

**IDENTIFIKASI TOLERANSI TERHADAP KEKERINGAN
KULTIVAR PADI LOKAL BERDASARKAN KANDUNGAN
KAROTENOID, MORFOLOGI DAN ANATOMI**

**Hermin Pancasakti Kusumaningrum¹⁾, Sri Rustini²⁾, Triwibowo Yuwono³⁾
dan Tiur Sudiati Silitonga⁴⁾**

¹⁾Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Diponegoro

²⁾Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Jawa Tengah

³⁾Fakultas Pertanian Universitas Gajah Mada

⁴⁾Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya
Genetik Pertanian

ABSTRAK

Identifikasi toleransi terhadap kekeringan beberapa kultivar padi lokal telah dilakukan berdasarkan kandungan karotenoid, karakter morfologi dan anatomi. Tujuan penelitian adalah untuk mengidentifikasi kultivar padi lokal yang berpotensi tahan atau toleran terhadap kekeringan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kualitatif bersifat deskriptif analisis, meliputi eksplorasi, koleksi, identifikasi, serta analisis karakter morfologi dan anatomi. Tiga puluh tujuh kultivar padi lokal telah digunakan dalam penelitian ini. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa lebih banyak padi kultivar lokal asal Jawa Tengah memperlihatkan toleransi terhadap kekeringan yang lebih besar dibandingkan dengan kultivar padi dari daerah lain.

Kata kunci : padi, kekeringan, karotenoid

ABSTRACT

Identification of resistance to drought some local rice cultivars has been carried out based on the carotenoid content, morphological and anatomical characters. The research objective was to identify potential local rice cultivars resistant or tolerant to drought. The method used was descriptive qualitative method of analysis, including exploration, collection, identification, and analysis of morphological and anatomical characters. Thirty-seven local rice cultivars have been used in this study. The results showed that more rice local cultivars from Central Java show tolerance to drought larger than the rice cultivars from other regions.

Key words: rice, drought, carotenoid

PENDAHULUAN

Perkembangan cuaca di Indonesia yang memperlihatkan kecenderungan peningkatan dari sekitar 22-33⁰C pada tahun 2009 dan mencapai 26-37⁰C sampai 2015 (BMKG, 2015). Suhu yang tinggi mengindikasikan adanya potensi kekeringan tanaman pangan di wilayah sentra produksi padi di Pulau Jawa. Pulau Jawa merupakan penghasil 52,9% dari seluruh produksi padi Indonesia (disarikan dari BPS, 2015). Gejala perubahan iklim sangat dirasakan dampaknya terutama dalam hal pergeseran pola tanam, ketersediaan air, serangan hama dan penyakit tanaman yang eksplosif berdampak pada penurunan produksi pertanian (Kementerian Pertanian, 2014). Indonesia memiliki 2,1 – 2,6 juta ha lahan kering. Meskipun dinyatakan oleh BPS bahwa keragaan produksi padi dalam 5 tahun terakhir meningkat namun produksi padi memperlihatkan pola naik turun dalam kurun waktu tersebut.

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan tanaman pangan utama di Indonesia yang sangat membutuhkan air selama masa pertumbuhannya. Oleh karena itu, cekaman kekeringan merupakan ancaman besar untuk produksi beras di Indonesia. Kekeringan akan berpengaruh pada morfologis, anatomi fisiologi, dan biokimia tanaman. Morfologi tanaman yang terpengaruh pada kekeringan adalah daya perkecambahan, tinggi tanaman, biomassa tanaman, jumlah anakan, akar dan daun. Pengaruh kekeringan berpengaruh pada anatomi fisiologi meliputi kemampuan fotosintesis, transpirasi, konduktansi stomata, efisiensi penggunaan air, kadar air relatif, kadar klorofil, aktivitas fotosistem II, stabilitas membran, diskriminasi isotop karbon dan kandungan asam absisat. Kekeringan berpengaruh pada biokimia tanaman dalam wujud akumulasi osmoprotektan seperti prolin, gula, poliamina dan antioksidan.

Pemilihan atau pengembangan varietas padi yang toleran atau tahan kekeringan membutuhkan pemahaman berbagai kondisi yang mengatur produksi padi dalam cekaman air. Dengan demikian, penelitian ini memfokuskan pada dampak kekeringan pada morfologi, anatomi fisiologi padi dan kandungan antioksidan tanaman. Hal tersebut dibutuhkan untuk mengetahui tanggapan padi serta mekanisme adaptasi terhadap cekaman kekeringan.

