



KERAGAMAN GENETIK
PADI RAWA
KALIMANTAN SELATAN

DINDIN HIDAYATUL MURSYIDIN
BUDI SETIADI DARYONO
PURNOMO

KERAGAMAN GENETIK
PADI RAWA
KALIMANTAN SELATAN

DINDIN HIDAYATUL MURSYIDIN
BUDI SETIADI DARYONO
PURNOMO



Keragaman Genetik Padi Rawa Kalimantan Selatan

© Mursyidin *et al.*, 2021

154 halaman, 15.5 x 23 cm

Perpustakaan Nasional Republik Indonesia

ISBN: 978-602-0950-77-8

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, baik secara elektronik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari penulis atau penerbit.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

All Rights Reserved

Cetakan Pertama: Juli 2021

Penerbit

Scripta Cendekia

Banjarbaru, Kalimantan Selatan

E: scriptacendekia@gmail.com

L: webscripta.wordpress.com

PRAKATA

Alhamdulillahirabbil'alamin ...

Segala puji hanya bagi Allah *subhanahu wa ta'ala, rabb* semesta alam, yang telah memberikan kekuatan dan kemudahan kepada Penulis, sehingga buku yang berjudul “Keragaman Genetik Padi Rawa Kalimantan Selatan” ini dapat hadir di tengah-tengah Pembaca.

Peningkatan jumlah penduduk secara drastis dan kekhawatiran terjadinya kerawanan pangan menjadi latar belakang utama penulisan buku ini. Di satu sisi, Pemerintah terus berusaha untuk mewujudkan program ketahanan pangan dengan memanfaatkan lahan-lahan marjinal yang ada, seperti lahan rawa, untuk areal pertanian. Di sisi lain, meskipun lahan ini sangat potensial untuk dikembangkan, namun secara fisiko-kimia memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, berbagai upaya alternatif untuk menjadikan lahan rawa sebagai areal pertanian potensial masa depan mutlak diperlukan.

Sebenarnya, lahan rawa merupakan salah satu ekosistem yang menyimpan sumberdaya genetik yang menarik, meliputi beragam tumbuhan dan hewan. Namun diantara beragam potensi tersebut, padi lokal lahan rawa, atau lazim disebut “padi rawa”, menjadi sangat menarik untuk dibahas. Hal ini terutama berkaitan dengan kemampuan adaptasinya yang tinggi terhadap kondisi lingkungan lahan rawa yang ekstrim, berupa genangan air, kondisi pH yang rendah, keracunan logam berat, maupun salinitas.

Secara khusus, buku ini mencoba memaparkan tentang hasil analisis keragaman genetik padi rawa Kalimantan Selatan berdasarkan karakter agro-morfologi, anatomi, fisiologi, biokimiawi, dan sitologi, serta molekuler.

Alhasil, Penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritikan yang membangun sangat Penulis harapkan untuk penyempurnaan atau perbaikan buku ini pada masa mendatang.

Meskipun demikian, Penulis juga berharap semoga buku ini dapat bermanfaat bagi para akademisi (pelajar/mahasiswa dan pengajar/dosen), peneliti, serta pemulia (*breeder*), bahkan pihak swasta dan Pemerintah untuk mendukung program ketahanan pangan nasional.

Selamat membaca!!

Banjarbaru, Juli 2021

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL MUKA | i

COPYRIGHT | ii

PRAKATA | iii

DAFTAR ISI | v

DAFTAR TABEL | vii

DAFTAR GAMBAR | ix

DAFTAR ISTILAH | xi

1. PENDAHULUAN | 1
 - 1.1 Program Ketahanan Pangan Nasional | 3
 - 1.2 Arah Kebijakan Pemerintah | 5
2. POTENSI SUMBERDAYA GENETIK LAHAN RAWA | 9
 - 2.1 Mengetahui Lahan Rawa | 9
 - 2.2 Jenis-Jenis Lahan Rawa | 13
 - 2.2.1 Rawa pasang surut | 14
 - 2.2.2 Rawa lebak | 16
 - 2.3 Sebaran dan Luas Lahan Rawa | 19
 - 2.4 Kendala Pengembangan Lahan Rawa | 23
 - 2.5 Potensi Sumberdaya Genetik Lahan Rawa | 30
3. KERAGAMAN GENETIK TANAMAN PADI | 33
 - 3.1 Mengetahui Tanaman Padi | 34
 - 3.1.1 Karakteristik morfologis | 35
 - 3.1.2 Ragam genetik | 37
 - 3.1.3 Asal usul, sebaran dan budidaya | 42
 - 3.2 Analisis Keragaman Genetik Tanaman Padi | 45

4.	KERAGAMAN GENETIK PADI RAWA	51
4.1	Ragam genetik padi rawa	52
4.2	Analisis keragaman genetik padi rawa	55
4.2.1	Karakter agro-morfologi	55
4.2.2	Karakter anatomi	67
4.2.3	Karakter fisiologi	75
4.2.4	Karakter biokimiawi	81
4.2.5	Karakter sitologi	83
4.2.6	Karakter molekuler	87
4.3	Analisis Kekerabatan Genetik Padi Rawa	99
4.3.1	Karakter agro-morfologi	100
4.3.2	Karakter anatomi	103
4.3.3	Karakter molekuler	107
5.	PENUTUP	115
5.1	Prospek Masa Depan	115
5.2	Probematika	116
5.2.1	Perlunya upaya konservasi	117
5.2.2	Pembentukan <i>core collection</i>	120
	DAFTAR PUSTAKA	123
	PROFIL PENULIS	141

DAFTAR TABEL

- Tabel 1.1.** Jumlah penduduk rawan pangan tahun 2010-2013 | 2
- Tabel 1.2.** Luas tanam, produksi dan hasil panen padi berdasarkan negara, tahun 2010 | 5
- Tabel 2.1.** Karakteristik lahan rawa pasang surut berdasarkan jenis tanah | 16
- Tabel 2.2.** Tipe-tipe (tipologi) lahan rawa lebak, berdasarkan lama dan tinggi genangan | 17
- Tabel 2.3.** Estimasi luas lahan rawa di Indonesia | 22
- Tabel 2.4.** Luas lahan rawa pasang surut potensial yang telah dan belum direklamasi, tahun 2006 | 23
- Tabel 3.1.** Ragam spesies padi (*Oryza* spp.) di dunia, termasuk jumlah kromosom, tipe genom, dan distribusinya | 38
- Tabel 3.2.** Perbedaan padi sub-spesies *indica*, *japonica* dan *javanica* | 42
- Tabel 3.3.** Analisis keragaman genetik padi lokal di beberapa negara menggunakan penanda konvensional/non-molekuler | 45
- Tabel 3.4.** Analisis keragaman genetik padi lokal di beberapa negara menggunakan penanda molekuler | 47
- Tabel 3.5.** Analisis keragaman genetik padi lokal di beberapa negara menggunakan gabungan penanda molekuler dan non-molekuler | 48
- Tabel 4.1.** Kultivar padi lokal hasil koleksi di lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan | 53
- Tabel 4.2.** Kriteria bentuk dan ukuran gabah tanaman padi | 56

- Tabel 4.3.** Ukuran dan bentuk gabah padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan | 58
- Tabel 4.4.** Tinggi tanaman, diameter batang dan jumlah anakan padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan | 61
- Tabel 4.5.** Panjang malai, berat 100 gabah dan umur tanaman padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan | 63
- Tabel 4.6.** Karakter agro-morfologi lain, termasuk keragaman genetiknya, yang dimiliki padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan | 66
- Tabel 4.7.** Kriteria bentuk polen berdasarkan rasio diameter axis polar dan ekuator polen pada Angiospermae | 68
- Tabel 4.8.** Karakteristik polen padi rawa berdasarkan pengamatan SEM | 70
- Tabel 4.9.** Keagaman genetik padi rawa berdasarkan karakter polen | 70
- Tabel 4.10.** Tipe pola permukaan dinding polen pada sembilan kultivar padi rawa, termasuk kultivar padi unggul “Ciherang” | 71
- Tabel 4.11.** Ketahanan kultivar padi rawa terhadap keracunan besi | 77
- Tabel 4.12.** Ketahanan beberapa kultivar padi rawa pasang surut dan lebak terhadap hama dan penyakit | 79
- Tabel 4.13.** Klasifikasi bentuk kromosom berdasarkan indeks sentromer dan rasio lengan kromosom | 83
- Tabel 4.14.** Karakteristik kromosom padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan | 86
- Tabel 4.15.** Hasil kuantifikasi DNA sampel tanaman padi rawa, termasuk kultivar unggul sebagai pembandingan | 88
- Tabel 4.16.** Jumlah fragmen polimorfik dan tingkat polimorfisme (%) padi rawa berdasarkan jenis primer RAPD | 91
- Tabel 4.17.** Karakteristik molekular region *trnL-F* dan IGS pada padi rawa | 92
- Tabel 4.18.** Laju substitusi region *trnL-F* dan IGS padi rawa | 95

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.1.** Peta wilayah kerawanan pangan di Indonesia, tahun 2015 | 2
- Gambar 1.2.** Produksi dan konsumsi padi di dunia | 4
- Gambar 2.1.** Pembagian zona lahan rawa di sepanjang daerah aliran sungai (DAS) | 13
- Gambar 2.2.** Peta penyebaran lahan rawa dan lahan gambut di Indonesia | 19
- Gambar 2.3.** Sebaran lahan lahan pasang surut di Indonesia | 21
- Gambar 3.1.** Perawakan atau habitus tanaman padi | 36
- Gambar 3.2.** Bunga padi | 37
- Gambar 3.3.** Jalur evolusioner dan penyebaran tanaman padi di Asia | 43
- Gambar 3.4.** Jalur evolusioner dan penyebaran tanaman padi di dunia | 44
- Gambar 4.1.** Prosentase padi rawa Kalimantan Selatan berdasarkan kelompok kultivar, subspecies dan tipe endosperm | 55
- Gambar 4.2.** Morfologi gabah padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan | 56
- Gambar 4.3.** Koefisien korelasi Pearson pada karakter agro-morfologi padi rawa pasang Kalimantan Selatan | 64
- Gambar 4.4.** Bentuk polen sembilan kultivar padi rawa Kalimantan Selatan | 69
- Gambar 4.5.** Pola permukaan eksin polen padi rawa Kalimantan Selatan | 71

- Gambar 4.6.** Pola permukaan lidah daun padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan | 73
- Gambar 4.7.** Serangan penyakit blas pada tanaman padi | 79
- Gambar 4.8.** Kandungan Fe dan Zn pada beras kultivar padi rawa pasang surut | 81
- Gambar 4.9.** Siklus pembelahan sel pada padi rawa Kalimantan Selatan “Siam Mutiara” | 84
- Gambar 4.10.** Karyogram lima kultivar padi rawa Kalimantan Selatan | 85
- Gambar 4.11.** Struktur organisasi DNA kloroplas tanaman padi, termasuk region *trnL-F* | 94
- Gambar 4.12.** Struktur organisasi DNA nuklear, termasuk region IGS | 95
- Gambar 4.13.** *Multiple alignment* sekuen *trnL-F* padi rawa | 96
- Gambar 4.14.** *Multiple alignment* sekuen IGS padi rawa | 97
- Gambar 4.15.** Dendrogram hubungan kekerabatan fenetik padi rawa berdasarkan penanda morfologi | 101
- Gambar 4.16.** Pengelompokan padi rawa berdasarkan analisis PCA | 102
- Gambar 4.17.** Pengelompokan padi rawa berdasarkan analisis UPGMA | 104
- Gambar 4.18.** Pengelompokan padi rawa berdasarkan analisis PCA | 105
- Gambar 4.19.** Hubungan kekerabatan genetik padi rawa berdasarkan penanda RAPD | 107
- Gambar 4.20.** Hubungan kekerabatan filogenetik padi rawa berdasarkan sekuen *trnL-F* | 109
- Gambar 4.21.** Hubungan kekerabatan filogenetik padi rawa berdasarkan sekuen IGS | 110
- Gambar 4.22.** Hubungan kekerabatan filogenetik padi rawa berdasarkan gabungan sekuen *trnL-F* dan IGS | 110

DAFTAR ISTILAH

AFLP_Amplified Fragment Length Polymorphism
DNA_Deoxyribonucleic Acid
IGS_Intergeneric Spacer
InDel_Insertion-Deletion
ILP_Intron Length Polymorphism
PCA_Principal Component Analysis
PCR_Polymerase Chain Reaction
RAPD_Random Amplified Polymorphic DNA
SEM_Scanning Electron Microscope
SNP_Single Nucleotide Polymorphism
SSR_Simple Sequence Repeats
STS_Sequence-Tagged Sites
TEM_Transmission Electron Microscope
UPGMA_Unweighted Pairs Group with Arithmetic Average

1

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk secara drastis dalam beberapa dasawarsa terakhir telah menimbulkan kekhawatiran terjadinya kerawanan pangan. Oleh karena itu, berbagai upaya untuk mendukung program ketahanan pangan mutlak dilakukan.

Selama 40 tahun terakhir, peningkatan jumlah penduduk telah menyebabkan kebutuhan pangan terus meningkat. Semakin meningkat populasi penduduk dunia, semakin meningkat pula kebutuhan mereka atas pangan. Hal ini menjadikan setiap negara harus mampu menjaga ketersediaan pangan yang dimilikinya, agar senantiasa cukup dan terhindar dari ancaman kerawanan pangan. Pada tahun 2009, FAO memperkirakan bahwa sekitar 1,02 milyar jiwa di seluruh dunia saat ini terancam kekurangan pangan, bahkan kelaparan (Mudrieq, 2014).

Di Indonesia, jumlah penduduk yang terindikasi rawan/sangat rawan pangan tergolong tinggi. Menurut catatan BPS, jumlah penduduk yang sangat rawan pangan tercatat sekitar 42,08 juta orang pada tahun 2011. Jumlah ini terus meningkat menjadi 47,65 juta pada tahun 2012 dan 47,02 juta pada tahun 2013. Sementara itu, penduduk yang rawan pangan pada tahun 2011 mencapai 78,49 juta orang, bertambah menjadi 80,58 juta pada tahun 2012, dan bertambah lagi menjadi 83,65 juta pada tahun 2013. Tabel 1.1 menunjukkan jumlah penduduk Indonesia yang terdampak

rawan pangan pada rentang waktu 2010-2013. Sementara itu, pada tahun 2015, daerah terindikasi paling rawan pangan terdapat di Papua (Lihat Gambar 1.1).

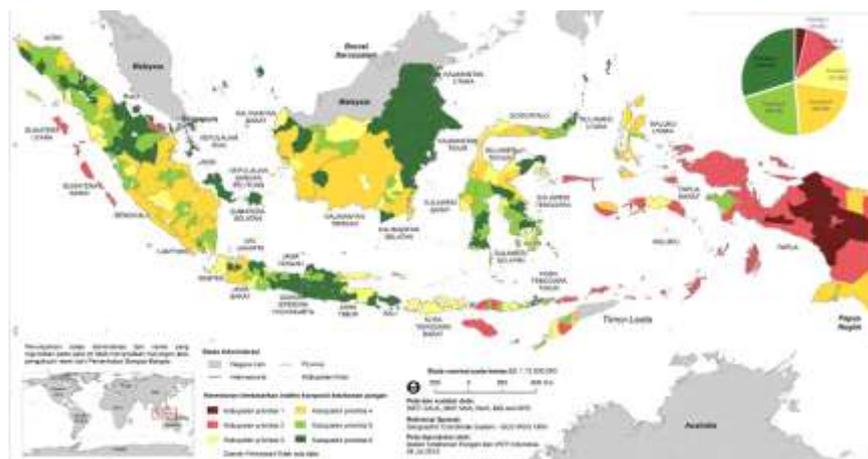
Tabel 1.1. Jumlah penduduk rawan pangan tahun 2010-2013

Rincian	2010	2011	2012	2013	Pertumbuhan (%/Tahun)
1. Jumlah Penduduk Sangat Rawan*					
a. Jumlah (juta jiwa)	35,71	42,08	47,65	47,02	5,96
b. Persentase	15,34	17,41	19,46	19,04	4,81
2. Jumlah Penduduk Rawan**					
a. Jumlah (juta jiwa)	72,44	78,49	80,58	83,65	3,23
b. Persentase	31,12	32,48	32,91	33,87	2,12

Catatan : * Konsumsi kalori per kapita per hari <70% dari AKG

** Konsumsi kalori per kapita per hari 70-90% dari AKG

Sumber: Anonim, 2015



Gambar 1.1. Peta wilayah kerawanan pangan di Indonesia, tahun 2015. Papua (warna merah tua) menjadi salah satu wilayah paling rawan pangan di Indonesia

Sumber: Anonim, 2015

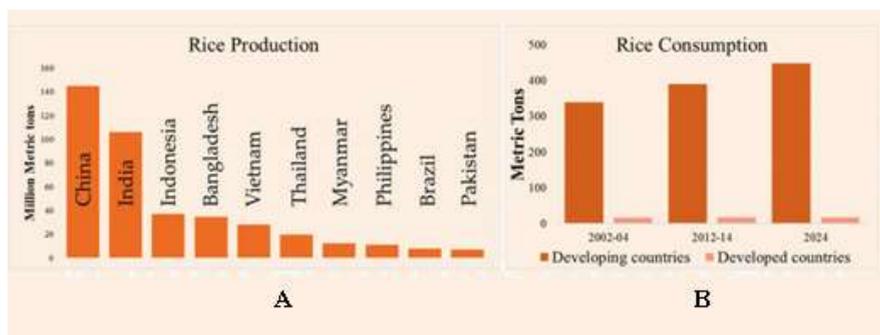
1.1 Program Ketahanan Pangan Nasional

Untuk mengatasi kerawanan pangan, Pemerintah terus berupaya untuk meningkatkan swasembada pangan atau program ketahanan pangan nasional. Hal ini sebagaimana termaktub dalam Strategi Induk Pembangunan Pertanian (SIPP) 2015-2045, yang didalamnya pembangunan sektor pertanian mengacu pada Paradigma Pertanian untuk Pembangunan (*Agriculture for Development*). Hal ini juga sesuai dengan NAWA CITA atau agenda prioritas Kabinet Kerja Nasional yang mengarahkan pembangunan pertanian ke depan untuk mewujudkan kedaulatan pangan, agar Indonesia sebagai bangsa dapat mengatur dan memenuhi kebutuhan pangan rakyatnya secara mandiri (berdaulat).

Menurut FAO (1996), ketahanan pangan didefinisikan sebagai keadaan yang didalamnya semua orang memiliki kecukupan jumlah atas pangan yang aman dan bergizi demi kehidupan yang sehat dan aktif. Sedangkan di Indonesia, menurut PP No. 68 tahun 2002, ketahanan pangan diartikan sebagai kondisi terpenuhinya pangan bagi rumah tangga yang tercermin dari tersedianya pangan secara cukup, baik jumlah maupun mutunya, aman dan merata, serta terjangkau (Mudrieq, 2014). Dengan kata lain, pangan adalah kebutuhan mendasar yang diperlukan setiap individu untuk menunjang berbagai aktivitas kebutuhan hidupnya.

Di Indonesia, karena padi (beras) merupakan bahan makanan pokok bagi mayoritas penduduknya, maka ketersediannya tidak boleh kurang dari kebutuhan. Sampai saat ini, kebutuhan padi nasional diperkirakan terus meningkat seiring laju pertumbuhan jumlah penduduk. Menurut Anonim (2018), kebutuhan beras nasional mencapai 139,15 kg/tahun/kapita, atau setara dengan 53,46 juta ton gabah kering giling (GKG). Namun kenyataannya, pencapaian produksi padi nasional seringkali tidak sebanding atau lebih rendah dibandingkan dengan pertumbuhan jumlah penduduk atau kebutuhan konsumsi rata-rata

penduduk secara nasional. Oleh karena itu, beberapa tahun yang lalu, Indonesia harus mengekspor beras dari negara lain, terutama Vietnam dan Thailand dalam jumlah relatif besar. Anonim (2015), melaporkan bahwa jumlah impor beras Indonesia mencapai lebih dari 844 ribu ton pada tahun 2014, meningkat dua kali lipat dibandingkan tahun sebelumnya, yaitu sekitar 472 ribu ton. Meskipun dalam dua tahun terakhir ini Indonesia tidak lagi mengimpor beras dari negara lain, namun berbagai upaya untuk meningkatkan produktivitas tanaman padi harus terus dilakukan. Gambar 1.2 memperlihatkan tingkat produksi dan konsumsi padi di beberapa negara, termasuk Indonesia. Sementara itu, Tabel 1 menyajikan data tentang luas tanam, produksi dan hasil panen padi berdasarkan negara, tahun 2010.



Gambar 1.2. Produksi dan konsumsi padi di dunia. Sepuluh negara penghasil padi terbesar di dunia (A). Tingkat konsumsi padi di negara berkembang dan maju (B)

Sumber: Rabara *et al.* (2018)

Tabel 1.2. Luas tanam, produksi dan hasil panen padi berdasarkan negara, tahun 2010

Negara/Wilayah	Luas Tanam (10 ³ ha)	Produksi (10 ³ ton)	Hasil panen (ton/ha)
Dunia	159.416	696.324	4.37
Asia	142.065	631.842	4.37
Bangladesh	11.700	50.061	4.28
Kamboja	2.776	8.245	2.97
Cina	30.117	197.212	6.55
India	42.560	143.963	3.38
Indonesia	13.253	66.469	5.02
Iran	563	2.288	4.06
Jepang	1.628	10.600	6.51
Korea	892	6.136	6.88
Laos	855	3.070	3.59
Malaysia	673	2.548	3.78
Myanmar	8.051	33.204	4.12
Nepal	1.481	4.023	2.72
Pakistan	2.365	7.235	3.06
Filipina	4.354	15.771	3.62
Sri Lanka	1.060	4.300	4.06
Thailand	10.990	31.597	2.88
Vietnam	7.513	39.988	5.32
Mesir	459	4.329	9.42
Brazil	2.722	11.236	4.23
Afrika	9.341	22.977	2.46
Australia	19	196	10.41
Amerika Serikat	1.462	11.027	7.54

Sumber: diadaptasi dari Brar & Khush (2013)

1.2 Arah Kebijakan Pemerintah

Dalam upaya untuk merealisasikan program ketahanan pangan nasional atau meningkatkan produktivitas tanaman pangan, terutama padi, Pemerintah telah melakukan berbagai upaya. Diantaranya dengan menerapkan program intensifikasi dan ekstensifikasi pertanian. Intensifikasi pertanian diarahkan untuk meningkatkan hasil pertanian dengan cara mengoptimalkan lahan perhatian yang telah ada. Dalam hal ini, Pemerintah telah menggalakkan program Panca Usaha Tani (PUT), meliputi: (1) Pengolahan tanah yang baik; (2) Pengairan/irigasi yang

teratur; (3) Pemilihan bibit unggul; (4) Pemupukan; (5) Pemberantasan hama dan penyakit tanaman. Setelah itu, Pemerintah menerapkan pula program Sapta Usaha Tani (SUT), mencakup 5 kegiatan yang telah disebutkan, ditambah dua program baru lainnya, yaitu: (6) Pasca Panen, dan (7) Pemasaran.

Sementara itu, program ekstensifikasi pertanian diarahkan untuk meningkatkan hasil pertanian dengan cara memperluas lahan pertanian baru, misalnya dengan membuka areal hutan dan semak belukar, daerah sekitar rawa-rawa, dan daerah pertanian yang belum dimanfaatkan. Selain itu, ekstensifikasi pertanian juga dilakukan dengan membuka persawahan pasang surut. Dalam prakteknya, program ini banyak dilakukan di daerah yang jarang penduduknya, terutama di luar Pulau Jawa, khususnya di beberapa daerah tujuan transmigrasi, seperti Sumatera, Kalimantan dan Papua.

Dengan kata lain, untuk mendukung program ketahanan pangan, serta pengembangan pertanian ke depan, termasuk perluasan lahan pertanian baru, maka Pemerintah mengarahkan pembukaan lahan-lahan pertanian baru di luar Pulau Jawa. Pilihan sumberdaya lahan yang tersedia untuk tujuan ini adalah lahan kering dan lahan rawa. Sifat-sifat dominan lahan kering, yang luasnya diperkirakan 47 juta ha, umumnya bersifat masam dengan kesuburan alami yang rendah. Lahan kering ini, yang umumnya didominasi oleh tanah "ultisols" dan "oxisols", nampaknya kurang sesuai untuk usaha pertanian tanaman pangan, tetapi lebih sesuai untuk budidaya tanaman tahunan/perkebunan.

Sementara di luar Pulau Jawa masih tersedia lahan rawa seluas sekitar 33-39 juta ha, yang terdiri atas 20,1-25,8 juta ha lahan rawa pasang surut dan sekitar 13,3 juta ha lahan rawa lebak. Sejak tahun 1970-an, lahan rawa ini telah berhasil di reklamasi untuk pertanian seluas sekitar 5,4 juta ha. Selama bertahun-tahun, melalui proses uji coba, para petani lahan rawa,

baik penduduk setempat maupun petani transmigran, telah cukup banyak memiliki pengetahuan bagaimana cara mengelola lahan rawa untuk dijadikan areal persawahan yang produktif. Hasil penelitian dan pengalaman memperlihatkan bahwa dengan pengelolaan yang tepat, sesuai dengan karakteristiknya, melalui penerapan iptek yang benar, maka lahan rawa yang termasuk lahan marjinal dengan tingkat kesuburan alami yang rendah, dapat dijadikan areal pertanian produktif.

Bagaimanapun, berbagai upaya Pemerintah untuk meningkatkan produktivitas tanaman pertanian dalam rangka swasembada pangan atau program ketahanan pangan nasional haruslah senantiasa didukung. Melalui buku ini, penulis berusaha memaparkan tentang potensi lahan rawa yang dapat dimanfaatkan sebagai lahan pertanian masa depan. Disamping itu, tanaman padi lokal yang terdapat di lahan rawa (selanjutnya disebut 'padi rawa') juga menjadi potensi yang sangat besar untuk dikembangkan dan dimanfaatkan dalam mendukung program ketahanan pangan tersebut. Alhasil, para pembaca dipersilahkan untuk menelaah bab demi bab atau topik demi topik dalam buku ini.

2

POTENSI SUMBERDAYA GENETIK LAHAN RAWA

Lahan rawa merupakan salah satu aset sumberdaya tanah nasional yang semakin penting peranannya pada masa mendatang, terutama untuk pengembangan pertanian.

Pengembangan lahan rawa untuk pertanian, selain memiliki potensi dan prospek yang besar, juga menghadapi berbagai masalah/kendala, baik biofisik, sosial ekonomi, maupun kelembagaan. Oleh karena itu, untuk pelestarian sumberdaya dan keberlanjutan pemanfaatannya, pengembangan pertanian di lahan rawa pada suatu kawasan luas, perlu direncanakan dan ditangani secara cermat dan hati-hati (Alihamsyah, 2001). Dengan kata lain, kekeliruan dalam upaya reklamasi dan pengelolaan lahan tersebut, seringkali menghasilkan lahan-lahan tidur yang sulit/tidak dapat ditanami tanaman pertanian, dan membutuhkan biaya besar untuk merehabilitasinya, serta sangat sukar untuk memulihkan kembali seperti kondisi semula.

2.1 Mengenal Lahan Rawa

Secara ekologis, lahan rawa merupakan ekosistem unik yang kondisinya selalu tergenang air dangkal (*waterlogged*), dalam rentang

waktu yang panjang, baik dalam setahun ataupun sepanjang tahun. Oleh karena itu, ekosistem ini dikenal pula sebagai daerah jenuh air (*saturated land*). Dalam literatur, lahan rawa seringkali disebut dengan beberapa istilah yang berbeda, misalnya *swamp*, *marsh*, *bog*, dan *fen*. Menurut para ahli ekologi, masing-masingnya mempunyai arti yang berbeda pula (Subagyo, 2006a).

Swamp adalah istilah umum untuk menyebut lahan rawa. Istilah ini digunakan untuk menyatakan suatu wilayah atau area yang secara permanen selalu jenuh air, permukaan air tanahnya dangkal, atau tergenang air dangkal pada hampir sepanjang waktu dalam setahun. Wilayah ini umumnya dicirikan dengan air yang tidak bergerak atau tidak mengalir (*stagnant*), adapun pada bagian dasar tanahnya berupa lumpur. Dalam kondisi alamiah, lahan rawa ditumbuhi oleh berbagai vegetasi, baik jenis-jenis semak maupun pohon. Adapun di daerah tropika, wilayah ini biasanya berupa hutan rawa atau hutan gambut (Subagyo, 2006a).

Marsh adalah rawa yang genangan airnya bersifat tidak permanen, namun mengalami genangan banjir dari sungai atau air pasang laut yang terjadi secara periodik. Oleh karena itu, pada wilayah ini seringkali ditemukan debu atau tanah liat yang terendapkan sebagai sedimen. Di sisi lain, ekosistem *marsh* dicirikan dengan kondisi tanah yang selalu jenuh air, dengan genangan relatif dangkal. *Marsh* biasanya ditumbuhi berbagai tumbuhan akuatik atau hidrofitik, seperti *reeds* (tumbuhan air sejenis gelagah, buluh atau rumputan tinggi dari jenis *Phragmites* sp.), *sedges* (sejenis rumput rawa berbatang padat, tidak berbuluh, seperti famili Cyperaceae) dan *rushes* (sejenis rumput rawa, seperti "purun" atau "mendong", dari famili Juncaceae, yang batangnya dapat dianyam menjadi tikar, topi atau keranjang). Menurut para ahli ekologi, ekosistem ini dapat dibedakan menjadi "rawa pantai" (*coastal* atau *saltwater marsh*) dan "rawa pedalaman" (*inland* atau *fresh water marsh*) (Subagyo, 2006a).

Bog adalah rawa yang tergenang air dangkal, dimana permukaan tanahnya tertutup lapisan vegetasi yang melapuk, terutama lumut *Spaghnum*. Spesies ini menjadi vegetasi dominan yang menghasilkan lapisan gambut (bersifat) masam. Para ahli membagi *bog* menjadi dua macam, yaitu *blanket bog* dan *raised bog*. *Blanket bog* adalah rawa yang terbentuk karena kondisi curah hujan tinggi, yang didalamnya deposit gambut tersusun atas lumut *Spaghnum* yang menutupi tanah seperti selimut pada permukaan lahan yang relatif rata. *Raised bog* adalah akumulasi gambut masam yang tebal, disebut *hochmoor*, dapat mencapai lima meter. Sementara itu, lapisan gambutnya dapat berbentuk lensa pada suatu cekungan dangkal (Subagyo, 2006a).

Fen adalah rawa yang tanahnya jenuh air, ditumbuhi rumputan rawa sejenis *reeds*, *sedges* dan *rushes*, sebagaimana ekosistem *marsh* yang telah disebutkan. Namun demikian, air tanahnya bersifat alkalis, karena umumnya mengandung kapur (CaCO_3) atau bahkan netral. Secara umum, ekosistem *fen* seringkali membentuk lapisan gambut subur yang bersifat netral, disebut *laagveen* atau *lowmoor* (Subagyo, 2006a).

Menurut definisi 'Ramsar Convention', lahan rawa merupakan lahan basah atau *wetland* yang mencakup wilayah *marsh*, *fen* dan *peatland* (lahan gambut), serta air, baik terbentuk secara alami atau buatan, dengan air yang tidak bergerak (*static*) atau mengalir, baik air tawar, payau, maupun air asin, termasuk juga wilayah laut yang dalam keadaan surut terendah kedalaman airnya tidak melebihi enam meter (Subagyo, 2006a).

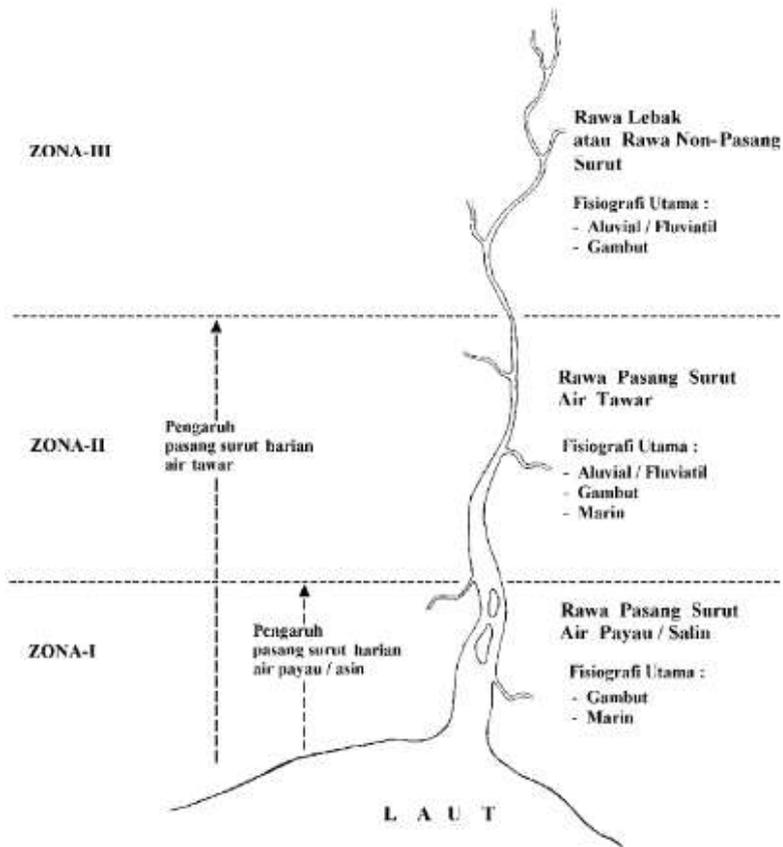
Lahan rawa sebenarnya merupakan wilayah peralihan yang terletak antara sistem daratan dan perairan, baik sungai, danau atau laut. Khusus di wilayah daratan, lahan ini terletak antara wilayah lahan kering (*uplands*) dan sungai/danau. Karena wilayah ini menempati posisi peralihan antara sistem perairan dan daratan, maka sepanjang tahun atau dalam waktu yang panjang dalam setahun (beberapa bulan) selalu tergenang air

dangkal, jenuh air, atau mempunyai air tanah dangkal. Secara alamiah, sebelum dibuka untuk lahan pertanian, lahan rawa ditumbuhi berbagai tumbuhan air, baik jenis rumput-rumputan (*reeds, sedges* dan *rushes*), sebagaimana telah disebutkan, maupun vegetasi semak dan pohon. Wilayah ini juga dicirikan dengan kondisi tanah yang selalu jenuh air atau mempunyai permukaan air tanah dangkal, bahkan tergenang dangkal (Subagyo, 2006a).

Menurut pada ahli, lahan rawa yang berada di daratan dan menempati posisi peralihan antara tanah darat (*uplands*) dan sungai atau danau, seringkali ditemukan pada zona depresi dan cekungan-cekungan di bagian terendah lembah-lembah sungai, di dataran banjir sungai-sungai besar, dan di wilayah pinggiran danau. Lahan-lahan ini tersebar di dataran rendah, dataran berketinggian sedang dan dataran tinggi. Lahan rawa yang tersebar di dataran berketinggian sedang dan dataran tinggi, umumnya berukuran sempit atau tidak luas. Lahan rawa yang terdapat di dataran rendah, baik yang menempati dataran banjir sungai maupun wilayah dataran pantai, didominasi terutama oleh muara sungai-sungai besar dan pulau-pulau delta (Subagyo, 2006a).

Pada kedua wilayah terakhir, karena posisinya berhubungan langsung dengan laut terbuka, maka pengaruh pasang surut air laut sangat dominan. Di bagian muara sungai dekat laut, pengaruh pasang surut sangat nampak. Sedangkan semakin ke arah hulu atau daratan, pengaruhnya semakin berkurang sejalan dengan semakin jauhnya jarak dari laut. Berdasarkan pengaruh pasang surut air laut, terutama sewaktu pasang besar (*spring tides*) di musim hujan, bagian daerah aliran sungai di bagian bawah (*down stream area*) dapat dibagi menjadi 3 (tiga) zona, meliputi: (1) wilayah rawa pasang surut air asin/payau, atau disebut Zona I; (2) wilayah rawa pasang surut air tawar, atau disebut Zona II; dan (3) wilayah rawa lebak, atau rawa non-pasang surut, selanjutnya disebut Zona

III. Ketiga zona tersebut dapat lihat secara skematis pada Gambar 2.1 (Subagyo, 2006a).



Gambar 2.1. Pembagian zona lahan rawa di sepanjang daerah aliran sungai (DAS) bagian bawah dan tengah

Sumber: Subagyo (2006a)

2.2 Jenis-Jenis Lahan Rawa

Secara umum lahan rawa terbagi menjadi dua, yaitu rawa pasang surut dan rawa lebak. Masing-masing karakteristik lahan rawa tersebut dijelaskan sebagai berikut:

2.2.1 Rawa pasang surut

Dalam keadaan alamiah, rawa pasang surut dicirikan dengan tanah jenuh air atau tergenang dangkal, sepanjang tahun atau dalam waktu yang lama, beberapa bulan, dalam setahun. Berdasarkan klasifikasi jenis tanah, lahan rawa termasuk tanah basah atau *wetsoils*, dengan kondisi “aquik”, yaitu mengalami penjujukan air dan reduksi secara periodik (terus-menerus). Proses pembentukan tanah yang dominan adalah pembentukan horison tanah tereduksi berwarna kelabu-kebiruan, disebut proses ‘gleisasi’, dan pembentukan lapisan gambut di bagian permukaan. Bentuk wilayah, atau topografi lahan rawa pasang surut adalah sangat rata (*flat*) sejauh mata memandang, dengan ketinggian tempat relatif kecil, yaitu sekitar 0-0,5 m dpl dari pinggir laut sampai sekitar 5 m dpl di wilayah lebih ke pedalaman (Subagyo, 2006b).

Dalam hal ini, ada dua jenis tanah yang terbentuk, yaitu tanah gambut (*peat soils*) dan tanah non-gambut, atau tanah mineral basah (*wet mineral soils*). Tanah mineral yang terdapat di wilayah rawa, seluruhnya merupakan endapan bahan halus, berupa debu halus dan lumpur yang diendapkan air pasang ditambah dengan bahan “aluvium” yang dibawa ke muara oleh air sungai. Oleh karena itu, tanah yang terbentuk semuanya merupakan tanah “aluvial” basah, yang di permukaannya terdapat lapisan gambut tipis (<20 cm), atau agak tebal (antara 20-50 cm). Tanah yang terbentuk terakhir ini disebut tanah mineral-bergambut (*peaty-soils*) (Subagyo, 2006b).

Jika ketebalan lapisan gambut telah melebihi 50 cm, maka tidak dapat diklasifikasikan lagi sebagai tanah mineral, tetapi sudah termasuk tanah gambut. Dalam sistem klasifikasi tanah lama, tanah “aluvial” yang selalu jenuh air disebut “Aluvial Hidromorf”. Sedangkan tanah yang relatif kering dan tidak selalu basah disebut “Aluvial” (saja). Tanah aluvial yang memiliki lapisan gambut tipis (<20 cm) di permukaan disebut “Glei

Humus Rendah”, sedangkan tanah dengan lapisan gambut relatif tebal (20-50 cm) disebut “Glei Humus”. Sementara itu, tanah gambut sendiri disebut “Organosol”. Dalam klasifikasi jenis tanah (Soil Survey Staff, 1999), kelompok tanah “Aluvial” termasuk kedalam (ordo) *Entisols* atau *Inceptisols*; sedangkan tanah gambut kedalam *Histosols* (Subagyo, 2006b).

Mengacu pada Gambar 2.1, rawa pasang surut terdapat pada Zona I, yaitu rawa pasang surut air asin/payau dan Zona II (rawa pasang surut air tawar). Rawa pasang surut air asin/payau merupakan bagian rawa pasang surut terdepan, yang berhubungan langsung dengan laut lepas. Wilayah rawa ini umumnya menempati bagian terdepan dan pinggiran pulau-pulau delta serta bagian tepi “estuari”, yang dipengaruhi langsung oleh pasang surut air laut/salin.

