

PENERAPAN TEKNIK INVIGORASI DALAM MENINGKATKAN VIGOR BENIH PADI

Application of Invigoration Technique in Order to Improve Seed

Mira Landep Widiastuti dan Sri Wahyuni

Balai Besar Penelitian Tanaman Padi
Jalan Raya 9 Sukamandi, Subang, Jawa Barat, Indonesia, 41256
Telp. (0260) 520157, Faks. (0260) 521104
E-mail: mira.bb padi@gmail.com

Diterima: 20 Februari 2020; Revisi: 05 Agustus 2020; Disetujui: 05 November 2020

ABSTRAK

Benih merupakan komponen budi daya yang berkontribusi dalam meningkatkan produksi padi nasional. Penggunaan benih bermutu rendah berpengaruh terhadap penambahan biaya produksi, pertumbuhan tanaman tidak seragam, dan penurunan hasil dan mutu hasil. Salah satu upaya untuk meningkatkan mutu benih dari aspek vigor yang rendah adalah melalui perlakuan invigorasi. Teknik invigorasi dibagi menjadi tiga metode, yaitu hidrasi, perlakuan suhu, dan pelapisan (*coating*). Metode hidrasi merupakan sistem penyerapan air yang dapat terjadi pada benih. Penyerapan tidak terkontrol (*hydro-priming*) yaitu dengan merendam dan mengeringkan benih, pengerasan (*hardening*), *on-farm priming* yaitu merendam dalam jangka waktu tertentu. Sedangkan terkontrol (*osmo-priming*) dengan merendam pada larutan osmotik, *osmo-hardening* (integrasi *hardening* dan *osmo-priming*), *matri-priming* dengan media padat lembab, *humidifications* (dengan kelembaban tinggi), dan *hormonal priming* (dengan hormon). Metode kedua adalah dengan perlakuan suhu, diantaranya dengan pendinginan dan pemanasan. Teknik ketiga adalah dengan perlakuan *coating* yaitu melapisi benih. Sistem hidrasi *hydro-priming* selama 30 jam dapat mematahkan dormansi benih dengan daya kecambah normal 91,3-99,3% pada varietas Memberamo, Cipunagara, dan Maros. Teknik *hardening* efektif meningkatkan daya berkecambah benih padi hibrida selama 12 jam dengan dua siklus dan selama 24 jam dengan satu siklus. Teknik *osmo-priming* perendaman benih dalam larutan GA₃ 10 ppm atau larutan campuran GA₃ 10 ppm + kinetin 15 ppm efektif meningkatkan vigor benih padi hibrida. Teknik *matri-priming* dengan abu gosok sebagai media plus penambahan GA₃ 50 µm efektif mematahkan dormansi padi varietas Membramo, Cipunagara, dan Maros. Teknik invigorasi tersebut dapat diterapkan, khususnya oleh petani dengan skala produksi kecil.

Kata kunci: Padi, benih, invigorasi, mutu

ABSTRACT

Seed is a component of production that contributes to increasing the national rice production. The use of low-quality seeds compared with production costs, non-uniform plant growth, yield reduction, and yield quality. One effort to improve the quality of seed vigor is through invigoration treatment. Invigoration

technique among other hydration, thermal treatment, and coating. The hydration method is a water absorption system in seeds. Uncontrolled absorption (hydro-priming), by soaking and drying the seeds, hardening, on-farm priming, soaking for a certain period. The controlled system (osmo-priming) by immersing in osmotic solution, osmo-hardening (integration of hardening and osmo-priming), matri-priming with moist solid media, humidifications (with high humidity), and hormonal priming (with hormones). The second method is by temperature treatment, including by cooling and heating. The third technique is the coating treatment, namely coating the seeds. Hydration system hydro-priming for 30 hours can break seed dormancy with normal germination capacity of 91.3-99.3% in Memberamo, Cipunagara, and Maros varieties. The hardening technique is effective in increasing the germination of hybrid rice seeds for 12 hours with 2 cycles and for 24 hours with one cycle. The osmo-priming technique of soaking seeds in a 10 ppm GA₃ solution or a mixture of 10 ppm GA₃ + 15 ppm kinetin was effective in increasing the vigor of hybrid rice seeds. The matri-priming technique with rubbing ash as a medium plus the addition of 50 µm GA₃ was effective in breaking dormancy of the Membramo, Cipunagara, and Maros varieties of rice. It is can be applied, especially by small farmers.

Keywords: Rice, seed, invigoration, quality

PENDAHULUAN

Peningkatan hasil padi perlu dukungan penyediaan benih bermutu tinggi dalam jumlah yang cukup dan berkelanjutan. Produksi benih bermutu di tingkat petani secara mandiri perlu dikembangkan berbasis korporasi melalui kelompok tani. Mutu benih mencakup empat aspek, yakni mutu fisik, mutu fisiologis, mutu genetik, dan mutu patologis. Penggunaan benih bermutu tinggi memberi beberapa keuntungan, antara lain pertumbuhan bibit lebih serempak, kebutuhan benih per satuan luas lebih sedikit, dan lebih hemat biaya karena tidak perlu penyulaman.

Kenyataan yang terjadi di lapangan, petani umumnya menggunakan benih tanpa identitas, tidak diketahui riwayat, asal usul dan mutunya. Penggunaan benih

bermutu rendah menyebabkan pertumbuhan pertanaman tidak seragam sehingga diperlukan penyulaman bibit yang berdampak terhadap kenaikan biaya produksi. Selain itu, penggunaan benih bermutu rendah menyebabkan daya berkecambah benih rendah, bibit kurang toleran terhadap cekaman abiotik dan lebih sensitif terhadap penyakit; yang pada akhirnya berpengaruh terhadap hasil (Ilyas 2012). Penggunaan benih bermutu rendah juga berdampak pada penurunan produktivitas dan produksi.

Benih yang digunakan petani padi dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu benih bersertifikat/berlabel dan tidak bersertifikat. Benih bersertifikat diidentikkan dengan benih bermutu karena diproduksi oleh institusi perbenihan formal melalui standar operasional prosedur yang jelas, diawasi oleh instansi berwenang dan mendapat sertifikasi mutu benih. Karakteristik perbenihan formal antara lain produksi dan pemasaran benih bersertifikat terencana, varietasnya jelas dan berasal dari sumber yang diketahui, benih dipasarkan dalam kemasan teridentifikasi dengan informasi mutu yang jelas, terdapat mekanisme pengendalian mutu yang jelas, produksi dan pemasaran dilakukan oleh lembaga yang terlibat dalam sistem perbenihan secara berkelanjutan. Semenitara itu, benih tidak bersertifikat tidak memiliki ciri-ciri tersebut.

