

**Pengaruh Pemupukan terhadap Perubahan Morfofisiologi
Dua Varietas Padi pada Kondisi Cekaman Rendaman**

*The Effect of Fertilization on Morphophysiological Changes
of Two Rice Varieties under Submergence Stress*

Gribaldi^{1*}, Rujito A. Suwignyo², Merry Hasmeda², dan Renih Hayati²

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Baturaja
Jl. Ratu Penghulu No. 02301 Karang Sari Baturaja 32115, Sumatera Selatan, Indonesia

²Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Indralaya - Prabumulih KM.32 Indralaya, Sumatera Selatan, Indonesia

Diterima 12 Juli 2013/Disetujui 20 November 2013

ABSTRACT

Submergence tolerance is plant adaptation to anaerobic or hypoxia condition without significant damage. Changes in morphophysiological characters of rice plant are often related to the plant adaptation to submergence stress. Fertilization might affect plant morphophysiological changes under submergence stress. The objective of this research was to study the effect of rice varieties and fertilizer application on the growth and morphophysiological changes under submergence stress. The experiment was arranged in factorial completely randomized block design with six replications. The first factor was rice varieties consisted of Inpara 5 (V1) and IR64 (V2), while the second factor was fertilizer application consisted of without fertilization (P0) and with fertilizer application (P1). Submergence stress was applied on 28 days old seedlings for 7 days. The results showed that fertilizer application increased aerenchyma formation and plant N content of both IR64 and Inpara 5 varieties. Inpara 5 variety had higher relative chlorophyll content, relative carbohydrate content, and relative plant dry weight than IR64 variety at 7 days after submergence stress.

Keywords: fertilization, morphophysiology, submergence stress, tolerance

ABSTRAK

Toleransi rendaman merupakan adaptasi tanaman dalam merespon proses anaerob yang memungkinkan sel untuk mengatur atau memelihara keutuhannya sehingga tanaman mampu bertahan hidup dalam kondisi hipoksia tanpa kerusakan yang berarti. Adaptasi tanaman terhadap cekaman rendaman pada tanaman padi dapat terlihat pada perubahan morfologi tanaman. Pemberian pemupukan dapat berpengaruh terhadap perubahan morfologi tanaman, sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman terendam. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh varietas padi dan pemupukan terhadap pertumbuhan dan perubahan morfologi tanaman pada kondisi cekaman rendaman. Penelitian disusun berdasarkan rancangan kelompok lengkap teracak faktorial dengan enam ulangan. Faktor pertama adalah varietas padi yang terdiri atas Inpara 5 (V1) dan IR64 (V2). Faktor kedua adalah pemupukan yang terdiri atas tanpa pemupukan (P0) dan pemupukan (P1). Perendaman dilakukan pada bibit 28 hari setelah semai selama 7 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi pemupukan pada kondisi cekaman rendaman dapat meningkatkan pembentukan aerenkima dan kandungan N tanaman, baik pada varietas Inpara 5 maupun varietas IR64. Varietas Inpara 5 memiliki kandungan klorofil relatif, kandungan karbohidrat relatif, dan bobot kering relatif yang lebih tinggi dibandingkan varietas IR64 pada 7 hari setelah cekaman rendaman.

Kata kunci: cekaman rendaman, morfologi, pemupukan, toleransi

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global memberikan pengaruh terhadap sistem pertanian. Sistem budidaya padi sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air, terutama pada daerah-daerah yang

muka air tanahnya sangat dipengaruhi oleh fluktuasi muka air sungai, pasang surutnya air laut, dan curah hujan. Daerah sentra produksi padi yang kebanyakan berada pada lokasi dataran rendah sangat rentan terhadap peluang terjadinya banjir (Aydinalp dan Cresser, 2008).

Cekaman rendaman mengakibatkan terjadinya perubahan kondisi aerobik ke anaerobik dan sebaliknya dari anaerobik ke aerobik setelah air berkurang. Ketersediaan

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: gribaldi64@yahoo.co.id

karbohidrat merupakan faktor kunci untuk adaptasi dari kondisi aerobik ke anaerobik. Menurut Kawano *et al.* (2008), efisiensi penggunaan karbohidrat selama kondisi terendam juga penting untuk adaptasi pada lingkungan anaerob. Sarkar *et al.* (2006) melaporkan bahwa toleransi rendaman merupakan adaptasi tanaman dalam merespon proses anaerob yang memungkinkan sel untuk mengatur atau memelihara keutuhannya sehingga tanaman mampu bertahan hidup dalam kondisi sedikit oksigen (hipoksia) tanpa kerusakan yang berarti. Sebuah evaluasi terhadap padi yang toleran dan tidak toleran pasca diberi cekaman rendaman menunjukkan bahwa bibit padi yang toleran memiliki 30-50% cadangan karbohidrat nonstruktural lebih banyak dibandingkan kultivar rentan. Hasil percobaan dalam penelitian Gribaldi (2013) menunjukkan bahwa varietas Inpara 5 yang mengandung gen *Sub-1* yang diberi pemupukan separuh dosis Urea pada saat tanam dan sisanya diberikan pada 42 hari setelah tanam dapat meningkatkan toleransi dan pemulihan tanaman padi terhadap cekaman rendaman.