Berdasarkan tipologi luapan air, lahan rawa pasang surut dapat dibedakan menjadi 4 tipe, yaitu (Noorsyamsi *et al.*, 1984):

1. **Tipe A**, lahan yang selalu terluapi air pasang, baik pasang besar maupun pasang kecil;
2. **Tipe B**, lahan yang hanya terluapi pasang besar;
3. **Tipe C**, lahan yang tidak pernah terluapi walaupun pasang besar, hanya air tanah dekat permukaan tanah (<50 cm); dan
4. **Tipe D**, lahan yang tidak pernah terluapi, dan air tanah berada >50 cm dari permukaan tanah.

Sementara itu, berdasarkan jenis tanahnya, lahan rawa pasang surut dapat dibedakan pula menjadi: lahan potensial, sulfat masam, gambut, dan salin (Widjaja-Adhi *et al.*, 1992). Keterangan lebih lengkap tentang lahan rawa ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Karakteristik lahan rawa pasang surut berdasarkan jenis tanah

Tipologi Lahan		Simbol	Karakteristik
Lahan potensial		P	Kadar pirit <2% belum mengalami proses oksidasi, terletak pada kedalaman >50 cm dari permukaan tanah, termasuk tanah sulfat masam potensial. Kendala produksi dan kemungkinan munculnya kendala tersebut diperkirakan kecil.
Lahan sulfat Masam	Sulfat masam Potensial	SM	Lapisan pirit dengan kadar >2% tidak/ belum mengalami proses oksidasi, dan terletak lebih dangkal, <50 cm dari permukaan tanah.
	Sulfat masam aktual	SM	Memiliki horison sulfurik, dengan jarosit/ <i>brown layer</i> , pH (H ₂ O)<3,5.
Lahan gambut	Gambut-dangkal Gambut-sedang Gambut-dalam Gambut-sangat dalam Lahan bergambut	G-1 G-2 G-3 G-4 G-0	Terbentuk dari bahan gambut, yang (1) jenuh air dalam waktu lama, dan tersusun dari bahan tanah organik, atau (2) tidak pernah jenuh air selama lebih dari beberapa hari, dan kadar C-organik 20%. Ketebalan gambut pada G-1: 50-100 cm; G-2: 100-200 cm; G-3: 200-300 cm; G-4: >300 cm; dan G-0: <50 cm.
Lahan salin			Lahan rawa di zona I: rawa pasang surut air salin/payau, dan dapat berupa lahan potensial, sulfat masam, atau gambut. Mendapat intrusi air laut lebih dari 4 bulan dalam setahun; kandungan Na dalam larutan tanah antara 8-15%.

Sumber: Widjaja-Adhi *et al.* (1992)

2.2.2 Rawa lebak

Rawa lebak merupakan zona ketiga yang terletak makin ke arah hulu sungai, yaitu mendekati atau berada pada daerah aliran sungai (DAS) bagian tengah. Pengaruh pasang surut sudah tidak nampak, namun

berganti dengan pengaruh sungai yang sangat dominan, yaitu berupa banjir besar yang secara periodik menggenangi wilayah tersebut selama musim hujan. Banjir tahunan dapat terjadi, sebagai akibat dari volume air sungai yang menjadi sangat besar selama musim hujan, dan tekanan balik arus pasang dari bagian muara. Sungai di daerah ini tidak mampu menampung semua air, sehingga meluap membanjiri dataran banjir di bagian kiri dan kanan sungai. Selama musim hujan, rawa lebak selalu tergenangi air kemudian secara berangsur-angsur surut sejalan dengan perubahan musim hujan ke musim kemarau tahun berikutnya (Subagyo, 2006c).

Berdasarkan lama dan tingginya genangan, lahan rawa lebak umumnya dibagi menjadi tiga tipe (tipologi), yaitu: (1) Lebak Pematang, (2) Lebak Tengahan, dan (3) Lebak Dalam. Data seperti disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Tipe-tipe (tipologi) lahan rawa lebak, berdasarkan lama dan tinggi genangan

Tinggi Genangan	Lama Genangan		
	<3 bulan	3-6 bulan	>6 bulan
<50 cm	Lebak Pematang	Lebak Pematang	Lebak Pematang
50-100 cm	Lebak Tengahan	Lebak Tengahan	Lebak Dalam
>100 cm	Lebak Tengahan	Lebak Dalam	Lebak Dalam

Sumber: Subagyo (2006c)

Lebak Pematang seringkali disebut juga sebagai Lebak Dangkal. Secara teoritis, setiap banjir, karena arus banjir masih kuat, tanggul sungai merupakan tempat pengendapan bahan-bahan terkasar (pasir halus sampai pasir sedang). Makin jauh dari sungai, dengan semakin lemahnya daya angkut air, terjadi pengendapan bahan-bahan lebih halus, yaitu debu dan liat. Karena adanya sortasi air dan semakin sedikitnya bahan-bahan yang diendapkan semakin jauh dari sungai, maka tanggul sungai adalah

tempat yang paling tinggi letaknya, dan tanah berangsur-angsur menurun ke dataran rawa belakang. Dalam kenyataannya di lapangan, seringkali perbedaan ketinggian antara keduanya tidak selalu nyata, walaupun hasil pengukuran ketinggian antara keduanya memang menunjukkan penurunan yang amat berangsur ke arah dataran rawa belakang. Demikian pula, tekstur tanah di wilayah tanggul sungai tidak selalu berpasir, sebab komposisi fraksi dari lumpur yang diendapkan setiap tahun sifatnya tidak selalu kasar (Subagy, 2006c).

Selain ketiga tipe lahan lebak tersebut, masih ada istilah “renah” dan “talang” yang biasa digunakan untuk mendeskripsi keadaan wilayah lahan lebak di Sumatera Selatan. Uraian secara ringkas dari semua istilah dan tipe lahan rawa lebak adalah sebagai berikut (Subagy, 2006c):

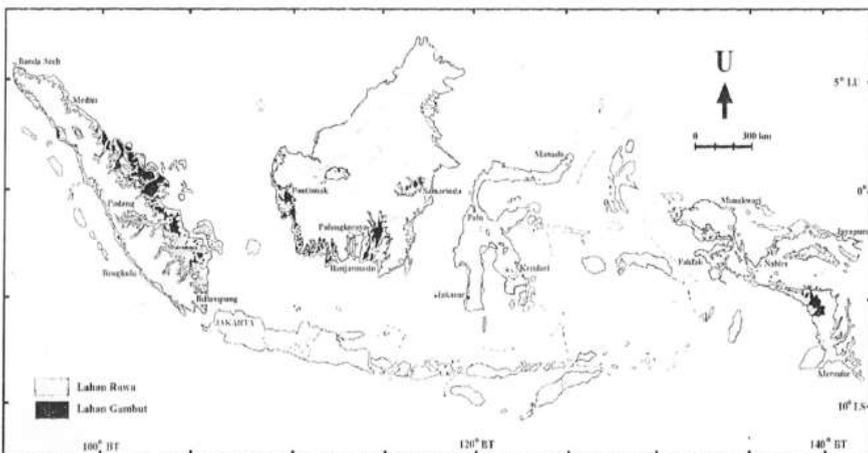
- **Renah**, adalah bagian yang paling tinggi dari tanggul sungai. Wilayah ini secara umum jarang terbanjiri, oleh karena itu lazim dimanfaatkan untuk membangun rumah dan perkampungan penduduk.
- **Talang**, adalah lahan darat atau lahan kering yang tidak pernah terbanjiri. Wilayah ini merupakan bagian dari daerah berombak sampai bergelombang, terdiri atas batuan sedimen, atau batuan volkan masam.
- **Lebak Pematang**, adalah sawah di belakang perkampungan. dan merupakan sebagian dari wilayah tanggul sungai dan sebagian wilayah dataran rawa belakang. Lama genangan banjir umumnya kurang dari 3 bulan, atau minimal satu bulan dalam setahun. Tinggi genangan rata-rata kurang dari 50 cm. Oleh karena genangan air banjir selalu dangkal, maka bagian lebak ini sering juga disebut “Lebak Dangkal”.
- **Lebak Tengahan**, adalah sawah yang lebih jauh lagi dari perkampungan. Genangannya lebih dalam, antara 50 sampai 100 cm, selama kurang dari 3 bulan, atau antara 3-6 bulan. Masih termasuk wilayah Lebak Tengahan, apabila genangannya dalam, lebih dari 100

cm, tetapi jangka waktu genangannya relatif pendek, yaitu kurang dari 3 bulan.

- **Lebak Dalam**, adalah bagian lebak yang dalam airnya dan sukar mengering kecuali pada musim kemarau panjang. Disebut juga “lebak lebung”, tempat memelihara ikan yang tertangkap, waktu air banjir telah surut. Tinggi air genangan umumnya lebih dari 100 cm, selama 3-6 bulan, atau lebih dari 6 bulan. Masih termasuk Lebak Dalam, apabila genangannya lebih dangkal antara 50-100 cm, tetapi lama genangannya harus lebih dari enam bulan secara berturut-turut dalam setahun.

2.3 Sebaran dan Luas Lahan Rawa

Sumberdaya lahan rawa, sebagai salah satu pilihan lahan pertanian masa depan, secara dominan terdapat di empat pulau besar Indonesia, meliputi Sumatera, Kalimantan, dan Papua, serta Sulawesi (Subagyo, 2006a). Gambar 2.2 mengilustrasikan penyebaran lahan rawa, termasuk lahan gambut di Indonesia.



Gambar 2.2. Peta penyebaran lahan rawa dan lahan gambut di Indonesia

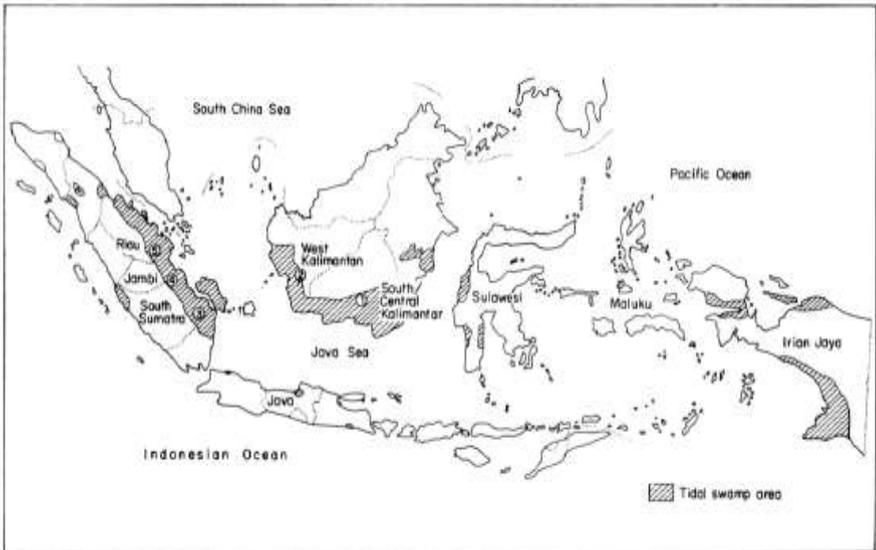
Sumber: Subagyo (2006a)

Berdasarkan Gambar 2.2, diketahui bahwa penyebaran lahan rawa di Pulau Sumatera secara dominan terdapat di dataran rendah sepanjang pantai timur Provinsi Riau, Sumatera Selatan dan Jambi, serta sebagian kecil di Provinsi Sumatera Utara dan Lampung. Di pantai barat Pulau Sumatera, lahan rawa menempati dataran pantai sempit di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam (sekitar Meulaboh dan Tapaktuan), Sumatera Barat (Rawa Lunang, Kabupaten Pesisir Selatan), dan Bengkulu (selatan kota Bengkulu) (Subagyo, 2006a).

Di Kalimantan, penyebaran lahan rawa secara dominan terletak di empat wilayah, meliputi: (1) dataran rendah sepanjang pantai barat, termasuk wilayah Provinsi Kalimantan Barat; (2) pantai selatan, dalam wilayah Provinsi Kalimantan Tengah; dan (2) sebagian kecil wilayah Kalimantan Selatan; serta (4) pantai timur dan timur laut, dalam wilayah Provinsi Kalimantan Timur (Subagyo, 2006a).

Penyebaran lahan rawa di Papua terdapat di dataran rendah sepanjang pantai selatan, termasuk wilayah Kabupaten Fakfak, dan pantai tenggara dalam wilayah Kabupaten Merauke. Kemudian di daerah Kepala Burung, di sekeliling Teluk Berau-Bintuni, dalam wilayah Kabupaten Manokwari dan Sorong. Selanjutnya di sepanjang dataran pantai utara, memanjang dari sekitar Nabire (Kabupaten Paniai) sampai Sarmi (Kabupaten Jayawijaya) (Subagyo, 2006a).

Sementara itu di Sulawesi, penyebaran lahan rawa relatif tidak luas, dan terkotak-kotak di dataran pantai yang sempit. Lahan rawa yang ditemukan relatif luas terdapat di pantai barat-daya kota Palu, dalam wilayah Kabupaten Mamuju, kemudian di sekitar Teluk Bone, sepanjang pantai timur-laut Palopo, dan sebagian kecil di pantai selatan Kabupaten Toli-toli di sekitar Teluk Tomini (Subagyo, 2006c).



Gambar 2.3. Sebaran lahan pasang surut di Indonesia

Sumber: Koswara & Rumawas (1984)

Khusus untuk penyebaran lahan rawa pasang surut di Indonesia, Gambar 2.3 memperlihatkan secara lebih rinci (Koswara & Rumawas, 1984). Sementara itu, untuk lahan rawa lebak, penyebarannya dijumpai di daerah hulu Sungai Kapuas Besar, sebelah barat Putussibau, Kalimantan Barat, serta di sekitar Danau Semayang dan Melintang, sekitar Kotabangun, di Daerah Aliran Sungai (DAS) bagian tengah Sungai Mahakam, Kalimantan Timur. Adapun di Papua, penyebaran lahan rawa lebak terdapat relatif luas di lembah Sungai Mamberamo, terletak hampir di bagian tengah pulau (Subagyo, 2006a).

Berkaitan dengan luas lahan rawa di Indonesia, jumlahnya sangat bervariasi dan diperkirakan terdapat sekitar 33,41-39,10 juta ha. Luas ini terbagi untuk rawa pasang surut sekitar 20,13-25,82 juta ha dan lahan rawa lebak sekitar 13,28 juta ha (Tabel 2.3) (Subagyo, 2006a). Khusus untuk luas lahan rawa pasang surut di Indonesia, dari sekitar 20,12 juta ha yang telah

disebutkan (lihat Tabel 2.3), lahan ini terbagi pula menjadi lahan potensial (2,07 juta ha), lahan sulfat masam (6,72 juta ha), lahan gambut (10,89 juta ha), dan lahan salin (0,44 juta ha). Menurut Direktorat Rawa dan Pantai Tahun 2006, lahan rawa pasang surut yang potensial untuk lahan pertanian di Indonesia tersebar di pulau Kalimantan, Sumatera, Sulawesi, Papua, dan Jawa dengan luas sekitar 8.535.708 ha.

Tabel 2.3. Estimasi luas lahan rawa di Indonesia.

Sumber Data	Pulau	Luas Lahan Rawa (ha)			
		Tanah Gambut	Tanah Mineral	Rawa Lebak	Total
Polak, 1952	Indonesia	16.349.865			
Mulyadi, 1977	Sumatera				13.211.000
	Kalimantan				12.764.000
	Papua				12.980.000
	Sulawesi				469.000
	<i>Total</i>				39.424.500
Nedeco/Euroconsulr-Biec, 1984	Sumatera	4.200.150	4.742.790		8.942.940
	Kalimantan	3.156.000	3.872.350		7.028.350
	Papua	1.906.500	5.872.000		7.778.500
	Sulawesi	-	-		-
	<i>Total</i>	9.262.650	14.487.140		23.749.790
Subagyo <i>et al.</i> , 1990	Sumatera	6.407.750	6.804.511		13.212.261
	Kalimantan	5.352.500	5.645.323		10.997.823
	Papua	3.129.750	9.866.000		12.995.750
	Sulawesi	-	1.115.814		1.115.814
	Maluku	-	775.500		775.500
	<i>Total</i>	14.890.000	24.207.148		39.097.148
Nugroho <i>et al.</i> , 1991	Sumatera	4.798.000	1.806.000	2.786.000	9.390.000
	Kalimantan	4.674.800	3.452.100	3.580.500	11.707.400
	Papua	1.284.250	2.932.690	6.305.770	10.522.710
	Sulawesi	145.500	1.039.450	608.500	1.793.450
	<i>Total</i>	10.902.550	9.230.240	13.280.770	33.413.560
Puslittanak, 2000	Sumatera	6.590.345	5.862.806		12.453.151
	Kalimantan	4.447.523	5.259.973		9.707.496
	Papua	2.011.780	8.293.251		10.305.031
	Sulawesi	127.744	1.212.677		1.340.421
	Maluku	24.885	478.975		503.860
	<i>Total</i>	13.302.276	21.107.682		34.309.958

Sumber: Subagyo (2006a)

Tabel 2.4. Luas lahan rawa pasang surut potensial yang telah dan belum direklamasi, tahun 2006

Pulau	Luas lahan telah direklamasi (ha)			Luas lahan belum direklamasi (ha)	Total (ha)
	Pemerintah	Masyarakat	Jumlah		
Kalimantan	500.228	551.980	1.052.208	445.630	1.497.838
Sumatera	814.582	623.765	1.438.347	573.340	2.011.687
Sulawesi	81.922	101.705	183.627	459.116	642.743
Papua	-	8.655	8.655	4.208.295	4.216.950
Jawa	36.369	114.608	150.977	15.513	166.490
Total	1.433.101	1.400.713	2.833.814	5.701.894	8.535.708

Sumber: Alwi (2014)

Luas lahan yang telah direklamasi baik oleh pemerintah maupun masyarakat sekitar 2.833.814 ha, sedang yang belum direklamasi seluas 5.701.894 ha, sebagian besar berada di Papua (Tabel 2.4). Luas lahan rawa pasang surut yang telah dimanfaatkan untuk sawah sekitar 830.439 ha yang tersebar di Kalimantan 333.601 ha, Sumatera 485.679 ha, Sulawesi 2.504 ha dan Papua 8.655 ha. Berdasarkan data tersebut peluang untuk melaksanakan ekstensifikasi pertanian khususnya untuk tanaman padi ke lahan rawa pasang surut masih terbuka lebar (Alwi, 2014).

2.4 Kendala Pengembangan Lahan Rawa

Masalah agrofisik lahan dan lingkungan merupakan permasalahan utama yang dihadapi dalam pengembangan lahan rawa untuk pertanian, baik rawa pasang surut maupun rawa lebak. Secara umum, kendala yang dihadapi dalam pengembangan kedua lahan rawa tersebut adalah: genangan air, kondisi fisik lahan, keracunan logam berat, dan rendahnya tingkat ketersediaan hara (kesuburan tanah).

Secara khusus, kendala yang dijumpai di lahan rawa pasang surut adalah: (1) genangan air dan kondisi fisik lahan, (2) kemasaman tanah

tinggi karena kelarutan aluminium (Al^{3+}), besi ferri (Fe^{3+}), dan sulfat (SO_4^{2-}) yang tinggi, (3) rendahnya ketersediaan unsur hara dan pada kondisi tereduksi sering muncul masalah keracunan besi ferro (Fe^{2+}), dihidrogen sulfida (H_2S), karbon dioksida (CO_2), dan asam-asam organik. Keracunan besi pada tanaman disebabkan karena tingginya konsentrasi besi terlarut dalam tanah (200-500 ppm). Sebagian besar tanah mineral kaya akan besi, gejala keracunan besi dapat dilihat dari jaringan daun yang mengakibatkan penurunan hasil. Kejadian ini hanya terjadi pada kondisi lahan tergenang, sebagai akibat dari proses reduksi oleh mikroorganisme yang mengubah besi tidak larut (Fe^{3+}) menjadi besi terlarut (Fe^{2+}) (Alwi, 2014).

Tingginya tingkat kemasaman tanah yang terjadi pada rawa pasang surut, dapat dipahami karena sebagian besar tanah-tanah di lahan pasang surut berkembang dari bahan induk yang kaya senyawa pirit (FeS_2). Drainase lahan rawa pasang surut menyebabkan senyawa pirit yang terkandung di dalam tanah menjadi teroksidasi. Proses oksidasi senyawa pirit menghasilkan asam sulfat yang berakibat terjadi proses pemasaman tanah secara hebat. Adapun tanah yang terbentuk dari proses tersebut disebut tanah "sulfat masam" (Alwi, 2014; Priatmadi & Haris, 2009).

Dengan kata lain, rawa pasang surut yang merupakan tanah sulfat masam seringkali memiliki lapisan gambut tipis <20 cm; memiliki lapisan pirit yang belum teroksidasi (bahan sulfidik) atau sudah teroksidasi (horison sulfurik) pada kedalaman 0-50 cm. Dalam kondisi tertentu, sulfat masam potensial dapat berubah menjadi sulfat masam aktual bila tanah mengalami drainase yang berlebihan akibat reklamasi. Pirit yang semula stabil dan tidak berbahaya pada kondisi anaerob atau tergenang, akan teroksidasi bila kondisi berubah menjadi aerob. Menurunnya permukaan air tanah akibat pembuatan saluran drainase primer-sekunder-tersier menyebabkan oksigen masuk ke dalam pori tanah dan akan mengoksidasi

pirit membentuk asam sulfat, ion hidrogen dan Fe^{3+} . Apabila oksidasi pirit berlangsung cepat maka akan terbentuk mineral "jarosit" berupa bercak-bercak karat berwarna kuning jerami (Priatmadi & Haris, 2009).

Pada kondisi tergenang, kemasaman tanah dapat dikurangi namun disisi lain muncul masalah keracunan besi fero (Fe^{2+}), Al, Mn, hidrogen sulfida, CO_2 , dan asam organik. Masalah fisik yang sering dijumpai adalah terhambatnya perkembangan akar tanaman pada horison "sulfurik" karena tanaman kekurangan air, pematangan tanah terhambat serta saluran drainase tertutup oleh deposit oksida besi. Pada kondisi seperti ini, pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme tanah terhambat. Jenis tanaman yang dapat tumbuh dan berkembang akan sangat terbatas dengan hasil rendah (Suriadikarta & Setyorini, 2006).

Khairullah *et al.* (2006) menjelaskan secara lebih rinci mengenai kendala yang dihadapi dalam pengembangan pertanian di lahan rawa pasang surut, berdasarkan jenis tanahnya, sebagai berikut:

- **Rawa pasang surut potensial (tipe A).** Pada lahan ini, genangan air menjadi kendala utama yang dihadapi. Tingginya kemasaman tanah yang dicirikan oleh rendahnya pH tanah dapat mempengaruhi keseimbangan reaksi kimia dan ketersediaan unsur hara dalam tanah, terutama fosfat (P). Zat beracun yang umum dijumpai di lahan pasang surut adalah aluminium (Al), besi (Fe), hidrogen sulfida (H_2S), dan air garam atau natrium. Keracunan Al biasanya terjadi pada kondisi tanah kering dan disertai dengan kahat/defisiensi P, karena senyawa ini diikat menjadi aluminium fosfat yang tidak larut dalam air. Besi ferro biasanya terdapat berlebihan pada lahan sulfat masam yang tergenang air. Hidrogen sulfida dapat terjadi pada tanah sulfat masam yang banyak mengandung bahan organik sebagai hasil reduksi sulfat dalam tanah yang tergenang. Lahan gambut memiliki kekurangan unsur mikro terutama seng (Zn), tembaga (Cu), dan boron (Bo).

- **Lahan sulfat masam.** Permasalahan di lahan sulfat masam berpangkal pada adanya lapisan pirit (FeS_2) yang mengalami oksidasi dan menimbulkan proses pemasaman tanah. Pada kondisi sangat masam ($\text{pH} < 4$), kelarutan aluminium meningkat secara drastis dan dapat meracuni tanaman. Keracunan biasanya terjadi pada kondisi tanah kering atau ketika tanah mengalami masa kekeringan yang panjang. Sebaliknya, ketika tanah tergenang, peningkatan pH dapat menyebabkan reduksi besi ferri menjadi ferro. Fenomena ini terjadi terutama pada lahan sulfat masam aktual (pirit telah teroksidasi) yang digenangi kembali oleh air hujan atau air pasang. Konsentrasi besi ferro 300-400 ppm sangat meracuni tanaman padi sawah dan mengakibatkan ketersediaan hara tanaman menjadi rendah.
- **Lahan gambut.** Permasalahan pada lahan gambut terutama dipercepatnya proses degradasi karena siklus hara oleh penebangan hutan dan daya sangga hara tanah gambut lemah. Sifat-sifat gambut yang berhubungan dengan hal tersebut adalah berat jenisnya rendah ($< 1,0 \text{ g/cm}^3$), selalu jenuh air dan mempunyai konduktivitas hidrolis tinggi, dapat terjadi penurunan permukaan tanah setelah didrainase, serta bersifat *irreversible* dan mudah terbakar apabila kering berlebihan. Selain itu, tanah gambut juga mempunyai sifat masam, kandungan hara makro terutama fosfor, kalium, dan basa-basa dapat ditukar tergolong rendah karena hilang terbawa air. Sebaliknya, unsur hara mikro, terutama Zn, Cu, dan Bo dapat terikat oleh asam organik sebagai khelat sehingga tidak tersedia bagi tanaman.
- **Lahan salin.** Di lahan ini, permasalahan lahan muncul biasanya terjadi pada musim kemarau. Kerusakan tanaman akibat tingginya tingkat salinitas sangat berhubungan erat dengan sifat osmotik larutan tanah. Salinitas yang tinggi pada zona perakaran tanaman akan menghambat

pergerakan air dan unsur hara yang terlarut di dalamnya. Bahkan air yang berada di dalam sel tanaman akan tersedot ke luar sehingga tanaman menjadi kering (mati).

Sementara itu, di lahan rawa lebak, permasalahan utama yang dihadapi adalah genangan yang berfluktuasi, tinggi pada musim hujan dan dangkal atau kering pada musim kemarau. Hal ini dapat dipahami karena wilayah tersebut memiliki tipe hidrotopologi yang beragam. Sebagaimana telah dibahas pada sub-bab sebelumnya, bahwa lahan rawa lebak terbagi menjadi tiga, yaitu: (1) Lebak pematang/dangkal, yang mempunyai topografi relatif cukup tinggi dengan genangan di musim hujan dangkal (maksimum 50 cm), dan periode waktu yang relatif pendek (<3 bulan); (2) Lebak tengahan, yang mempunyai topografi relatif agak rendah dengan genangan agak dalam (50 - 100 cm), untuk jangka waktu yang relatif agak lama (3-6 bulan); serta (3) Lebak dalam, yang mempunyai topografi paling rendah dengan genangan cukup dalam (>100 cm), dan dalam waktu yang relatif lama (>6 bulan) atau tergenang sepanjang tahun (Suwignyo, 2007).

Oleh karena itu, dengan memperhatikan kondisi hidrotopografi tersebut, maka dalam aplikasinya para petani kesulitan untuk memprediksi tinggi genangan air, terutama ketika mereka menanam dan tanamannya memasuki fase pertumbuhan vegetatif. Selama ini petani telah melakukan metode adaptasi agronomis melalui penundaan waktu tanam dan terpaksa melakukan pemindahan bibit lebih dari satu kali (Suwignyo, 2007).

Selain permasalahan genangan air, rawa lebak juga sangat dipengaruhi oleh kondisi lahan yang bereaksi sangat masam sehingga dapat menyebabkan ketersediaan Al dan Fe yang tinggi. Sebaliknya, unsur-unsur hara makro seperti nitrogen, phosphor, dan kalium yang sangat diperlukan tanaman menjadi kurang tersedia. Dalam konteks

agronomis, upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produktivitas tanaman antara lain dengan memperbaiki metode pemupukan dengan takaran, waktu dan cara pemberian yang tepat. Pemilihan kultivar yang memiliki kemampuan genetik toleran terhadap permasalahan tersebut juga merupakan faktor yang perlu mendapat perhatian. Pada dasarnya air merupakan kebutuhan mutlak bagi tanaman untuk berbagai aktivitas metabolisme di dalam tanaman. Namun demikian, pada saat ketersediaan air berlebihan sehingga tanaman menjadi tergenang atau terendam akan menyebabkan proses metabolisme terganggu (Suwignyo, 2007).

Alihamsyah & Ar-Riza (2006) menyebutkan secara lebih rinci tentang permasalahan dan potensi lahan rawa lebak untuk pertanian, berdasarkan hidrotopografinya, sebagai berikut:

- **Lebak dangkal.** Lahan ini umumnya mempunyai kesuburan tanah yang lebih baik, karena adanya proses penambahan unsur hara dari luapan air sungai yang membawa lumpur dari daerah hulu. Lahan lebak dangkal sangat potensial untuk budidaya tanaman pangan terutama padi. Dengan pengetahuan dan pengalamannya, petani telah memanfaatkan lahan ini untuk budidaya padi.
- **Lebak tengahan.** Karena genangan air di lahan lebak tengahan lebih dalam dan lebih lama dari pada di lahan lebak dangkal, maka masa pertanaman padi di lahan ini lebih belakangan dari pada di lahan lebak dangkal. Pada lokasi tertentu dimana sirkulasi air sangat jelek, maka akan terjadi pemasaman air akibat dari hasil pembusukan bahan organik yang dikenal sebagai air “bacam” atau air “bangai”, yang ditandai oleh air yang berwarna coklat kehitaman, berbau busuk yang menyengat, pH air sekitar 2,5 sehingga dapat mematikan tanaman. Wilayah yang demikian tidak cocok untuk budidaya padi “surung”,

tetapi sangat potensial untuk padi “rintak”. Usaha tani padi di lahan lebak tengahan hanya dilaksanakan pada musim kemarau sesuai dengan kondisi genangan airnya. Dengan pembuatan jaringan tata air, beragam pola tanam bisa diterapkan di lahan lebak tengahan. Jaringan tata air di lahan lebak tengahan berupa pembuatan saluran besar yang berfungsi menyalurkan air dari lahan ke sungai dan parit yang berfungsi selain menyalurkan air dari petakan lahan ke saluran besar, juga menampung air pada musim hujan untuk mengairi tanaman pada musim kemarau. Potensi lahan tengahan untuk pertanian masih luas, yang sekarang umumnya hanya ditumbuhi oleh gulma dan semak belukar.

- **Lebak dalam.** Pada musim kemarau dengan kondisi iklim yang normal, umumnya lahan masih digenangi air dan ini ditumbuhi oleh beragam gulma terutama dari jenis rumput *Paspalidium* sp. yang tumbuh subur pada kondisi lahan berair. Sehingga wilayah ini merupakan “reservoir” air dan sumber bibit ikan perairan bebas. Lahan lebak dalam jarang digunakan untuk budidaya tanaman, kecuali pada musim kering yang panjang akibat adanya anomali iklim seperti El-Nino. Pada kondisi demikian, beberapa wilayah memang potensial untuk perluasan areal tanaman. Namun demikian, dengan pembuatan jaringan tata air seperti pada lahan lebak tengahan, beragam pola tanam bisa diterapkan di lahan lebak dalam. Jaringan tata air di lahan lebak dalam berupa pembuatan saluran besar yang berfungsi menyalurkan air dari lahan ke sungai dan parit yang berfungsi selain menyalurkan air dari petakan lahan ke saluran besar, juga menampung air pada musim hujan untuk mengairi tanaman pada musim kemarau.

2.5 Potensi Sumberdaya Genetik Lahan Rawa

Dalam kondisi alamiah, lahan rawa merupakan salah satu ekosistem yang memiliki keanekaragaman hayati/genetik relatif tinggi, meliputi beragam tumbuhan, hewan (terutama ikan), termasuk biota tanah (Chairuddin, 1989). Menurut Khairullah *et al.* (2008), padi, jagung, kedelai, dan umbi-umbian adalah tanaman pangan yang dapat tumbuh di lahan rawa. Tetapi hanya padi dan umbi-umbian yang memiliki keunikan tersendiri di lahan rawa. Oleh karena itu, khusus untuk potensi genetik padi rawa akan dibahas tersendiri pada Bab 4. Sementara itu, umbi-umbian yang banyak ditemukan di lahan rawa, terutama rawa lebak adalah “ubi alabio” (*Dioscorea* sp.) dan “ubi jalar” (*Ipomoea* sp.). Menurut Sastrapradja & Rifai (1989), Indonesia merupakan pusat keragaman genetik *Dioscorea* sp.

Di lahan rawa, juga ditemukan beberapa tanaman buah eksotik, seperti “kasturi”, “hambuku”, “kuini”, “ampalam”, “hambawang”, dan “kebembem”. Semuanya tergolong kerabat mangga-mangga (*Mangifera* spp). “Hambuku” adalah sejenis mangga yang mampu tumbuh dan bertahan hidup dalam keadaan terendam. Beberapa jenis durian (*Durio* spp), seperti durian “kuning”, “pampakin”, “lai”, “lahung”, “mahrawin”, dan “si hijau” juga ditemukan di lahan rawa. Bahkan durian liar (*Durio lowianus*) diketahui mempunyai ketahanan terhadap penyakit “patch cancer” yang disebabkan *Phytophthora palmivora* dan mempunyai batang lebih tegar sehingga berprospek digunakan sebagai *rootstock plants* bagi durian komersial (Khairullah *et al.*, 2006).

Beberapa jenis manggis/*Garcinia* spp. (Biasa, Mundar dan liar), lengkung liar (Ihau/Babuku Hijau dan Kuning), dan rambutan/*Nephelium* spp. (Garuda, Antalagi, Sibatuk, Timbul, Zaenal, Maritam, dan Siwau), serta nangka/*Artocarpus* spp (Cempedak Malinau dan Cempedak Batu Mandi, Tarap, dan Kopuan), juga terdapat di lahan rawa. Selain itu, di

lahan rawa dijumpai buah-buahan lain, seperti Kapul, Balangkasua, Mentega, Pitanak, Gitaan Ramania, Rambai, dan Langsung yang mempunyai keunikan tersendiri (Khairullah *et al.*, 2006).

Namun diantara berbagai potensi sumberdaya genetik tersebut, padi lokal lahan rawa atau padi rawa adalah salah satu plasma nutfah yang sangat menarik untuk dibahas. Hal ini terutama berkaitan dengan kemampuan adaptasinya terhadap kondisi lingkungan lahan rawa yang ekstrim, berupa genangan air, kondisi pH yang rendah, keracunan logam berat, maupun salinitas. Uraian secara komprehensif mengenai potensi padi rawa, baik berdasarkan karakter morfologis, agronomis, anatomis, sitologis, fisiologis, dan biokimiawi, hingga molekular akan dibahas pada bab selanjutnya (Bab 3).

3

KERAGAMAN GENETIK TANAMAN PADI

Tanaman padi telah dibudidayakan di hampir semua benua, kecuali Antartika. Oleh karena itu, tidak mengherankan jika tanaman ini menjadi bahan makanan pokok bagi lebih dari setengah penduduk dunia.

Keragaman atau sumberdaya genetik (SDG) dapat didefinisikan sebagai total variasi atau variabilitas di dalam sistem tatanan organisme, baik pada tingkat bioregional, lansekap (*landscape*), ekosistem, dan individu. Keragaman ini berlaku pula pada tingkat spesies, populasi dan individu, serta populasi maupun gen (Heywood & Watson, 1995). IPGRI (1993) mendefinisikan bahwa sumberdaya genetik dapat dinyatakan sebagai bahan genetik tanaman yang memiliki nilai sebagai suatu sumber untuk generasi sekarang dan mendatang.

Menurut Hawkes *et al.* (2000), sumberdaya genetik ini dapat dikelompokkan menjadi tujuh golongan, sebagai berikut:

1. Bentuk-bentuk primitif, baik berasal dari tanaman budidaya atau kultivar lokal. Merupakan hasil pertanian tradisional yang berkembang dengan menggunakan praktek pertanian tradisional.
2. Kultivar modern, merupakan plasma nutfah yang penting ketika kultivar ini tidak beredar lagi di masyarakat.

3. Kultivar yang tidak terpakai lagi, adalah kultivar yang dihasilkan oleh pemulia (*breeder*) yang tidak memiliki nilai komersial, namun masih memiliki gen yang berguna untuk tujuan pemuliaan.
4. Galur pemuliaan atau stok genetik, yaitu materi yang digunakan untuk membentuk kultivar modern, didapatkan dengan cara pemuliaan tanaman atau seleksi.
5. Ras gulma, hal ini terjadi sebagai bagian dari kompleksitas tanaman gulma di dalam pusat gen atau dimanapun juga. Gulma ini mungkin memiliki gen yang berguna dari spesies liar.
6. Kerabat spesies liar, adalah kelompok tanaman yang terbentuk di daerah pusat gen tanaman yang dibudidayakan atau tidak dibudidayakan.
7. Spesies liar lainnya, adalah spesies tanaman yang memiliki nilai guna untuk manusia sebagai tanaman obat, estetika dan berguna untuk pemulia tanaman pada masa mendatang karena diperkirakan memiliki gen yang berguna dan mungkin tidak tersedia pada tanaman budidaya.

3.1 Mengenal Tanaman Padi

Padi, yang secara taksonomis termasuk genus *Gramineae* (*Poaceae*), atau lebih dikenal dengan kelompok rumput-rumputan, merupakan tanaman yang telah dikenal lama oleh masyarakat kita. Bahkan saat ini tanaman padi telah menjadi makanan pokok bagi hampir seluruh penduduk Indonesia, dan bagi lebih dari separuh penduduk dunia. Bagi sebagian pihak, tanaman padi mungkin relatif sulit dibedakan secara morfologis dengan kelompok rumput-rumputan (*Poaceae*) yang lain. Ternyata, keberadaan telinga daun (*auricle*) dan lidah daun (*ligule*) pada tanaman padi menjadi kunci pembeda dari kelompok rumput-rumputan yang lain (Gambar 3.1). Telinga daun merupakan organ dengan struktur

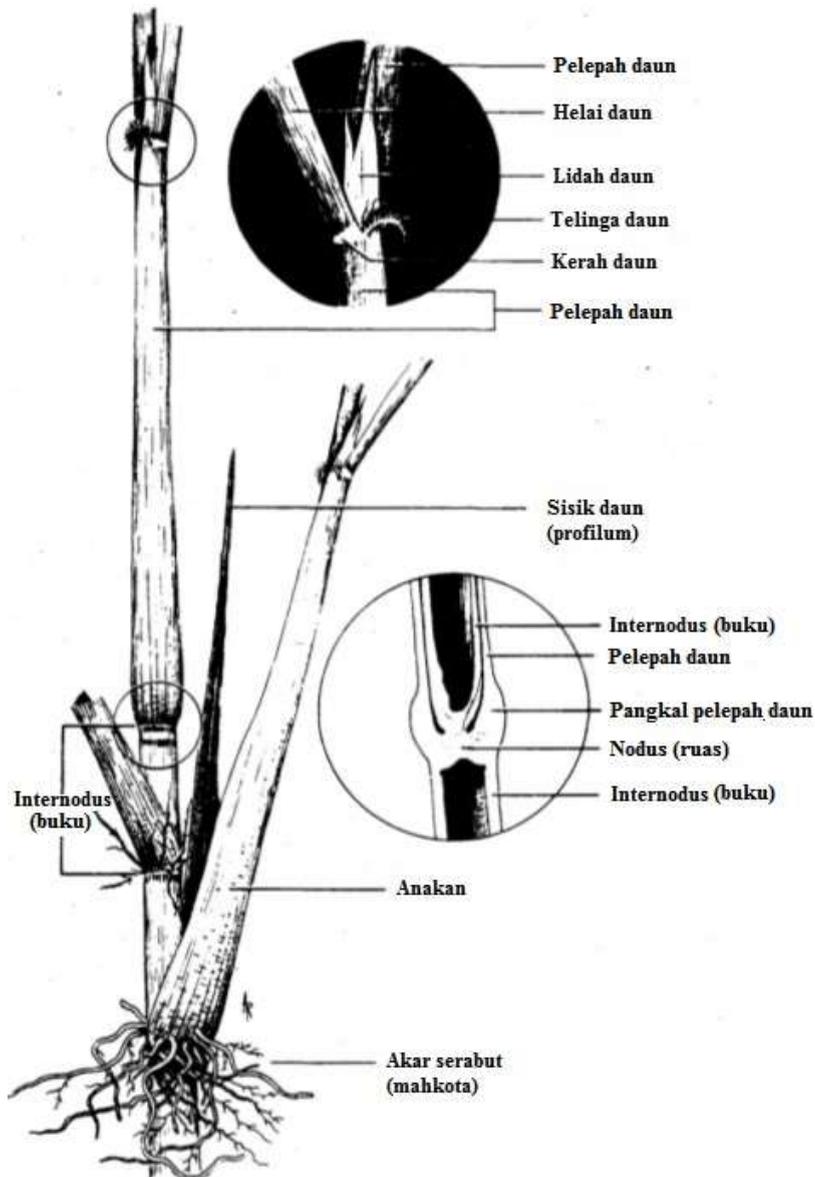
seperti rambut yang tersusun berderet pada pangkal daun tanaman padi. Sementara itu, lidah daun adalah organ berbentuk segitiga, menempel pada buluh, berada di tengah, dan terletak dekat dengan telinga daun.

