untuk setiap fase pertumbuhannya. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan karakter fisiologi tanaman padi setelah perlakuan penggenangan. Perlakuan tinggi dan lama penggenangan secara nyata berpengaruh pada pertumbuhan tanaman padi kultivar Sintanur.

Tabel 1 menunjukkan bahwa tinggi tanaman pada perlakuan penggenangan berbeda nyata dengan tanpa penggenangan, namun tinggi dan lama penggenangan tidak berpengaruh. Perlakuan penggenangan juga secara nyata meningkatkan jumlah anakan, biomassa tanaman dan nisbah akar tajuk. Tinggi tanaman pada perlakuan penggenangan relatif lebih tinggi dan jumlah anakan yang lebih banyak dibandingkan dengan kontrol tanpa penggenangan (Gambar 1 dan 2). Hal ini kemungkinan disebabkan karena penggenangan menyebabkan nutrisi menjadi lebih tersedia bagi tanaman yang selanjutnya digunakan tanaman untuk pertumbuhannya yang ditunjukkan dengan meningkatnya tinggi tanaman. Hasil ini sejalan dengan penelitian Kawano *et al.*, (2009) bahwa adanya penggenangan akan memacu elongasi batang sebagai salah strategi penghindaran (*escape strategy*) terhadap penggenangan untuk membantu mencukupi kebutuhan oksigen dan karbondioksida untuk mendukung respirasi aerob dan fotosintesis.

Tabel 1. Pengaruh penggenangan terhadap tinggi tanaman, jumlah anakan, biomassa tanaman dan nisbah akar tajuk padi kultivar Sintanur umur 8 minggu setelah tanam (MST)

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)	Jumlah Anakan Akar	Biomassa tanaman (g)			Nisbah Akar Tajuk (%)
			Tajuk	Total		
L1T0	82,38 ^a	2,60 ^{ab}	0,40 ^a	3,73 ^a	4,13 ^a	0,107 ^a
L1T1	95,78 ^b	2,80 ^{abc}	0,62 ^{ab}	5,21 ^{ab}	5,83 ^{ab}	0,119 ^a
L1T2	98,96 ^b	3,60 ^{bcd}	0,66 ^{ab}	5,13 ^{ab}	5,79 ^{abc}	0,128 ^{ab}
L1T3	98,04 ^b	4,00 ^{cd}	0,88 ^{abc}	6,10 ^{ab}	6,98 ^{abc}	0,145 ^{ab}
L2T0	83,78 ^a	2,60 ^{ab}	0,40 ^{ab}	3,85 ^a	4,25 ^{ab}	0,103 ^a
L2T1	94,22 ^b	3,40 ^{abc}	0,82 ^{abc}	4,84 ^{ab}	5,66 ^{abc}	0,170 ^{ab}
L2T2	96,60 ^b	6,40 ^e	1,30 ^{bc}	6,23 ^{ab}	7,53 ^{bc}	0,209 ^b
L2T3	100,24 ^b	5,40 ^{de}	1,42 ^c	7,14 ^b	8,56 ^c	0,199 ^b
L3T0	81,70 ^a	2,60 ^{ab}	0,41 ^a	3,97 ^a	4,38 ^a	0,103 ^a
L3T1	93,24 ^b	3,80 ^{bcd}	0,82 ^{abc}	5,59 ^{ab}	6,41 ^{abc}	0,146 ^{ab}
L3T2	95,06 ^b	6,40 ^e	0,86 ^{abc}	5,84 ^{ab}	6,70 ^{abc}	0,147 ^{ab}
L3T3	100,10 ^b	4,00 ^{cd}	1,23 ^{bc}	7,34 ^b	8,57 ^c	0,168 ^{ab}

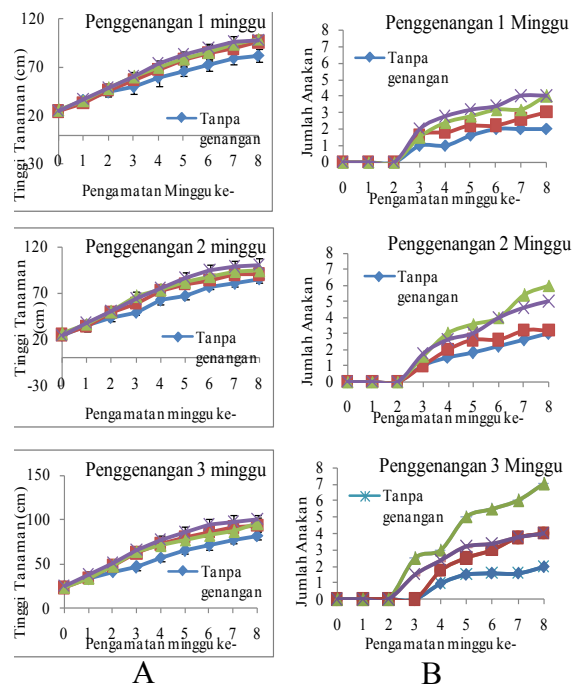
Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata dengan uji Duncan pada taraf 0.05

