

RESPON PADI TERHADAP SUHU RENDAH: FISIOLOGI DAN STATUS PEMULIAAN

Peni Lestari¹⁾ dan Wage Ratna Rohaeni²⁾

Pusat Penelitian Biologi. Komplek CSC Jl Raya Jakarta Bogor KM 46,
Cibinong. 16911
Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Sukamandi
e-mail : wagebbpadi@gmail.com

ABSTRAK

Padi masih menjadi primadona pangan utama bagi masyarakat Indonesia, walaupun upaya diversifikasi pangan sudah mulai dilakukan di sejumlah daerah. Masalah perluasan konversi lahan sentra produksi padi menjadi sektor non pertanian menggeser pusat lumbung padi ke daerah suboptimal. Saat ini program pemuliaan padi mulai melirik lahan dataran tinggi disamping tipe lahan marjinal lainnya untuk pengembangan padi selanjutnya. Tantangan yang timbul kemudian adalah mencari genotipe padi unggul toleran suhu rendah disamping ketahanannya terhadap penyakit blast. Selama ini seleksi untuk karakter suhu rendah difokuskan pada fase pembungaan. Sebab, tahap pembentukan malai padi adalah fase kritis terhadap cekaman suhu rendah. Namun demikian, terobosan untuk melakukan seleksi pada tahap pertumbuhan yang lebih awal, seperti tahap benih, penting dilakukan. Melakukan seleksi pada tahap ini akan mengurangi luas lahan yang diperlukan untuk seleksi tanaman padi, dibandingkan bila hanya melakukan seleksi setelah tanaman berbunga. Hanya tanaman yang dapat berkecambah dan tumbuh baik pada kondisi suhu rendah yang kemudian diseleksi untuk mengetahui umur berbunga dan produktivitasnya. Terkait seleksi untuk tahap benih, alat thermogradientbar dapat dijadikan pilihan. Alat ini memiliki rentang suhu yang lebar, yakni 2° – 45°C, dengan gradient suhu 1.6°C per kolomnya. Dengan menggunakan alat ini, hanya benih yang toleran suhu dingin yang dapat berkecambah. Beragamnya gradient suhu memungkinkan untuk dilakukan seleksi padi sekaligus untuk berbagai ketinggian tempat berdasarkan perbedaan suhu.

Kata Kunci: Thermogradientbar, skrining, suhu rendah, Padi

ABSTRACT

Until now, the rice is still be favorite food for the Indonesian people, although the food diversification efforts already underway in a number areas. Land conversion into non-agricultural sector in rice production centers area shifts the paddy granary center move to suboptimal region. Currently rice breeding program began leads rice development to plateau region and other marginal area. The challenge arises then is to find high-yielding rice genotypes that toleran to low temperatures and resistant to blast disease. All this time, the selection for low temperature character

were focused on flowering phase. That is because rice panicle formation stage is a critical phase of the low-temperature stress. However, a breakthrough for selection in the early growth stages, such as seed stages, is necessary. Doing Selection at this stage will reduce the required land area for the selection of rice plants, compared with doing selection after flowering stage. Only seed can germinate and grow well in low temperature conditions are then selected to determine the age of flowering and productivity. Thermogradientbar can be selected for temperature screening on paddy seed stage. This tool has a broad temperature range, namely 20 - 45°C, with a temperature gradient 1.6°C per room. By using this tool, only the seeds that are low-temperatures tolerant will germinate. The diversity of the temperature gradient allows for doing selection of rice at the same time for different altitude based on the difference in temperature.

Keywords: *Thermogradientbar, screening, low temperature, Rice*

PENDAHULUAN

Padi masih menjadi primadona komoditas pangan di Indonesia hingga saat ini, walaupun program diversifikasi pangan juga mulai kembali dipopulerkan di beberapa daerah, melalui pameran atau bahkan peraturan daerah. Penggunaan komoditas umbi dan spesies sereal lain umumnya menjadi pilihan dalam mengembangkan pangan non beras. Karena beras masih sangat diperlukan sebagai pangan utama, maka pengembangan padi tetap dilakukan guna mengamankan pangan Indonesia, selain pencarian plasma nutfah sumber karbohidrat alternatif. Pengembangan padi sendiri menemui banyak kendala, diantaranya serangan berbagai hama penyakit dan menurunnya tingkat kesuburan lahan sebagai akibat perubahan iklim. Untuk itu, pengembangan padi diarahkan pada seleksi dan perakitan genotipe padi unggul di berbagai kondisi cekaman.

