

**OPTIMALISASI PRODUKSI BAHAN TANAMAN UNGGUL
KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) MELALUI KAJIAN
POLINASI BUATAN**

DISERTASI



Oleh :
YABANI
NPM. 211901007

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU PERTANIAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/2/25

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

**OPTIMALISASI PRODUKSI BAHAN TANAMAN UNGGUL
KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) MELALUI KAJIAN
POLINASI BUATAN**

Disertasi
Sebagai Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Doktor
Program Studi Ilmu Pertanian



Oleh :
Yabani
NPM. 211901007

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU PERTANIAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/2/25

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Disertasi : Optimalisasi Produksi Bahan Tanaman Unggul Kelapa Sawit
(*Elaeis guineensis* Jacq) Melalui Kajian Polinasi Buatan

Nama : Yabani

NPM : 211901007

Disetujui oleh

Promotor :
Prof. Dr. Ir. Retna Astuti Kuswardani, M.S



Co-Promotor :
Dr. Agus Susanto, S.P., M.P



Diketahui oleh

Ketua Program Studi :
Prof. Dr. Ir. Zulkarnain Lubis, MS, Ph.D



Direktur Pascasarjana :
Prof. Dr. Ir. Retna Astuti Kuswardani, M.S



Tanggal Ujian :

30 OCT 2024

Tanggal Lulus:

30 OCT 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi berjudul “Optimalisasi Produksi Bahan Tanaman Unggul Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) Melalui Kajian Polinasi Buatan” adalah benar karya saya dengan arahan dari promotor dan co-promotor serta belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Medan, November 2024
Yang menyatakan



Yabani
211901007

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR/SKRIPSI/TESIS/DISERTASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yabani
NPM : 211901007
Program Studi : Doktor Ilmu Pertanian
Fakultas : Pascasarjana
Jenis karya : Disertasi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**OPTIMALISASI PRODUKSI BAHAN TANAMAN UNGGUL KELAPA SAWIT
(*Elaeis guineensis* Jacq.) MELALUI KAJIAN POLINASI BUATAN**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

**Dibuat di Medan
Pada tanggal :
Yang menyatakan**



Yabani

RINGKASAN

YABANI. OPTIMALISASI PRODUKSI BAHAN TANAMAN UNGGUL KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) MELALUI KAJIAN POLINASI BUATAN. RETNA ASTUTI KUSWARDANI. AGUS SUSANTO

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) merupakan tanaman utama penghasil minyak nabati yang perbanyakannya dilakukan secara generatif melalui benih. Saat ini produksi benih kelapa sawit membutuhkan informasi dosis, waktu serbuk, lama simpan polen, viabilitas dan daya berkecambah benih antar varietas. Produksi benih merupakan aspek yang paling vital bagi kegiatan pertanaman. Pemilihan benih berkualitas baik menentukan hasil yang menghasilkan hubungan berbanding lurus dengan banyaknya hasil produksi dimasa depan.

Penelitian ini bertujuan meningkatkan hasil produksi benih kelapa sawit melalui teknik penyerbukan buatan dioptimalkan menggunakan metode *K-means clustering* dan formula optimasi baru. Analisis terhadap variabel kunci seperti viabilitas polen, bobot tandan, dan kualitas biji menunjukkan kondisi optimal untuk penyerbukan. Hasil menunjukkan penyerbukan di pagi hari (07.00-10.00 wib) dengan polen segar secara signifikan meningkatkan kualitas hasil produksi benih. Evaluasi model menggunakan cross-validation menunjukkan performa model baik dengan nilai MSE rendah antara 0.118 hingga 0.196 dan R-squared mendekati sempurna sebesar 0.998 hingga 0.999, mengindikasikan kemampuan model dalam menangkap variabilitas data dengan akurat. Optimasi ini meningkatkan konsistensi produksi, jumlah biji baik sebesar 13.6%, bobot tandan sebesar 13.0%, dan mengurangi benih afkir hingga 28.6%. Temuan ini menunjukkan bahwa penyerbukan buatan dapat meningkatkan produktivitas secara signifikan, memperkuat kualitas hasil, efisiensi penggunaan sumber daya, dan profitabilitas.

Penulis merekomendasikan penggunaan dosis 0,04 gram dalam setiap penyerbukan di PPKS demi efisiensi keberlanjutan penggunaan polen. Hal ini juga mempertimbangkan jumlah pohon bapak (pisifera) sebagai sumber polen yang semakin hari jumlah berkurang.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa varietas PPKS 540 memiliki daya berkecambah (DB) tertinggi (84,9%), diikuti oleh Simalungun (81,46%), PPKS 540 NG (75,46%), Langkat (75,43%), Dumpy (73,41%), PPKS 718 (72,29%), Yangambi (68,81%), PPKS 239 (65,74%), dan Avros (56,92%). Hal ini diduga karena pengaruh faktor internal, berhubungan dengan kondisi benih yang dikedambahkan baik genetik, maupun kondisi eksternal yang meliputi air, suhu, dan perlakuan oksigen yang optimal selama pengecambahan.

Hasil memperlihatkan kadar air (KA) benih pada periode perendaman (I) 16-20%, dan perendaman (II) 19-22% seluruh benih yang diproses masih berada pada taraf aman kadar air untuk proses pematangan dormansi benih kelapa sawit. Karakteristik pohon induk dari varietas benih menjadi penyebab terjadinya perbedaan daya berkecambah benih.

Kata kunci : Optimasi Hasil Benih, Strategi Penyerbukan, Model Optimasi, Teknik Berbasis Data, Pengelompokan K-means, Daya Berkecambah.

SUMMARY

YABANI. OPTIMISATION OF OIL PALM (*Elaeis guineensis* Jacq) SUPERIOR PLANT MATERIAL PRODUCTION THROUGH ARTIFICIAL POLLINATION STUDIES. RETNA ASTUTI KUSWARDANI. AGUS SUSANTO

Oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) is a major vegetable oil producing plant whose propagation is done generatively through seeds. Currently, oil palm seed production requires information on dosage, powder time, pollen storage time, viability and germination of seeds between varieties. Seed production is the most vital aspect of cropping activities. The selection of good quality seeds determines the yield that results in a directly proportional relationship with the amount of future production.

This study aims to increase oil palm yield through artificial pollination techniques optimised using the K-means clustering method and a new optimisation formula. Analysis of key variables such as pollen viability, bunch weight, and seed quality revealed optimal conditions for pollination. Results showed that pollination in the morning with fresh pollen significantly improved the quality of seed production. Model evaluation using cross-validation showed good model performance with low MSE values between 0.118 to 0.196 and near-perfect R-squared of 0.998 to 0.999, indicating the model's ability to accurately capture data variability. The optimisation improved production consistency, number of good seeds by 13.6%, bunch weight by 13.0%, and reduced discarded seeds by 28.6%. These findings suggest that artificial pollination can significantly increase productivity, strengthen yield quality, resource use efficiency, and profitability.

