

**Research Article****Keragaman Genetik, Morfologi dan Produksi Tanaman Sagu
Dataran Tinggi Latimojong Kabupaten Luwu*****Genetic Diversity, Morphology and Production of Latimojong
Highland Sago Plants, Luwu Regency*****Masluki^{1*}, Mutmainnah¹**¹*Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Cokroaminoto Palopo*

Received: December 14, 2023 /Received in revised: November 5, 2024/ Accepted: December 27, 2024

ABSTRACT

Luwu Regency is one of the centers of sago distribution in South Sulawesi Province, both in the lowlands and highlands. The existence of genotypes and phenotypes in different locations can provide information related to the level of sago plant diversity. Information on the diversity of sago accessions from the community is generally only based on morphological and production characters so that it is unstable due to environmental influences. This research aims to obtain data and information on genetic diversity based on RAPD molecular markers, morphological characteristics and production potential of various sago accessions in the highlands. The research method was carried out through the stages of observing morphological and production characters by direct observation in the field. Genetic diversity analysis was carried out using the RAPD molecular marker test using 9 selected primers. The samples used were young sago leaves. Sago samples for the purposes of observing morphology and production in felled ripe sago stands were carried out using destructive sampling by cutting down sample sago trees. The selected sago has entered the mature felling phase in each accession which has the same morphological characteristics based on visual characteristics and information from key respondents. The average polymorphic band was 7.33 while the average monomorphic band was 3.22. The highest percentage of polymorphism was 88.88% while the lowest was 41.67%. There are accessions that have the highest dissimilarity coefficient of 70%, while the lowest similarity coefficient value is 18%. Latimojong highland sago has a low production average of 118.24 kg tree⁻¹.

Keywords: Highland sago; PcoA; Polymorphism; Similarity RAPD.**ABSTRAK**

Kabupaten Luwu merupakan salah satu sentra penyebaran sagu di Provinsi Sulawesi Selatan, baik di dataran rendah hingga dataran tinggi. Keberadaan genotipe dan fenotipe pada lokasi yang berbeda dapat memberikan informasi terkait tingkat keragaman tanaman sagu. Informasi keragaman aksesi sagu dari masyarakat, umumnya hanya berdasarkan karakter morfologi dan produksi sehingga bersifat tidak stabil karena adanya pengaruh lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh data dan informasi keragaman genetik berdasarkan penanda molekuler RAPD, karakteristik morfologi dan potensi produksi sagu berbagai aksesi di dataran tinggi. Metode penelitian dilaksanakan melalui tahapan pengamatan karakter morfologi dan produksi dengan pengamatan langsung di lapangan. Analisis keragaman genetik dilakukan dengan uji marka molekuler RAPD dengan menggunakan 9 primer yang telah diseleksi. Sampel yang digunakan berupa daun muda sagu contoh. Sampel sagu untuk keperluan pengamatan morfologi dan produksi pada tegakan sagu masak tebang dilakukan secara destructive sampling dengan menebang pohon sagu contoh. Sagu yang dipilih telah memasuki fase masak tebang pada masing-masing aksesi yang memiliki karakter morfologi sama berdasarkan ciri-ciri

*Korespondensi Penulis.

E-mail: masluki@uncp.ac.id (Masluki)DOI: <https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v8i2.588>

visual dan informasi dari responden kunci. Rata-rata pita polimorfik sebesar 7,33 sedangkan rata-rata pita monomorfik sebesar 3,22. Persentase polimorfisme tertinggi sebesar 88,88 % sedangkan terendah sebesar 41,67 %. Terdapat aksesori yang memiliki koefisien ketidakkemiripan tertinggi sebesar 70 %, sedangkan nilai koefisien kemiripan terendah yaitu 18 %. Sagu dataran tinggi Latimojong memiliki produksi yang rendah rata-rata 118,24 kg pohon⁻¹.

Kata kunci: PCoA; Polimorfisme; Sagu dataran tinggi; Similarity RAPD.

1. Pendahuluan

Sagu menjadi pangan lokal masyarakat di Kabupaten Luwu sebelum berkembangnya pangan pokok beras. Produk olahan sagu dalam bentuk makan khas daerah dataran rendah dan tinggi. Sagu merupakan komoditas strategis dalam mengatasi status kerawanan pangan suatu negara (Aisak *et al.* 2018), meningkatkan kesejahteraan petani dan pendapatan asli daerah (Murod *et al.* 2019) dan pemenuhan kebutuhan pangan di Indonesia seiring dengan pertumbuhan penduduk (Trisia *et al.* 2016). Permintaan sagu akan terus meningkat baik untuk pangan maupun bahan baku industri (Metaragakusuma *et al.* 2017). non pangan domestik dan internasional (Ahmad 2014). Tanaman sagu mampu menghasilkan 200-400 kg.pohon⁻¹ pati kering, hingga 800 kg pohon⁻¹ (Toyoda 2018). Daerah yang masih menggunakan ekstraksi sagu secara manual hanya mampu menghasilkan sebesar 2,5-7,7 ton.ha⁻¹.tahun⁻¹ (Asthutiirundu *et al.* 2019). Produksi sagu sangat beragam disetiap wilayah, di Sorong Selatan produksi pati dapat mencapai >200 kg pati kering batang⁻¹ (Nurulhaq *et al.* 2022). Produksi pati kering dapat mencapai 177,70 kg batang⁻¹ di Kalimantan Selatan (Rahman *et al.* 2021), sagu Bestari 254,94 kg pohon⁻¹ di Meranti (Novarianto *et al.* 2020). Pada jenis sagu berduri rata-rata bobot segar sebesar 822 kg batang⁻¹, sedangkan 2.093 kg batang⁻¹ pada jenis sagu tidak berduri di Halmahera, Papua dan Kendari (Pasolon 2015). Perbedaan produksi sagu sangat dipengaruhi oleh habitat dan genetiknya.