Karakter Indonesia yang bersifat kepulauan dengan beragam tipe iklim menjadi dasar mengapa pengembangan padi perlu diarahkan pada sifat adaptif di spesifik lokasi. Hal ini dilakukan dengan tujuan supaya padi dapat dibudidayakan secara luas di nusantara. Dengan demikian, rantai distribusi beras dapat dipangkas. Biaya yang diperlukan untuk distribusi dari daerah sentra budidaya ke daerah target pemasaran dapat diminimalisasi. Dengan upaya tersebut, diharapkan status keamanan pangan, bahkan kemandirian pangan sejumlah daerah dapat ditingkatkan. Secara genetik, genotipe yang memiliki daya adaptasi luas juga cenderung berproduksi lebih rendah dibandingkan dengan genotipe yang memiliki daya adaptasi spesifik lokasi.

Dalam pengembangan padi beberapa tahun terakhir, lahan suboptimal menjadi pilihan pengembangan padi ke depan. Pengembangan padi di lahan tersebut membutuhkan perlakuan budidaya khusus serta varietas yang toleran cekaman abiotik tertentu. Hingga saat ini, telah dikembangkan padi yang adaptif pada lahan masam, seperti Varietas Kapuas, Lematang, Sei Lilim, dan Way Putih (Chairunas *et.al* 2014), juga IPB 1R Dadahup dan IPB 2R Bakumpai (Hairmanis

et.al 2013); varietas padi untuk lahan kering (varietas Inpago 4 – Inpago 6) (BB Padi, 2015), varietas yang unggul di lahan salin, seperti Inpari 34 Salin Agritan (BB Padi, 2015); serta varietas yang tahan genangan, seperti Inpari 29 rendaman (BB Padi, 2015). Namun, selain tetap merakit padi unggul di semua tipe lahan tersebut, penelitian mulai mengarah pada pembentukan varietas adaptif dataran tinggi. Pengembangannya akan sangat mendukung program kemandirian pangan untuk masyarakat daerah pegunungan.

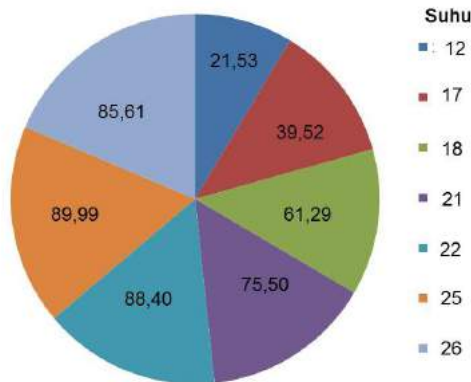
Perakitan varietas padi sawah di dataran tinggi diarahkan pada terbentuknya tanaman padi toleran suhu rendah, efisien dalam pemanfaatan air dan cahaya matahari, tahan kelembaban tinggi, serta tahan hama dan penyakit, terutama penyakit blast. Pada akhirnya, padi yang diharapkan akan berumur genjah dan berdaya hasil tinggi. Tulisan ini akan membahas mengenai pengaruh cekaman suhu rendah pada pertumbuhan dan produksi padi di dataran tinggi. Berdasarkan kondisi fisiologi tanaman, kemudian dijelaskan penelitian dan jenis seleksi yang telah dikembangkan serta peluang teknologi alternatif yang dapat digunakan untuk mendukung pemuliaan padi toleran suhu rendah.