3.1.1 Karakteristik morfologis

Secara umum, tanaman padi memiliki tiga fase pertumbuhan, meliputi: (1) Fase vegetatif, dimulai dari perkecambahan sampai inisiasi (awal pembentukan) malai; (2) Fase reproduktif, dimulai dari inisiasi malai sampai pembungaan; serta (3) Fase pematangan, dari pembungaan sampai pematangan biji. Organ-organ khas yang terbentuk selama fase vegetatif sampai pematangan adalah: akar, batang utama dan sejumlah anakan (batang samping), daun, malai, bunga, serta biji ketika matang. Gambar 3.1 memperlihatkan perawakan atau habitus tanaman padi secara keseluruhan.

Tanaman padi memiliki tinggi antara 0,4 m sampai lebih dari 6 m, dengan batang berbentuk bulat, berongga, beruas, dan berbulu. Tanaman padi dewasa memiliki batang utama dan sejumlah anakan. Masing-masing batang memiliki sejumlah ruas atau *nodus* (antara 13-16 ruas) dan *internodus* yang berbeda. Adanya perbedaan tinggi tanaman, jumlah batang dan anakan sangat tergantung ragam kultivar dan kondisi lingkungan setempat.

Tanaman padi mempunyai daun berbentuk lanset dan memanjang. Daun pertama yang belum sempurna (rudimenter) disebut profilum. Daun pertama ini terletak pada dasar anakan, terdiri atas 2 sisik (seperti daun kecil pada bunga) dan tanpa helaian daun. Daun paling atas dan terletak di bawah malai disebut daun bendera. Helaian daun dan pelepah menempel pada ruas. Pada pangkal daun terdapat telinga daun dan lidah daun (lihat Gambar 3.1).

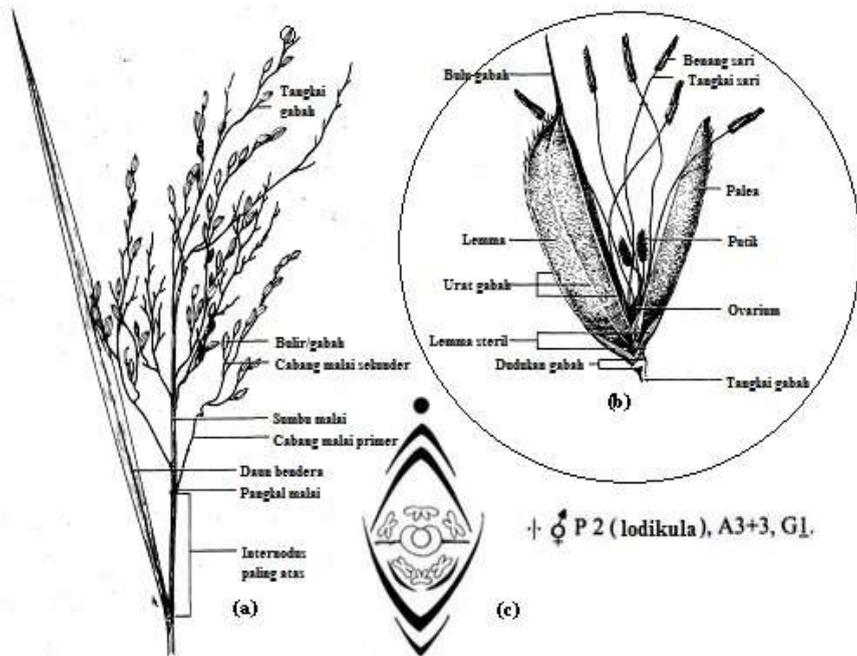


Gambar 3.1. Perawakan atau habitus tanaman padi

Sumber: diadaptasi dari Chang & Bardenas (1965)

Khusus untuk bunga atau organ reproduksi, tanaman padi dilengkapi dengan malai yang terletak di ujung dan dekat dengan daun bendera. Struktur malai terdiri atas dasar malai, malai utama, cabang

primer dan sekunder (kadang ditemukan cabang tersier), tangkai gabah, kedudukan gabah, dan gabah itu sendiri (Gambar 3.2a). Masing-masing malai secara umum menghasilkan 50-300 gabah atau bunga. Malai padi memperlihatkan susunan bunga yang sempurna, karena tersusun atas bunga jantan (*stamen*) dan betina (*pistil*), termasuk lodikula. Stamen berjumlah 6, lodikula 2 dan putik 2, terdiri atas kepala putik (*stigma*) dan *stilus*, serta *ovarium*. Bagian-bagian bunga tersebut ditutup oleh *lemma* dan *palea*, kadang dilengkapi dengan bulu (*awn*) yang terdapat pada ujung gabah (Gambar 3.2b).



Gambar 3.2. Bunga padi: (a) bulir majemuk bertipe malai; (b) susunan bunga padi; (c) diagram dan rumus bunga

Sumber: diadaptasi dari Chang & Bardenas (1965); Yoshida (1981)

3.1.2 Ragam genetik

Saat ini, terdapat dua spesies padi yang telah dibudidayakan manusia, yaitu *Oryza sativa* yang lebih dikenal sebagai padi Asia dan *O.*

glaberrima yang lebih dikenal dengan nama padi Afrika. Saat ini, *O. sativa* telah dibudidayakan di hampir seluruh bagian dunia, sementara *O. glaberrima* hanya dibudidayakan di sebagian daerah Afrika Barat. Kedua jenis padi ini memiliki jumlah dan tipe kromosom yang sama, yaitu $2n = 24$ dan AA. Selain kedua jenis ini, terdapat pula 22 spesies padi lainnya yang sebagian besar termasuk tipe liar dan memiliki jumlah kromosom $2n = 24$ atau $4n = 48$, dengan tipe genom beragam, yaitu AA, BB, CC, BBCC, CCDD, EE, FF, GG, HHJJ, dan HHKK (lihat Tabel 3.1).

Tabel 3.1. Ragam spesies padi (*Oryza* spp.) di dunia, termasuk jumlah kromosom, tipe genom, dan distribusinya

Spesies	Jumlah Kromosom (2n)	Tipe Genom	Distribusi
<i>O. sativa</i> complex			
<i>O. sativa</i> L.	24	AA	Seluruh dunia
<i>O. glaberrima</i> Steud.	24	A ^g A ^g	Afrika Barat
<i>O. nivara</i> Sharma et Shastry	24	AA	Asia tropis dan subtropis
<i>O. rufipogon</i> Griff.	24	AA	Asia tropis dan subtropis, Australia tropis
<i>O. breviligulata</i> A. Chev Et et Roehr (<i>O. barthii</i>)	24	A ^g A ^g	Afrika
<i>O. longistaminata</i> A. Chev. et Roehr.	24	A ^l A ^l	Afrika
<i>O. meridionalis</i> Ng	24	A ^m A ^m	Australia tropis
<i>O. glumaepatula</i> Steud.	24	A ^{gp} A ^{gp}	Amerika Selatan dan Tengah
<i>O. officinalis</i> complex			
<i>O. punctata</i> Kotschy ex Steud.	24, 48	BB, BBCC	Afrika
<i>O. minuta</i> J.S. Presl. Ex C.B. Presl.	48	BBCC	Filipina, Papua Nugini
<i>O. officinalis</i> Wall ex Watt	24	CC	Asia tropis dan sub tropis, Australia tropis
<i>O. rhizomatis</i> Vaughan	24	CC	Sri Lanka

Tabel 3.1. Lanjutan....

Spesies	Jumlah Kromosom (2n)	Tipe Genom	Distribusi
<i>O. eichingeri</i> A. Peter	24	CC	Asia Selatan, Amerika Selatan, Afrika Timur
<i>O. latifolia</i> Desv.	48	CCDD	Amerika Selatan dan Tengah
<i>O. alta</i> Swallen	48	CCDD	Amerika Selatan dan Tengah
<i>O. grandiglumis</i> (Doell) Prod	48	CCDD	Amerika Selatan dan Tengah
<i>O. australiensis</i> Domin (Mor. ex Steud.) Baill	24	EE	Australia tropis
<i>O. meyeriana</i> complex			
<i>O. granulata</i> Nees et Arn. ex Watt	24	GG	Asia Selatan dan Tenggara
<i>O. meyeriana</i> (Zoll. Et)	24	GG	Asia Selatan
<i>O. ridleyi</i> complex			
<i>O. longiglumis</i> Jansen	48	HHJJ	Papua dan Papua Nugini
<i>O. ridleyi</i> Hook. F.	48	HHJJ	Asia Selatan
Belum terklasifikasi			
<i>O. brachyantha</i> A. Chev. et Roehr.	24	FF	Afrika
<i>O. schlechteri</i> Pilger	48	HHKK	Papua Nugini

Sumber: Mondal & Henry (2018)

Menurut Li (2003), padi liar yang termasuk genus *Oryza* meliputi sekitar 43 spesies yang dapat diklasifikasikan menjadi 4 kelompok utama, yaitu:

1. Kelompok *O. ridleyi* dan *O. meyeriana*, terdiri atas spesies yang terdapat di hutan rawa dataran rendah dan sisi bukit hutan dataran tinggi;
2. Kelompok *O. officinalis*, terdiri atas spesies perenial (tahunan) yang menempati daerah tropis;
3. Kelompok *O. sativa*, meliputi 2 kultigen dan kerabat liarnya;
4. Kelompok spesies *O. schlechteri* (tetraploid) dan *O. brachyantha* (diploid) yang berbeda dari ketiga kelompok sebelumnya.

Berdasarkan sistem klasifikasi lain, kerabat padi liar *O. perennis* meliputi spesies padi liar Asia (*O. rufipogon*), Afrika (*O. longistaminata* atau *O. barthii*), dan Oceania (*O. meridionalis*).

Khusus untuk *O. sativa*, padi ini memiliki dua kerabat dekat, yaitu *O. nivara* dan *O. rufipogon* yang tersebar di wilayah Asia Selatan, Tenggara dan Timur. Kedua jenis padi tersebut bersifat diploid ($2n = 24$), memiliki tipe genom yang sama (AA) dan turunan mereka bersifat fertil sebagian (Li, 2003). Sementara itu, spesies *O. glaberrima* berkerabat dekat dengan *O. barthii*. Kedua spesies tersebut adalah padi semusim yang bersifat diploid ($2n = 24$, AA). Diduga nenek moyang dari *O. sativa* adalah *O. rufipogon* yang tetap hidup sebagai padi tahunan dan *O. nivara* sebagai padi semusim, sedangkan *O. glaberrima* diduga berasal dari *O. longistaminata* yang hidup sebagai tanaman tahunan, dan *O. barthii* yang hidup sebagai tanaman semusim (Li, 2003). Meskipun spesies padi liar memiliki banyak kelemahan, misalnya kerdil, perawakan seperti rumput dan produktivitas sangat rendah, namun sangat berguna sebagai sumber gen untuk cekaman biotik (hama dan penyakit) dan abiotik.

Spesies *O. sativa* sendiri terbagi menjadi 2 sub-spesies budidaya yang sangat terkenal, yaitu *indica* (*hsien*) dan *japonica* (terkadang disebut *sinica* atau *keng*). Penggolongan ini pertama kali diajukan oleh Kato dan koleganya pada tahun 1930, yang menyebutkan bahwa tipe *indica* diperlihatkan oleh kultivar padi asal India, Cina Selatan, Taiwan, Sri Lanka, Jawa dan wilayah tropis lainnya. Sementara itu, sub-spesies *japonica* ditemukan di Jepang, Korea dan Cina Utara. Tipe *javanica* (berasal dari Pulau Jawa) kemudian dipisahkan menjadi sub-spesies tersendiri, karena memiliki perbedaan ciri fenotip antara *indica* dan *japonica*. Namun para pemulia di beberapa negara lebih menyukai menyebut *tropical japonica* daripada *javanica*.

Chang (1988) merumuskan perbedaan ketiga sub-spesies *O. sativa* tersebut berdasarkan perbedaan karakteristik morfologi dan wilayah adaptasi agroekosistemnya, sebagai berikut:

1. Sub-spesies *indica*, umumnya tersebar di negara-negara beriklim tropis.
2. Sub-spesies *japonica*, menyebar di negara-negara subtropis seperti Jepang, Korea, Eropa (Spanyol, Portugal, Perancis, Bulgaria, Hongaria, Yunani, Yugoslavia), Afrika (Mesir), Australia, Amerika Utara, dan Amerika Selatan.
3. Sub-spesies *javanica* atau *subjaponica*, atau *japonica tropis*, atau *indojaponica* menyebar di Jawa, Bali, dan Lombok. Contoh subspecies ini antara lain “Pandanwangi” (Cianjur), “Rojolele” (Klaten), “Ketan Bulu Putih” (Garut), “Kewal” (Banten). Petani di Indonesia, mengenal padi *javanica* sebagai “padi bulu”.

Perbedaan secara jelas tentang ketiga sub-spesies padi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Selain padi budidaya, *O. sativa* juga memiliki kerabat padi liar diluar genus *Oryza*, diperkirakan sekitar 20 spesies. *Zizania palustris* atau *Z. aquatica* L. merupakan salah satu padi liar Indian yang tergolong genus berbeda dan terpisah dari rumpun *Poaceae*. Padi liar ini terdapat di Amerika Utara dan secara tradisional telah dibudidayakan oleh warga asli Amerika di wilayah *Great Lakes*. Padi ini juga telah diproduksi secara komersial di wilayah Minnesota, Wisconsin, California bagian Utara, dan Manitoba, Kanada.

Tabel 3.2. Perbedaan padi sub-spesies *indica*, *japonica* dan *javanica*

Karakter pembeda	<i>Indica</i>	<i>japonica</i>	<i>Javanica</i>
Daun	Lebar sampai sempit, berwarna hijau muda	Sempit, berwarna hijau tua	Lebar, kaku, berwarna hijau muda
Gabah	Panjang sampai pendek, ramping, agak pipih	Pendek, agak bulat	Panjang, lebar, dan tebal
Anakan	Banyak	Sedang	Sedikit
Tinggi tanaman	Tinggi sampai sedang	Pendek sampai sedang	Tinggi
Bulu	Kebanyakan tidak berbulu	Ada yang tidak berbulu sampai berbulu panjang	Berbulu panjang tidak berbulu
Jaringan tanaman	Lembut	Keras	Keras
Kepekaan terhadap fotoperiodisme	Beragam	Tidak ada sampai agak peka	Agak peka
Kadar amilosa	23-31%	10-24%	20-25%
Suhu gelatinisasi	Bervariasi	Rendah	Rendah

Sumber: diadaptasi dari Chang (1988); Sitaresmi *et al.* (2013)

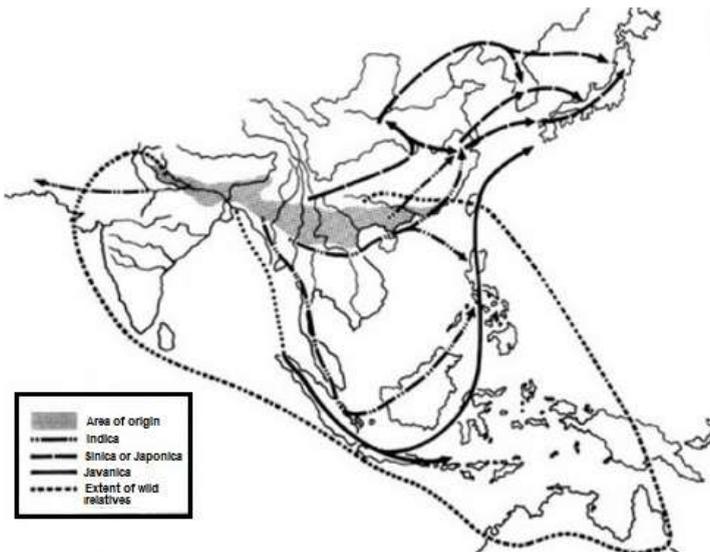
3.1.3 Asal usul, sebaran dan budidaya

Tanaman padi, sebagaimana telah dibahas pada bagian awal bab ini, merupakan plasma nutfah yang telah dikenal lama oleh masyarakat Asia, termasuk Indonesia, bahkan saat ini telah menjadi makanan pokok bagi lebih dari setengah penduduk dunia. Berdasarkan penelusuran sejarah, meskipun masih menjadi perdebatan, tanaman ini diduga berasal dari wilayah Cina Selatan, kemudian menyebar secara luas ke berbagai wilayah di dunia.

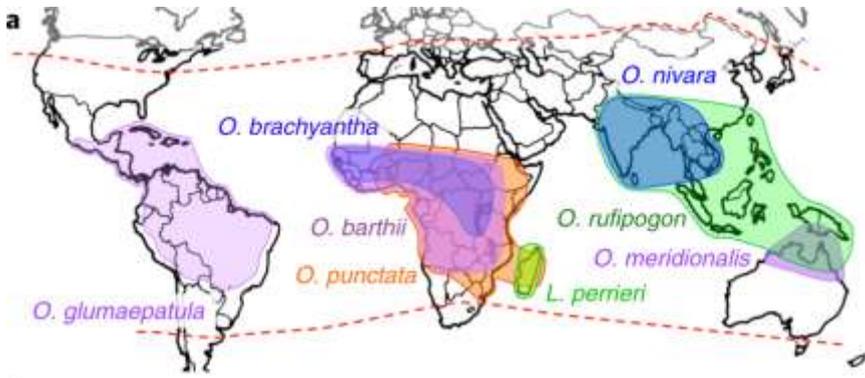
Keberadaan Sungai Yangtze di China menjadi faktor penting dalam penyebaran tanaman padi ke berbagai wilayah, terutama Asia. Keberadaan Sungai Gangga di Asia Selatan dan Tenggara, Sungai Brahmaputra di India Utara, Sungai Irrawaddy di Burma, serta Sungai Mekong di Vietnam memberikan andil penting pula dalam penyebaran tanaman padi ke

berbagai wilayah di Asia, termasuk Indonesia. Chang (2000) telah membuat deskripsi mengenai jalur evolusi dan penyebaran tanaman padi di wilayah Asia (Gambar 3.3). Sementara itu, Stein *et al.* (2018) membuat jalur evolusi dan penyebaran tanaman padi di dunia (Gambar 3.4).

Berdasarkan bukti-bukti arkeologis, analisis palinologi (polen) serta literatur kuno menunjukkan bahwa tanaman padi pertama kali didomestikasi dan dibudidayakan di lembah dataran sedang Yangzi, Provinsi Hunan, Cina pada sekitar tahun 7500-8500 SM. Tanaman tersebut kemudian menyebar secara perlahan ke wilayah Asia Tenggara dan Asia Selatan, pada kira-kira 4000 SM. Pada tahun 3000 SM, tanaman tersebut menyebar dari India ke wilayah Timur Tengah. Dari China tanaman tersebut menyebar kearah timur yaitu Korea dan Jepang sekitar 2500 SM. Dari Timur Tengah tanaman tersebut berkembang ke Mesir dan daerah Mediterania pada 1000-2000 SM.



Gambar 3.3. Jalur evolusioner dan penyebaran tanaman padi di Asia
Sumber: Chang (2000)



Gambar 3.4. Jalur evolusioner dan penyebaran tanaman padi di dunia

Sumber: Stein *et al.* (2018)

Selama ribuan tahun dalam proses domestikasinya, tanaman padi telah membentuk keragaman genetik yang sangat luas. Hal tersebut diperlihatkan oleh tingginya jumlah kultivar padi hingga saat ini. Menurut Li (2003), sampai saat ini terdapat sekitar 120.000 kultivar padi *O. sativa* di seluruh dunia, sehingga merupakan bank gen terbesar dalam kerajaan tumbuhan. Namun Parikh *et al.* (2014), memperkirakan bahwa sampai saat ini terdapat lebih dari 140.000 tanaman padi yang tergolong spesies *O. sativa*. Di Indonesia, berdasarkan catatan Balai Besar Penelitian Tanaman Padi tahun 2005, terdapat lebih dari 3500 aksesori plasma nutfah padi. Koleksi ini terdiri atas kultivar lokal sebanyak 2000 aksesori, kultivar padi liar dan lainnya berupa galur elit serta kultivar. Plasma nutfah yang sangat berharga merupakan modal dasar untuk perakitan kultivar unggul.

Saat ini, tanaman padi telah dibudidayakan pada lahan lebih dari 144 juta hektar (ha) di seluruh dunia, pada garis lintang 50 derajat utara di Cina Utara sampai 35 derajat lintang selatan di New South Wales, Australia dan Argentina (Ismail, 2013). Oleh karena itu, tanaman ini merupakan salah satu tanaman pangan terpopuler di dunia dan menjadi bahan makanan pokok bagi lebih dari setengah penduduk dunia. Bahkan tanaman ini telah

dijadikan barometer utama dalam program ketahanan pangan dan stabilitas sosio-ekonomi suatu negara (Zeigler & Barclay, 2008).

3.2 Analisis Keragaman Genetik Tanaman Padi

Analisis keragaman genetik merupakan salah satu kegiatan penting untuk mendukung program pelestarian dan pemuliaan tanaman pangan. Analisis ini dapat dilakukan dengan menggunakan penanda konvensional atau non-molekular (misalnya penanda morfologi, agronomi, anatomi, sitologi, dan biokimiawi), serta molekular (Duan *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2015; Sakai *et al.*, 2014).

Pada tanaman padi lokal, analisis keragaman genetik telah dilakukan menggunakan penanda non-molekular, molekular dan gabungan keduanya. Tabel 3.3-3.5 menyajikan kegiatan ketiganya, baik dalam skala lokal maupun global.

Tabel 3.3. Analisis keragaman genetik padi lokal di beberapa negara menggunakan penanda konvensional/non-molekuler

No.	Tahun	Penanda yang Digunakan	Negara	Peneliti	Skala Penelitian
1.	2011	Agronomi & Biokimia	India	Marathe <i>et al.</i> (2011)	Lokal
2.	2011	Morfo-agronomi	India	Pandey <i>et al.</i> (2011)	Lokal
3.	2011	Agronomi	Iran	Sadeghi (2011)	Global
4.	2011	Morfo-fisiologi	India	Singh & Pandey (2011)	Lokal
5.	2011	Agro-morfologi	Indonesia	Wahdah & Langai (2011)	Lokal
6.	2011	Agro-morfologi	Brazil	do Nascimento <i>et al.</i> (2011)	Global
7.	2011	Morfologi	Sri Lanka	Suriyagoda <i>et al.</i> (2011)	Global

Tabel 3.3. Lanjutan

No.	Tahun	Penanda yang Digunakan	Negara	Peneliti	Skala Penelitian
8.	2012	Morfologi	Indonesia	Kristantini <i>et al.</i> (2012)	Lokal
9.	2013	Morfologi	India	Latha <i>et al.</i> (2013)	Lokal
10.	2013	Agronomi	Cina	Dai <i>et al.</i> (2013)	Lokal
11.	2013	Agronomi	India	Ray <i>et al.</i> (2013)	Global
12.	2013	Morfo-agronomi	India	Chakravorty <i>et al.</i> (2013)	Lokal
13.	2013	Agro-morfologi	India	Sanghera <i>et al.</i> (2013)	Lokal
14.	2013	Agro-morfologi	Nepal	Tripathi <i>et al.</i> (2013)	Lokal
15.	2014	Morfo-agronomi	India	Parikh <i>et al.</i> , (2014)	Lokal
16.	2014	Morfo-agronomi	India	Das & Das (2014)	Lokal
17.	2014	Morfo-agronomi	India	Semwal <i>et al.</i> (2014)	Lokal
18.	2014	Agronomi	Cina	Chuan-Guang <i>et al.</i> (2014)	Global
19.	2014	Biokimia	Malaysia	Lee <i>et al.</i> (2014)	Global
20.	2014	Kromosom	Indonesia	Mursyidin <i>et al.</i> (2014)	Lokal
21.	2014	Biokimia	India	De & Nag (2014)	Global
22.	2014	Agro-morfologi	India	Tandekar & Koshta (2014)	Lokal
23.	2014	Morfologi	Indonesia	Shinta <i>et al.</i> (2014)	Lokal
24.	2014	Biokimia	Cina	Tong <i>et al.</i> (2014)	Lokal
25.	2015	Morfologi	India	Sinha <i>et al.</i> (2015)	Lokal
26.	2015	Agronomi	India	Tuhina-Khatun <i>et al.</i> (2015)	Global
27.	2015	Morfologi	Sri Lanka	Wijayawardhana <i>et al.</i> (2015)	Global

Sumber: Mursyidin (2018)

Tabel 3.4. Analisis keragaman genetik padi lokal di beberapa negara menggunakan penanda molekuler

No.	Tahun	Penanda yang Digunakan	Negara	Peneliti	Skala Penelitian
1.	2011	RAPD	Pakistan	Arshad <i>et al.</i> (2011)	Lokal
2.	2011	AFLP	Sri Lanka	Rajkumar <i>et al.</i> (2011)	Global
3.	2011	SSR	Cina	Zhang <i>et al.</i> (2011)	Global
4.	2011	SNP	Jepang	Arai-Kichise <i>et al.</i> (2011)	Global
5.	2012	SSR	India	Pandey <i>et al.</i> (2012)	Lokal
6.	2012	InDel	Beberapa Negara	Liu <i>et al.</i> , (2012)	Global
7.	2012	Mikrosatelit	Cina	Sun <i>et al.</i> (2012)	Lokal
8.	2012	Mikrosatelit	Myanmar	Myint <i>et al.</i> (2012)	Lokal
9.	2012	SSR + STS	Taiwan	Lin <i>et al.</i> (2012)	Global
10.	2012	InDel	Thailand	Chakhonkaen <i>et al.</i> (2012)	Global
11.	2012	SNP	Jepang	Yonemaru <i>et al.</i> (2012)	Global
12.	2012	SNP & InDel	Arab Saudi	Zhang <i>et al.</i> (2012)	Lokal
13.	2013	Mikrosatelit	India	Yadav <i>et al.</i> (2013)	Global
14.	2013	SSR	India	Das <i>et al.</i> (2013)	Lokal
15.	2013	SSR	Cina	Li-Na <i>et al.</i> (2013)	Global
16.	2013	SSR	India	Pachauri <i>et al.</i> (2013)	Global
17.	2013	SSR	India	Choudhary <i>et al.</i> (2013)	Global
18.	2013	SNP	Indonesia	Utami <i>et al.</i> (2013)	Global
19.	2014	SSR	Bangladesh	Yesmin <i>et al.</i> (2014)	Global
20.	2014	InDel	India	Choudhury <i>et al.</i> (2014)	Lokal
21.	2014	SSR	Korea Utara	Kim <i>et al.</i> (2014)	Global

Tabel 3.4. Lanjutan

No.	Tahun	Penanda yang Digunakan	Negara	Peneliti	Skala Penelitian
22.	2014	SSR	3 Negara	Hoque <i>et al.</i> (2014)	Global
23.	2014	SNP	India	Choudhury <i>et al.</i> (2014)	Global
24.	2015	SSR	India	Kumbhar <i>et al.</i> (2015)	Global
25.	2015	SSR	Indonesia	Sutoro <i>et al.</i> (2015)	Lokal
26.	2015	SSR	8 Negara	Ahmad <i>et al.</i> (2015)	Global
27.	2015	SSR	India	Salgotra <i>et al.</i> (2015)	Lokal
28.	2015	SSR	India	Roy <i>et al.</i> (2015)	Global
29.	2015	SSR	13 Negara	Nachimuthu <i>et al.</i> (2015)	Global
30.	2015	ILP & SSR	China	Ming <i>et al.</i> (2015)	Lokal
31.	2015	SNP	2 Negara	Travis <i>et al.</i> (2015)	Global
32.	2016	SSR	Myanmar	Wunna <i>et al.</i> (2016)	Global
33.	2016	SNP	Sri Lanka	Munasinghe & Price (2016)	Global
34.	2016	SNP	Beberapa Negara	Reig-Valiente <i>et al.</i> (2016)	Global
35.	2016	SNP	Beberapa Negara	Kim <i>et al.</i> (2016)	Global
36.	2016	SNP	Beberapa Negara	Tong <i>et al.</i> (2016)	Global

Sumber: Mursyidin (2018)

Tabel 3.5. Analisis keragaman genetik padi lokal di beberapa negara menggunakan gabungan penanda molekuler dan non-molekuler

No.	Tahun	Penanda yang Digunakan	Negara	Peneliti	Skala Penelitian
1.	2011	Agro-morfologi & SSR	Jepang	Bosetti <i>et al.</i> (2011)	Global
2.	2011	Agro-morfologi & SSR	79 Negara	Ali <i>et al.</i> (2011)	Global
3.	2013	Agronomi & SSR	Beberapa Negara	Cai-Hong <i>et al.</i> (2013)	Global

Tabel 3.5. Lanjutan

No.	Tahun	Penanda yang Digunakan	Negara	Peneliti	Skala Penelitian
1.	2011	Agro-morfologi & SSR	Jepang	Bosetti <i>et al.</i> (2011)	Global
2.	2011	Agro-morfologi & SSR	79 Negara	Ali <i>et al.</i> (2011)	Global
3.	2013	Agronomi & SSR	Beberapa Negara	Cai-Hong <i>et al.</i> (2013)	Global
4.	2013	Biokimia & SNP	Italia	Caffagni <i>et al.</i> (2013)	Global
5.	2014	SSR & Morfologi	Vietnam	Lang <i>et al.</i> (2014)	Global
6.	2014	Morfologi & AFLP	Afrika Barat	Mokuwa <i>et al.</i> (2014)	Global
7.	2016	Morfologi dan Biokimia	India	Aiswariya & Thomas (2016)	Lokal

Sumber: Mursyidin (2018)

Berdasarkan Tabel 3.3 dan 3.4 diketahui bahwa sampai saat ini penanda morfologis masih digunakan untuk menganalisis keragaman genetik tanaman padi. Secara umum, meskipun penanda morfologi memiliki keterbatasan, tetapi penanda ini sangat mudah diaplikasikan, tidak memerlukan biaya yang tinggi dan merupakan penanda awal yang dapat digunakan untuk mengevaluasi keragaman genetik tanaman padi (Wijayawardhana *et al.*, 2015). Sementara itu, aplikasi penanda molekuler, terutama SSR (*Simple sequence repeats*) sangat intensif digunakan para peneliti untuk mempelajari dan menentukan keragaman genetik tanaman padi selama beberapa tahun terakhir. Hal ini karena penanda tersebut memiliki tingkat polimorfisme tinggi, menggunakan sistem PCR yang mudah dan memiliki kemampuan untuk mendeteksi alel pada gel elektroforesis. Namun demikian, penanda SSR memiliki kelemahan dalam menentukan ukuran alel secara tepat dan bekerja dalam sistem *throughput* yang tinggi (Utami *et al.*, 2013).

Single Nucleotide Polymorphism (SNP) merupakan penanda molekuler yang saat ini lebih disukai oleh para peneliti untuk menganalisis keragaman genetik tanaman padi. Hal ini karena penanda SNP memiliki tingkat polimorfisme yang tinggi di dalam genom sebagian besar tumbuhan (Reig-Valiente *et al.*, 2016). Disamping itu, penanda tersebut memiliki efisiensi yang tinggi dalam aplikasinya, sehingga dapat meningkatkan kecepatan dan mengurangi biaya analisis secara keseluruhan (Utami *et al.*, 2013).

Berdasarkan ketiga Tabel tersebut, diketahui bahwa analisis keragaman genetik padi lokal lebih banyak dilakukan dalam skala global (55%) daripada skala lokal (45%). Hal ini diduga karena analisis dalam skala global mampu memperlihatkan gambaran yang baik tentang struktur populasi suatu plasma nutfah. Meskipun hasil analisisnya belum mampu memberikan informasi spesifik untuk mengungkapkan potensi plasma nutfah dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Di sisi lain, analisis keragaman genetik tanaman padi dalam skala lokal justru memberikan gambaran yang lebih rinci dan mendalam tentang potensi plasma nutfah tersebut dan interaksinya dengan lingkungan maupun budaya setempat (Thomson *et al.*, 2009). Oleh karena itu, analisis keragaman genetik tanaman padi dalam skala lokal memiliki peluang yang sangat baik untuk dilakukan (Yesmin *et al.*, 2014).

4

KERAGAMAN GENETIK PADI RAWA (Studi Kasus di Kalimantan Selatan)

Padi rawa yang merupakan bagian kultivar padi lokal merupakan sumberdaya genetik yang menyediakan sejumlah gen baru untuk mendukung peningkatan kualitas tanaman pangan

Padi rawa yang merupakan bagian dari kultivar padi lokal adalah tanaman hasil domestikasi yang terbentuk secara luas melalui seleksi alam maupun adaptasi lingkungan dan budaya setempat. Oleh karena itu, tanaman ini memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan dan faktor lainnya, seperti serangan hama dan patogen. Di samping itu, kultivar padi lokal secara umum menunjukkan pula variasi genetik yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber plasma nutfah dalam program pelestarian dan pemuliaan tanaman pangan.

Kultivar padi lokal, dikenal pula dengan istilah varietas lokal, varietas tradisional, varietas petani, dan ras lahan (*landrace*), merupakan sumberdaya genetik yang menyediakan sejumlah gen baru untuk mendukung peningkatan kualitas tanaman pangan. Oleh karena itu,

introduksinya dalam program tersebut diharapkan dapat memperluas lungkang gen (*gene pool*) kultivar baru yang akan dirakit.

Di beberapa negara termasuk Indonesia, keberadaan kultivar padi lokal memiliki nilai penting, sehingga masih dipertahankan. Hal ini karena kultivar tersebut mampu memberikan sumbangan yang besar bagi ketahanan pangan penduduk lokal. Hasil survei tahun 2004 di 20 provinsi penghasil padi di Indonesia, menunjukkan bahwa preferensi petani terhadap kultivar padi lokal tergolong tinggi. Sebagai contoh, preferensi petani di Kalimantan Selatan terhadap kultivar padi lokal mencapai 92,50%. Tingginya preferensi petani terhadap kultivar padi lokal disebabkan beberapa alasan, antara lain mutu gabah dan rasa nasi yang disukai oleh petani atau penduduk setempat. Namun demikian, sebagian besar kultivar padi lokal yang ada saat ini belum dimanfaatkan secara optimal dalam program pelestarian dan pemuliaan tanaman pangan.

4.1 Ragam Genetik Padi Rawa

Di Indonesia, diperkirakan terdapat lebih dari 300 kultivar padi lokal yang terdapat di lahan rawa. Hasil eksplorasi yang dilakukan oleh Balai Penelitian Pertanian Rawa (Balittra), Kalimantan Selatan dari tahun 1994 sampai 2002, terutama di lahan rawa Kalimantan (Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Timur) dan Sumatera (Sumatera Selatan dan Lampung) didapatkan sebanyak 221 kultivar padi rawa. Dari jumlah tersebut, 175 kultivar berasal dari lahan rawa pasang surut dan 46 kultivar berasal dari lahan rawa lebak (Khairullah *et al.*, 2008).

Khusus di lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan, Mursyidin *et al.* (2017) berhasil mengoleksi sebanyak 40 kultivar padi rawa (Tabel 4.1). Secara umum, padi rawa yang dikoleksi dari wilayah tersebut mengelompok kedalam lima grup utama, yaitu "Siam", "Unus", "Pandak", "Adil", dan "Bayar". Kultivar padi "Siam" paling banyak dijumpai di

lahan rawa tersebut, dengan persentase keberadaan sebesar 55% (lihat Gambar 4.1a). Disamping itu, berdasarkan ragam sub-spesies, padi rawa Kalimantan Selatan mengelompok menjadi padi *javanica* dan *indica*. Adapun menurut tipe endospermya, menjadi padi ketan dan non-ketan (biasa). Berdasarkan hasil analisis, padi *javanica* lebih dominan daripada *Indica*, sedangkan padi biasa lebih dominan dibandingkan padi ketan (Gambar 4.1b dan c).

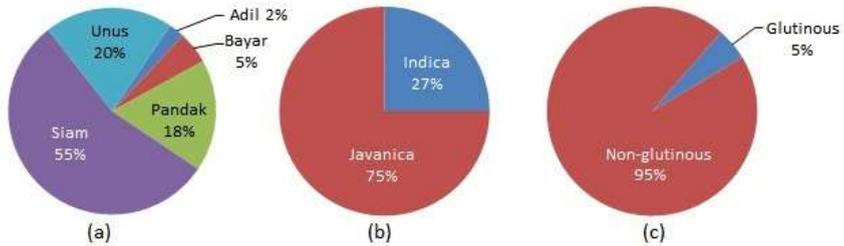
Tabel 4.1. Kultivar padi lokal hasil koleksi di lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan

No.	Nama Kultivar	Asal Wilayah		Tipe Endosperm	Subspesies
		Kecamatan	Kabupaten		
1.	Adil Ganal	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
2.	Banah Kuning	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
3.	Banah Putih	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
4.	Bayar Papuyu	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
5.	Bayar Putih	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
6.	Ganal Perak	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
7.	Karang Dukuh	Anjir Muara	Barito Kuala	Biasa (non-ketan)	<i>Indica</i>
8.	Lakatan Wangi	Aluh Aluh	Banjar	Ketan	<i>Javanica</i>
9.	Pandak Kambang	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
10.	Pandak Laut	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
11.	Pandak Putih	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
12.	Siam Adil	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
13.	Siam Adus	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
14.	Siam Arjuna	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Indica</i>
15.	Siam Babirik	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
		Kurau, Bumi Makmur	Tanah Laut		
16.	Siam Gadis	Kurau	Tanah Laut	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
17.	Siam Halus	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
18.	Siam Khaidir	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
19.	Siam Lakatan	Aluh Aluh	Banjar	Ketan	<i>Javanica</i>
		Bumi Makmur	Tanah Laut		
20.	Siam Oon	Gambut	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
21.	Siam Orok	Gambut	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>

Tabel 4.1. Lanjutan ...

No.	Nama Kultivar	Asal Wilayah		Tipe Endosperm	Subspesies
		Kecamatan	Kabupaten		
22.	Siam Pandak	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
		Kurau	Tanah Laut		
23.	Siam Pandak Kambang	Kurau	Tanah Laut	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
24.	Siam Perak	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
25.	Siam Puntal	Kurau	Tanah Laut	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
26.	Siam Randah	Kurau	Tanah Laut	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
27.	Siam Rukut	Gambut	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Indica</i>
		Kurau, Bumi Makmur	Tanah Laut		
28.	Siam Saba	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
		Kurau	Tanah Laut		
29	Siam Sebelas	Marabahan	Barito Kuala	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
30.	Siam Tanggung	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
31.	Siam Unus	Aluh Aluh	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
32.	Siam Unyil	Gambut	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Indica</i>
33.	Unus Jambun	Gambut	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Indica</i>
34.	Unus Jambun Putih	Gambut	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Indica</i>
35.	Unus Kuning	Gambut	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Indica</i>
36.	Unus Mayang	Aluh Aluh, Gambut	Banjar	Biasa (non-ketan)	<i>Indica</i>
		Kurau, Bumi Makmur	Tanah Laut		
37.	Unus Mayang Kuning	Bumi Makmur	Tanah Laut	Biasa (non-ketan)	<i>Indica</i>
38.	Unus Mutiara	Kurau/Bumi Makmur	Tanah Laut	Biasa (non-ketan)	<i>Indica</i>
39.	Unus Putih	Kurau	Tanah Laut	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>
40.	Unus Saba	Anjir Muara	Barito Kuala	Biasa (non-ketan)	<i>Javanica</i>

Sumber: Mursyidin *et al.* (2017)



Gambar 4.1. Prosentase padi rawa Kalimantan Selatan berdasarkan kelompok kultivar (a), subspecies (b) dan tipe endosperm (c)
Sumber: Mursyidin *et al.* (2017)

Berdasarkan penelusuran sejarah, padi rawa telah dikenal lama oleh masyarakat lokal Kalimantan Selatan, terutama suku Banjar. Idak (1982) melaporkan bahwa sejak tahun 1920, masyarakat Kalimantan Selatan telah mengenal dan membudidayakan kultivar “Bayar” sebagai salah satu kultivar padi rawa. Pada tahun 1956, masyarakat Kalimantan Selatan telah mengenal dan membudidayakan pula kultivar “Lemo” sebagai kultivar lahan rawa pasang surut (Idak, 1982). Khairullah *et al.* (1998), melaporkan bahwa selain “Bayar” dan “Lemo”, kultivar padi “Siam” dan “Pandak” merupakan kultivar padi rawa yang juga telah dikenal luas di Kalimantan Selatan. Namun demikian, sebagian besar plasma nutfah tersebut belum dikarakterisasi secara mendalam, baik menggunakan penanda morfologi, agronomi, anatomi, sitologi, maupun molekular.