The author recommends the use of a dose of 0.04 grams in artificial pollination for the efficiency of sustainable pollen use. This also considers the number of father trees (pisifera) as a source of pollen which is decreasing day by day.

The results showed that the PPKS 540 variety had the highest germination rate (DB) (84.9%), followed by Simalungun (81.46%), PPKS 540 NG (75.46%), Langkat (75.43%), Dumpy (73.41%), PPKS 718 (72.29), Yangambi (68.81%), PPKS 239 (65.74%), and Avros (56.92%). This is thought to be due to the influence of internal factors, related to the genetic condition of the germinated seeds, as well as external conditions including water, temperature, and optimal oxygen treatment during germination.

The results showed that the moisture content (KA) of seeds in the soaking period (I) was 16-20%, and soaking (II) was 19-22%, all seeds processed were still at a safe level of moisture content for the process of breaking the dormancy of oil palm seeds. The characteristics of the parent tree of the seed variety cause differences in seed germination.

Keywords : Seed Yield Optimisation, Pollination Strategy, Optimisation Model, Data-driven Techniques, K-means Clustering, Germinability.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan karuniaNya, sehingga penulisan disertasi ini dapat diselesaikan. Disertasi penelitian ini, sebagai salah satu syarat akademik di Program Doktor Ilmu Pertanian Universitas Medan Area (UMA).

Disertasi ini berjudul : Optimalisasi Produksi Bahan Tanaman Unggul Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) Melalui Kajian Polinasi Buatan. Dalam hal ini penulis menyadari sepenuhnya bahwa meskipun penulis telah berupaya untuk dapat menyusun dan menyajikan yang terbaik, namun dengan segala keterbatasan akan kemampuan dan pengetahuan yang penulis miliki, maka ini masih jauh dari yang diharapkan, baik ditinjau dari aspek gaya bahasa maupun kedalaman materinya. Oleh karena itu sebagai salah satu upaya untuk lebih menyempurnakan disertasi ini, maka penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif dari semua pihak serta dari dosen pembimbing agar penulis tumbuh dan berkembang sebagai individu-individu baru yang membawa kebaikan untuk lingkungannya.

Selanjutnya penulis menghaturkan ribuan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Rektor Universitas Medan Area, Prof. Dr. Ir. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc.
2. Direktur Pascasarjana Universitas Medan Area, Prof. Dr. Ir. Hj. Retna Astuti Kuswardani, M.S sekaligus sebagai Promotor.
3. Ketua Program Doktor Ilmu Pertanian Universitas Medan Area, Prof. Dr. Ir. Zulkarnain Lubis, M.S, Ph.D.
4. Co-promotor, Dr. Agus Susanto, S.P., M.P. (Kepala Unit Bogor, PPKS).
5. Rekan-rekan mahasiswa Program Pascasarjana Doktor Ilmu Pertanian Universitas Medan Area angkatan 2020; 2021; 2022 dan 2023.
6. Direktur PT. Riset Perkebunan Nusantara, Dr. Iman Yani Harahap, MS dan *Senior Executive Vice President Riset Inovasi dan Sustainability* (SEVP RIS), Dr. Muhammad Edwin Syahputra Lubis, SH., MH., M.AgrSc atas dukungan dana, pemberian ijin belajar dan bimbingannya.
7. Kepala Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Dr. Winarna dan Karyawan Pimpinan (Cut Mardiana, Asbullah Hasibuan, Arsad Taher Harahap)/Peneliti (Nuzul Hijri Darlan, Eko N Ginting, Dhimas W, Taufiq C.H)/Pelaksana

lapangan (Tim Pohon Induk, Tim Produksi dan Tim QC/QA), yang telah memberi izin dan membantu penulis dalam penelitian di lapangan.

8. Bapak/Ibu Dosen yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis (Prof. Nurhayati, Prof. Siti Mardiana, Prof. Suswati, Dr. Zulheri Noer, Dr. Adelina Lubis, Dr. S. Hasibuan, Dr. Rahmad Syah) dan kepada seluruh rekan-rekan mahasiswa yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu.
9. Ayahanda Saimun (Alm) dan Ibunda Supiah, terima kasih atas semua doa yang dipanjatkan dengan tulus, pengorbanan, jerih payah dan usaha dalam membesarkan, mendidik dan mengizinkan penulis untuk berkarir jauh dari kampung halaman. Penulis berdoa semoga seluruh kegiatan dan usaha diberkahi Allah SWT dan diampuni segala salah dan khilaf.
10. Kepada Ibu "mamak mertua" dan Istriku tersayang Cicilia Rahmi Kesuma Hasibuan, SPd dan anakku tercinta Muhammad Fayyaz Algifari, Faiqah Humairah, Fakhira Shakila Nursyabani "Siapudan" yang telah membuat hari-hariku indah serta seluruh keluarga yang namanya tidak dapat penulis cantumkan satu persatu, terima kasih atas bantuan dan suportnya selama ini.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini bisa diselesaikan berkat izin Allah SWT serta dukungan banyak pihak. Akhir kata penulis menaruh harapan semoga karya ilmiah ini bermanfaat.

Medan, November 2024

Yabani

211901007

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Taratak Nagodang-Tinjowan, Kabupaten Simalungun pada tanggal 22 Maret 1981 dari pasangan Bapak Saimun (Alm) dan Ibu Supiah. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Pendidikan yang pernah ditempuh Tahun 1989-1994 SD Negeri 095224-Tinjowan, Tahun 1994-1997 SMP Negeri Ujung Padang, Tinjowan-Simalungun, Tahun 1997-2000 SMU Negeri 2 Kisaran-Asahan, Tahun 2000-2003 Institut Pertanian Bogor, Jurusan Budidaya Pertanian Program Studi Pengelola Perkebunan (D3), Tahun 2003-2004 Institut Pertanian Bogor, Jurusan Ilmu-Ilmu Sosial Ekonomi Pertanian Program Studi Manajemen Agribisnis Pertanian (S1, tt), dan Tahun 2005-2007 Universitas Simalungun, Jurusan Budidaya Pertanian Program Studi Agroteknologi (S1), tahun 2017-2019 Universitas Islam Sumatera Utara, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, dengan mengambil pendalaman minat Manajemen Sumber Daya Manusia di Program Magister Manajemen (S2). Pada tahun 2021-2024 penulis berkesempatan untuk melanjutkan pendidikan ke jenjang S3 pada Program Studi Doktor Ilmu Pertanian (DIP) Universitas Medan Area (UMA) atas biaya dari PT. Riset Perkebunan Nusantara Cabang Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan.