Penggunaan benih padi bersertifikat (berlabel) di tingkat petani baru mencapai 52,75% dari total luas tanam padi 15,33 juta hektar (Direktorat Jenderal Tanaman Pangan 2017). Areal sisanya 47,25% ditanam dengan benih nonsertifikat yang diproduksi oleh petani sendiri atau diperoleh dari petani/ lain. Menyadari pentingnya penggunaan benih bersertifikat dalam mendorong upaya peningkatan produksi beras nasional, pemerintah dalam beberapa tahun terakhir mencanangkan program pemberdayaan penangkar untuk meningkatkan kuantitas dan kualitas benih padi dan mengembangkan benih bantuan melalui program Upaya Khusus, Cadangan Benih Nasional, Subsidi Benih, maupun bantuan benih di pusat dan daerah. Di sisi lain, dalam rangka mendorong peningkatan penggunaan benih bermutu secara berkelanjutan, pemerintah juga telah mencanangkan program Desa Mandiri Benih. Dalam hal ini kelompok tani didorong memproduksi benih bermutu untuk memenuhi kebutuhan anggota kelompok dan petani sekitarnya, sehingga petani yang awalnya menggunakan benih nonlabel dengan mutu yang belum terjamin dapat menggunakan benih bermutu yang dihasilkan secara mandiri.

Salah satu masalah dalam penyediaan benih adalah penurunan mutu benih selama masa simpan atau menunggu musim tanam. Hasil penelitian menunjukkan 25% benih padi yang diproduksi dan disimpan petani mempunyai daya berkecambah dan vigor yang rendah (Wahyuni *et al.* 2016), dan penurunan mutu selama penyimpanan berkorelasi dengan peningkatan kadar air benih. Penurunan mutu benih komersial/bersertifikat juga

terjadi sebelum benih dipasarkan dan disimpan di gudang atau di kios pertanian (Wahyuni 2013).

Beberapa hasil penelitian menunjukkan penurunan mutu benih selama penyimpanan dapat ditekan dengan penggunaan kemasan kedap uap air seperti aluminium foil, kaleng yang divakum, atau kemasan yang tahan terhadap kelembaban seperti kantung plastik yang dikemas rapat (Sari dan Faisal 2011, Rahayu *et al.* 2011). Meskipun demikian, keterbatasan ketersediaan benih bermutu tinggi untuk varietas dan waktu tertentu masih terjadi, seperti: (i) benih padi gogo atau benih padi lahan rawa yang suplainya relatif sedikit, (ii) benih varietas unggul padi yang baru dilepas, dan (iii) benih varietas yang sangat populer pada rentang waktu tertentu. Dalam kondisi demikian, benih yang tersedia umumnya bermutu rendah (daya berkecambah sekitar 80%), dan kemampuan tumbuh sama atau lebih rendah daripada daya berkecambah. Dalam hal ini, hasil diperkirakan dapat menurun 20% atau lebih tinggi, sehingga perlu upaya peningkatan mutu/vigor benih yang dikenal dengan invigorasi.

Upaya peningkatan vigor juga diperlukan pada benih yang akan disemai/ditanam pada kondisi suboptimal, seperti pada lahan tergenang atau lahan rawa, lahan dengan kandungan salinitas tinggi, dan lahan kering. Toleransi genotipe/varietas padi berkecambah dalam kondisi lahan tergenang dipengaruhi oleh pola penyerapan air benih. Menurut Penelitian El-Handawy *et al.* (2011) hampir semua varietas/galur yang mampu berkecambah dalam kondisi anaerobik dan rendaman sehingga penyerapan air yang cepat dalam 48 jam pertama menyebabkan proses imbibisi dan berkecambah berlangsung dalam kondisi anaerobik maupun aerobik. Peningkatan kemampuan benih dalam penyerapan air dan berkecambah cepat atau peningkatan vigor dapat dicapai antara lain melalui invigorasi. Invigorasi juga berguna untuk mendapatkan rekomendasi yang tepat untuk meningkatkan vigor benih yang akan ditanam pada kondisi suboptimal.

INVIGORASI

Invigorasi benih merupakan perlakuan secara fisik dan/ atau kimiawi untuk meningkatkan vigor benih yang telah mengalami kemunduran atau deteriorasi (Ilyas 2012), atau untuk mempertahankan vigor benih selama proses pendistribusian (Farooq *et al.* 2009), sehingga perkecambahan dan pertumbuhan bibit meningkat atau tetap tinggi. Invigorasi merupakan salah satu upaya perlakuan benih setelah panen namun sebelum tanam (Farooq *et al.* 2006), dengan menyeimbangkan potensial air benih untuk merangsang kegiatan metabolisme benih, sehingga siap berkecambah tetapi struktur penting embrio (radikula) belum muncul (Khan 1992; Farooq *et al.* 2006). Proses invigorasi mendorong terjadinya peningkatan kecepatan dan keserempakan perkecambahan serta mengurangi pengaruh cekaman lingkungan (Khan 1992; Farooq *et al.* 2006).

Farooq *et al.*(2009) membagi teknik invigorasi menjadi tiga metode, yaitu idrasi, perlakuan suhu, dan *coating* (Gambar 1).

Perlakuan Hidrasi pada Benih

Benih memerlukan air, oksigen, dan suhu yang sesuai untuk berkecambah (Taylor *et al.* 1998). Proses perkecambahan merupakan suatu rangkaian kompleks dari perubahan morfologi, fisiologi, dan biokimia benih. Tahapan perkecambahan meliputi imbibisi atau penyerapan air oleh benih, aktivasi enzim, inisiasi pertumbuhan embrio, melunaknya kulit benih dan berkecambah. Proses imbibisi air benih pada saat perkecambahan melalui tiga fase, yakni penyerapan air benih dengan sangat cepat (fase I), diikuti oleh *lag phase* dimana potensial air seimbang dengan lingkungannya (fase II), dan munculnya radikula yang diikuti oleh penyerapan air dengan cepat (fase III) (Bewley and Black 1982, Copeland and Donald 2001).

Selama fase II terjadi perubahan metabolisme utama dalam benih untuk mempersiapkan pemunculan radikula. Perlakuan invigorasi benih dilakukan dengan memperpanjang imbibisi fase II dan menghambat pemunculan radikula, sehingga membuat kondisi imbibisi terkontrol dengan potensial air rendah dan mempertahankan benih dalam keadaan hidrasi parsial selama periode tertentu, sementara proses metabolik yang diperlukan untuk perkecambahan diaktifkan (Khan 1992; Farooq *et al.* 2011). Kondisi tersebut membuat benih mengalami beberapa perubahan fisiologi dan biokimia