4.2 Analisis Keragaman Genetik Padi Rawa

4.2.1 Karakter agro-morfologi

4.2.1.1 Bentuk gabah

Bentuk gabah merupakan salah satu komponen penting dalam pengembangan tanaman padi. Secara umum, bentuk gabah adalah karakter kunci yang sangat menentukan berat gabah, dan merupakan komponen penting pula dalam menghasilkan jumlah panen. Pada

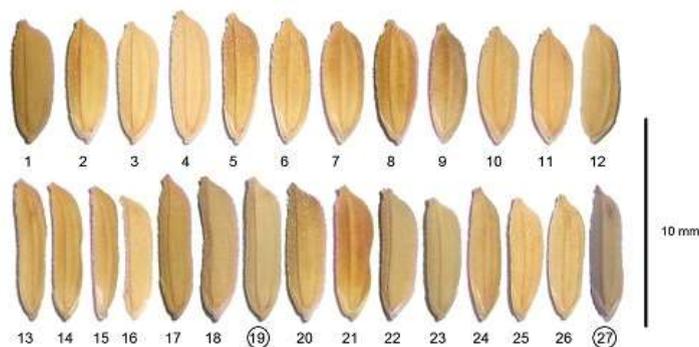
tanaman padi, Zheng *et al.* (2015) menyatakan bahwa bentuk gabah sangat ditentukan oleh panjang, lebar dan ketebalan gabah itu sendiri. Oleh karena itu, berdasarkan ketiga parameter ini, maka Khan *et al.* (2009) merumuskan kriteria bentuk gabah tanaman padi, seperti tercantum pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Kriteria bentuk dan ukuran gabah tanaman padi

Ukuran Gabah	Panjang (mm)	Bentuk Gabah	Rasio (panjang/lebar)
Sangat panjang	>7,50	Tipis/Ramping	>3,00
Panjang	6,61 - 7,50	Sedang	2,10 - 3,00
Sedang	5,50 - 6,60	Tebal	1,10 - 2,00
Pendek	≤ 5,50	Bulat	<1,00

Sumber: Khan *et al.* (2009)

Berdasarkan kriteria Khan *et al.* (2009), padi lokal lahan rawa secara umum memiliki bentuk gabah yang menarik. Gambar 4.2 memperlihatkan bentuk gabah padi rawa yang dikoleksi di lahan pasang surut Kalimantan Selatan.



Gambar 4.2. Morfologi gabah padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan, termasuk kultivar pembanding “Ciherang” dan “Sardani” (tanda lingkaran). Nama-nama kultivar dapat dilihat kembali pada Tabel 4.1

Sumber: Mursyidin *et al.* (2019)

Berdasarkan bentuk morfologi gabah, padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan dapat diklasifikasikan menjadi empat tipe, yaitu “sedang-ramping”, “pendek-ramping”, “sedang-sedang”, dan “pendek-sedang” (lihat Tabel 4.3). Bentuk gabah sedang-ramping ditunjukkan oleh sebagian besar kultivar padi “Siam”, misalnya “Siam Gadis”, “Siam Kuning”, “Siam Perak”, dan “Siam Arjuna” (lihat No. 3-6 pada Gambar 4.2), serta “Siam Saba”, “Siam Mutiara”, “Siam Putih”, dan “Siam Tanggung” (lihat No. 13-16 pada gambar yang sama). Sementara itu, bentuk gabah pendek-ramping dimiliki oleh “Siam Adil”, “Ganal Perak” dan “Siam Rukut” (No. 9, 10 dan 11). Berdasarkan gambar yang sama, diketahui pula bahwa “Siam Pandak”, “Siam Halus”, “Banih Kuning”, dan “Siam Unus” (No. 1, 2, 7, 8) merupakan kultivar dengan bentuk gabah sedang-sedang. Adapun bentuk gabah pendek-sedang, hanya dimiliki kultivar “Pandak Putih” (No. 11).

Menurut Katayama (1993), kultivar padi yang memiliki bentuk gabah sedang-ramping dapat digolongkan ke dalam *O. sativa* sub-spesies *indica*, sedangkan padi rawa dengan bentuk gabah sedang-sedang termasuk *O. sativa* sub-spesies *javanica*. Sementara itu, kultivar dengan bentuk gabah pendek-ramping dan pendek-sedang diperkirakan merupakan bentuk intermediet (hasil persilangan) antara *O. sativa* subspecies *indica* dengan *javanica* atau *japonica* dengan *indica* (Katayama, 1993). Berdasarkan Tabel 4.3, diketahui pula bahwa padi “Sardani” (No. 27) yang dikoleksi dari lahan rawa Sumatera memiliki bentuk gabah sedang-ramping, sama dengan mayoritas padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan.

Tabel 4.3. Ukuran dan bentuk gabah padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan

No	Kultivar	Panjang Gabah (mm)	Lebar Gabah (mm)	Rasio	Bentuk Gabah ^a (panjang-rasio)
1.	Siam Pandak	5,72 ± 0,31	1,91 ± 0,18	2,99	Sedang-Sedang
2.	Siam Halus	5,63 ± 0,21	1,88 ± 0,05	3,00	Sedang-Sedang
3.	Siam Gadis	5,52 ± 0,05	1,81 ± 0,01	3,06	Sedang-Ramping
4.	Siam Kuning	6,02 ± 0,34	1,84 ± 0,07	3,27	Sedang-Ramping
5.	Siam Perak	5,95 ± 0,15	1,63 ± 0,17	3,65	Sedang-Ramping
6.	Siam Arjuna	5,66 ± 0,17	1,77 ± 0,18	3,20	Sedang-Ramping
7.	Banih Kuning	5,56 ± 0,27	1,91 ± 0,46	2,91	Sedang-Sedang
8.	Siam Unus	5,67 ± 0,23	2,02 ± 0,50	2,81	Sedang-Sedang
9.	Siam Adil	5,38 ± 0,27	1,70 ± 0,11	3,17	Pendek-Ramping
10.	Ganal Perak	5,31 ± 0,02	1,73 ± 0,07	3,06	Pendek-Ramping
11.	Pandak Putih	5,20 ± 0,42	1,84 ± 0,07	2,83	Pendek-Sedang
12.	Siam Rukut	5,42 ± 0,32	1,73 ± 0,18	3,12	Pendek-Ramping
13.	Siam Saba	6,39 ± 0,09	1,20 ± 0,01	5,31	Sedang-Ramping
14.	Unus Mayang	6,29 ± 0,19	1,27 ± 0,03	4,94	Sedang-Ramping
15.	Karang Dukuh	6,03 ± 0,38	1,24 ± 0,10	4,86	Sedang-Ramping
16.	Siam Mutiara	5,54 ± 0,38	1,20 ± 0,10	4,60	Sedang-Ramping
17.	Unus Mutiara	6,56 ± 0,28	1,42 ± 0,52	4,63	Sedang-Ramping
18.	Siam Putih	6,53 ± 0,31	1,66 ± 0,09	3,92	Sedang-Ramping
19.	Ciherang*	6,45 ± 0,12	1,56 ± 0,24	4,15	Sedang-Ramping
20.	Lakatan Wangi	6,26 ± 0,19	1,77 ± 0,04	3,53	Sedang-Ramping
21.	Lakatan Pacar	6,06 ± 0,35	1,73 ± 0,07	3,49	Sedang-Ramping
22.	Siam Tanggung	5,92 ± 0,37	1,66 ± 0,30	3,55	Sedang-Ramping
23.	Unus Putih	5,49 ± 0,50	1,59 ± 0,09	3,45	Sedang-Ramping
24.	Siam Orok	6,02 ± 0,19	1,42 ± 0,04	4,25	Sedang-Ramping
25.	Siam Babirik	5,56 ± 0,05	1,52 ± 0,09	3,65	Sedang-Ramping
26.	Siam Adus	5,67 ± 0,20	1,63 ± 0,10	3,48	Sedang-Ramping
27.	Sardani*	6,11 ± 0,25	1,45 ± 0,34	4,21	Sedang-Ramping

Ket. * Kultivar pembanding; ^a menurut kriteria Khan *et al.* (2009) , lihat Tabel 3.2

Sumber: Mursyidin *et al.* (2019)

Khusus di lahan pasang surut Kalimantan Selatan, petani lokal sangat menyukai untuk menanam padi rawa dengan bentuk gabah ramping (*indica*). Di wilayah tersebut, preferensi (tingkat kesukaan) petani terhadap kultivar padi lokal lahan rawa mencapai 92,50% (Wahdah & Langai, 2011). Menurut Pant (2010), selain bentuk gabah, beberapa faktor lain terutama mutu gabah dan rasa nasi, serta nilai jual di pasaran, menjadi

faktor pendorong pula mengapa para petani memiliki preferensi yang tinggi (sangat menyukai) terhadap padi lokal. Bahkan menurut Khairullah *et al.* (1998), mayoritas petani lokal memberi nama kultivar setempat berdasarkan bentuk gabah ini, termasuk mutu gabah dan rasa nasi.

Dalam cakupan yang lebih luas, Calingacion *et al.* (2014), menyatakan bahwa bentuk gabah menjadi salah satu kriteria penting dalam pengembangan tanaman padi. Dengan kata lain, bentuk gabah yang menjadi preferensi petani dan konsumen adalah target penting yang harus diperhatikan dalam merakit kultivar padi unggul baru. Secara singkat, dapat dinyatakan bahwa pengembangan (pemuliaan) tanaman padi kedepan harus berorientasi pada petani dan konsumen (*consumer-targeted rice breeding*).

4.2.1.2 Tinggi tanaman, diameter batang dan jumlah anakan

Tinggi tanaman dan jumlah anakan adalah dua karakter morfo-agronomi penting yang berkontribusi positif terhadap hasil panen. Menurut Constantino *et al.*, (2015), semakin tinggi jumlah anakan, semakin tinggi jumlah panen yang dihasilkan (Constantino *et al.*, 2015). Oleh karena itu, kultivar-kultivar yang memiliki kemampuan menghasilkan jumlah anakan tinggi merupakan tujuan utama dalam program pemuliaan sejak abad ke-18, yaitu untuk menghasilkan tanaman padi dengan hasil panen tinggi (Jennings *et al.*, 1979).

Di sisi lain, diameter batang adalah karakter morfo-agronomi yang sangat berkorelasi positif dengan tingkat kerebahan (Wu *et al.*, 2011). Dalam program pemuliaan, kerebahan merupakan faktor pembatas yang harus diperkecil atau bahkan dihilangkan, karena dapat mempengaruhi hasil panen tanaman padi. Dalam konteks ini, secara fisiologis kerebahan dapat memperkecil kanopi untuk fotosintesis, meningkatkan respirasi dan kerentanan terhadap penyakit, serta menurunkan translokasi nutrisi dan karbon pada gabah, sehingga potensi hasil panen menjadi menurun.

Sementara itu, tingkat kerebahan sendiri sangat dipengaruhi oleh tinggi tanaman. Menurut Ünán *et al.* (2013), semakin tinggi arsitektur tanaman, semakin rentan tanaman tersebut untuk rebah. Oleh karena itu, tanaman padi yang memiliki arsitektur batang tinggi dengan diameter batang kokoh/kuat, serta jumlah anakan tinggi yang mencerminkan potensi hasil panen tinggi, merupakan pilihan utama dalam pengembangan padi unggul khusus lahan rawa pasang surut, yang secara umum tergenang air tinggi.

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa padi rawa secara umum memiliki tinggi tanaman, diameter batang dan jumlah anakan yang beragam. Mursyidin (2018), melaporkan bahwa padi rawa Kalimantan Selatan memiliki tinggi tanaman antara 55-120 cm, diameter batang (1-14 cm), dan jumlah anakan (6-42) (lihat Tabel 4.4). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, diketahui bahwa “Lakatan Pacar” adalah padi rawa pasang surut yang memiliki arsitektur tanaman tertinggi (120,13 cm). Sementara itu, kultivar yang memiliki diameter batang tertinggi (14,47 cm) diperlihatkan oleh “Lakatan Wangi”, adapun kultivar dengan jumlah anakan tertinggi ditunjukkan oleh “Pandak Putih” (43 anakan) (lihat Tabel 4.4).

Khairullah *et al.* (2008), melaporkan pula bahwa di lahan pasang surut Kalimantan Selatan terdapat kultivar “Datu” yang secara *in situ* memiliki batang kuat dan besar, dengan tinggi tanaman mampu mencapai lebih dari 2 m. Disamping itu, di lahan tersebut juga terdapat beberapa kultivar padi rawa yang relatif tahan terhadap kerebahan, karena memiliki batang relatif besar dan kuat (dengan diameter antara 4,9-8,9 mm), seperti “Bayar Palas”, “Pandak Putih”, “Siam Unus”, dan “Lemo Putih”. Dengan demikian, kultivar-kultivar yang secara morfo-agronomi memiliki arsitektur batang tinggi, batang kokoh/kuat dengan diameter besar, serta memiliki jumlah

anakan tinggi dapat dijadikan tetua dalam perakitan padi unggul baru, khusus lahan rawa pasang surut pada masa mendatang.

Tabel 4.4. Tinggi tanaman, diameter batang dan jumlah anakan padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan

No.	Nama Kultivar	Karakter yang Diamati		
		Tinggi Tanaman (cm)	Diameter Batang (mm)	Jumlah Anakan (batang)
1.	Siam Pandak	66,5 ± 0,50	2,63 ± 0,06	21,67 ± 1,53
2.	Siam Halus	94,2 ± 1,04	4,00 ± 0,18	6,33 ± 0,58 ^b
3.	Siam Gadis	101,0 ± 1,00	1,43 ± 0,12	16,33 ± 1,53
4.	Siam Kuning	78,7 ± 1,15	1,10 ± 0,10 ^b	12,33 ± 0,58
5.	Siam Perak	89,0 ± 0,50	2,43 ± 0,15	10,00 ± 2,00
6.	Siam Arjuna	90,9 ± 1,01	2,37 ± 0,06	16,67 ± 1,15
7.	Banih Kuning	101,3 ± 1,53	2,54 ± 0,04	25,00 ± 1,00
8.	Siam Unus	55,3 ± 0,25 ^b	3,95 ± 0,06	8,00 ± 0,01
9.	Siam Adil	83,5 ± 0,50	2,53 ± 0,06	10,67 ± 0,58
10.	Ganal Perak	95,7 ± 0,58	4,13 ± 0,15	30,33 ± 1,53
11.	Pandak Putih	90,2 ± 0,20	4,10 ± 0,17	42,67 ± 0,58 ^a
12.	Siam Rukut	60,7 ± 1,15	4,90 ± 0,10	8,33 ± 2,08
13.	Siam Saba	87,3 ± 0,58	1,53 ± 0,03	12,00 ± 2,65
14.	Unus Mayang	67,3 ± 0,58	3,17 ± 0,15	10,67 ± 0,58
15.	Karang Dukuh	62,2 ± 0,26	3,07 ± 0,06	42,00 ± 2,65
16.	Siam Mutiara	85,1 ± 0,12	3,97 ± 0,06	23,00 ± 2,65
17.	Unus Mutiara	101,3 ± 1,53	3,95 ± 0,04	9,67 ± 0,58
18.	Siam Putih	94,0 ± 1,00	6,63 ± 0,12	12,33 ± 0,58
19.	Ciherang*	107,1 ± 0,12	6,07 ± 0,06	39,67 ± 4,51
20.	Lakatan Wangi	82,2 ± 0,20	14,47 ± 0,15 ^a	8,67 ± 1,53
21.	Lakatan Pacar	120,1 ± 0,23 ^a	3,09 ± 0,08	8,00 ± 0,00
22.	Siam Tanggung	75,7 ± 0,58	2,42 ± 0,03	8,33 ± 0,58
23.	Unus Putih	93,2 ± 0,17	5,42 ± 0,02	10,67 ± 1,15
24.	Siam Orok	70,4 ± 0,32	4,03 ± 0,15	11,67 ± 1,15
25.	Siam Babirik	112,0 ± 1,00	1,49 ± 0,01	18,33 ± 1,53
26.	Siam Adus	76,4 ± 0,36	1,71 ± 0,05	8,33 ± 1,15
27.	Sardani*	98,8 ± 0,72	4,93 ± 0,06	16,67 ± 1,53

Ket. * Kultivar pembanding; ^a Tertinggi; ^b Terendah

Sumber: Mursyidin (2018)

4.2.1.3 Umur tanaman, panjang malai dan berat gabah

Padi rawa memiliki umur tanaman yang berbeda. Khairullah *et al.* (1998), melaporkan bahwa kultivar padi lokal yang ditanam di lahan rawa lebak secara umum memiliki waktu tanam relatif singkat/genjah (4-5 bulan) dibandingkan dengan padi rawa pasang surut (7-9 bulan). Hasil penelitian Mursyidin (2018), mengungkapkan bahwa padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan memiliki umur tanam antara 121-270 hari (lihat Tabel 4.5). Berdasarkan Tabel 4.5, "Siam Arjuna" adalah kultivar yang memiliki umur terpendek (121 hari), adapun "Unus Mutiara" dengan umur terpanjang (270 hari). Berdasarkan tabel tersebut, diketahui juga bahwa padi rawa pasang surut memiliki panjang malai dan berat gabah yang bervariasi, masing-masing sebesar 18-40 cm dan 15-29 g/100 bulir.

Menurut Zheng *et al.* (2015), berat gabah sangat ditentukan oleh karakter bentuk gabah. Sementara itu, berat gabah merupakan komponen penting dalam menghasilkan jumlah panen. Berdasarkan hasil analisis ini, berat gabah tertinggi ditunjukkan oleh kultivar "Ganal Perak", dengan berat tiap 100 gabah mencapai 29,73 g (lihat Tabel 4.5). Sementara itu, berat gabah merupakan salah satu komponen penting dalam menentukan potensi hasil panen. Sedangkan hasil panen merupakan salah satu karakter kunci yang digunakan para petani atau peneliti dalam program pemuliaan tanaman padi (Zhang *et al.*, 2013).

Menurut Mzengeza (2010), hasil panen sendiri sangat ditentukan oleh tiga komponen utama, meliputi: (1) jumlah dan berat malai tiap unit tanaman; (2) jumlah malai, panjang malai, jumlah hari berbunga atau pemasakan, termasuk tinggi tanaman, (3) jumlah total gabah tiap malai dan berat gabah. Jumlah dan berat malai tiap unit tanaman merupakan dua karakter yang dapat digunakan secara langsung untuk mengestimasi hasil panen tanaman padi.

Tabel 4.5. Panjang malai, berat 100 gabah dan umur tanaman padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan

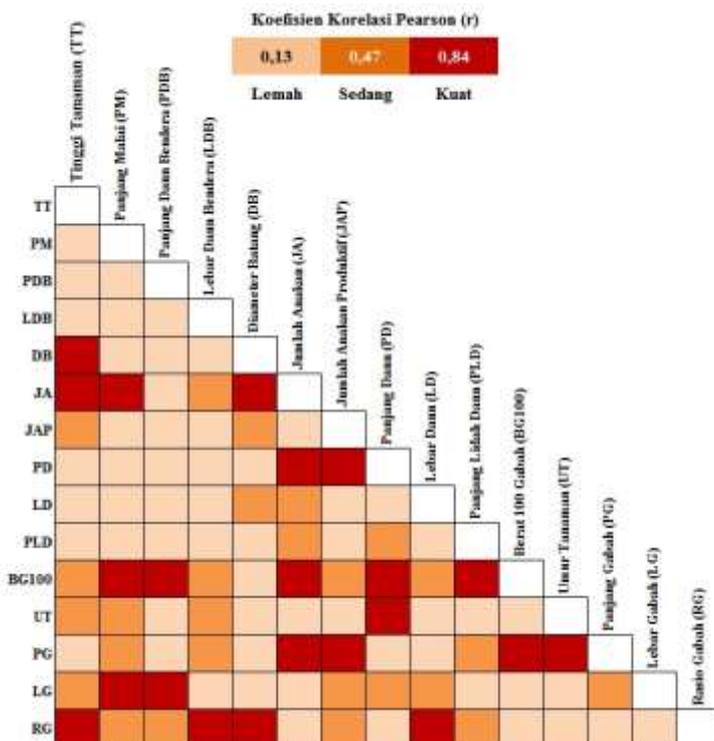
No.	Nama Kultivar	Karakter yang Diamati		
		Umur Tanaman (HST)	Panjang Malai (cm)	Berat 100 Gabah (g)
1.	Siam Pandak	144,33 ± 1,15	21,2 ± 0,17	24,50 ± 0,05
2.	Siam Halus	199,67 ± 1,53	21,8 ± 0,68	23,90 ± 0,10
3.	Siam Gadis	122,67 ± 2,52	24,3 ± 0,21	18,10 ± 0,10
4.	Siam Kuning	172,33 ± 2,08	18,4 ± 0,51 ^b	20,33 ± 0,58
5.	Siam Perak	206,33 ± 1,53	25,3 ± 0,58	18,17 ± 0,15
6.	Siam Arjuna	121,00 ± 1,73 ^b	28,1 ± 0,10	25,00 ± 0,50
7.	Banuh Kuning	129,00 ± 1,00	40,3 ± 0,29 ^a	29,00 ± 0,10
8.	Siam Unus	131,33 ± 1,15	21,3 ± 0,58	21,33 ± 0,58
9.	Siam Adil	165,67 ± 1,15	22,9 ± 0,10	24,97 ± 0,06
10.	Ganal Perak	146,67 ± 0,58	24,4 ± 0,36	29,73 ± 0,64 ^a
11.	Pandak Putih	165,67 ± 1,15	22,7 ± 0,58	22,00 ± 0,01
12.	Siam Rukut	161,00 ± 1,73	19,3 ± 0,46	17,90 ± 0,16
13.	Siam Saba	184,33 ± 4,04	25,3 ± 0,21	25,07 ± 0,06
14.	Unus Mayang	250,33 ± 0,58	25,3 ± 0,25	23,00 ± 0,01
15.	Karang Dukuh	171,33 ± 1,53	25,0 ± 0,06	17,33 ± 0,29
16.	Siam Mutiara	137,67 ± 0,58	32,3 ± 0,58	14,90 ± 0,10 ^b
17.	Unus Mutiara	270,33 ± 0,58 ^a	23,9 ± 0,06	15,10 ± 0,10
18.	Siam Putih	191,67 ± 1,53	24,7 ± 0,61	17,33 ± 0,58
19.	Ciherang*	91,00 ± 1,00	26,7 ± 0,29	29,60 ± 0,53
20.	Lakatan Wangi	212,00 ± 2,00	33,8 ± 0,21	24,27 ± 0,15
21.	Lakatan Pacar	167,00 ± 0,01	35,1 ± 0,15	20,03 ± 0,06
22.	Siam Tanggung	175,33 ± 0,58	20,0 ± 1,00	26,00 ± 1,00
23.	Unus Putih	187,67 ± 0,58	38,3 ± 0,58	17,50 ± 0,50
24.	Siam Orok	176,00 ± 1,00	28,4 ± 0,40	24,33 ± 0,58
25.	Siam Babirik	129,33 ± 0,58	32,0 ± 1,00	23,90 ± 0,10
26.	Siam Adus	153,67 ± 3,21	18,6 ± 0,52	22,03 ± 1,05
27.	Sardani*	122,67 ± 2,52	32,2 ± 0,26	22,33 ± 0,29

Ket. * Kultivar pembanding; ^a nilai tertinggi; ^b nilai terendah; HST=hari setelah tanam

Sumber: Mursyidin (2018)

Hasil analisis korelasi (lihat Gambar 4.3), memperlihatkan bahwa karakter berat gabah sangat dipengaruhi, diantaranya oleh panjang malai dan jumlah anakan. Hasil penelitian Hairmansis *et al.* (2010), terhadap sembilan galur hasil persilangan dan dua kultivar padi lokal asal Sumatera Utara, mengungkapkan juga bahwa panjang malai dan jumlah anakan

memiliki pengaruh positif terhadap hasil panen. Di lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan, tanaman padi yang memiliki malai berukuran panjang sangat bermanfaat bagi para petani, terutama saat mereka memanen dengan menggunakan “ani-ani” (Khairullah *et al.*, 1998).



Gambar 4.3. Koefisien korelasi Pearson pada karakter agro-morfologi padi rawa pasang Kalimantan Selatan

Sumber: Mursyidin *et al.* (2019)

4.2.1.4 Karakter agro-morfologi lain

Kultivar lokal padi rawa, terutama di lahan pasang surut Kalimantan Selatan secara umum memiliki karakter morfo-agronomi lain yang unik (lihat Tabel 4.6). Sebagai contoh, padi tersebut memiliki sudut daun miring sampai datar. Menurut Khairullah *et al.* (1998), sudut daun dengan posisi datar mungkin berguna untuk menekan pertumbuhan gulma yang berada di bawahnya, sehingga dapat mengurangi biaya selama pemeliharaan

(penyiangan). Disamping itu, padi rawa juga memiliki sudut daun bendera antara tegak sampai merunduk. Posisi sudut daun bendera tegak diperlihatkan oleh kultivar “Siam Gadis”, “Siam Kuning”, “Siam Arjuna”, “Siam Unus”, dan “Siam Rukut” (Mursyidin *et al.*, 2019). Posisi sudut daun bendera tegak diperlihatkan pula oleh sebagian besar kultivar padi unggul (Khairullah *et al.*, 1998).

Menurut Al-Tahir (2014), daun bendera merupakan bagian tanaman yang paling berkontribusi terhadap hasil panen. Menurut hasil penelitian, daun bendera mempunyai peran penting dalam peningkatan berat gabah sebesar 41-43 persen. Peningkatan tersebut berkaitan dengan posisi sudut daun bendera ketika menerima cahaya matahari (Zhang *et al.*, 2013). Hasil penelitian Taguchi-Shiobara *et al.* (2015) memperlihatkan bahwa daun bendera dengan arah tumbuh tegak dapat menangkap cahaya matahari lebih besar daripada posisi mendatar atau merunduk. Oleh karena itu, untuk menghasilkan tanaman yang memiliki efisiensi penyerapan cahaya tinggi, maka sudut daun bendera menjadi salah satu target dalam program pemuliaan tanaman padi.

Hasil penelitian Taguchi-Shiobara *et al.* (2015) mengungkapkan pula bahwa karakter lebar daun bendera mampu menyumbangkan 39% dari total variasi genetik yang muncul. Menurut Zhao *et al.* (2011), daun bendera ditemukan secara umum lebih lebar pada kultivar padi di Jawa, Cina bagian barat dan Amerika Latin. Sementara itu, bentuk daun bendera yang lebih sempit ditemukan di Cina bagian utara, Cina tengah, dan Rusia. Ukuran daun bendera lebih panjang pada kultivar dari Jawa dan India, namun lebih pendek pada kultivar asal Taiwan, Cina Tengah dan Selatan. Adapun Zhang *et al.* (2013) melaporkan kecenderungan sudut daun bendera yang berbeda pada tiga kultivar (tipe) padi asal Cina.

Tabel 4.6. Karakter agro-morfologi lain, termasuk keragaman genetiknya, yang dimiliki padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan

No	Karakter yang Diamati	Hasil Pengamatan	Keragaman Genetik**
Kuantitatif			
1.	Panjang daun (cm)	23,27 -67,03	Rendah
2.	Lebar daun (cm)	0,40 - 1,93	Rendah
3.	Panjang daun bendera (cm)	21,33 - 76,67	Rendah
4.	Lebar daun bendera (cm)	0,77 - 1,95	Rendah
5.	Panjang lidah daun (cm)	1,10 - 3,20	Rendah
6.	Panjang malai (cm)	18,43 - 40,33	Rendah
Kualitatif			
7.	Warna kecambah	hijau, kemerahan*	Rendah
8.	Warna pelepah daun bagian bawah	hijau, kemerahan*	Rendah
9.	Warna daun	Hijau, seragam	-
10.	Sudut daun	miring sampai datar	Rendah
11.	Arah tumbuh batang	tegak sampai agak rebah pada permukaan tanah	Rendah
12.	Sudut daun bendera	tegak sampai merunduk	Sedang
13.	Warna putik	hijau muda sampai kuning*	Sedang
14.	Warna benang sari	kuning sampai coklat*	Rendah
15.	Distribusi bulu pada gabah	tidak terdapat bulu sampai terdapat bulu pada gabah yang terletak di ujung malai	Tinggi
16.	Arah tumbuh cabang malai	tegak sampai semi tegak (miring)	Sedang
17.	Percabangan malai sekunder	tidak terdapat malai sekunder sampai terdapat sekitar 2-3 cabang malai sekunder pada tiap cabang malai primer	Tinggi
18.	Tipe keluarnya malai	keluar sebagian sampai keluar sempurna/penuh (menjauhi kerah daun bendera)	Sedang
19.	Bentuk lidah daun	seragam, berbentuk segitiga dengan ujung terbelah 2 (<i>2-cleft</i>)	-
20.	Bentuk telinga daun	seperti sisir melingkar, membentuk huruf "U" dan "S"	Rendah

Ket. * Khusus kultivar "Sardani", asal Sumatera;

** Menggunakan indeks Shannon-Weaver

Sumber: diadaptasi dari Mursyidin (2018)

Khusus di lahan rawa Kalimantan Selatan, Mursyidin *et al.* (2019), melaporkan bahwa “Banih Kuning” adalah kultivar yang memiliki lebar daun bendera tertinggi (1,95 cm). Adapun “Siam Putih” memiliki panjang daun bendera tertinggi (76,67 cm).

Berdasarkan Tabel 4.6, diketahui pula bahwa hampir seluruh karakter morfo-agronomi yang diamati padi rawa menunjukkan keragaman genetik, kecuali warna daun dan bentuk lidah daun. Oleh karena itu, untuk memastikan ada tidaknya variasi genetik pada organ tersebut pengamatan lebih lanjut sangat menarik dilakukan, terutama secara anatomi menggunakan mikroskop elektron (SEM/TEM). Pada padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan, percabangan malai sekunder dan distribusi bulu pada gabah merupakan dua karakter morfologi yang menunjukkan variasi genetik tinggi. Menurut Haider (2015), tingginya keragaman genetik suatu plasma nutfah merupakan modal yang sangat bermanfaat dalam program pemuliaan tanaman padi pada masa mendatang.

4.2.2 Karakter anatomi

4.2.2.1 Bentuk dan pola permukaan polen

Bentuk dan pola permukaan (ornamentasi) dinding polen dapat dijadikan acuan dalam kajian taksonomi, yaitu untuk membedakan identitas genetik antar plasma nutfah yang dikaji. Pada Angiospermae, kriteria bentuk polen telah disusun oleh Erdtman (1952) (lihat Tabel 4.7). Pada tanaman padi, terutama padi rawa pasang surut (Kalimantan Selatan dan Sumatera), ditemukan polen berbentuk *speroidal* atau bulat-pipih. Polen tersebut ditemukan hampir sama/seragam pada beberapa kultivar yang dikaji (Mursyidin *et al.*, 2018a) (lihat Gambar 4.4).

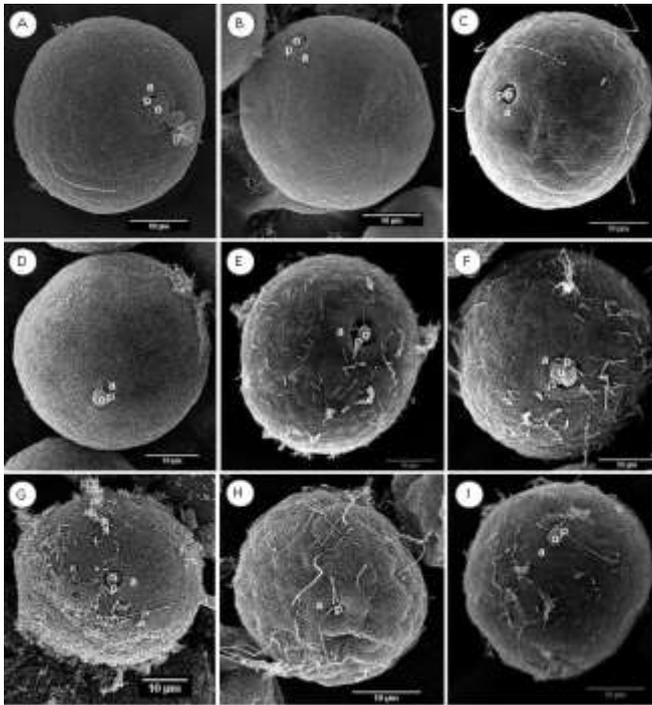
Tabel 4.7. Kriteria bentuk polen berdasarkan rasio diameter axis polar dan ekuator polen pada Angiospermae

Bentuk	Rasio aksis polar/ekuator
<i>Perprolate</i>	> 2,00
<i>Prolate</i>	2,00 - 1,33
<i>Subprolate</i>	1,33 - 1,14
<i>Prolate-spheroidal</i>	1,14 - 1,00
<i>Spheroidal</i>	1,00
<i>Oblate-spheroidal</i>	1,00 - 0,88
<i>Suboblate</i>	0,88 - 0,75
<i>Oblate</i>	0,75 - 0,50
<i>Peroblate</i>	< 0,50

Sumber: Erdtman (1952)

Secara umum, polen tanaman padi rawa dilengkapi dengan pori perkecambahan tunggal (disebut *monoporate*) pada bagian salah satu kutubnya. Sementara di sekeliling pori tersebut terdapat struktur seperti tonjolan cincin disebut *annulus* (Gambar 4.4). Sehingga polen tersebut dapat pula disebut dengan tipe *monoporate-annulate*. Berdasarkan penelusuran pustaka, bentuk polen semacam ini memang khas ditemukan pada mayoritas *Poaceae*, termasuk genus *Oryza* (Kellogg, 2015).

Beberapa peneliti telah melaporkan bentuk polen yang sama pada sejumlah anggota *Poaceae*, sebagaimana dilaporkan Perveen (2006) pada 14 genus *Poaceae*. Liu *et al.* (2005) juga melaporkan tipe polen semacam ini pada *Eustachys*. Sementara itu, Nazira *et al.* (2013) pada polen suku *Avenae*. Pada padi liar *O. grandiglumis*, Sánchez *et al.* (2006) menemukan bahwa polen tanaman tersebut ternyata juga bertipe *monoporate*, sama dengan mayoritas *Poaceae* lainnya. Menurut Furness & Rudall (2004), bentuk polen semacam ini termasuk polen bertipe primitif.



Gambar 4.4. Bentuk polen sembilan kultivar padi rawa Kalimantan Selatan, diamati menggunakan SEM dengan perbesaran 2.000 kali (Ket. A = “Siam Gadis”, B = “Karang Dukuh”, C = “Ciherang”, D = “Lakatan Pacar”, E = “Banih Kuning”, F = “Ganal Perak”, G = “Sardani”, H = “Pandak Putih”, I = “Lakatan Wangi”, a = *annulus*, p = pori perkecambahan, o = *operculum*)

Sumber: Mursyidin *et al.* (2018a)

Meskipun polen tanaman padi rawa relatif seragam, sebagaimana anggota *Poaceae* lainnya (Kellogg, 2015), namun hasil analisis terhadap struktur tersebut memperlihatkan adanya keragaman genetik (Tabel 4.8). Berdasarkan Tabel 4.8, kultivar “Sardani” memiliki diameter polen tertinggi (75,98 μm). Sementara itu, diameter pori dan annulus tertinggi ditunjukkan, secara berturut-turut oleh “Ganal Perak” dan “Banih Kuning”. Hasil analisis lebih lanjut terhadap karakter-karakter kualitatif polen tersebut memperlihatkan bahwa luas polen merupakan karakter yang memiliki keragaman genetik tinggi (Tabel 4.9).

Tabel 4.8. Karakteristik polen padi rawa berdasarkan pengamatan SEM

No.	Nama Kultivar	Diameter Polen (μm)	Sumbu Panjang/Pendek (μm)	Diameter Pori (μm)	Rasio Sumbu Panjang/Pendek	Diameter Annulus (μm)	Tinggi Annulus (μm)
1.	Siam Gadis	66,32	32,51/33,82	3,72	0,96	9,19	1,65
2.	Karang Dukuh	65,18	32,33/32,85	3,50	0,98	7,46	1,48
3.	Ciherang*	67,92	33,26/34,66	2,38	0,96	7,74	1,48
4.	Lakatan Pacar	70,34	34,50/35,84	4,65	0,96	10,64	2,13
5.	Banih Kuning	75,85	37,64/38,21	4,98	0,99	11,97	2,15
6.	Ganal Perak	70,34	33,78/36,56	5,26	0,92	11,09	1,96
7.	Sardani	75,98	36,95/39,04	4,06	0,95	9,90	2,30
8.	Pandak Putih	57,20	27,38/29,82	1,98	0,92	8,60	1,17
9.	Lakatan Wangi	61,72	30,35/31,52	2,78	0,96	9,10	1,38

Ket. * Kultivar unggul

Sumber: Mursyidin¹ *et al.* (2018)

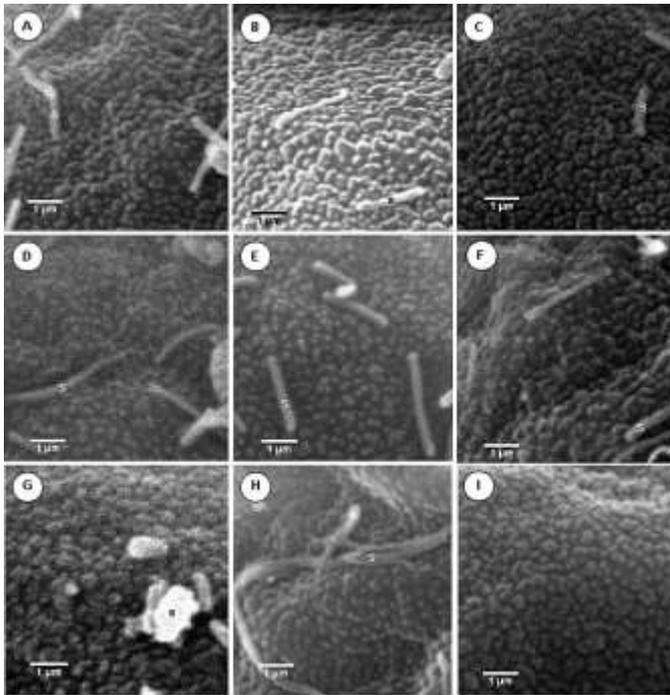
Tabel 4.9. Keagaman genetik padi rawa berdasarkan karakter polen

No.	Karakter polen yang diamati	Keanekaragaman Genetik*
1.	Diameter annulus (μm)	Rendah
2.	Tinggi annulus (μm)	Rendah
3.	Diameter polen (μm)	Rendah
4.	Diameter pori perkecambahan (μm)	Rendah
5.	Luas polen (μm^2)	Tinggi

Ket.* berdasarkan indeks Shannon-Weaver

Sumber: Mursyidin¹ *et al.* (2018)

Di sisi lain, meskipun polen tanaman padi rawa relatif seragam, sebagaimana telah disinggung sebelumnya, namun hasil pengamatan mikroskop elektron (SEM) menggunakan perbesaran lebih tinggi, menunjukkan bahwa dinding polen tanaman tersebut memiliki pola ornamentasi yang unik (Gambar 4.5). Tabel 4.10 memuat daftar tipe-tipe pola permukaan dinding polen pada sembilan kultivar padi rawa, termasuk kultivar padi unggul “Ciherang”.