Penetrasi cahaya yang diterima tanaman rendah (Pierik *et al.*, 2005) dan kecepatan difusi gas di air lebih lambat dibanding di udara pada saat tanaman kondisi terendam. Penurunan difusi gas ini mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan, metabolisme, dan daya tahan tanaman (Sarkar *et al.*, 2006). Sebaliknya, hormon tanaman seperti etilen dalam bentuk gas yang diproduksi di dalam tanaman akan terakumulasi dalam jaringan tanaman. Ella *et al.* (2003), melaporkan etilen berpengaruh terhadap menguningnya daun (*senescence*) yang tentunya akan menghambat fiksasi karbon dalam fotosintesis pada saat maupun setelah tanaman terendam.

Cekaman rendaman menyebabkan beberapa tanaman mengalami perubahan anatomi dan morfologi untuk dapat beradaptasi kondisi ini. Terdapat dua mekanisme morfologi untuk tanaman yang mengalami cekaman rendaman, yaitu melalui pembentukan jaringan aerenkima yang tidak hanya pada akar tetapi juga di daun dan pemanjangan batang dimana pemanjangan ini harus terkendali sehingga tanaman tidak rebah pada saat genangan berakhir.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh varietas padi dan pemupukan terhadap pertumbuhan dan perubahan morfofisiologi tanaman pada kondisi cekaman rendaman.

BAHAN DAN METODE

Percobaan pot ini dilaksanakan di Rumah kaca Balai Besar Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian (BB-Biogen), Bogor, dimulai bulan April sampai Juni 2012. Analisis karakter fisiologi tanaman dilakukan di Laboratorium Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian, Bogor, sedangkan pengamatan anatomi akar dilakukan di Laboratorium Mikro Teknik Departemen Agronomi dan Hortikultura Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Rancangan yang digunakan adalah rancangan kelompok lengkap teracak faktorial dengan enam ulangan. Faktor pertama merupakan varietas padi, yang terdiri atas Inpara 5 (mengandung gen *Sub-1*, V1) dan IR64

(tidak mengandung gen *Sub-1*, V2). Faktor kedua adalah pemupukan dengan dua taraf, yaitu tanpa pemupukan (P0) dan dengan pemupukan (P1).

Benih varietas Inpara 5 dan IR64 diinkubasi selama 3 hari, setelah berkecambah disemaikan dalam media bak plastik berukuran panjang 40 cm, lebar 30 cm dan dalam 13 cm yang diisi tanah *topsoil* sekitar lokasi penelitian sebanyak 15 kg, dimana tanah sebelumnya diberi perlakuan pemupukan N, P, K, Si dan Zn serta pupuk kandang, masing-masing dengan dosis 60, 40, 40, 30 dan 20 kg ha⁻¹ serta 10 ton ha⁻¹ (Suwignyo *et al.*, 2012). Bibit yang telah berumur 21 hari di bak persemai dicabut dan ditanam tiga bibit tanaman padi ke dalam masing-masing ember plastik hitam yang berdiameter 30 cm dan tinggi 20 cm, yang telah diisi tanah *topsoil* sekitar lokasi penelitian masing-masing sebanyak 5 kg dan telah digenangi lebih kurang selama 30 hari. Perlakuan rendaman dilakukan pada umur tanaman padi 7 hari setelah tanam (HST) selama 7 hari. Tinggi rendaman air minimal 15 cm dari permukaan tanaman. Perlakuan tanpa pemupukan tidak diberi pupuk sedangkan untuk perlakuan pemupukan dilakukan pada saat tanam, yaitu pupuk 100 kg urea ha⁻¹, 100 kg TSP ha⁻¹, 100 kg KCl ha⁻¹, 200 kg SiP Padi HS ha⁻¹ dan 90 kg pupuk ZnSO₄·7H₂O ha⁻¹. Pupuk urea diberikan separuh dari dosis dan sisanya pada 42 HST dengan cara dibenamkan ke dalam tanah sedalam 10 cm (Gribaldi, 2013).

Pengamatan dilakukan sebelum periode rendaman (7 HST) dan sesaat setelah periode rendaman (14 HST) yang meliputi: 1) kandungan etilen (metode Gas Chromatograph), 2) anatomi akar, diambil bagian akar segar dipotong di bawah mikroskop stereo binokuler dengan pembesaran 10 kali dan untuk pemotretan digunakan mikroskop trinokuler BX 51, 3) kandungan klorofil daun (metode spektrofotometer), 4) kandungan N tanaman (metode Kjeldahl), 5) kandungan karbohidrat (metode luff schrool), 6) tinggi tanaman, dan 7) bobot kering tanaman. Nilai kandungan klorofil, N, karbohidrat, dan bobot kering tanaman relatif pada 14 HST terhadap 7 HST dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Nilai relatif} = \frac{\text{Nilai absolut pada 14 HST}}{\text{Nilai absolut pada 7 HST}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis ragam pada penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan klorofil daun antar varietas berbeda nyata, sedangkan parameter lain tidak dipengaruhi secara nyata oleh perlakuan pemupukan maupun interaksi antar varietas dan pemupukan.