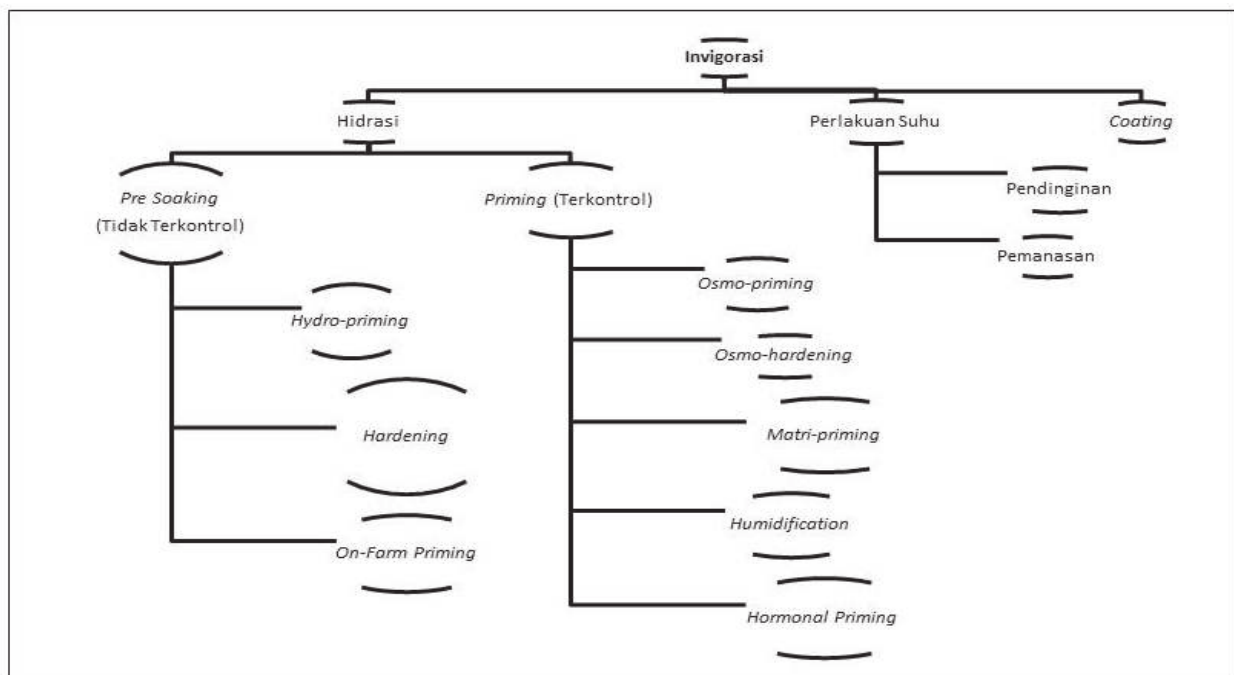
dengan cepat sehingga mampu berkecambah serentak dan mengurangi tekanan lingkungan yang kurang menguntungkan.

Sistem hidrasi pada benih dapat dikelompokkan menjadi *pre-soaking* (penyerapan air tidak terkontrol) dan *priming* (penyerapan air secara terkontrol).

Pre-soaking

Pada sel tanaman yang sedang tumbuh, 80-90% bagian adalah air. Air yang dibutuhkan tanaman untuk proses fotosintesis diperoleh dari dalam tanah. Absorpsi air di tanah dilakukan oleh organa dalam benih (bakal akar/radikula). Tanaman secara terus menerus mengabsorpsi dan mengeluarkan air (transpirasi) untuk menyeimbangkan potensial air pada benih. *Pre-soaking* adalah perlakuan benih sebelum tanam dengan cara menyeimbangkan potensial air benih untuk merangsang aktivitas metabolisme sehingga benih siap berkecambah, tetapi struktur penting embrio (radikula) belum muncul (Khan 1992). Kondisi saat *pre-soaking* adalah air tersedia untuk benih dan penyerapannya tidak dipengaruhi oleh lingkungan (Farooq *et al.* 2009), sehingga penyerapan air hanya dipengaruhi dan diatur oleh afinitas jaringan benih terhadap air melalui radikula atau bakal akar. Beberapa teknik invigorasi *pre-soaking* tidak terkontrol antara lain *hydro-priming*, *hardening*, dan *on-farm priming* (Gambar 1).

Hydro-priming, dilakukan dengan cara merendam benih dalam air dan dikeringkan kembali sebelum ditabur (Soon *et al.* 2000). Perendaman benih dapat dilakukan



Gambar 1. Teknik invigorasi benih (Farooq *et al.* 2009).

dengan atau tanpa aerasi. Bila sudah cukup air, oksigen, dan suhu sudah sesuai, maka benih yang tidak dorman mampu berkecambah dengan cepat. Salah satu kelemahan metode *hydro-priming* adalah apabila hidrasi benih tidak merata maka perkecambahan tidak seragam (Pill and Necker 2001), sehingga waktu perendaman dan rasio perbandingan jumlah benih dan air menjadi faktor penting keberhasilan metode *hydro-priming*.

Hasil penelitian Wahyuni (2011) menunjukkan perlakuan *hydro-priming* selama 48 jam meningkatkan vigor lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol, baik pada benih dengan mutu awal sedang maupun rendah (Tabel 1). Perlakuan *priming* dengan air (*hydro-priming*) merupakan cara terbaik untuk meningkatkan vigor benih pada kondisi perkecambahan *anaerobik* (Doley *et al.* 2018).

Menurut Ilyas (2012), perlakuan invigorasi secara hidrasi dapat meningkatkan vigor benih secara tajam yang terlihat dari persentase vigor benih beberapa varietas dan galur (Tabel 2). Hidrasi yang efektif dan efisien yaitu dengan perendaman air selama 30 jam.

Hardening atau pengerasan ialah teknik invigorasi dengan pembasahan dan pengeringan (hidrasi-dehidrasi), dimana benih direndam kemudian dikeringkan kembali sampai kadar air awal (sebelum perendaman) (Pen Aloza and Eira M.T.S. 1993). Siklus hidrasi-dehidrasi dapat dilakukan secara berulang dua, tiga, bahkan beberapa kali (Lee and Kim 2000).

Manfaat teknik *hardening* adalah pembesaran embrio, aktivasi enzim, dan peningkatan daya berkecambah, terutama pada benih yang sudah lama disimpan (Lee *et al.* 2002). Waktu perlakuan dan jumlah siklus pada *hardening* berpengaruh terhadap peningkatan vigor (Wahyuni 2011). Perlakuan *hardening* selama 12 jam dengan dua daur dan *hardening* 24 jam satu daur pada benih hibrida (Tabel 1), serta *hardening* (hidrasi 24-24) meningkatkan vigor benih dengan mutu awal rendah (Tabel 2).

On-farm priming. Teknik invigorasi *on-farm priming* merupakan teknik sederhana untuk meningkatkan vigor benih dengan cara merendam benih dalam air selama

beberapa waktu, diikuti oleh pengeringan (kembali permukaan benih sebelum ditabur. Perbedaan mendasar antara teknik *on-farm priming* dengan *hardening* adalah siklus *hardening* (perendaman dan pengeringan) dapat beberapa kali, sedangkan siklus *on-farm priming* hanya sekali. Selain itu, pengeringan kembali pada *hardening* dilakukan sampai mencapai kadar air awal (sebelum perendaman), sedangkan pada *on-farm priming* hanya dilakukan sampai permukaan benih mengering. Hasil penelitian pada beberapa spesies tanaman menunjukkan *on-farm priming* meningkatkan perkecambahan, kecepatan tumbuh, dan meningkatkan hasil (Harris *et al.* 2000).

Seed Priming

Priming adalah teknik hidrasi benih sampai ke tingkat dimulainya proses metabolisme-perkecambahan, tetapi struktur penting embrio (radikula) belum muncul (Heydecker and Coolbear 1977; Bradford 1986). Selama proses ini, benih ditempatkan dalam media dengan potensi osmotik yang tinggi sehingga mencegah benih menyerap air yang cukup untuk masuk hidrasi tahap III (Taylor *et al.* 1998). Selama periode ini, benih aktif secara metabolik dan mengonversi cadangan makanan, kemudian disimpan untuk digunakan selama perkecambahan.