METODOLOGI

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 12 kultivar padi lokal berasal dari koleksi BPTP Jawa Tengah (Tabel 1).

Tabel 1. Kultivar padi lokal yang digunakan dalam penelitian

| No. | Nama Kultivar | Asal |
|-----|-------------------------|--------------|
| 1 | Menthik | Karanganyar |
| 2 | Menthik Susu | Karanganyar |
| 3 | Menthik Wangi | Karanganyar |
| 4 | Mentega/Menthik X Gogo, | Karanganyar |
| 5 | Merah Lokal | Banjarnegara |
| 6 | Hitam | Karanganyar |
| 7 | Merah | Karanganyar |
| 8 | Slegreng | Banjarnegara |
| 9 | Segreng Merah | Boyolali |
| 10 | Slegreng Merah | Karanganyar |
| 11 | Tjempo Merah | Karanganyar |
| 12 | Pandan Putri | Karanganyar |

Penelitian dilakukan di Rumah Kaca Balai Penelitian Teknologi Pertanian (BPTP), Tegalepek dan dan percobaan lapang di Kebun Percobaan (KP) Batang BPTP Jawa Tengah menggunakan 12 kultivar dengan tiga ulangan. Pengeringan tanah dilakukan pada saat tanaman berumur 25 HST dan 55 HST, sampai ada tanaman yang memperlihatkan gejala kekeringan berupa daun menggulung kuat dan ujung daun (+1cm) mengering (Suardi dan Silitonga, 1998; Feng *et al.*, 2012) (Tabel 2).

Tabel 2. Skoring untuk daun menggulung dan kekeringan

| Skala | Tingkat toleransi | Skoring daun menggulung | Skoring kekeringan |
|-------|-------------------|--|--|
| 0 | Sangat toleran | Daun-daun sehat | Tidak ada gejala |
| 1 | Toleran | Daun-daun mulai melipat (agak berbentuk V) | Ujung daun sedikit mengering |
| 3 | Agak toleran | Daun-daun melipat (sangat berbentuk V) | Ujung daun mengering sampai ¼ panjang pada hampir semua daun |
| 5 | Agak peka | Daun betul-betul kuncup (berbentuk U) | ¼ sampai ½ dari semua daun betul-betul kering |
| 7 | Peka | Ujung-ujung daun bersentuhan (bentuk O) | Lebih dari 2/3 dari semua daun betul-betul kering |
| 9 | Sangat peka | Daun-daun menggulung ketat | Semua tanaman mati |

Sumber : *International Rice Research Institute*, 1996

Pengamatan dilakukan terhadap indikator terhadap kekeringan (skoring dan panjang akar), karakter morfologis, anatomi dan karotenoid. Penghitungan dilakukan untuk mengetahui kandungan antioksidan beta karoten, xantofil dan ABA untuk sampel yang jumlahnya memadai menggunakan metode AOAC (1985).

