

Studi Waktu Polinasi terhadap Keberhasilan Persilangan pada Tanaman Padi Beras Merah dan Beras Putih (*Oryza Sativa* L.)

Neng Nadia Rahayu^{*1}, Darso Sugiono², Yuyu Sri Rahayu³, Heni Safitri⁴, Puji Lestari⁵

¹Mahasiswa Agroteknologi Universitas Singaperbangsa Karawang

^{2,3}Dosen Agroteknologi Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl. HS. Ronggowaluyo
Telukjambe Timur, Karawang 41361

^{4,5}Peneliti Muda Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, IP2TP Muara Bogor, Jl. Raya Ciapus
25A, Bogor, Jawa Barat 16119

*Email: 1710631090007@student.unsika.ac.id, HP. 089514061296

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima: 23 Desember 2021

Direvisi: 28 Desember 2021

Dipublikasikan: Januari 2022

e-ISSN: 2089-5364

p-ISSN: 2622-8327

DOI: 10.5281/zenodo.5832652

Abstract:

Pollination is a key factor in achieving high yields in hybridization. However, rice pollination is a very sensitive process because it is related to the receptive period of the flower. In general, the recommendation for pollination time is 10:00-12:00 the day after emasculation. Seeing the basis of pollination time which is only carried out within one day is an opportunity to test the difference in pollination time, this aims to find out how long the pistil can remain receptive and to know when the pollination time is right. The research was conducted at IP2TP, Bogor. The method used was Completely Randomized Design (CRD) with 2 factors. Analysis data result used ANOVA test and further testing with DMRT 5% levels. Treatment S6W1 gave the highest yield of 48.33 grains, significantly different from all treatments. The second highest result was obtained from S1W1 but not significantly different from S6W2, S4W1, S3W1, S6W3 and S5W1. The inclusion of pollination time 2 and 3 days after emasculation in the ranks of the second-highest yielding success of the cross can be categorized that pollination time can be carried out 2 or 3 days after that although there is a decrease in yield.

Keywords: Artificial hybridization, pollination, red rice, white rice

PENDAHULUAN

Tanaman padi (*Oryza sativa* L) merupakan salah satu jenis tanaman yang diunggulkan pemerintah dalam upaya peningkatan produksi dan swasembada pangan. Kebijakan ini berdasar pada tingginya data konsumsi beras di Indonesia yang pada tahun 2019 mencapai rata-rata konsumsi langsung rumah tangga sebesar 94,9 kg/kapita/tahun (Badan Ketahanan Pangan, 2020). Dari sisi penyediaan, ketahanan pangan nasional saat ini menghadapi tantangan yang cukup berat. Indonesia memiliki jumlah penduduk sebesar 269 juta jiwa dengan pesatnya laju pertumbuhan yang mencapai 1,1% per tahun. Resiko tersebut semakin rentan dengan penurunan luas lahan sawah $\pm$ 12,97% per tahun yang akan berdampak pada menurunnya produksi beras untuk mencukupi kebutuhan pangan (Badan Ketahanan Pangan, 2020).

Pemuliaan tanaman (*plant breeding*) merupakan usaha untuk merakit keragaman genetik suatu populasi tanaman tertentu menjadi lebih baik atau unggul (Syukur *et al.*, 2012). Hal ini banyak diterapkan pada tanaman padi untuk menghasilkan varietas-varietas unggul baru yang mempunyai peranan penting dalam peningkatan produksi (Harahap, 1982). Dalam pelaksanaannya perluasan keragaman genetik, kegiatan yang umum dilakukan adalah persilangan atau hibridisasi (Syukur *et al.*, 2012).

Persilangan dapat berlangsung secara alami maupun buatan dengan campur tangan manusia (Soedyanto *et al.*, 1978 dalam Supartopo 2006). Menurut Harahap (1982), ada 4 tipe persilangan buatan yang biasa dilakukan, yaitu silang tunggal (*single cross*), silang balik (*back cross*), silang puncak (*top cross*) dan silang ganda (*double cross*). Supartopo (2006)

menyatakan persilangan buatan bertujuan untuk menghasilkan tanaman yang relatif lebih pendek, berumur genjah, anakan produktif banyak, dan hasil tinggi.