Hasil penelitian menunjukkan kecepatan perkecambahan dan keseragaman pertumbuhan kecambah yang merupakan parameter pengukuran vigor benih lebih tinggi pada benih yang diberi perlakuan *priming* dibanding tanpa perlakuan *priming* (Heydecker and Coolbear 1977; Brocklehurst *et al.* 1984). Hal ini terkait dengan perbaikan metabolisme selama imbibisi dan proses perkecambahan, meningkatkan metabolisme (Farooq *et al.* 2006), dan penyesuaian tekanan osmotik (Bradford 1986). Terdapat beberapa teknik *priming* sebagai berikut:

Osmo-priming, merupakan metode *priming* benih dengan cara perendaman dalam larutan potensial osmotik

Tabel 1. Vigor benih dari berbagai kombinasi mutu benih awal dan perlakuan invigorasi.

Perlakuan	Vigor (%)	
	Mutu awal sedang	Mutu awal rendah
Tanpa perlakuan (kontrol)	77d	64d
Perendaman air, 48 jam	80c	74a
PEG 6.000, -1,0 MPa, 24 jam	86a	68c
GA ₃ , 5 ppm, 24 jam	84b	71b
GA ₃ , 10 ppm, 24 jam	88a	71bc
<i>Hardening</i> 12 jam (2 daur)	78d	74a
<i>Hardening</i> 24 jam (1 daur)	77d	72ab
GA ₃ , 10 ppm + kinetin 15 ppm	77d	71b

Angka selajur yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 0,05 LSD
Sumber: Wahyuni (2011).

Tabel 2. Pengaruh perlakuan invigorasi benih terhadap mutu benih enam varietas/galur benih padi.

Invigorasi	Mutu Benih dari Varietas/Galur (%)					
	IR48	IR66	Memberamo	Cipunegara	Maros	S-4254-2G-21-2
Tanpa perlakuan	Tidak tumbuh	4,7	12,0	18,7	2,7	
Hidrasi 30 jam	48,7	69,3	96,7	99,3	99,3	91,3
Hidrasi 36 jam	32,0	56,0	94,7	95,3	96,7	86,7
Hidrasi 48 jam	34,7	60,7	96,0	98,0	96,7	90,7
Hidrasi-24-24	50,0	68,0	96,7	98,7	99,3	95,3
GA ₃ 100 µM	68,7	70,0	95,3	99,3	98,7	86,7
PEG-0.2 MPa	72,0	80,7	96,0	97,3	98,0	90,7
Serbuk gergaji	61,3	79,3	93,3	98,7	98,0	90,0
Sg+GA ₃ 100µM	74,7	82,0	96,0	99,3	98,0	95,3
Abu gosok	77,3	74,0	95,3	97,3	97,3	96,0
Ag+GA ₃ µM	84,0	88,0	98,7	98,7	98,7	96,0

Keterangan: Mutu benih berdasarkan uji vigor benih, Hidrasi-24-24 = hidrasi 24 jam diikuti oleh penirisan 24 jam (hardening); Sg = Serbuk gergaji = nisbah benih:media : air 1:0,8:1; Ag = Abu gosok = nisbah benih : media : air 1:0,8:1,3; *matricconditioning* dilakukan selama 30 jam dan *osmoconditioning* dengan PEG selama 48 jam pada suhu kamar, setelah perlakuan invigorasi benih dibilas dan dikering anginkan.

Sumber: Ilyas (2012).

tinggi dan dengan aerasi air rendah untuk mengontrol penyerapan air dan mencegah radikula keluar (Ruan *et al.* 2002). Beberapa larutan osmotik yang digunakan dalam *osmo-priming* antara lain kalsium klorida, kalium nitrat, natrium klorida, dan *poly ethylen glycol* (PEG), baik secara tunggal maupun kombinasi beberapa larutan.

Aplikasi *osmo-priming* pada benih dengan PEG mampu mempercepat perkecambah pada benih ukuran biji besar maupun kecil (Basra *et al.* 2005), meningkatkan persentase vigor benih (Tabel 1 dan Tabel 2), sedangkan *osmo-priming* dengan kalsium klorida atau dikombinasikan dengan natrium klorida, meningkatkan indeks vigor benih dan vigor benih di lapangan pada tanah yang tergenang (Ruan *et al.* 2002).

Pada percobaan lapang, *osmo-priming* dengan 4% kalium klorida meningkatkan indeks luas daun, kandungan klorofil, dan reduksi nitrat, sedangkan *priming* dengan larutan *lanthanum nitrat* mempercepat perkecambahan benih padi dan pertumbuhan akar bibit (Zhang *et al.* 2005). Perlakuan *osmo-priming* dengan 1% kalium klorida sebagai perlakuan benih terbaik untuk meningkatkan vigor benih pada kondisi *anaerobik germination* (Doley *et al.* 2018).

Efektivitas *osmo-priming* dipengaruhi oleh jenis dan konsentrasi garam, lama waktu, dan suhu (Basra *et al.* 2005), serta jenis larutan (Ruan *et al.* 2002). Hasil penelitian menunjukkan *osmo-priming* dengan larutan garam NaCl mampu meningkatkan mutu benih (vigor, kecepatan tumbuh, dan indeks vigor) lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan CaCl₂ dan KNO₃ (Ruan *et al.* 2002), serta menurunkan nilai daya hantar listrik sehingga terjadi perbaikan integritas membran sel yang mempengaruhi tingkat kebocoran sel (Mulsanti dan Wahyuni 2011). *Osmo-priming* dengan -1,1 MPa potasium nitrat selama 24 jam meningkatkan daya berkecambah (Basra *et al.* 2005). Hal yang sama

ditunjukkan oleh Wahyuni (2011), dimana *osmo-priming* dengan PEG 6000-1,0MPa selama 24 jam meningkatkan vigor benih padi (Tabel 1 dan 2). Sementara pada penelitian Lee *et al.*(2002), *osmo-priming* dengan -0,6 MPa larutan PEG pada suhu 25°C mulai 4-3 hari meningkatkan pula kecepatan tumbuh kecambah, dimana peningkatan daya berkecambah dan kecepatan tumbuh kecambah lebih nyata jika benih dikecambahkan pada kondisi lingkungan suboptimal (suhu 5°C) atau kondisi salin (0,58% NaCl).

Pada kondisi lahan salin-alkalin, penambahan exogenous GA₃ mampu meningkatkan daya berkecambah benih (Li *et al.* 2019), sementara penelitian Paul *et al.* (2017) menunjukkan perlakuan benih dengan spermidine meningkatkan toleransi benih terhadap cekaman garam pada berbagai tingkat salinitas dan berbagai tingkat toleransi varietas terhadap kondisi salin/ cekaman kadar garam.

Osmo-hardening merupakan salah satu teknik invigorasi benih padi yang mengintegrasikan antara *hardening* (pengerasan) benih dan *osmo-priming* (Farooq *et al.* 2006). Seperti dalam teknik *hardening*, jumlah siklus dan durasi setiap siklus berpengaruh terhadap efektivitas perlakuan dalam meningkatkan vigor benih. Teknik *osmo-hardening* merupakan teknik yang relatif baru, sehingga penelitian untuk mendapatkan garam yang efektif sebagai agen *priming* untuk invigorasi benih padi masih terus dilakukan.

