

Pembentukan Varietas Padi Sawah Dataran Tinggi Toleran Cekaman Suhu Rendah

Development of High-elevation Rice Varieties Tolerant to Low Temperature

Cucu Gunarsih*, Nafisah, dan Trias Sitaresmi

Balai Besar Penelitian Tanaman Padi
Jl. Raya 9 Sukamandi, Subang, Jawa Barat, Indonesia
*E-mail: cucugunarsih@ymail.com

Naskah diterima 19 Februari 2016, direvisi 30 September 2016, dan disetujui diterbitkan 23 November 2016

ABSTRACT

Low temperature becomes major constrain for rice production in high elevation. This condition causes losses because of grain filling problem. Sub-species of japonica have a low temperature tolerance, which is better than indica. Indica subspecies are most grown widely in Indonesia. Low temperature tolerance is an important character, because it is one of issue that needs more attention on plant breeding program. Indonesia local varieties with low temperature tolerance are Sarinah, Pulu 'Mandoti, Pinjan and Lambau. Indonesian Center for Rice Research released a number of varieties tolerant to low temperature (for > 700 m asl) and early maturity, namely Batang Piaman, Inpari 26, Inpari 27 and Inpari 28 Kerinci. Developing irrigated rice varieties for low temperature tolerant by utilizing local varieties, introduction, crossbreeding and biotechnology provides opportunities to obtain low temperature tolerant varieties. In developing improved varieties for high elevation, it is recommended to use genetic materials with good seed vigor, moderate plant height, well exerted panicle, uniformity in flowering, and high fertility. Developing of new varieties tolerant to low temperature through conventional breeding approach requires longer time. However, conventional breeding has an important role in producing tolerant varieties, although physiological mechanism of the tolerance is not much known. Therefore, molecular genetics and biotechnology as more advanced approach are needed for supporting rice breeding program for abiotic stresses.

Keywords: Rice, japonica, indica, low temperature.

ABSTRAK

Cekaman suhu rendah menjadi masalah utama bagi pertumbuhan tanaman padi di dataran tinggi. Genotipe dari subspecies *japonica* memiliki tingkat toleransi suhu rendah lebih baik dibandingkan dengan genotipe dari subspecies *indica*. Padi yang banyak ditanam di Indonesia adalah genotipe subspecies *indica*. Toleransi tanaman padi terhadap suhu rendah merupakan karakter yang penting, yang perlu mendapatkan perhatian khusus dalam pemuliaan tanaman pada dataran tinggi. Varietas lokal yang toleran suhu rendah diantaranya Sarinah, Pulu' Mandoti, Pinjan dan Lambau. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi telah melepas beberapa varietas unggul yang sesuai untuk ekosistem dataran tinggi (>700 m dpl), yaitu Batang Piaman, Inpari 26, Inpari 27 dan Inpari 28 Kerinci. Pemuliaan padi sawah untuk memperoleh genotipe toleran suhu rendah dianjurkan untuk lebih diintensifkan dengan cara memanfaatkan varietas lokal, varietas introduksi, pembuatan persilangan dan pemanfaatan bioteknologi agar meningkatkan peluang diperolehnya varietas toleran suhu rendah. Dalam pembentukan varietas unggul padi sawah dataran tinggi disarankan pada karakter vigor bibit baik, tinggi tanaman sedang, eksersi malai sempurna, pembungaan seragam, dan fertilitas malai tinggi. Varietas padi yang toleran cekaman suhu rendah dan berdaya hasil tinggi akan menguntungkan petani. Penelitian dasar tentang proses fisiologi toleran suhu rendah telah banyak dilakukan dan dapat dimanfaatkan dalam penyusunan program pemuliaan padi toleran suhu rendah lebih lanjut.

Kata kunci: Padi, *japonica*, *indica*, suhu rendah.

PENDAHULUAN

Padi sawah dataran tinggi (>700 m dpl) berperan penting sebagai sumber pasokan pangan beras bagi daerah pegunungan yang terisolasi. Luas areal pertanaman padi dataran tinggi 14% dari total luas areal pertanaman nasional dengan produktivitas yang rendah, 0,9-2,0 t/ha (Harahap 1979). Sekitar 1 juta hektar lahan sawah di Indonesia berada pada daerah dengan ketinggian di atas 500 m dpl. Ekosistem tersebut tersebar di daerah pegunungan Bukit Barisan di Sumatera, dan di perbukitan Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara, dan Papua. Rendahnya produktivitas padi di dataran tinggi disebabkan oleh penggunaan varietas lokal yang lebih toleran suhu rendah. Padi yang ditanam di dataran tinggi umumnya varietas lokal yang berumur dalam (5-6 bulan) dan produktivitas rendah.

Beberapa varietas lokal padi dataran tinggi yang toleran terhadap cekaman suhu rendah dan adaptif dengan pupuk nitrogen dosis rendah adalah Pulu' Mandoti, Pinjan dan Lambau (Limbongan *et al.* 2009). Kelemahan ketiga varietas lokal tersebut yaitu berumur panjang dan produksinya rendah. Di dataran tinggi Garut, sejak tahun 1995 varietas lokal Sarinah menggесer kedudukan varietas Ciherang dan IR 64 (Dianawati dan Sujikno 2015). Sarinah merupakan salah satu varietas lokal yang diputihkan pada tahun 2006 dan direkomendasikan untuk ditanam di dataran sedang sampai ketinggian 800 m dpl (Suprihatno *et al.* 2010). Varietas unggul lokal tersebut diterima petani, namun memiliki kelemahan, antara lain tidak tahan terhadap hama dan penyakit. Kelemahan ini perlu diperbaiki dengan harapan memiliki sifat yang lebih baik dan disukai petani (Daradjat *et al.* 2012)

Salah satu strategi pengembangan padi sawah dataran tinggi adalah tersedianya varietas unggul toleran suhu rendah (Limbongan, 2008). Pemupukan padi di dataran tinggi umumnya dengan dosis rendah. Oleh karena itu, varietas unggul dataran tinggi harus mampu efisien menyerap unsur hara pada kondisi lingkungan pertumbuhan yang bercekaman. Pemuliaan padi dataran tinggi diharapkan menghasilkan varietas unggul yang adaptif dengan masukan rendah dan spesifik lokasi (Limbongan *et al.* 2011).

Persilangan interspesifik dan intergenerik dengan memanfaatkan subspecies toleran suhu rendah sering terkendala oleh faktor sterilitas tanaman F1. Tulisan ini membahas pembentukan varietas padi toleran suhu rendah.