Tingginya keragaman genetik yang terdapat dalam koleksi plasma nutfah padi harus dimanfaatkan dan dilestarikan. Kearifan dalam mengelola kekayaan alam ini merupakan landasan utama keberhasilan program pemuliaan (Harahap, 1982). Koleksi plasma nutfah dikumpulkan dari varietas primitif, lokal maupun varietas unggul (Anhar, 2013). Beras merah mempunyai peranan penting dalam keanekaragaman hayati yang dapat digunakan sebagai bahan untuk merakit varietas unggul baru maupun dimanfaatkan secara langsung sebagai bahan pangan pokok (Anhar, 2013).

Kandungan gizi pada beras merah jauh lebih tinggi dibanding dengan varietas padi beras putih (Anhar, 2013). Keunggulan beras merah adalah mengandung antosianin tinggi yang berfungsi sebagai antioksidan dan mineral. Antioksidan yang berupa senyawa fenolik ini tergolong dalam kelompok flavonoid (Abdullah, 2017; Indriyani *et al.*, 2013) yang diyakini dapat menyembuhkan penyakit kanker, jantung dan mampu menangkal radikal bebas (Sugiarto *et al.*, 2018). Namun, produktivitas beras merah lokal masih tergolong rendah dibandingkan dengan beras putih, dikarenakan panjangnya umur panen tanaman ini yang menyebabkan masa panen dalam satu tahun hanya 1 kali (Yanuar *et al.*, 2018). Untuk itu dilakukan persilangan antar beras merah dan beras putih, dengan harapan hasil tanaman padi memiliki sifat-sifat baik dari tetuanya.

Padi termasuk dalam golongan tanaman hermaprodit yang memiliki putik dan benang sari dalam satu bunga, sehingga persentase penyerbuk sendiri

jauh lebih besar (Prastini, 2017; Syukur *et al.*, 2012). Safitri (2010) menyatakan frekuensi penyerbukan silang pada tanaman padi hanya kurang dari 1%, sehingga pada praktek hibridisasi buatan diperlukan *skill* dan pemahaman untuk memperbesar tingkat keberhasilan persilangan. Salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah polinasi yaitu, untuk menentukan waktu polinasi yang akan dilakukan. Waktu polinasi penting untuk diperhatikan karena akan berpengaruh terhadap kondisi putik yang belum reseptif, jika hal tersebut terjadi maka kegiatan persilangan tidak dapat dilakukan (Rosyidi *et al.*, 2020).

Secara umum dasar rekomendasi waktu polinasi dapat dilakukan sekitar pukul 10.00-12.00, sehari setelah dilakukan emaskulasi (Harahap, 1982). Melihat dasar waktu polinasi yang hanya dilakukan dalam waktu satu hari ini menjadi kesempatan untuk menguji perbedaan waktu polinasi, hal ini bertujuan untuk mengetahui sampai berapa lama putik bisa bertahan tetap reseptif dan untuk mengetahui kapan waktu polinasi yang tepat. Penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan waktu polinasi terhadap keberhasilan persilangan pada tanaman padi beras merah x beras putih, hal ini diharapkan dapat menjadi dasar rekomendasi waktu polinasi baru sehingga didapatkan waktu polinasi yang tepat untuk memperbesar tingkat keberhasilan persilangan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari-Juni 2021 di Instalasi Penelitian dan Pengkajian Teknologi Pertanian, Bogor. Percobaan dimulai dengan penanaman tetua pada blok hibridisasi, lalu dilakukan persilangan diantara tetua. Selanjutnya tanaman hasil persilangan ditempatkan di rumah kaca. Bahan yang digunakan dalam penelitian

ini antara lain, padi varietas Arumba dan Pamera yang mempunyai warna beras merah, serta Cimelati, Logawa dan Memberamo yang mempunyai warna beras putih, kantong kertas, kantong persilangan (*glacine bag*), label dan tali. Alat yang digunakan adalah pot, sabit bergerigi, gunting, bak plastik, gunting kastrasi, alat isap *vacuum pump*, klip, empat buah lampu listrik 100 watt, meteran serta alat tulis kantor seperti buku, kertas, pensil, pulpen dan spidol.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) 2 faktor. Faktor I yaitu tetua persilangan yang terdiri dari 6 taraf dan faktor II waktu polinasi yang terdiri dari 3 taraf (1-3 hari). Padi disilangkan secara *single cross*, sehingga terdapat 18 perlakuan yang diulang sebanyak 3 kali dan total terdapat 54 unit percobaan. Setiap 1 persilangan dilakukan pada 3 malai, dari 1 malai diambil 100 butir biji padi dengan total 5.400 butir. Pada pengamatan karakter agronomi data diambil dari 3 sampel tanaman pada masing-masing unit percobaan.