Gambar 4.5. Pola permukaan eksin polen padi rawa Kalimantan Selatan, diamati menggunakan SEM dengan perbesaran 10.000 kali
(Ket. A = "Siam Gadis", B = "Karang Dukuh", C = "Ciherang", D = "Lakatan Pacar", E = "Banih Kuning", F = "Ganal Perak", G = "Sardani", H = "Pandak Putih", I = "Lakatan Wangi", s = sisa orbikula atau badan *Ubisch*)

Sumber: Mursyidin *et al.* (2018a)

Tabel 4.10. Tipe pola permukaan dinding polen pada sembilan kultivar padi rawa, termasuk kultivar padi unggul "Ciherang"

No.	Nama Kultivar	Tipe Pola Permukaan Dinding Polen
1.	Siam Gadis	Insular, insula membentuk pola mozaik
2.	Karang Dukuh	Granulosa campuran
3.	Ciherang*	Insular, insula ruguloid
4.	Lakatan Pacar	Granulosa campuran
5.	Banih Kuning	Granulosa campuran
6.	Ganal Perak	Insular, insula membentuk pola mozaik
7.	Sardani	Insular, insula membentuk pola mozaik
8.	Pandak Putih	Insular, insula membentuk pola mozaik
9.	Lakatan Wangi	Insular, insula membentuk pola mozaik

Ket. : * Kultivar unggul

Sumber: Mursyidin *et al.* (2018a)

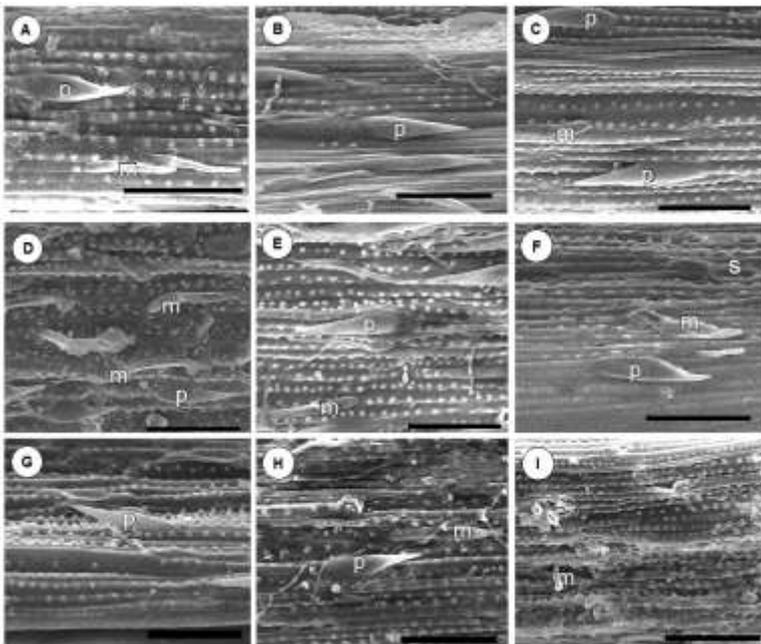
Secara umum, padi rawa (pasang surut) memiliki dua tipe pola permukaan dinding polen, yaitu “Insular” dan “Granulosa”. Tipe ini hampir sama dengan hasil pengamatan Datta & Chaturvedi (2004), pada enam kultivar padi lokal “Basmati” dari India. Namun Datta & Chaturvedi (2004) melaporkan satu tipe pola dinding polen lain, yaitu “spinulosa”, yang tidak dijumpai pada padi rawa. Bahkan sebelumnya, Chaturvedi *et al.* (1998) melaporkan tentang 11 variasi pola permukaan dinding polen pada tanaman padi liar dan budidaya, dan mampu membedakan subspecies padi *indica*, *japonica* dan *javanica*.

Berdasarkan hasil penelitian ini, mayoritas tipe insular yang ditemukan pada padi rawa adalah membentuk pola mozaik, kecuali pada padi unggul “Ciherang” bertipe “ruguloid”. Sementara itu, pola dinding polen bertipe granulosa campuran ditemukan pada kultivar “Karang Dukuh”, “Lakatan Pacar” dan “Banih Kuning”. Dalam kasus ini, “Sardani” yang merupakan padi rawa pasang surut asal Sumatera memiliki kesamaan pola permukaan dinding polen “insular bertipe mozaik” dengan kultivar asal rawa Kalimantan Selatan, yaitu “Ganal Perak”, “Pandak Putih”, “Lakatan Wangi”, dan “Siam Gadis” (lihat Tabel 4.10).

Sebenarnya, pengamatan struktur polen menggunakan SEM telah dilakukan pula oleh beberapa peneliti lain, misalnya Sarwar *et al.* (2010) pada tumbuhan *Alstroemeria*, Oswald *et al.* (2011) pada *Sarracenia*, Tidke *et al.* (2012) pada *Bauhinia*, Da Luz *et al.* (2013) pada *Fabaceae*, Sheeba *et al.* (2014) pada *Ipomoea batatas* dan *I. aquatica*, dan Al-Watban *et al.* (2015) pada *Stachyoideae* (*Lamiaceae*), serta Kasem (2016) pada *Cleome* (*Cleomaceae*). Oleh karena itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah informasi baru dalam khasanah pengembangan ilmu taksonomi di Indonesia.

4.2.2.1 Pola permukaan lidah daun

Bentuk lidah daun pada padi rawa telah dibahas pada sub bahasan sebelumnya (karakter morfologis). Berdasarkan pengamatan morfologis, bentuk lidah daun pada plasma nutfah tersebut ditemukan seragam, yaitu segitiga dengan ujung terbelah dua (*2-cleft*) (lihat kembali Tabel 4.6). Namun berdasarkan pengamatan lebih lanjut menggunakan mikroskop elektron pemindai atau *scanning* (SEM), diketahui bahwa padi rawa memiliki pola permukaan lidah daun yang menarik (Gambar 4.6).



Gambar 4.6. Pola permukaan lidah daun padi rawa pasang surut, termasuk padi unggul “Ciherang” menggunakan SEM, pada perbesaran 500 kali

(Ket. A = “Siam Gadis”, B = “Karang Dukuh”, C = “Ciherang”, D = “Lakatan Pacar”, E = “Banih Kuning”, F = “Ganal Perak”, G = “Sardani”, H = “Pandak Putih”, I = “Lakatan Wangi”, p = trikoma makro, m = trikoma mikro, s = struktur seperti stomata, bar = 50 μ m).

Sumber: Mursyidin (2018)

Secara umum, padi rawa memiliki permukaan lidah daun yang dilengkapi dengan trikoma besar berbentuk duri meruncing (*prickle hair*) dan trikoma kecil (*microhair*) (lihat Gambar 4.6), serta struktur seperti stomata (Gambar 3.6-F). Keberadaan ketiga struktur tersebut sesuai dengan hasil penelitian Chaffey (1983), bahwa lidah daun tanaman padi secara umum memiliki kelengkapan struktur sel-sel panjang, silika dan gabus, trikoma makro berbentuk tajam (*prickle hair*), trikoma mikro berbentuk panjang (*microhair*), serta struktur seperti stomata. Oleh karena itu, keberadaan trikoma makro dan mikro serta struktur seperti stomata pada lidah daun, mengindikasikan bahwa organ tersebut diperkirakan merupakan turunan organ daun (Lee *et al.*, 2007).

Secara embriologis, lidah daun berkembang melalui pembelahan sisi adaksial primordia daun secara periklinal dan beberapa gen terlibat di dalamnya, terutama *ROC1* (*Rice outermost cell-specific gene1*) (Lee *et al.*, 2007). Sementara itu, Chaffey (1985) melaporkan bahwa secara anatomis lidah daun tanaman padi terbagi menjadi dua kategori, yaitu: lidah daun berpembuluh (*veined*) dan bermembran (*membranous*). Lidah daun berpembuluh sangat tervascularisasi, sedangkan lidah daun bermembran tidak memiliki jaringan vaskular sejati (Chaffey, 1985). Berdasarkan hasil penelitian, sembilan kultivar padi rawa yang dipelajari diketahui memiliki jaringan vaskular (perhatikan Gambar 4.6). Oleh karena itu, diperkirakan bahwa lidah daun mempunyai fungsi tertentu yang patut dipertimbangkan, seperti protektor dari lingkungan luar, seperti air, debu atau spora berbahaya (Lee *et al.*, 2007).

Penelitian tentang struktur lidah daun pada padi lokal (budidaya) sangat terbatas, kecuali pada padi liar *O. latifolia* (Sánchez *et al.*, 2003), *O. glumaepatula* (Sánchez & Espinoza, 2005) dan *O. grandiglumis* (Sánchez *et al.*, 2006). Oleh karena itu, hasil penelitian ini diharapkan memberikan

kontribusi baru dalam ranah kajian biologi dan pemuliaan tanaman pangan pada masa mendatang.

4.2.3 Karakter fisiologi

4.2.3.1 Toleran keracunan besi

Kondisi alamiah lahan rawa yang memiliki kandungan logam besi tinggi, akibat pengaruh ion Fe^{3+} (lihat kembali tentang pembahasan kendala pengembangan lahan rawa, pada Bab 2, subbab 2.4), secara konsep sangat sulit untuk dijadikan lahan pertanian atau ditanami. Hal ini karena pada kondisi tertentu, terutama jika besi ferro terdapat pada konsentrasi tinggi (300-400 ppm), maka tanaman akan sangat teracuni, bahkan akan mengakibatkan ketersediaan hara bagi tanaman menjadi rendah (Widjaja-Adhi *et al.*, 2000). Namun demikian, padi lokal lahan rawa yang secara alamiah telah teradaptasi dalam jangka waktu lama melalui budidaya petani lokal, baik di Sumatera, Kalimantan atau daerah-daerah lainnya di Indonesia, maka menjadi modal penting dalam pengembangan lahan rawa sebagai lahan pertanian masa depan.

Khairullah *et al.* (2006), melaporkan bahwa kultivar-kultivar padi lokal lahan rawa yang dikoleksi dari Sumatera dan Kalimantan dan secara visual dikarakterisasi langsung di lapangan tidak menampilkan gejala keracunan besi. Hal ini mungkin disebabkan karena bibit tanaman padi yang ditanam telah berumur tua (sekitar empat bulan), sehingga bibit tersebut saat ditanam telah dalam keadaan kuat dan besar. Di samping itu, kondisi lahan sawah (rawa) telah mengalami penurunan kadar besi terlarutnya, sehingga memungkinkan bibit tanaman padi terhindar dari keracunan besi.

Berdasarkan pengamatan, kandungan besi tanah tercatat sebesar 156 ppm Fe, sementara kandungan besi dalam air tanah pada awalnya tinggi sebesar 0,44 me/L. Kemudian, kandungan besi dalam air tanah menurun

seiring waktu. Berikut kandungan besi pada air tanah pada minggu ke-3 sampai minggu ke-13, secara berturut-turut: 0,44; 1,71; 0,13; 0,01; 0,008; 0,079; 0,006; 0,56; 0,34; 0,08; dan 0,06 me/L (Khairullah *et al.*, 2006).

Di sisi lain, seleksi (skrining) yang dilakukan terhadap 130 kultivar lokal yang berasal dari lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan dan Sumatera Selatan menunjukkan variasi toleransi keracunan besi yang berbeda. Hasil penilaian (skoring) gejala keracunan besi, menggunakan panduan IRRI (1996), menunjukkan bahwa terdapat variasi yang relatif besar antar umur bibit yang ditanam. Bibit padi berumur satu minggu memperlihatkan ketahanan keracunan besi lebih tinggi dibandingkan bibit berumur dua dan tiga minggu. Berdasarkan hasil seleksi ini, terdapat 35 kultivar padi rawa yang tahan keracunan besi pada umur bibit satu minggu, sedangkan pada umur bibit dua minggu terdapat 29 kultivar, adapun pada umur bibit tiga minggu hanya 20 kultivar (Tabel 4.11).

Secara fisiologis, mekanisme penghindaran (*avoidance*) dan atau toleransi jaringan merupakan bentuk adaptasi tanaman padi lokal terhadap keracunan logam berat, terutama Fe. Asch *et al.* (2005), menjelaskan bahwa mekanisme *avoidance* mungkin berhubungan dengan kemampuan oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} pada permukaan akar, sehingga terbentuk *iron plaque* yang tidak berbahaya. Melalui mekanisme ini pula, terjadi perbedaan distribusi Fe pada organ tanaman padi (akar, batang dan daun), sehingga tanaman tersebut mampu tumbuh di lahan pasang surut (Audebert, 2006; Sahrawat, 2000).

Tabel 4.11. Ketahanan kultivar padi rawa terhadap keracunan besi

No	Nama Kultivar	Umur (minggu)		
		1	2	3
1.	Siam Halus	*		
2.	Siam Perak	*	*	*
3.	Siam Berandal	*	*	
4.	Siam Perak Halus	*	*	
5.	Siam Karang Dukuh Kuning	*		
6.	Pandak	*		
7.	Siam Pontianak Tinggi	*		
8.	Kutut	*		
9.	Siam Unus Kuning	*		
10.	Siam Gumpal	*		
11.	Siam PX	*	*	
12.	Siam Arjuna		*	
13.	Siam Karta	*	*	
14.	Siam Randah Putih	*	*	*
15.	Pal 6	*	*	*
16.	Pal 11	*	*	*
17.	Lakatan	*	*	*
18.	Raden Rata	*	*	*
19.	Kawi	*	*	*
20.	Siam Puntal	*	*	*
21.	Siam Randah Kuning	*	*	*
22.	Pirak	*	*	*
23.	Pandak Kembang	*	*	*
24.	Palon	*	*	*
25.	Siam Rata	*	*	*
26.	Bayar Palas	*	*	*
27.	Unus Organik	*	*	*
28.	Siam Pontianak Halus	*	*	*
29.	Siam Pangling	*	*	
30.	Siam Tanggung	*		
31.	Unus Gampa	*		*
32.	Adil Kuning	*		
33.	Siam Lantik	*	*	*
34.	Selumbung	*	*	*
35.	Bonai	*	*	*
36.	Putih Rampak	*	*	
37.	Petek	*	*	

Ket. * skor 1-3 (sangat tahan sampai tahan)

Sumber: Khairullah *et al.* (2006)

4.2.3.2 Tahan hama dan penyakit

Hama dan penyakit merupakan faktor pembatas dalam pengembangan tanaman padi. Di lahan rawa (pasang surut dan lebak), ditemukan berbagai kasus serangan hama dan penyakit (OPT), terutama tikus, blas, bercak coklat, penggerek batang, putih palsu, tungro, hawar pelepah daun, wereng coklat, dan walang sangit (Prayudi, 2001). Menurut Prayudi (2001), pengendalian OPT pada tanaman padi di lahan rawa diarahkan berdasarkan konsep pengelolaan hama secara terpadu (PHT), atau tidak terlepas dari pengelolaan agroekosistem rawa secara holistik. Oleh karena itu, salah satu praktik PHT pada tanaman padi di lahan rawa adalah pengelolaan ekosistem rawa melalui teknik budidaya tanaman sehat atau penggunaan kultivar tahan/toleran.

Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan sebanyak 22 kultivar padi rawa yang memiliki ketahanan terhadap hama dan penyakit (Tabel 4.12). "Siam Arjan", "Siam Pontianak", "Siam Jalan", "Siam Bamban", "Siam Cinta", dan "Sanggul" adalah kultivar padi rawa yang tahan terhadap penyakit blas daun (ras-002). Sementara itu, "Palui", "Badagai", "Latur", dan "Isip" adalah kultivar-kultivar yang menunjukkan ketahanan terhadap wereng coklat (biotipe 1).

Secara biologi, penyakit blas disebabkan oleh serangan jamur *Pyricularia grisea*. Jamur ini dapat menginfeksi tanaman padi pada semua fase pertumbuhannya, mulai fase bibit (persemaian) sampai menjelang panen. Pada fase bibit dan pertumbuhan vegetatif, *P. grisea* menginfeksi bagian daun tanaman padi dan menimbulkan gejala penyakit berupa bercak coklat berbentuk belah ketupat yang disebut blas daun (Gambar 4.7a).

Tabel 4.12. Ketahanan beberapa kultivar padi rawa pasang surut dan lebak terhadap hama dan penyakit

No	Nama Kultivar	Ketahanan terhadap hama dan penyakit
1.	Siam Arjan	Tahan blas daun ras-002, tahan bercak coklat
2.	Palui	Tahan wereng coklat biotipe 1, agak tahan bercak coklat
3.	Lakatan Jambu	Agak tahan bercak coklat
4.	Siam Pontianak	Tahan blas daun ras-002
5.	Badagai	Tahan wereng coklat biotipe 1, Agak tahan blas daun ras-002
6.	Latur	Tahan wereng coklat biotipe 1, Agak tahan blas daun ras-002
7.	Siam Unus	Agak tahan blas daun ras-002
8.	Isip	Tahan wereng coklat biotipe 1
9.	Siam Pandak	Tahan bercak coklat daun
10.	Siam Jalan	Tahan blas daun ras-002
11.	Siam Cinta	Tahan blas daun ras-002
12.	Sanggul	Tahan blas daun ras-002
13.	Siam Bamban	Tahan blas daun ras-002
14.	Sasak Jalan	Agak tahan blas daun ras-002
15.	Siam Sanah	Agak tahan blas daun ras-002

Sumber: Khairullah *et al.* (2008)



Gambar 4.7. Serangan penyakit blas pada tanaman padi, (a) menyebabkan bercak daun berwarna coklat, (b) menyebabkan gabah hampa atau steril.

Sumber: Anonim (2019) (<http://bbpadi.litbang.pertanian.go.id>)

Pada fase pertumbuhan generatif, gejala penyakit blas berkembang pada tangkai/leher malai tanaman padi disebut blas leher. Perkembangan parah penyakit blas leher infeksiya dapat mencapai bagian gabah dan patogennya dapat terbawa gabah sebagai patogen tular benih (*seed borne*). Pada lingkungan kondusif, blas daun dapat berkembang pesat dan terkadang menyebabkan kematian tanaman. Penyakit blas leher dapat menurunkan hasil secara nyata karena menyebabkan leher malai mengalami busuk atau patah sehingga proses pengisian malai terganggu dan banyak terbentuk bulir padi hampa (lihat Gambar 4.7b).

Oleh karena itu, kultivar-kultivar padi lokal yang menunjukkan ketahanan terhadap penyakit-penyakit tersebut, misalnya blas, menjadi sumber genetik penting dalam program pemuliaan, terutama untuk perbaikan sifat genetik kultivar padi di lahan rawa pasang surut dan lebak di Indonesia (Balittra, 2001).

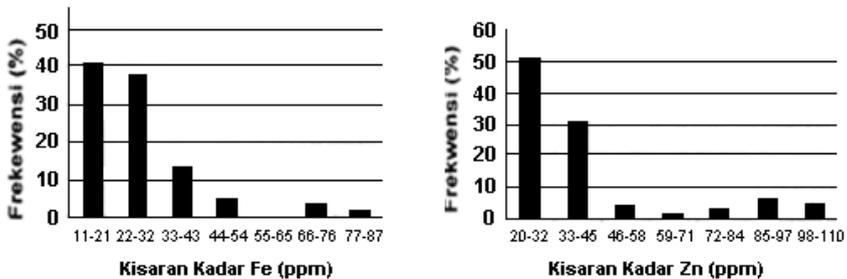
4.2.3.3 Toleran kekeringan

Karakter lahan rawa lebak, yang terkadang mengalami kekeringan saat musim kemarau (lihat kembali bahasannya pada Bab 2, sub bab 2.2), memerlukan kultivar-kultivar tertentu yang tahan terhadap kondisi tersebut. Khairullah *et al.* (2006), melaporkan bahwa terdapat beberapa kultivar padi lahan rawa yang toleran terhadap kondisi kekeringan, seperti "Lemo", "Banal", "Serai Rampak", dan "Senapi". "Lemo" adalah kultivar padi lokal yang berasal dari lahan rawa Kalimantan Selatan, sedangkan tiga kultivar lain yang disebutkan berasal dari lahan rawa lebak Sumatera Selatan.

4.2.4 Karakter biokimiawi

4.2.4.1 Kandungan Fe dan Zn

Lingkungan lahan rawa, yang secara alamiah memiliki kandungan logam berat (terutama Fe) yang tinggi, di satu sisi menjadi penghambat pertumbuhan tanaman di lokasi tersebut (lihat kembali bahasan mengenai karakteristik lahan rawa pada Bab 2). Namun di sisi lain, beberapa kultivar yang memiliki toleransi yang tinggi terhadap kondisi demikian (lihat sub bahasan “D” pada bab ini), ternyata memiliki kandungan logam yang relatif tinggi pada gabahnya. Hasil analisis terhadap 71 beras kultivar padi lokal lahan rawa menunjukkan bahwa kandungan besi (Fe) dan seng (Zn) sangat bervariasi (Gambar 4.8). Berdasarkan gambar tersebut diketahui bahwa kandungan Fe berkisar antara 11-83 ppm. Sementara itu, kadar Zn juga sangat bervariasi dengan rentang relatif lebar, antara 20-108 ppm. Jika dibandingkan dengan kultivar unggul galur harapan, maka kandungan Fe dan Zn pada beras kultivar lokal tergolong tinggi.



Gambar 4.8. Kandungan Fe dan Zn pada beras kultivar padi rawa pasang surut

Sumber: Khairullah *et al.* (2006)

Sebagai contoh, “Siam Panangah” yang merupakan salah satu kultivar padi rawa Kalimantan Selatan memiliki kandungan Fe sebesar 83 ppm, lebih tinggi daripada IR66 yang hanya 36 ppm. Sementara itu, “Siam Panangah” juga menunjukkan kadar Zn (108 ppm) lebih tinggi

dibandingkan IR66 yang hanya 36 ppm. Secara singkat, informasi mengenai kandungan biokimiawi (seperti kadar Fe dan Zn) pada beras kultivar lokal padi rawa sangat bermanfaat bagi para peneliti dan pemulia (*breeder*) yang akan merakit suatu kultivar unggul dengan kadar Fe dan Zn tinggi. Bagaimanapun, kultivar unggul demikian dapat membantu mengurangi asupan Fe dan Zn dari sumber makanan lain (Khairullah *et al.*, 2003).

4.2.4.2 Aromatik

Padi aromatik merupakan kultivar spesial yang memiliki nilai jual tinggi di pasaran. Di pasar internasional, dikenal dua kultivar padi aromatik, yaitu “Basmati” dari India dan “Jasmine” dari Thailand (Elsera *et al.*, 2014). Di Indonesia, dikenal pula beberapa kultivar padi aromatik, misalnya “Rojolele” dari Jawa Tengah, “Mentik Wangi” dari Yogyakarta, dan “Pandan Wangi” dari Jawa Barat. Ketiganya merupakan kultivar padi lokal. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi (BB Padi) telah melepas beberapa kultivar padi aromatik, seperti “Sintanur”, “Celebes”, “Gilirang”, “Cimelati”, dan “Batang Gadis”. “Cimelati” dan “Gilirang” termasuk padi aromatik tipe baru, sedangkan “Celebes”, “Batang Gadis”, dan “Sintanur” termasuk tipe padi sawah (Suprihatno *et al.*, 2006).

Di lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan, ditemukan pula kultivar “Pudak” yang tergolong kedalam padi aromatik (Khairullah *et al.*, 2003). Secara biokimiawi, aroma khas pada padi aromatik disebabkan oleh senyawa *volatil 2 acetyl-1pyrroline* (2AP) (Hashemi *et al.*, 2015). Meskipun secara biokimiawi jalur metabolisme/biosintesisnya belum diketahui, namun Sakthivel *et al.* (2009) menyatakan bahwa gen aromatik pada padi dikendalikan oleh lokus *badh2* (*betaine aldehyde dehydrogenase homologue 2*) yang terletak pada kromosom 5, 8 atau 9.

4.2.5 Karakter sitologi (kromosom)

Secara singkat, kromosom dapat diterjemahkan sebagai benang-benang DNA yang terdapat di dalam nukleus dan dikemas sedemikian-rupa sehingga dapat terlihat secara jelas selama fase-fase pembelahan sel, terutama fase prometafase atau metafase awal (Suryo, 2007). Menurut Levan *et al.* (1964), kromosom dapat diklasifikasikan berdasarkan posisi relatif sentromernya terhadap lengan panjang dan lengan pendek kromosom, menjadi empat bentuk (morfometrik), yaitu metasentris, submetasentris, akrosentris, dan telosentris (perhatikan Tabel 4.13). Menurut Parjanto *et al.* (2003), informasi mengenai bentuk/morfometrik kromosom dapat dimanfaatkan untuk mendukung program pemuliaan tanaman, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Tabel 4.13. Klasifikasi bentuk kromosom berdasarkan indeks sentromer dan rasio lengan kromosom

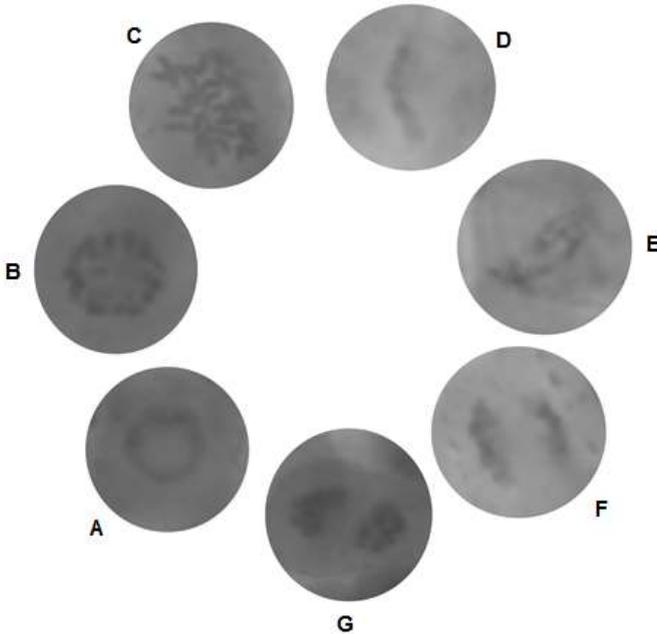
Indeks Sentromer	Rasio Lengan Kromosom	Bentuk Kromosom
37,50-50,00	1,00-1,67	Metasentris
25,50-37,49	1,68-3,00	Submetasentris
12,50-25,49	3,01-7,00	Akrosentris
0-12,49	>7,00	Telosentris

Sumber: Levan *et al.* (1964)

4.2.5.1 Pembelahan sel

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa tanaman padi rawa memiliki karakteristik pembelahan sel dan kromosom yang menarik. Mursyidin *et al.* (2014) melaporkan bahwa pembelahan sel akar tanaman padi “Siam Mutiara” yang berasal dari lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan terjadi pada pukul 12.00-13.00 WITA. Pada rentang waktu tersebut, semua fase pembelahan sel dapat diamati dengan baik, mulai “interfase” sampai “telofase” (lihat Gambar 4.9). Bahkan, fase “prometafase” yang didalamnya kromosom terdapat dalam keadaan terkondensasi sempurna

dan tersebar di dalam sel, dapat terlihat dengan baik pula. Pada fase ini, kromosom dapat dianalisis lebih lanjut untuk menentukan sebaran, bentuk dan jumlah kromosomnya.



Gambar 4.9. Siklus pembelahan sel pada padi rawa Kalimantan Selatan “Siam Mutiara”, terjadi antara pukul 12.00-13.00 WITA. (Ket. A = Interfase, B = Profase, C = Prometafase, D = Metafase, E = Anafase, F = Telofase awal, G = Telofase akhir, Perbesaran 1000 kali).

Sumber: Mursyidin *et al.* (2014)

4.4.2.5 Tipe kromosom (karyotipe)

Hasil analisis lebih lanjut terhadap lima kultivar padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan, yaitu “Adil Ganal”, “Siam Unus”, “Unus Mayang”, “Siam Gadis”, dan “Siam Mutiara”, menunjukkan bahwa kelimanya memiliki tipe kromosom (karyotipe) yang menarik (Gambar 4.10). Secara umum, seluruh padi rawa yang dikaji mempunyai set kromosom diploid yang sama, yaitu 12 pasang atau $2n=24$. Hasil ini sesuai

dengan hasil penelitian Cheng *et al.* (2001), yang menyebutkan bahwa kromosom tanaman padi berjumlah 24 unit atau $2n=24$.



Gambar 4.10. Karyogram lima kultivar padi rawa Kalimantan Selatan, masing-masing terdiri atas 12 pasang kromosom $2n=24$ (Ket. A = “Adil Ganal”, B = “Siam Unus”, C = “Unus Mayang”, D = “Siam Gadis”, E = “Siam Mutiara”).

Sumber: Mursyidin *et al.* (2014)

Namun demikian, panjang absolut kromosom padi yang dipelajari menunjukkan perbedaan (Tabel 4.14). Sebagai contoh, “Siam Mutiara” dan “Unus Mayang” adalah kultivar yang memiliki rentang panjang kromosom absolut relatif lebih kecil dibandingkan kultivar lainnya, masing-masing $1,01-2,79 \mu\text{m}$ dan $1,02-2,18 \mu\text{m}$. Sementara itu, kultivar “Siam Unus” memiliki kromosom dengan panjang absolut tertinggi, yaitu antara $4,34-11,75 \mu\text{m}$, mendekati panjang kromosom padi yang dikaji oleh Iijima *et al.* (1991), yang menyebutkan panjangnya sekitar $5,8-13,6 \mu\text{m}$. Terjadinya perbedaan panjang kromosom ini mungkin disebabkan karena

pembengkakan sel dan besarnya kondensasi masing-masing kromosom tanaman padi.

Tabel 4.14. Karakteristik kromosom padi rawa pasang surut Kalimantan Selatan

Kultivar	Rentang Panjang Kromosom (μm)			Rumus Karyotipe
	Lengan Pendek (p)	Lengan Panjang (q)	Panjang Absolut (p+q)	
Adil Ganal	1,18-3,17	1,45-4,17	2,58-7,15	22m + 2sm + satelit
Siam Unus	2,17-5,65	2,17-6,10	4,34-11,75	24m + 0
Unus Mayang	1,62-3,66	1,66-6,47	1,02-2,18	23m + 1sm
Siam Gadis	1,51-2,65	1,53-3,72	3,04-6,11	24m + 0
Siam Mutiara	0,49-0,99	0,52-1,84	1,01-2,79	23m + 1sm

Ket. m = metasentris, sm = submetasentris.

Sumber: Mursyidin *et al.* (2014)

Berdasarkan Tabel 4.14, diketahui bahwa lima kultivar padi rawa Kalimantan Selatan mempunyai formula karyotipe yang berbeda. Secara umum tipe kromosom tersebut bersifat “simetris” dan “asimetris”. Kultivar yang memiliki tipe kromosom simetris ditunjukkan oleh “Siam Unus” dan “Siam Gadis”, sementara tiga kultivar lainnya tergolong asimetris. Menurut Singh (1993), tipe kromosom simetris dianggap lebih konservatif (primitif) dibandingkan asimetri dalam perjalanan evolusinya. Oleh karena itu, kultivar “Siam Unus” dan “Siam Gadis” diperkirakan merupakan kultivar lokal asli (*indigenous*) lahan rawa Kalimantan Selatan. Sementara tiga kultivar lainnya merupakan kultivar hibrid, atau merupakan kultivar hasil persilangan dari tetua lainnya. Menurut Suprihatno *et al.* (2006), “Siam Unus” adalah salah satu kultivar lahan rawa yang telah dimanfaatkan oleh para pemulia sebagai tetua dalam merakit kultivar unggul khusus lahan rawa pasang surut.

Hasil penelitian Iijima *et al.* (1992), memperlihatkan juga bahwa kromosom pada tanaman padi memperlihatkan bentuk yang bervariasi, baik “metasentris”, “submetasentris” dan “subtelosentris”. Menurut Wang

et al. (1991), terjadinya perbedaan pada bentuk kromosom padi dapat disebabkan oleh peristiwa “defisiensi”. Sementara itu, Nishimura (1961), melaporkan bahwa perbedaan bentuk kromosom padi dapat disebabkan oleh peristiwa “translokasi”. Namun demikian, untuk memastikan kebenaran terjadinya heteromorfisme pada tanaman padi rawa Kalimantan Selatan diperlukan pengamatan lebih lanjut, misalnya menggunakan teknik pewarnaan FISH (*Fluorescence In Situ Hybridization*) atau DAPI (*4',6-diamidino-2-phenylindole*) (Cheng *et al.*, 2001).

4.2.6 Karakter molekular

4.2.6.1 Konsentrasi DNA

DNA merupakan senyawa biomolekul yang sangat penting bagi organisme dan kehidupan. DNA adalah asam nukleat yang mengandung materi genetik dan berfungsi untuk mengatur perkembangan biologis seluruh bentuk kehidupan secara seluler (Klug & Cummings, 1994; Raven & Johnson, 2002). Secara molekular, DNA memiliki struktur *double helix* yang antiparalel dengan komponen-komponennya, yaitu gula pentosa (deoksiribosa), gugus fosfat, dan pasangan basa. Pasangan basa pada DNA terdiri atas dua macam, yaitu basa purin dan pirimidin. Basa purin terdiri atas adenin (A) dan guanin (G) yang memiliki struktur cincin-ganda, sedangkan basa pirimidin terdiri atas sitosin (C) dan timin (T) yang memiliki struktur cincin-tunggal (Lewis, 2003).

Pada berbagai organisme, molekul DNA dapat diisolasi. Adapun setiap organisme memiliki struktur dan komposisi DNA (genom) tertentu. Lehninger *et al.* (2008), menjelaskan bahwa perbedaan atau persamaan struktur urutan DNA (genom) antar organisme dapat menentukan kekerabatan diantara organisme tersebut. Dengan kata lain, perbedaan urutan gen homolog dalam urutan DNA mungkin akan menyebabkan divergensi dari dua spesies yang dianggap sama, atau perbedaan yang semakin besar diantara dua spesies tersebut mungkin dapat

mengkonstruksi pohon filogeni (kekerabatan evolusi) dimana dua spesies tersebut berada (dalam kedudukan taksonomi) (Lehninger *et al.*, 2008).

Hasil ekstraksi dan kuantifikasi terhadap padi rawa, diketahui bahwa plasma nutfah tersebut memiliki tingkat konsentrasi dan kemurnian (rasio) DNA yang berbeda antar kultivar. Secara umum, konsentrasi DNA yang terukur berkisar antara 41,5-175 ng/ uL (lihat Tabel 4.15). Menurut Garcia *et al.* (2004), munculnya perbedaan konsentrasi DNA antar individu yang dikaji dapat digunakan untuk menginterpretasi hubungan evolusioner (kekerabatan filogenetik) antar individu tersebut. Hasil penelitian Garcia *et al.* (2004) memperlihatkan bahwa variasi konsentrasi DNA pada 40 spesies Anthemidae (Asteraceae) berkorelasi positif dengan karakter sitologi, fisiologi dan lingkungan, sehingga dapat dijadikan acuan untuk menginterpretasikan hubungan evolusioner taksa tersebut.

Tabel 4.15. Hasil kuantifikasi DNA sampel tanaman padi rawa, termasuk kultivar unggul sebagai pembanding

No.	Nama Kultivar	Konsentrasi (ng/uL)	Rasio
1.	Ganal Perak	123,0	2,050
2.	Pandak Putih	96,0	2,099
3.	Lakatan Pacar	121,0	2,006
4.	Lakatan Wangi	68,0	2,018
5.	Siam Orok	122,0	1,870
6.	Siam Babirik	160,0	1,928
7.	Siam Kuning	112,0	2,000
8.	Siam Mutiara	175,0	1,977
9.	Ciherang*	76,0	1,836
10.	Sardani**	41,5	1,982

Ket. *Kultivar unggul; ** Asal lahan rawa Sumatera

Sumber: Mursyidin (2018)

Di sisi lain, rasio absorbansi DNA yang terukur pada penelitian ini relatif tinggi (1,836-2,099). Menurut Maniatis *et al.* (1982), DNA yang memiliki rentang rasio absorbansi 1,8 - 2,0 diperkirakan ideal untuk proses amplifikasi (PCR). Hal ini karena pada kisaran tersebut, diperkirakan tidak terdapat kontaminan DNA, terutama protein maupun RNA. Maniatis *et al.*

(1982) menambahkan bahwa jika nilai rasio absorbansi A260/280 rendah ($<1,8$), maka kontaminan protein diperkirakan lebih dominan, sebaliknya jika rasio absorbansi $>2,0$ maka kontaminan RNA lebih dominan. Oleh karena itu, kemurnian DNA merupakan salah satu kunci penting untuk berjalannya reaksi PCR (Sambrook *et al.*, 1989).

Beberapa faktor dapat mempengaruhi kemurnian DNA (akurasi rasio absorbansi A260/A280), diantaranya pengenceran sampel yang terlalu tinggi, tipe protein kontaminan, dan kontaminan lain (seperti fenol) yang terbaca pada absorbansi 280 nm. Oleh karena itu, preparasi asam nukleat yang tidak terkontaminasi fenol akan berada pada rasio A260/A280 sekitar 1,8 (Glasel, 1995). Tingkat keasaman (pH) larutan dapat mempengaruhi juga rasio A260/A280. Jika pH rendah (asam), rasio akan berada pada kisaran rendah (0,2–0,3), sedangkan pada pH basa (alkali) maka rasio akan meningkat. Disamping itu, komposisi nukleotida pada molekul DNA dapat menyebabkan perbedaan rasio absorbansi A260/A280. Adapun jenis alat dapat mempengaruhi juga hasil pengukuran konsentrasi dan rasio DNA (Holden *et al.*, 2009).

4.2.6.2 Polimorfisme

Polimorfisme dapat diterjemahkan sebagai bentuk keanekaragaman genetik, baik antar individu dalam populasi, maupun antar populasi dalam spesies. Menurut Frankham *et al.* (2002), polimorfisme adalah suatu ukuran/metode yang dapat digunakan untuk mengungkapkan keanekaragaman genetik suatu organisme, baik berdasarkan perbedaan karakter kuantitatif, kromosom, maupun ukuran dan urutan molekul DNA. Sementara itu, RAPD (*Random Amplified Polimorphic DNA*) adalah salah satu metode molekular yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat keanekaragaman genetik atau polimorfisme dari suatu organisme tersebut. Metode ini mampu menghasilkan potongan DNA hasil

pelipatgandaan dalam jumlah tidak terbatas dan masing-masing potongan dapat diperlakukan sebagai karakter untuk keperluan analisis (Frankham *et al.*, 2002).

Secara umum RAPD merupakan salah satu penanda molekular yang sederhana dan cepat dalam menentukan keanekaragaman genetik suatu plasma nutfah yang memiliki kekerabatan genetik relatif dekat, seperti tanaman padi (Islam *et al.*, 2013; Rajani *et al.*, 2013). Meskipun dalam aplikasinya penanda ini menyita banyak waktu dan menghasilkan data secara subyektif, namun RAPD memiliki beberapa kelebihan, diantaranya murah dan tidak memerlukan keahlian khusus dalam penanganannya. Disamping itu, dalam analisis RAPD tidak diperlukan informasi awal mengenai sekuen genetik (genom) plasma nutfah yang akan dikaji (Williams *et al.*, 1990).

Beberapa peneliti yang telah mengaplikasikan penanda RAPD untuk menentukan keanekaragaman genetik tanaman padi, diantaranya adalah Ali *et al.* (2014), Al-Tahir (2014), Arshad *et al.* (2011), Chauhan *et al.* (2015), Hasan & Raihan (2015), Islam *et al.* (2013), Kanawapee *et al.* (2011), Kiani (2011), Mani *et al.* (2010), Ogunbayo *et al.* (2007), Pervaiz *et al.* (2010), Rabbani *et al.* (2008), Raghunathachari *et al.* (2000), Rahman *et al.* (2007), Rajani *et al.* (2013), dan Rekha *et al.* (2011), serta Saker *et al.* (2005). Pada tanaman padi rawa, analisis RAPD telah berhasil pula dilakukan. Mursyidin *et al.* (2019a) melaporkan bahwa plasma nutfah padi rawa menunjukkan keragaman genetik relatif tinggi berdasarkan penanda ini. Keragaman genetik tersebut ditunjukkan oleh munculnya fragmen DNA polimorfik serta prosentase polimorfismenya (lihat Tabel 4.16).