HASIL DAN PEMBAHASAN

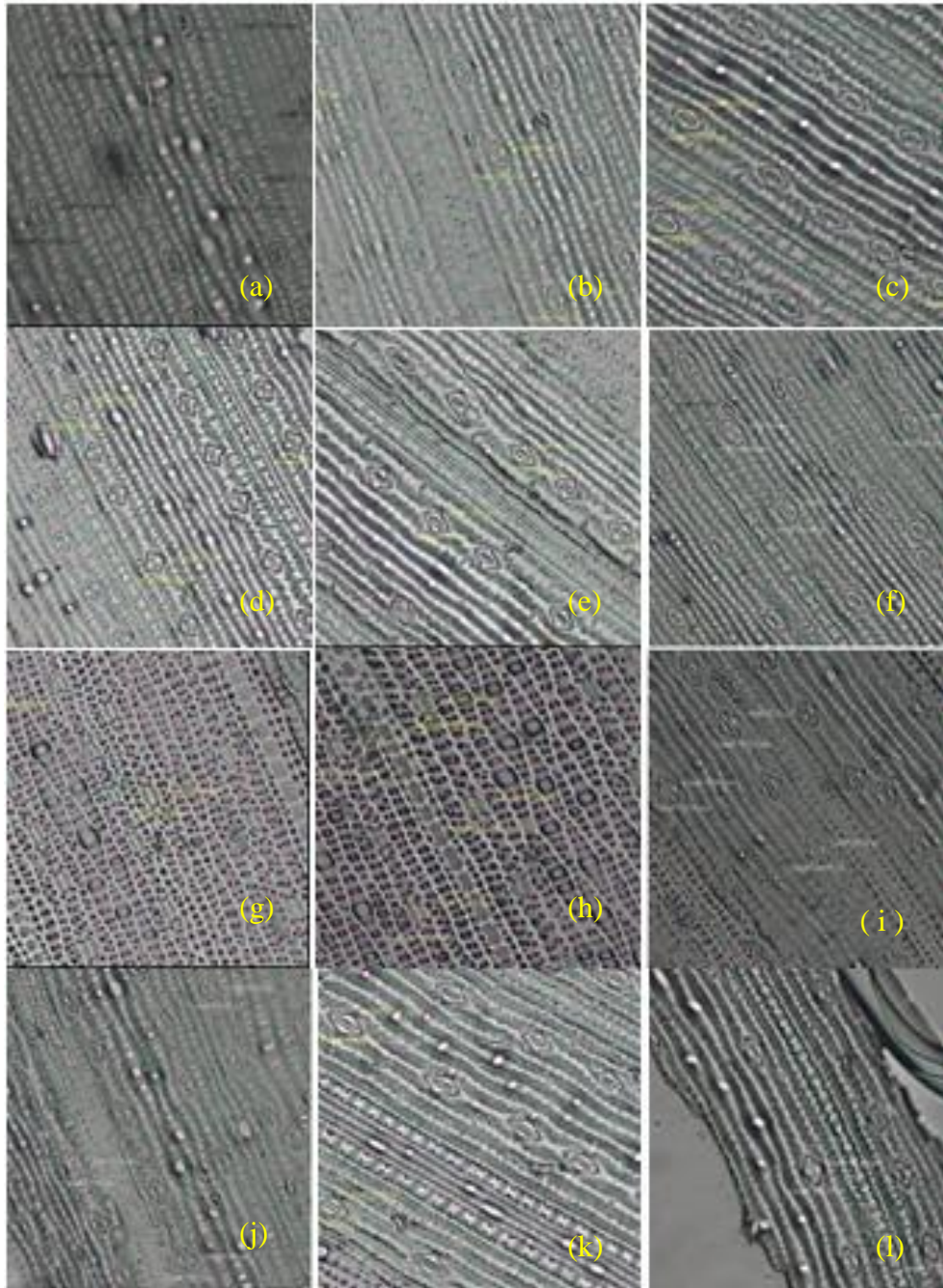
Karakterisasi untuk kepekaan terhadap kekeringan berkaitan dengan fisiologi tanaman padi, pertumbuhan tanaman sebelum terkena cekaman, saat terjadi dan lamanya cekaman serta intensitas cekaman kekeringan. Untuk kebanyakan tanaman, minimal dibutuhkan waktu 2 minggu tidak hujan untuk memperoleh perbedaan yang nyata dalam kepekaan terhadap kekeringan selama fase vegetatif, dan sekurang-kurangnya 7 hari tanpa hujan pada fase reproduksi untuk menyebabkan kekeringan yang kuat. Hasil pengamatan pertumbuhan padi lokal Jawa menghadapi cekaman kekeringan diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Toleransi 12 kultivar padi lokal terhadap kekeringan berdasarkan skor kekeringan

| No | Kultivar padi | Skor toleransi terhadap kekeringan | Tingkat toleransi |
|----|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| 1 | Menthik, Karanganyar | 1 | Toleran |
| 2 | Menthik Susu, Karanganyar | 1 | Toleran |
| 3 | Menthik Wangi, Karanganyar | 1 | Toleran |
| 4 | Mentega/Menthik X Gogo, Karanganyar | 1 | Toleran |
| 5 | Merah Lokal Banjarnegara | 1 | Toleran |
| 6 | hitam Karanganyar | 1 | Toleran |
| 7 | Merah, Karanganyar | 1 | Toleran |
| 8 | Slegreng Banjarnegara | 1 | Toleran |
| 9 | Segreng Merah Boyolali | 1 | Toleran |
| 10 | slegreng merah, Karanganyar | 1 | Toleran |
| 11 | Tjempo Merah, Karanganyar | 1 | Toleran |
| 12 | Pandan Putri, Karanganyar | 5 | Agak peka |

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa 92,31 % padi lokal toleran terhadap kekeringan (Tabel 3). Sedangkan pada Tabel 4 terlihat bahwa padi yang bersifat agak peka yaitu Pandan Putri mempunyai jumlah anakan paling sedikit dibandingkan dengan padi yang toleran.