Pengamatan dilakukan pada persentase keberhasilan persilangan, persilangan yang berhasil ditandai dengan terbentuknya biji pada bunga yang telah diserbuki setelah tanaman berumur 4 minggu, tinggi tanaman, jumlah anakan, umur berbunga, umur panen, jumlah gabah isi dan hampa per malai, bobot 1000 butir, dan warna *pericarp*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keberhasilan Persilangan

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam dan uji lanjut DMRT taraf signifikan 5% menunjukkan, bahwa hasil penelitian berbagai waktu polinasi terhadap keberhasilan persilangan diperoleh hasil yang berbeda nyata. Dari sana dapat diketahui bahwa waktu

polinasi berpengaruh terhadap tingkat keberhasilan persilangan (Tabel 1).

Perlakuan S6W1 yang merupakan persilangan dari tetua Pamera/Memberamo dengan waktu polinasi 1 hari setelah emaskulasi memberikan rerata hasil tertinggi yaitu 48.33 butir, berbeda nyata dengan semua perlakuan. Rerata hasil kedua tertinggi diperoleh perlakuan S1W1 yaitu sebanyak 33.33 butir, berbeda nyata dengan perlakuan S1W2, S3W2, S4W2, S1W3, S2W1, S4W3, S5W2, S2W2, S3W3, S2W3, dan S5W3, tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan S6W2, S4W1, S3W1, S6W3 dan S5W1 (Gambar 1).

Dalam penelitian Harahap (1982), Silitonga (2019) dan Rosyidi *et al.* (2020) dijelaskan bahwa waktu polinasi yang baik dilakukan sekitar pukul 09.00-12.00 sehari setelah emaskulasi. Dimana hal tersebut berpengaruh nyata terhadap parameter persentase keberhasilan persilangan. Namun, dari hasil penelitian ini menunjukkan dengan masuknya perlakuan waktu polinasi 2 dan 3 hari setelah emaskulasi dalam jajaran hasil

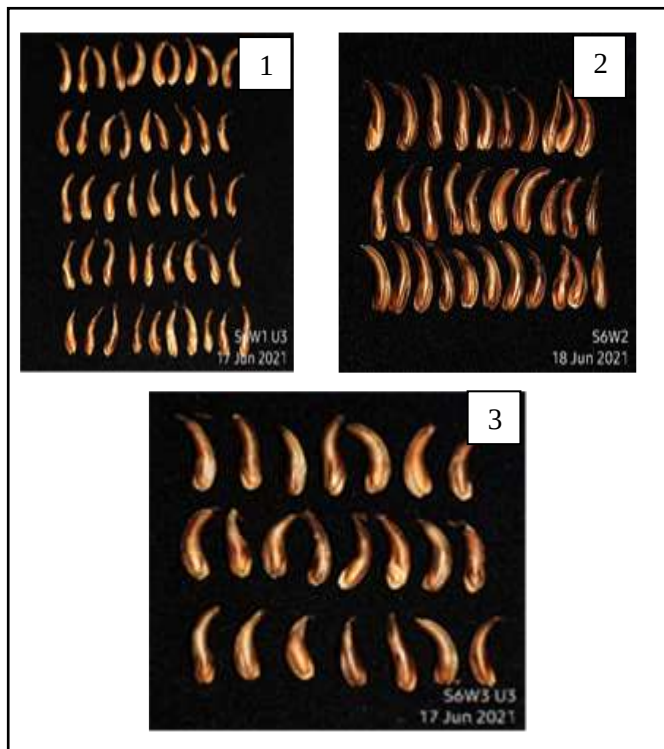
kedua tertinggi, maka dapat dikategorikan bahwa waktu polinasi dapat dilaksanakan 2 atau 3 hari setelahnya meskipun terjadi penurunan hasil.

Tingkat keberhasilan persilangan buatan pada tanaman padi yang kemudian diikuti pembuahan dan menjadi benih juga dipengaruhi oleh beberapa faktor yang sangat kompleks, dimana proses regulasi ini dikendalikan oleh interaksi antara faktor endogen dan lingkungan (Srikanth dan Schmid, 2011; Blümel *et al.*, 2015). Terlebih pada masa pengambilan bunga jantan di lapangan, sebagaimana hasil penelitian Matsui *et al.*, (2020) yang menunjukkan bahwa pengembangan jenis tanaman padi dengan malai ideal saat berbunga dapat meningkatkan polinasi dan kesuburan *spikelet*. Malai yang pendek menjadikan bulir terperangkap dipelelah daun, terperangkapnya bulir atau *spikelet* didalam selubung daun bendera ini akan mengakibatkan tidak berlangsungnya *anthesis* dan terjadinya sterilitas (Rang *et al.*, 2011). Lebih lanjut kesuburan *spikelet* pada padi biasanya dikaitkan dengan dua hal yaitu polinasi dan