Penulis bersama pembimbing yaitu Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Retna Astuti Kuswardani, M.S, dan Bapak Dr. H. Agus Susanto, S.P., M.P melakukan penelitian yang berjudul “Optimalisasi Produksi Bahan Tanaman Unggul Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) Melalui Kajian Polinasi Buatan”. Saat ini penulis bekerja di Pusat Penelitian Kelapa Sawit sebagai Karyawan Pimpinan sejak Tahun 2004 sampai dengan sekarang. Penulis menikah dengan Cicilia Rahmi Kesuma Hasibuan, SPd tahun 2006 dan dikaruniai 3 (tiga) orang anak yaitu, Muhammad Fayyaz Algifari (17 tahun), Faiqah Humairah (14 Tahun), dan Fakhirah Shakila Nursyabani (9 tahun).

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN DISERTASI.....	i
PERNYATAAN	ii
RINGKASAN	iii
SUMMARY	iv
KATA PENGANTAR.....	v
RIWAYAT HIDUP	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	8
1.3. Tujuan Penelitian.....	9
1.4. Hipotesis dan Manfaat Penelitian.....	9
1.5. Keterbaruan Penelitian (Novelty).....	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1. Botani Tanaman Kelapa Sawit.....	11
2.1.1. Struktur Bunga Kelapa Sawit	14
2.1.1.1. Infloresens Kelapa Sawit	17
2.1.1.2. Absisi Pada Buah kelapa Sawit	19
2.1.2. Persilangan DxP Unggul	20
2.1.3. Mekanisme pelepasan Varietas Tanaman Perkebunan.....	22
2.1.3.1. Tata Cara Pengujian Keunggulan	23
2.1.4. Bahan Tanaman Unggul Kelapa Sawit	25
2.1.4.1. Pemahaman Dokumen Persilangan.....	38
2.1.4.2. Metode Penyimpanan Polen (tepung sari).....	40
2.1.4.3. Viabilitas Polen.....	40
2.1.4.4. Keberhasilan Penyerbukan.....	43
2.1.4.5. Kriteria Seleksi.....	43
2.1.5. Jenis Tanaman Kelapa Sawit.....	44
2.1.6. Pembungkusan Bunga	45
2.1.7. Penyerbukan	46
2.1.8. Penyerbukan Blanko	47
2.1.9. Perbanyakkan Tanaman Kelapa Sawit.....	48
2.1.10. Panen Tandan Benih.....	49
2.1.11. Dormansi dan Pengecambahan Benih Kelapa Sawit.....	51
2.1.12. Pengolahan Benih.....	53
2.1.13. Syarat Tumbuh Kelapa Sawit.....	54
2.1.14. Pengaruh Curah Hujan bagi pertumbuhan Kelapa sawit.....	57
2.1.15. Posisi PPKS pada Perdagangan Benih Kelapa Sawit Indonesia	58
2.2. Penelitian Terdahulu.....	61
2.3. Kerangka Konseptual	63

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	64
3.1. Lokasi Penelitian	64
3.2. Waktu Penelitian	64
3.3. Bahan dan Alat	64
3.4. Tahapan Penelitian	65
3.5. Pelaksanaan Penelitian dan Pengamatan Parameter	69
3.5.1. Pelaksanaan Penelitian	69
3.5.2. Pengamatan Parameter	70
3.6. Bagan Alur Penelitan.....	71
3.7. Penelitian I. Pengaruh Sumber Polen dan Dosis Terhadap Keberhasilan Pembentukan Buah Kelapa Sawit	72
3.7.1. Pendahuluan	73
3.7.2. Tinjauan Pustaka	76
3.7.2.1. Karakteristik Varietas Benih Unggul.....	76
3.7.2.2. Bunga Kelapa Sawit.....	78
3.7.2.3. Buah	83
3.7.2.4. Benih atau Biji	85
3.7.2.5. Viabilitas Polen.....	86
3.7.2.6. Pemilihan Pohon Induk dan Pohon Jantan.....	88
3.7.3. Bahan dan Metode.....	90
3.7.3.1. Waktu dan Tempat.....	90
3.7.3.2. Bahan dan Alat.....	90
3.7.3.3. Hasil dan Pembahasan	96
3.7.3.4. Kesimpulan	113
3.8. Penelitian II. Pengaruh Lama Simpan Polen dan Waktu Penyerbukan Terhadap Keberhasilan Pembentukan Buah Kelapa Sawit	114
3.8.1. Pendahuluan	115
3.8.2. Tinjauan Pustaka	117
3.8.2.1. Polinasi (Penyerbukan)	117
3.8.2.2. Viabilitas Serbuk Sari	118
3.8.2.3. Penyimpanan Serbuk Sari	119
3.8.3. Bahan dan Metode.....	120
3.8.3.1. Waktu dan Tempat.....	120
3.8.3.2. Bahan dan Alat.....	120
3.8.3.2.1. Pelaksanaan Penelitian.....	121
3.8.3.2.2. Pengamatan Parameter.....	123
3.8.3.3. Hasil dan Pembahasan	124
3.8.3.4. Kesimpulan	144
3.9. Penelitian III. Kajian Varietas Terhadap Daya Kecambah Benih Kelapa Sawit	145
3.9.1. Pendahuluan	146
3.9.2. Tinjauan Pustaka	151
3.9.2.1. Pengelolaan Tandan Benih	151
3.9.2.2. Fermentasi dan Pemipilan	151
3.9.2.3. Pengupasan	152
3.9.2.4. Seleksi Benih	152
3.9.2.5. Pematangan Dormansi Benih.....	153
3.9.2.6. Perkecambahan Benih Kelapa Sawit	159

3.9.3. Bahan Dan Metode.....	162
3.9.3.1. Waktu dan Tempat.....	162
3.9.3.2. Bahan dan Alat.....	162
3.9.3.3. Hasil dan Pembahasan.....	167
3.9.3.4. Kesimpulan.....	176
BAB IV PEMBAHASAN UMUM.....	177
4.1. K-Means Clustering.....	179
4.2. Model Optimasi.....	183
4.3. Pengoptimalan Berdasarkan Skenario Pembobotan.....	185
4.4. Pengoptimalan Berdasarkan Skenario Penyerbukan.....	187
4.5. Perbandingan Hasil Sebelum dan Sesudah Penerapan Rumus Optimasi.....	189
BAB V KESIMPULAN DAN REKOMENDASI.....	193
DAFTAR PUSTAKA.....	194