Pada kenampakan morfologi tanaman (Gambar 1) dapat dilihat bahwa pada tanaman dengan perlakuan penggenangan menunjukkan jumlah anakan yang lebih banyak. Perlakuan lama penggenangan 1 minggu (A), 2 minggu (B) dan 3 minggu (C) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap morfologi tanaman. Sedangkan tinggi genangan berpengaruh secara signifikan terhadap tinggi tanaman, jumlah daun dan biomassa tanaman. Biomassa tanaman padi kultivar Sintanur secara nyata meningkat dengan meningkatnya tinggi genangan (Tabel 1). Peningkatan tersebut diduga berkaitan dengan meningkatnya kapasitas fotosintesis. Peningkatan nisbah akar tajuk juga terlihat dengan semakin tinggi genangan. Hal ini juga berhubungan erat dengan pertumbuhan akar dan penyerapan nutrisi dari tanah (Salantur *et al.*, 2006).

Perlakuan penggenangan meningkatkan jumlah anakan per tanaman. Peningkatan jumlah anakan mencapai 2 kali lipat dibandingkan perlakuan tanpa penggenangan, jumlah anakan tertinggi diperoleh perlakuan tinggi genangan 4 cm pada perlakuan lama penggenangan 2 minggu dan 3 minggu (Tabel 1). Perbedaan jumlah anakan pada perlakuan penggenangan dan tanpa penggenangan terlihat berbeda mulai minggu ke-5 (Gambar 2B). Perlakuan penggenangan selama 2 minggu (L2) dengan tinggi genangan 4 cm (T2) menghasilkan pertumbuhan terbaik dilihat dari jumlah anakan yang terbentuk. Diketahui bahwa penggenangan meningkatkan ketersediaan nutrisi (Roger *et al.*, 1992). Ketersediaan hara yang optimal memberikan kontribusi pada pertumbuhan tanaman. Peningkatan jumlah anakan antara lain disebabkan oleh meningkatnya serapan nitrogen selama fase vegetatif (De Datta, 1981).

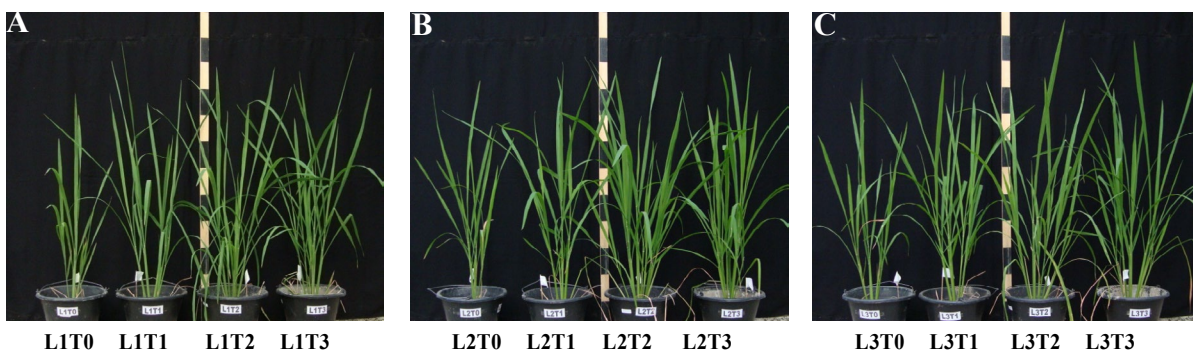
Perlakuan penggenangan pada awal pertumbuhan tanaman padi meningkatkan jumlah anakan pertanaman. Hal ini sesuai pendapat Vergara (1976), bahwa kebutuhan akan air bagi tanaman padi pada awal fase vegetatif adalah kritis, dimana fase vegetatif merupakan fase pembentukan anakan aktif dan anakan maksimum. Perlakuan penggenangan selama 2 minggu (L2) dengan tinggi genangan 4 cm (T2) menghasilkan pertumbuhan terbaik dilihat dari jumlah anakan yang terbentuk. Diketahui bahwa penggenangan meningkatkan ketersediaan nutrisi (Roger *et al.*, 1992). Peningkatan ketersediaan nutrisi berhubungan dengan aktivitas mikrobia tanaman. Ketersediaan hara yang optimal

memberikan kontribusi pada pertumbuhan tanaman. Peningkatan jumlah anakan antara lain disebabkan oleh meningkatnya serapan nitrogen selama fase pertumbuhan vegetatif. Nitrogen digunakan oleh tanaman untuk membentuk protein yang selanjutnya digunakan untuk pertumbuhan jumlah anakan.