Tabel 1. Rerata keberhasilan persilangan pada tanaman padi beras merah dan beras putih diberbagai waktu polinasi

Persentase Keberhasilan Persilangan						
Tetua Persilangan	WP	Rerata (%)	WP	Rerata (%)	WP	Rerata (%)
A/C	S1W1	33.33 b	S1W2	20.33 cdef	S1W3	14.00 efgh
A/L	S2W1	14.00 efgh	S2W2	8.67 fgh	S2W3	2.67 gh
A/M	S3W1	26.67 bcd	S3W2	19.00 cdef	S3W3	8.67 fgh
P/C	S4W1	30.67 bc	S4W2	14.67 defg	S4W3	9.33 efgh
P/L	S5W1	21.33 bcdef	S5W2	9.00 fgh	S5W3	1.67 h
P/M	S6W1	48.33 a	S6W2	31.00 bc	S6W3	21.67 bcde
KK (%)		35,17				

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti huruf yang sama pada setiap kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada DMRT taraf 5%. WP=Waktu Polinasi hari 1-3, A=Arumba, P= Pamera, C=Cimelati, L= Logawa, M=Memberamo



Gambar 1. Rerata benih F1 hasil persilangan tertinggi pada berbagai waktu polinasi 1) 1 hari, 2) 2 hari dan 3) 3 hari.

pemupukan (Wu *et al.*, 2020). Namun, sterilitas *sikelet* akibat stres panas dalam gabah terutama disebabkan oleh polinasi yang buruk (Das *et al.*, 2014).

Polinasi yang buruk disebabkan oleh stres panas selama pembungaan, dari hasil pengamatan suhu selama percobaan tercatat rerata suhu maksimum mencapai 31,72°C. Hal ini diduga berpengaruh sebagaimana pernyataan Yan *et al.* (2017) suhu rata-rata 32 °C selama 3 hari berturut-turut selama fase berbunga didefinisikan sebagai ambang batas cedera panas pada varietas padi. Stres panas menghambat pelepasan polen pada gabah dengan menunda atau bahkan menghalangi *dehiscence anther*, mengurangi jumlah yang disimpan dan perkecambahan polen pada putik, membatasi pertumbuhan tabung polen selama pembungaan, yang semuanya bersama-sama menghasilkan polinasi dan pembuahan yang buruk dan akhirnya kemandulan bulir (Wilson *et al.*, 2011;

Feng *et al.*, 2018; Shi *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2018; Fabian *et al.*, 2019).

Dehiscence anther dan pelepasan polen adalah karakteristik genetik yang mudah terpengaruh oleh rangsangan eksternal, misalnya, sentuhan/goyangan manual dan angin (Zhang *et al.*, 2011). Angin menjadi faktor penting yang mendorong lepasnya polen dari kepala sari (Wu *et al.*, 2020). Sehingga diduga polen dari bunga jantan yang diambil di lapangan telah habis terbang sebelum dibawa ke ruang persilangan. Selain itu, salah satu faktor kunci dalam mencapai hasil tinggi pada persilangan buatan adalah meningkatkan tingkat polinasi, karena polinasi yang tidak memadai dapat secara signifikan membatasi produksi benih (Larson *et al.*, 2000; Chamer *et al.*, 2015). Namun, polinasi padi merupakan proses yang sangat sensitif. Oleh karena itu, polinasi yang terdistribusi dengan baik sangat penting untuk mendapatkan tingkat keberhasilan persilangan yang tinggi, sehingga meningkatkan hasil dan kualitas benih (Jiang *et al.*, 2021).

Pada penelitian ini polinasi dilakukan secara manual menggunakan tangan, ini adalah teknik polinasi tradisional yang secara luas diterima oleh petani di negara-negara Asia karena kelayakannya yang tinggi. Namun, teknik ini sangat memakan waktu dan tenaga dengan efisiensi rendah. Selain itu, penyerbukan manual tidak memiliki transmisi kapasitas untuk mengirimkan polen lebih jauh yang mengakibatkan polinasi tidak merata dan karena hal itu persilangan gagal disebabkan oleh bunga yang tidak terserbuki (Jiang *et al.*, 2021; Syukur *et al.*, 2012). Untuk itu dibutuhkan pemahaman dan *skill* dalam persilangan buatan terutama teknik polinasi yang mempunyai agar meningkatkan jarak penyebaran polen dan membuat distribusi polen lebih seragam.