Sifat Kimia Tanah Sebelum Perlakuan

Berdasarkan hasil analisis sifat kimia tanah sebelum perlakuan, tanah yang digunakan untuk penelitian bereaksi agak masam, kadar N-total rendah, ketersediaan fosfor dan K-dd sangat tinggi serta kandungan Si dan Zn yang tinggi (Tabel 1), sehingga pemberian pupuk nitrogen diharapkan dapat memberi pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman.

Kandungan Etilen

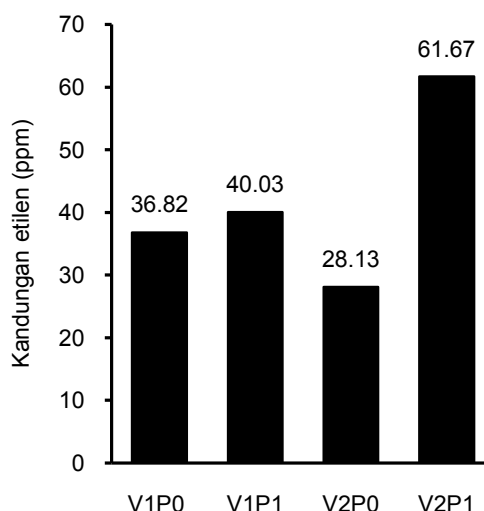
Hasil analisis kandungan etilen akar menunjukkan terjadi peningkatan etilen pada varietas yang dipupuk 7 hari setelah cekaman rendaman (14 HST), terutama pada varietas IR64 yang tidak mengandung gen *Sub-1*. Kandungan etilen pada akar varietas IR64 (V2P1) yang dipupuk mencapai 61.67 ppm, sedangkan pada varietas IR64 (V2P0) yang tidak dipupuk hanya 28.13 ppm (Gambar 1). Hasil penelitian Janne *et al.* (2010) menunjukkan bahwa akar jagung merespon kondisi hipoksia (sedikit oksigen) dengan meningkatkan etilen.

Anatomi Akar

Cekaman rendaman berpengaruh terhadap perubahan anatomi akar. Hasil penelitian menunjukkan pembentukan aerenkima pada varietas yang dipupuk (Gambar 2A, 2C) lebih banyak dari pada varietas yang tidak dipupuk (Gambar 2B, 2D) baik pada varietas Inpara 5 maupun IR64 sesaat setelah periode perlakuan cekaman rendaman (14 HST). Hal ini sejalan dengan kandungan etilen yang meningkat pada varietas yang dipupuk, menggambarkan adanya ketersediaan oksigen yang cukup akibat adanya pembentukan aerenkima yang lebih banyak. Menurut Seago *et al.* (2005), salah satu mekanisme tanaman yang biasa hidup dalam keadaan terendam adalah memiliki jaringan aerenkima. Aerenkima merupakan ruangan interselular yang terbentuk dari kombinasi pertumbuhan sel dan pembelahan sel (*expansion*).

Kandungan Klorofil Daun

Pemupukan tidak berpengaruh terhadap kandungan klorofil daun. Kandungan klorofil pada daun mengalami penurunan sesaat setelah periode cekaman rendaman (14



Gambar 1. Pengaruh pemupukan terhadap kandungan etilen pada akar, sesaat setelah periode cekaman rendaman, pada varietas padi. V1: Inpara 5, V2: IR64, P0: Tanpa pemupukan, P1: Pemupukan

HST) pada kedua varietas padi, baik yang dipupuk maupun yang tidak dipupuk (Gambar 3A). Kandungan klorofil daun relatif varietas IR64 yang tidak memiliki gen *Sub-1* pada pengamatan 14 HST terhadap 7 HST lebih rendah dibandingkan pada varietas Inpara 5 yang mengandung gen *Sub-1*. Varietas Inpara 5 yang dipupuk memiliki kandungan klorofil lebih tinggi 82.4% dibanding varietas IR64 yang dipupuk (Gambar 3B). Hal ini disebabkan tanaman dalam kondisi terendam mengalami peningkatan kandungan etilen yang berdampak pada penurunan kandungan klorofil pada tanaman. Menurut Setter *et al.* (1987), cekaman rendaman menyebabkan meningkatnya produksi hormon etilen dan asam gibberelat pada tanaman. Ella *et al.* (2003) melaporkan bahwa hormon etilen menyebabkan degradasi klorofil sehingga daun cepat senesen.