Gambar 2. Pertumbuhan tinggi tanaman (A) dan jumlah anakan (B) tanaman padi varietas Sintanur dengan perlakuan tinggi dan lama penggenangan

Tinggi tanaman dan biomassa tanaman berkorelasi positif dengan perlakuan tinggi penggenangan dan lama penggenangan seperti ditunjukkan pada Gambar 3A. Hal ini menunjukkan bahwa hasil fotosintesis digunakan untuk pertumbuhan tinggi tanaman. Pertumbuhan tinggi tanaman sebagai hasil pemanjangan batang merupakan respons toleransi tanaman terhadap penggenangan (Jackson & Ram 2003; Kawano *et al.*, 2002). Kemampuan pemanjangan batang tergantung pada sifat genetik varietas dan dipengaruhi oleh lingkungan atau tingkat perkembangan tanaman sebelum penggenangan. Hal ini sebagai sarana untuk pemulihan hubungan dengan lingkungan dan melanjutkan asimilasi karbon fotosintesis. Pemanjangan batang selama penggenangan menggunakan energi dan tampaknya menggunakan karbohidrat di daun yang berkembang sebelum terjadi penggenangan.



Gambar 1. Morfologi tanaman padi kultivar Sintanur umur 8 minggu dengan perlakuan tinggi dan lama penggenangan. A. Penggenangan 1 minggu; B. Penggenangan 2 minggu; dan C. Penggenangan 3 minggu

Pemanjangan batang selama penggenangan diperantari oleh interaksi etilen dan giberelin (Kawano *et al.*, 2002). Etilen tampaknya tidak memacu pertumbuhan batang secara langsung tetapi melalui aksi giberelin. Selama penggenangan kondisi lingkungan dengan konsentrasi CO₂ dan cahaya yang rendah menyebabkan reduksi kemampuan fotosintesis pada tanaman yang tergenang. Karbohidrat terutama digunakan sebagai suplai energi untuk memelihara metabolisme selama penggenangan (Jackson and Colmer, 2005).

Biomassa tanaman (berat kering akar dan tajuk) padi kultivar Sintanur meningkat secara proporsional terhadap tinggi genangan (Gambar 3A). Tanaman dengan perlakuan penggenangan mempunyai berat kering lebih tinggi daripada tanpa penggenangan. Biomassa tanaman mencerminkan hasil fotosintesis bersih (*net photosynthesis*) yang terkait dengan ketersediaan nutrisi yang dapat diserap oleh tanaman (Barker and Pilbeam, 2007). Dari hasil analisis kadar NO₃ tanah menunjukkan bahwa pada perlakuan penggenangan mempunyai kadar NO₃ yang lebih tinggi daripada tanpa penggenangan. Nitrat yang tersedia selanjutnya digunakan tanaman padi untuk pertumbuhannya.

Gambar 3B memperlihatkan adanya korelasi antara tinggi tanaman dan jumlah anakan. Tanaman padi dengan perlakuan penggenangan mempunyai jumlah anakan yang lebih banyak dibandingkan dengan tanpa penggenangan. Pada perlakuan tinggi genangan 4 cm menunjukkan pertumbuhan jumlah anakan yang optimal, dimana peningkatan tinggi genangan hingga 8 cm jumlah anakan yang terbentuk lebih sedikit dibandingkan dengan tinggi genangan 4 cm (Gambar 3B). Hal ini kemungkinan pada kondisi tersebut tanaman merespons dengan meningkatkan pemanjangan batang untuk membantu mencukupi kebutuhan oksigen dan karbondioksida untuk mendukung respirasi aerob dan fotosintesis, sehingga pertumbuhan jumlah anakan semakin berkurang.