Tabel 4.16. Jumlah fragmen polimorfik dan tingkat polimorfisme (%) padi rawa berdasarkan jenis primer RAPD

Jenis Primer	Jumlah Fragmen	Fragmen Polimorfik	Fragmen Monomorfik	Polimorfisme (%)
OPB-06	52	22	30	42,31
OPAJ-01	78	28	50	35,90
OPAB-17	20	20	0	100,00
OPAL-08	32	32	0	100,00
OPAL-09	50	50	0	100,00
Total	232	152	80	
Rerata	46,4	30,4	16	75,64

Sumber: Haq (2014)

Berdasarkan Tabel 4.16, padi rawa memiliki rerata tingkat polimorfisme sebesar 75,64%. Tingkat polimorfisme ini tergolong sedang. Berdasarkan penelusuran pustaka, nilai polimorfisme ini lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian Al-Tahir (2014) yang mempelajari padi lokal Irak dengan tingkat polimorfisme sebesar 56,88% dan lebih rendah dibandingkan hasil penelitian Hasan & Raihan (2015), Ali *et al.* (2014) dan Rajani *et al.* (2013), dengan polimorfisme masing-masing sebesar 78,79%, 73% dan 85,02%.

Di sisi lain, rerata jumlah DNA polimorfik tiap penanda pada penelitian ini tercatat sebesar 16 fragmen. Prosentase fragmen polimorfik hampir sama dengan hasil penelitian Rajani *et al.* (2013), namun relatif lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian Al-Tahir (2014), Islam *et al.* (2013) dan Kiani (2011). Menurut Frankham *et al.* (2002), nilai polimorfisme demikian mungkin merefleksikan tingginya tingkat keragaman genetik. Namun demikian, variasi genetik berdasarkan nilai polimorfisme sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya kandungan basa GC pada penanda yang digunakan (Raghunathachari *et al.*, 2000). Disamping itu, struktur penanda DNA yang digunakan, terutama rendahnya perlekatan basa pada region *annealing* (perlekatan) DNA genom, turut pula mempengaruhi perbedaan jumlah fragmen DNA yang diamplifikasi (Williams *et al.*, 1990).

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, diketahui bahwa penanda OPAB-17, OPAL-08 dan OPAL-09 adalah tiga penanda RAPD yang mampu menghasilkan tingkat polimorfisme tertinggi (100%) pada tanaman padi rawa (lihat kembali Tabel 4.16). Oleh karena itu, ketiga penanda ini diperkirakan dapat dijadikan penanda molekular untuk mempelajari keragaman genetik tanaman padi secara umum.

4.2.6.2 Keragaman nukleotida

Pada tingkat nukleotida (sekuen DNA), Mursyidin *et al.* (2018) melaporkan bahwa tanaman padi rawa memiliki keragaman genetik relatif tinggi (lihat Tabel 4.17). Berdasarkan tabel tersebut, diketahui bahwa padi lokal lahan rawa memiliki keragaman genetik sebesar 0,51 dan 0,68. Pada penelitian tersebut, Mursyidin *et al.* (2018) menggunakan dua penanda molekular, yaitu *trnL-F* dan IGS.

Tabel 4.17. Karakteristik molekular region *trnL-F* dan IGS pada padi rawa

Parameter	Region	
	<i>trnL-F</i>	IGS
Jumlah panjang nukleotida (<i>n</i>)	936	1051
Jumlah nukleotida yang bermutasi (<i>S</i>)	910	1050
Rasio <i>S/n</i> (<i>Ps</i>)	0,97	0,99
Komposisi basa GC (%)	35,8	69,4
Koefisien diferensiasi	0,75	1,16
Keanekaragaman nukleotida (<i>π</i>)	0,51	0,68
Uji netralitas Tajima (<i>D</i>)	2,41	4,69
Bias transisi/transversi (<i>R</i>)	0,57	0,58

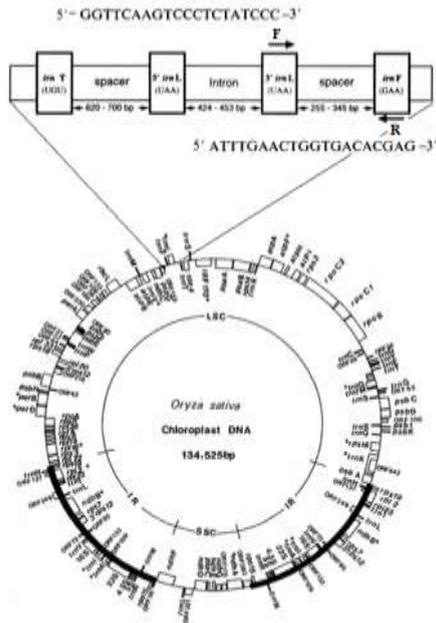
Sumber: Mursyidin (2018)

Secara teoritis, *trnL-F* merupakan suatu region *non-coding* (tidak dikode) yang terdapat pada genom DNA kloroplas (cpDNA). Region tersebut terletak dalam bagian salinan tunggal besar atau *large single copy* (LSC) dari suatu genom kloroplas, dengan ukuran sekitar 8 ribu pasang basa (kb) dan berada diujung region *rbcL* (Pirie *et al.*, 2007). Region ini terdiri atas intron *trnL* (UAA) dengan ukuran 350 - 600 pasang basa (bp)

dan intergenik (IGS) *spacer* dengan ukuran 120-350 bp (Taberlet *et al.*, 1991) (lihat Gambar 4.11).

Sejak sepuluh tahun terakhir, region *trnL-F* diketahui memiliki variabilitas genetik sangat tinggi (Tam *et al.*, 2004), sehingga dapat digunakan sebagai penanda genetik yang handal dalam genetika populasi maupun sistematika tumbuhan. Pada beberapa anggota monokotil, seperti Themidaceae, Alliaceae, Iridaceae, dan Palmae, region ini juga menunjukkan variabilitas genetik tinggi (Tam *et al.*, 2004). Meskipun demikian, rangkaian gen *trn* secara umum memiliki sekuen *conserve* sehingga memberikan peluang untuk membuat primer universal bagi tumbuhan (Taberlet *et al.*, 1991). Oleh karena itu dapat digunakan untuk mempelajari struktur, fungsi dan evolusi berbagai ordo tumbuhan berbunga, Angiospermae, tumbuhan darat, briofita, dan Gnetales (Pirie *et al.*, 2007).

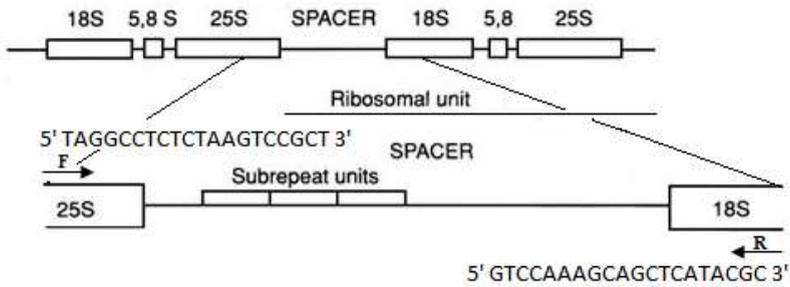
Sementara itu, IGS (*Intergenic spacer*) merupakan salah satu region (lokus) yang terdapat dalam organisasi nukleolar (NOR) yang memiliki urutan tandem berulang. Region ini terletak antara 25S dan 17S gen rRNA, serta memisahkan unit transkripsi berulang yang saling berdekatan, yaitu region non-transkripsi (NTS) dan transkripsi eksternal (ETS) (Chiang *et al.*, 1998, Yang & Jeong, 2008). Menurut Chung *et al.* (2008), region IGS tersebar pada satu atau beberapa kromosom suatu organisme. Pada tanaman padi (genus *Oryza*), region tersebut tersebar pada satu atau beberapa kromosom, yaitu kromosom 9 (saja) dan 10 pada *O. sativa*, sedangkan pada padi liar yaitu kromosom 4, 5, 9, dan 10.



Gambar 4.11. Struktur organisasi DNA kloroplas tanaman padi, termasuk region *trnL-F*

Sumber: Hiratsuka *et al.* (1989); Taberlet *et al.* (1991)

Karakterisasi struktural dan fungsional region IGS telah dikaji pada berbagai tumbuhan, terutama Gymnospermae (misalnya cemara putih), dikotil (misalnya *Daucus carota*, *Eruca sativa* dan kentang), serta monokotil (yaitu gandum dan jagung) (Chiang *et al.*, 1998). Secara struktural, region ini diketahui memiliki variabilitas yang tinggi pada sejumlah tanaman, seperti *Triticum aestivum*, *T. dicoccoides*, *Hordeum vulgare*, dan *Vicia faba* (Rogers & Bendich, 1987), serta *Zea mays* (Yang & Jeong, 2008), termasuk tanaman padi (Takaiwa *et al.*, 1990). Khusus pada tanaman padi, Rogers & Bendich (1987) melaporkan bahwa region IGS memiliki ukuran sebesar 1,5-1,8 ribu pasangan basa (kb). Sementara itu, Takaiwa *et al.* (1990) telah berhasil mengamplifikasi, mengklon dan membaca sekuen IGS tanaman padi secara lengkap dengan ukuran sebesar 2138 bp (lihat Gambar 4.12).



Gambar 4.12. Struktur organisasi DNA nuklear, termasuk region IGS

Sumber: diadaptasi dari Cordesse *et al.* (1991)

Berdasarkan hasil analisis lebih lanjut, diketahui pula bahwa kedua sekuen yang digunakan untuk mempelajari keragaman genetik padi rawa, yaitu *trnL-F* dan IGS, menunjukkan beberapa peristiwa mutasi, terutama “delesi” dan “substitusi”. Kejadian mutasi delesi dapat dilihat dari sekuen yang telah disejajarkan atau di-*alignment* (lihat Gambar 4.13 dan 4.14), sedangkan laju substitusi pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18. Laju substitusi region *trnL-F* dan IGS padi rawa

Laju Substitusi (<i>r</i>)	<i>trnL-F</i>	IGS
Transisi		
<i>r</i> (A=>G)	8,40	12,05
<i>r</i> (T=>C)	8,39	13,36
<i>r</i> (C=>T)	15,58	6,77
<i>r</i> (G=>A)	14,48	4,66
Transversi		
<i>r</i> (A=>T)	8,94	5,63
<i>r</i> (A=>C)	4,82	11,10
<i>r</i> (T=>A)	8,11	4,14
<i>r</i> (T=>G)	4,70	10,70
<i>r</i> (C=>A)	8,11	4,14
<i>r</i> (C=>G)	4,70	10,70
<i>r</i> (G=>T)	8,94	5,63
<i>r</i> (G=>C)	4,82	11,10

Sumber: Mursyidin (2018)

```

Sardani*      --TATTTC TTA TTTTATTGAACCGTGGACACGAGGATTTTCAGTCCCTCGCTCAACCAA
Lekatan Wangi ----TTAGGGGAGTTATTGAACCGTGGACACGAGGATTTTCAGTCCCTCGCTCAACCAA
Ciharang*    -----GTTCCTG9TTATTGAACCTG9GACACGAGGATTTTCAGTCCCTCGCTCAACCAA
Pondak Putih --09TAAAAATTTTTTTTGAACCTGGTGGACACGAGGATTTTCAGTCCCTCGCTCAACCAA
Lekatan Pasas ---TTTTAGGGGTTTTATTGAACCGTGGACACGAGGATTTTCAGTCCCTCGCTCAACCAA
Ganal Perak  --ATTTTAGGGGTTTTATTGAACCTGGACACGAGGATTTTCAGTCCCTCGCTCAACCAA
Siam Orok   --TTTAGGGGGTTTTATTGAACCTGGACACGAGGATTTTCAGTCCCTCGCTCAACCAA
Siam Kuning --ATTTAAAGGGATTTATTGAACCTGGACACGAGGATTTTCAGTCCCTCGCTCAACCAA
Siam Sabirih --T9TTAGGGGAGTTTTATTGAACCTGGACACGAGGATTTTCAGTCCCTCGCTCAACCAA
Siam Mutiara GAT9TGGGGGAGTTTTATTGAACCTGGACACGAGGATTTTCAGTCCCTCGCTCAACCAA
* * * * *

Sardani*      CTGAGCTATCCTGACCCTTTTC TTG9GCA TCATC CTAGTAGAGTATT9TATCTAT9TCAA
Lekatan Wangi CTGAGCTATCCTGACCCTTTTC TTG9GCA TCATC CTAGTAGAGTATT9TATCTAT9TCAA
Ciharang*    CTGAGCTATCCTGACCCTTTTC TTG9GCA TCATC CTAGTAGAGTATT9TATCTAT9TCAA
Pondak Putih CTGAGCTATCCTGACCCTTTTC TTG9GCA TCATC CTAGTAGAGTATT9TATCTAT9TCAA
Lekatan Pasas CTGAGCTATCCTGACCCTTTTC TTG9GCA TCATC CTAGTAGAGTATT9TATCTAT9TCAA
Ganal Perak  CTGAGCTATCCTGACCCTTTTC TTG9GCA TCATC CTAGTAGAGTATT9TATCTAT9TCAA
Siam Orok   CTGAGCTATCCTGACCCTTTTC TTG9GCA TCATC CTAGTAGAGTATT9TATCTAT9TCAA
Siam Kuning  CTGAGCTATCCTGACCCTTTTC TTG9GCA TCATC CTAGTAGAGTATT9TATCTAT9TCAA
Siam Sabirih CTGAGCTATCCTGACCCTTTTC TTG9GCA TCATC CTAGTAGAGTATT9TATCTAT9TCAA
Siam Mutiara CTGAGCTATCCTGACCCTTTTC TTG9GCA TCATC CTAGTAGAGTATT9TATCTAT9TCAA
* * * * *

Sardani*      TATCCAAAATTTGGAAATGGGGAGGGGGCAGTCCAT9GCA TT9TACAAAGAAAAGCCTATT
Lekatan Wangi TATCCAAAATTTGGAAATGGGGAGGGGGCAGTCCAT9GCA TT9TACAAAGAAAAGCCTATT
Ciharang*    TATCCAAAATTTGGAAATGGGGAGGGGGCAGTCCAT9GCA TT9TACAAAGAAAAGCCTATT
Pondak Putih TATCCAAAATTTGGAAATGGGGAGGGGGCAGTCCAT9GCA TT9TACAAAGAAAAGCCTATT
Lekatan Pasas TATCCAAAATTTGGAAATGGGGAGGGGGCAGTCCAT9GCA TT9TACAAAGAAAAGCCTATT
Ganal Perak  TATCCAAAATTTGGAAATGGGGAGGGGGCAGTCCAT9GCA TT9TACAAAGAAAAGCCTATT
Siam Orok   TATCCAAAATTTGGAAATGGGGAGGGGGCAGTCCAT9GCA TT9TACAAAGAAAAGCCTATT
Siam Kuning  TATCCAAAATTTGGAAATGGGGAGGGGGCAGTCCAT9GCA TT9TACAAAGAAAAGCCTATT
Siam Sabirih TATCCAAAATTTGGAAATGGGGAGGGGGCAGTCCAT9GCA TT9TACAAAGAAAAGCCTATT
Siam Mutiara TATCCAAAATTTGGAAATGGGGAGGGGGCAGTCCAT9GCA TT9TACAAAGAAAAGCCTATT
* * * * *

Sardani*      TAATAATATTAAAAATCGAGTTAATAATCGACATTCC TTGCCGATAC TATAA TAAAAAAA
Lekatan Wangi TAATAATATTAAAAATCGAGTTAATAATCGACATTCC TTGCCGATAC TATAA TAAAAAAA
Ciharang*    TAATAATATTAAAAATCGAGTTAATAATCGACATTCC TTGCCGATAC TATAA TAAAAAAA
Pondak Putih TAATAATATTAAAAATCGAGTTAATAATCGACATTCC TTGCCGATAC TATAA TAAAAAAA
Lekatan Pasas TAATAATATTAAAAATCGAGTTAATAATCGACATTCC TTGCCGATAC TATAA TAAAAAAA
Ganal Perak  TAATAATATTAAAAATCGAGTTAATAATCGACATTCC TTGCCGATAC TATAA TAAAAAAA
Siam Orok   TAATAATATTAAAAATCGAGTTAATAATCGACATTCC TTGCCGATAC TATAA TAAAAAAA
Siam Kuning  TAATAATATTAAAAATCGAGTTAATAATCGACATTCC TTGCCGATAC TATAA TAAAAAAA
Siam Sabirih TAATAATATTAAAAATCGAGTTAATAATCGACATTCC TTGCCGATAC TATAA TAAAAAAA
Siam Mutiara TAATAATATTAAAAATCGAGTTAATAATCGACATTCC TTGCCGATAC TATAA TAAAAAAA
* * * * *

Sardani*      GAAA TG TATTC CATTGAACTCTAAACCTATTAA TAAA -AAAACAGGATAAAATAC TAGAGT
Lekatan Wangi GAAA TG TATTC CATTGAACTCTAAACCTATTAA TAAA -AAAACAGGATAAAATAC TAGAGT
Ciharang*    GAAA TG TATTC CATTGAACTCTAAACCTATTAA TAAA AAAAAAACAGGATAAAATAC TAGAGT
Pondak Putih GAAA TG TATTC CATTGAACTCTAAACCTATTAA TAAA AAAAAAACAGGATAAAATAC TAGAGT
Lekatan Pasas GAAA TG TATTC CATTGAACTCTAAACCTATTAA TAAA AAAAAAACAGGATAAAATAC TAGAGT
Ganal Perak  GAAA TG TATTC CATTGAACTCTAAACCTATTAA TAAA AAAAAAACAGGATAAAATAC TAGAGT
Siam Orok   GAAA TG TATTC CATTGAACTCTAAACCTATTAA TAAA AAAAAAACAGGATAAAATAC TAGAGT
Siam Kuning  GAAA TG TATTC CATTGAACTCTAAACCTATTAA TAAA AAAAAAACAGGATAAAATAC TAGAGT
Siam Sabirih GAAA TG TATTC CATTGAACTCTAAACCTATTAA TAAA AAAAAAACAGGATAAAATAC TAGAGT
Siam Mutiara GAAA TG TATTC CATTGAACTCTAAACCTATTAA TAAA AAAAAAACAGGATAAAATAC TAGAGT
* * * * *

```

Gambar 4.13. Multiple alignment sekuen *trnL-F* padi rawa Ket. Tanda panah menunjukkan mutasi delesi/insersi; * Kultivar pembeding

Sumber: Mursyidin (2018)

```

Lekatan Pacar      G C C C T G C C A G C A G G C T A G G A G G C G G T G G G A A G G A T C T C A C G T G C G A C G C C C C G C A G C G G C
Siam Orok          G C C C T G C C A G C A G G C T A G G A G G C G G T G G G A A G G A T C T C A C G T G C G A C G C C C C G C A G C G G C
PandaK Putih      G C C C T G C C A G C A G G C T A G G A G G C G G T G G G A A G G A T C T C A C G T G C G A C G C C C C G C A G C G G C
Ciharang*         G C C C T G C C A G C A G G C T A G G A G G C G G T G G G A A G G A T C T C A C G T G C G A C G C C C C G C A G C G G C
Siam Babirik      G C C C T G C C A G C A G G C T A G G A G G C G G T G G G A A G G A T C T C A C G T G C G A C G C C C C G C A G C G G C
Sardani*          G C C C T G C C A G C A G G C T A G G A G G C G G T G G G A A G G A T C T C A C G T G C G A C G C C C C G C A G C G G C
Siam Kuning       G C C C T G C C A G C A G G C T A G G A G G C G G T G G G A A G G A T C T C A C G T G C G A C G C C C C G C A G C G G C
Lekatan Wangi    G C C C T G C C A G C A G G C T A G G A G G C G G T G G G A A G G A T C T C A C G T G C G A C G C C C C G C A G C G G C
Ganal Perak      G C C C T G C C A G C A G G C T A G G A G G C G G T G G G A A G G A T C T C A C G T G C G A C G C C C C G C A G C G G C
Siam Mutiara     *****

Lekatan Pacar      C G G G G T T C G G C T A G T G C C G T G A G T C G T T T T C C C A T A G G T G T T T T G G G C A C A C T A G C C C C C
Siam Orok          C G G G G T T C G G C T A G T G C C G T G A G T C G T T T T C C C A T A G G T G T T T T G G G C A C C T A G C C C C C
PandaK Putih      C G G G G T T C G G C T A G T G C C G T G A G T C G T T T T C C C A T A G G T G T T T T G G G C A C C T A G C C C C C
Ciharang*         C G G G G T T C G G C T A G T G C C G T G A G T C G T T T T C C C A T A G G T G T T T T G G G C A C C T A G C C C C C
Siam Babirik      C G G G G T T C G G C T A G T G C C G T G A G T C G T T T T C C C A T A G G T G T T T T G G G C A C C T A G C C C C C
Sardani*          C G G G G T T C G G C T A G T G C C G T G A G T C G T T T T C C C A T A G G T G T T T T G G G C A C C T A G C C C C C
Siam Kuning       C G G G G T T C G G C T A G T G C C G T G A G T C G T T T T C C C A T A G G T G T T T T G G G C A C C T A G C C C C C
Lekatan Wangi    C G G G G T T C G G C T A G T G C C G T G A G T C G T T T T C C C A T A G G T G T T T T G G G C A C C T A G C C C C C
Ganal Perak      C G G G G T T C G G C T A G T G C C G T G A G T C G T T T T C C C A T A G G T G T T T T G G G C A C C T A G C C C C C
Siam Mutiara     *****

Lekatan Pacar      C T C A G G T C C C T C G C G --- G C T C T G G C C C T T C A C A G G G T G C A C A C A G C T T T C T C G T T C T C
Siam Orok          T C A G G T C - C C T C C G --- C G C C T G G C C C T T C A C A G G G T G C A C A C A G C T T T C T C G T T C T C
PandaK Putih      T C A G G T C - C C T C C G --- C G C C T G G C C C T T C A C A G G G T G C A C A C A G C T T T C T C G T T C T C
Ciharang*         T C A G G T C - C C T C C G --- C G C C T G G C C C T T C A C A G G G T G C A C A C A G C T T T C T C G T T C T C
Siam Babirik      T C A G T C C C C T C G C G C C T G G C C C T --- T C A C A G G G T G C A C A C A G C T T T C T C G T T C T C
Sardani*          T C A G T C C C C T C G C G C C T G G C --- C C T T C A C A G G G T G C A C A C A G C T T T C T C G T T C T C
Siam Kuning       T C A G G T C C C C T C G C G --- G --- C T G G C C C T T C A C A G G G T G C A C A C A G C T T T C T C G T T C T C
Lekatan Wangi    C C T C A G T C C C C T C G C G --- G G T G C C C T T C A C A G G G T G C A C A C A G C T T T C T C G T T C T C
Ganal Perak      T C A G --- G T C C C T C C G C G C C T G G C C - C T T C A C A G G G T G C A C A C A G C T T T C T C G T T C T C
Siam Mutiara     T C A G --- G T C C C T C C G C G C C T G G C C C T T C A C A G G G - T G C A - A A C A G C T T T C T C G T T C T C
*****

Lekatan Pacar      T C C C G T C C C C C T C A G A C A --- T C C C G T C G G G G C ---
Siam Orok          T C C C G T C C C C C T C A G A C C --- T C C C G T C G G G C ---
PandaK Putih      T C C C G T C C C C C T C A G A C C --- T C C C G T C G G G C ---
Ciharang*         T C C C G T C C C C C T C A G A C C --- T C C C G T C G G G C ---
Siam Babirik      T C C C G T C C C C C T C A G A --- T C C C G T C G G G C C T T ---
Sardani*          T C C A A A G A T A T G G G G T C C C C G G T T C A G A C T G G G T G G G T G C T C G G G G C T T G C C C G
Siam Kuning       T C C C G - T C C C C C T C A G A --- T C C C G T C G G G C ---
Lekatan Wangi    G T C C G T C C C C C T C A G A C A --- T C C C G T C G G G G C T T ---
Ganal Perak      G T C C G T C C C C C T C A G A C A --- T C C C G T C G G G G C T T ---
Siam Mutiara     G T C C G T C C C C C T C A G A C A --- T C C C G T C G G G G C T T ---
*****

Lekatan Pacar      - T T C G T T T T A C T C G C G G G C A T G G C C G A T T C T A G T G C C T C G G T G G C G G A A T C G G G G T G C
Siam Orok          - T T C G T T T T A C T C G C G G G C A T G G C C - G T T C T A G T G C C T C G G T G G C G G A A T C G G G G T G C
PandaK Putih      - T T C G T T T T A C T C G C G G G C A T G G C C - G T T C T A G T G C C T C G G T G G C G G C G A A T C G G G G T G C
Ciharang*         - T T C G T T T T A C T C G C G G G C A T G G C C - G T T C T A G T G C C T C G G T G G C G G C G A A T C G G G G T G C
Siam Babirik      --- G C G T T T A C T C G C - G G G C A T G G C C G T T C T A G T G A A T C G G T G G A C C G A A C C G G G T G C
Sardani*          T T T T C A A C T C G G C A C G G C A T G G C C G T T C G G T A G T G C C T C G G T G G C G G C G A A T C G G G G T G C
Siam Kuning       --- G C G T T T A C T C G C G G - G C A T G G C C G T T C T A G T G C C T C G G T G G C G G C G A A T C G G G G T G C
Lekatan Wangi    --- G C G T T T A C T C G C G G G C A T G G C C G T T C T A G T G C C T C G G T G G C G G C G A A T C G G G G T G C
Ganal Perak      --- G C G T T T A C T C G C G G G C A T G G C C G T T C T A G T G C C T C G G T G G C G G C G A A T C G G G G T G C
Siam Mutiara     --- G C G T T T A C T C G C G G - G C A T G G C C G T T C T A G T G C C T C G G T G G C G G C G A A T C G G G G T G C
*****

```

Gambar 4.14. Multiple alignment sekuen IGS padi rawa Ket. * Kultivar pembanding
Sumber: Mursyidin (2018)

Mengacu pada Tabel 4.18, diketahui bahwa laju substitusi region *trnL-F* dan IGS padi rawa relatif tinggi, baik transisi maupun transversi. Cordesse *et al.* (1993) menyatakan bahwa IGS merupakan region rDNA yang sangat terdivergensi secara genetik akibat peristiwa delesi. Pada genus *Oryza*, tingginya variasi genetik pada region IGS dapat dipengaruhi oleh panjang sekuen basanya (Cordesse *et al.*, 1991). Menurut Chung *et al.* (2008), region IGS pada rDNA mengalami perubahan sangat cepat dalam jumlah salinan maupun lokasi kromosomnya. Chung *et al.* (2008) melaporkan tingginya jumlah ulangan dan posisi sejumlah lokus rDNA dalam kromosom pada 10 spesies yang termasuk genus *Oryza*. Hasil penelitian tersebut menjelaskan bahwa lokus rDNA *conserve* terletak di ujung lengan pendek kromosom nomor 9.

Sementara itu, *trnL-F* adalah region DNA kloroplas yang sangat bervariasi (Taberlet *et al.*, 1991). Region ini memiliki laju mutasi substitusi relatif tinggi daripada mutasi struktural (insersi-delesi atau indel), sehingga dapat digunakan untuk studi filogenetik (Drábková *et al.*, 2004). Namun demikian, mutasi insersi dan delesi pada region *trnL-F* memiliki informasi penting untuk studi filogenetik (Bayer & Starr, 1998). Penelitian tentang keragaman genetik padi lokal berdasarkan penanda *trnL-F* sangat terbatas, kecuali dilaporkan oleh Duan *et al.* (2007) pada genus *Oryza*. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menjadi menarik dan penting sebagai dasar untuk pengembangan padi lokal di Indonesia.

Dibandingkan dengan penelitian lain, padi rawa memiliki keragaman genetik relatif lebih tinggi. Pada penelitian ini, padi rawa menunjukkan variasi genetik sebesar 0,51 untuk penanda *trnL-F* dan 0,68 untuk penanda IGS (lihat kembali Tabel 4.17). Hasil penelitian Wang *et al.* (2013), melaporkan bahwa padi lokal Bangladesh hanya memiliki keanekaragaman genetik sebesar 0,46-0,53 berdasarkan penanda SSR. Menggunakan penanda yang sama (SSR pada genom nuklear dan

kloroplas), Kim *et al.* (2014) melaporkan bahwa padi lokal Korea Selatan hanya memiliki keanekaragaman genetik sebesar 0,035 sampai 0,636. Oleh karena itu, tingginya variasi genetik dalam penelitian ini mengindikasikan bahwa padi lokal tersebut telah mengalami domestikasi yang lama sebagai padi budidaya, sebagaimana dinyatakan Guo *et al.* (2014). Menurut Vaughan *et al.* (2008), domestikasi merupakan proses yang mengarah pada perubahan genetik.

Hasil uji netralitas Tajima (Tabel 4.17), mengisyaratkan bahwa padi rawa yang dikaji merupakan populasi yang telah mengalami keseimbangan seleksi dan tidak terdapat alel-alel yang langka di dalamnya, karena kedua sekuen (*trnL-F* dan IGS) memiliki $D > 0$ (Tajima, 1989). Namun untuk membuktikan hal ini diperlukan penelitian lanjutan menggunakan penanda molekular lain yang lebih akurat dan komprehensif, seperti SNP (*single nucleotide polymorphism*).

4.3 Analisis Kekekabatan Genetik Padi Rawa

Informasi tentang kekerabatan genetik juga sangat diperlukan dan memiliki implikasi yang penting untuk mendukung program konservasi dan pemuliaan plasma nutfah (Flint-Garcia, 2013). Menurut Fernández-García (2017), analisis kekerabatan genetik dapat mengungkapkan status genetik suatu spesies, termasuk sejarah evolusinya. Disamping itu, kajian semacam ini juga sangat diperlukan karena dapat membantu menganalisis batasan spesies, aliran gen (*gene flow*) dan diferensiasi genetik.

Dalam program pemuliaan tanaman, informasi tentang kekerabatan genetik dapat digunakan untuk memprediksi keragaman genetik keturunannya ketika dua individu disilangkan. Menurut Acquaaah (2012), persilangan dua individu yang memiliki kekerabatan genetik jauh, maka akan menghasilkan keturunan dengan keragaman genetik tinggi.

Sebaliknya, jika tetua induk memiliki kekerabatan genetik dekat disilangkan, maka keturunannya diperkirakan memiliki keragaman genetik sempit atau rendah.

Secara konsep, kekerabatan genetik dapat dianalisis menggunakan metode kluster atau gerombol. Dalam analisis ini, pengelompokan didasarkan pada similaritas atau kemiripan karakter yang dimiliki masing-masing individu yang diamati. Sementara itu, untuk mengetahui perbedaan antar karakter yang diamati dan karakter mana yang berpengaruh dapat dilakukan analisis komponen utama atau *Principal Component Analysis* (PCA) (Granato *et al.*, 2018). Secara singkat, melalui analisis PCA memungkinkan peneliti untuk mendapatkan informasi penting yang representatif untuk tujuan pemuliaan, seperti data hubungan antar karakter (Das *et al.*, 2017).

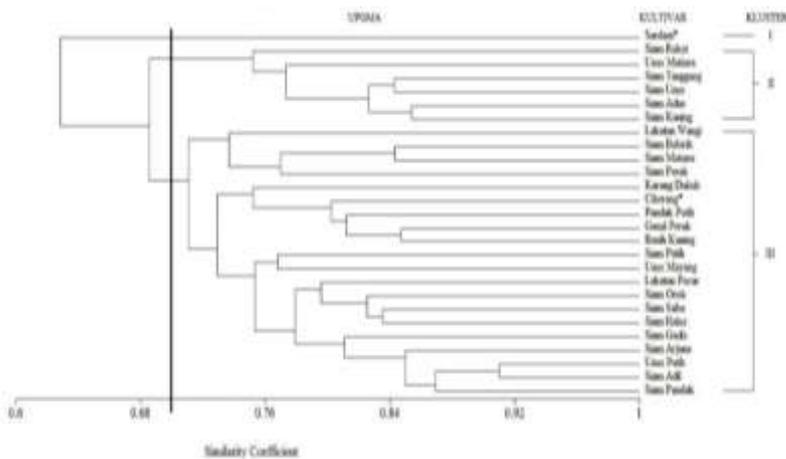
4.3.1 Karakter agro-morfologi

Berdasarkan karakter agro-morfologi, padi rawa Kalimantan Selatan memperlihatkan hubungan kekerabatan genetik yang menarik (Gambar 4.15). Secara umum, plasma nutfah tersebut mengelompok menjadi dua kluster utama, yang di dalamnya “Sardani” (kultivar pembanding asal lahan rawa Sumatera) memisah secara tersendiri dengan kultivar-kultivar padi lahan rawa pasang surut Kalimantan Selatan.

Sementara itu, pada koefisien similaritas 70%, padi rawa pasang surut mengelompok menjadi tiga kluster (Gambar 4.15). Kluster I terdiri atas satu kultivar, yaitu “Sardani”, sebagaimana telah disebutkan. Adapun Kluster II terdiri atas enam kultivar, meliputi “Siam Rukut”, “Unus Mutiara”, “Siam Tanggung”, “Siam Unus”, “Siam Adus”, dan “Siam Kuning”. Sementara kluster III, merupakan kluster terbesar dalam pengelompokan padi rawa, didalamnya terdapat “Ciherang” yang merupakan salah satu kultivar padi unggul nasional.

Gambaran yang berbeda diperlihatkan oleh pengelompokan padi rawa berdasarkan analisis komponen utama atau PCA (*Principal Component Analysis*) (lihat Gambar 4.16). Berdasarkan analisis tersebut, padi rawa mengelompok menjadi empat kluster utama. Kluster I, yang dipengaruhi oleh karakter diameter batang dan tinggi tanaman, meliputi tujuh kultivar, yaitu: “Lakatan Pacar”, “Siam Gadis”, “Siam Rukut”, “Siam Putih”, “Siam Kuning”, “Siam Unus”, dan “Siam Tanggung”.

Kelompok berikutnya (Kluster II), dengan anggota “Pandak Putih”, “Banih Kuning”, “Ganal Perak”, “Siam Arjuna”, “Siam Babirik”, “Karang Dukuh”, dan “Siam Pandak”, termasuk dua kultivar pembanding yaitu “Ciherang” dan “Sardani”, dipengaruhi oleh karakter jumlah anakan produktif. Sementara itu, “Siam Adil”, “Siam Mutiara”, “Siam Perak”, “Unus Putih”, dan “Siam Orok” mengelompok ke dalam kluster III, sangat dipengaruhi oleh posisi sudut daun bendera. Adapun kluster terakhir (IV), mengelompok berdasarkan umur tanaman, terdiri atas enam kultivar, yaitu “Unus Mayang”, “Siam Saba”, “Siam Halus”, “Siam Adus”, dan “Lakatan Wangi”, serta “Unus Mutiara”.



Gambar 4.15. Dendrogram hubungan kekerabatan fenetik padi rawa berdasarkan penanda morfologi (Ket. *Kultivar Pembanding)

Sumber: Mursyidin *et al.* (2019)

sebagaimana dalam konsep genetika, bahwa keanekaragaman fenotip adalah hasil ekspresi antara keanekaragaman genotip dan lingkungan, sehingga keanekaragaman fenotip sangat dipengaruhi oleh lingkungan (Frankham *et al.*, 2002). Namun dalam kenyataannya, hal tersebut tidak mesti terjadi (Daradjat *et al.*, 2009). Hartati *et al.* (2007), mengungkapkan bahwa pengelompokan suatu populasi tidak selalu berkaitan dengan letak geografis, meskipun populasi-populasi yang berdekatan secara geografis cenderung untuk membentuk subkluster tertentu. Oleh karena itu, pengelompokan genetik berdasarkan karakter morfo-agronomis memerlukan validasi lebih lanjut, terutama menggunakan karakter lain yang lebih akurat, seperti penanda molekular.

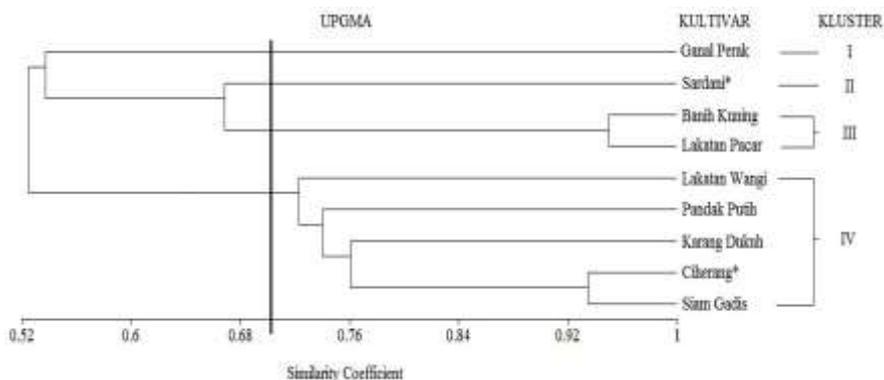
Bagaimanapun, informasi tentang hubungan kekerabatan genetik antar individu atau populasi sangat bermanfaat atau dapat digunakan sebagai acuan penting dalam program pemuliaan tanaman, terutama untuk merakit kultivar unggul dengan karakter tertentu yang diinginkan. Secara konseptual, individu atau populasi yang memiliki hubungan kekerabatan genetik jauh lazim digunakan sebagai tetua dalam kegiatan tersebut. Hal ini karena persilangan (hibridisasi) antar individu atau populasi dengan kekerabatan fenetik jauh secara umum dapat menghasilkan keturunan dengan keanekaragaman genetik tinggi (Sunarto, 1997).

4.3.2 Karakter anatomi

Berdasarkan hasil analisis kluster terhadap karakter anatomi, kultivar padi rawa mengelompok kedalam empat kluster utama pada koefisien similaritas 70% (lihat Gambar 4.17). Kluster I dan II, hanya terdiri atas masing-masing satu kultivar, yaitu “Ganal Perak” dan “Sardani”. Kluster III, meliputi dua kultivar, yaitu “Banih Kuning” dan “Lakatan Pacar”. Sementara itu, kluster IV terdiri atas “Lakatan Wangi”, “Pandak Putih”,

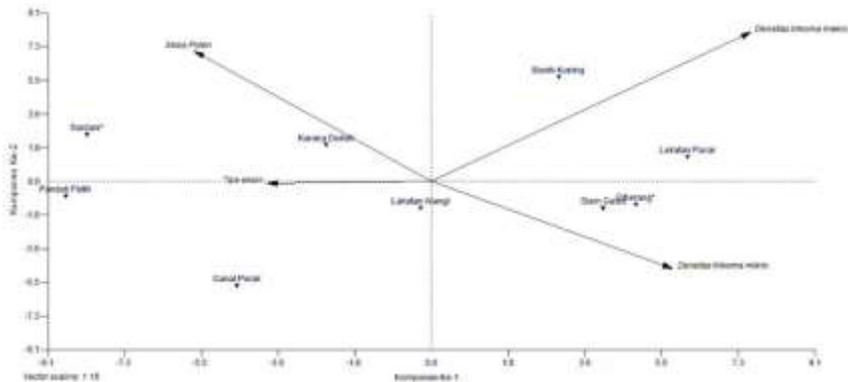
“Karang Dukuh”, dan “Siam Gadis”, termasuk “Ciherang” (kultivar unggul). Kluster terakhir ini merupakan kelompok terbesar dalam pengelompokan padi rawa.

Berdasarkan Gambar 4.17, diketahui juga bahwa “Lakatan Pacar” dan “Banih Kuning” merupakan kultivar yang memiliki kekerabatan terjauh, dengan koefisien similaritas sebesar 95%. Sementara itu, kekerabatan terdekat (koefisien similaritas 31,33%) ditunjukkan oleh kultivar “Banih Kuning” dan “Pandak Putih”. Dalam kasus ini, diketahui juga bahwa “Pandak Putih” memiliki hubungan kekerabatan terdekat dengan “Sardani” (kultivar asal Sumatera), pada koefisien similaritas 62,50%, sedangkan “Lakatan Wangi” dengan kultivar unggul pembanding, yaitu “Ciherang” pada koefisien 75,00%.