Pengaruh Cekaman Suhu Rendah Pada Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Padi

Padi relatif sensitif terhadap suhu rendah. Hal ini terlihat pada setiap tahap pertumbuhannya, mulai perkecambahan benih hingga pengurangan hasil panen (Toriyama dan Inoue, 1984). Lee (2001) menyatakan bahwa cekaman suhu rendah mempengaruhi pertumbuhan tanaman padi dengan menghambat perkecambahan; pertumbuhan akar, daun, dan tinggi tanaman pada fase vegetatif; memperlambat pembungaan dan pembentukan malai; terganggunya meiosis, pembentukan pollen dan penyerbukan, serta terganggunya pertumbuhan dan pengisian malai. Cekaman suhu rendah dilaporkan dapat mengurangi jumlah malai yang terbentuk (Toriyama, 1994). IRRI (1986) menyatakan bahwa toleransi suhu rendah terutama diperlukan pada tahap perkecambahan, pertumbuhan anakan, pembentukan malai, dan pembungaan; tergantung pada ketinggian tempat dan letak lintang.

Secara alami padi membutuhkan suhu hangat di awal pertumbuhannya. Dugaan ini didasarkan pada fakta bahwa spesies ini membutuhkan perendaman dengan air panas selama semalam, bersuhu sekitar 80°C, untuk memecahkan dormansinya. Oleh karena itu, cekaman suhu rendah pada fase perkecambahan akan sangat menurunkan daya kecambah benih padi (Basnayake *et.al* 2003; Ali *et.al* 2006), bila tanpa perlakuan. Bilapun benih berhasil tumbuh, Mertz *et al.* (2012) dan Shimono *et.al* (2001; 2007) menyatakan bahwa suhu rendah dapat merusak pertumbuhan, mengurangi tinggi tanaman, dan menyebabkan peningkatan persaingan dengan gulma pada padi di usia muda. Yunita (2009) menjelaskan, bahwa secara fisiologis, tanaman akan mengakumulasi gula dan senyawa kompatibel lainnya untuk mengurangi kehilangan air akibat suhu rendah. Penurunan setiap 5°C dimulai dari 25°C, menyebabkan kecepatan berkecambah

benih berkurang yang ditandai dengan lambatnya pertumbuhan radikula (Soares et al, 2014). Hasil percobaan menggunakan 40 nomor padi menunjukkan bahwa suhu rendah memang dapat menghambat perkecambahan benih padi secara signifikan (Gambar 1). Pada suhu rendah, benih tetap dapat berkecambah normal namun memerlukan waktu lebih lama untuk berkecambah.



Gambar 1. Daya berkecambah benih padi pada berbagai perlakuan suhu

Pada suhu rendah, benih padi tidak mati, hanya mengalami dormansi. Bila benih yang sebelumnya diperlakukan suhu rendah kemudian diberi perlakuan suhu hangat, benih padi tersebut dapat berkecambah normal.

Pemberian nutrisi pada pertanaman padi, terutama unsur nitrogen, di lingkungan bersuhu rendah sebenarnya dapat membantu memperbaiki pertumbuhan tanaman (Limbongan *et al.*, 2009). Sumber nitrogen bisa berasal dari pupuk organik, seperti kompos atau pupuk kandang, maupun pupuk kimia (Lee, 2001). Pemberian nitrogen pada tahap perkembangan vegetatif di lingkungan suhu rendah meningkatkan jumlah anakan dan jumlah malai per rumpun (Toriyama, 1994; Gunawardena *et.al* 2003), tetapi sayangnya, suhu rendah menurunkan kemampuan tanaman untuk mengikat nitrogen. Walaupun baik bagi pertumbuhan vegetatif, pemberian nitrogen dapat mengganggu perkembangan organ generative (bunga), meningkatkan jumlah spikelet steril (Lee, 2001; Gunawardena *et.al* 2003), pengurangan jumlah serbuk sari viabel, sehingga meningkatkan persentase malai hampa (Lee, 2001; Gunawardena *et.al* 2003; Ghadirnezhad dan Fallah, 2014), terutama bila suhu rendah tersebut terjadi di malam hari (Hamdani, 1979). Berbagai pengaruh tersebut akan berujung pada penurunan kuantitas hasil panen dan keberagaman waktu panen. Oleh karena itu diperlukan penelitian-penelitian terkait dosis dan waktu aplikasi pupuk yang tepat.