Perlakuan *osmo-hardening* pada benih padi dengan kalsium klorida -1,25 MPa selama 48 jam merupakan perlakuan yang paling efektif dalam meningkatkan pertumbuhan bibit di persemaian dibandingkan dengan kalium, natrium, dan kalium nitrat (Farooq *et al.* 2007), meningkatkan vigor (Farooq *et al.* 2006, 2007), meningkatkan hasil gabah yang disebabkan oleh peningkatan jumlah anakan produktif dan bobot gabah

1.000 butir (Farooq *et al.* 2006), serta meningkatkan kualitas beras dan hasil gabah dari 2,87 t/ha menjadi 3,75 t/ha (Farooq *et al.* 2007).

Matrpriming, melibatkan hidrasi benih secara terkendali. Benih dicampur dengan media padat lembab seperti partikel tanah liat, pasir atau vermin kulit (Hardegree and Emmerich 1992, Hu *et al.* 2005). Permukaan senyawa membentuk kekuatan matriks yang dapat menahan air untuk memfasilitasi penyerapan lambat pada benih (Taylor *et al.* 1998; Khan 1992). Setelah perlakuan selesai, benih dipisahkan dari media padat pembawa dan dibiarkan kering.

Matrpriming merupakan salah satu teknik invigorasi yang lebih efektif meningkatkan viabilitas dan vigor benih dibandingkan dengan *osmo-priming* karena larutan yang digunakan pada *osmo-priming* mempunyai viskositas yang tinggi dan ketersediaan oksigen yang rendah (Khan *et al.* 1990, Madiki 1998). Hasil penelitian **Matrpriming** pada benih padi dengan pasir yang mengandung 3,8% (v/w) air dan ditutup rapat dalam kotak plastik pada suhu 18°C selama 72 jam nyata meningkatkan jumlah bibit yang tumbuh, tinggi bibit, panjang akar, jumlah dan bobot kering akar dibandingkan dengan tanpa perlakuan (Hu *et al.* 2005). Selain itu, komponen hasil dari pertanaman dengan benih yang diberi perlakuan **matrpriming** meningkat 20-23% dan hasil gabah meningkat 10-31% dibandingkan dengan benih yang direndam tanpa perlakuan (Hu *et al.* 2005).

Aplikasi **matriconditioning** dapat meningkatkan viabilitas dan vigor benih melalui media serbuk bata merah atau serbuk arang sekam efektif pada benih padi gogo lokal (Sutariati dan Madiki 2014), melalui media serbuk gergaji dan abu gosok (Ilyas 2012). Pada beberapa aplikasi lainnya ditambahkan fungsida atau baktisida sintesis maupun nabati. Hasil penelitian Ilyas *et al.* (2008) menunjukkan penambahan minyak serai wangi dengan konsentrasi 1% dan 5% menunjukkan daya berkecambah, indeks vigor, dan kecepatan tumbuh yang lebih tinggi dibanding konsentrasi lainnya dan juga mempunyai daya hambat yang lebih tinggi menurunkan tingkat infeksi bakteri *X. oryzae* pv. *oryzae* dibandingkan dengan minyak cengkeh.

Humidifikasi atau *pre-sowing* adalah perlakuan hidrasi/peningkatan kadar air benih dengan cara meletakkan benih dalam kondisi kelembaban tinggi sehingga tercapai kadar air kesetimbangan. Dalam teknik ini, benih berada dalam kontak langsung dengan uap air (Khan 1992).

Hormonal priming ialah *priming* dengan hormon dan sumber organik lainnya. Aplikasi zat pengatur tumbuh pada benih berpengaruh terhadap vigor dan pertumbuhan bibit, namun efektivitasnya bergantung pada jenis dan konsentrasi zat pengatur tumbuh. Beberapa hasil penelitian pada benih padi menunjukkan asam giberelat (GA₃) merangsang pemanjangan mesokotil, koleoptil, dan ruas batang setelah perkecambahan padi (Lee and Kim 2000), sedangkan

kombinasi aplikasi GA₃ 10 ppm + kinetin 5% pada benih padi (Tabel 1) menghasilkan daya berkecambah padi tertinggi (Wahyuni 2011). Penggunaan etilen merangsang pertumbuhan bibit padi setelah perkecambahan, sedangkan asam absisat hanya merangsang pemanjangan mesokotil bibit padi (Lee and Kim 2000). *Priming* dengan asam askorbat 10 ppm paling efektif meningkatkan perkecambahan dan pertumbuhan bibit dibanding konsentrasi lainnya (20-50 ppm) (Basra *et al.* 2006). Sementara itu Farooq *et al.* (2007) menyatakan aplikasi asam askorbat tidak hanya meningkatkan pertumbuhan tetapi berpengaruh terhadap peningkatan hasil dan kualitas beras.

Etanol memiliki efek stimulasi pada perkecambahan benih pada banyak spesies tanaman (Bewley and Black 1982). Pada benih padi, perlakuan benih dalam larutan aerasi etanol 1% (v/v) selama 48 jam menghasilkan bibit padi yang lebih seragam dan jumlah daun per tanaman tertinggi dibandingkan dengan konsentrasi etanol lainnya (5% v/v). Aplikasi pada konsentrasi yang lebih tinggi (10% dan 15% v/v) menyebabkan semua benih mati karena dosis etanol yang berlebihan akan dimetabolisme pada benih oleh enzim alkohol dehidrogenase menjadi asetaldehid yang bersifat racun (Farooq *et al.* 2006).

Perlakuan Suhu

Perlakuan benih dengan pemanasan (kondisi kering dan panas) umumnya untuk mengontrol perkembangan patogen pada benih dan mempercepat pematangan dormansi benih padi (Sutariati dan Madiki 2014). Di sisi lain, perlakuan pemanasan dengan suhu 40°C selama 72 jam mempercepat waktu untuk 50% perkecambahan dan meningkatkan indeks perkecambahan, pemunculan radikula, serta meningkatkan panjang plumula, panjang akar, rasio akar/tunas, bobot akar segar, bobot kering radikula, laju pertumbuhan plumula, dan bobot koleoptil (Lee *et al.* 2002). Meskipun demikian, pada penelitian Farooq *et al.* (2009) tidak terjadi peningkatan perkecambahan dan vigor benih padi di lapang.

Coating/Pelapisan

Coating biasanya untuk mendapatkan keseragaman bentuk benih sehingga memudahkan penanganan, terutama jika penanaman menggunakan mesin, atau karena benih perlu dilindungi dari hama pada saat awal perkecambahan. Terdapat dua komponen bahan pada **coating** yaitu bahan pelapis dan bahan tambahan yang dapat berupa pestisida, agen hayati, pupuk maupun zat pengatur tumbuh. Beberapa bahan pelapis seperti super fosfat tunggal, monoamonium fosfat, dan kalium fosfat efektif meningkatkan daya berkecambah antara 40-60% dibanding perlakuan kontrol, namun perlakuan dengan batuan fosfat (rock-phosphat) memperlambat pemunculan bibit selama 2-3 hari (Ross *et al.* 2000). Penelitian lain

Tabel 3. Pengaruh formula *coating* dengan minyak cengkeh terhadap mutu fisik dan fisiologis benih padi.