Gambar 4.17. Pengelompokan padi rawa berdasarkan analisis UPGMA

Sumber: Mursyidin *et al.* (2018a)



Gambar 4.18. Pengelompokan padi rawa berdasarkan analisis PCA

Sumber: Mursyidin *et al.* (2018a)

Hasil analisis PCA (Gambar 4.18), memperlihatkan gambaran yang mirip tentang pengelompokan padi rawa. Berdasarkan hasil analisis tersebut, padi rawa Kalimantan Selatan yang digunakan dalam penelitian mengelompok menjadi empat kluster utama. Kluster I, hanya disusun oleh dua kultivar, yaitu “Karang Dukuh” dan “Sardani”. Kluster ini sangat dipengaruhi oleh penanda anatomis aksis polen. Kluster II memiliki dua anggota kultivar, yaitu “Banih Kuning” dan “Lakatan Pacar”. Kluster tersebut dipengaruhi oleh densitas trikoma makro. Kluster III, dipengaruhi densitas trikoma mikro, juga terdiri atas dua kultivar, yaitu “Siam Gadis” dan “Ciherang” (kultivar unggul). Sementara itu, kluster IV yang dipengaruhi tipe permukaan dinding (eksin) polen, terdiri atas tiga kultivar, meliputi “Lakatan Wangi”, “Ganal Perak” dan “Pandak Putih”.

Menurut Rabara *et al.* (2014), pengelompokan suatu plasma nutfah ke dalam kluster-kluster tertentu secara tidak langsung mencerminkan tingkat keragaman genetik plasma nutfah yang dipelajari. Oleh karena itu, pengelompokan padi lokal berdasarkan penanda anatomi mengindikasikan rendahnya keragaman genetik yang muncul, hal ini

sesuai dengan hasil analisis menggunakan indeks Shannon-Weaver (lihat Tabel 4.9).

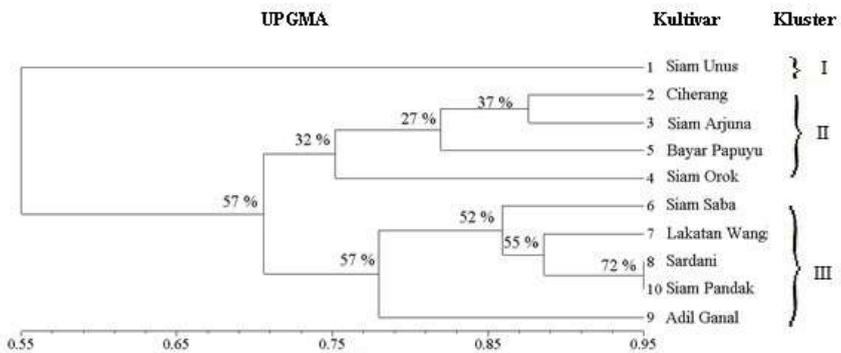
Namun demikian, hasil-hasil analisis ini memiliki kebaharuan dan arti penting dalam pengembangan khasanah ilmu biologi, terutama genetika populasi, evolusi dan sistematika, termasuk kegiatan pemuliaan tanaman padi pada masa mendatang. Sebagai contoh, berdasarkan hasil analisis kluster (Gambar 4.17), kultivar “Ganal Perak” memisah dengan kultivar padi rawa lainnya pada similaritas 48,5%. Dengan kata lain, kultivar tersebut memiliki kekerabatan relatif jauh dengan kultivar lainnya, sehingga sangat dimungkinkan untuk dijadikan tetua untuk menghasilkan keturunan yang lebih beragam.

Pada penelitian ini, diketahui juga bahwa “Ciherang” yang merupakan salah satu padi unggul nasional berkerabat relatif dekat dengan “Siam Gadis” pada koefisien similaritas 93,5%. Oleh karena itu, hal ini memunculkan dugaan bahwa jika kedua kultivar ini disilangkan maka kemungkinan akan menghasilkan keturunan yang relatif seragam dan memunculkan gejala pelandaian hasil panen, serta kerentanan terhadap hama dan penyakit, seperti telah disebutkan pada sub bahasan sebelumnya (Nafisah *et al.*, 2006).

Secara ringkas, mengingat penelitian-penelitian tentang pengelompokan padi rawa berdasarkan karakter anatomi sangat terbatas, maka penelitian lanjutan untuk memvalidasi hal tersebut sangat diperlukan, terutama menggunakan karakter lain yang lebih akurat, seperti penanda molekular.

4.3.3 Karakter molekuler

Hasil analisis kluster menggunakan penanda molekuler, terutama RAPD (Gambar 4.19) memperlihatkan bahwa padi rawa (Kalimantan Selatan) memiliki hubungan kekerabatan yang berbeda antar kultivar (Haq, 2014). Dalam hal ini, “Lakatan Wangi” dan “Siam Pandak” menunjukkan hubungan kekerabatan yang sangat dekat dengan nilai koefisien similaritas sebesar 91%. Sementara itu, “Siam Unus” dan “Siam Pandak” menunjukkan hubungan kekerabatan terjauh dengan similaritas sebesar 45%. Di lain pihak, “Siam Pandak” yang merupakan padi rawa Kalimantan Selatan memiliki hubungan kekerabatan sangat dekat dengan “Sardani” yang merupakan padi rawa asal Pulau Sumatera, ditunjukkan dengan nilai koefisien similaritas 95%. Sebaliknya, “Siam Unus” memiliki hubungan kekerabatan terjauh dengan “Sardani” pada koefisien similaritas sebesar 37%.



Gambar 4.19. Hubungan kekerabatan genetik padi rawa berdasarkan penanda RAPD. Nilai yang tercantum pada nodus berdasarkan hasil analisis bootstrap 1000 kali.

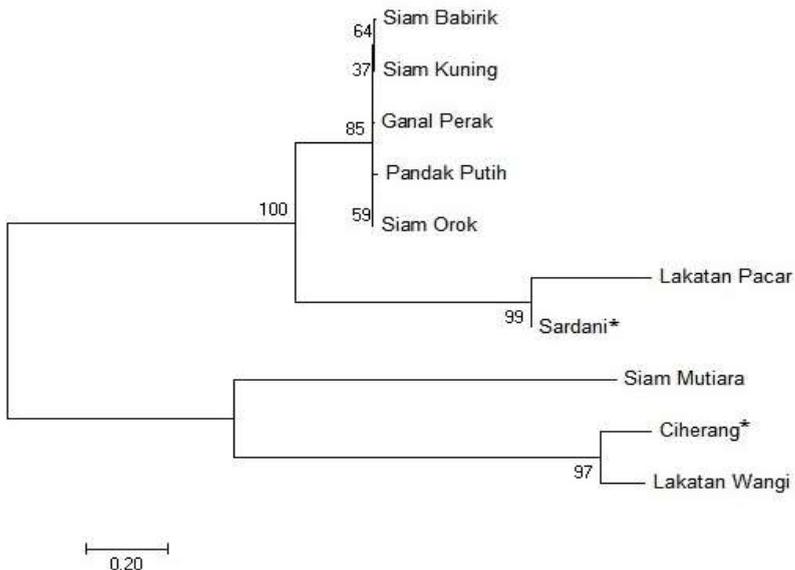
Sumber: Haq (2014)

Secara umum, padi rawa Kalimantan Selatan mengelompok kedalam dua kluster utama, pada koefisien similaritas sebesar 67%. Sementara itu, pada koefisien similaritas 70%, plasma nutfah ini mengelompok menjadi tiga kluster utama (lihat Gambar 4.19). Pada nilai koefisien 70%, Ali *et al.* (2014) melaporkan pengelompokan yang lebih tinggi (lima kluster) pada padi lokal Bangladesh. Sebaliknya, pada nilai koefisien yang sama, pengelompokan lebih rendah (dua kluster) dilaporkan pada plasma nutfah padi lokal India (Rajani *et al.*, 2013). Menurut Marsolais *et al.* (1993), nilai koefisien similaritas genetik dengan nilai kurang dari atau sama dengan 70% berdasarkan hasil analisis kluster mengindikasikan bahwa plasma nutfah tersebut berasal dari hibridisasi interspesifik. Frankham *et al.* (2002), menyatakan bahwa divergensi plasma nutfah berdasarkan analisis kluster mampu merefleksikan potensi evolusi yang berguna bagi adaptasi terhadap perubahan lingkungan pada masa mendatang.

Berdasarkan Gambar 4.19, diketahui juga bahwa “Siam Unus” memisah dengan kultivar padi rawa lainnya, membentuk kluster tersendiri (kluster I). Pada penelitian ini, kluster II tersusun oleh tiga kultivar padi rawa, yaitu “Siam Arjuna”, “Bayar Papuyu”, dan “Siam Orok”, termasuk “Ciherang” (kultivar unggul). Sementara itu, “Adil Ganal”, “Siam Pandak”, “Lakatan Wangi”, dan “Siam Saba”, serta “Sardani” (asal Sumatera) mengelompok menjadi kluster III.

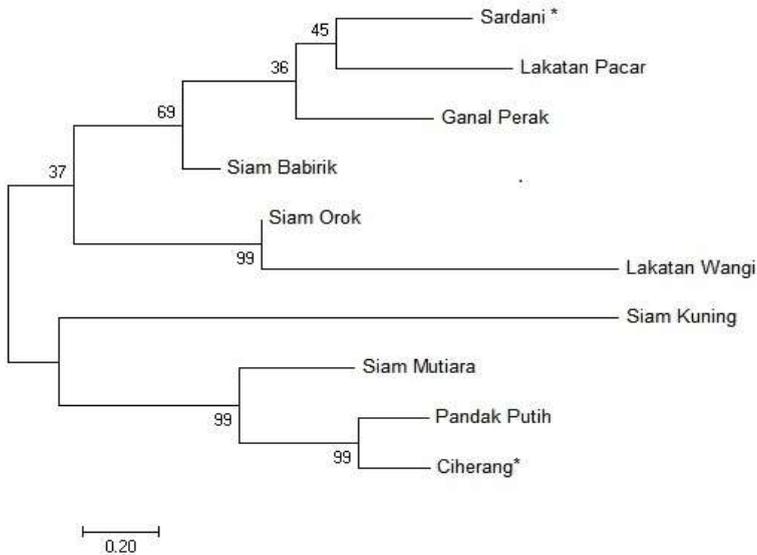
Khusus untuk “Siam Unus” yang memisah secara tersendiri berdasarkan analisis RAPD, memperkuat dugaan hasil penelitian sebelumnya menggunakan penanda sitologis atau kromosom (Mursyidin *et al.*, 2014), bahwa kultivar tersebut termasuk kultivar *indigenous* (asli) Kalimantan Selatan. Hal ini karena “Siam Unus” memiliki tipe kromosom metasentris dengan rumus karyotipe $24m+0$ yang tergolong tipe primitif (Mursyidin *et al.*, 2014).

Pengelompokan padi rawa secara berbeda ditunjukkan oleh sekuen *trnL-F* dan IGS, serta gabungan keduanya. Mursyidin *et al.* (2018b) melaporkan bahwa padi rawa Kalimantan Selatan secara umum mengelompok menjadi dua dan tiga kluster utama. Berdasarkan sekuen *trnL-F* (Gambar 4.20), padi rawa yang dikaji terbagi menjadi dua kluster utama. Kluster I terdiri atas kultivar “Siam Babirik”, “Siam Kuning”, “Ganal Perak”, “Pandak Putih”, “Siam Orok”, dan “Lakatan Pacar”, serta “Sardani”. Sementara itu, kluster II tersusun oleh kultivar “Siam Mutiara”, “Lakatan Wangi” dan “Ciherang” (kultivar unggul). Dalam kasus ini, kluster I terbagi lagi ke dalam dua sub-kluster, didalamnya “Siam Babirik”, “Siam Kuning”, “Ganal Perak”, “Pandak Putih”, dan “Siam Orok” masuk ke dalam sub-kluster I, sedangkan “Lakatan Pacar” dan “Sardani” ke dalam sub-kluster II.



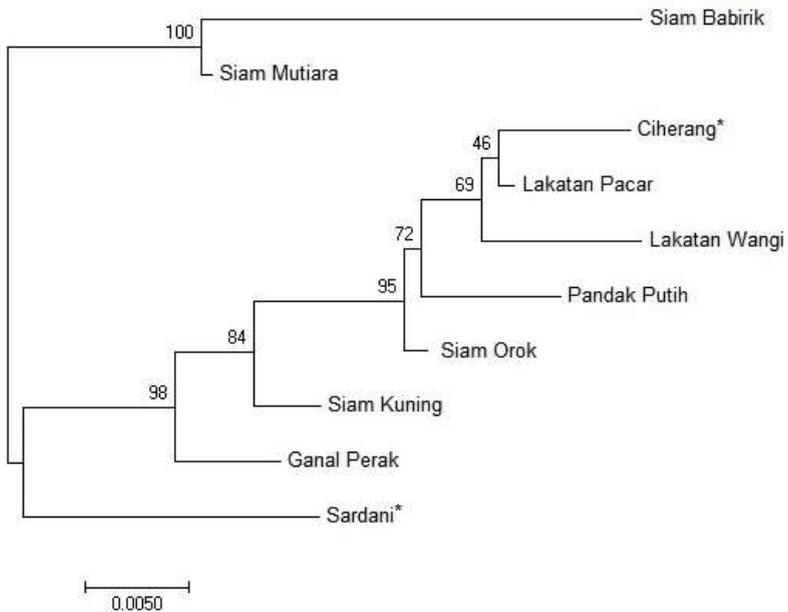
Gambar 4.20. Hubungan kekerabatan filogenetik padi rawa berdasarkan sekuen *trnL-F* (Ket. *Kultivar pembandingan)

Sumber: Mursyidin *et al.* (2018b)



Gambar 4.21. Hubungan kekerabatan filogenetik padi rawa berdasarkan sekuen IGS (Ket. *Kultivar pembanding)

Sumber: Mursyidin *et al.* (2018b)



Gambar 4.22. Hubungan kekerabatan filogenetik padi rawa berdasarkan gabungan sekuen *trnL-F* dan IGS (Ket.* Kultivar pembanding)

Sumber: Mursyidin *et al.* (2018b)

Hasil analisis terhadap sekuen IGS (Gambar 4.21), juga memperlihatkan bahwa padi rawa Kalimantan Selatan terbagi menjadi dua kluster utama. Kluster I terdiri atas “Siam Babirik”, “Siam Orok”, “Lakatan Pacar”, “Lakatan Wangi”, dan “Ganal Perak”, termasuk “Sardani” (pemanding). Adapun kluster II, meliputi “Siam Kuning”, “Siam Mutiara”, “Pandak Putih”, dan “Ciherang” (pemanding). Sementara itu, hasil analisis kluster menggunakan gabungan kedua sekuen (Gambar 4.22), menunjukkan bahwa padi rawa terbagi ke dalam 3 kluster utama, didalamnya “Sardani” memisah menjadi kluster tersendiri (kluster III). “Siam Mutiara” dan “Siam Babirik” mengelompok menjadi kluster I, sedangkan “Ganal Perak”, “Siam Kuning”, “Siam Orok”, “Pandak Putih”, “Lakatan Wangi”, “Lakatan Pacar”, dan “Ciherang” ke dalam kluster II.

Secara umum, berdasarkan data kedua sekuen *trnL-F* dan IGS secara terpisah, pohon filogenetik memperlihatkan pola hubungan kekerabatan filogenetik yang hampir mirip, yaitu terbagi menjadi dua kluster utama. Namun demikian, pohon filogenetik yang terbentuk memiliki resolusi rendah (ditunjukkan oleh nilai bootstrap). Rendahnya resolusi pohon filogenetik ini mungkin disebabkan oleh keterbatasan keanekaragaman genetik antar sekuen kedua genom yang digunakan. Oleh karena itu, Anderberg *et al.* (2002) menyarankan penggunaan data sekuen gabungan yang mungkin dapat meningkatkan resolusi kekerabatan pohon filogenetik tersebut.

Hasilnya, gabungan data sekuen kedua region memberikan resolusi lebih baik tentang pohon filogenetik padi rawa dibandingkan data sekuen secara terpisah (Gambar 4.22). Hasil analisis data tersebut mengungkapkan pengelompokan padi rawa secara jelas menjadi tiga kluster utama, yang didalamnya pengelompokan tersebut berasosiasi secara parsial dengan asal geografis. Dalam hal ini, “Sardani” yang merupakan salah satu

kultivar pembanding asal Pulau Sumatera memisah secara tersendiri dengan sembilan padi rawa Kalimantan Selatan. Hasil penelitian Duan *et al.* (2007) mengungkapkan hal yang sama berkaitan dengan resolusi pohon filogenetik genus *Oryza* berdasarkan gabungan sekuen cpDNA *trnL-F*, rDNA ITS dan mtDNA *nad1*. Menurut Duan *et al.* (2007), pola geografis yang berkaitan dengan kekerabatan filogenetik mungkin disebabkan oleh pertukaran dan introgresi genetik yang sering terjadi dalam wilayah yang sama.

Berdasarkan ketiga pohon filogenetik yang dihasilkan (Gambar 4.20-4.22), diketahui juga bahwa padi rawa memiliki divergensi genetik yang bersifat monofiletik (berasal dari satu nenek moyang yang sama). Menggunakan sekuen *trnL-F*, Hall *et al.* (2002) berhasil mengungkapkan dan merekonstruksi hubungan kekerabatan filogenetik Capparaceae dan Brassicaceae ke dalam tiga kluster berbeda dan menyimpulkan bahwa penyimpangan genetik bersifat monofiletik. Menggunakan penanda yang sama (*trnL-F*), Bellstedt *et al.* (2001) melaporkan pengelompokan Diseae (Orchidoideae: Orchidaceae) ke dalam lima kelompok berbeda.

Pada sub-familia Monsteroideae (Araceae), Tam *et al.* (2004) melaporkan juga bahwa penanda *trnL-F* mampu merekonstruksi hubungan kekerabatan filogenetik sub-familia tersebut ke dalam lima kluster berbeda. Namun hasil penelitian Pirie *et al.* (2007), memperlihatkan bahwa sekuen *trnL-F* menunjukkan sinyal filogenetik yang bertentangan dengan penanda kloroplas lain pada Annonaceae. Pertentangan tersebut diperkirakan akibat paralogi gen (perbedaan yang diakibatkan peristiwa duplikasi) pada masa lampau. Sehingga salinan *trnL-F* kedua terdivergensi dari salinan *trnL-F* pertama pada nenek moyang langsung Annonaceae (Pirie *et al.*, 2007).

Dalam cakupan yang lebih luas, Kim *et al.* (2015) berhasil mengklasifikasi dan merekonstruksi hubungan kekerabatan filogenetik

sembilan spesies *Oryza* ke dalam tiga kluster berbeda dengan menggunakan genom kloroplas dan DNA nuklear. Duan *et al.* (2007), juga berhasil mengungkapkan hubungan kekerabatan filogenetik genus *Oryza* berdasarkan gabungan sekuen cpDNA *trnL-F*, rDNA ITS dan mtDNA *nad1* ke dalam tiga kluster berbeda. Oleh karena itu, penggunaan penanda cpDNA dan/atau rDNA untuk merekonstruksi kekerabatan genetik padi lokal sangat penting dilakukan, sebagaimana disarankan Wambugu *et al.* (2015).

Menurut Yamada (2013), informasi tentang hubungan kekerabatan filogenetik suatu plasma nutfah sangat penting untuk kajian genetika populasi, taksonomi, evolusi, konservasi, bahkan pemuliaan tanaman. Dalam bidang pemuliaan, analisis filogenetik bermanfaat untuk membedakan suatu aksesori (kultivar) dengan aksesori lainnya, serta bermanfaat dalam pemilihan kombinasi persilangan antar tetua untuk menghasilkan bibit unggul (Yamada, 2013). Dengan kata lain, hasil analisis filogenetik ini dapat digunakan sebagai pedoman penting bagi para peneliti dan pemulia untuk tujuan perbaikan (pemuliaan) tanaman pada masa mendatang (Haider, 2015).

5

PENUTUP

Padi rawa merupakan salah satu sumberdaya genetik lokal yang memiliki potensi untuk digunakan dalam program pemuliaan tanaman pangan.

Berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah dipaparkan, sumberdaya genetik padi rawa memiliki keragaman genetik kompleks, terutama berdasarkan karakter agro-morfologi, anatomi, sitologi, dan molekular (silahkan ditelaah kembali pada Bab 4).

5.1 Prospek Masa Depan

Berdasarkan penanda molekular, padi rawa menunjukkan keragaman genetik relatif lebih tinggi dibandingkan penelitian-penelitian lain. Oleh karena itu, hal ini mengindikasikan bahwa penanda tersebut sangat ideal untuk diaplikasikan dalam studi keragaman genetik tanaman padi, seperti dilaporkan beberapa peneliti (Duan *et al.*, 2007; Tong *et al.*, 2014; Wambugu *et al.*, 2015). Secara konseptual, penanda molekular relatif lebih stabil terhadap faktor lingkungan dibandingkan penanda agro-morfologi, anatomi dan sitologi (Darmono, 1996). Menurut Frankham *et al.* (2004), ketiga penanda tersebut adalah representasi karakter fenotip, sedangkan penanda molekular sebagai cerminan karakter genotip. Dalam ilmu genetika, karakter fenotip dapat dirumuskan secara sederhana

sebagai hasil ekspresi antara karakter genotip dengan faktor lingkungannya (Tamarin, 2001).

Oleh karena itu, tingginya keragaman genetik padi rawa berdasarkan penanda molekular dibandingkan penanda lainnya menandakan pula adanya linearitas (secara tidak langsung) antar ketiga penanda yang digunakan (Allendorf & Luikart, 2007). Maksudnya, meskipun karakter fenotip dan genotip dalam penelitian ini tidak menunjukkan hubungan linearitas secara langsung (terkait satu sama lain), karena penanda molekular yang digunakan (*trnL-F* dan IGS) merupakan region non-genik, tidak diterjemahkan kedalam sekuen protein dan diekspresikan sebagai karakter fenotip (Taberlet *et al.*, 1991; Yang & Jeong, 2008). Namun masing-masing penanda mempunyai nilai dan kontribusi tersendiri dalam aplikasinya terhadap analisis keragaman genetik padi rawa. Dengan demikian, hubungan genotip-fenotip pada tanaman padi ini dapat dipandang sebagai hubungan yang kompleks antara dua variasi, tetapi saling melengkapi satu sama lain.

Terlepas dari kompleksitas hubungan fenotip-genotip yang ada, Tung *et al.* (2010) menyatakan bahwa variasi genotip dan fenotip sangat bermanfaat dalam program pemuliaan. Dengan kata lain, karakter-karakter padi rawa yang ditelah diungkapkan dalam buku ini dapat dimanfaatkan dalam upaya pemuliaan atau perluasan genetik tanaman padi tersebut, termasuk upaya konservasinya pada masa mendatang.

5.2 Problematika

Program pemuliaan padi yang secara terus-menerus dilakukan, di satu sisi sangat menggembirakan karena mampu menghasilkan beragam kultivar unggul, terutama dengan produktivitas tinggi, Namun di sisi lain, munculnya beragam kultivar unggul tersebut telah menggeser, bahkan menghilangkan kultivar lokal (tradisional) yang ada, dalam istilah lain

disebut “erosi genetik”. Sebagaimana telah dibahas pada bab sebelumnya (Bab 4), bahwa padi lokal memiliki beberapa keunggulan secara agronomis, yaitu mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan abiotik maupun biotik setempat (Ray *et al.*, 2013). Di samping itu, kultivar ini juga menunjukkan keanekaragaman genetik tinggi (Das *et al.*, 2013). Oleh karena itu, upaya konservasi untuk menyelamatkan dan melestarikan plasma nutfah padi lokal merupakan kegiatan yang sangat penting dilakukan.

Sebenarnya, ancaman punahnya keanekaragaman genetik padi lokal tidak hanya disebabkan oleh adopsi kultivar modern, namun juga disebabkan beberapa faktor lain, salah satunya perubahan sistem penggunaan lahan pertanian yang berlaku. Sebagai contoh, perubahan pemanfaatan lahan ekosistem sawah dataran tinggi menjadi lahan pertanian sayuran dan hortikultura lainnya. Contoh lain, adalah pembangunan jaringan irigasi dan bangunan-bangunan pengairan lainnya di daerah lahan rawa atau pasang surut yang diperkirakan akan menggeser jenis-jenis padi lokal lahan rawa yang ada. Dengan demikian, upaya konservasi untuk menyelamatkan dan melestarikan plasma nutfah padi lokal tersebut diharapkan dapat dilaksanakan secara terpadu atau terintegrasi dengan kegiatan-kegiatan pendukung lainnya, yaitu pembentukan *core collection* padi lokal.

5.2.1 Perlunya upaya konservasi

Secara umum, kegiatan konservasi plasma nutfah dapat dilakukan melalui tiga cara (strategi), yaitu secara *ex situ*, *in situ* dan *on-farm*. Konservasi secara *ex situ* meliputi aktivitas koleksi sampel benih padi budidaya dan padi liar dari tempat asal dan menyimpannya di dalam bank gen. Kegiatan ini seperti dilakukan IRRI, dengan mengoleksi dan menyimpan benih padi kering dalam tanki preservasi pada suhu -20°C

(Jackson, 1997). Menurut beberapa peneliti, konservasi semacam ini relatif aman dan efisien (dalam biaya) ketika dilaksanakan pada beberapa spesies tanaman (Jackson, 1997). Namun pada beberapa spesies padi liar tertentu, terutama yang memiliki produktivitas rendah, konservasi *ex situ* tidak efisien dilaksanakan. Oleh karena itu, konservasi *in situ* atau *on-farm* menjadi pilihan alternatif yang dapat dilakukan.

Konservasi secara *in situ* dilaksanakan untuk memelihara spesies atau populasi di habitat asalnya. Sebagai contoh, kegiatan ini diprioritaskan untuk dilaksanakan pada spesies padi liar *O. longistaminata* dan *O. rufipogon* yang secara genetik sangat heterogen dan relatif sulit dikonservasi secara *ex situ*, yaitu di dekat wilayah Ajigara, Nepal (Vaughan & Chang, 1992). Sementara itu, konservasi *on-farm* merupakan suatu tipe konservasi *in situ* yang dianggap sangat penting oleh para peneliti, lembaga non pemerintah, petani dan institusi internasional sebagai kelengkapan konservasi *ex situ*.

Konservasi *on-farm* didefinisikan sebagai suatu kegiatan yang memadukan sistem budidaya dan pengelolaan tanaman secara berkelanjutan dari suatu set populasi yang memiliki keanekaragaman genetik yang dipertahankan oleh petani pada suatu agroekosistem, yang didalamnya populasi tanaman tersebut berada. Set populasi tersebut mungkin dapat berupa *weedy* (rumput-rumputan) atau kerabat liar dari suatu tanaman yang hidup bersama di dalam satu ekosistem. Berdasarkan penelusuran sejarah, petani lokal di beberapa wilayah (negara) sebenarnya telah melakukan kegiatan konservasi *on-farm*, yaitu ketika mengembangkan dan memelihara keanekaragaman genetik lokal, secara terus menerus meskipun kondisi sosial, ekonomi dan teknologi telah berubah. Hal ini sebagaimana dilaporkan Bell *et al.* (2019) di wilayah "Eastern Gangetic Plain", Bangladesh, maupun Wang *et al.* (2018) di Provinsi Guizhou, Cina. Di beberapa negara Eropa, seperti Norwegia,

Portugal dan Italia, kegiatan serupa juga telah dilaporkan secara komprehensif oleh Maxted *et al.* (2012).

Menurut beberapa peneliti, konservasi *on-farm* merupakan strategi yang potensial untuk mempertahankan keanekaragaman genetik yang ada, karena bersifat dinamis sebagai akibat kultivar yang dikelola petani terus menerus dipengaruhi oleh seleksi alam dan manusia (Wang *et al.*, 2018). Wang *et al.* (2018), menyatakan bahwa konservasi *on-farm* merupakan prasyarat untuk produksi pangan secara berkelanjutan, karena praktik ini tidak hanya dilakukan untuk melestarikan sumberdaya genetik tanaman dan proses evolusi yang melibatkan keanekaragaman tersebut, tetapi juga melibatkan sistem pengetahuan tradisional (*local knowledge*) masyarakat/petani setempat. Dengan kata lain, pengetahuan antara hubungan antara jumlah kultivar yang dikelola oleh petani dengan macam pengelolaan yang diberikan, dan antara keanekaragaman genetik yang ada di dalam agrosistem dengan perubahan evolusioner yang mungkin terjadi merupakan hal yang penting diketahui.

Namun demikian, kegiatan konservasi semacam ini seringkali terkendala beberapa faktor, diantaranya adalah rendahnya tingkat pengetahuan, partisipasi dan persepsi petani dalam/terhadap kegiatan tersebut. Oleh karena itu, untuk menyukseskan kegiatan konservasi secara *on-farm*, sangat diperlukan informasi yang mendalam dari petani, tentang: (1) apakah mereka mau menanam kultivar tradisional yang ada; (2) keuntungan dan kerugian apakah yang akan mereka peroleh ketika menanam kultivar tersebut; (3) bagaimana kelanjutan pengembangan kultivar lokal yang ditanam; serta (3) apakah lahan pertanian yang ditanami kultivar lokal tersebut perlu dilindungi secara hukum. Dengan demikian, ketika seorang petani memilih kultivar baru untuk menggantikan kultivar tradisional yang ada, maka hal ini mencerminkan

penilaian petani bahwa kultivar baru menawarkan manfaat atau keuntungan lebih dibandingkan padi lokal (Wang *et al.*, 2018).

5.2.2 Pembentukan *core collection*

Core collection (koleksi inti) merupakan suatu set aksesori yang memiliki keanekaragaman genetik maksimum dan minimum pengulangan, serta terdiri atas aksesori-aksesori yang secara ekologi dan genetik berbeda. Dengan kata lain, suatu koleksi inti tersusun atas sebagian kecil genotip-genotip representatif yang diambil dari sebagian besar keragaman genetik pada seluruh populasi. Ukuran koleksi inti ini dapat bervariasi, antara 5% hingga 30% dari keseluruhan populasi tersebut (Liu *et al.*, 2015). Mengingat beragam aksesori/genotip menunjukkan karakteristik yang berbeda (memiliki gen-gen khusus), maka kegiatan pembentukan koleksi inti menjadi penting dilakukan.

Secara umum, pembentukan *core collection* merupakan kegiatan pendukung konservasi plasma nutfah. Dalam hal ini, kegiatan tersebut dapat mengurangi biaya konservasi dan meningkatkan efisiensi manajemen dan mendukung penggunaan keanekaragaman genetik yang berkelanjutan, dengan identifikasi sumber-sumber keanekaragaman genetik secara tepat dan cepat untuk dimanfaatkan dalam program perbaikan sifat tertentu. Menurut Liu *et al.* (2015), pembentukan *core collection* adalah pendekatan yang efisien untuk mengeksplorasi, mengkarakterisasi dan memanfaatkan keragaman genetik populasi besar. Kegiatan ini juga memiliki nilai penting dan strategis, karena dapat memfasilitasi efisiensi dalam eksplorasi gen-gen baru dalam sumberdaya plasma nutfah tersebut.

Namun demikian, kegiatan pembentukan *core collection* harus diorganisasi secara teratur. Hal ini mengingat begitu besarnya potensi plasma nutfah yang dikoleksi serta beragamnya plasma nutfah yang ada.

Disamping itu, karakterisasi plasma nutfah terhadap koleksi tersebut juga harus dilakukan secara sistematis dan periodik. Menurut Liu *et al.* (2015), menganalisis perbedaan keragaman genetik pada koleksi inti dan keseluruhan populasi merupakan pendekatan yang bermanfaat untuk menguji efektivitas kegiatan tersebut. Adapun parameter-parameter keragaman genetik yang dapat diukur, meliputi alel total, na , ne , h , I , PIC, dan PCA (Liu *et al.*, 2015). Dengan kata lain, karakterisasi dilakukan untuk menghindari terjadinya duplikasi koleksi plasma nutfah, serta pemantauan viabilitas sumberdaya genetik tersebut melalui kegiatan “rejuvenasi”.

DAFTAR PUSTAKA

- Allendorf, F. W. & G. Luikart. 2007. *Conservation and The Genetics of Populations*. New Jersey, USA: Blackwell Publishing Ltd. 633 p.
- Ali, M. A., M. S. Islam, S. K. Mandal, Z. Nasrin, M. M. Rahman, R. H. Kuddus, & S. H. Prodhan. 2014. Genetic diversity among salt-tolerant rice (*Oryza sativa* L.) landraces cultivated in the coastal districts of Bangladesh. *Journal of Biological Science and Biotechnology*. 3(1): 15-22.
- Alihamsyah, T. 2001. Prospek Pengembangan dan Pemanfaatan Lahan Pasang Surut dalam Perspektif Eksplorasi Sumber Pertumbuhan Pertanian Masa Depan. Dalam: Ar-Riza, I., T. Alihamsyah, M. Sarwani (eds). *Pengelolaan Tanah dan Air di Lahan Pasang Surut*. Monograf Balai Penelitian Tanaman Pangan Lahan Rawa Banjarbaru. Hal.1-18.
- Alihamsyah, T. & Ar-Riza. 2006. *Teknologi Pemanfaatan Lahan Rawa Lebak. Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian
- Al-Tahir, F. M. M. 2014. Flag Leaf Characteristics and Relationship with Grain Yield and Grain Protein Percentage for Three Cereals. *Journal of Medicinal Plants Studies*. 2(5): 1-7.
- Al-Watban, A. A., A. R. Doaigey, & M. El-Zaidy. 2015. Pollen Morphology of Six Species of Subfamily Stachyoideae (Lamiaceae) in Saudi Arabia. *African Journal of Plant Science*. 9(5): 239-243.
- Alwi, M. 2014. Prospek Lahan Rawa Pasang Surut untuk Tanaman padi. *Prosiding Seminar Nasional "Inovasi Teknologi Pertanian Spesifik Lokasi"*. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, Banjarbaru, Indonesia. Hal. 45-59.
- Anderberg, A. A., C. Rydin & M. Källersjö. 2002. Phylogenetic Relationships in The Order Ericales s.l.: Analyses of Molecular Data

- from Five Genes from The Plastid and Mitochondrial Genomes. *American Journal of Botany*. 89: 677–687.
- Anonim. 2015. Peta Ketahanan dan Kerentanan Pangan Indonesia 2015 : Versi Rangkuman. Laporan. Dewan Ketahanan Pangan, Kementerian Pertanian dan *World Food Programme*. 13 hal.
- Arshad, S., A. Iqbal, S. Nawaz, & N. Ahmed. 2011. Genetic Diversity Studies of Coarse and Fine Rice using RAPD Markers. *Frontier Agriculture of China*. 5(2): 129–134.
- Bayer, R. J. & J. R. Starr. 1998. Tribal Phylogeny of The Asteraceae Based on Two Non-Coding Chloroplast Sequences, The *trnL* Intron and *trnL/trnF* Intergenic Spacer. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 85: 242-256.
- Bell, R. W., M. E. Haque, M. Jahiruddin, M. M. Rahman, M. Begum, M. A. M. Miah, M. A. Islam, et al. 2019. Conservation Agriculture for Rice-Based Intensive Cropping by Smallholders in the Eastern Gangetic Plain. *Agriculture*. 9: 1–17.
- Bellstedt, D. U., H. P. Linder, & E. H. Harley. 2001. Phylogenetic Relationships in *Disa* Based on Non-Coding *trnL-trnF* Chloroplast Sequences: Evidence of Numerous Repeat Regions. *American Journal of Botany*. 88(11): 2088–2100.
- Brar, D. S. & G. S. Khush. 2013. Biotechnological Approaches for Increasing Productivity and Sustainability of Rice Production. In *Agricultural sustainability: progress and prospects in crop research*. Bhullar, G.B & N. K. Bhullar (Eds). London: Academic Press. Pp.149-176.
- Calingacion, M., A. Laborte, A. Nelson, A. Resurreccion, J. C. Concepcion, V. D. Daygon, et al. 2014. Diversity of Global Rice Markets and the Science Required for Consumer-Targeted Rice Breeding. *PLoS ONE*. 9(1): 1-13.
- Chairuddin, Gt. 1989. Keberadaan dan Konversi Lahan Basah Kalimantan Selatan: Peranannya sebagai "Feeding Ground" dan Keaneka-an Jenis Ikan. Workshop on Conservation of Sungai Negara Wetlands, Barito Basin, South Kalimantan. KPSL Unlam, Banjarbaru, 6-8 Maret 1989.
- Chauhan, R., Y. Jasrai, A. Mankad, H. Pandya, & R. Gami. 2015. Genetic Diversity Analysis of Six Major Cereal Crops Cultivars Through RAPD Markers. *Advance of Crop Science and Technology*: 3: 191.
- Chaffey, N. J. 1983. Epidermal Structure in The Ligule of Rice (*Oryza sativa* L.). *Annals of Botany*. 52: 13-21.

- Chaffey, N. J. 1985. Structure and Function in The Grass Ligule: Presence of Veined and Membranous Ligules on The Same Culm of British Grasses. *New Phytology*. 101: 613-621.
- Chaturvedi, M., K. Datta, & P. K. K. Nair. 1998. Pollen Morphology of *Oryza* (*Poaceae*). *Grana*. 37: 79-86.
- Chang, T-T. 2000. *Rice*, in *Cambridge World History of Food*. Kenneth F. Kiple and Kriemhild Conee Ornelas (eds). Cambridge: Cambridge University Press. 1: 132-149.
- Chang, T-T., & E. A. Bardenas. 1965. The Morphology and Varietal Characteristics of The Rice Plant. *Technical Bulletin*. 4: 1-40.
- Chang, T-T. 1988. Taxonomic Key for Identifying The 22 Species in The Genus *Oryza*. *Int Rice Res Newslett*. 13(5) :4-5.
- Chaveerach, A., R. Sudmoon, T. Tanee, P. Mokkamul, N. Sattayasai, & J. Sattayasai. 2008. Two New Species of *Curcuma* (*Zingiberaceae*) Used as Cobra-bite Antidots. *Journal of Systematics and Evolution*. 46(1): 80-88.
- Cheng, Z., C. R. Buell, R. A. Wing, M. Gu, & J. Jiang. 2001. Toward a Cytological Characterization of the Rice Genome, *Genome Res*. 11(12): 2133-2141.
- Chiang, T-Y., Y-C. Chiang, & C-H. Chou. 1998. Complete Nucleotide Sequence of The Intergenic Spacer between 25S and 17S rDNA in *Miscanthus sinensis* var. *Glaber*. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 39: 241-244.
- Chung, M-C., Y-I. Lee, Y-Y. Cheng, Y-J. Chou, & C-F. Lu. 2008. Chromosomal Polymorphism of Ribosomal Genes in The Genus *Oryza*. *Theoretical and Applied Genetics*. 116: 745-753.
- Constantino, K. P., E. J. Gonzales, L. M. Lazaro, E. C. Serrano, & B. P. Samson. 2015. Plant Height Measurement and Tiller Segmentation of Rice Crops Using Image Processing. *Proceedings of the DLSU Research Congress* Vol. 3, De La Salle University, Manila, Philippines, March 2-4, 2015.
- Cordesse, F., A. S. Reddy, A. De Kochko, M. C. Kiefer, & M. Delseny. 1991. Characterization of Repeated DNA Sequences Specific to Different Rice Genomes. *Proceedings of the Second International Rice Genetics Symposium*. IRRI, p. 401-409.
- Cordesse, F., R. Cooke, D. Tremousaygue, F. Grellet, & M. Delseny. 1993. Fine Structure and Evolution of The rDNA Intergenic Spacer in Rice and Other Cereals. *Journal of Molecular Evolution*. 36: 369-379.