Keragaman karakter tanaman sagu dan pola penyebarannya memberikan gambaran terhadap pola adaptasi sagu terhadap cekaman lingkungan. Karakter agronomi dan morfologi tidak memiliki korelasi kuat dengan produksi pati (Pratama *et al.* 2018), produksi sagu berbeda berdasarkan aksesinya (Yamamoto 2018). Penciri genetik bibit sagu yang berasal dari biji dengan variasi yang tinggi merupakan hasil penyerbukan silang (Riyanto 2018). Jarak genetik sagu dari analisis dengan penanda RAPD di bagian timur Kepulauan Melayu terbagi menjadi empat kelompok utama (Ehara 2018). Konstruksi filogenetik 15 aksesori sagu terbagi menjadi dua kelompok dengan kekerabatan yang paling dekat yaitu *Metroxylon sagu* dengan *Metroxylon warburgii* (Wulandari 2021).

Keragaman genetik sagu di Indonesia tergolong tinggi berdasarkan penanda molekuler RAPD dengan nilai polimorfisme dan analisis keragaman genetik (Abbas 2018). Keberadaan genotipe spesifik pada kedua populasi, Serui di pulau Papua dan Palopo di pulau Sulawesi dapat dijadikan sebagai sumber keragaman plasma nutfah (Christian 2019). Semakin tinggi keragaman haplotipe maka semakin tinggi tingkat keragaman genetik (Wulandari *et al.* 2021).

Produksi pati tanaman sagu yang tumbuh di habitat tergenang sementara dan tidak tergenang tidak menunjukkan perbedaan (Yater *et al.* 2019). Sagu yang tumbuh pada habitat aslinya dapat berkembang secara lestari jika tidak dilakukan alih fungsi lahan dan eksploitasi secara besar-besaran (Karim 2021). Sagu dapat tumbuh optimal pada ketinggian < 400 mdpl, pada ketinggian 1000 mdpl, produksi pati sangat minim akibat intensitas cahaya matahari yang rendah sehingga proses fotosintesis tidak optimal (Abbas 2017). Tanaman sagu memiliki pertumbuhan yang lebih baik di lahan basah daripada di lahan kering, tetapi jika nutrisi tersedia, maka tanaman sagu dapat tumbuh dengan baik (Muhidin 2016). Sebelum melakukan budidaya sagu, analisis kesesuaian lahan untuk kondisi lahan marginal diperlukan, kecuali pada tanah mineral (Wasli *et al.* 2021).

Eksplorasi keanekaragaman sagu masih belum memadai dibandingkan dengan komoditi perkebunan dan sumber pangan lainnya pangan yang dianggap strategis. Potensi pati sagu yang melimpah pada kondisi lingkungan yang alami sangat potensial untuk dijadikan sebagai sumber pangan, energi dan stabilitas ekologi. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh data dan informasi keragaman genetik berdasarkan penanda molekuler RAPD, karakteristik morfologi dan potensi produksi produksi sagu berbagai aksesori di dataran tinggi. Karakteristik genetik, morfologi dan produksi sagu pada sebaran yang lebih luas masih membutuhkan penelitian dan pengkajian secara mendalam khususnya sagu pada dataran tinggi Latimojong.

2. Bahan dan Metode

Penelitian dilaksanakan dari Bulan April - September Tahun 2023. Pengambilan sampel dan Pengamatan karakter morfologi dan produksi akan

dilakukan di Desa Pajang, Desa Buntu Sarek dan Desa Ulu Salu Kecamatan Latimojong Kabupaten Luwu. Analisis Molekuler dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi dan Molekuler Tanaman Departemen Agronomi dan Hortikultura Fakultas Pertanian, IPB University. Bahan yang digunakan antara lain : daun sagu muda, larutan *buffer CTAB*, batang sagu, pati sagu, primer RAPD.

Pengambilan Sampel Daun Muda (Keragaman Genetik)

Bahan analisis DNA menggunakan pucuk daun termuda dari anakan sagu. Anak daun diambil kemudian dimasukkan ke dalam plastik klip dan disimpan di dalam *cool box* yang telah diisi dengan es gel untuk menjaga kesegaran daun saat di lapangan. Anak daun diambil sebanyak 2 cm² dan dimasukkan ke dalam *micro tube* yang sudah terdapat larutan *buffer CTAB* sebanyak 700 µl (mikroliter).

Ekstraksi DNA dan Amplifikasi PCR

Tahap ekstraksi DNA dan amplifikasi PCR menggunakan primer RAPD yang digunakan pada percobaan yaitu 9 jenis primer yang telah diseleksi sebagai berikut : P01, P02, P04, P06, P17, OPG02, OPAA17, OPAB04 dan OPAB18 (Ehara et.al.,2003). Data hasil scoring ditabulasi dengan menggunakan *software Microsoft Excel 2019*.

Analisis Data

Analisis data molekuler menggunakan persentase pita polimorfik dihitung dengan menggunakan rumus berikut (Hasanah 2022):

$$\% \text{ Pita Polimorfik} = \frac{\sum \text{Pita Polimorfik}}{\sum \text{total Pita}} \times 100\%$$

Pengambilan Sampel Morfologi dan Produksi

Pengamatan dan pengambilan sampel dilakukan dengan membuat plot pada lahan sagu seluas 100 m² (10 m x 10 m) pada setiap lokasi sampel. Data morfologi tanaman sagu pada fase masak tebang diperoleh dengan metode *destructive sampling* dengan cara menebang pohon sagu. Sagu yang dipilih telah memasuki fase masak tebang pada masing-masing aksesori yang memiliki karakter morfologi sama berdasarkan ciri-ciri visual dan informasi dari responden kunci. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara pengamatan langsung meliputi karakter morfologi; batang, akar, racis, petiol dan daun (Masluki et al. 2024). Karakter produksi dikuantifikasi dengan mengambil sampel batang sagu menggunakan ring sampel pada setiap potongan 50 cm. Sampel batang

sagu kemudian di ekstraksi untuk memisahkan pati sagu dari empulurnya. Pati contoh yang telah dikeringkan akan digunakan untuk mengetahui produksi perbatang sagu dengan mengalikan total volume batang sagu dengan menggunakan rumus tabung.