TOLERANSI SUHU RENDAH SUBSPECIES *INDICA* DAN *JAPONICA*

Padi yang dibudidayakan terdiri dari dua subspecies yaitu *indica* dan *japonica*. Subspecies *indica* ditanam di wilayah

Asia, Afrika dan Amerika Latin dan memasok sekitar 80% produksi padi dunia. Subspecies *japonica* ditanam di wilayah subtropis dan dataran tinggi di Asia, wilayah Eropa, Amerika Latin, Amerika Utara dan Kepulauan Oceania (Mackill and Lei 1997). Di dataran tinggi Cina, Jepang dan Korea, padi *japonica* lebih banyak ditanam dan produktivitasnya lebih tinggi dibandingkan dengan padi *indica*. Cekaman suhu dingin pada fase reproduktif membatasi produksi padi *japonica* di wilayah temperate, menghambat pertumbuhan vegetatif dan pembungaan, mengurangi fertilitas malai, dan mempengaruhi kualitas gabah (Suh *et al.* 2010).

Subspecies *indica* beradaptasi lebih baik di lingkungan tropis seperti India, China dan Indonesia, sedangkan subspecies *japonica* pada wilayah beriklim temperate seperti Jepang, Korea dan Jawa (Takahashi 1984). Beberapa studi mengungkapkan bahwa genotipe *japonica* memiliki toleransi yang lebih tinggi terhadap cekaman suhu dingin dibandingkan *indica* pada fase perkecambahan (Lee 2001, Mertz *et al.* 2009), fase vegetatif dan reproduktif (Mackill and Lei 1997).

Wang *et al.* (2012) melaporkan bahwa pada perlakuan suhu rendah selama 7 hari saat fase bunting, beberapa subspecies *japonica* yang berasal dari Korea lebih toleran suhu rendah dibandingkan yang berasal dari Rusia dan Cina. Cekaman suhu rendah selama 7 hari pada fase reproduktif menyebabkan malai utama menjadi lebih pendek dibandingkan dengan kondisi normal.

Purohit dan Majumder (2009) memperoleh 10 galur terbaik berdasarkan seleksi indeks yang dilakukan terhadap galur-galur turunan tiga jalur persilangan (*three way cross*) antara subspecies *indica*, *japonica*, dan *wide compatible variety (WCV)*. Seleksi bertujuan untuk menggabungkan karakter berbunga awal (*early heading*) dengan potensi hasil tinggi. Seleksi dilakukan berdasarkan indeks gabungan antara hasil gabah dengan karakter tinggi tanaman, jumlah anakan produktif, jumlah bulir per malai, dan bobot 100 butir gabah.

PENGARUH CEKAMAN SUHU RENDAH TERHADAP PERTUMBUHAN PADI

Lahan dataran tinggi (ketinggian di atas 700 m di atas permukaan laut) memiliki ciri khusus seperti suhu yang lebih rendah dari 20°C. Cekaman suhu rendah pada tanaman padi sering terjadi di dataran tinggi. Puslitbangtanak (2000) melaporkan luas lahan basah di dataran tinggi (>700m dpl) 1,3 juta ha, tetapi hanya sekitar 500.000 ha yang produktif, tersebar di Jawa, Sumatera, Sulawesi, dan Papua (Widjono dan Syam 1982).

Cekaman suhu rendah mempengaruhi proses fisiologi tanaman padi dan berdampak negatif terhadap proses metabolisme dan produksi gabah. Di Australia, hasil padi pada suhu rendah berkisar antara 0,5–2,5 t/ha (Sing *et al.* 2005). Di Jepang Utara, penurunan hasil padi terjadi di wilayah Tohoku, yang merupakan salah satu sentra produksi padi yang terdingin di dunia (Shimono *et al.* 2007). Di Brazil, tanaman padi mengalami kerusakan akibat suhu rendah, terjadi di Rio Grande do Sul, yaitu negara bagian paling selatan, di mana produksi padi *indica* menyumbang lebih 60% dari total produksi negara nasional Brazil (da Cruz *et al.* 2013).

Cekaman suhu rendah dapat berpengaruh negatif terhadap tanaman padi selama fase perkecambahan, fase pertumbuhan vegetatif, dan fase reproduktif (da Cruz *et al.* 2013). Dampak suhu rendah terhadap pertumbuhan padi antara lain menghambat pertumbuhan bibit yang menyebabkan diskolorasi daun (daun menguning), jumlah anakan sedikit, memperlambat waktu pembungaan, eksersi malai tidak normal, meningkatkan sterilitas malai, pematangan malai tidak teratur, dan menurunkan hasil (Sanghera *et al.* 2011, Sanghera *et al.* 2008).

Menurut da Cruz dan Milach (2000), gejala kerusakan tanaman padi akibat suhu rendah adalah terlambat dan rendahnya persentase perkecambahan. Pada fase vegetatif, daun menguning, postur tanaman lebih pendek, dan berkurangnya jumlah anakan. Jika cekaman suhu rendah bertepatan dengan fase reproduktif akan terjadi kehampaan spikelet, eksersi malai kurang sempurna, dan terjadi aborsi spikelet (Satake and Hayase 1970). Kehampaan spikelet disebabkan oleh polen mengalami aborsi pada saat mikrosporogenesis, di mana polen terbentuk pada fase bunting (Mackill *et al.* 1996). Cekaman suhu rendah juga dapat menyebabkan anthesis abnormal, seperti terhentinya perkembangan anther, polen tidak masak, tidak munculnya antera dari spikelet, terbentuknya sebagian atau tidak ada anther, tersisnya polen di lokus antera, sedikit atau tidak adanya polen, dan gagalnya polen berkecambah pada saat mencapai stigma (Ito *et al.* 1970). Selama fase pengisian biji, cekaman suhu rendah menyebabkan terlambat dan tidak selesainya pemasakan biji (Ye *et al.* 2009).

Kepekaan spikelet terhadap cekaman suhu bervariasi antarstadia pertumbuhan reproduktif. Kepekaan paling ekstrim terjadi pada fase pembentukan mikrospora muda, yaitu pada saat pembelahan sel aktif yang terjadi 10-12 hari sebelum berbunga. Kepekaan kehampaan spikelet menurun dengan berlanjutnya pertumbuhan tanaman (Satake and Hayase 1970).