Banyak data hasil penelitian yang menerangkan bahwa fase generatif adalah kritis padi terhadap suhu rendah, yang dimulai dari terlambatnya umur berbunga, perkembangan bunga, sterilitas malai, hingga pengurangan hasil panen. Lu *et.al* (2007) melaporkan bahwa kisaran suhu yang cocok untuk proses pembungaan

pada berbagai tipe hasil persilangan terjadi pada kisaran suhu 22.5°- 23.3°C. Pada suhu di bawah 23°C, mulai terjadi sterilitas malai (Yuan, 1998) yang kemudian akan berdampak pada pengurangan hasil. Tingkat kehampaan malai akibat suhu rendah tergantung pada kepekaan spikelet varietas tertentu terhadap cekaman suhu rendah. Tingkat kepekaan ini bervariasi antar stadia pertumbuhan dalam fase produktif. Kepekaan paling ekstrim terjadi pada fase pembentukan mikrospora muda.

Data mengenai penurunan hasil panen pada berbagai ketinggian tempat di berbagai lintang telah terdokumentasi di Korea (Lee *et al.*, 1987), Bagian utara dan selatan Cina, Bangladesh, India, Nepal (Lee, 2001), sampai di Jepang (Shimono *et al.* 2007). Suhu rendah telah menyebabkan kehilangan hasil padi sebanyak 15% dari total kehilangan hasil yang terjadi di Jepang (Shimono, 2005). Farrell *et al.* (2001) juga mendokumentasikan penurunan hasil panen padi akibat suhu rendah di Australia.

Perkembangan Pemuliaan Padi Untuk Cekaman Suhu Rendah

Pemuliaan padi toleran suhu rendah telah dilakukan sejak sebelum tahun 2005. Ini terdokumentasi dari hasil refleksi BB Padi, bahwa dalam kurun waktu 5 tahun (2005-2009), BB Padi telah melepas 27 varietas padi tahan cekaman suhu rendah, dengan daya adaptasi sedang hingga tinggi (BB Padi, 2009). Diantaranya adalah INPARI 28 Kerinci (<1100 m dpl), Aek Sibudong untuk padi sawah dan varietas Sarinah untuk padi gogo (Infopublik, 2013). Upaya perakitan varietas padi sawah toleran suhu rendah yang dikombinasi dengan ketahanan terhadap penyakit blas dan produktivitas tinggi berlanjut hingga kini, dimulai dengan pembentukan gen pool baru sumber plasma nutfah pada tahun 2009 (BB Padi, 2010). Tidak hanya padi sawah, tetapi juga padi gogo (Wening dan Untung, 2015). Selain BB Padi, Perguruan tinggi juga terdokumentasi turut menyumbang keragaman plasma nutfah padi sawah toleran suhu rendah (Zen, 2013).

Selain perakitan varietas, penelitian pendukung program pemuliaan padi untuk lahan bersuhu rendah juga dilakukan di tanah air, diantaranya Pada tahun 2004, Silitonga (2004) mengumpulkan informasi ragam plasma nutfah padi yang adaptif di lingkungan ekstrim. Lalu Limbongan *et al.* (2008) telah meneliti pola pewarisan sifat toleransi padi sawah terhadap cekaman suhu rendah, dimana efek gen aditif lebih besar dibandingkan efek gen dominan. Studi tentang pewarisan sifat toleran suhu rendah pada padi juga dipublikasikan di beberapa Negara (Sakai, 1949; Shimono *et al.*, 2001; Shimono *et al.*, 2007).

Penelitian mengenai sistem budidaya yang dapat diterapkan untuk padi sawah di dataran tinggi juga telah dilakukan (Susanti *et al.* , 2010). Penelitian mengenai kultur anthera untuk memangkas waktu perakitan galur murni (Dewi dan Purwoko, 2001; Sasmita, 2007). Saat ini bahkan telah diketahui respon tanaman terhadap suhu rendah juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan lain, seperti kekeringan dan salinitas tinggi (Hadiarto, 2013).