Pati sagu yang telah diekstraksi kemudian ditimbang dan dikeringkan untuk mengetahui persentase kadar air:

$$\% \text{ kadar air} = (W - W1) \times 100 / W$$

Keterangan :

W : bobot contoh asal (gram),

W1 : bobot contoh setelah dikeringkan (gram)

100 : faktor konversi ke %.

Jumlah rumpun yang diamati sebanyak enam rumpun dilokasi yang berbeda dengan masing-masing rumpun diulang sebanyak tiga kali sehingga total sampel sebanyak 18. Jarak antara plot pengamatan tidak kurang dari 200 m. Jenis data morfologi dan produksi terdiri atas 16 karakter pada setiap aksesori yang diamati.

Analisis Data Morfologi dan Produksi

Perhitungan luas anak daun dilakukan pengukuran panjang dan lebar anak daun (*leaflet*) pada daun yang telah dewasa pada tanaman induk. Anak daun yang diamati yaitu anak daun yang pertumbuhannya telah mencapai maksimum atau dewasa dan terdapat pada pertengahan daun (pelepah). Kuantifikasi luas anak daun menggunakan rumus Nakamura *et al.* (2005):

$$S(e) = 0,785 L_{\text{leaflet}} \times W_{\text{leaflet}}$$

Keterangan :

S(e) : luas anak daun

L_{leaflet} : panjang anak daun

W_{leaflet} : lebar anak daun

Pengukuran luas daun dilakukan pada tanaman sagu yang telah membentuk batang. Perhitungan luas daun menggunakan rumus Nakamura *et al.* (2009):

$$S_{\text{leaf}} = ab\pi/8 + ac/2$$

Keterangan :

S_{leaf} = Luas daun

a = Panjang *rachis*

b = Panjang anak daun sisi kiri (LCL) + kanan (LCR) di pertengahan *rachis* (a/2)

c = Panjang anak daun sisi kiri (LBL)+kanan (LBR) di ¼ dari pangkal *rachis* (a/4)

Pendugaan potensi produksi pati kering per batang berdasarkan perbandingan volume: contoh empulur diambil pada batang bagian bawah, tengah dan atas dengan menggunakan *ring* sampel yang telah diketahui volumenya dengan rumus (Fathnoer *et al.* 2021):

$$\text{Produksi pati batang}^{-1} = \frac{\text{volume batang}}{\text{volume contoh}} \times \text{bobot kering contoh} \times \text{fk}$$

Volume batang = $\pi r^2 \times \text{tinggi}$,
dimana $\pi = 3,14$ dan $r = \text{jari-jari}$, $\text{fk} = \text{faktor koreksi}$ (0,90)

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{bobot pati kering contoh}}{\text{bobot empulur}} \times 100\%$$

Potensi Produksi = jumlah produksi x jumlah pohon masak tebang x luas areal sagu (ha)

Data dianalisis untuk menghasilkan dendogram berdasarkan jarak kofenetik (Sayekti *et al.* 2021).

Analisis Koordinat Utama (*PCoA*) menggunakan *PBSTAT-EL 2.1.1* (Sitaresmi *et al.* 2019).

3. Hasil

Berdasarkan hasil elektroforesis DNA dengan menggunakan sembilan primer menghasilkan amplifikasi DNA yang ditandai dengan munculnya pita polimorfik dan monomorfik. Jumlah fragmen DNA hasil amplifikasi tertinggi terdapat pada primer P06 dengan total 13 pola pita sedangkan total pita terendah terdapat pada primer OPAA17 sebesar 8 pola pita. Total pola pita yang dihasilkan dari sembilan primer RAPD sebesar 95 dengan rata-rata 10,56 pola pita. Ukuran pita DNA yang teramplifikasi berkisar antara 120-2518 bp. Rata-rata pita polimorfik sebesar 7,33 sedangkan rata-rata pita monomorfik sebesar 3,22. Persentase polimorfisme tertinggi terdapat pada primer P17 dengan nilai 88,88 % sedangkan terendah terdapat pada primer P02 sebesar 41,67 %. Rata-rata polimorfisme dari sembilan primer yaitu 67 % (Tabel 1).

Tabel 1. Persentase Pola Pita Polimorfisme Pada 9 Primer RAPD

No	Jenis Primer	Sequens Primer	Ukuran Pita DNA (bp)	Σ Total Pola Pita	Σ Polimorfis	Σ Monomorfis	Polimorfisme (%)
1	OPAB04	5'GGCACGCGTT'3	168-1875	10	8	2	80
2	P01	5'-GCGGCTGGAG-3'	158-2518	10	8	2	80
3	P02	5'GTGACGCCGC-3'	146-2147	12	5	7	41,67
4	OPG02	5'GGCACTGAGG-3'	215-1437	11	8	3	72,72
5	P06	5'-TTCCGCGGGC-3'	218-2068	13	11	2	84,61
6	OPAB18	5'CTGGCGTGTC-3	246-1568	12	9	3	75
7	P04	5'-CGTCTGCCCG-3'	120-1789	10	5	5	50
8	OPAA17	5'-GAGCCCGACT'3	246-1657	8	4	4	50
9	P17	5'-ATGACGACGG-3'	220-1552	9	8	1	88,88
Total				95	66	29	335
Rata-rata				10,56	7,33	3,22	67