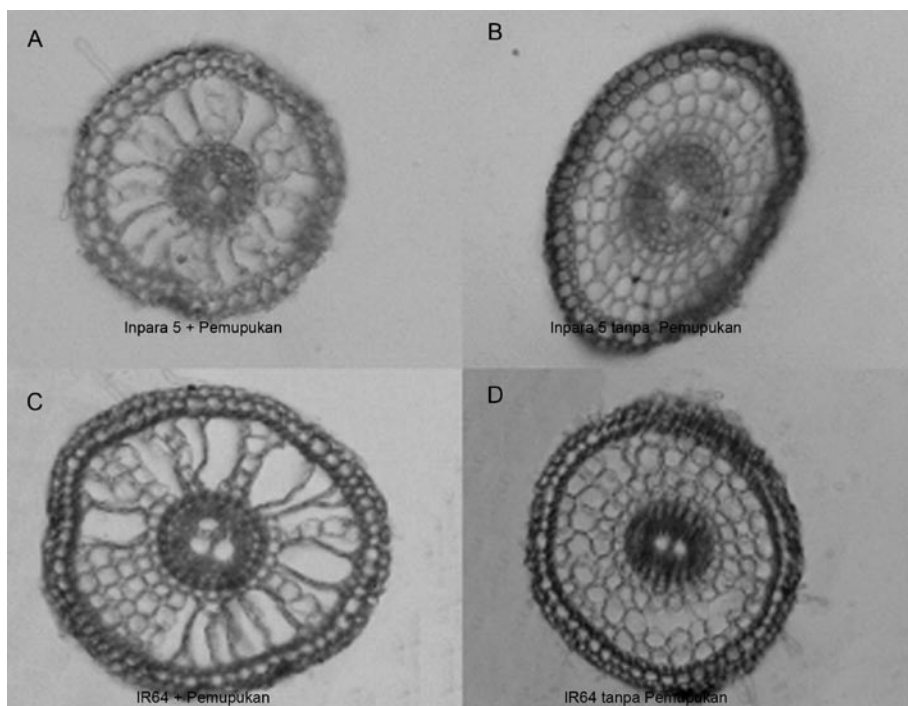
Kandungan N Tanaman

Kandungan N tanaman mengalami penurunan sesaat setelah periode cekaman terendam (14 HST) (Gambar 4A). Pemupukan dapat meningkatkan kandungan N tanaman, baik pada varietas Inpara 5 maupun IR64. Kandungan N tanaman relatif pada pengamatan 14 HST terhadap 7 HST tertinggi adalah pada varietas Inpara 5 yang dipupuk (V1P1), yaitu 57%. Varietas Inpara 5 yang dipupuk memiliki kandungan N tanaman lebih tinggi 35.8% dibanding varietas IR64 yang dipupuk (Gambar 4B). Menurut Ikhwan *et al.* (2010), tanaman yang terendam fotosintesisnya sangat terhambat, sehingga untuk pertumbuhan organ yang sedang tumbuh diperlukan perombakan jaringan lain yang mengandung N (remobilisasi N), termasuk klorofil sehingga daun menjadi pucat atau kuning. Selain itu fotosintesis yang terhambat pada tanaman yang terendam disebabkan oleh cahaya yang diterima tanaman tersebut rendah. Hasil penelitian intensitas cahaya terhadap tanaman kedelai oleh Muhuria *et al.* (2006), menunjukkan intensitas cahaya 50% dapat

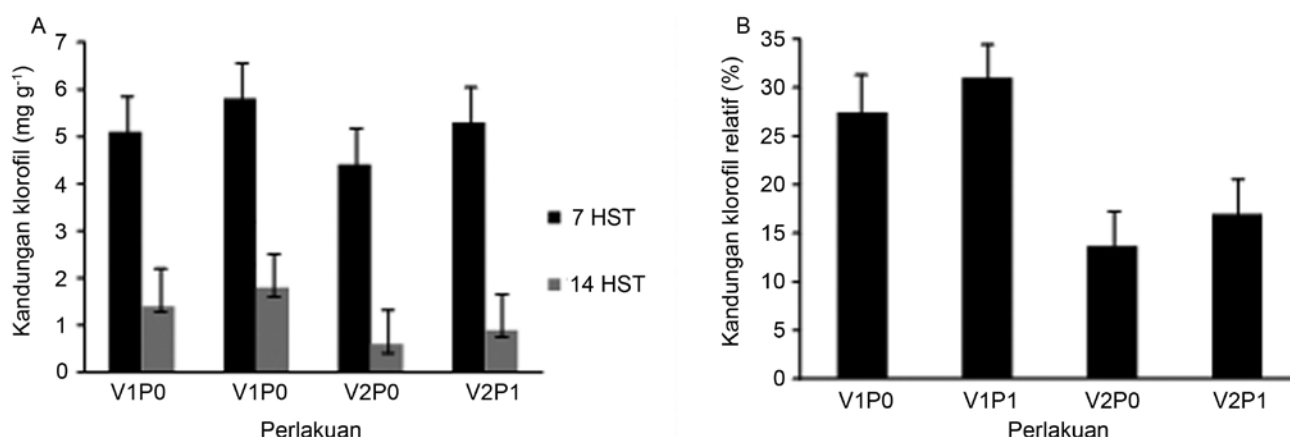
Tabel 1. Hasil analisis beberapa sifat tanah sebelum perlakuan

Jenis Analisis	Hasil	Status
pH (H ₂ O)	6.47	agak asam
N (%)	0.14	rendah
P (mg 100 g ⁻¹)	293.88	sangat tinggi
K (mg 100 g ⁻¹)	232.29	sangat tinggi
Na (mg 100 g ⁻¹)	35.14	sangat tinggi
Ca (mg 100 g ⁻¹)	77.46	rendah
Mg (mg 100 g ⁻¹)	31.63	rendah
Zn (mg 100 g ⁻¹)	2.75	tinggi
Al (ppm)	1.42	sangat rendah
Si (ppm)	349.67	tinggi