Karakter Agronomi Tetua

Pada penelitian ini digunakan tetua betina dari beras merah varietas Arumba dan Pamera, dengan tetua jantan dari beras putih varietas Cimelati, Logawa dan Memberamo. Berdasarkan deskripsi varietas, masing-masing tetua persilangan memiliki potensi hasil yang

Tabel 2. Komponen agronomi tetua persilangan

Tetua persilangan	Umur berbunga (hari)	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah anakan produktif (batang)	Umur panen (hari)
Arumba	88.67 b	129.93 a	17.67 a	119.00 b
Pamera	90.00 b	120.43 a	20.00 a	120.33 b
Cimelati	90.00 b	123.70 a	25.33 a	120.67 b
Logawa	94.00 a	98.36 b	24.00 a	125.67 a
Memberamo	90.00 b	120.80 a	21.00 a	121.00 b
KK (%)	1,14	4.74	18.98	1

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti huruf yang sama pada setiap kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada DMRT taraf 5%.

Tabel 3. Komponen hasil tetua persilangan

Tetua persilangan	Gabah isi (%)	Gabah hampa (%)	Bobot 1000 butir (gram)
Arumba	192.89 a	17.11 b	27.44 a
Pamera	182.89 ab	75.56 a	26.13 ab
Cimelati	179.67 ab	29.11 ab	26.39 ab
Logawa	176.67 ab	30.67 ab	22.13 b
Memberamo	154.11 b	26.44 b	25.53 ab
KK (%)	10.16	66.81	8.68

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti huruf yang sama pada setiap kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada DMRT taraf 5%.

A. Komponen agronomi (umur berbunga, tinggi tanaman, jumlah anakan, umur panen)

Umur berbunga tergenjah dimiliki oleh varietas Arumba yaitu 88,67 hari, diikuti Pamera, Cimelati dan Memberamo yaitu 90 hari dan Logawa yang mempunyai umur berbunga paling lama yaitu 94 hari (Tabel 2).

Varietas Arumba dan Cimelati merupakan tetua yang mempunyai tinggi tanaman tertinggi yaitu berturut-turut 129.93 cm dan 123.70 cm, sedangkan Memberamo dan Pamera mempunyai tinggi tanaman yang hampir sama yaitu 123.70 cm dan 120.43 cm (Tabel 2).

beragam dan tergolong tinggi (BB Padi, 2021; Suprihatno *et al.*, 2009).

Hasil analisis sidik ragam dan uji lanjut DMRT taraf signifikan 5% (Tabel 2 dan 3) menunjukkan bahwa setiap genotipe memiliki hasil yang cukup baik dari segi fisik maupun mutu gabah.

Berdasarkan Departemen Pertanian (1983) ke empat tetua persilangan tergolong tanaman padi sedang, dengan tinggi diantara 110-130 cm dan Logawa termasuk tanaman padi pendek dengan tinggi 98.36 cm (<110 cm).

Dari hasil percobaan (Tabel 2), tetua persilangan yang memiliki jumlah anakan produktif terbanyak yaitu Cimelati, Logawa dan Memberamo dengan masing-masing 25.33, 24 dan 21 batang, diikuti Pamera dan Arumba yang memiliki jumlah anakan paling sedikit yaitu 20 dan 17.67 batang. Hasilnya menunjukkan rata-rata genotipe yang diuji tergolong memiliki jumlah anakan

sangat banyak yaitu >20 batang (Sunihardi *et al.*, 2004 dalam Aryana *et al* 2017).

Secara umum, BB Padi (2016) mengklasifikasikan umur panen padi menjadi lima golongan, dihitung dari hari setelah sebar (HSS) yaitu umur dalam (>151 HSS), sedang (125-150 HSS), genjah (105-124 HSS), sangat genjah (90-104 HSS) dan ultra genjah (<90HSS).

Hasil pengujian menunjukkan, semua tetua persilangan mempunyai umur panen genjah. Umur panen ini nantinya akan berpengaruh terhadap mutu benih karena untuk memperoleh benih yang baik diperlukan perhatian pada saat masa panen yang tepat, yaitu saat benih masak secara fisiologis dimana benih berada pada kondisi puncak (Suciatty, 2016).