Tabel 2. Matriks Koefisien Kemiripan Berdasarkan Karakter Morfologi

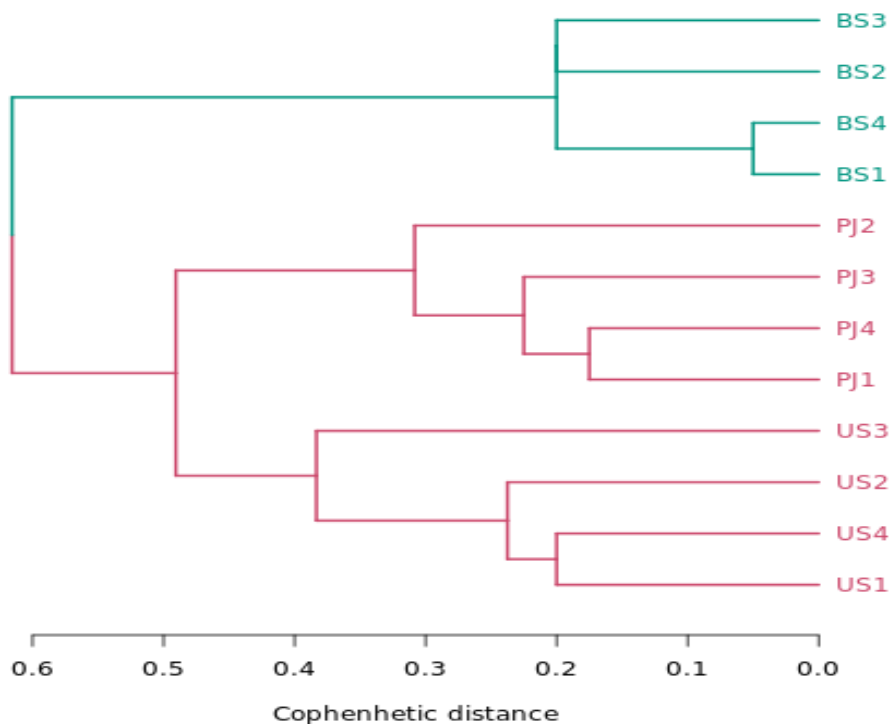
Akresi	US1	US2	US3	US4	PJ1	PJ2	PJ3	PJ4	BS1	BS2	BS3
US2	0,25										
US3	0,30	0,43									
US4	0,20	0,23	0,43								
PJ1	0,50	0,50	0,53	0,43							
PJ2	0,48	0,48	0,43	0,40	0,30						
PJ3	0,58	0,58	0,53	0,53	0,18	0,33					
PJ4	0,45	0,55	0,50	0,43	0,18	0,30	0,28				
BS1	0,58	0,55	0,60	0,60	0,70	0,58	0,68	0,70			
BS2	0,60	0,60	0,63	0,68	0,65	0,58	0,55	0,60	0,23		
BS3	0,58	0,63	0,60	0,70	0,68	0,58	0,65	0,58	0,23	0,20	
BS4	0,58	0,58	0,58	0,63	0,68	0,58	0,63	0,65	0,05	0,18	0,18

Hubungan kekerabatan berdasarkan 16 karakter morfologi menunjukkan koefisien yang beragam. Dendrogram jarak kopenetik dapat dianalisis untuk menentukan koefisien jarak ketidakmiripan ataupun kemiripannya. Hasil analisa pada matriks pengelompokan sebanyak 3 aksesori yang diamati terdapat hubungan koefisien ketidakmiripan 18 % - 70 %. Aksesori terbagi dalam tiga kelompok utama, kelompok I yaitu Buntu Sarek (BS), kelompok II yaitu Pajang (PJ) dan Kelompok III Ulu Salu (US). Terdapat aksesori yang memiliki koefisien ketidakkemiripan tertinggi yaitu aksesori BS1 dengan PJ1, BS1 dengan PJ4 dan BS3 dengan US4 memiliki nilai 70%, sedangkan nilai koefisien kemiripan terendah ditemukan antara aksesori PJ3 dengan PJ1 dan P4 dengan PJ1 serta BS4 dengan BS2 dan BS3 sebesar 18 % (Tabel 2, gambar 1 dan 2).

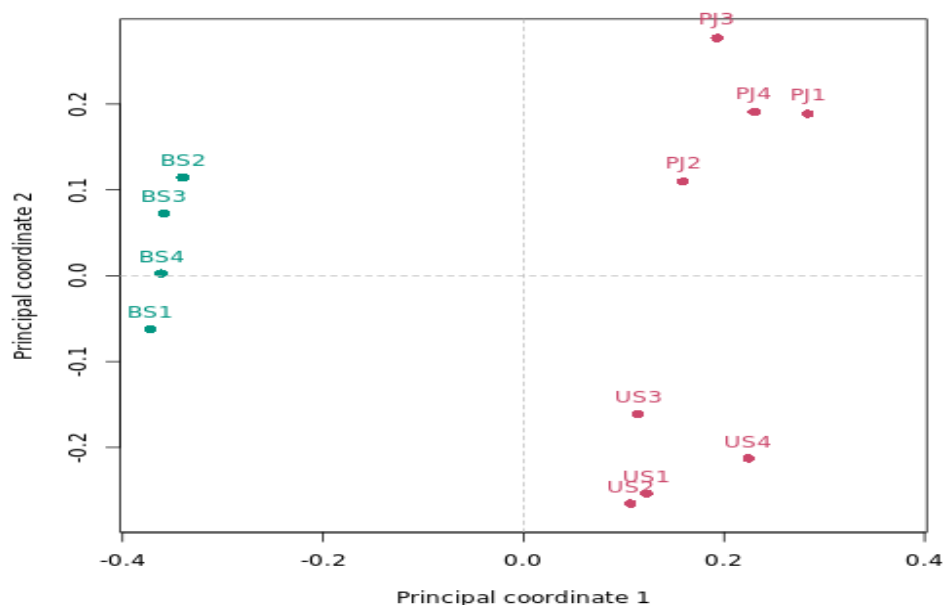
Hasil PcoA pada kuadran I terdiri dari aksesori yang sama yaitu US1, US2, US3 dan US4 memiliki jarak morfologi dengan aksesori lainnya tinggi, Pada kuadran II terdapat aksesori PJ1, PJ2, PJ3 dan PJ4 yang memiliki jarak keragaman yang saling berdekatan. Pada Kuadran III terdapat aksesori BS2, BS3, dan BS4.