Sumber: Laboratorium Pengujian Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor. 2012



Gambar 2. Penampang melintang akar padi yang membentuk aerenkima pada perlakuan pemupukan (A,C) dan tanpa pemupukan (B,D) pada varietas Inpara 5 (A, B) dan IR64 (C, D) pada kondisi terendam

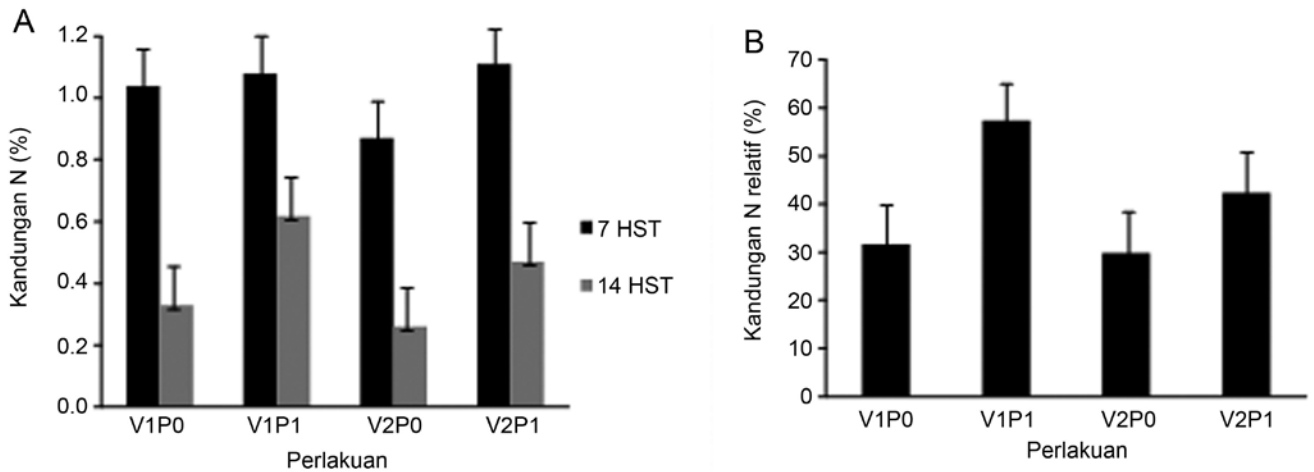


Gambar 3. Pengaruh pemupukan terhadap kandungan klorofil daun (A) dan nilai kandungan klorofil relatif pada daun, pengamatan 14 HST terhadap 7 HST (B), pada varietas padi. V1: Inpara 5, V2: IR64, P0: Tanpa Pemupukan, P1: Pemupukan

meningkatkan secara nyata intensitas kehijauan pada kedelai genotipe Ceneng. Terdapat hubungan yang kuat antara intensitas kehijauan dengan kandungan klorofil ($r = 0.8$). Semakin hijau suatu helaian daun kandungan klorofilnya akan semakin tinggi, sedangkan hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan, terdapat pola hubungan antara kandungan N pada tanaman dengan kandungan klorofil pada daun, pengamatan 14 HST terhadap 7 HST pada tanaman padi, bersifat linier positif dengan persamaan; $Y = 0.4X + 6.15$; $R^2 = 0.61^*$ (Gambar 5). Semakin tinggi persentase kandungan N tanaman maka semakin tinggi pula persentase kandungan klorofil pada daun.

Kandungan Karbohidrat Tanaman

Pemupukan tidak berpengaruh terhadap kandungan karbohidrat tanaman pada kedua varietas padi. Kandungan karbohidrat tanaman setelah periode cekaman rendaman lebih dipengaruhi oleh varietas padi. Kandungan karbohidrat tanaman mengalami penurunan yang signifikan sesaat setelah periode cekaman rendaman (14 HST) pada varietas IR64 yang tidak mengandung gen *Sub-1* (Gambar 6A). Sebaliknya, cekaman rendaman selama 7 hari tidak menyebabkan penurunan kandungan karbohidrat yang berarti pada varietas Inpara 5 yang mengandung gen *Sub-1*.

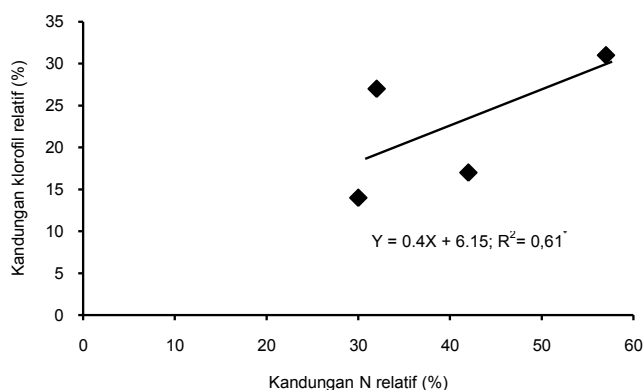


Gambar 4. Pengaruh pemupukan terhadap kandungan N tanaman (A) dan nilai kandungan N relatif tanaman; pengamatan 14 HST terhadap 7 HST pada varietas padi (B). V1: Inpara 5, V2: IR64, P0: Tanpa pemupukan, P1: Pemupukan