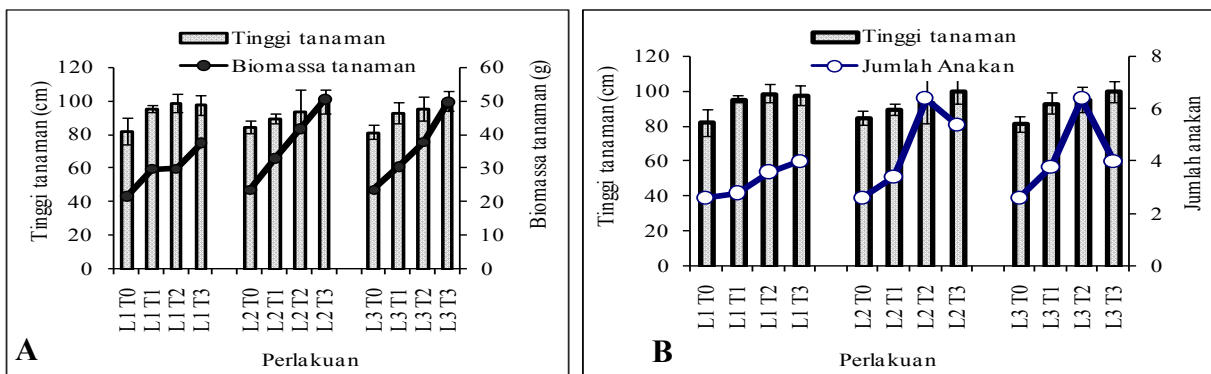
Hasil analisis kadar klorofil pada minggu ke-1, 2 dan 3 setelah perlakuan penggenangan tidak menunjukkan perbedaan kadar klorofil antar perlakuan tinggi dan lama penggenangan. Klorofil merupakan pigmen yang sangat berperan dalam fotosintesis dan mempengaruhi hasil fotosintesis, yang selanjutnya akan berpengaruh pada pertumbuhan tanaman (Taiz and Zeiger, 2003). Kadar klorofil pada perlakuan penggenangan cenderung lebih rendah daripada per-

lakukan tanpa penggenangan meskipun secara statistik tidak berbeda nyata (Tabel 2).

Pengamatan parameter pH tanah selama perlakuan penggenangan menunjukkan bahwa pada perlakuan penggenangan mempunyai pH relatif lebih rendah dibandingkan dengan tanpa penggenangan (Gambar 4). Selama periode penggenangan, pH turun dibawah 7. Namun setelah periode penggenangan 1, 2 dan 3 minggu pH tanah akhirnya mencapai pH 7. Diketahui bahwa pada kondisi tergenang, tanaman mengalami cekaman oksigen rendah (hipoksia). Kondisi anaerob memicu respons seluler tanaman seperti penurunan pH. Perubahan pH seluler mengawali kematian sel dan pembentukan aerenkim (Dat *et al.*, 2004). Selain itu, perubahan pH juga berhubungan dengan ABA dalam mengatur stomata dan sebagai sinyal selama kekeringan dan cekaman banjir (Insalud *et al.*, 2006; Felle, 2010).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggenangan berpengaruh nyata terhadap pH tanah pada minggu awal selama perlakuan penggenangan (Gambar 4). Pada perlakuan penggenangan, pH tanah menurun, hal ini kemungkinan karena proses dekomposisi bahan organik oleh mikrobia menghasilkan CO₂ yang dengan air akan membentuk asam karbonat. Asam karbonat yang terbentuk akan terdisosiasi menjadi HCO₃⁻ dan H⁺. Namun setelah perlakuan penggenangan berakhir sampai pengamatan minggu ke-8, pH tanah mendekati netral. Perubahan pH setelah penggenangan ini berhubungan dengan sistem redoks dari Fe dan Mn, serta H₂CO₃, seperti perubahan besi feri menjadi fero, sulfat menjadi sulfida, karbondioksida menjadi metan, dan penumpukan amonium (IRRI, 1986). Dari pertumbuhan terlihat bahwa penggenangan dapat meningkatkan pertumbuhan. Hal ini diduga terkait dengan adanya amonium yang dapat digunakan oleh tanaman padi sebagai sumber N untuk meningkatkan pertumbuhannya.