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Perkembangan Potensi Kelapa Sawit Indonesia.....	3
Tabel 2. Penyaluran Benih Kelapa Sawit Indonesia Periode 2009-2023	6
Tabel 3. Kriteria Pengujian Keunggulan Tanaman Perkebunan.....	24
Tabel 4. Standar Nasional Indonesia (SNI) Benih Kelapa Sawit Unggul	28
Tabel 5. Karakteristik Benih Kelapa sawit PPKS	35
Tabel 6. Karakter Vegetatif dan Cara Pengamatan.....	37
Tabel 7. Klasifikasi Laju Pertumbuhan Meninggi.....	38
Tabel 8. Identitas Tandan Benih.....	51
Tabel 9. Hasil Analisis Tekstur Tanah di Lokasi Penelitian.....	56
Tabel 10. Skenario Berdasarkan Bobot	68
Tabel 11. Skenario Berdasarkan Penyerbukan	69
Tabel 12. Unsur Hara Makro dan Mikro yang Terkandung dalam Polen	75
Tabel 13. Nilai Rerata dan Standar Deviasi Setiap Variabel Pengamatan untuk masing-masing Interaksi Perlakuan.....	99
Tabel 14a. Hasil Uji Beda Rata-rata Jumlah Biji Baik.....	102
Tabel 14b. Uji Beda Rata-rata Jumlah Biji Baik	102
Tabel 15. Hasil Uji Beda Rata-rata Jumlah Biji Afkir	104
Tabel 16. Hasil Uji Beda Rata-rata Jumlah Bobot Tandan	105
Tabel 17a. Hasil Uji Beda Rata-rata Viabilitas	105
Tabel 17b. Uji Beda Rata-rata Viabilitas.....	106
Tabel 18. Hasil Uji Perlakuan, Viabilitas dan Interaksinya.....	107
Tabel 19. Hasil Rerata Jumlah Benih Periode Tahun 2022	125
Tabel 20. Curah Hujan, Hari Hujan, Defisit Air dan Bulan Kering di Kebun Marihat, 2018-2022	127
Tabel 21. Kriteria Defisit Air dan Dampaknya pada Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kelapa Sawit.....	129
Tabel 22. Realisasi Pemupukan Pohon Induk Marihat Periode 2018-2022	129
Tabel 23. Perkembangan Jumlah Tandan Benih, Jumlah Benih dan Rerata Jumlah Benih Periode 2018-2022	130
Tabel 24. Rerata dan Standar Deviasi Masing-Masing Perlakuan	133
Tabel 25a. Hasil Uji Beda Rata-rata Jumlah Biji Baik.....	137
Tabel 25b. Uji Beda Rata-rata Jumlah Biji Baik.....	137

Tabel 26a. Hasil Uji Beda Rata-rata Jumlah Biji Afkir.....	138
Tabel 26b. Uji Beda Rata-rata Jumlah Biji Afkir	139
Tabel 27a. Hasil Uji Beda Rata-rata Bobot Tandan	139
Tabel 27b. Uji Beda Rata-rata Bobot Tandan	140
Tabel 28. Uji interaksi perlakuan dengan bobot tandan	141
Tabel 29a. Hasil uji beda rata-rata viabilitas polen	142
Tabel 29b. Uji Beda Rata-rata Viabilitas Polen	143
Tabel 30. Kriteria Kelas Fruit Set Tandan Benih	151
Tabel 31. Lama Pemanasan Terhadap Kadar Air Benih Kelapa Sawit.....	172
Tabel 32. Cluster Centers	180
Tabel 33. Performa Klaster menggunakan WCSS	181
Tabel 34. Cluster Optimized Means	184
Tabel 35. Hasil Optimasi Berdasarkan Pembobotan Skenario	185
Tabel 36. Pengaruh Hasil Utama dan Pengaruh Pengoptimalan Pembobotan	186
Tabel 37. Skenario Hasil Analisis	187
Tabel 38. Hasil Evaluasi Model	188
Tabel 39. Perbandingan Hasil Sebelum dan Sesudah Optimasi	189
Tabel 40. Jadwal Tentatif Penelitian	216
Tabel 41. Uji Statistika Deskriptif Viabilitas, Bobot Tandan, Jumlah Biji Baik, dan Jumlah Biji Afkir	217
Tabel 42. Hasil Uji Statistik Terhadap Viabilitas, Bobot Tandan, Jumlah Biji Baik, dan Jumlah Biji Afkir.....	217
Tabel 43. Data Pembungkusan Bunga.....	218
Tabel 44. Data Penyerbukan dan Bobot Tepung Sari.....	219
Tabel 45. Data Penyerbukan Talkum Tanpa Serbuk Sari (blanko)	220
Tabel 46. Data Pemanenan Tandan Benih.....	221
Tabel 47. Data Curah Hujan dan Keseimbangan Air 2018-2023	222