Shinada *et al.* (2013) melaporkan bahwa peningkatan toleransi terhadap suhu rendah pada fase fertilisasi/

pembuahan sangat penting dalam program pemuliaan tanaman padi pada agroekosistem dataran tinggi. Fase pembuahan diawali dari polen yg matang sampai selesainya pembuahan yang sangat sensitif terhadap suhu yang tidak sesuai. Varietas lokal Hokaido yang paling banyak ditanam di wilayah utara Jepang menunjukkan tingkat toleransi yang tinggi terhadap suhu rendah pada fase pembuahan (CTF). Hasil pengamatan menunjukkan adanya perbedaan dalam perkecambahan dan pemanjangan polen yang disebabkan oleh cekaman suhu rendah.

Jena *et al.* (2010) melaporkan toleransi tanaman padi terhadap suhu rendah berhubungan dengan fertilitas malai, namun tidak berkaitan dengan gen-gen yang mengendalikan panjang batang dan umur berbunga. Toleransi tanaman terhadap suhu rendah merupakan karakter yang sangat kompleks, yang melibatkan banyak jalur/lintasan metabolisme yang berbeda pada berbagai bagian sel (Hannah *et al.* 2005).

Toleransi tanaman terhadap cekaman suhu rendah tidak dikendalikan oleh gen sitoplasma, tetapi oleh gen-gen kromosomal yang terdapat dalam inti (Shimono *et al.* 2001). Heritabilitas sifat toleransi terhadap cekaman suhu rendah sangat tinggi pada generasi awal, sehingga toleransi terhadap cekaman suhu rendah dikontrol oleh gen-gen dominan dengan pengaruh additif (Shimono *et al.* 2007). Studi lain menunjukkan bahwa secara genetik karakter toleransi suhu rendah bersifat kompleks dan dikendalikan oleh gen poligenik, namun mekanisme gen dalam mengendalikan karakter toleransi belum terlalu jelas (Snape *et al.* 1997).

Respon beberapa genotipe padi sawah terhadap pemupukan nitrogen di dataran tinggi Sulawesi Selatan (1500 m dpl) dengan rata-rata suhu 18°C menunjukkan bahwa pada kondisi cekaman suhu rendah, pemberian nitrogen, genotipe dan interaksi nitrogen x genotipe berpengaruh nyata terhadap fertilitas polen, jumlah gabah isi, dan bobot gabah isi per malai. Di bawah cekaman suhu rendah terjadi penurunan hasil gabah yang diakibatkan oleh penambahan nitrogen. Terdapat korelasi positif yang nyata antara karakter pertumbuhan (fertilitas polen, panjang daun bendera, dan umur berbunga) dengan komponen hasil gabah (jumlah anakan, jumlah gabah per malai, dan bobot 1.000 butir) (Limbongan *et al.* 2009).

Menurut Sanghera *et al.* (2011), tanaman yang toleran suhu rendah memiliki akumulasi klorofil yang meningkat, berkurangnya sensitivitas terhadap fotosintesis, perkecambahan yang meningkat, dan peningkatan fertilitas polen dan jumlah gabah isi per malai.

PEMULIAAN TANAMAN PADI TOLERAN SUHU RENDAH

Dalam perakitan varietas padi dataran tinggi disarankan mempertimbangkan vigor bibit yang baik, tinggi tanaman sedang, eksersi malai sempurna, pembungaan seragam, dan fertilitas malai tinggi (Ronduen and Dumlan 1979). Atas dasar kriteria tersebut teridentifikasi galur unggul yang berasal dari Indonesia (Kn1b-361-8-6), lebih baik dibandingkan dengan sejumlah galur yang dievaluasi. Galur tersebut memiliki vigor bibit yang sangat baik, umur panen 162 hari, tinggi tanaman sedang (107 cm), jumlah anakan sedang (12 anakan/rumpun), dan potensi hasil tinggi (7,5 t/ha).

Program pemuliaan padi nasional banyak memanfaatkan varietas lokal sebagai donor gen sifat mutu beras baik (rasa nasi, aromatik), ketahanan terhadap hama dan penyakit utama (wereng cokelat, hawar daun bakteri, tungro) dan toleran terhadap cekaman abiotik seperti suhu rendah, salinitas, kemasaman tanah, dan genangan (Silitonga 2004). Terdapat empat aksesori plasma nutfah padi yang teridentifikasi toleran terhadap cekaman suhu rendah, yaitu Silewah, Pratao, Progal, dan Lengkuwang (Daradjat *et al.* 2009a).

Saito *et al.* (2001) melaporkan bahwa padi Silewah, Lambayque 1 dan Padi Lobou Alumbis telah digunakan dalam program pemuliaan padi *japonica* untuk wilayah temperate dan memiliki toleransi suhu rendah. IRR1 bekerja sama dengan South Korea's Rural Development Administration telah menghasilkan galur toleran suhu rendah, yaitu IR66160-121-4-4-2 (Jena *et al.* 2010). Galur tersebut berasal dari persilangan varietas Jimbrug asal Indonesia (*japonica tropis*) dengan varietas Shen-Nung89-366 asal China Utara (temperate) (IRRI 1986). Pada tahun 1974-1977, IRR1 juga telah menyeleksi genotipe toleran suhu dingin, dari 17.680 aksesori koleksi bank plasma nutfah. Satake dan Toriyama (1979) telah menguji sifat toleransi terhadap suhu rendah pada fase bunting dan menunjukkan padi *japonica tropis* Silewah dan Labou Alumbis toleran suhu rendah. Varietas tersebut diintrogresikan ke dalam galur-galur elit hasil pemuliaan asal Jepang dengan teknik silang balik, sehingga diperoleh varietas Norin-PL8 dan Hokkai-PL9 yang toleran suhu dingin.

Di Indonesia, program pemuliaan padi untuk dataran tinggi menggunakan kriteria seleksi yang sama telah dilakukan sejak tahun 1968. Dari kegiatan tersebut telah dilepas varietas Adil, Makmur, Gemar, Batang Agam, dan Batang Ombilin (Tabel 1). Varietas-varietas tersebut tidak berkembang luas di masyarakat karena tidak tahan hama wereng batang cokelat (BPH), dan tektur nasinya pera. Varietas tersebut hanya berkembang di Sumatera Barat yang bebas dari BPH dan konsumennya menyukai beras

Tabel 1. Varietas unggul padi sawah dataran tinggi, yang menggunakan tetua varietas lokal sebagai donor gen.

| Varietas | Persilangan | Tahun dilepas |
|----------------|--------------------------------|---------------|
| Gemar | Jerak/PB 8 | 1976 |
| Batang Agam | Sirendah Merah/IR2153-153-1-4 | 1981 |
| Batang Ombilin | Kuning Galung/IR2061-714-3-8-7 | 1984 |

Sumber: Daradjat *et al.* (2009a) dan Data Base Plasma Nutfah BB Padi (2016).

bertekstur pera (Daradjat *et al.* 2012). Selain itu, di beberapa daerah petani memilih varietas padi yang berumur lebih genjah agar dapat menanam dua kali dalam satu tahun (Harahap 1979).