Meskipun demikian panjang akar dan perkecambahan ternyata tidak terlalu terpengaruh pada kekeringan. Cekaman kekeringan secara langsung atau tidak akan mempengaruhi status fisiologis tanaman dengan mengubah metabolisme, pertumbuhan, dan perkembangan. Tabel 4 memperlihatkan bahwa panjang dan lebar daun padi toleran cukup bervariasi namun Pandan Putri yang agak peka tidak terlalu berbeda dengan yang toleran. Meskipun demikian, sebagian daun yang mengering memperlihatkan reaksi tanaman dalam menghadapi kekeringan. Hasil yang diperoleh tersebut serupa dengan hasil penelitian Chutia dan Borah (2012) terhadap padi lokal India. Kandungan air pada daun akan turun dan terjadi penurunan fotosintesis seperti terlihat pada Gambar 1 dimana stomata pada daun Pandan Putri tampak lebih sedikit dan jarang. Penurunan fotosintesis juga dipengaruhi oleh turunnya kandungan klorofil yang terdapat pada daun.



Gambar 1. Stomata 12 kultivar padi lokal: (a) Padi Menthik Karanganyar, (b) Mentik Susu Karanganyar, (c) Mentik wangi Karanganyar, (d) Mentega, (e) Merah lokal Banjarnegara, (f) Padi lokal hitam, (g) Padi Hitam Karanganyar, (h) Slegreng Banjarnegara, (i) Slegreng Merah Boyolali, (j) Slegreng Karanganyar, (k) Cempo Merah, (l) Pandan Putri

Klorofil disintesis di dalam plastida, dalam plastida juga terdapat enzim-enzim untuk biosintesis karotenoid. Keberadaan karotenoid akan berpengaruh terhadap kemampuan padi dalam mengantisipasi dan bertahan dalam kondisi stress di lingkungan (Datta and Kush (2002), Datta *et al.*, (2003), Datta (2004),

Basakh *et al.* (2006). Jalur biosintesis karotenoid berhubungan erat dengan dengan siklus xantofil. Kandungan xantofil yang tinggi sangat terkait dengan kandungan ABA sehingga padi dapat bertahan pada kondisi kekeringan (Seki *et al.*, 2007). Likopen merupakan substrat dari dua siklase yang saling berkompetisi yaitu epsilon siklase (LCY-e) dan c-siklase (LCY-b), bekerja bersama-sama pada ujung kedua molekul dan membentuk karoten- α sedangkan LCY- β akan bekerja sendiri membentuk karoten- β . Alfa dan beta karoten akan dihidroksilasi secara berlebihan oleh non-heme (CHY1 dan CHY2) sebagaimana sitokrom P450 hidroksilase (CYP97A). Tingkat redundansi bervariasi antar jaringan. Pada daun Arabidopsis, β -karoten dihidroksilasi oleh CHY1, CHY2 dan CYP97A. CYP97C akan menghidroksilasi cincin epsilon pada lutein. Betaxantofil akan mengalami proses epoksidasi yang akan membuatnya memasuki siklus xantofil. Karotenoid yang membawa paling tidak satu cincin b-ionon tak tersubstitusi seperti α - dan β -karoten merupakan prekursor vitamin A (Du *et al.*, 2010).

Jenis karotenoid β -karoten memiliki aktivitas dua kali lipat dibandingkan jenis karotenoid lain (Aalbersbeg, 1991). Hasil penelitian pada Tabel 4 dan Gambar 2 memperlihatkan bahwa padi berwarna mengandung karotenoid, xantofil dan ABA yang lebih tinggi dibanding padi tidak berwarna. Hasil penelitian ini juga didukung oleh Ye (2000), Frei dan Becker (2004) menyatakan bahwa kandungan beta karoten yang cukup tinggi dijumpai dalam padi berwarna. Warna pada beras dihasilkan oleh karotenoid atau provitamin A yang terakumulasi dalam endosperma. Beta karoten (provitamin A) terdapat secara alami pada beras dalam dua jenis karoten yaitu alfa dan beta, juga isomer-isomer lainnya (Cazzonelli, 2011). Semua gen yang berperan dalam biosintesis karotenoid dalam beras akan diekspresikan dalam endosperma. Enzim pada bagian hulu penyandi karotenoid padi likopen siklase, α - and β -carotene hydroxylases (HYDs), akan diekspresikan secara aktif pada padi varietas lokal (Schaub *et al.*, 2005).