Pada kuadran IV hanya terdapat 1 jenis aksesori yaitu BS1. Terdapat hubungan kekerabatan antara aksesori yang sama pada lokasi sampel di desa tersebut. Berdasarkan informasi dari responden kunci bahwa anakan sagu menyebar ditanam dari indukan yang berada dalam desa tersebut sehingga Principal Coordinate Analisis (PCoA) terbagi dalam 4 plot. Berdasarkan grafik biplot antara kuadran I, II, III dan IV menunjukkan adanya letak kemiripan diantara aksesori pada lokasi desa yang sama (Gambar 2).

Pada umumnya aksesori sagu di dataran tinggi Latimojong memiliki produksi yang rendah dengan nilai rata-rata 118,24 kg pohon⁻¹. Tingginya rendahnya produksi dipengaruhi oleh jenis aksesori dan lingkungan tumbuhnya. Aksesori US01 memiliki produksi tertinggi dengan rata-rata 141,90 kg pati kering pohon⁻¹. Sedangkan produksi terendah terdapat pada aksesori US03 dengan sebesar 83,17 kg pohon⁻¹ (Tabel 3). Adanya variasi produksi sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air dan tingkat naungannya. Jenis aksesori yang diteliti menyebar pada aliran Sungai maupun lokasi lereng yang dekat dari mata air pegunungan.



Gambar 1. Dendrogram Ketidakmiripan antar aksesori berdasarkan karakter morfologi



Gambar 2. Skor Plot berdasarkan Kuadran Principal Coordinate Analisis (PCoA)

Tabel 3. Karakteristik Produksi Sagu pada Dataran Tinggi Latimojong

Aksesi	Produksi pati (kg ⁻¹ pohon ⁻¹)	Jumlah masak tebang (pohon ⁻¹ ha ⁻¹)	Potensi produksi (ton ha ⁻¹ tahun ⁻¹)	Panjang Batang (m)	Diameter Batang (cm)	Rendemen (%)
BS01	115,08	8,00	920,64	6,15	52,25	24,22
BS02	98,70	6,00	592,20	4,78	51,00	18,45
BS03	125,90	12,00	1510,80	5,67	40,23	17,46
BS04	137,84	7,00	964,88	8,18	50,55	16,30
PJ01	147,07	14,00	2058,98	9,61	46,85	21,02
PJ02	121,60	9,00	1094,40	8,20	46,83	18,40
PJ03	115,30	13,00	1498,90	6,13	42,46	17,05
PJ04	126,80	5,00	634,00	8,20	47,60	16,41
US01	141,90	17,00	2412,30	5,17	39,67	15,77
US02	93,12	8,00	744,96	7,51	41,18	15,12
US03	83,17	12,00	998,04	6,83	52,89	14,48
US04	112,38	10,00	1123,80	8,20	46,83	13,84
Rataan	118,24	10,08	1212,83	7,05	46,53	17,38
STDV	19,57	3,58	562,41	1,49	4,70	2,91
KK	16,55	35,50	46,37	21,07	10,10	16,74

Keterangan : BS = Buntu Sarek, PJ = Pajang, US = Ulu Salu, STDV = Standar Deviasi, KK = Koefisien keragaman

4. Pembahasan

Keragaman Genetik Sagu Dataran Tinggi

Polimorfisme pada primer P17 menunjukkan tingginya keragaman kegenetik yang terdeteksi sebesar 88,88 % (Tabel 1). Keragaman genetik yang luas dapat digunakan dalam program pemuliaan tanaman karena persilangan interspesifik bertujuan untuk mentransfer alel yang menguntungkan dari berbagai aksesi (Paiva *et al.*

2014). Karakterisasi genetik merupakan kunci untuk pengembangan program pemuliaan tanaman (Kumari *et al.* 2017). Koleksi sumber daya genetik sagu perlu dilakukan sebelum mengalami degradasi (Abbas *et al.* 2014). Perbanyak anakan sagu dapat dilakukan melalui aplikasi teknik *ex vitro* dengan menggunakan eksplan anakan sagu (Karyanti 2016). Penanda molekuler didasarkan pada variasi situs primer annealing pada *polymerase chain reaction* (PCR) untuk mendeteksi polimorfisme genetik berbasis RAPD. Polimerisme

terendah yang terdapat pada primer P02 sebesar 41,67 % menggambarkan rendahnya tingkat keragaman genetik. Ada tidaknya urutan nukleotida primer homolog dengan urutan nukleotida templat DNA menentukan keberhasilan primer dalam mengamplifikasi cetakan DNA. Selain itu, dipengaruhi oleh kuantitas dan kualitas DNA, konsentrasi $MgCl_2$, enzim Taq polimerase DNA, dan suhu lintasan primer (Mubarak, 2020). Diperlukan suhu optimal dalam proses penempelan primer ke DNA yang terpapar pada lintasannya karena suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan amplifikasi tidak terjadi, suhu yang terlalu rendah menyebabkan primer untuk menempel pada sisi lain genom yaitu bukan sisi homolog, akibatnya, banyak daerah nonspesifik genom dapat teramplifikasi (Hasanah, 2022).