Daradjat *et al.* (2010) melaporkan bahwa program pertukaran plasma nutfah internasional melalui INGER telah diidentifikasi galur RCPL3-6-KN-B, SKUAT-2-KN-B, SKAU-339-KN-B, SKAU-337-KN-B, CHINA 1039-KN-B, K39-96-1-1-1-2-KN-B, dan RUTTST85B-5-2-2-2-0-J memiliki karakteristik umur berbunga genjah dan seragam, eksersi malai sempurna, dan fertilitas malai tinggi. Namun salah satu kelemahan dari galur-galur tersebut adalah rentan terhadap penyakit blas.

Beberapa varietas unggul pagi gogo seperti Limboto, Danau Gaung, Situ Patenggang, dan Batutegi diketahui tahan penyakit blas. Sejumlah padi *japonica* juga yang membawa gen ketahanan Fukunishiki (*Piz+sh*), C104 PKT (*Pi3*), K3 (*Pikh*), C101 LAC (*Pi1+1b+33*), Ou 244 (*Piz*), K60 (*Pikp*), Zenith Acc32558 (*Pia+z*), C101 A51 (*Pi2=z5*) dan $Pi n^4$ (*Pita^2*) yang bersifat tahan terhadap beberapa isolat asal Indonesia (Santoso *et al.* 2007). Utami *et al.* (2006), melaporkan bahwa padi lokal varietas Sibau menunjukkan ketahanan pada penyakit blas daun ras 041, 033, 073, 133 dan 173 di rumah kaca dan ketahanannya konsisten di daerah endemik blas Cikembar Sukabumi. Semua bahan pemuliaan tersebut telah digunakan sebagai sumber gen ketahanan dalam perakitan varietas tahan blas (Daradjat *et al.* 2010).

Sebagian besar padi sawah dataran tinggi yang ditanam petani adalah varietas lokal berumur lebih dari 165 hari, dan hanya ditanam sekali dalam setahun, walaupun telah tersedia varietas berumur sedang (115-125 hari) yang berpotensi hasil tinggi (Batang Piaman, Batang Lembang, dan Sarinah). Kelemahan varietas unggul pada saat terjadi cekaman suhu rendah adalah fertilitas malai lebih rendah dibandingkan dengan varietas lokal berumur dalam.

Uji adaptasi galur-galur padi di dataran tinggi (>700 m dpl) di sentra produksi padi sawah memperoleh enam galur berumur genjah, toleran terhadap suhu rendah, dan berdaya hasil lebih tinggi dibandingkan dengan varietas

Batang Piaman (Daradjat *et al.* 2009b, Gunarsih *et al.* 2011). Dari pertanaman observasi galur-galur mutan padi sawah dataran tinggi diperoleh 22 galur (M_5) yang memiliki tipe tanaman baik, umur lebih genjah, eksersi malai sempurna, fertilitas malai tinggi, dan produktivitas lebih tinggi dari rata-rata hasil galur-galur yang diuji (Gunarsih *et al.* 2010). BB Padi pada tahun 2012 telah melepas galur BARKAT (K78-13)-KN-B, 87025-TR973-3-1-1-KN-B, dan RUTTST85B-5-2-2-0-J sebagai varietas unggul padi sawah dataran tinggi dengan nama INPARI 26, INPARI 27, dan INPARI 28 Kerinci (Daradjat *et al.* 2012).

Zen (2012) melaporkan hasil penelitian di lima lokasi pengujian padi sawah dataran tinggi di Indonesia, semua karakter yang diamati (tinggi tanaman, jumlah anakan produktif, umur 50% berbunga, jumlah gabah per malai, jumlah gabah bernas per malai, bobot 1.000 butir dan hasil) mempunyai nilai duga heritabilitas tinggi, nilai kemajuan genetik dan koefisien variasi genetik yang relatif besar, kecuali bobot 1.000 butir. Berdasarkan nilai parameter genetik tersebut, untuk meningkatkan efisiensi seleksi dapat dilakukan pada generasi awal. Saidah *et al.* (2015) juga melaporkan bahwa hasil uji adaptasi lima varietas unggul padi di dataran Poso Sulawesi Tengah, (1.108 m dpl), yaitu Inpari 16, Inpari 23, Inpari 24, Inpari 27, Inpari 28 dan dua varietas lokal (Superwin dan Kamba).

Hasil pengujian menunjukkan Inpari 16 dan Inpari 24 memberikan hasil lebih tinggi dibandingkan dengan tiga varietas unggul lainnya, masing-masing 7,71 t/ha dan 7,50 t/ha GKP. Terdapat selisih produktivitas 2,8-5,71 t/ha dibandingkan dengan varietas lokal. Hal ini mengindikasikan beberapa varietas unggul berpotensi dikembangkan di beberapa sentra padi sawah dataran tinggi di Indonesia.

Di Cina, padi hibrida FY7206 tahan blas, beradaptasi luas, dan hasil tinggi. Hasil penelitian menggunakan *artificial climate chamber* menunjukkan FY7206 toleran suhu rendah pada fase bunting dan pembungaan. Bahkan pada suhu 10°C, FY7206 memiliki toleransi terhadap suhu rendah pada fase pembibitan. Hasil qRT-PCR menunjukkan ekspresi gen *Ctb 1* (toleran terhadap suhu rendah) pada FY7206 relatif tinggi (Xie *et al.* 2016).