Perlakuan <i>coating</i>	Variabel					
	IV (%)	DB (%)	KCT (% per etmal)	BKKBN (g)	LPK (mg/KN)	Bobot 1.000 butir (g)
Cengkeh-gom arab 3%	79,2 bc	97,2 ab	17,34 bc	0,16 c	7,65 ab	23,96 ab
Cengkeh-gom arab 5%	69,6 c	94,8 ab	15,34 c	0,12 c	7,69 ab	24,12 a
Cengkeh-gom arab 10%	83,2 b	93,2 b	20,36 ab	0,12 c	6,98 b	24,30 a
Cengkeh-CMC 1%	72,4 c	95,6 ab	15,23 c	0,13 bc	7,94 ab	23,89 ab
Cengkeh-Kitosan 1%	85,6 ab	96,0 ab	17,17 bc	0,14 ab	8,32 a	23,52 b
Cengkeh-Kitosan 3%	90,8 a	98,0 a	22,95 a	0,12 a	7,49 ab	23,92 ab

IV: indeks vigor, DB: daya berkecambah, KCT: kecepatan tumbuh, BKKBN: berat kering kecambah normal, LPK: laju pertumbuhan kecambah. Angka selajur yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada 0,05 uji Duncan. Sumber: Ikrarwati 2013.

menunjukkan penambahan minyak cengkeh dalam bahan *coating* meningkatkan pertumbuhan bibit dan indeks vigor, namun tidak meningkatkan persentase kecambah normal (Tabel 3). Dua kombinasi perlakuan yang paling sesuai sebagai pelapis benih padi adalah kombinasi minyak cengkeh-CMC 1% dan minyak cengkeh-kitosan 1% (Ikrarwati 2013).

Mikroba dalam bentuk PGPB (*Plant Growth Promoting Bacteria*) maupun PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) mulai diaplikasikan dalam invigorasi benih. Meskipun dalam skala penelitian, efektivitasnya masih beragam antarjenis benih. Penelitian Indahwardani *et al.* (2017) menunjukkan penambahan bakteri *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas* kelompok *fluorescens*, dan *Serratia marcescens* sebagai pelapis benih kedelai tidak meningkatkan mutu benih dibanding kontrol, namun aplikasi bakteri tersebut mampu meningkatkan viabilitas benih jagung manis pada 24 minggu masa simpan (Muchtari *et al.* 2014). Widajati *et al.* (2008) menyatakan *Methylobacterium* mampu menghasilkan hormon IAA, GA, dan trans-zeatin (sitokinin) pada kadar yang berbeda antarisolat. Aplikasi *Methylobacterium* sebagai bahan tambahan pada *coating* padi hibrida mampu mempertahankan mutu benih tetap tinggi sampai 15 minggu penyimpanan dengan nilai rata-rata perkecambahan benih varietas DG-1 95,2%, SL-8 89,6% dan Intani-2 85,6% (Widajati *et al.* 2013).

IMPLEMENTASI TEKNIK INVIGORASI

Pemilihan teknik invigorasi yang sesuai bergantung pada skala aplikasi dengan mempertimbangkan efektivitas dan efisiensi.

Implementasi Skala Petani

Teknik invigorasi yang bisa dipilih petani/praktisi pertanian dalam skala kecil antara lain dengan teknik *pre-soaking*, baik secara *hydro-priming* dan *hardening* maupun *on-farm priming*. Beberapa hasil penelitian menunjukkan *pre-soaking* meningkatkan viabilitas dan vigor benih

(kecepatan tumbuh dan keserempakan tumbuh). Selain itu, perlakuan *priming* dengan tambahan bahan kimia, zat pengatur tumbuh, maupun agen hayati lebih efektif dan efisien diaplikasikan di tingkat petani (Ilyas 2012).

Implementasi Skala Komersial

Salah satu alternatif teknik invigorasi bagi industri benih skala komersial adalah dengan teknik *coating* benih, baik dalam bentuk pelapisan saja atau peleting (dengan menyeragamkan bentuk dan ukuran benih). Selain meningkatkan vigor benih dengan penambahan agen hayati (mikrobia), zat pengatur tumbuh, antioksidan, atau bahan kimia lainnya, *coating* juga dapat memperbaiki keseragaman bentuk dan penampilan benih, serta mengurangi tertular penyakit dari benih di sekitarnya. Inovasi teknologi tanam benih langsung (Tabela) padi dengan *drum seeder* lebih efisien jika tersedia benih yang di-*coating*. Hasil penelitian menunjukkan pelapisan benih mampu mempertahankan mutu benih padi selama masa simpan 15 minggu dengan nilai rata-rata perkecambahan benih varietas DG-1 95,2%; SL-8 89,6%; dan Intani-2 85,6% (Widajati *et al.* 2013). Namun perlu dipelajari pengaruh pelapisan terhadap deteriorasi benih selama penyimpanan 6 bulan atau lebih, dimana masa berlaku benih berlabel atau bersertifikat adalah 6 bulan atau lebih (dapat diperpanjang) (Kementerian Pertanian 2018).

Perlakuan *priming* dengan beberapa bahan kimia seperti $CaCl_2$, asam ascorbate, atau KCl lebih baik dalam meningkatkan vigor benih di lapang dan pertumbuhan bibit padi dibanding perlakuan lainnya (*pre-germination*, *hydropriming* maupun *hardening*), sehingga layak dipertimbangkan dalam produksi benih skala komersial. Perlakuan pemanasan (*thermal treatment*) atau perlakuan *hormonal priming* merupakan alternatif perlakuan invigorasi untuk skala industri. Namun perlu dipertimbangkan untuk diaplikasikan pada benih padi karena hasil penelitian menunjukkan perlakuan pemanasan dan penambahan GA_3 merangsang pematangan dormansi pada benih padi, sehingga dikhawatirkan dapat memperpendek umur simpan benih (Farooq *et al.* 2010).

Di sisi lain, informasi pengaruh perlakuan invigorasi terhadap mutu benih selama penyimpanan masih terbatas. Oleh karena itu, aplikasi teknik invigorasi pada industri benih perlu didukung oleh informasi pengaruh invigorasi (*priming*, *thermal treatment*, *coating*) dengan atau tanpa tambahan bahan kimia, zat pengatur tumbuh terhadap mutu benih selama penyimpanan. Selain itu perlu diperhitungkan tambahan biaya untuk aplikasi perlakuan invigorasi (bahan dan upah) pada industri benih komersial.

Implementasi teknik invigorasi pada produksi benih secara komersial harus mempertimbangkan efektivitas dan efisiensi. Beberapa hasil penelitian menunjukkan *pre-soaking* meningkatkan viabilitas dan vigor benih (kecepatan tumbuh dan keserempakan tumbuh), namun metode *hydro-priming*, *hardening*, maupun *on-farm priming* tidak efisien dalam produksi benih skala komersial. Hal ini disebabkan teknik tersebut membutuhkan tambahan waktu yang cukup lama dan sumber daya yang besar untuk melembabkan dan mengeringkan benih kembali. Teknik invigorasi ini lebih sesuai untuk petani atau praktisi pertanian yang mengelola benih dalam jumlah kecil, atau untuk meningkatkan vigor pada benih yang sudah lama disimpan (saat akan ditanam/disemai).