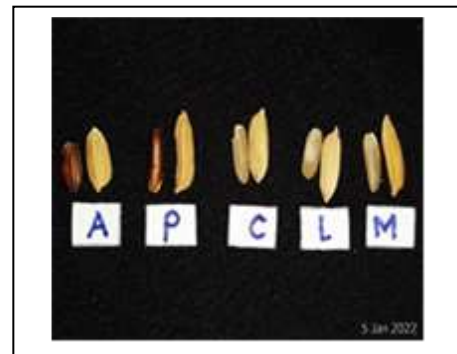
B. Komponen hasil (jumlah gabah isi dan hampa per malai, bobot 1000 butir, warna pericarp)

Safitri (2010) menyatakan hasil gabah kering per rumpun dapat digunakan sebagai ukuran besarnya produksi yang dapat dihasilkan tanaman. Dari hasil pengujian (Tabel 3), varietas Pamera mempunyai hasil gabah kering per rumpun paling banyak yaitu 258.45 butir dengan rerata gabah isi 182.89% dan gabah hampa 75.56 %. Sedangkan Memberamo mempunyai hasil gabah kering per rumpun paling sedikit yaitu 180.55 butir dengan rerata gabah isi 154.11 % dan gabah hampa 26.44 %. Namun, secara keseluruhan persentase gabah isi terbanyak diperoleh varietas Arumba yaitu 192.89% sedangkan persentase gabah hampa terbanyak diperoleh Pamera 75.56 butir. Dalam penelitian Abbas *et al.* (2018) dijelaskan, persentase gabah hampa dapat dipengaruhi oleh ketidak serempakan pematangan biji. Sehingga pada saat panen masih ada biji yang belum berisi

dengan sempurna yang pada akhirnya akan menjadi gabah hampa.

Ukuran gabah dan tingkat kebernasan biji dapat terlihat dari Bobot 1000 butir (Safitri, 2010). Hasil pengamatan (Tabel 3) menunjukkan bahwa varietas Arumba memiliki bobot 1000 butir gabah bernas paling tinggi yaitu 27.44 gram berbeda nyata dengan varietas Logawa 22.13 gram dan tidak berbeda nyata dengan Cimelati, Pamera, dan Memberamo yang masing-masing memiliki bobot 1000 butir 26.39 gram, 26.13 gram, dan 25.53 gram. Perbedaan bobot 1000 butir ini dapat dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk biji yang ditentukan oleh faktor genetik, selain itu juga ditentukan oleh keseimbangan antara laju dan durasi pengisian bulir (Maisura *et al.*, 2020; Shi *et al.*, 2017)

Secara fenotipik, warna *pericarp* pada semua benih F1 hasil persilangan berwarna merah sesuai dengan warna tetua betina yaitu beras merah (Gambar



2). Hal ini selaras dengan hasil penelitian Safitri (2010) yang menyatakan bahwa

Gambar 2. Warna gabah dan warna beras tetua persilangan. Keterangan: A=Arumba, P=Pamera, C=Cimelati, L=Logawa, M=Memberamo.

warna beras F1 ternyata sama dengan warna beras tetua betina yang digunakan pada persilangannya. Namun hal tersebut belum dapat dikatakan sebagai pengaruh *maternal effect* (Prastini *et al.*, 2017). Lebih lanjut Oktarisna *et al.* (2013) menjelaskan pola pewarisan sifat

warna biji hasil persilangan dapat diamati pada populasi F2, sebab pada populasi F2 akan terjadi segregasi. Jika dalam pertanaman populasi F2 warna benih berwarna merah, maka bisa dikatakan bahwa hasil persilangan tersebut dipengaruhi oleh *maternal effect* dan sebaliknya.