METODE SKREENING TERHADAP CEKAMAN SUHU RENDAH

Beberapa metode skrining genotipe padi terhadap suhu rendah dengan suhu yang terkontrol, pada fase pertumbuhan yang berbeda-beda dijelaskan pada Tabel 2. Pertumbuhan di bawah kondisi suhu yang terkendali

Tabel 2. Metode skrining dan karakter yang dievaluasi pada stadia pertumbuhan yang berbeda untuk menyeleksi toleransi tanaman padi terhadap cekaman suhu dingin.

| Stadia pertumbuhan | Metode skrining | Karakter yang dievaluasi |
|--------------------|--|---|
| Perkecambahan | 10,15,20, dan 25°C selama 3-30 hari tergantung suhu | Laju perkecambahan (tonjolan radikula) |
| | 17°C selama 7 hari | Jumlah benih yang berkecambah dan laju perkecambahan |
| | 13°C-15°C selama 7 hari 15°C selama 10 hari 15°C selama 6 hari | Persentase kecambah Panjang koleoptil Laju perkecambahan |
| Vegetatif | 10°C selama 3, 5, dan 9 hari | Tingkat kelangsungan hidup selama 10 hari setelah perlakuan suhu dingin |
| | Perlakuan suhu dingin pada suhu 120/100C (hari/malam) selama 10 hari setelah berdaun tiga | Pertumbuhan dan diskolorisasi |
| | 9°C selama 8, 14,16, dan 18 hari | Skala visual (1-9) |
| Reproduktif | 4°C selama 6 hari pada fase gelap | Laju daya pulih (survive) setelah 14 hari pemulihan |
| | 6-10°C selama 7 hari | Persentase daya pulih |
| | 12°C pada fase mikrospore muda selama 3-5 hari | Persentase fertilitas |
| | 17°C selama 7 hari pada fase antesis | Persentase fertilitas |
| | Air dingin (kedalaman 20 cm) pada suhu 19,4°C dari fase primordial sampai penyelesaian keluarnya malai | Persentase fertilitas |
| | 17°C pada fase bunting selama 10 hari | Persentase fertilitas |

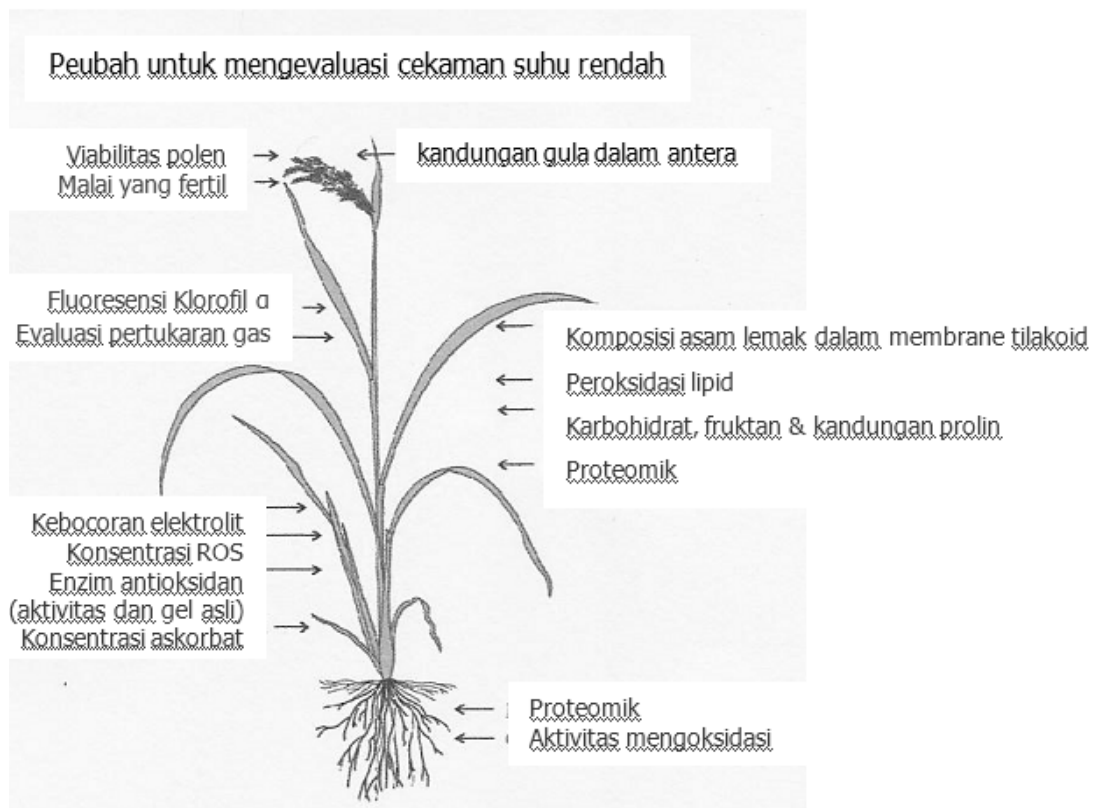
Sumber: da Cruz *et al.* (2013)

memiliki keakuratan dari segi waktu dan tingkat keparahan cekaman, namun memungkinkan hilangnya sejumlah genotipe dalam pengujian. Untuk mengantisipasi hal tersebut, beberapa program pemuliaan tanaman padi menerapkan seleksi menggunakan air dengan suhu dingin di bawah kondisi lapang, untuk memudahkan dalam mengevaluasi banyak genotipe yang berbeda (Snell *et al.* 2008).

Keberhasilan teknik skrining menggunakan air yang bersuhu dingin telah dilakukan di beberapa kebun percobaan di Jepang (Nagano 1998) dan Korea (Lee 2001). da Cruz *et al.* (2013) melaporkan bahwa metode seleksi yang baik untuk mengevaluasi toleransi terhadap suhu dingin dalam populasi yang bersegregasi adalah menggunakan suhu udara atau suhu air yang terkendali. Di beberapa wilayah suhu rendah yang sangat parah dan musim tanam sangat pendek, pemuliaan tanaman untuk toleransi suhu rendah diarahkan melalui seleksi tidak langsung, dengan memilih tanaman yang paling tinggi dan berumur genjah. Ye *et al.* (2009) melaporkan adanya korelasi sifat toleransi suhu rendah dengan fase pertumbuhan tanaman. Genotipe yang lebih toleran suhu rendah memiliki laju perkecambahan yang tinggi dan tanaman yang vigor pada saat cekaman suhu rendah terjadi pada fase bunting dan masa pembungaan.

da Cruz *et al.* (2013) menjelaskan beberapa analisis fisiologi untuk mempelajari toleransi terhadap cekaman suhu dingin pada fase bibit dan fase bunting (Gambar 1). Metode pengujian toleransi terhadap cekaman suhu dingin yang berhubungan dengan fase bibit diantaranya adalah analisis fluoresen, gas exchange evaluation, ROS, anti oxidant enzyme, ascorbate concentration, fatty acids composition in thylacoid membranes, lipid peroxidation, carbohydrate fructan and proline content, analisis proteomic. Metode pengujian yang terkait dengan fase reproduktif adalah viabilitas polen, fertilitas spikelet, dan kandungan gula dalam antera. Gambar 1 menjelaskan metode yang digunakan untuk mengamati kerusakan dan toleransi tanaman padi akibat cekaman suhu rendah yang berkaitan dengan organ-organ tanaman yang dianalisis (akar, daun, dan malai). Metode dilakukan secara destruktif dan tidak destruktif pada akar, daun, dan malai.