Membahas mengenai jenis seleksi yang digunakan dalam perakitan varietas, banyak penelitian di tanah air umumnya menggunakan karakter generatif, seperti persentase umur berbunga, bunga fertil; yang dikombinasi dengan karakter hasil, seperti bobot gabah per rumpun, persentase gabah isi; untuk menyeleksi galur-galur harapan padi toleran suhu rendah (Zen, 2012; Wening dan Susanto, 2015). Seleksi dilakukan dengan uji lapang terbatas di beberapa lokasi.

Seleksi yang dilakukan menggunakan organ generatif sebagai marka pada pengujian lapang, tentunya memiliki beberapa tantangan. Selain lahan yang luas untuk penanaman sejumlah galur kandidat, waktu yang diperlukan cukup lama, hingga tanaman padi mencapai fase generatif. Padahal, belum tentu semua galur yang ditanam dapat tumbuh pada lingkungan seleksi, menghasilkan bunga atau mencapai umur berbunga yang diharapkan. Untuk itu, Beberapa penelitian mulai menggunakan karakter vegetatif sebagai penanda seleksi galur padi untuk cekaman abiotik (Susanti *et al.*, 2010; Rusd, 2011) untuk mempercepat proses seleksi.

Alternatif lain yang ditawarkan adalah penggunaan jalur *in vitro* untuk menyeleksi galur padi. Seleksi dengan cara ini dilakukan dengan menempatkan planlet padi pada kondisi lingkungan rendah. Tanaman yang terseleksi pada kondisi ini, kemudian di validasi dengan uji di lapang. Yunita (2009) melaporkan bahwa teknik ini efektif digunakan untuk program pemuliaan padi toleran suhu rendah.

Selain menggunakan jalur *in vitro*, seleksi pada tahap perkecambahan diduga juga dapat dilakukan untuk menyeleksi padi toleran suhu rendah. Hal ini mengacu pada banyak penelitian yang membuktikan bahwa suhu rendah juga sangat mengganggu proses perkecambahan dan pertumbuhan kecambah padi.

Penggunaan seleksi cepat tahap perkecambahan telah berhasil dilakukan di Jepang sejak tahun yang lampau (Sasaki dan Honma, 1977). Penelitian mereka dilakukan untuk menyeleksi pada generasi bersegregasi. Pada aplikasinya, seleksi cepat pada tahap bibit tidak harus dilakukan dengan membawa benih ke dataran target. Seleksi dapat dilakukan pada uji terbatas di laboratorium Fisiologi Tumbuhan, Pusat Penelitian Biologi – LIPI, dengan menggunakan alat thermogradientbar.

Peluang Penggunaan Alat Thermogradientbar Untuk Seleksi Suhu Rendah Pada Fase Benih

Merujuk pada berbagai literatur dan kejadian empiris mengenai efek suhu rendah terhadap perkecambahan dan pertumbuhan awal bibit padi, serta bagaimana tanaman tersebut merespon dan beradaptasi terhadap suhu rendah, maka, seleksi pada tahap seed dan seedling sebagai metode seleksi cepat dapat dilakukan. Metode seleksi ini dapat menggunakan alat thermogradientbar, untuk seleksi pada tahap benih. Penggunaan alat ini akan sangat berguna untuk menyeleksi sejumlah galur padi pada fase perkecambahan sampai tahap seedling pada kondisi cekaman

suhu rendah. Dengan demikian, luas lahan yang diperlukan untuk penyeleksian pada tahap pembungaan dapat dikurangi.

Alat termogradientbar bekerja berdasarkan gradien suhu. Dalam alat ini, total terdapat 35 kolom yang memiliki perbedaan suhu satu dengan yang lain lebih kurang 1.6°C , di mulai dari suhu 2°C pada kolom pertama dan 45°C pada kolom ke 35. Media tanam yang digunakan adalah tissue tebal. Kontrol kelembaban dalam alat ini diatur dengan mengalirkan air dari penampung yang berada di luar alat ke dalam media tanam, menggunakan prinsip kapilaritas.