Rata-rata polimorfisme dari sembilan primer yaitu 67% memberikan informasi keragaman genetik yang penting dalam program pemuliaan tanaman. Koleksi sumber daya genetik sagu perlu dilakukan sebelum mengalami degradasi (Abbas *et al.* 2014). Perbanyakkan anakan sagu dapat dilakukan melalui aplikasi teknik *ex vitro* dengan menggunakan eksplan anakan sagu (Karyanti 2016). Jarak genetik sagu dari analisis dengan penanda RAPD di bagian timur Kepulauan Melayu terbagi menjadi empat kelompok utama (Ehara 2018). Konstruksi filogenetik 15 aksesori sagu terbagi menjadi dua kelompok dengan kekerabatan yang paling dekat yaitu *Metroxylon sagu* dengan *Metroxylon warburgii* (Wulandari 2021).

Karakteristik Morfologi dan Produksi Sagu Dataran Tinggi

Matriks kemiripan menunjukkan adanya variasi morfologi dan produksi antara aksesori berdasarkan karakter morfologi dan produksi tergolong tinggi yaitu 18% - 70% (Tabel 2). Hubungan kekerabatan yang dekat menandakan rendahnya keragaman karakter yang dihasilkan, pengelompokan dengan jarak 55% memiliki hubungan kekerabatan terluas (Ardani *et al.*, 2024). Adanya keragaman morfologi dan produksi antara aksesori pada suatu kawasan menunjukkan tingginya tingkat keragaman. Aksesori pada lokasi desa yang sama terdapat hubungan kemiripan yang beragam. Menurut Ahmad (2016) dari tujuh aksesori sagu di Kampung Naena Muktipura Distrik Iwaka memiliki karakter morfologi dan produksi yang berbeda-beda. Aksesori unggul tersebut adalah Fanomik, Fafion, Fakreit, Fasongka, Fasinan, Falia, dan Fasampe. Fanomik merupakan aksesori sagu yang memiliki potensi hasil tertinggi (Dewi 2016). Hasil Analisa dendrogram ketidakmiripan antara aksesori menunjukkan adanya 3 kelompok yang masing-masing aksesori terbagi dalam kelompok yang berasal dari desa lokasi

pengamatan sampel (Gambar 2). Skor Plot berdasarkan Kuadran Principal Coordinate Analisis (PCoA) menunjukkan adanya 4 kuadran yaitu kuadran I terdiri dari aksesori yang berasal dari desa Ulu Salu (US), kuadran II berasal dari aksesori desa Pajang dan kuadran III aksesori dari desa Buntu Sarek (BS) sedangkan pada kuadran IV hanya terdapat aksesori BS1 (Gambar 2). Karakterisasi morfologi pada berbagai wilayah menggunakan metode yang berbeda sehingga pengelompokan sagu berdasarkan karakter morfologi cenderung beragam. Terdapat variasi karakter morfologi pada kelima varietas sagu di Pulau Saparua dalam bentuk, ukuran, dan warna, penampakan masing-masing organ baik pada batang, daun, bunga, buah maupun biji (Sahetapy 2015).

Produksi sagu pada dataran tinggi Latimojong tergolong rendah dengan rata-rata 118,24 kg pohon⁻¹ (Tabel 3), jika dibandingkan dengan dataran rendah daerah aliran sungai (DAS) Makawa dengan rata-rata produksi tertinggi mencaapai 369,99 kg pati kering pohon⁻¹ (Masluki *et al.* 2023). Tingginya rendahnya produksi dipengaruhi oleh jenis aksesori dan lingkungan tumbuhnya. Aksesori US01 yang memiliki produksi tertinggi 141,90 kg pati kering pohon⁻¹ merupakan jenis aksesori yang unggul. Produksi terendah pada aksesori US03 yaitu 83,17 kg pohon⁻¹ memiliki tingkat kerapatan populasi dalam rumpun yang tinggi sehingga terjadi kompetisi intraspesifik. Kerapatan populasi menyebabkan tingginya kompetisi dalam memperebutkan unsur hara, cahaya matahari dan air. Volume batang memiliki peranan yang besar terhadap tingginya produksi sebagai tempat menimbun pati yang disebut sebagai *sink*. Pertambahan volume batang tahun⁻¹ dipengaruhi oleh faktor lingkungan berupa ketersediaan hara, air dan cahaya matahari. Pada kondisi lingkungan yang tidak terdampak cekaman lingkungan, asimilasi hasil fotosintesis akan ditimbun dalam batang. Aktivitas fotosintesis lebih rendah pada suhu udara mulai dari 25-29 °C dibandingkan dengan pada 29-33 °C (Azhar 2018). Lokasi pengamatan sampel pada daerah dataran tinggi memiliki faktor pembatas lingkungan yang berbeda dengan lokasi pengembangan sagu pada dataran rendah. Ketinggian tempat di Desa Ulu Salu mencapai 1300 mdpl dengan suhu rata-rata harian hanya 24-28°C. Fotosintesis rendah disebabkan menurunnya konduktansi stomata, laju transpirasi daun, laju rubisco maksimum dalam penyerapan CO₂, dan penyinaran optimal. Tingkat pembentukan pigmen fotosintesis yang rendah juga menjadi faktor pembatas laju fotosintesis pada suhu yang lebih rendah akibatnya, pemanenan dan pemanfaatannya energi cahaya untuk aktivitas fotosintesis terpengaruh. Semakin optimal suhu udara maka

produksi sagu semakin tinggi. Kondisi iklim sampai batas tertentu, berbanding lurus dengan potensi produksi pertanaman sagu (Muhidin, 2012).