Telah teridentifikasi gen-gen QTL yang berhubungan dengan karakter toleransi cekaman suhu dingin melalui RFLP, mikrosatelit/SSR. QTL tersebut dikelompokkan sesuai dengan fase pertumbuhan, yaitu QTL yang berhubungan pada fase perkecambahan, yang fase vegetatif, dan fase reproduktif (Tabel 3).



Gambar 1. Beberapa peubah yang digunakan untuk menguji toleransi tanaman padi terhadap suhu rendah. Sumber: da Cruz *et al.* (2013).

Tabel 3. QTL – QTL yang berhubungan dengan toleransi terhadap cekaman suhu dingin (Sumber: da Cruz et al. 2013).

| Fase pertumbuhan | Kombinasi persilangan | Lokasi kromosom (Nama QTL) | Variasi toleransi suhu rendah yg bisa dijelaskan (%) | Gen putative (protein dikodekan) | Karakter yang diuji |
|------------------|--|--|--|---|---|
| Perkecambahan | Japonica Nipponbare x indica Kasalath | 4 (qLTG-4-1) | 15.0 | Os03g0103300 (fungsinya belum diketahui) | Tingkat perkecambahan 15°C |
| | Varietas temperate japonica Italica Livorno x Hayamasari | 3 (qLTG-3-1) | 35.1 | | Tingkat perkecambahan 15°C |
| | Japonica yang toleran suhu rendah (M-2D2) x Indica yang peka suhu rendah (IR50) | 3 (qLTG-3-2) 4(qCTS4-1) 6 (qCTS6-1) 12(qCTS12a) ¹ 12(qCTS12b) ¹ qCTS12 ² | 17.4 20.8 15.3 40.6 41.7 | OsGSTZ1 (glutathione 5-transferase), OsGSTZ2 (maleylacetoacetate isomerase) | Toleran suhu rendah secara umum Toleran suhu rendah secara umum Toleran layu yang disebabkan suhu rendah Toleran nekrosis yg diinduksi suhu rendah |
| Vegetatif | Japonica Lemoni x Indica teqing | 11 (α SCT-11) | 29.8 | | Kemampuan bertahan hidup setelah 13 hari pada suhu 10°C |
| | Japonica yang toleran suhu rendah (AAV002863) x Indica yang peka suhu rendah (Zhenshan97B) | 2 (α CTS-2) | 27.4 | | Kemampuan bertahan hidup setelah 7 hari pada suhu 6-10°C |
| | Japonica Asaminori x Indica IR24 | 1 (α CST-1) | 24.5 | | Kemampuan bertahan hidup setelah 7 hari pada suhu 6°C |
| Reproduktif | Padi liar toleran suhu rendah W1943 (<i>Oryza rufipogon</i>) x Indica yang peka suhu rendah Guang-lu-al 4 (GLA4) | 11 (qCtss11) | 40.0 | Os11g0615900 (NB-ARC domain), Os11g06115600 | Kemampuan bertahan hidup setelah 6 hari pada suhu 4°C |
| | Japonica 0242B x Indica 3037 | 1 (Ste1) 1 (Ste2) 12(Ste3) 4 (Ctb-1) | 32.1 19.4 16.9 - | | Fertilitas malai |
| | Norin-PLB toleran suhu rendah x Kirara397 peka suhu rendah | 7 (qCT-7) 1 (qCL-1) 3 (qHD-3-2) 6 (qHD-6) | 22.1 31.1 15.5 50.5 | Ctb1 (F-box protein) | Panjang antera |
| | Koshihikari Japonika yang toleran suhu rendah x Akihikari Japonika yang peka suhu rendah | | | | Fertilitas malai Panjang batang (cm) Umur berbunga (hari) |

Tabel 3. Lanjutan.

| Fase pertumbuhan | Kombinasi persilangan | Lokasi kromosom (Nama QTL) | Variasi toleransi suhu rendah yg bisa dijelaskan (%) | Gen putative (protein dikodekan) | Karakter yang diuji |
|------------------|--|--|--|--|--|
| | Japonica M-202 x Indica IR50 | 2 (qCTB2a) | 16.8 | | Fertilitas malai |
| | Varietas Japonica Kunmingxiaobaigu x Towada | 3 (qCTB3) 7 (qRCT17) | 16.5 20.6 | | Fertilitas malai |
| | Hokkai-PL9 toleran suhu rendah x Hokkai287 peka suhu rendah | 8 (qCTB8) | 26.6 | Monodehydroascorbate reductase (MDAR) | Fertilitas benih |
| | Kunmingxiaobaigu (KMXBG) Japonica yang toleran suhu rendah | 10 (qCTB-10-2) | 15.0 | | Fertilitas malai |
| | Lijiangheigu toleran suhu rendah x Reiziq peka suhu rendah | 10 (qLTSPKST10.1) | 20.5 | | Fertilitas malai |
| | ZL1929-4 toleran suhu rendah x Towada japonica yang peka suhu rendah | 7 (qCTB7) | 21.0 | Os07g0576100 dan Os07g0576500 (indole-3acetic acid-amino synthetases), Os07g0575800 dan Os07g0577300 (glucan endo-1, 3-beta-glucosidase), Os07g0577400 (ubiquitin-conjugating enzyme E2) | 13 karakter yang terkait toleransi suhu rendah |
| | Japonica TR22183 x Indica Dasanoyeo | 2 (QTL 2.1) 8 (QTL 8.1) 10 (QTL 10.1) 3 (qLTB3) | 16.7 24.8 22.9 24.4 | | Fertilitas malai |
| | Ukei 840 Toleran suhu rendah x Hitomebore | | | Os03g0790700 (putative aldehyde oxidase) | Fertilitas benih |

Sumber: da Cruz et al. (2013)

KESIMPULAN

Cekaman suhu rendah merupakan masalah utama pada pertumbuhan padi yang menyebabkan kehilangan hasil panen. Subspesies *japonica* mempunyai tingkat toleransi yang lebih baik terhadap cekaman suhu rendah dibandingkan subspesies *indica*, baik pada fase perkecambahan maupun fase reproduktif. Pengaruh suhu rendah terhadap tanaman padi antara lain menghambat pertumbuhan bibit, menyebabkan diskolorasi daun, pertumbuhan anakan terhambat, memperlambat waktu pembungaan, menyebabkan eksersi malai tidak normal, meningkatkan sterilitas malai, pematangan malai tidak teratur, dan menurunkan hasil gabah.