Perbedaan suhu yang bertahap memungkinkan seorang peneliti padi menyeleksi galur pada berbagai tingkat suhu. Selain seleksi, dapat pula diketahui rentang perkecambahan dan suhu optimum perkecambahannya. Bila dihubungkan dengan ketinggian tempat, maka suatu galur dapat diketahui rentang adaptasinya berdasarkan ketinggian tempat. Alat hasil karya Profesor benih Pusat Penelitian Biologi -LIPI, Prof. Hadi Sutarno, mulanya dirakit untuk mengidentifikasi persebaran ketinggian tempat spesies baru yang diperoleh dari lapangan. Sebagai spesies hutan yang belum banyak dikenal masyarakat, penting untuk mengetahui kemungkinan persebaran spesies tersebut. Kemudian, berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat diputuskan area eksplorasi selanjutnya. Profil alat thermogradientbar ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Alat thermogradientbar. 1) pengatur on-off alat dan pengaturan suhu tertinggi dan terendah, 2) penutup alat thermogradientbar, 3) pengatur kelembapan alat, 4) kamar thermogradientbar, 5) thermometer

Pada tanaman yang telah dibudidayakan secara lokal, seperti tanaman obat *Picrasma javanica* (Sutarno dan Utami, 2008) dan Basela (*Basella alba*) (Lestari *et.al* 2012), penggunaan thermogradientbar berguna untuk mendeteksi lingkungan tumbuh potensial untuk tumbuhan tersebut. Dengan demikian, dapat diambil kesimpulan sementara daerah yang potensial untuk menjadi sentra budidayanya. Dalam penelitian Lestari *et.al* (2012) pada basela, hasil pengujian menggunakan thermogradientbar terdeteksi tanaman ini memiliki suhu kardinal berkisar antara 30.3°- 36.9°C, dengan suhu optimum perkecambahan 31.2° sampai 35.8°C. Pengecekan di lapangan, menunjukkan hal yang tidak berbeda. Basela memang umum dijumpai di dataran rendah. Bahkan hingga wilayah savana, namun pertumbuhannya agak terhambat saat dibudidayakan di dataran tinggi. Budidaya pada suhu 25°C dilaporkan menyebabkan daun basela menguning (Gimena *et al.* 2000).

Alat thermogradientbar juga terbukti dapat digunakan untuk seleksi beberapa galur padi berdasarkan suhu. Hasil seleksi terhadap 40 nomor padi diperoleh beberapa nomor yang toleran suhu rendah, suhu tinggi, serta memiliki rentang suhu adaptasi yang luas.

Alat rakitan LIPI ini bukan berarti tanpa kelemahan. Ukuran kamar yang kecil menyebabkan hanya beberapa galur saja yang dapat diseleksi pada suhu tertentu, sehingga membutuhkan beberapa kali pengujian bila jumlah galur yang akan diseleksi cukup banyak. Satu kamar thermogradientbar hanya memuat 30 biji basela, atau setara dengan 30 biji padi. Namun bila alat tersebut akan digunakan untuk seleksi padi pada ketinggian tertentu, maka beberapa kamar dapat dijadikan satu, karena tidak diperlukan suhu yang spesifik.

KESIMPULAN

Terkait seleksi untuk tahap seed, alat thermogradientbar memiliki potensi untuk dijadikan pilihan sebagai alat skrining. Alat ini memiliki rentang suhu yang lebar. Dengan menggunakan alat ini, hanya benih yang toleran suhu rendah yang dapat berkecambah. Beragamnya gradient suhu memungkinkan untuk dilakukan seleksi padi sekaligus untuk berbagai ketinggian tempat berdasarkan perbedaan suhu.

DAFTAR PUSTAKA

- Balai Besar tanaman Padi. 2010. Laporan Akhir. Pembentukan gen pool genotipe padi sawah dataran tinggi (>800 m dpl) toleran suhu rendah (< 21oC), tahan blas dan produktivitas tinggi (>6t/ha). Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Jawa Barat. 29 hal. <http://km.ristek.go.id/assets/files/KEMTAN/538%20D%20n/538.pdf>. [diakses tanggal 1 Agustus 2015].
- Balai Besar tanaman Padi. 2015. Ragam pilihan varietas unggul padi untuk lahan kering. <http://bbpadi.litbang.pertanian.go.id/index.php/berita/info-teknologi/content/6-ragam-pilihan-varietas-unggul-padi-untuk-lahan-kering> [diakses tanggal 1 Agustus 2015].