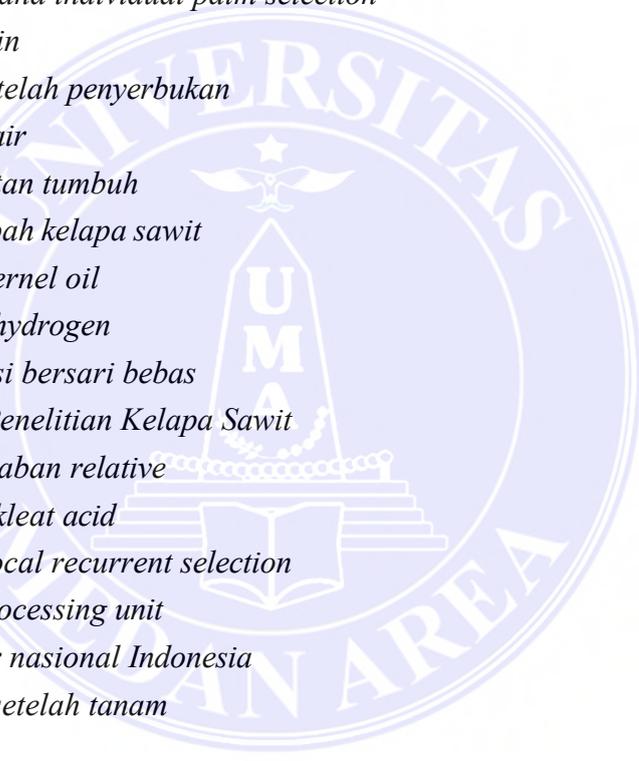
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Luas Areal Kelapa Sawit Indonesia.....	4
Gambar 2. Penyaluran benih Kelapa Sawit dari PPKS Periode 2009-2023.....	6
Gambar 3. Komposisi Infloresens Betina, Menunjukkan Brakteol dan Spina Secara Tampak Dekat.....	18
Gambar 4. Komposisi Infloresen Jantan, menunjukkan Spikelet, Bunga dan Anter dan Duri Secara Tampak Dekat	18
Gambar 5. Ilustrasi Persilangan Komersil pada Kelapa Sawit.....	21
Gambar 6. Alur Pengadaan Bahan Tanaman Unggul PPKS	27
Gambar 7. Skema Umum Tahap Kegiatan Pemuliaan Sawit dengan Metode RSS	29
Gambar 8. Uji Viabilitas Tepung Sari.....	42
Gambar 9. Tipe Kelapa Sawit Berdasarkan Ketebalan Cangkang	45
Gambar 10. Hasil Penyerbukan Blanko (Kontrol) 50	48
Gambar 11. Proses Penyiapan Tandan Benih Menjadi Benih.....	54
Gambar 12. Market Share Penyaluran Benih Unggul Indonesia.....	59
Gambar 13. Grafik Penyaluran Benih Unggul PPKS Berdasarkan Konsumen Periode 2020-2023	60
Gambar 14. Grafik rencana Penyaluran Benih Unggul PPKS Periode 2024	61
Gambar 15. Kerangka Konseptual Penelitian.....	63
Gambar 16. Bagan Alur Penelitian.....	71
Gambar 17. Bunga <i>Anthesis</i> (A) dan Bunga Lewat <i>Anthesis</i> (B).....	79
Gambar 18. Jajaran Tahap Perkembangan Bunga.....	80
Gambar 19. Hasil Pindai Mikroskop Elektron Perkembangan Bunga Kelapa Sawit	81
Gambar 20. Fase Perkembangan Buah Kelapa Sawit pada Berbagai Umur	84
Gambar 21. Perkembangan Komposisi Buah Kelapa Sawit Setelah Masa Reseptif.....	85
Gambar 22. Bunga Betina, Bunga Jantan.....	92
Gambar 23. Pembungkusan Tandan Benih	93
Gambar 24. Penyerbukan Polen pada Tandan Benih	93
Gambar 25a. Tandan Benih Siap Panen umur >4,5 BSP	94
Gambar 25b. <i>Spikelet</i> Bunga Jantan dan Betina.....	97

Gambar 25c. Tandah Buah Matang Jenis <i>Nigrescens</i> dengan Ujung <i>Spikelet</i> yang Memanjang	98
Gambar 26. Boxplot Jumlah Biji Baik Berdasarkan Interaksi Sumber Polen dan Dosis	99
Gambar 27. Boxplot Jumlah Biji Afkir Berdasarkan Interaksi Sumber Polen dan Dosis	100
Gambar 28. Boxplot Jumlah Bobot Tandan Berdasarkan Interaksi Sumber Polen dan Dosis	101
Gambar 29. Boxplot Viabilitas Berdasarkan Interaksi Sumber Polen dan Dosis	101
Gambar 30. Letak Posisi Spikelet Buah dalam Tandan	103
Gambar 31. Grafik Uji Perlakuan Dosis dan Interaksinya	106
Gambar 32. Perkembangan Bunga Kelapa Sawit Betina	109
Gambar 33. Pengamatan Viabilitas Serbuksari (a) Serbuksari viabel (V) dan tidak Viable.....	110
Gambar 34. Tampak Samping Mikroskopis Bunga Jantan Tanpa Bunga Serbuksari	111
Gambar 35. Kegiatan Proses Tandan Benih Kelapa Sawit	118
Gambar 36. Tahap-tahap Perkembangan Bunga dan Buah Kelapa Sawit dan Bagaimana Cekaman Lingkungan	126
Gambar 37. Penyebaran Rerata Curah Hujan Bulanan di Kebun Benih PPKS, Periode Tahun 2018 -2022	128
Gambar 38. Curah Hujan Bulanan di Kebun Benih PPKS, Periode Tahun 2023	128
Gambar 39. Perkembangan Jumlah Tandan Benih, Jumlah Benih dan Rerata Jumlah Benih Periode 2018-2022	131
Gambar 40. Bunga Betina Kelapa Sawit Anthesis dengan Tiga Permukaan Stigma Membuka yang Lembab Tempat Mendaratnya Serbuk Sari.....	132
Gambar 41. Diagram dengan Tiga Lobus Stigmatik	132
Gambar 42. Boxplot Jumlah Biji Baik Berdasarkan Interaksi Lama Simpan Polen dan Waktu Penyerbukan.....	134
Gambar 43. Boxplot Jumlah Biji Afkir Berdasarkan Interaksi Lama Simpan Polen dan Waktu Penyerbukan.....	135
Gambar 44. Boxplot Bobot Tandan Berdasarkan Interaksi Lama Simpan Polen dan Waktu Penyerbukan	136
Gambar 45. Boxplot Jumlah Viabilitas Berdasarkan Interaksi Lama Simpan Polen dan Waktu Penyerbukan.....	136

Gambar 46. Grafik Uji Beda Rata-rata Bobot Tandan dan Interaksinya.....	140
Gambar 47. Penyerapan Air oleh Benih yang Sedang Berkecambah	156
Gambar 48. Alur Pelaksanaan Penelitian Kajian Varietas Daya Berkecambah	166
Gambar 49. Persentase Daya Kecambah Benih Berdasarkan Varietas pada Proses Perkecambahan	170
Gambar 50. Rata-Rata Persentase Daya Kecambah Benih Berdasarkan Varietas pada Proses Perkecambahan	171
Gambar 51. Pengaruh Interaksi Perlakuan Sumber Polen dan Dosis Terhadap Pembentukan Biji Baik.....	178
Gambar 52. Model Pendugaan Linier Terhadap Jumlah Biji Baik Berdasarkan Dosis Polen.....	179
Gambar 53. Visualisasi Cluster Center.....	180
Gambar 54. Grafik Elbow Method.....	182
Gambar 55. K-Means Clustering Result.....	183
Gambar 56. Pengoptimalan Berdasarkan Kluster.....	184
Gambar 57. Optimasi Berdasarkan Pembobotan.....	185
Gambar 58. Hasil Evaluasi Model.....	189
Gambar 59. Visualisasi Hasil Pengoptimalan.....	190
Gambar 60. Grafik Penyaluran Kecambah Unggul PPKS Periode 1971-2023	224
Gambar 61. Diagram Partisi Asimilat Bersih (kg CH ₂ O/pohon/tahun).....	224
Gambar 62. Pengaruh Interaksi Perlakuan Lama Simpan Polen dan Waktu Penyerbukan Terhadap Pembentukan Biji Baik.....	225
Gambar 63. Model Pendugaan Linier Terhadap Jumlah Biji Baik Berdasarkan Lama Penyimpanan Polen	225