Program perakitan padi sawah toleran suhu rendah dengan cara memanfaatkan varietas lokal sebagai donor gen dan persilangan, dibarengi penerapan bioteknologi diperkirakan meningkatkan peluang diperolehnya varietas toleran suhu rendah. Terdapat beberapa metode skrining untuk mengevaluasi toleransi cekaman suhu rendah pada beberapa stadia pertumbuhan. Metode seleksi yang baik untuk menguji toleransi tanaman padi terhadap cekaman suhu rendah untuk populasi bersegregasi adalah menggunakan suhu udara atau suhu air rendah yang terkendali. Untuk mempelajari toleransi tanaman padi terhadap cekaman suhu dingin dapat digunakan analisis fisiologi pada fase bibit dan fase bunting. Telah dikelompokkan gen QTL yang berhubungan dengan karakter toleransi suhu rendah sesuai dengan fase pertumbuhannya.

Penelitian dasar tentang toleransi tanaman padi terhadap suhu rendah di luar negeri sudah tersedia dan dapat diaplikasikan untuk pemuliaan terapan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya atas bimbingan dan arahan penelitian pembentukan varietas padi sawah untuk agroekosistem dataran tinggi kepada Dr Aan A. Daradjat, dan terima kasih atas dukungan pembiayaan penelitian dari DIPA BB Padi tahun anggaran 2009-2011.

DAFTAR PUSTAKA

- Daradjat, A.A., T. Silitonga, dan Nafisah. 2009a. Ketersediaan plasma nutfah untuk perbaikan varietas padi. p.1-27. Diunduh dari Bbpadi_2009_itp_01.pdf
- Daradjat, A.A., B. Suprihatno, Nafisah, C. Gunarsih, dan T. Sitaresmi. 2009b. Uji daya hasil galur-galur genjah (105-124 HSS) yang toleran suhu rendah (-21°C).

- Laporan Akhir Tahun. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. (Tidak dipublikasikan).
- Daradjat, A.A., A. Gani, T.S. Kadir, Z. Susanti, dan C. Gunarsih. 2010. Identifikasi galur-galur unggul padi sawah berumur genjah (104-124 hss), dan berpotensi hasil tinggi (± 6 t/ha), di sejumlah ekosistem dataran tinggi (≥ 900 m dpl). Laporan Akhir Program Insentif Riset Terapan. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Sukamandi. Hlm.1-19.
- Daradjat, A.A., Nafisah, C. Gunarsih, T. Sitaresmi, dan E.S. Pramudyawardani. 2012. Usulan pelepasan varietas padi sawah dataran tinggi 700-1100 m dpl. Proposal Pelepasan Varietas Baru. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Sukamandi. [Tidak dipublikasikan].
- da Cruz R.P, Sperotto R. A., D. Cargnelutti, J.M. Adamski, T. de Freitas Terra, and J.P. Fett. 2013. Avoiding damage and achieving cold tolerance in rice plants. Food and Energy Security 2(2): 96-119.
- da Cruz, R.P., and S.C.K. Milach. 2000. Breeding for cold tolerance in irrigated rice. Ciencia Rural 30:909-917.
- Dianawati, M. dan E. Sujitno. 2015. Kajian berbagai varietas unggul terhadap serangan wereng batang cokelat dan produksi padi di lahan sawah kabupaten Garut, Jawa Barat. Pros. Sem. Nas. Masy. Biodiv. Indon. 1(4):868-873.
- Gunarsih, C, S. Zen, dan J. Hendri. 2011. Evaluasi daya hasil galur-galur padi sawah dataran tinggi. Prosiding Seminar Perhimpunan Ilmu Pemuliaan Indonesia. "Pemanfaatan plasmanutfah lokal untuk perakitan jenis unggul dalam menghadapi perubahan iklim dan mencapai ketahanan pangan. Fakultas Pertanian Unand, Padang 9 Desember 2011. p.53-58.
- Gunarsih, C., A.A. Daradjat, B. Suprihatno, dan T. Sitaresmi. 2010. Evaluasi daya hasil galur-galur padi sawah dataran tinggi (>700 m dpl), berumur genjah (105-124 HSS), dan toleran suhu rendah (<21°C) . Laporan Akhir Tahun. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi.[Tidak dipublikasikan].
- Hannah M.A, Heyer A.G, Hinch D.K. 2005. A global survey of gene regulation during cold acclimation in *Arabidopsis thaliana*. PloS. Genet. 1(2):0179-0196.
- Harahap, Z. 1979. Rice improvement for cold tolerance in Indonesia. In. Report of a Rice Cold Tolerance Workshop. IRRI, Los Banos. pp.53-60.
- IRRI [International Rice Research Institute]. 1986. Rice Genetics. Proceedings of the International Rice Genetic Symposium. Manila, Philipines.
- Ito, N., H. Hayase, T. Satake, and I. Nishiyama. 1970. Male sterility caused by cooling treatment at the meiotic stage in rice plants. III. Male abnormalities at anthesis. Proc. Crop Sci. Soc. Jpn. 39:60-64.
- Jena, K.K., S.M. Kim, J.P. Suh, and Y.G. Kim. 2010. Development of cold-tolerant breeding lines using QTL analysis in rice. Second Africa Rice Congress, Bamako, Mali, 22-26 March 2010: Innovation and Partnerships to Realize Africa's Rice Potential. p: 1.7.1-1.7.9.