Perlakuan *priming* dengan CaCl_2 , asam ascorbate, atau KCl lebih baik dalam meningkatkan vigor benih di lapangan dan pertumbuhan bibit padi dibandingkan dengan perlakuan lainnya (*pre-germination*, *hydropriming* maupun *hardening*) (Farooq *et al.* 2010), sehingga layak dipertimbangkan untuk direkomendasikan dalam produksi benih skala komersial, namun harus dipelajari pengaruh perlakuan tersebut terhadap daya simpan benih yang sudah di-*priming*.

Perlakuan pemanasan atau perlakuan *priming* dengan zat pengatur tumbuh GA_3 perlu dipertimbangkan untuk benih padi karena hasil penelitian menunjukkan perlakuan ini berpengaruh terhadap dormansi benih padi, sehingga dikhawatirkan berpengaruh terhadap penurunan mutu benih selama penyimpanan. Penggunaan zat pengatur tumbuh seperti GA_3 yang merupakan golongan giberilin yang merangsang benih untuk cepat tumbuh maka jika tidak terkendali dengan baik dapat mempercepat penurunan/deteriorasi benih.

Perkembangan teknologi alat-mesin tanam dengan *drum-seeder* memberi peluang untuk aplikasi *coating* pada benih padi, sehingga jatuhnya benih diharapkan pada saat tanam lebih merata, namun perlu dipelajari efektivitas perlakuan tersebut. Hasil penelitian dalam skala laboratorium menunjukkan perlakuan invigorasi dengan *matriconditioning* meningkatkan mutu benih dengan meningkatnya vigor benih atau kemampuan tumbuh pada kondisi optimum, sehingga meningkatkan bobot gabah bernas per rumpun dibanding perlakuan kontrol (Yukti 2009), namun masih perlu dipelajari efektivitasnya di pertanaman, penambahan biaya, dan peningkatan hasil secara riil.

Apabila perlakuan tersebut akan diterapkan dalam skala industri benih perlu dipelajari pengaruh perlakuan

seperti *priming* dengan berbagai media larutan atau padatan, *matriconditioning*, maupun *coating* dengan berbagai bahan pelapis dengan atau tanpa penambahan pestisida, agen hayati, atau zat pengatur tumbuh terhadap daya simpan benih atau penurunan mutu benih padi selama penyimpanan. Informasi mengenai pengaruh perlakuan invigorasi terhadap mutu simpan benih masih terbatas. Selain itu perlu diperhitungkan tambahan biaya untuk aplikasi perlakuan invigorasi (bahan dan upah) pada perusahaan benih komersial.

KESIMPULAN

Aplikasi invigorasi yang efektif dan efisien pada benih padi bergantung pada skala aplikasi, untuk keperluan petani kecil atau skala industri benih. Teknik invigorasi yang dapat diterapkan oleh petani kecil adalah teknik *pre-soaking* baik secara *Hydropriming*, *hardening* maupun *on-farm priming*. Teknik perlakuan *priming* dapat ditambahkan bahan kimia, zat pengatur tumbuh, maupun agen hayati. Bagi perusahaan atau industri benih skala komersial dapat menggunakan perlakuan *coating* dengan melapisi benih atau peleting dengan penambahan agen hayati zat pengatur tumbuh, antioksidan, atau bahan kimia lainnya.

Perlu dipelajari lebih lanjut pengaruh seluruh aplikasi invigorasi terhadap genetik benih dari varietas-varietas padi berpotensi hasil tinggi dan berkembang luas di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Basra, S.M.A., Farooq, M. and M., H. (2005). Influence of osmopriming on the germination and early seedling growth of coarse and fine rice, *Pak. J. Seed Technol.* **6**: 33–42.
- Basra, S.M.A., Farooq, M., Tabassum, R. and Ahmed, N. (2006). Evaluation of seed vigor enhancement techniques on physiological and biochemical basis in coarse rice. *Seed Sci. Technol.* **34**:741–750.
- Bewley, J.D. and Black, M. (1982). Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination. Vol. 2, Viability, Dormancy and Environmental Control. *Springer-Verlag, New York*.
- Bradford, K.J. (1986). Manipulation of seed water relations via osmotic Hydro to improve germination under stress conditions. *Hort Sci.* **21**:1105–1112.
- Brocklehurst, P.A., Dearman, J. and Drew, R.L.K. (1984). Effects of osmotic priming on seed germination and seedling growth in leek. *Sci. Hort.* **24**:201–210.
- Copeland, L.O. and Donald, M.B.M. (2001). *Principle of Seed Science and Technology 4th Ed.* Boston, Kluser.
- Direktorat Jenderal Tanaman Pangan (2017). *Laporan Tahunan Direktorat Perbenihan Tanaman Pangan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. Kementerian Pertanian.
- Doley, D.M., Barua, M., Sarma, D. and Barua, P.K. (2018). Screening and enhancement of anaerobic of rice genotypes by pre-sowing seed treatments. *Current Science* **115**:1185–1190.
- El-Handawy, S.E., Seno, C., Ito, O. and Sakagami, J.I. (2011). Evaluation of germination ability in rice under anaerobic condition by cluster analysis. *Research Journal of Seed Science* **4**(2):82–93.