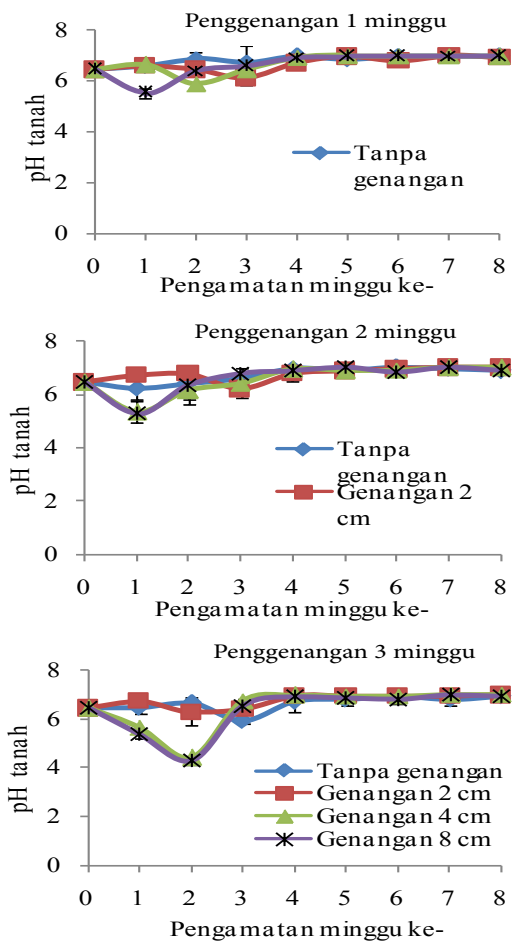
Penggenangan akan menyebabkan perubahan pH tanah ke arah netral. pH netral mengakibatkan amonia berada sebagai ion amonium yang dapat diserap oleh tumbuhan. pH netral juga berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara lain serta proses penyerapan unsur hara yang lebih baik dibandingkan pada kondisi pH asam atau basa. Sehingga dalam penelitian ini pertumbuhan tanaman padi kultivar sintanur pada keadaan tergenang mengalami pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan tanpa penggenangan pada fase



Gambar 3. Korelasi antara tinggi tanaman dan biomassa tanaman (A) dan tinggi tanaman dan jumlah anakan (B) dan padi kultivar Sintanur setelah perlakuan tinggi dan lama penggenangan yang berbeda

Tabel 2. Kadar klorofil total (mg/g) daun tanaman padi kultivar Sintanur setelah perlakuan tinggi dan lama penggenangan yang berbeda

Perlakuan Lama Penggenangan	Tinggi Genangan (cm)	Konsentrasi (mg/g)		
		Klorofil a	Klorofil b	Klorofil Total
1 minggu	0	1,27 ± 0,13	0,67 ± 0,09	1,94 ± 0,22
	2	1,23 ± 0,14	0,64 ± 0,10	1,87 ± 0,24
	4	1,21 ± 0,17	0,63 ± 0,13	1,84 ± 0,30
	8	1,34 ± 0,37	0,69 ± 0,24	2,03 ± 0,61
2 minggu	0	1,41 ± 0,33	0,64 ± 0,21	2,05 ± 0,54
	2	1,31 ± 0,35	0,58 ± 0,25	1,90 ± 0,61
	4	1,17 ± 0,29	0,48 ± 0,17	1,64 ± 0,46
	8	1,17 ± 0,22	0,45 ± 0,12	1,62 ± 0,34
3 minggu	0	1,30 ± 0,27	0,67 ± 0,17	1,96 ± 0,44
	2	1,23 ± 0,18	0,61 ± 0,14	1,83 ± 0,32
	4	1,40 ± 0,13	0,72 ± 0,11	2,11 ± 0,23
	8	1,32 ± 0,14	0,64 ± 0,15	1,96 ± 0,29



Gambar 4. Perubahan pH tanah selama pertumbuhan tanaman padi kultivar Sintanur pada perlakuan tinggi dan lama penggenangan yang berbeda

vegetatifnya. Patrick *et al.*, (1985) mengemukakan bahwa penggenangan akan mengubah sifat fisik tanah (keseimbangan udara, aerasi, agregasi dan suhu), sifat biologi (komposisi mikrobia aerob-anaerob) dan fisikokimia (pH, konsentrasi ion, perubahan potensial

redoks, dan ketersediaan unsur hara). Unsur nitrogen menentukan jumlah anakan dan ukuran malai. Pada kondisi tergenang, kehilangan N terjadi melalui penguapan, denitrifikasi, dan pencucian. Hal tersebut menyebabkan efisiensi padi sawah dalam menyerap N lebih rendah dibandingkan dengan padi lahan kering. Sebaliknya unsur fosfor menjadi lebih tersedia pada tanah yang digenangi, karena pada tanah kering fosfor terikat oleh partikel. Kalium tidak dipengaruhi oleh oksidasi atau reduksi pada tanah sawah, tetapi umumnya lebih tersedia di sawah dibandingkan dengan di lahan kering. Dengan demikian tanaman yang mendapat genangan diduga menyerap nitrat atau amonium dari dalam tanah lebih banyak dibanding yang tidak mendapat genangan.