DAFTAR SINGKATAN



ABA	: <i>Asam absisat</i>
BSP	: <i>Bulan setelah penyerbukan</i>
CPO	: <i>Crude palm oil</i>
DB	: <i>Daya berkecambah</i>
DxP	: <i>Dura x Pisifera</i>
DyxP	: <i>Dura dumpy x Pisifera</i>
DHM	: <i>Dry heat method</i>
DMRT	: <i>Duncan's multiple range test</i>
FIPS	: <i>Family and individual palm selection</i>
GA	: <i>Giberelin</i>
HSP	: <i>Hari setelah penyerbukan</i>
KA	: <i>Kadar air</i>
K _{CT}	: <i>Kecepatan tumbuh</i>
KKS	: <i>Kecambah kelapa sawit</i>
PKO	: <i>Palm kernel oil</i>
pH	: <i>Power hydrogen</i>
PBB	: <i>Populasi bersari bebas</i>
PPKS	: <i>Pusat Penelitian Kelapa Sawit</i>
RH	: <i>Kelembaban relative</i>
RNA	: <i>Ribonukleat acid</i>
RRS	: <i>Resiprocal recurrent selection</i>
SPU	: <i>Seed processing unit</i>
SNI	: <i>Standar nasional Indonesia</i>
TST	: <i>Tahun setelah tanam</i>

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu sumber minyak nabati dalam bentuk minyak kelapa sawit (CPO – *crude palm oil*) dan inti kelapa sawit (PKO – *palm kernel oil*). CPO dan PKO merupakan bahan baku yang digunakan untuk kelompok industri antara dan kelompok industri hilir. Kelompok industri antara adalah industri yang mengolah minyak sawit menjadi bahan setengah jadi untuk industri hilir kelapa sawit seperti olein, stearin, oleokimia dasar seperti *fatty acid*, *fatty amines*, *fatty alcohol*, *methyl ester*, *glycerol* (Ugroseno dan Wachjar, 2017). Bahan baku setengah jadi dari industri antara digunakan industri hilir untuk dibuat produk pangan dan non pangan seperti mentega, sabun, lilin, dan kosmetik. Direktorat Sumber Daya Energi, Mineral dan Pertambangan (2015) menyatakan minyak sawit juga berpotensi digunakan sebagai biodiesel, hal ini juga didukung pemerintah dengan kebijakan Mandatori Biodiesel.

Kelapa sawit termasuk di dalam genus *Elaeis* yang terdiri atas dua spesies, yaitu *Elaeis guineensis* Jacq yang biasa disebut sebagai kelapa sawit Afrika dan *Elaeis oleifera* yang dikenal juga sebagai kelapa sawit Amerika. *Elaeis guineensis* memiliki batang tegak dan kokoh sedangkan batang pohon *E. oleifera* cenderung rebah setelah mencapai tinggi tertentu, sehingga terlihat merayap (Corley dan Tinker, 2016) dan masuk ke Indonesia pada tahun 1848 yang ditanam di Kebun Raya Bogor (Robins, 2021). Benih sebagai bahan tanaman memegang peranan penting dalam pembangunan pertanian, khususnya komoditas kelapa sawit di Indonesia (Kelanaputra *et al.*, 2018). Ketika kebun kelapa sawit pertama dibangun di Indonesia pada tahun 1911, pengadaan benih sudah mulai diupayakan. Upaya tersebut dilakukan dengan memilih pohon Induk secara massal kemudian melakukan penyerbukan di antara sesama pohon terpilih maupun dengan introduksi plasma nutfah yang baru. Teknik penyerbukan berkembang demikian pula dengan analisa tandan dan buah yang merupakan komponen penting. Kemajuan di bidang genetika juga banyak memberikan warna dalam kemajuan pemuliaan (Lubis, 2008; Amiruddin *et al.*, 2023).

Penelitian ini mengusulkan pendekatan optimalisasi produksi bahan tanaman unggul untuk kelapa sawit melalui kajian polinasi buatan. Kajian ini bertujuan untuk mengatasi keterbatasan metode pemuliaan tradisional dan menghasilkan bahan tanam kelapa sawit dengan sifat-sifat yang diinginkan yang dapat meningkatkan profitabilitas dan keberlanjutan budidaya kelapa sawit. Dengan memilih pohon induk unggul berdasarkan sifat-sifat yang diinginkan, mengumpulkan dan menyimpan serbuk sari, melakukan proses penyerbukan buatan, memantau dan mengevaluasi proses pemupukan, memilih bibit yang diinginkan, dan melakukan uji lapangan, kajian yang diusulkan dapat menghasilkan populasi bahan tanaman unggul kelapa sawit dengan sifat-sifat yang lebih baik seperti tahan penyakit, hasil minyak yang tinggi, dan produksi tandan benih atau fruit set yang lebih baik. Kajian ini menawarkan pendekatan yang menjanjikan untuk mengoptimalkan produksi bahan kelapa sawit unggul melalui studi penyerbukan buatan, dan dapat berkontribusi pada keberlanjutan dan profitabilitas jangka panjang industri kelapa sawit (Yabani *et al.*, 2023).

Keberadaan bahan tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) unggul hasil pemuliaan telah diakui memberikan kontribusi yang cukup besar dalam upaya mendukung pengembangan industri kelapa sawit di Indonesia (Ardana *et al.*, 2022). Kontribusi bahan tanaman dapat dilihat dari peningkatan produksi minyak kelapa sawit yang sangat signifikan selama 20 tahun terakhir. Benih unggul memainkan peran signifikan dalam mutu dan hasil produksi kelapa sawit (Setiawan, 2017; Kelanaputra *et al.*, 2018; Purba, 2019). Benih unggul telah melalui proses pemuliaan untuk menghasilkan tanaman yang membawa sifat superior (Yousefi *et al.*, 2021). Benih unggul yang telah bersertifikasi menjamin mutu hasil kelapa sawit lebih seragam dengan potensi dan keunggulannya masing-masing tergantung varietas. Konsumen benih bersertifikasi dilindungi oleh undang-undang sehingga produsen benih harus menjalankan mandat dan standar berdasarkan peraturan yang berlaku untuk menjamin kemurnian benih (Lestari *et al.*, 2019). Benih unggul dikomersilkan dengan tipe buah Tenera yang biasanya memiliki produktivitas tinggi, rendemen minyak lebih tinggi, dan kernel yang lebih kecil merupakan persilangan kelapa sawit jenis buah Dura dan Pisifera (Kartika *et al.*, 2015; Hasibuan 2020; Amiruddin *et al.*, 2023).