Kandungan karbohidrat relatif pada pengamatan 14 HST terhadap 7 HST pada varietas IR64 juga lebih rendah dibandingkan varietas Inpara 5, baik yang dipupuk maupun yang tidak dipupuk (Gambar 6B). Hal ini menunjukkan bahwa varietas Inpara 5 yang mengandung gen *Sub-1* lebih dapat mempertahankan kandungan karbohidratnya selama cekaman rendaman dibandingkan varietas IR64. Menurut Kawano *et al.* (2008), efisiensi penggunaan karbohidrat selama kondisi terendam juga penting untuk adaptasi tanaman pada lingkungan anaerob. Sarkar *et al.* (2006) menyatakan bahwa kandungan karbohidrat yang tinggi pada tanaman dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman rendaman dan mempercepat pemulihan setelah cekaman berakhir.

Tinggi Tanaman

Pemupukan tidak berpengaruh terhadap tinggi tanaman pada kedua varietas padi. Tinggi tanaman setelah periode

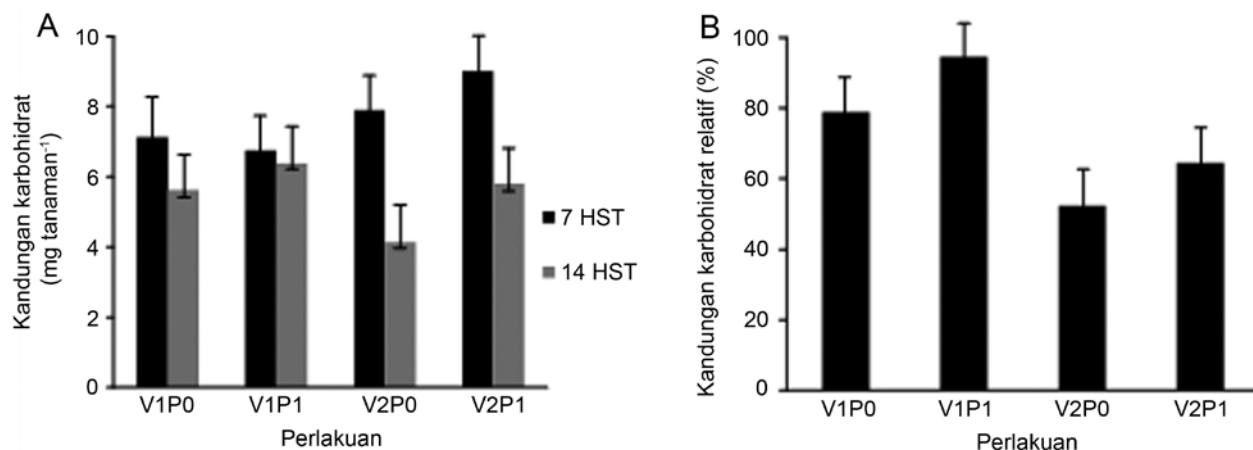


Gambar 5. Pola hubungan antara kandungan N tanaman dengan kandungan klorofil pada daun, pengamatan 14 HST terhadap 7 HST, pada varietas padi

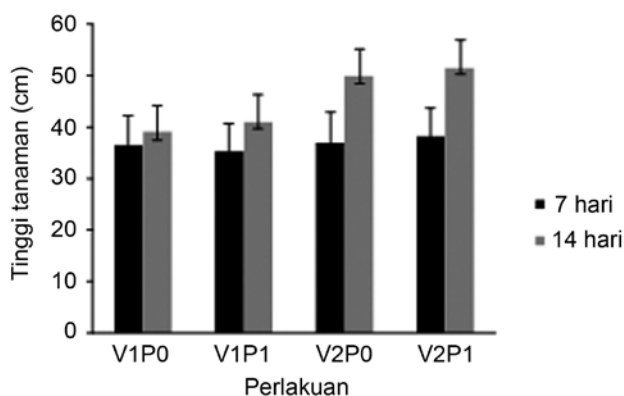
cekaman rendaman lebih dipengaruhi oleh varietas padi. Tinggi tanaman mengalami peningkatan yang signifikan sesaat setelah periode cekaman rendaman (14 HST) pada varietas IR64 yang tidak mengandung gen *Sub-1* (Gambar 7A). Sebaliknya, cekaman rendaman selama 7 hari tidak menyebabkan peningkatan tinggi tanaman yang berarti pada varietas Inpara 5 yang mengandung gen *Sub-1*. Fukao dan Bailey-Serres (2008) melaporkan bahwa cekaman rendaman menyebabkan kandungan etilen dan asam giberelat (GA) meningkat sehingga memacu pertumbuhan tinggi tanaman. Gen *Sub-1* mempunyai peran menghambat kerja hormon etilen dan GA tersebut, sehingga laju pemanjangan batang varietas yang memiliki gen *Sub-1* lebih lambat dibandingkan varietas yang tidak memiliki gen *Sub-1* dalam kondisi cekaman rendaman. Menurut Setter *et al.* (1987), cekaman rendaman menyebabkan meningkatnya produksi hormon etilen dan GA pada tanaman. Selanjutnya menurut Perata dan Voeselek (2006), Fukao dan Bailey-Serres (2008), cekaman rendaman mengakibatkan akumulasi etilen yang kemudian menginduksi transkripsi gen *Sub1A* sehingga terjadi akumulasi protein *Sub1A*. Selanjutnya *Sub1A* menghambat ekspansi A (*ExpA*) dan sukrosa sintase (*Sus 3*) sehingga menghambat pertumbuhan.