Keuntungan penggenangan pada pertumbuhan tanaman padi adalah rendahnya potensial redoks sehingga tidak akan terjadi kekurangan besi dan keracunan mangan pada tanaman padi, terjadinya perubahan tanah ke arah netral, menumpuknya amonium memudahkan terserapnya unsur N bagi tanaman, dan meningkatnya besi, mangan, fosfor dan silikat. Dengan kondisi tanah menjadi lebih sesuai bagi perkembangan tanaman padi, sebaliknya pertumbuhan gulma menjadi terhambat. Selain itu, status air juga mempengaruhi pembentukan anakan (Tsai and Lai, 1990), pertumbuhan akar dan penyerapan mineral (Marschner, 1995).

Penggenangan mempengaruhi ketersediaan nitrogen di dalam tanah, semakin tinggi genangan efisiensi penyerapan unsur N semakin menurun, sehingga dalam penelitian ini jumlah anakan lebih banyak pada perlakuan tinggi genangan 4 cm (T2) daripada 8 cm (T3) karena efisiensi penyerapan unsur N lebih baik pada penggenangan dengan tinggi 4 cm dari pada 8 cm. Kemungkinan pada tinggi genangan 4 cm merupakan lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman dimana ketersediaan air dan

unsur hara tercukupi dibandingkan dengan perlakuan lain. Selain unsur N, unsur P dan K juga berperan dalam pembentukan anakan. Ketersediaan unsur P dan K tercukupi akibat penggenangan, dimana unsur tersebut berperan dalam pembentukan protein selanjutnya dapat memacu pertumbuhan jumlah anakan.

Data pengujian kadar nitrogen tanah yang meliputi NH_4^+ dan NO_3^- diketahui kadar NH_4^+ dalam tanah awal sebelum perlakuan tidak terlalu tinggi yaitu 16,55 ppm sedangkan kadar NO_3^- terukur 23,76 ppm. Pada perlakuan penggenangan 1 minggu dan seterusnya, kadar NH_4^+ yang terukur menurun kemungkinan karena NH_4^+ yang tersedia telah diserap oleh tanaman padi. Sementara itu kadar NO_3^- yang terukur yaitu 68,03 ppm dan setelah perlakuan penggenangan mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan bahwa di dalam tanah telah terjadi proses nitrifikasi dari NH_4^+ menjadi NO_3^- . NO_3^- digunakan oleh tanaman padi sebagai sumber N sebagai komponen penyusun asam amino protein, nukleotida dan klorofil.

Penggenangan secara umum menyebabkan umur berbunga lebih cepat 5-7 hari dibandingkan dengan perlakuan tanpa penggenangan. Dengan perlakuan penggenangan, tanaman padi varietas Sintanur mulai berbunga pada umur 10 MST. Pada umur 12 MST semua perlakuan penggenangan telah berbunga. Secara visual menunjukkan bahwa perlakuan penggenangan menunjukkan waktu berbunga yang serentak dibandingkan dengan perlakuan tanpa penggenangan.

Densitas rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiosis

Perubahan kondisi lingkungan sangat berpengaruh pada dinamika populasi mikrobia. Rhizobakteri merupakan spesies bakteri yang berasosiasi dengan rhizosfer suatu tanaman. Pada penelitian ini dikaji dinamika populasi rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiosis. Hasil pengamatan pada minggu pertama sampai minggu ke tiga terlihat densitas rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiosis mengalami penurunan yang nyata pada perlakuan tanpa penggenangan dan tinggi genangan 2 cm. Sedangkan pada tinggi genangan 4 dan 8 cm densitas rhizobakteri tidak berbeda secara nyata. Lama penggenangan berpengaruh nyata terhadap densitas rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiosis. Densitas rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiosis pada penggenangan 2 dan 3 minggu tidak berbeda nyata tetapi berbeda nyata dengan penggenangan 1 minggu (Tabel 4). Tinggi genangan tidak berpengaruh pada densitas rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiosis. Dinamika rhizobakteri ini berhubungan dengan perubahan lingkungan akibat penggenangan. Hal ini sejalan dengan Maier *et al.*, 2000 yang menyatakan bahwa keberadaan mikrobia rhizosfer sangat dipengaruhi oleh perbedaan jenis tanaman, kondisi tanah dan faktor lingkungan.