- Chairunas, Yardha, A. Yusuf, Firdaus, Tamrin, MN Ali. 2014. Rakitan teknologi budidaya padi di lahan gambut. <http://nad.litbang.pertanian.go.id/ind/images/dokumen/Rekomtek/06-RAKITAN%20TEKNOLOGI%20BUDIDAYA%20PADI.pdf> [diakses tanggal 1 Agustus 2015].
- Dewi IS, BS Purwoko. 2001. Kultur antera untuk mendukung program pemuliaan tanaman padi. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 29(2). Abstrak online. <http://202.124.205.111/index.php/jurnalagronomi/article/viewArticle/1548>[diakses tanggal 12 agustus 2015]
- Ghadirnezhad R, A Fallah. 2014. Temperature effect on yield and yield components of different rice cultivars in flowering stage. *International Journal of Agronomy* 2014. E-Journal. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/846707>
- Gimena EF, K Kazuhide, M Toshiyuki. 2000. Effect of storage temperature on the keeping quality of malabar spinach (*Basella alba* L.). *Food Preservation Science* 26(4): 211-217.
- Gunawardena, S Fukai, FPC Blamey. 2003. Low temperature induced spikelet sterility in rice. I Nitrogen fertilization and sensitive reproductive period. *Australia Journal Agriculture Res.* 54:937-947.
- Hadiarto T. 2013. Kompleksitas sistem respon tanaman padi terhadap cekaman kekeringan, suhu rendah, dan salinitas tinggi. <http://biogen.litbang.pertanian.go.id/index.php/2013/08/kompleksitas-sistem-respon-tanaman-padi-terhadap-cekaman-kekeringan-suhu-rendah-dan-salinitas-tinggi/> [diakses tanggal 12 Agustus 2015].
- Hairmanis A, H Aswidinnoor, Supartono, WB Suwarno, B Suprihatno, Suwarno. 2013. Potensi hasil dan mutu beras sepuluh galur harapan padi untuk lahan rawa pasang surut. *Jurnal Agronomi Indonesia* 41(1):1-8.
- Hamdani AR. 1979. Low temperature problems and cold tolerance research activities for rice in india. Report of a Rice Cold Tolerance Workshop. IRRI Los Banos. P39-48.
- Infopublik. 2015. BB padi subang: Jalan panjang ketahanan pangan nasional. <http://infopublik.id/read/8280/bb-padi-subang--jalan-panjang-ketahanan-pangan-nasional.html> [diakses tanggal 13 Agustus 2015].
- IRRI. 1986. Rice Genetics. Proceedings of the international rice genetic symposium. Manila. Philipines.
- Lee MH, DJ Park, SK Rho, YD Lee, RK Park. 1987. Varietal differences in low temperature damage at the reproductive, heading and ripening stages of the rice plant. Research report on Phytotron Experiment,II. Suwon, Korea. National Crop Station.p38-59.
- Lee MH. 2001. Low temperature tolerance in rice: the Korean experience. ACIAR. Proceedings. International Rice research Institute (IRRI). Philipines.