- Farooq, M., Basra, S.M., Wahid, A. and Ahmad, N. (2010). Changes in nutrient-homeostatis and reserves metabolism during rice seed priming, Consequences for seedling emergence and growth. *Agricultural Science in China* **9**(2):191–198.
- Farooq, M., Basra, S.M.A., Afzal, I. and Khaliq, A. (2006). Optimization of hydropriming techniques for rice seed invigoration. *Seed Sci. Technol.* **34**:507–512.
- Farooq, M., Basra, S.M.A. and Khan, M.B. (2007). Seed priming improves growth of nursery seedlings and yield of transplanted rice. *Arch. Agron. Soil Sci.* **53**: 315–326.
- Farooq, M., Kadambot, Siddique, H.M., Rehman, H., Aziz, T., Lee, D.-J. and Wahid, A. (2011). Rice direct seeding: Experiences, challenges and opportunities. *Soil & Tillage Research* **111**:87–98.
- Farooq, S.M.A., Basra, Wahid, A., Khaliq, A. and Kobayashi, N. (2009). *Rice Seed Invigoration.: A Review. Organic Farming, Pest Control and Remediation 137 of Soil Pollutants, Sustainable Agriculture Reviews.*
- Hardegree, S.P. and Emmerich, W.E. (1992). Seed germination response of four south-western range grasses to equilibration at sub-germination matric-potentials. *Agron. J.* **84**:994–998.
- Harris, D., Tripathi, R.S. and Joshi, A. (2000). On-farm seed priming to improve crop establishment and yield in dry direct-seeded rice. *Proc. Int. Workshop on Dry-Seeded Rice Technol.* 25–28 January, Bangkok, Thailand.
- Heydecker, W. and Coolbear, P. (1977). Seed treatments for improved performance—survey and attempted prognosis. *Seed Sci. Technol.* **5**:353–425.
- Hu, J., Zhu, Z.Y., Song, W.J., Wang, J.C. and Hu, W.M. (2005). Effects of sand priming on germination and field performance in direct-sown rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Sci. Technol.* **33**:243–248.
- Ikrarwati (2013). *Peningkatan Kesehatan Benih Dan Hasil Padi Dengan Aplikasi Coating Benih Menggunakan Minyak Atsiri. Tesis. Pasca Sarjana. IPB.*
- Ilyas, S. (2012). *Ilmu Dan Teknologi Benih. Teori dan Hasil-Hasil Penelitian. Bogor (ID): IPB Press.*
- Ilyas, S., Sudarsono, U., Nugraha, S., Kadir, T.S., Yukti, A.M. dan Fiana, Y. (2008). *Teknik Pengujian Kesehatan Dan Mutu Benih Padi. Laporan Hasil Penelitian. Institut Pertanian Bogor Bekerjasama Dengan Badan Litbang Pertanian, Deptan.*
- Indahwardani, H., Wadajati, E. dan Giyanto (2017). Aplikasi bakteri dalam perlakuan seed coating untuk mempertahankan viabilitas dari benih cabai yang sehat. *Bul. Agrohorti* **5**(1):9–16.
- Kementerian Pertanian (2018). *Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 991 Tahun 2018 Tentang Petunjuk Teknis Sertifikasi Benih Bina Tanaman Pangan.* Jakarta (ID): Kementerian Pertanian.
- Khan, A.A. (1992). Pre-plant physiological conditioning. *Hort. Rev.* **13**:131–181.
- Khan, A.A., Miura, H., Prasinski, J. and Ilyas, S. (1990). *Matricconditioning of Seed to Improve Emergence. Proceeding of The Symposium on Stand Established of Horticultural Crps. Minnesota.*
- Lee, S.S. and Kim, J.H. (2000). Total sugars, α -amylase activity, and germination after priming of normal and aged rice seeds. *Kor. J. Crop Sci.* **45**:108–111.
- Lee, S.Y., Lee, J.H. and Kwon, T.O. (2002). Varietal differences in seed germination and seedling vigor of Korean rice varieties following dry heat treatments. *Seed Sci. Technol.* **30**: 311–321.
- Li, Q., Yang, A. and Zhang, W.-H. (2019). Higher endogenous bioactive gibberellin and α -amylase activity confer greater tolerance of rice seed germination to saline-alkaline stress. *Environmental and Experimental Botany* **162**:357–363.
- Madiki, A. (1998). *Deteksi Dini Sifat Toleransi dan Peranan Perlakuan Invigorasi Benih Dalam Mengatasi Cekaman Oksigen Pada Berbagai Varietas/Galur Padi Sawah (Oryza Sativa L.) [Thesis].* Bogor: Sekolah Pasca- Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Muchtar, S.D., Widajati, E. dan Giyanto (2014). Pelapisan benih menggunakan bakteri probiotik untuk mempertahankan viabilitas benih jagung manis (*Zea mays saccharata* Sturt) selama penyimpanan. *Bul. Agrihorti* **1**(4):26–33.
- Mulsanti, I. dan Wahyuni, S. (2011). Penggunaan Larutan Garam Sebagai Media Invigorasi untuk Meningkatkan Perkecambahan dan Vigor Benih Padi. *Prosiding Seminar Makalah Hasil Penelitian 2010.* Sukamandi: Balai Besar Penelitian Tanaman Padi.
- Paul, S., Roychoudhury, A., Banerjee, A., Chaudhuri, N. and Ghosh, P. (2017). Seed pre-treatment with spermidine alleviates oxidative damages to different extent in the salt (NaCl)-stressed seedlings of three indica rice cultivars with contrasting level of salt tolerance. *Plant Gene* **11**:112–123.
- Pen Aloza, A.P.S. and Eira M.T.S. (1993). Hydration- dehydration treatments on tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Seed Sci. Technol.* **21**:309–316.
- Pill, W.G. and Necker, A.D. (2001). The effects of seed treatments on germination and establishment of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.). *Seed Sci. Technol.* **29**:65–72.
- Rahayu, S., Wanita, Y.P. and Kobarsih, M. (2011). Penyimpanan benih menggunakan berbagai jenis pengemas. *Agrin* **15**(1):36–44.
- Ross, C., Bell, R.W. and White, P.F. (2000). Phosphorus seed coating and soaking for improving seedling growth of *Oryza sativa* (rice) cv. IR66. *Seed Sci. Technol.* **28**:391–401.
- Ruan, S., Xue, Q. and Tylkowska, K. (2002). Effects of seed priming on germination and health of rice (*Oryza sativa* L.) seeds. *Seed Sci. Technol.* **30**:451–458.
- Sari, W. dan Faisal, M.F. (2011). Pengaruh media penyimpanan benih terhadap viabilitas dan vigor benih Pandanwangi. *Agroscience* **7**(2):300–309.
- Soon, K.J., Whan, C.Y., Gu, S.B., Kil, A.C. and Lai, C.J. (2000). Effect of hydropriming to enhance the germination of gourd seeds. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* **41**:559–564.
- Sutariati, G. dan Madiki, A. (2014). Integrasi Teknik Invigorasi Benih dengan Rizobakteri untuk Pengendalian Penyakit dan Peningkatan Hasil Tomat. *Jurnal Fitopatologi Indonesia* **10**(6):188–194.
- Taylor, A.G., Allen, P.S., Bennett, M.A., Bradford, J.K., Burris, J.S. and Misra, M.K. (1998). Seed enhancements. *Seed Sci. Res.* **8**:245–256.
- Wahyuni, S. (2011). Peningkatan Daya Berkecambah dan Vigor Benih Padi Hibrida Melalui Invigorasi. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* **30**(2).
- Wahyuni, S. (2013). Keragaan produsen benih di Jawa Tengah dan mutu benih yang dihasilkan. *Prosiding Seminar Nasional 2013. Buku I: 45-52.* Solo: Universitas Sebelas Maret.
- Wahyuni, S., Yuningsih, A.F.V. dan Widiastuti, M.L. (2016). Teknik pengelolaan dan mutu benih yang dihasilkan dari sektor perbenihan informal. *Prosiding Seminar Nasional 2015: 857-869.* Sukamandi: Balai Besar Penelitian Tanaman Padi.
- Widajati, E., Salma, S., Kosmiantin, M., Pratiwi, E. dan Rahayu, S. (2008). *Potensi Methylobacterium Spp Asal Kalimantan Timur untuk Meningkatkan Mutu Benih dan Kultur in Vitro Tanaman serta Analisis Keragamannya.* Laporan Penelitian KKP3T. Bogor. 56 hlm.
- Widajati, E., Salma, S. dan Lastiadika, Y.A. (2013). Perlakuan coating dengan menggunakan isolat *Methylobacterium* spp. dan tepung curcuma untuk meningkatkan daya simpan benih padi hibrida. *Bul. Agrohorti* **1**(1):79 – 88.
- Yukti, A.M. (2009). *Efektivitas Matricconditioning plus Agen Hayati dalam Pengendalian Patogen Terbawa Benih , Peningkatan Vigor, dan Hasil Padi. [Thesis].* Bogor: Sekolah Pasca-Sarjana, Institut Pertanian Bogor. 79 hlm.
- Zhang, J., Liu, D., Huang, Y. and Liu, X. (2005). *Effects of Seed Soaking with La3+ on Seed Germination and Seedling Growth of Rice, China.*