Dinamika populasi rhizobakteri pemfiksasi N non-simbiosis dapat dilihat Tabel 4. Kelompok bakteri pemfiksasi nitrogen non-simbiosis umumnya

bersifat fakultatif aerob. Pada tanah tergenang, lapisan tanah teroksidasi hanya beberapa milimeter berada dipermukaan. Nitrifikasi terjadi pada lapisan tanah tergenang. Akan tetapi dengan penggenangan dan pertumbuhan tanaman padi, perubahan yang terjadi di tanah tampaknya mempengaruhi aktivitas organisme nitrifikasi. Jumlah rhizobakteri pemfiksasi nitrogen dan kapasitas nitrifikasi menurun dengan adanya penggenangan. Hal ini terjadi karena pada saat penggenangan terjadi penurunan ketersediaan oksigen (Setyorini dan Abdulrachman, 2008).

Tabel 4. Densitas rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiosis (CFU/g) setelah perlakuan tinggi dan lama penggenangan yang berbeda

Tinggi Genangan	Lama Penggenangan			Rata rata
	1 Minggu	2 Minggu	3 Minggu	
Tanpa Genangan	14597,5 ^d	7436,5 ^{ab}	3739,3 ^a	8591,1 ^x
Genangan 2 cm	12719,6 ^d	6978,0 ^{ab}	6979,3 ^{ab}	8892,3 ^x
Genangan 4 cm	11012,0 ^{bed}	7903,3 ^b	9782,5 ^{bed}	9565,9 ^x
Genangan 8 cm	8364,5 ^{bc}	7704,0 ^{ab}	6871,0 ^{ab}	7646,5 ^x
Rata-rata	11673,4 ^p	7505,45 ^q	6843,025 ^q	+

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf sama pada kolom dan baris tidak berbeda nyata dengan uji Duncan pada taraf α 0.05

Lama penggenangan berpengaruh nyata terhadap densitas rhizobakteri pemfiksasi N non simbiosis, dimana penggenangan 2 dan 3 minggu tidak berbeda nyata tetapi berbeda nyata dengan penggenangan 1 minggu. Densitas rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiosis cenderung menurun dengan meningkatnya lama waktu penggenangan. Sementara itu, tinggi genangan tidak berpengaruh pada densitas rhizobakteri pemfiksasi N non simbiosis. Densitas rhizobakteri pemfiksasi N non-simbiosis akan berpengaruh pada kandungan nitrogen tanah dan hal ini juga berhubungan perubahan kandungan nitrogen tanah yang berpengaruh pertumbuhan tanaman padi. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Hayat *et al* (2011) yang menunjukkan bahwa penggenangan pada secara nyata meningkatkan pertumbuhan vegetatif dan hasil.

SIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh disimpulkan bahwa pertumbuhan padi kultivar Sintanur yang optimal diperoleh pada perlakuan tinggi genangan 4 cm selama 2 minggu. Densitas rhizobakteri pemfiksasi nitrogen non simbiosis menurun dengan meningkatnya lama waktu penggenangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai melalui program penelitian Dana Masyarakat Fakultas Biologi UGM tahun anggaran 2009. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Siti Badriyah dan Yudhita Chandra Kirana kerjasamanya selama pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Barker, A.V. & Pilbeam, D.J. 2007. Handbook of Plant Nutrition. Boca Raton London New York. CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Barriuso J. & Solano, B.R. 2008. Ecology, Genetic Diversity and Screening Strategies of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR). In: Edited by Iqbal Ahmad, John Pichtel, and Shamsul Hayat (Eds.) Plant-Bacteria Interactions. Strategies and Techniques to Promote Plant Growth. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN: 978-3-527-31901-5. p. 1-17.
- Das, K.K., Sarkar, R.K. & Ismail, A.M. 2005. Elongation ability and non-structural carbohydrate levels in relation to submergence tolerance in rice. *Plant Science*. 168:131-136. doi:10.1016/j.plant sci., 2004.07.023.
- Dat, J.F., Capelli, N., Folzer, N., Bourgeade, P. & Pierre-Marie Badot. 2004. Sensing and signalling during plant flooding. *Plant Physiology and Biochemistry*. 42: 273-282. doi:10.1016/j.plaphy. 2004.02.003.
- Felle, H.H. 2010. pH Signalling during Anoxia. In Mancuso, S. & Shabala, S. (Eds). *Waterlogging Signalling and Tolerance in Plants*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p79-97.
- Gomez, K.A. & Gomez, A.A. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research* 2nd edition. New York. John Wiley & Sons, Inc.
- Hayat, R., Ali, S., Amara, U, Khalid, R. & Ahmed, I. 2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Ann. Microbiol.* DOI 10.1007/s13213-010-0117-1.
- Insalud, N., Bell, R.W., Colmer, T.D. & Rerkasem, B. 2006. Morphological and Physiological Responses of Rice (*Oryza sativa*) to Limited Phosphorus Supply in Aerated and Stagnant Solution Culture. *Annals of Botany*. 98: 995-1004. doi:10.1093/aob/mcl194
- IRRI. 1986. *Standard Evaluation System for Rice*. Los Banos, Philippines IRRI-IRTP.
- Jackson, M.B. & P.C. Ram. 2003. Physiological and Molecular Basis Susceptibility and Tolerance of Rice Plants to Complete Submergence. *Annals of Botany*. 91: 227-241. doi:10.1093/aob/mcf242
- Jackson, M.B. & Colmer, T.D. 2005. Response and Adaptation by Plants to Flooding Stress. *Annals of Botany*. 96: 501-505. doi:10.1093/aob/mci205
- Kawano, N., Ella, E., Ito, O., Yamauchi, Y. & Tanaka, K. 2002. Metabolic changes in rice seedlings with different submergence tolerance after desubmergence. *Environmental and Experimental Botany*. 47:195-203
- Kawano, N., Ito, O. & Sakagami, J. 2009. Morphological and physiological responses of rice seedlings to complete submergence (flash flooding). *Annals of Botany*. 103: 161-169. doi:10.1093/aob/mcn 171.
- Maier, R.M., Pepper, I.L. & Gerba, C.P. 2000. *Environmental Microbiology*. New York. Academic Press,
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher Plants* 2nd edition. Academic Press. New York. USA. p131-183.
- Metting, F.B. 1992. *Soil Microbial Ecology, Application in Agricultural and Environmental Management*. New York. Marcel Dekker, Inc.
- Patrick, W. H., Jr. D.S. Mikkelsen. & B.R. Wells. 1985. Plant nutrient behavior in flooded soil. In: *Fertilizer Technology and Use*. 2nd Ed. O.P. Engelstad (ed.) Soil Sci. Soc. Amer., Madison WI, USA.
- Rao, N.S.S. 1999. *Soil Microbiology. Soil Microorganisms and Plant Growth*. Fourth Edition. New Hampshire. Science Publishers,
- Roger, P.A., Zimmerman, W.J. & Lumpkin, T.A., 1992. *Microbiological Management of Wetland Rice Fields*. Soil Microbial Ecology. Edited by Meeting, F.B., Marcel Dekker, Inc. New York. p: 417-447.
- Salantur, A., Ozturk, A. & Akten, A., 2006. Growth and yield response of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to inoculation with rhizobacteria. *Plant Soil Environment*, 52 (3): 111-118.
- Sarkar, R. K., Reddy, J. N., Sharma, S. G. & Ismail, A. M. 2006. Physiological basis of submergence tolerance in rice and implications for crop improvement. *Current Science*, 91(7): 899-906.
- Setyorini, D. & Abdulrachman, S. 2008. *Pengelolaan Hara Mineral Tanaman Padi*. In *Padi-Inovasi Teknologi dan Ketahanan Pangan* Buku I. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Shimamura, S., Yoshida, S. & Mochizuki, T. 2007. Cortical Aerenchyma Formation in Hypocotyl and Adventitious Roots of *Luffa cylindrica* Subjected to Soil Flooding. *Annals of Botany*. 100 (7):1431-1439. doi:10.1093/aob/mcm239

- Taiz, L. & Zeiger, E. 2003. *Plant Physiology*, 3rd edition. Sinauer Associates Inc. Massachusetts. Publisher. Sunderland.
- Tsai, Y.Z. & Lai, K.L. 1990. The effect of temperature and light intensity on the tiller development of rice. Taiwan. Department Agronomy, National University Taipei, 30:2.
- Vasellati, V., Oosterheld, M., Medan, D. & Loreti, J. 2001. Effects of Flooding and Drought on the Anatomy of *Paspalum dilatatum*. *Annals of Botany*, 88(3): 355-360. doi:10.1006/anbo.2001.1469
- Vriezen, W.M., Zhou, Z. & Van Der Straeten, D. 2003. Regulation of Submergence-induced Enhanced Shoot Elongation in *Oryza sativa* L. *Annals of Botany*, 91:263-270. doi: 10.1093/aob/mcf121.
- Yoshida, S., Forno, D.A., Cock, J.H. & Gomez, K.A. 1976. Los Banos, Phlippines. Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice Third Edition. IRRI, pp. 43-45.