Warna merah pada beras merah disebabkan oleh adanya kandungan antosianin (Abdullah, 2017). Antosianin adalah pigmen yang memberi warna merah, biru atau keunguan pada bunga, buah, dan sayuran. Kandungan antosianin pada beras ini pertama kali diteliti oleh Nagai *et al.* (1960) sebagaimana dikutip oleh Juliano (2003). Senyawa yang termasuk komponen flavonoid ini dipercaya mempunyai kemampuan sebagai antioksidan yang mampu menangkal radikal bebas, menyembuhkan penyakit jantung dan kanker (Sugiarto *et al.*, 2018).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, B. 2017. Peningkatan Kadar Antosianin Beras Merah dan Beras Hitam Melalui Biofortifikasi. *Jurnal Litbang Pertanian*. 36(2): 91-98.
- Abbas, W., Riadi, M., & Ridwan, I. (2018). Respon tiga varietas padi (*Oryza sativa* L.) pada berbagai sistem tanam legowo. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Agrokomples*, 45-55.
- Abdullah, B. (2017). Peningkatan kadar antosianin beras merah dan beras hitam melalui biofortifikasi. *J. Litbang Pertanian*, 36 (2): 91-98.
- Anhar, A. (2013). Explorasi dan Mutu Beras Genotip Padi Merah di Kabupaten Pasaman Barat Sumatera Barat. *Prosiding SEMIRATA 2013*, 1(1).
- Aryana, I. G. P. M., Sudarmawan, A. A. K., & Santoso, B. B. (2017). Keragaan F1 dan Heterosis Karakter Agronomis pada Beberapa Persilangan Padi Beras Merah. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 45(3), 221-227.
- Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. 2016. Klasifikasi Umur Tanaman Padi. <https://bbpadi.litbang.pertanian.go.id/index.php/info-berita/tahukah-anda/klasifikasi-umur-tanaman-padi>. Sukamandi. Diakses pada 5 Januari 2022.
- Badan Ketahanan Pangan. 2020. Road Map Diversifikasi 2020-2024: Jakarta. <http://bkp.pertanian.go.id/storage/app/media/Bahan%202020/Roadmap%20Diversifikasi%20Pangan%202020-2024.pdf>. Diakses pada 20 Maret 2020.
- Chamer, A.M., Medan, D., Mantese, A.I., Bartoloni, N.J., 2015. Impact of pollination on sunflower yield: is pollen amount or pollen quality what matters? *Field Crops Res.* 176, 61–70.
- Blümel, M., Dally, N., Jung, C., 2015. Flowering time regulation in crops d what did we learn from Arabidopsis? *Curr. Opin. Biotechnol.* 32, 121e129.
- Departemen Pertanian. 1983. Pedoman Bercocok Tanam Padi, Palawija, Sayur-sayuran. Departemen Pertanian Satuan Pengendali Bimas, Jakarta.
- Fábián, A., Sáfrán, E., Szabó-Eitel, G., Barnabás, B., Jäger, K., 2019. Stigma functionality and fertility are reduced by heat and drought co-stress in wheat. *Front. Plant Sci.* 10, 244.

- Feng, B., Zhang, C., Chen, T., Zhang, X., Fu, G., 2018. Salicylic acid reverses pollen abortion of rice caused by heat stress. *BMC Plant Biol.* 18, 245.
- Harahap Z. 1982. *Pedoman Pemuliaan Padi*. Kelompok Kerja Pemulia Tanaman. Lembaga Biologi Nasional-LIPI. Bogor. 30 hlm.
- Indriyani, F., Nurhidajah., dan A. Suyanto. 2013. Karakteristik fisik, kimia dan sifat organoleptik tepung beras merah berdasarkan variasi lama pengeringan. *J. Pangan dan Gizi*. 4 (8): 27-34.
- Jiang, Q., Wang, Y., Chen, J., Wang, J., Wei, Z., & He, Z. (2021). Optimizing the working performance of a pollination machine for hybrid rice. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106282.
- Juliano, B.O. 2003. Rice Chemistry and Quality. Philippine Rice Research Institute. 480 p.
- Larson, B.M.H., Barret, S.C.H., 2000. A comparative analysis of pollen limitation in flowering plants. *Biol. J. Linn. Soc.* 69, 503–520.
- Maisura, Jamidi, A. Husna. 2020. Respon Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) Varietas IPB 3S Pada Beberapa Sistem Jajar Legowo. *Jurnal Agrium*. 17(1): 33-44.
- Matsui, T., Kobayasi, K., Yoshimoto, M., Hasegawa, T., & Tian, X. (2020). Dependence of pollination and fertilization in rice (*Oryza sativa* L.) on floret height within the canopy. *Field Crops Research*, 249, 107741.
- Oktarisna, F.A., A. Soegianto dan A.N. Sugiharto. 2013. Pola Pewarisan Sifat Warna Polong pada Hasil Persilangan Tanaman Buncis (*Phaseolus vulgaris* L.) Varietas Introduksi dengan Varietas Lokal. *J. Produksi Tanaman* 1 (2): 81-89.
- Prastini, L., & Damanhuri, D. (2017). Pengaruh Perbedaan Waktu Emaskulasi Terhadap Keberhasilan Persilangan Tanaman Padi Hitam X Padi Putih (*Oryza Sativa* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*, 5 (2).
- Rang, Z. W., Jagadish, S. V. K., Zhou, Q. M., Craufurd, P. Q., & Heuer, S. (2011). Effect of high temperature and water stress on pollen germination and spikelet fertility in rice. *Environmental and Experimental Botany*, 70(1), 58-65.
- Rosyidi, M. K., & Adiredjo, A. L. (2020). Pengaruh Perbedaan Waktu Polinasi terhadap Keberhasilan Persilangan dan Beberapa Karakter Benih Padi Generasi Backcross 3. *Jurnal Produksi Tanaman*, 8 (2).
- S. Das, P. Krishnan, M. Nayak, B. Ramakrishnan, High temperature stress effects on pollens of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes, *Environ. Exp. Bot.* 101 (2014) 36–46.
- Safitri, H. (2010). Kultur Antera dan Evaluasi Galur Haploid Ganda untuk Mendapatkan Padi Gogo Tipe Baru [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Shi, W., Li, X., Schmidt, R.C., Struik, P.C., Yin, X., Jagadish, S., 2018. Pollen germination and in vivo fertilization in response to high temperature during flowering in hybrid and inbred rice. *Plant Cell Environ.* 41, 1287–1297.
- Shi, W., X. Yin., P.C. Struik., C. Solis., F. Xie., R.C. Schmidt., M. Huang., Y. Zou., C. Ye., V.K.