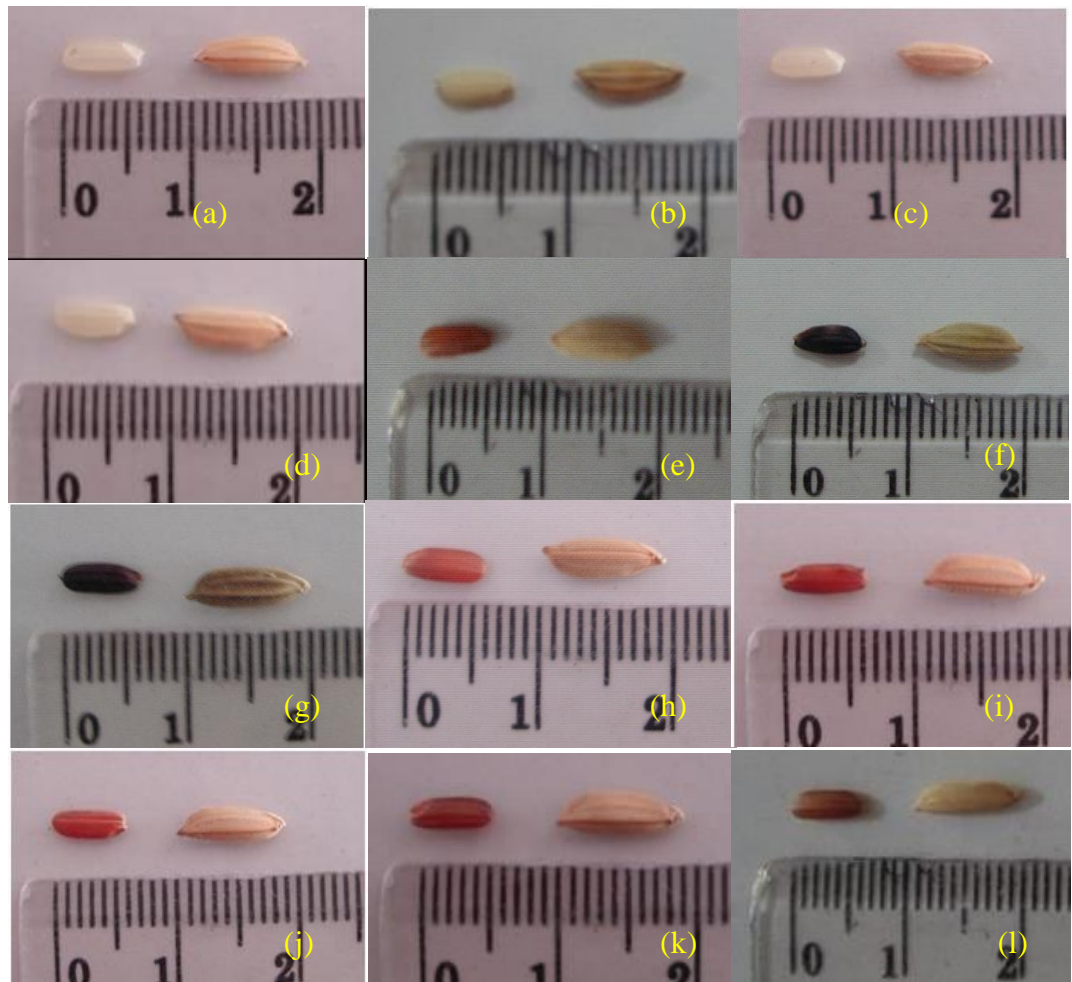
Padi berwarna selain mengandung karotenoid sebagai sumber provitamin A juga memiliki antosianin. Provitamin A akan diubah menjadi vitamin A (retinol) oleh aktivitas enzim dalam hati dan usus. Varietas padi berwarna dinyatakan oleh beberapa peneliti sebagai jenis-jenis yang mampu beradaptasi