Bobot Kering Tanaman

Pemupukan tidak berpengaruh terhadap bobot kering tanaman pada kedua varietas padi. Bobot kering tanaman setelah periode cekaman rendaman lebih dipengaruhi oleh varietas padi. Bobot kering tanaman mengalami penurunan yang signifikan sesaat setelah periode cekaman rendaman (14 HST) pada varietas IR64 yang tidak mengandung gen *Sub-1* (Gambar 8A). Sebaliknya, cekaman rendaman selama 7 hari tidak menyebabkan penurunan bobot kering tanaman yang berarti pada varietas Inpara 5 yang mengandung gen *Sub-1*. Bobot kering tanaman relatif pada pengamatan 14



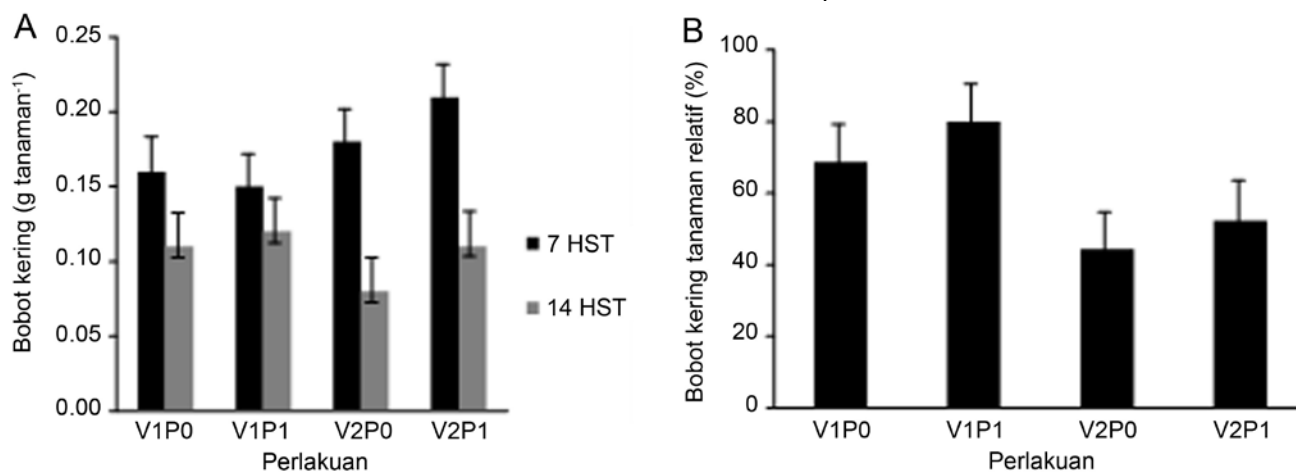
Gambar 6. Pengaruh pemupukan terhadap kandungan karbohidrat (A) dan nilai kandungan karbohidrat relatif, pengamatan 14 HST terhadap 7 HST pada varietas padi (B). V1: Inpara 5, V2: IR64, P0: Tanpa pemupukan, P1: Pemupukan



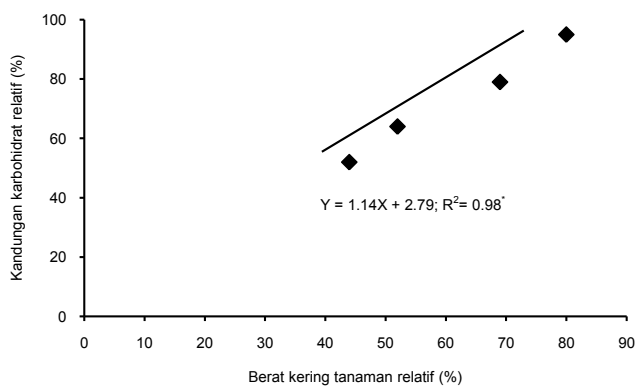
Gambar 7. Pengaruh pemupukan terhadap tinggi tanaman sesaat setelah periode cekaman rendaman (14 HST), pada varietas padi. V1: Inpara 5, V2: IR64, P0: Tanpa pemupukan, P1: Pemupukan

HST terhadap 7 HST pada varietas IR64 juga lebih rendah dibandingkan varietas Inpara 5, baik yang dipupuk maupun yang tidak dipupuk (Gambar 8B). Hal ini menunjukkan bahwa varietas Inpara 5 yang mengandung gen *Sub-1* lebih dapat mempertahankan bobot keringnya selama cekaman rendaman dibandingkan varietas IR64. Hal ini disebabkan varietas yang toleran terhadap rendaman mampu mengurangi penggunaan karbohidrat selama cekaman rendaman. Menurut Vreizen *et al.* (2003), tanaman yang memiliki karakter pemanjangan yang moderat dapat mengurangi penggunaan karbohidrat pada saat terendam.