- Jagadish. 2017. High Day and Night Time Temperatures Affect Grain Growth Dynamics in Contrasting Rice Genotypes. *Journal of Experimental Botany*. 68(18): 5233-5245.
- Silitonga, D. L. (2019). Pengaruh Teknik dan Waktu terhadap Persentase Keberhasilan Persilangan Padi Beras Merah dan Padi Beras Putih (*Oryza sativa* L.). [skripsi]. Medan (ID): Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara.
- Srikanth, A., Schmid, M., 2011. Regulation of flowering time: all roads lead to Rome. *Cell. Mol. Life Sci*. 68, 2013e2037.
- Suciaty, T. (2016). Pengaruh Umur Panen pada Tiga Kultivar Padi (*Oryza sativa* L.) terhadap Viabilitas Benih. *Agrijati Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Pertanian*, 4(1).
- Sugiarto, R., Kristanto, B. A., & Lukiwati, D. R. (2018). Respon pertumbuhan dan produksi padi beras merah (*Oryza nivara*) terhadap cekaman kekeringan pada fase pertumbuhan berbeda dan pemupukan nanosilika. *J. Agro. Complex*, 2(2), 169-179.
- Supartopo. 2006. Teknik Persilangan Padi (*Oryza sativa* L.) untuk Perakitan Varietas Unggul Baru. *J. Buletin Teknik Pertanian*, 11 (2): 76-80.
- Suprihatno, B., A.A. Daradjat, Satoto, S.E. Baehaki, Widiarta, I. N., A. Setyono, S.D. Indrasari, Lesmana, O.S., dan H. Sembiring. 2009. Deskripsi Varietas Padi. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian. Subang. 105 hal.
- Syukur, M., S. Sujiprihati, R. Yuniarti. 2012. *Teknik Pemuliaan Tanaman*. Penebar Swadaya Grup, Depok. 348 hal.
- Wu, C., Cui, K., Tang, S., Li, G., Wang, S., Fahad, S., ... & Ding, Y. (2020). Intensified pollination and fertilization ameliorate heat injury in rice (*Oryza sativa* L.) during the flowering stage. *Field Crops Research*, 252, 107795.
- Yan, H., Zhang, B., Zhang, Y., Chen, X., Xiong, H., Matsui, T., Tian, X., 2017. High temperature induced glume closure resulted in lower fertility in hybrid rice seed production. *Front. Plant Sci*. 7, 1960.
- Z.A. Wilson, J. Song, B. Taylor, C. Yang, The final split: the regulation of anther dehiscence, *J. Exp. Bot*. 62 (2011). 1633–1649.
- Zhang, C., Li, G., Chen, T., Feng, B., Fu, W., Yan, J., Islam, M.R., Jin, Q., Tao, L., Fu, G., 2018. Heat stress induces spikelet sterility in rice at anthesis through inhibition of pollen tube elongation interfering with auxin homeostasis in pollinated pistils. *Rice* 11, 14.
- Zhang, D., Luo, X., Zhu, L., 2011. Cytological analysis and genetic control of rice anther development. *J. Genet. Genomics*. 38, 379–390.