dengan berbagai kondisi cekaman lingkungan seperti kekeringan, banjir, salinitas, rendaman, tanah basa dan ketahanan terhadap hama dan penyakit. Padi berwarna sangat banyak dijumpai di Pulau Jawa. Hal ini menunjukkan bahwa Pulau Jawa merupakan daerah yang dapat menghasilkan padi dengan keragaman genetik yang tinggi yang penting bagi pemuliaan (Silitonga, 2004; Silitonga, 2010; Silitonga dan Risliawati, 2011). Berdasarkan sejarah perkembangan padi, beras berwarna putih merupakan hasil evolusi dari beras berwarna dimana 97,9 % dari seluruh beras putih berasal dari mutasi dominan akibat delesi DNA dalam sebuah gen tunggal dari beras subspecies *Japonica*. Secara genetik warna putih pada pericarp beras bersifat resesif dan diwariskan secara maternal. Penelitian di beberapa negara khususnya di Indonesia memperlihatkan kandungan β -karoten yang berbeda-beda pada padi berwarna. Kandungan beta karoten tertinggi dijumpai pada beras berwarna coklat kehitaman dengan kandungan mencapai 0.13 mg/kg, diikuti oleh padi berwarna merah (Baisakh, 2006; Kristamtini dan Purwaningsih, 2009; Chutia and Borah, 2012).

Tabel 4. Karakter Morfologis, Anatomi dan Karotenoid Beberapa Padi Lokal

| No | Nama Varietas | Kab/Kota | Pjg akar hr ke 6 perkecambahan (mm) | Jumlah anakan vegetatif | Tinggi tanaman (cm) | Panjang daun | | Lebar daun | | Umur berbunga 50% (hss) | Umur Panen (hss) | Diameter batang (mm) | Su bat |
|----|--------------------------|--------------|-------------------------------------|-------------------------|---------------------|--------------|------|------------|------|-------------------------|------------------|----------------------|--------|
| | | | | | | (cm) | Ktgr | (cm) | Ktgr | | | | |
| 1 | Menthik wangi | Karanganyar | 5-35 | 20 | 107,8 | 47,0 | sd | 1,4 | sd | - | 107 | 8,20 | 1,0 |
| 2 | Menthik | Karanganyar | 3-25 | 16 | 123,8 | 56,7 | sd | 1,3 | sd | - | 106 | 6,83 | 1,0 |
| 3 | menthik susu | Karanganyar | 5-40 | 19 | 67,6 | 46,9 | sd | 1,3 | sd | 7,65 | 126 | 7,65 | 1,0 |
| 4 | Mentega (menthik x gogo) | Karanganyar | 3-25 | 23 | 79,9 | 48,8 | sd | 1,6 | lbr | 6,02 | 103 | 6,02 | 1,4 |
| 5 | merah lokal | Banjarnegara | 2-30 | 21 | 80,2 | 54,2 | sd | 1,6 | lbr | 8,23 | 121 | 8,23 | 3 |
| 6 | lokal hitam | Banjarnegara | 2-30 | 18 | 93,9 | 72,0 | pa | 1,4 | sd | 9,58 | 156 | 9,58 | 2,6 |
| 7 | Padi hitam | Karanganyar | 10-35 | 19 | 83,7 | 66,4 | pa | 1,3 | sd | 7,20 | 114 | 7,20 | 3,0 |
| 8 | Slegreng merah | Karanganyar | 5-35 | 21 | 82,2 | 44,5 | sd | 1,2 | sd | 7,56 | 101 | 7,56 | 1,0 |
| 9 | Slegreng merah/gogo | Boyolali | 5-25 | 27 | 85,9 | 44,4 | sd | 1,3 | sd | 6,36 | 105 | 6,36 | 1,0 |
| 10 | Slegreng | Banjarnegara | 5-25 | 19 | 106,8 | 41,3 | sd | 1,2 | sd | | 101 | 6,98 | 1,0 |
| 11 | Tjempo merah | Karanganyar | 3-22 | 22 | 79,6 | 44,1 | sd | 1,2 | sd | 10,92 | 101 | 10,92 | 3,0 |
| 12 | Pandan Putri | Karanganyar | 3-30 | 7 | 81,4 | 57,8 | sd | 1,8 | lbr | 6,83 | 113 | 6,83 | 1,0 |

Keterangan : ktgr=kategori; Panjang daun : pe=pendek, pa=panjang, sd=sedang; lebar daun : lbr=lebar, sd=sedang; sts =sampel terlalu sedikit



Gambar 2. Morfologi gabah dan beras 12 kultivar padi lokal : (a) Padi Mentik Karanganyar, (b) Mentik Susu Karanganyar, (c) Mentik wangi Karanganyar, (d) Mentega, (e) Merah lokal Banjarnegara, (f) Padi lokal hitam, (g) Padi Hitam Karanganyar, (h) Slegreng Banjarnegara, (i) Slegreng Merah Boyolali, (j) Slegreng Karanganyar, (k) Cempo Merah, (l) Pandan Putri