Pola hubungan antara bobot kering tanaman dengan kandungan karbohidrat tanaman berdasarkan pengamatan 14 HST terhadap 7 HST pada tanaman padi bersifat linier positif, dengan persamaan $Y = 1.14X + 2.79$; $R^2 = 0.980^*$ (Gambar 9). Semakin tinggi persentase bobot kering tanaman maka semakin tinggi pula persentase kandungan karbohidrat pada tanaman.



Gambar 8. Pengaruh pemupukan terhadap bobot kering tanaman (A) dan nilai bobot kering relatif tanaman, pengamatan 14 HST terhadap 7 HST pada varietas padi (B). V1: Inpara 5, V2: IR64, P0: Tanpa pemupukan, P1: Pemupukan



Gambar 9. Pola hubungan antara bobot kering tanaman dengan kandungan karbohidrat berdasarkan pengamatan 14 HST terhadap 7 HST pada varietas padi

KESIMPULAN

Aplikasi pemupukan pada kondisi cekaman rendaman dapat meningkatkan pembentukan aerenkima dan kandungan N tanaman, baik pada varietas Inpara 5 maupun varietas IR64. Varietas Inpara 5 yang mengandung gen *Sub-1* memiliki kandungan klorofil relatif, kandungan karbohidrat relatif, dan bobot kering relatif yang lebih tinggi dibandingkan varietas IR64 yang tidak mengandung gen *Sub-1* pada 7 hari setelah cekaman rendaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Aydinalp, C., M.S. Cresser. 2008. The effect of global climate change on agriculture. *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 3:672-676.
- Ella, E.S., N. Kawano, Y. Yamauchi, K. Tanaka, A.M. Ismail. 2003. Blocking ethylene perception enhances flooding tolerance in rice seedlings. *Funct. Plant Biol.* 30:813-819.
- Fukao, T., Bailey-Serres J. 2008. Submergence tolerance conferred by *Sub1A* is mediated by SLR1 and SLRL1 restriction of gibberellin responses in rice. *PNAS* 105:16814-19.
- Gribaldi. 2013. Perlakuan agronomis untuk meningkatkan ketahanan dan pemulihan tanaman padi terhadap cekaman terendam. Disertasi. Program Pasca Sarjana. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Janne, G.L., C. Caldwell, D.R. Gallie. 2010. Expression of the ethylene biosynthetic machinery in maize root is regulated in response to hypoxia. *J. Exp. Bot.* 61:857-871.
- Kawano, N., O. Ito, J. Sakagami. 2008. Flash flooding resistance of rice *Oryza sativa* L. and *O. glaberrima* Steud., and interspecific hybridization progeny. *Environ. Exp. Bot.* 63:9-18.
- Ikhwan, E. Suhartatik, A.K. Makarim. 2010. Pengaruh waktu, lama, dan kekeruhan air rendaman terhadap pertumbuhan dan hasil padi sawah IR64 *sub-1*. *J. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 29:63-71.
- Muhuria, L., K.N. Tyas, N. Khumaida, Trikoesoemaningtyas, D. Sopandie. 2006. Adaptasi tanaman kedelai terhadap intensitas cahaya rendah: Karakter daun untuk efisiensi penangkapan cahaya. *Bul. Agron.* 34:133-140.
- Perata, P., L.A.C.J. Voesenek. 2006. Submergence tolerance in rice requires *Sub1A*, an ethylene-response-factor-like gene. *Trends Plant. Sci.* 12:43-46.
- Pierik, R., F.F. Millenaar, A.J.M. Peeters, L.A.C.J. Voesenek. 2005. New perspectives in flooding research: the use of shade avoidance and *Arabidopsis thaliana*. *Ann. Bot.* 96:533-540.
- Sarkar, R.K., J.N. Reddy, S.G. Sharma, A.M. Ismail. 2006. Physiological basis of submergence tolerance in rice and implications on crop development. *Curr. Sci.* 91:899-906.
- Seago, J.L. Jr., L.C. Marsh, K.J. Stevens, A. Soukup, O. Votrubová, D.E. Enstone. 2005. A re-examination of the root cortex in wetland flowering plants with respect to aerenchyma. *Ann. Bot.* 96:565-579.
- Setter, T.L., I. Waters, B.J. Atwell, T. Kupkanchanakul, H. Greenway. 1987. Carbohydrate status of terrestrial plants during flooding. p. 411-433. *In* R.M.M. Crawford (Ed.). *Plant Life in Aquatic dan Amphibious Habitats*. Special Publication No. 5 British Ecological Society. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Suwignyo, R.A., A. Wijaya, H. Sihombing, Gribaldi. 2012. Modifikasi aplikasi unsur hara untuk perbaikan vigorasi bibit padi dalam cekaman terendam. *J. Lahan Suboptimal* 1:1-11.
- Vreizen, Z. Zhou, D. Van der Straeten. 2003. Regulation of submergence-induced enhanced shoot elongation in *Oryza sativa*. *Ann. Bot.* 91:263-270.