- Limbongan, Y.L., B.S. Purwoko, Trikoesoemaningtyas, dan H. Aswidinnoor. 2009. Respon genotipe padi sawah terhadap pemupukan nitrogen di dataran tinggi. *J. Agron. Indonesia* 37(3):175-182.
- Limbongan, Y.L. 2008. Analisis genetik dan seleksi genotipe unggul padi sawah (*Oryza sativa* L.) untuk adaptasi pada ekosistem dataran tinggi. Disertasi. Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Lee, M.H. 2001. Low temperature tolerance in rice: the Korean experience. pp. 109-117. In S. Fukai and J. Basnayake, eds. Increased lowland rice production in the Mekong Region. Proceedings of an international workshop, Vientiane, Laos, 30 October to 2 November 2000. Australian Center for International Agricultural Research, Canberra, Australia.
- Mackill DJ and Lei X. 1997. Genetic variation for traits related to temperate adaptation of rice cultivars. *Crop Science* 37: 1340-1346.
- Mackill, D. J., W. R. Coffman, and D. P. Garrity. 1996. P. 242 in Rainfed lowland rice improvement. International Rice Research Institute, Manila.
- Mertz, L. M., F. A. Henning, R. C. Soares, R. F. Baldiga, F. B. Peske, and D. M. Moraes. 2009. Physiological changes in rice seeds exposed to cold in the germination phase. *Rev. Bras. Sement.* 31:254-262.
- Nagano, K. 1998. Development of new breeding techniques for cold tolerance and breeding of new rice cultivars with highly cold tolerance, Hitomebore and Jyoudeki. Pp. 143-148 in Proceedings of International Workshop on Breeding and Biotechnology for Environmental Stress in Rice, Sapporo, Japan.
- Purohit S, Majumder MK. 2009. Selection of High Yielding Rice Variety from a Cold Tolerant Three-Way Rice (*Oryza sativa* L.) Cross Involving *Indica*, *japonica* and Wide Compatible Variety. *Middle-East Journal of Scientific Research* 4(1):28-31.
- Puslitbangtanak. [Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan agroklimat. 2000. Atlas Sumberdaya tanah Ekplorasi Indonesia skala 1:1.000.000. Puslitbangtanak. Bogor.
- Ronduen, A., and R. Dumlan. 1979. Low temperature problems and research activities in the Philippines. Pp. 69-75. In. Report of a rice cold tolerance workshop. IRRI, Los Banos.
- Saidah, Irwan S.P, Abdi N. 2015. Adaptasi beberapa varietas unggul padi di dataran tinggi Lore Utara Kabupaten Poso Sulawesi Tengah. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon* 1(7): 1670-1673.
- Saito, K., K. Miura, K. Nagano, Y. Hayano-Saito, H. Araki, and A. Kato. 2001. Identification of two closely linked quantitative trait loci for cold tolerance on chromosome 4 of rice and their association with anther length. *Theor. Appl. Genet.* 103:862-868.
- Sanghera G.S, Wani, S.H, Hussain W, Singh N.B. 2011. Engineering cold stress tolerance in crop plants. *Current Genomics*, 12: 30-43.
- Sanghera, G.S, Wani, S.H. 2008. Innovative approaches to enhance genetic potential of rice for higher productivity under temperate conditions of Kashmir. *J. Plant Sci. Res.*, 24: 99-113.
- Santoso, Nasution A, Utami DW, Hanarida I, Ambarwati AD, Moeljopawiro S, Tharrearu D. 2007. Variasi genetik dan spektrum virulensi patogen blas pada padi asal Jawa Barat dan Sumatera. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 26(3): 150-155.
- Sasaki. 1982. Effect of a low temperature on several characteristics of rice seedlings. *Jpn J. Crop Sci.* 70(2):226-233.
- Satake T, dan Hayase H. 1970. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. V. Estimation of pollen developmental stage and the most sensitive stage to coolness. *Proc Crop Sci Soc Jpn.* 39:468-473.
- Satake T, dan Toriyama K. 1979. Two extremely cool tolerant varieties. *Int Rice Res Newsl* 4(2):9-10.
- Shimono, H.T., Hasegawa, K. Iwama. 2001. Quantitative expression of developmental processes as a function of water temperature in rice (*Oryza sativa* L.) under a cool climate. *J. Fac. Agric. Hokkaido Univ.* 70:29-40.
- Shimono, H., M. Okada, E. Kanda, and I. Arakawa. 2007. Low temperature-induced sterility in rice: evidence for the effects of temperature before panicle initiation. *Field Crops Res.* 101:221-231.
- Shinada H, Iwata N, Sato T, Fujino K. 2013. Genetical and morphological characterization of cold tolerance at fertilization stage in rice. *Breeding Science* 63: 197-204.
- Silitonga, TS. 2004. Pengelolaan dan pemanfaatan plasma nutfah padi di Indonesia. *Buletin Plasma Nutfah* 10(2): 56-71.
- Singh, R. P., J. P. Brennan, T. Farrell, R. Williams, R. Reinke, L. Lewin. 2005. Economic analysis of breeding for improved cold tolerance in rice in Australia. *Aust. Agribus. Rev.* 13:1-9.
- Snape, J.W, Semokhoskii, A, Fish, Sarma, R.N, Quarrie, S.A, Galiba. G, Sutka, J. 1997. Mapping frost tolerance loci in wheat and comparative mapping with other cereals. *Acta Agron. Hungar.* 45: 265-270.
- Snell, P., D. Johnston, and R. Ford. 2008. Cold tolerant rice varieties – a matter of need for Australia. *IREC Farmers' Newslett.* 177:4-5.
- Suh JP, Jeung JU, Lee JI, Choi YH, Yea JD, Virk PS, Mackill DJ and Jena KK. 2010. Identification and analysis of QTLs controlling cold tolerance at the reproductive stage and validation of effective QTLs in cold tolerant genotypes of rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 120(5): 985-995.
- Suprihatno B, Daradjat AA, Satoto, Baehaki SE, Suprihanto, Setyono A, Indrasari SD, Wardana IP, Sembiring H. 2010. *Deskripsi Varietas Padi*. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Hal 1-105.

- Takahashi, N. 1984. Differentiation of ecotypes in *Oryza sativa* L. Pp. 31-67 in N. Takahashi and S. Tsunoda, eds. *Biology of rice*. Japan Science Society, Tokyo, Japan.
- Utami DW, Aswidinnoor H, Moeljopawiro S, Hanarida I, Reflinur. 2006. Pewarisan ketahanan penyakit blas (*Pyricularia grisea* Sacc.) pada persilangan padi IR64 dengan *Oriza rufipogon* Griff. *Hayati* 13(3): 107-112.
- Wang J, Lin X, Sun Q, Jena KK. 2013. Evaluation of cold tolerance for japonica rice varieties from different country. *Adv. J. Food Sci. Technol.*, 5(1): 54-56.
- Widjono, A., dan M. Syam. 1982. *Penelitian Pemuliaan Padi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor. 148p.
- Xie H, Jiang J, Zheng Y, Zhu Y, Wu F, Luo X, Cai Q, Zhang J, Xie H. 2016. Development of hybrid rice variety FY7206 with blast resistance gene *Pid3* and cold tolerance gene *Ctb1*. *Rice Science*, 23(5):266-273.
- Ye, H., H. Du, N. Tang, X. Li, and L. Xiong. 2009. Identification and expression profiling analysis of TIFY family genes involved in stress and phytohormone responses in rice. *Plant Mol. Biol.* 71:291-305.
- Zen S. 2012. Parameter genetik padi sawah dataran tinggi. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan* 12 (3):196-201.