Defisiensi vitamin A merupakan salah satu masalah utama penduduk di negara berkembang sehingga para ahli berusaha untuk menyisipkan gen penyandi karotenoid pada endosperma padi. Padahal Guiliano *et al.*, (2008) menyatakan bahwa transformasi gen penyandi karotenoid hanya dapat memuat ekspresi sebagian gen saja tidak secara keseluruhan. Dengan demikian upaya untuk meningkatkan kandungan nutrisi pada endosperma bulir padi menggunakan rekayasa genetik berpotensi untuk tidak menghasilkan nutrisi yang diharapkan dari gen yang disisipkan. Hasil rekayasa genetika pada padi akan menghasilkan

total karotenoid sebesar 0.3 to 1.6 mg/kg Selain itu Garris *et al.* (2005); Schaub *et al.* (2005); Ye *et al.* (2010) dan Xiong (2012) juga menyatakan bahwa gen-gen intrinsik yang berada dalam padi secara mandiri mampu mengubah karotenoid likopen menjadi beta karoten, sehingga tidak membutuhkan gen dari luar. Implikasi kandungan karotenoid yang tinggi pada padi berwarna telah berpengaruh pada penelitian akan tetapi seberapa besar kandungan beta-karotennya diantara pigmen karotenoid yang ada di beras tersebut belum diketahui (Tang *et al.*, 2012).

Hasil penelitian yang cukup menarik lainnya adalah bahwa padi Mentega yang merupakan hasil persilangan antara padi menthik dan Gogo menunjukkan kandungan beta karoten tertinggi dan xantofil yang tinggi. Hal ini merupakan suatu potensi besar yang dapat ditingkatkan kemampuan lebih lanjut oleh para pemulia tanaman.

KESIMPULAN

Berdasarkan scoring terhadap kekeringan memperlihatkan bahwa 92,31 % kultivar padi lokal yang diuji toleran terhadap kekeringan, dan juga ditandai dengan keberadaan kandungan karotenoid yang cukup tinggi dengan morfologi dan anatomi yang mendukung. Hal ini berimplikasi pada potensi perolehan jenis padi yang toleran terhadap kekeringan. Kultivar padi lokal Pulau Jawa tersebut dapat digunakan sebagai jenis yang mampu dikembangkan apabila terjadi peningkatan iklim di Indonesia yang menimbulkan kekeringan. Selain itu padi tersebut dapat ditingkatkan kemampuannya melalui pemuliaan tanaman.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kami haturkan kepada Kementerian Pertanian yang telah membiayai penelitian ini melalui Program KKP3N tahun 2013-2015.

DAFTAR PUSTAKA

- Aalbersberg. 1991. Carotenoid Analysis. *Proceedings of the 3rd OCEANIAFOODS Conference*
- AOAC. 1985. Official Methods of Analysis. 14th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC

- BMKG. 2015. Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika. Suhu di Indonesia tahun 2014
- BPS. 2014. Produksi Padi, Jagung dan Kedelai (Angka Ramalan II Tahun 2014). No. 80/11/Th. XVII, 3 November 2014
- Cazzonelli C.I. 2011. Carotenoids in nature: insights from plants and beyond. *Functional Plant Biology* 38: 833-847.
- Baisakh, N., J., Rai, V. Parkhii, Oliva, N., E., Tan, & Datta, S.K. (2006). Improved 'golden' indica rice and post-transgeneration enhancement of metabolic target products of carotenoids (*b*-carotene) in transgenic elite cultivars (IR64 and BR29). Research communication. *Current science*, 91 (7) : 935-938
- Chutia J. and S.P. Borah. 2012. Water Stress Effects on Leaf Growth and Chlorophyll Content but Not the Grain Yield in Traditional Rice (*Oryza sativa* Linn.) Genotypes of Assam, India II. Protein and Proline Status in Seedlings under PEG Induced Water Stress. *American Journal of Plant Sciences*, 3: 971-980.
- Du, H., N. Wang, F. Cui, X. Li, J. Xiao, and L. Xiong. 2010. Characterization of a β -carotene hydroxylase gene 1 *DSM2* conferring drought and oxidative stress resistance by increasing xanthophylls and ABA synthesis in rice. *Plant Physiology Preview*. Published on September 17, 2010, as DOI:10.1104/pp.110.163741
- Datta, S.K., & Khush, G.S. (2002). Improving rice to meet food and nutrient needs: Biotechnological approaches. *Journal of Crop Production*, 6(1), 229-247.
- Datta, K., Baisakh, N., Oliva, N., Torrizo, L., Abrigo, E., Tan, J., Rai, M., Rehana, S., Al-Babili, S., Beyer, P., Potrykus, I., & Datta, S.K. (2003). Bioengineered 'golden' indica rice cultivars with β -carotene metabolism in the endosperm with hygromycin and mannose selection systems. *Plant Biotechnology Journal*, 1, 81-90.
- Datta, S.K. (2004). Rice biotechnology: A need for developing countries. *AgBioForum*, 7(1&2), 31-35. Available on the World Wide Web: <http://www.agbioforum.org>.
- Feng F., X. Xu, X. Du, H. Tong, L. Luo, H. Mei. 2012. Assessment of drought resistance among wild rice accessions using a protocol based on single-tiller propagation and PVC-tube cultivation. *AJCS* ISSN:1835-2707. 6(7):1204-1211