- Da Luz, C. F. P., E. S. Maki, I. Horák-Terra, P. Vidal-Torrado, & C. V. M. Filho. 2013. Pollen Grain Morphology of Fabaceae in the Special Protection Area (SPA) Pau-de-Fruta, Diamantina, Minas Gerais, Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. 85(4): 1329-1344.
- Daradjat, A. A., S. Silitonga, & Nafisah. 2009. *Ketersediaan Plasma Nutfah Padi untuk Perbaikan Varietas Padi*. Dalam: Buku Padi 1. Balitbangtan Kementerian Pertanian. hal. 1-27.
- Darmono, T. W. 1996. Analysis of Plant Genetic Variation with Molecular Techniques. *Hayati*. 3(1): 7-11.
- Das, B., S. Sengupta, S. K. Parida, B. Roy, M. Ghosh, M. Prasad, & T. K. Ghose. 2013. Genetic Diversity and Population Structure of Rice Landraces from Eastern and North Eastern States of India. *BMC Genetics*. 14(71): 1-14.
- Datta, K. & M. Chaturvedi. 2004. Pollen Morphology of Basmati Cultivars (*Oryza sativa* Race Indica) – Exine Surface Ultrastructure. *Grana*. 43: 89–93.
- Drábková, L., J. Kirschner, C. Vlcek, & V. Paces. 2004. *TrnL-trnF* Intergenic Spacer and *trnL* Intron Define Major Clades Within *Luzula* and *Juncus* (Juncaceae): Importance of Structural Mutations. *Journal of Molecular Evolution*. 59: 1–10.
- Duan, S., B. Lu, Z. Li, J. Tong, J. Kong, W. Yao, S. Li, & Y. Zhu. 2007. Phylogenetic Analysis of AA-genome *Oryza* Species (*Poaceae*) Based on Chloroplast, Mitochondrial, and Nuclear DNA Sequences. *Biochemical Genetics*. 45(1): 113-129.
- Elsera, T., Jumali, and B. Kusbiantoro. 2014. Karakteristik Flavor Beras Varietas Padi Aromatik dari Ketinggian Lokasi yang Berbeda. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 33: 27–35.
- Erdtman, G. 1952. *Pollen Morphology and Plant Taxonomy: Angiosperms (An Introduction to Palynology I)*. Waltham, Mass.: Chronica Botanica Co. Pp. 373-374.
- FAO. 1996. Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action. World Food Summit 13-17 November 1996. Rome.
- Frankham, R., J. D. Ballou, & D. A. Briscoe. 2002. *Introduction to Conservation Genetics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 641 p.
- Frankham, R., J. D. Ballou, & D. A. Briscoe. 2004. *A Primer of Conservation Genetics*. New York, USA: Cambridge University Press. 236 p.

- Furness, C. A. & P. J. Rudall. 2004. Pollen Aperture Evolution – A Crucial Factor for Eudicot Success?. *TRENDS in Plant Science*. 9(3): 154-158.
- Garcia, S., M. Sanz, T. Garnatje, A. Kreitschitz, E. D. McArthur, & J. Vallès. 2004. Variation of DNA Amount in 47 Populations of The Subtribe Artemisiinae and Related Taxa (Asteraceae, Anthemideae): Karyological, Ecological, and Systematic Implications. *Genome*. 47(6): 1004-1014.
- Glasel, J. A. 1995. Validity of Nucleic Acid Purities Monitored by A260/A280 Absorbance Ratios. *Biotechniques*. 18: 62-63.
- Guo, L., Z. Gao & Q. Qian. 2014. Application of Resequencing to Rice Genomics, Functional Genomics and Evolutionary Analysis. *Rice*, 7(4): 1-10.
- Haider, N. 2015. *Assessment of Phylogenetic Relationships among Crops and Their Genetic Resources for Successful Crop Improvement Programs*. In Biodiversity and Crop Improvement (ed. S.H. Wani). Wuhan, China: Scientific Research Publishing, Inc. 418 pp.
- Hairmansis, A., B. Kustianto, Supartopo, & Suwarno. 2010. Correlation Analysis of Agronomic Characters and Grain Yield of Rice For Tidal Swamp Areas. *Indonesian Journal of Agricultural Science*. 11(1): 11-15.
- Hall, J. C., K. J. Sytsma, & H. H. Iltis. 2002. Phylogeny of Capparaceae and Brassicaceae Based on Chloroplast Sequence Data. *American Journal of Botany*. 89(11): 1826–1842.
- Hartati, D., A. Rimbawanto, Taryono, E. Sulistyaningsih, & A. Y. P. B. C. Widyatmoko. 2007. Pendugaan Keragaman Genetik di Dalam dan Antar Provenan Pulai (*Alstonia scholaris* (L.) R. Br.) Menggunakan Penanda RAPD. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*. 1(2): 89-98.
- Hasan, M. & M. S. Raihan. 2015. Genetic Variability in Bangladeshi Aromatic Rice Through RAPD Analysis. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 3(3): 107-111.
- Hashemi, F. S. G., M. Y. Rafii, M. R. Ismail, M. T. M. Mohamed, H. A. Rahim, M. A. Latief, & F. Aslani. 2015. The Genetic and Molecular Origin of Natural Variation for The Fragrance Trait in An Elite Malaysian Aromatic Rice Through Quantitative Trait Loci Mapping Using SSR and Gene-Based Markers. *Gene*. 555: 101–107.
- Hawkes, J. G., N. Maxted & B. V. Ford-Lloyd. 2000. *The Ex Situ Conservation of Plant Genetic Resources*. Netherlands: Springer. 270 p.

- Haq, Z. Z. 2014. Analisis Variasi Genetik Plasma Nutfah Padi (*Oryza sativa* L.) Lokal Lahan Rawa Pasang Surut Kalimantan Selatan Menggunakan Penanda Molekular RAPD. Skripsi. FMIPA, Universitas Lambung Mangkurat (tidak dipublikasikan).
- Heywood, V. H. & R. T. Watson. 1995. *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 1140 p.
- Hiratsuka, J., H. Shimada, R. Whittier, T. Ishibashi, M. Sakamoto, M. Mori, C. Kondo, Y. Honji, C-R. Sun, B-Y. Meng, Y-Q. Li, A. Kanno, Y. Nishizawa, A. Hirai, K. Shinozaki, & M. Sugiura. 1989. The Complete Sequence of The Rice (*Oryza sativa*) Chloroplast Genome: Intermolecular Recombination Between Distinct tRNA Gene Accounts for A Major Plastid DNA Inversion During The Evolution of The Cereals. *Molecular and General Genetics*. 217: 185-194.
- Holden, M. J., R. J. Haynes, S. A. Rabb, N. Satija, K. Yang, & J. R. Blasic Jr. 2009. Factors Affecting Quantification of Total DNA by UV-Spectroscopy and PicoGreen Fluorescence. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57: 7221-7226.
- Idak, H. 1982. Perkembangan dan Sejarah Persawahan di Kalimantan Selatan. Laporan Pemda Tk.I Kalimantan Selatan. Banjarmasin. 40 hal.
- Iijima, K., K. Kakeda, & K. Fukui. 1991. Identification and Characterization of Somatic Rice Chromosomes by Imaging Methods. *Theor. Appl. Genet.* 81(5): 597-605.
- IPGRI. 1993. Diversity for Development: The New Strategy of The International Plant Genetic Resources Institute. International Plant Genetic Resources Institute. Rome. 69 p.
- Islam, M. S., M. A. Ali, P. Guswami, S. M. Sarid-Ullah, M. M. Hossain, M. F. Miah, & S. H. Prodhon. 2013. Assessment of Genetic Diversity Among Moderately Drought Tolerant Landraces of Rice Using RAPD Markers. *Journal of Biological Science and Biotechnology*. 2(3): 207-213.
- Ismail, A. M. 2013. Flooding and Submergence Tolerance, in *Genomics and Breeding for Climate-Resilient Crops*. C. Kole (ed). Berlin Heidelberg: Springer. Pp: 269-290.
- Jackson, M. T. 1997. Conservation of Rice Genetic Resources : The Role of The International Rice Genebank at IRRI. *Plant Molecular Biology*. Pp: 61-67.
- Jennings, P. R., W. R. Coffman & H. E. Kauffman. 1979. *Rice Improvement*. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines. 189 p.

- Kasem, W. T. 2016. Anatomical, Pollen Grains and Seed Exomorphic Studies on Five Species of *Cleome* L (Cleomaceae Bercht. & Presl) Collected from South West of Saudi Arabia. *Journal of Plant Sciences*. 4(2): 29-36.
- Katayama, T. C. 1993. *Morphological and Taxonomical Characters of Cultivated Rice*. In Matsuo, T. & K. Hoshikawa (eds). *Science of The Rice Plant : Vol. One Morphology*. Food and Agriculture Policy Research Center. Tokyo, pp. 35-52.
- Kanawapee, N., Sanitchon, J., Srihaban, P., & Theerakulpisut, P. 2011. Genetic Diversity Analysis of Rice Cultivars (*Oryza sativa* L.) Differing in Dalinity Tolerance Based on RAPD and SSR Markers. *Electronic Journal of Biotechnology*. 14(6): 1-17.
- Kellogg, E. A. 2015. *Flowering Plants, Monocots, The Families and Genera of Vascular Plants 13*. Switzerland: Springer International Publishing. Pp. 63-67.
- Khairullah, I., M. Imberan, & S. Subowo. 1998. Adaptabilitas dan Akseptabilitas Varietas Padi di Lahan Rawa Pasang Surut Kalimantan Selatan. *Kalimantan Scientiae*. 47: 38-50.
- Khairullah, I., Mawardi, S. Sulaiman, & M. Sarwani. 2003. Inventarisasi dan Karakterisasi Plasma Nutfah Tanaman Pangan di Lahan Rawa. Laporan Hasil Penelitian. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru.
- Khairullah, I., R. Humairie, M. Imberan, S. Subowo, & S. Sulaiman. 2004. Varietas Lokal Padi Pasang Surut Kalimantan Selatan: Karakterisasi dan pemanfaatan. Prosiding Lokakarya Perhimpunan Ilmu Pemuliaan Indonesia (PERIPI) VII. PERIPI-Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Ubi-ubian. Malang.
- Khairullah, I., Mawardi, & M. Sarwani. 2006. Karakteristik dan Pengelolaan Lahan rawa: 7. Sumber Daya Hayati Pertanian Lahan Rawa. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Hal. 203-228.
- Khairullah, I., E. William, & Nurtiryani. 2008. Potensi Genetik Plasma Nutfah Tanaman Pangan di Lahan Rawa. Keanekaragaman Flora dan Buah-Buahan Eksotik Lahan Rawa Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Hal. 51-61.

- Khan, A. S., M. Imran & M. Ashfaq. 2009. Estimation of Genetic Variability and Correlation for Grain Yield Components in Rice (*Oryza sativa* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 6(5): 585-590.
- Khush, G. S. 2013. Review Strategies for Increasing The Yield Potential of Cereals : Case of Rice as An Example. *Plant Breeding*. 132: 433-436.
- Kiani, G. 2011. Genetic Diversity Analysis of Iranian Improved Rice Cultivars Through RAPD Markers. *Notulae Scientia Biologicae*. 3(3): 135-139.
- Kim, H. J., E. G. Jeong, S-N. Ahn, J. Doyle, N. Singh, A. J. Greenberg, Y. J. Won, & S. R. McCouch. 2014. Nuclear and Chloroplast Diversity and Phenotypic Distribution of Rice (*Oryza sativa* L.) Germplasm from The Democratic People's Republic of Korea (DPRK; North Korea). *Rice*. 7(7):1-15.
- Kim, K., S-C. Lee, J. Lee, Y. Yu, K. Yang, B-S. Choi, H-J. Koh, N. E. Waminal, H-I. Choi, N-H. Kim, W. Jang, H-S. Park, J. Lee, H. O. Lee, H. J. Joh, H. J. Lee, J. Y. Park, S. Perumal, M. Jayakodi, Y. S. Lee, B. Kim, D. Copetti, S. Kim, S. Kim, K-B. Lim, Y-D. Kim, J. Lee, K-S. Cho, B-S. Park, R. A. Wing, & T-J. Yang. 2015. Complete Chloroplast and Ribosomal Sequences for 30 Accessions Elucidate Evolution of *Oryza* AA Genome Species. *Scientific Reports*. 5(15655): 1-13.
- Klug, W. S. & M. R. Cummings. 1994. *Concepts of Genetics*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall Inc.
- Koswara, O. & F. Rumawas. 1984. Tidal Swamp Rice in Palembang Region. In: Smith WH, Argosino GS, editor. Workshop on Research Priorities in Tidal Swamp Rice. Los Baños, Laguna (PH): International Rice Research Institute. hal. 37-48.
- Lee, J., J-J. Park, S. L. Kim, J. Yim, & G. An. 2007. Mutations in The Rice Liguleless Gene Result in A Complete Loss of The Auricle, Ligule, and Lamina Joint. *Plant Molecular Biology*. 65: 487-499.
- Lehninger, A. L., D. L. Nelson, & M. M. Cox. 2008. *Lehninger Principles of Biochemistry*. New York, USA: W.H. Freeman and Company. 1100 p.
- Levan A., K. Fredga, & A. A. Sandberg. 1964. Nomenclature for Centromeric Position on Chromosomes. *Hereditas*. 52: 201-220.
- Lewis, R. 2003. *Human Genetics: Concepts and Applications*. Boston, USA: The McGraw-Hills Company, Inc.
- Li, J. 2003. *The Natural History of Rice*. in Encyclopedia of Food and Culture. S. H. Katz (ed). New York, USA: Charles Scribner's Sons. Pp.190-198.

- Liu, W., M. Q. Shahid, L. Bai, Z. Lu, Y. Chen, L. Jiang, M. Diao, et al. 2015. Evaluation of Genetic Diversity and Development of a Core Collection of Wild Rice (*Oryza rufipogon* Griff.) Populations in China. *PLoS ONE*. 10: e0145990.
- Mani, P., T. M. M. J. Bastin, R. A. Kumar, & A. B. A. Ahmed. 2010. RAPD-Analysis of Genetic Variation of Four Important Rice Varieties Using Two OPR Primers. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*. 5(4): 12-15.
- Maniatis, T., E. F. Fritsch, & J. Sambrook. 1982. *Molecular Cloning A Laboratory Manual*. New York, USA: Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Marsolais, J. V., J. S. Pringle & B. N. White. 1993. Assessment of Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) as Genetic Markers for Determining The Origin of Interspecific Lilac Hybrids. *Taxon*. 42: 531-537.
- Maxted, N., M. E. Dullo, B. V. Ford-lloyd, L. Frese, J. M. Iriondo, & M. A. A. P. de Carvalho. 2012. *Agrobiodiversity Conservation: Securing the Diversity of Crop Wild Relatives and Landraces*. Oxfordshire, UK: CAB International. 388 p.
- Mondal, T. K., R. J. Henry. 2018. *The Wild Oryza Genome*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG.
- Mudrieq, S. H. 2014. Problematika Krisis Pangan Dunia dan Dampaknya bagi Indonesia. *Jurnal Academica FISIP UNTAD*. (6)2 : 1287-1302.
- Mursyidin, D. H., Gunawan & Krisdianto. 2013. Karakterisasi Kromosom Varietas Padi Lokal "Siam Mutiara" Asal Lahan Rawa Pasang Surut Kalimantan Selatan. *Bioscientiae*. 11(2): 1-8.
- Mursyidin, D. H., Y.A. Nazari & B.S. Daryono. 2014. Evaluasi Genetik Varietas Padi Lokal Lahan Rawa Pasang Surut Kalimantan Selatan Berdasarkan Karakter Kromosom. *Prosiding Seminar Nasional Bioteknologi*. Yogyakarta, 18 Oktober 2014.
- Mursyidin, D. H., Y. A. Nazari, B. S. Daryono. 2017. Tidal Swamp Rice Cultivars of South Kalimantan Province, Indonesia: A Case Study of Diversity and Local Culture. *Biodiversity*. 18: 427-432.
- Mursyidin, D. H. 2018. Variasi dan Kekerabatan Genetik Kultivar Padi Lokal (*Oryza sativa* L.) Lahan Rawa Pasang Surut Kalimantan Selatan Berdasarkan Penanda Morfologis, Ultrastruktur dan Molekular. Disertasi. Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (tidak dipublikasikan).

- Mursyidin, D. H., I. Sumardi, Purnomo, B. S. Daryono. 2018a. Pollen Diversity of The Tidal Swamp Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars Collected from South Kalimantan, Indonesia, *Australian Journal of Crop Science*. 12 (03): 380-385.
- Mursyidin, D. H., Purnomo, I. Sumardi, B. S. Daryono. 2018b. Molecular Diversity of Tidal Swamp Rice (*Oryza sativa* L.) in South Kalimantan, Indonesia. *Diversity*. 10 (22): 1-10.
- Mursyidin, D. H., Purnomo, I. Sumardi, and B. S. Daryono. 2019. Phenotypic Diversity of The Tidal Swamp Rice (*Oryza sativa* L.) Germplasm from South Kalimantan, Indonesia. *Australian Journal of Crop Science* 13: 386-394.
- Mzengeza, T. 2010. Genetic Studies of Grain and Morphological Traits in Early Generation Crosses of Malawi Rice (*Oryza sativa* L.) Landraces and Nerica Varieties. *Dissertation*. University of KwaZulu-Natal, Republic of South Africa. 194 p.
- Nafisah, A. A. Daradjat & H. Sembiring. 2006. Keragaman Genetik Padi dan Upaya Pemanfaatannya dalam Mendukung Ketahanan Pangan Nasional. Lokakarya Nasional Pengelolaan dan Perlindungan Sumber Daya Genetik di Indonesia: Manfaat Ekonomi untuk Mewujudkan Ketahanan Nasional, hal. 63-73.
- Nazira, A., M. A. Khan, A. M. Abbasi, & Zahidullah. 2013. Palynological Studies in Tribe *Aveneae* (*Poaceae*) from Potohar of Pakistan. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*. 10(1): 120-125.
- Nishimura, Y. 1961. Studies on The Reciprocal Translocation in Rice and Barley. *Bull. Nat. Inst. Agr. Sci.* **D9**: 171-235.
- Noorsyamsi, H., H. Anwarhan, S. Sulaiman, & H.M. Beachell. 1984. Rice Cultivation of The Tidal Swamps of Kalimantan. *In: Workshop on Research Priorities in Tidal Swamp Rice*. IRRI. Philippines, p. 17-28.
- Ogunbayo, S. A., D. K. Ojo, A. R. Popoola, O. J. Ariyo, M. Sie, K. A. Sanni, F. E. Nwilene, E. A. Somado, R. G. Guei, D. D. Tia, O. O. Oyelakin, & A. Shittu. 2007. Genetic Comparison of Landraces Rice Accessions by Morphological and RAPDs Techniques. *Asian Journal of Plant Sciences*. 6(4): 653-666.
- Oswald, W. W., E. D. Doughty, G. Ne'eman, R. Ne'eman, & A. M. Ellison. 2011. Pollen Morphology and Its Relationship to Taxonomy of the Genus *Sarracenia* (*Sarraceniaceae*). *Rhodora*. 113(955): 235-251.

- Parikh, M., B. Sharma, P. R. Chaudhari, S. Bhandarkar, & D. Sharma. 2014. Collection and Conservation of Extinct Landraces of Rice from Raigarh District of Chhattisgarh. *Recent Research in Science and Technology*. 6(1): 111-112.
- Parjanto, S. Moeljopawiro, W. T. Artama & A. Purwantoro. 2003. Kariotip Kromosom Salak. *Zuriat*. 14 (2) : 21-28.
- Pervaiz, Z. H., M. A. Rabbani, Z. K. Shinwari, M. S. Masood, & S. A. Malik. 2010. Assessment of Genetic Variability in Rice (*Oryza sativa* L.) Germplasm from Pakistan using RAPD Markers. *Pakistan Journal of Botany*. 42(5): 3369-3376.
- Perveen, A. 2006. A Contribution to The Pollen Morphology of Family Gramineae. *World Applied Sciences Journal*. 1(2): 60-65.
- Pirie, M. D., M. P. B. Vargas, M. Botermans, F. T. Bakker, & L. W. Chatrou. 2007. Ancient Paralogy in The cpDNA *trnL-F* Region in Annonaceae: Implications for Plant Molecular Systematics. *American Journal of Botany*. 94(6): 1003-1016.
- Priatmadi, B. J. & A. Haris. 2009. Reaksi Pemasaman Senyawa Pirit pada Tanah Rawa Pasang Surut. *Jurnal Tanah Tropika*. 14: 19-24.
- Rabara, R. C., M. C. Ferrer, C. L. Diaz, M. C. V. Newingham, & G. O. Romero. 2014. Phenotypic Diversity of Farmers' Traditional Rice Varieties in the Philippines. *Agronomy*. 4: 217-241.
- Rabara, R. C., M. C. Ferrer, J. Jara-rabara, & R. C. Sotto. 2018. Securing Diversity for Food Security: The Case of Conservation and Use of Rice Genetic Resources. *New Vision of Plant Science*. 17.
- Rabbani, M. A., Z. H. Pervaiz, & M. S. Masood. 2008. Genetic Diversity Analysis of Traditional and Improved Cultivars of Pakistani Rice (*Oryza sativa* L.) Using RAPD Markers. *Electronic Journal of Biotechnology*. 11(3): 1-10.
- Raghunathachari, P., V. K. Khanna, U. S. Singh, & N. K. Singh. 2000. RAPD Analysis of Genetic Variability in Indian Scented Rice Germplasm (*Oryza sativa* L.). *Current Science*. 79(7): 994-998.
- Rahman, S. N., M. S. Islam, M. S. Alam, & K. M. Nasiruddin. 2007. Genetic Polymorphism in Rice (*Oryza sativa* L.) Through RAPD Analysis. *Indian Journal of Biotechnology*. 6: 224-229.
- Raihan, S. 2004. Penelitian Komponen Teknologi Pengelolaan Tanaman di Lahan Rawa. Laporan. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa Banjarbaru.

- Rajani, J., V. Deepu, G. M. Nair, & A. J. Nair. 2013. Molecular Characterization of Selected Cultivars of Rice, *Oryza sativa* L. Using Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) Markers. *International Food Research Journal*. 20(2): 919-923.
- Raven, P.H. & Johnson, G.B. 2002. *Biology*. 6th ed. New York, USA: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Reig-Valiente, J. L., J. Viruel, E. Sales, L. Marqués, J. Terol, M. Gut, S. Derdak, M. Talón, & C. Domingo. 2016. Genetic Diversity and Population Structure of Rice Varieties Cultivated in Temperate Regions. *Rice*. 9(58): 1-12.
- Rekha, T., K. P. Martin, V. B. Sreekumar, & J. Madassery. 2011. Genetic Diversity Assessment of Rarely Cultivated Traditional Indica Rice (*Oryza sativa* L.) Varieties. *Biotechnology Research International*. 7: 1-7.
- Rogers, S. O & A. J. Bendich. 1987. Ribosomal RNA Genes in Plants: Variability in Copy Number and in The Intergenic Spacer. *Plant Molecular Biology*. 9: 509-520.
- Saker, M. M., S. S. Youssef, N. A. Abdallah, H. S. Bashandy, & A. M. El Sharkawy. 2005. Genetic Analysis of Some Egyptian Rice Genotypes Using RAPD, SSR and AFLP. *African Journal of Biotechnology*. 4(9): 882-890.
- Sakthivel, K., R. M. Sundaram, N. S. Rani, S. M. Balachandran, & C. N. Neeraja. 2009. Genetic and Molecular Basis of Fragrance in Rice. *Biotechnology Advances*. 27: 468-473.
- Sambrook, J., E. F. Fritsch, & T. A. Maniatis. 1989. *Molecular Cloning: A Laboratory Manual*. 2nd ed. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press. 1885 p.
- Sánchez, E., M. Montiel, & A.M. Espinoza. 2003. Ultrastructural Morphologic Description of The Wild Rice Species *Oryza latifolia* (Poaceae) in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 51(2): 1-6.
- Sánchez, E., & A.M. Espinoza. 2005. Ultrastructural of *Oryza glumaepatula*, A Wild Rice Species Endemic of Tropical America. *Revista de Biología Tropical*. 53(1-2): 15-22.
- Sánchez, E., T. Quesada & A.M. Espinoza. 2006. Ultrastructure of The Wild Rice *Oryza grandiglumis* (Gramineae) in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 54(2): 377-385.
- Sarwar, A. K. M. G., Y. Hoshino, & H. Araki. 2010. Pollen Morphology and Infrageneric Classification of *Alstroemeria* L. (Alstroemeriaceae). *Grana*. 49(4): 227-242.

- Sastrapradja, S. D. & M. A. Rifai. 1989. Mengenal Sumber Pangan Nabati dan Sumber Plasma Nutfahnya. Komisi Pelestarian Plasma Nutfah Nasional dan Pulitbang Bioteknologi, LIPI, Bogor.
- Sheeba, M. J., P. Kamalam, & B. Vijayavalli. 2014. Pollen Grain Studies in *Ipomoea batatas* (L.) Lam and *Ipomoea aquatica* L. *International Journal of Research in Plant Science*. 4(4): 100-104.
- Singh, R. J. 1993. *Plant Cytogenetics*. Boca Raton: CRC Press.
- Sitairesmi, T., R. H. Wening, A. T. Rakhmi, N. Yunani, & U. Susanto. 2013. Pemanfaatan Plasma Nutfah Padi Varietas Lokal dalam Perakitan Varietas Unggul. *Iptek Tanaman Pangan*. 8: 22-30.
- Stein, J. C., Y. Yu, D. Copetti, D. J. Zwick, L. Zhang, C. Zhang, K. Chougule, et al. 2018. Genomes of 13 Domesticated and Wild Rice Relatives Highlight Genetic Conservation, Turnover and Innovation Across The Genus *Oryza*. *Nature Genetics*. 50: 285-296.
- Subagyo, H. 2006a. Klasifikasi dan Penyebaran Lahan Rawa. dalam *Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor, Indonesia. Hal. 1-22.
- Subagyo, H. 2006b. Lahan Rawa Pasang Surut. dalam *Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor, Indonesia. Hal. 23-98.
- Subagyo, H. 2006c. Lahan Rawa Lebak. dalam *Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor, Indonesia. Hal. 99-116.
- Sunarto. 1997. *Pemuliaan Tanaman*. Semarang: IKIP Semarang Press. 53 hal.
- Suprihatno, B., A. A. Daradjat, Satoto, Baehaki, I. N. Widiarta, A. Setyono, S. D. Indrasari, O.S. Lesmana, & H. Sembiring. 2006. *Deskripsi kultivar padi*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. 78 hal.
- Suriadikarta, D. A. & D. Setyorini. 2006. Baku Mutu Pupuk Organik. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian.
- Suryo. 2007. *Sitogenetika*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. 442 hlm.
- Suwignyo, R. A. 2007. Ketahanan Tanaman Padi terhadap Kondisi Terendam: Pemahaman terhadap Karakter Fisiologis untuk

- Mendapatkan Kultivar Padi yang Toleran di Lahan Lebak. Kongres Ilmu Pengetahuan Wilayah Indonesia Bagian Barat, 1-7. Palembang.
- Taberlet, P., L. Gielly, G. Pautou, & J. Bouvet. 1991. Universal Primers for Amplification of Three Non-Coding Regions of Chloroplast DNA. *Plant Molecular Biology*. 17: 1105-1109.
- Taguchi-Shiobara, F., T. Ota, K. Ebana, T. Ookawa, M. Yamasaki, T. Tanabata, U. Yamanouchi, J. Wu, N. Ono, Y. Nonoue, K. Nagata, S. Fukuoka, H. Hirabayashi, T. Yamamoto, & M. Yano. 2015. Natural Variation in The Flag Leaf Morphology of Rice due to a Mutation of the NARROW LEAF 1 Gene in *Oryza sativa* L. *Genetics*. 201: 795-808.
- Tajima, F. 1989. Statistical Method for Testing The Neutral Mutation Hypothesis by DNA Polymorphism. *Genetics*. 123: 585-595.
- Takaiwa, F., S. Kikuchi, & K. Oono. 1990. The Complete Nucleotide Sequence of The Intergenic Spacer Between 25S and 17S rDNAs in Rice. *Plant Molecular Biology*. 15: 933-935.
- Tam, S-M., P. C. Boyce, T. M. Upton, D. Barabé, A. Bruneau, F. Forest, & J. S. Parker. 2004. Intergeneric and Intrafamilial Phylogeny of Subfamily Monsteroideae (Araceae) Revealed by Chloroplast *trnL-F* Sequences. *American Journal of Botany*. 91(3): 490-498.
- Tamarin, R.H. 2001. *Principles of Genetics*. Seventh edition. Ney York: The McGraw-Hill Companies. 686 p.
- Thomson, M. J., N. R. Polato, J. Prasetyono, K. R. Trijatmiko, T. S. Silitonga, & S. R. McCouch. 2009. Genetic Diversity of Isolated Populations of Indonesian Landraces of Rice (*Oryza sativa* L.) Collected in East Kalimantan on The Island of Borneo. *Rice*. 2: 80-92.
- Tidke, J. A., A. V. Rajurkar, & V. R. Dhawale. 2012. Scanning Electron Microscopic Studies on Pollen Morphology of Bauhinia (*Caesalpinaceae*). *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*. 2(1): 145-151.
- Tung, C-W., K. Zhao, M. H. Wright, M. L. Ali, J. Jung, J. Kimball, W. Tyagi, M. J. Thomson, K. McNally, H. Leung, H. Kim, S-N. Ahn, A. Reynolds, B. Scheffler, G. Eizenga, A. McClung, C. Bustamante, & S. R. McCouch. 2010. Development of a Research Platform for Dissecting Phenotype-Genotype Associations in Rice (*Oryza* spp.). *Rice*. 3: 205-217.
- Ünan, R., İ. Sezer, M. Şahin, & L. A. J. Mur. 2013. Control of Lodging and Reduction in Plant Length in Rice (*Oryza sativa* L.) with The Treatment of Trinexapac-ethyl and Sowing Density. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 37: 257-264.

- Utami, D.W., I. Rosdianti, P. Lestari, D. Satyawan, H. Rijzaani, & I.M. Tasma. 2013. Development and Application of 1536-Plex Single Nucleotide Polymorphism Marker Chip for Genome Wide Scanning of Indonesian Rice Germplasm. *Indonesian Journal of Agricultural Science*. 14(2): 71-78.
- Vaughan, D. A., and T.-T. Chang. 1992. In Situ Conservation of Rice Genetic Resources. *Economic Botany*. 46: 368-383.
- Vaughan, D. A., B-R. Lu & N. Tomooka. 2008. Was Asian Rice (*Oryza sativa*) Domesticated More Than Once?. *Rice*. 1: 16-24.
- Wahdah, R., & B. F. Langai. 2011. Seleksi Awal Varietas Padi Lokal di Lahan Rawa Pasang Surut Kabupaten Barito Kuala dan Tanah Laut Kalimantan Selatan sebagai Bahan Mutasi. *Agroscientiae*. 18 (3): 44-50.
- Wambugu, P. W., M. Brozynska, A. Furtado, D. L. Waters, & R. J. Henry. 2015. Relationships of Wild and Domesticated Rices (*Oryza* AA Genome Species) Based Upon Whole Chloroplast Genome Sequences. *Science Reports*. 5(13957): 1-9.
- Wang, Z. X., N. Iwata, Y. Sukekiyo, & A. Yoshimura, 1991. Induction of Chromosome Aberrants in Rice (*Oryza sativa* L.) by Using Irradiated Pollen. *J. Fac. Agr. Kyushu Univ*. 36: 99-108.
- Wang, M., Z. Zhu, L. Tan, F. Liu, Y. Fu, C. Sun, & H. Cai. 2013. Complexity of Indica-Japonica Varietal Differentiation in Bangladesh Rice Landraces Revealed by Microsatellite Markers. *Breeding Science*. 63: 227-232.
- Wang, Y., A. Jiao, H. Chen, X. Ma, D. Cui, B. Han, R. Ruan, et al. 2018. Status and Factors Influencing On-Farm Conservation of Kam Sweet Rice (*Oryza sativa* L.) Genetic Resources in Southeast Guizhou Province, China. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 14: 1-25.
- Widjaja-Adhi, I. P. G., K. Nugroho, D. S. Ardi, & A. S. Karama. 1992. Sumberdaya Lahan Pasang Surut, Rawa, Pantai : Potensi, Keterbatasan, dan Pemanfaatan. *Prosiding Pertemuan Nasional Pengembangan Lahan Pertanian Pasang Surut dan Rawa*. Cisarua, 3-4 Maret 1992.
- Widjaja-Adhi, I. P. G., D. A. Suriadikarta, M. T. Sutriadi, I. G. M. Subiksa, & I. W. Suastika. 2000. Pengelolaan, Pemanfaatan, dan Pengembangan Lahan Rawa. Dalam: Adimihardja, A., L. I. Amien, F. Agus, & D. Jaenuddin (eds.). *Sumberdaya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya*. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor. hal. 127-164.

- Wijayawardhana, H. C. D., H. M. V. G. Herath, P. A. Weerasinghe, & H. M. D. A. K. Herath. 2015. Morphological Variation in Selected Sri Lankan Rice (*Oryza sativa* L.) Accessions in Relation to The Vegetative Parameters. *Tropical Agricultural Research*. 26(2): 380-389.
- Williams, J. G. K., Kubelik, A. R., Livak, K. J., Rafalski, J. A., & Scott, V. T. 1990. DNA Polymorphisms Amplified by Arbitrary Primers are Useful as Genetic Markers. *Nucleic Acids Research*. 18: 6531-6535.
- Wu, L-L., Z-L. Liu, J-M. Wang, C-Y Zhou, & K-M. Chen. 2011. Morphological, Anatomical, and Physiological Characteristics Involved in Development of The Large Culm Trait in Rice. *Australian Journal of Crop Science*. 5(11): 1356-1363.
- Yamada, T. 2013. Forage Grasses and Legume - An Introduction, In *Genetics, Genomics and Breeding of Forage Crops*. H. Cai, T. Yamada, and C. Kole (eds). Boca Raton: CRC Press. 322 p.
- Yang, K. & S-C. Jeong. 2008. Genetic Linkage Map of the Nucleolus Organizer Region in the Soybean. *Genetics*. 178: 605-608.
- Yesmin, N., S. M. Elias, M. S. Rahman, T. Haque, A. K. M. M. Hasan, & Z. I. Seraj. 2014. Unique Genotypic Differences Discovered among Indigenous Bangladeshi Rice Landraces. *International Journal of Genomics*. Pp 1-12.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science*. Los Banos, Philippines: The International Rice Research Institute.
- Zeigler, R.S. & A. Barclay. 2008. The Relevance of Rice. *Rice*. 1: 3-10.
- Zhang, X-C., C-G. Lu, N. Hu, K-M. Yao, Q-J. Zhang, & Q-G. Dai. 2013. Simulation of Canopy Leaf Inclination Angle in Rice. *Rice Science*. 20(6): 434-441.
- Zhao, K., C. W. Tung, G. Eizenga, M. Wright, M. L. Ali . A. H. Price, G. J. Norton, M. R. Islam, A. Reynolds, J. Mezey, A. M. McClung, C. D. Bustamante, & S. R. McCouch. 2011. Genome-Wide Association Mapping Reveals A Rich Genetic Architecture of Complex Traits in *Oryza sativa*. *Nature Communications*. 2: 467.
- Zheng, J., Y. Zhang, & C. Wang. 2015. Molecular Functions of Genes Related to Grain Shape in Rice. *Breeding Science*. 65: 120-126.

Sumber Website

Anonim. 2018. Perbandingan Produksi dan Konsumsi Beras Nasional. Diakses dari <https://databoks.katadata.co.id>.

Anonim. 2019. Gejala Serangan Penyakit Blas pada Tanaman Padi. Diakses <http://bbpadi.litbang.pertanian.go.id>

PROFIL PENULIS



Dindin Hidayatul Mursyidin, merupakan staf pengajar di Laboratorium Genetika dan Biologi Molekuler, Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Lambung Mangkurat. Tahun 2004, ia menyelesaikan pendidikan sarjana di bidang Biologi (Biokimia) di Universitas Gadjah Mada. Pada tahun 2011, ia menyelesaikan *Master of Science* di bidang Biologi (Genetika dan Biologi Molekuler), dan tahun 2018 menyelesaikan program Doktor nya di universitas yang sama di bidang Ilmu Biologi (Genetika dan Biologi Molekuler).

Penulis sangat tertarik untuk mengeksplorasi dan mengkaji berbagai potensi sumberdaya genetika lokal yang terdapat di Pulau Kalimantan. Adapun buku ini adalah karya pertama Penulis dalam bidang ilmu yang digeluti.



Budi Setiadi Daryono, merupakan staf pengajar (Guru Besar) di Laboratorium Genetika dan Pemuliaan, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada. Tahun 1995, ia menyelesaikan pendidikan sarjana di bidang Biologi (Genetika Tanaman dan Kultur Jaringan) di Universitas Gadjah Mada, tahun 2002 menyelesaikan *Master of Agriculture Science* di bidang Genetika dan Pemuliaan Tanaman di *Tokyo University of Agriculture (TUA)* Jepang, dan pada tahun 2005 menyelesaikan program Ph.D nya di universitas yang sama di bidang Genetika Molekuler dan Pemuliaan Tanaman.

Pada tahun 2001, Penulis pernah menerima *Young Scientist Award* dari *International Society for Horticultural Sciences (ISHS)* pada *International Symposium on Cucurbit*, 2001. Pada tahun 2007 dan 2008, Penulis juga pernah menerima *Best Presenter Awards* dan *Science and Technology Awards* dari *Indonesia Toray Science Foundation*.

Beberapa buku yang telah ditulis, antara lain *Peningkatan Usaha Agribisnis Benih Hortikultura dengan Penerapan Strategi Pemuliaan Tanaman*

untuk Menghadapi CAFTA (2010), Pertanian Terpadu untuk Mendukung Kedaulatan Pangan Nasional (BPFE, Yogyakarta, 2010), Perubahan Iklim dan Pemanfaatan SIG di Kawasan Pesisir (2014), dan Karakterisasi Kromosom Tumbuhan dan Hewan (Gadjah Mada University Press, 2015), Keanekaragaman dan Potensi Sumberdaya Genetik Melon (Gadjah Mada University Press, 2017), serta Karakterisasi dan Keragaman Genetik Ayam Lokal Indonesia (Gadjah Mada University Press, 2019).



Purnomo, merupakan staf pengajar (Guru Besar) di Laboratorium Struktur dan Perkembangan Tumbuhan, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada. Tahun 1981, ia menyelesaikan pendidikan sarjana di bidang Biologi (Botani) di Universitas Gadjah Mada. Pada tahun 1988, ia menyelesaikan Magister Sains di bidang Biologi (Taksonomi Tumbuhan), dan tahun 2008 menyelesaikan program Doktor nya di Universitas yang sama di bidang Ilmu Biologi (Biosistematik).

Beberapa buku yang telah ditulis, antara lain *Keanekaragaman Hayati di Gianyar (2017), Pengelolaan Ekosistem DAS Di Kabupaten Gianyar (2017), dan Keanekaragaman Flora & Fauna Daerah Aliran Sungai Pakerisan Kabupaten Gianyar (2018).*



Padi lokal lahan rawa, atau lebih dikenal dengan sebutan ‘padi rawa’, merupakan salah satu sumberdaya genetik yang sangat potensial untuk dikembangkan. Meskipun secara umum sumberdaya genetik ini memiliki potensi hasil relatif rendah, namun secara khusus memiliki gen-gen fungsional yang dapat dimanfaatkan dalam program pemuliaan tanaman padi. Misalnya toleran terhadap tingkat keasaman dan keracunan besi (Fe), serta logam berat lainnya.

Khusus bagi masyarakat lokal Kalimantan Selatan, terutama suku Banjar, padi rawa telah lama dikenal dan dibudidayakan. Sejak tahun 1920, masyarakat lokal di wilayah ini telah mengenal dan membudidayakan beberapa kultivar padi rawa, seperti “Bayar”, “Lemo”, “Siam”, dan “Pandak”.

Buku ini hadir untuk mengungkapkan dan memaparkan aspek genetik padi rawa Kalimantan Selatan berdasarkan karakter agro-morfologi, anatomi, fisiologi, biokimiawi, dan sitologi, serta molekuler. Informasi tersebut diharapkan bermanfaat bagi para akademisi (pelajar, mahasiswa, guru, dan dosen), serta peneliti dan pemulia (breeder) di Indonesia, terutama untuk mendukung program pemuliaan tanaman padi di Indonesia.

Selamat membaca!

ISBN 978-602-0950-77-8



9 786020 950778