Tabel 1. Perkembangan potensi kelapa sawit di Indonesia

Tahun	Tipe	Rerata TBS (ton/ha/thn)	Rendemen (%)	CPO (ton/ha/thn)
1960	DxD, DxT, TxD	23,1	18,8	4,3
1970	DxT, TxD, DxP	23,9	22,6	5,4
1980	DxP, DyxP	27,2	23,5	6,4
1990	DxP	29,8	23,8	7,1
2000	DxP	30,6	25,8	7,9
2010	DxP	32,0	26,0	8,3
2020*)	DxP, klon	35-39	28,5	>10

Sember : *) pemulia kelapa sawit rangkuman komunikasi (PPKS).

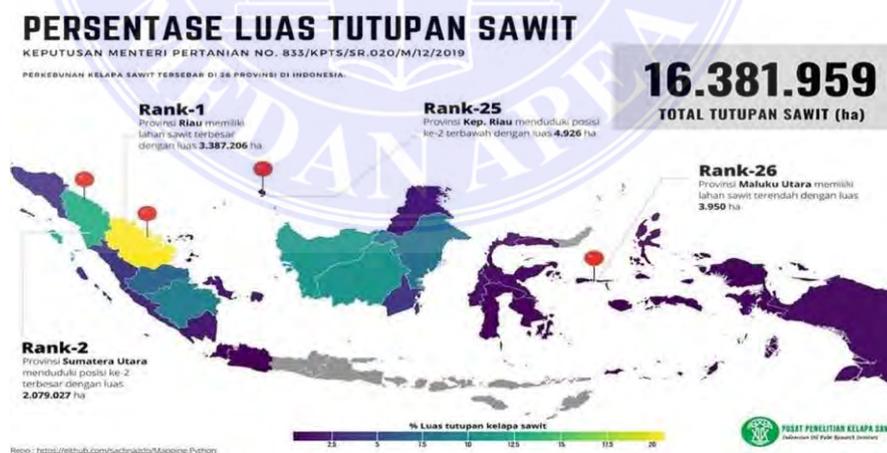
Sebagai gambaran, tingkat produksi minyak kelapa sawit Indonesia sejak tahun 1980 perkembangan produksi kelapa sawit dalam bentuk CPO terus mengalami peningkatan (Ditjenbun, 2020). Indonesia merupakan negara yang memiliki lahan perkebunan kelapa sawit terluas di dunia (16,38 juta hektare pada tahun 2022) dengan produksi sebesar 46,89 juta ton CPO (*crude palm oil*). Tanaman kelapa sawit adalah salah satu penghasil devisa terbesar bagi Indonesia yaitu sebesar USD 35 miliar atau setara Rp 525 triliun pada tahun 2021 (Ditjenbun, 2022). Selain itu, tanaman kelapa sawit merupakan tanaman penghasil minyak nabati paling efisien dengan produksi 3,36 ton/ha/tahun dibandingkan dengan tanaman penghasil minyak nabati lainnya, seperti biji jarak, bunga matahari, kacang tanah, kedelai, kelapa, dan kapas dengan produksi secara berturut sebesar 0,74; 0,78; 0,45; 0,47; 0,34; dan 0,19 ton/ha/tahun (Oil world, 2008; Wahid *et al.*, 2011; Lubis, 2018; PASPI, 2021). Oleh sebab itu, tidak mengherankan apabila kelapa sawit sering mendapatkan isu *black campaign* mulai dari permasalahan lingkungan hingga kesehatan.

Perkebunan kelapa sawit di provinsi Sumatera Utara merupakan terluas kelima di Indonesia (1,28 juta hektar) setelah provinsi Riau, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, dan Kalimantan Timur dengan luas 2,86; 2,12; 1,81; dan 1,37 juta hektar. Pada tahun 2021, produksi CPO di SUMUT adalah sebesar 5,3 juta ton atau 11,3% produksi nasional (devisa sebesar Rp 59,32 triliun) dari perkebunan kelapa sawit seluas 1,28 juta hektare yang terdiri dari perkebunan rakyat seluas 442 ribu hektare (35%), perkebunan negara seluas 291 ribu hektare (22%), dan

perkebunan swasta seluas 553 ribu hektare (43%), dengan produksi secara berturut sebesar 1,64; 1,50; dan 2,16 juta ton CPO (Ditjenbun, 2022).

Perkebunan kelapa sawit di Indonesia memiliki keunggulan dibanding negara-negara produsen lainnya. Pertama, secara geografis, Indonesia diuntungkan dengan kondisi agroekosistem yang sangat mendukung seperti penyinaran matahari sepanjang tahun, curah hujan dan ketersediaan air serta kondisi lahan yang subur dan tersedia. Kedua, Indonesia memiliki keunggulan inovasi dan teknologi dengan dukungan riset, mulai dari varietas unggul, teknologi budidaya hingga teknologi panen dan pascapanen. Ketiga, Indonesia memiliki jumlah penduduk yang sangat besar sehingga ketersediaan tenaga kerja (Yousefi *et al.*, 2021).

Kelapa sawit sebagai tanaman penghasil minyak sawit dan inti sawit merupakan salah satu primadona tanaman perkebunan yang menjadi sumber penghasil devisa non migas bagi Indonesia. Ceraahnya prospek komoditi minyak kelapa sawit dalam perdagangan minyak nabati dunia telah mendorong pemerintah Indonesia untuk memacu pengembangan areal perkebunan kelapa sawit (Ditjenbun, 2020). Pertambahan luas areal kelapa sawit yang didukung oleh ketersediaan bahan tanaman yang unggul menjadikan Indonesia sebagai penghasil minyak kelapa sawit terbesar dan diikuti Malaysia (Khor *et al.*, 2013).