- Garris, A.J., T.H. Tai., J. Coburn, S. Kresovich and S. McCouch. 2005. Genetic Structure and Diversity in *Oryza sativa* L. PMID: PMC1449546. doi: [10.1534/genetics.104.035642](https://doi.org/10.1534/genetics.104.035642). Genetics. 169(3): 1631–1638.
- Giuliano G. R. Tavazza, G.Diretto, P. Beyer. and M.A. Taylor. 2008 Metabolic engineering of carotenoid biosynthesis in plants. Elsevier Ltd. Doi:10.1016/j.tibtech.2007.12.003 Available online 28 January 2008
- International Rice Research Institute. 1996. Standard Evaluation System Rice. INGER, Genetic resources center, 4th edition. 52 p.
- Kristamtini dan H. Purwaningsih. 2009. Potensi pengembangan beras merah sebagai plasma nutfah Yogyakarta. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Yogyakarta. Jurnal Litbang Pertanian, 28(3) : 88-95
- Li, W. G. Kang, B. Zhang, G. Huang and L. Chen. 2012. Chloroplast DNA genetic diversity between Asian cultivated rice (*Oryza Sativa* L.) and different types of cytoplasmic male sterile rice. Available online at <http://www.academicjournals.org/AJAR> DOI: 10.5897/ AJAR11.2229. African Journal of Agricultural Research V7(25):3705-3711
- Pandey, V and A. Shukla. 2015. Acclimation and Tolerance Strategies of Rice under Drought Stres. Rice Science, 2015, 22(4): 147-161
- Schaub P, Al-Babili S, Drake R & Beyer P (2005). Why is Golden Rice golden (yellow) instead of red? Plant Physiology 138: 441–450.
- Silitonga, T.S and A. Risliawati. 2011. Pembentukan *Core Collection* untuk Sumber Daya Genetik Padi Toleran Kekeringan. *Buletin Plasma Nutfah Vol.17 No.2 Th.2011*. 104 – 114
- Silitonga, T.S. 2004. Pengelolaan dan Pemanfaatan Plasma Nutfah Padi di Indonesia *Buletin Plasma Nutfah Vol.10 No.2 Th.2004*. 56-71
- Silitonga, T. S. 2010. The use of Biotechnology in the characterization, evaluation, and utilization of Indonesian rice germplasm. *Jurnal AgroBiogen* 6(1):49-56
- Suardi, D dan T.S. Silitonga. 1998. Penelitian toleransi kekeringan plasma nutfah padi dengan menggunakan larutan poly ethylen glycol (PEG) 8000. Makalah Temu Ilmiah Tanaman Bioteknologi Pertanian. Balai Penelitian Bioteknologi. Bogor
- Tang G., Y. Hu, S. Yin, Y. Wang, G.E Dallal, M. A Grusak, and R.M Russell. 2012. β -Carotene in Golden Rice is as good as α -carotene in oil at providing vitamin A to children. American Society for Nutrition. Am J Clin Nutr 2012;96:658–64.

Xiong L. 2012. A carotene hydroxylase for drought resistance in rice. *Plant Physiology Preview*. Published on September 17, 2010, as DOI:10.1104/pp.110.163741

Ye, X., Al-Babili, S., Klöti, A., Zhang, J., Lucca, P., Beyer, P., & Potrykus, I. 2000. Engineering the provitamin A (β -carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid free) rice endosperm. *Science*, 287, 303-305.