- Lestari P, NW Utami, T Juhaeti. 2012. Studi penentuan rentang suhu kardinal perkecambahan *Basella alba* L. Prosiding Simposium dan Seminar Bersama PERAGI-PERHORTI-PERIPI-HIGI. Bogor, 1-2 Mei 2012.p376-380.
- Limbongan YL, BS Purwoko, Trikoesoemaningtyas, H Aswidinnoor. 2009. Respon genotipe padi sawah terhadap pemupukan nitrogen di dataran tinggi. *Jurnal Agronomi Indonesia* 37(3):175-182.
- Limbongan YL, H Aswidinnoor, BS Purwoko, trikoesoemaningtyas. 2008. Pewarisan sifat toleransi padi sawah (*Oryza sativa* L) terhadap cekaman suhu rendah. *Jurnal Buletin Agronomi* 36(2):111-117
- Mertz LM, FA Henning, RC Soares, RF Baldiga, FB Peske, D. Moares. 2012. Alterações fisiológicas em sementes de arroz expostas ao frio na fase de germinação. *Revista Brasileira de Sementes. Jurnal dalam bahasa Brazil abstrak bahasa Inggris.* 31(2): 254-262
- RusdAMI. 2011. Pengujian toleransi padi (*Oryza sativa* L.) terhadap salinitas pada fase perkecambahan. Skripsi. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Sakai K. 1949. Effects of deep-flood irrigation on grain yield of rice plants in a cool summer year. *Agriculture and Horticulture* 24: 405-408
- Sasaki T, A Honma. 1977. Studies on breeding for germinability at low temperature of rice varieties adapted to direct sowing cultivation in flooded paddy field in cool region: VI. Effectiveness of individual selection for generability at low temperature on some agronomic characters in early segregating generations. *Japanese Journal of Breeding* 27(2): 157-166. Abstract in English. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsbbs1951/27/2/27_2_157/_article [diakses tanggal 13 Agustus 2015].
- Sasmita P. 2007. Aplikasi teknik kultur anthera pada pemuliaan tanaman padi. *Apresiasi Hasil Penelitian Padi 2007: 595-609.* http://www.litbang.pertanian.go.id/special/padi/bbpadi_2008_p2bn2_04.pdf. [diakses tanggal 13 Agustus 2015].
- Shimono HT, Hasegawa, K Iwama. 2001. Quantitative expression of developmental processe as a function of water temperature in rice (*Oryza sativa* L) under cool climate. *Journal Faculty of Agriculture Hokkaido university.* 70:29-40.
- Shimono K, M Okada, E Kanda, I Arakawa. 2007. Low temperature-induced sterility in rice; evidence for the effects of temperature before panicle initiation. *Field Crop Res.* 101(5): 221-231.
- Silitonga TS. 2004. Pengelolaan dan pemanfaatan plasma nutfah padi di Indonesia. *Buletin Plasma Nutfah* 10(2): 56-71.http://indoplasma.or.id/publikasi/buletin_pn/pdf/buletin_pn_10_2_2004_56-71_tjur.pdf. [diakses tanggal 13 Agustus 2015].

- Soares VN, AK Radke, MA Tillmann, AB Moura, LOBSchuch. 2014. Physiological performance of rice seeds treated with thiamethoxam or rhizobacteria under different temperatures. *Journal Seed Science* 36(2). http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2317-15372014000200007&script=sci_arttext [[diakses tanggal 1 Agustus 2015].
- Susanti D, A Riyanto, T Widiatmoko. 2010. Evaluasi adaptasi genotip padi sawah dataran tinggi dan uji paket pemupukan di dataran tinggi banjarnegara dan wonosobo. *Agronomika* 10(1): 51-63.
- Sutarno H, NW Utami. 2008. Perkecambahan dan vigor semai *Picrasma javanica* Blume pada berbagai suhu. *Berita Biologi* 9(2):213-218.
- Toriyama K, K Inoue. 1984. The effect of micrometeorological elements on sterility due to cool injury in rice plants; An application of simulation model for the prediction of canopy climate. (In Japanese with English Abstract). *Jpn. Journal Crop Science*. 53:387-395.
- Toriyama, K. 1994. Studies on estimation of nitrogen mineralization pattern of lowland rice field and nitrogen fertilizing model for rice plant. *Agric. Exp. Stat.* 36:147-198.
- Wening RH, U Susanto. 2015. Uji toleransi plasma nutfah padi terhadap cekaman suhu rendah pada agroekosistem gogo. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 1(1): 155-161. <http://biodiversitas.mipa.uns.ac.id/M/M0101/M010127.pdf>. [diakses tanggal 13 Agustus 2015].
- Yunita R. 2009. Pemanfaatan variasi somaklonal dan seleksi in vitro dalam perakitan tanaman toleran cekaman abiotik. *Jurnal Litbang Pertanian* 28(4): 142-148.