5. Kesimpulan

Keragaman genetik yang tinggi diperoleh pada berbagai aksesori sagu dataran tinggi mencapai 88,88% yang terdeteksi oleh primer P17 sehingga potensi eksplorasi genetik sagu pada dataran tinggi dapat menunjang pemuliaan tanaman sagu pada tingkat varietas. Karakter morfologi sagu dataran tinggi memiliki tingkat kemiripan yang tinggi hingga rendah dengan jarak keragaman 18-70%. Pada Lokasi pengambilan sampel yang dengan jarak yang lebih dekat memiliki tingkat kemiripan yang tinggi. Aksesori sagu di wilayah dataran tinggi Latimojong memiliki produksi yang rendah dengan nilai rata-rata 118,24 kg pohon⁻¹.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Cokroaminoto Palopo dan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah berperan dalam dukungan administrasi dan pendanaan.

7. Pernyataan Konflik Kepentingan (*Declaration of Conflicting Interests*)

Penulis menyatakan tidak ada potensi konflik kepentingan sehubungan dengan penelitian, kepengarangan, dan/atau publikasi dari artikel ini (*The authors have declared no potential conflicts of interest concerning the study, authorship, and/or publication of this article*).

8. Daftar Pustaka

Abbas B, Rauf AW, Listyorini FH, Munarti 2014. Brief Description of Aspects of Biology, Ecology, Agronomy, and Prospects for Development of Sago Palm. *European Journal of Science Research*. 120(2):221-229.

Abbas B. 2017. *Teknik Perbanyakkan Tanaman Sagu*. Edisi I. Manokwari. Universitas Papua.

Abbas B. 2018. Sago Palm Genetic Resource Diversity in Indonesia. *Sago Palm*, 9(5):61-71 doi.org/10.1007/978-981-10-5269-9_5.

Ahmad F, Bintoro MH, Supijatno. 2016. Morfologi dan Produksi Beberapa Aksesori Sagu (*Metroxylon* spp.) di Distrik Iwaka, Kabupaten Mimika, Papua. *Buletin Palma*. 17(2):115–125.

Ahmad M. 2014. Farmer Empowerment to Increase Productivity of Sago (*Metroxylon sago* spp.) Farming. *International Journal on Advanced Science, Engineering and*

Information Technology 4(3):1-9. doi:10.18517/ijaseit.4.3.384.

Aisak GP, Mary TF, Barry B, Andrew R, Hill G, Jeffery M, Warner, Atagazli, Jack MN. 2018. Addressing Food Insecurity in Papua New Guinea Through Food Safety and Sago Cropping. *Sago Palm*. (9):123-137.

Ardani HQ, Syafii M, Azizah E, Susanto U. 2024. Variabilitas Genetik pada Beberapa Varietas Unggul Baru Padi (*Oryza sativa* L.) Berdasarkan Penanda Morfologi Biji. *Jurnal Agroplasma*. 11(2), 297-305

Asthutiirundu, Bulkis S, Mujahidin I, Jamil MH. 2019. Study of Production and Productivity of Sago Plant in East Kolaka District, Southeast Sulawesi Province, Indonesia. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology* 6(5):259-265. doi.org/10.32628/IJSRST196531.

Azhar A, Makihara D, Naito H, Ehara H. 2018. Photosynthesis of Sago Palm (*Metroxylon sago* Rottb.) Seedling at Different Air Temperatures. *Agriculture*. 8 (1):1-10.

Christian S, Rony S. 2019. Appraisal Hereditary Variety and Relationship of Sago Palm (*Metroxylon sago* Rottb.) in Indonesia Dependent on Explicit Articulation Quality (Wx qualities) Markers. *Advances in Agronomy, Plant Breeding and Horticulture*. 7(2):28-34.

Dewi R.K., Bintoro M.H. dan Sudradjat 2016. Karakter Morfologi dan Potensi Produksi Beberapa Aksesori Sagu (*Metroxylon* spp.) di Kabupaten Sorong Selatan, Papua Barat. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 44 (1) : 91-97.

Ehara H. 2018. Genetic Variation and Agronomic Features of *Metroxylon* Palms in Asia and Pacific. *Sago Palm*. (4):45-59.

Ehara H, Kosaka S, Shimura N, Matoyama D, Morita O, Naito H, Misota C, Susanto S, Bintoro MH, Yamamoto Y. 2003. Reallionship Between Geographical Distribution and Genetic Distance of Sago Palm in the Malay Archipelago. *Sago Palm*. 11: 8-13.

Fathnoer V. 2018. Karakterisasi Berbagai Aksesori Sagu (*Metroxylon* spp.) di Distrik Aimas Kabupaten Sorong, Papua Barat. [tesis]. Bogor. Institut Pertanian Bogor.

Hasanah Y, Mawarni L, Hanum H, Lestami A. 2022. Genetic diversity of shallots (*Allium ascalonicum* L.) from several locations in North Sumatra, Indonesia based on RAPD markers. *Biodiversitas*. 23(5):2 405-2410. doi: 10.13057/biodiv/d230518.

Karim HA. 2021. Ecological study of Sago Palm (*Metroxylon sago* Rott molat (Becc.)) in the natural habitat at Malili District East Luwu South Sulawesi IOP Conf. Series: *Earth and*

- Environmental Science* 807. Makassar 01 Sept. 2021. doi:10.1088/1755-1315/807/2/022031.
- Karyanti, Sigit Y, Tajuddin T, Erwinda, Minaldi, Haska N. 2016. Penanganan Anakan Muda Pada Kultur *Ex Vitro* Untuk Menghasilkan Bibit Sagu (*Metroxylon Sagu* Rottb.) Siap Tanam. *Biotechnology & Bioscience Indonesia*. 3(1):13-19.
- Kumari A, Paul S, Sharma V. 2017. Genetic diversity analysis using RAPD and ISSR markers revealed discrete genetic makeup in relation to fibre and oil content in *Linum usitatissimum* L. genotypes. *Springer*. 61(1):45-53. doi: 10.1007/s13237-017-0206.
- Masluki, M., Bintoro, M. H., Sudarsono, S., & Agusta, H. (2023). Karakteristik Habitat dan Produksi Berbagai Aksesori Sagu di Tana Luwu Provinsi Sulawesi Selatan. *Perbal: Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 11(2), 184-197.
- Masluki, Bintoro MH, Agusta H, Sudarsono S. 2024. Morphological Diversity and Production of Six Sago (*Metroxylon* spp.) Accessions from Tana Luwu, South Sulawesi, Indonesia. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*. 46(1): 156-171
- Metaragakusuma AP, Osozawa K, Hu B. 2017. The Current Status of Sago Production in South Sulawesi: Its Market and Challenge as a New Food Industry Source. *International Journal Sustainable Future for Human Security*. 5(1):32-46.
- Mubarak SMH, Al-Koofee DAF, Radhi OA, Ismael JM, Al-Zubaidi JF. 2020. An optimization and common troubleshooting solving in polymerase chain reaction technique. *Syst Rev Pharm* 11 (2): 427- 436. doi: 10.5530/srp.2020.2.63.
- Muhidin, Leomo S, Alam S, Wijayanto T. 2016. Comparative Studies on Different Agroecosystem Base on Soil Physicochemical Properties to Development of Sago Palm on Dryland. *International Journal of ChemTech Research* 9(8):511-518.
- Murod M, Kusmana C, Bintoro MH, Widiatmaka, Hilmi E. 2019. Strategy of sago management sustainability to support food security in Regency of Meranti Islands, Riau Province, Indonesia. *AAB Bioflux*. 11(1):1-20.
- Nakamura S, Nitta Y, Watanabe M, Goto Y. 2005. Analysis of Leaflet Shape and Area for Improvement of Leaf Area Estimation Method for Sago Palm (*Metroxylon sagu* Rottb.). *Plant Production Science*. 8(1):27-31.
- Nakamura S, Nitta Y, Watanabe M, Goto Y. 2009. A Method for Estimating Sago Palm (*Metroxylon sagu* Rottb.) Leaf Area After Trunk Formation. *Plant Production Science*. 12(1): 58-62.
- Novariantio H, Maskromo I, Tulalo MA, Tenda ET, Kumaunang J, Pandin DS, Sukmawati Mawardi. 2020. Karakteristik dan Potensi Produksi Pati Varietas Sagu Bestari. *Buletin Palma*. 21(1): 29-37. doi:org/10.21082/bp.v21n1.2020.29-37.
- Nurulhaq MI, Bintoro MH, Supijatno. 2022. Morphology and Starch Production Potential of Sago Palm Found in Village Haripau, East Mimika Subdistrict, Mimika, Papua Province, Indonesia. *Journal Tropical Crop Science*. 9(1):31-38 doi:10.29244/jtcs.9.01.31-38.
- Paiva CL, Viana AP, Santos EZ, Freitas JCO, Silva RNO, Oliveira E.J. 2014. Genetic variability assessment in the genus *Passiflora* by SSR markers. *Chilean Journal of Agriculture Research*. 74(3): 335-360. doi.org/10.4067/S0718-58392014000300015.
- Pasolon YB. 2015. Environment, Growth and Biomass Production of Sago Palm (*Metroxylon sagu* Rottb.): A Case Study From Halmahera, Papua and Kendari. *IJSTAS*. 2(1): 97-104.
- Pratama AJ, Bintoro MH, Trikoesoemaningtyas. 2018. Variability and Relationship Analysis Of Sago Accessions From Natural Population Of Papua Based on Morphological Characters. *Sabrao Journal of Breeding and Genetic*. 50(4):461-474.
- Rahman HBA, Bintoro MH, Supijatno. 2021. Variation in Leaf Morphology of Sago Trees (*Metroxylon sagu*) in South Borneo Province, Indonesia. *Journal Tropical Crop Science*. 8(2):51-59.
- Sahetapy L, Karuwal RL. 2015. Variasi Karakter Morfologis Lima Jenis Sagu (*Metroxylon* sp.) Di Pulau Saparua. *Biopendix*. 1(2):105-111 doi:org/10.30598/biopendix.
- Sayekti TWDA, Syukur M, Hidayat SH, Maharijaya A. 2021. Diversity and genetic parameter of chili pepper (*Capsicum annuum*) based on yield component in three location. *Biodiversitas*. 22(2):823-829.
- Sitairesmi T, Suwarno WB, Gunarsih C, Nafisah, Nugraha Y, Sasmita P, Daradjat. AA. 2019. Comprehensive Stability Analysis Of Rice Genotypes Through Multi-Location Yield Trials Using PBSTAT-GE. *Sabrao Journal of Breeding and Genetic*. 51(4):355-372.
- Toyoda Y. 2018. Life and Livelihood in Sago-Growing Areas. *Sago Palm*. (3):31-42.
- Trisia MA, Metaragakusuma AP, Osozawa K, Bai H. 2016. Promoting Sago Palm in The Context of National Level: Challenges and Strategies to Adapt to Climate Change in Indonesia. *International Journal Sustainable Future for Human Security*. 4(2):54-63.

- Wasli ME, Ali NHC, Yong R, Peruma M, Husaini AASA, Kalu M, Fong SS, Jaffar A. 2021. Characterizing Soil Penetration Resistance of Plant Sago Palm (*Metroxylon* spp.) Under Mineral Soils Ecosystem. *Journal of Biological Sciences*. 21(4):338-345 doi: 10.3844/ojbssp.2021.338.345.
- Wulandari EF, Mawikere NL, Abbas B. 2021. Keragaman morfologi dan genetik beberapa aksesori tanaman Sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) berdasarkan penanda molekuler gen mat-K. *Cassowary*. 4(1):68-86.
- Yamamoto Y. 2018. Dry Matter Production as a Basis of Starch Production in Sago Palm. *Sago Palm*. (11):157-167.