Gambar 1. Luas areal kelapa sawit Indonesia

Peningkatan produksi minyak sawit Indonesia tidak terlepas dari peran pemuliaan kelapa sawit yang telah dijalankan Pusat Penelitian Perkebunan Medan (P3M/AVROS), Pusat Penelitian Bandar Kuala dan Pusat Penelitian Marihat

(PPM/MRS) sebagai cikal bakal PPKS mulai melakukan seleksi kelapa sawit Dura Deli pada tahun 1916 hingga kini. Sebagai salah satu modal dasar industri perkebunan, bahan tanaman kelapa sawit berperan dalam menentukan keberhasilan suatu usaha perkebunan (Kelanaputra *et al.*, 2018; Amiruddin *et al.*, 2023). Sinergi antara pengelolaan bahan tanaman unggul dan perlakuan kultur teknis yang benar akan membawa usaha suatu perkebunan kepada pencapaian hasil yang optimal (Mawardati, 2017; Nanda, 2022).

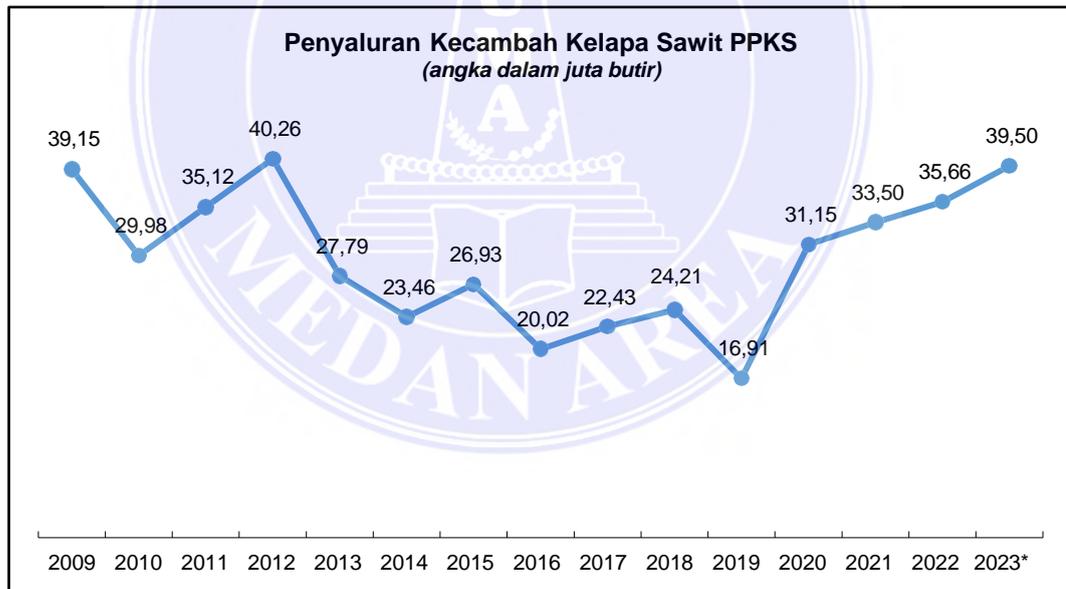
Kebutuhan bahan tanaman yang tinggi memerlukan pengadaan bahan tanaman yang kuat dan stabil. Dalam rangka meningkatkan produksi, produktivitas, nilai tambah dan daya saing sub sektor perkebunan, termasuk kelapa sawit (Agung dan Gunawan, 2020; Dirjenbun, 2022) bertekad untuk mengembalikan kejayaan perkebunan Indonesia dengan pendekatan Perkebunan Bioindustri yang saat ini memasuki Fase Kurva Ketiga dengan mengedepankan penggunaan teknologi modern yang dicirikan benih varietas unggul, penerapan GAP, mekanisasi, dan pemanfaatan IoT (*internet of things*).

Salah satu cara untuk menjamin pengembangan kelapa sawit di Indonesia adalah menjamin ketersediaan benih unggul dan bermutu. Data Direktorat Jenderal Perkebunan (Ditjenbun, 2022) menunjukkan luasan lahan di Indonesia seluas 16,38 juta hektar, jika asumsi *replanting* rata-rata pertahun 4-5% dari total luasan area kelapa sawit (PASPI, 2021), maka kebutuhan benih nasional sebanyak 131-163 juta benih/tahun dan kebutuhan 200 butir KKS per hektar areal tanam (Liwang *et al.*, 2011). Kebutuhan jumlah kecambah yang tinggi tersebut memperlihatkan tingginya kebutuhan benih yang merupakan bahan baku produksi kecambah. Dengan kuantitas yang besar, peningkatan daya berkecambah akan berpengaruh signifikan bagi jumlah kecambah yang dihasilkan. Jika melihat data penyaluran benih nasional hingga tahun 2023 sebanyak 122.662.920 butir, oleh karena itu masih terdapat kekurangan sekitar 41 juta butir benih (Kuswardani *et al.*, 2024). Liwang *et al.*, (2012) menyatakan pertambahan luas area kelapa sawit berkorelasi positif terhadap jumlah penjualan benih kelapa sawit pada tingkat nasional di tahun sebelumnya. Pemerintah telah menetapkan PPKS sebagai salah satu produsen sekaligus penyalur resmi benih kelapa sawit untuk membantu dan memenuhi kebutuhan benih kelapa sawit dalam negeri. Penetapan PPKS berdasarkan surat Keputusan Menteri Pertanian RI No. KB-320/261/KPTS/5/1984. Penetapan PPKS sebagai salah satu

produsen benih kelapa sawit di Indonesia mendorong dan mengharuskan PPKS meningkatkan kapasitas produksi benihnya sehingga kekurangan benih kelapa sawit di dalam negeri dapat diatasi.

Tabel 2. Penyaluran benih kelapa sawit Indonesia periode 2009-2023

No.	Produsen	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	PPKS Medan	39.145.000	29.978.142	35.116.993	40.260.941	27.787.072	23.462.269	26.925.350	20.020.933	22.425.855	24.206.025	16.907.675	31.149.218	33.497.510	35.657.972	39.847.715
2	Socfin Indonesia	24.644.000	32.000.000	36.383.905	47.484.703	30.050.369	32.895.824	22.408.538	16.258.646	13.595.465	13.671.395	5.559.038	7.880.356	9.804.358	11.288.168	9.188.301
3	London Sumatera	7.573.000	20.000.000	27.031.627	28.026.742	19.635.407	6.963.605	10.687.916	7.846.847	10.540.645	11.201.137	5.053.267	5.418.225	5.362.748	7.195.193	7.884.563
4	Bina Sawit Makmur	5.628.000	10.000.000	11.460.768	11.352.204	9.168.266	8.204.695	10.058.136	7.979.528	6.359.821	6.633.562	4.099.520	11.338.255	18.202.175	20.454.012	19.477.000
5	Dami Mas Sejahtera	13.470.000	20.000.000	10.486.075	16.615.978	18.414.355	14.802.189	6.012.983	4.029.904	10.499.388	11.608.262	4.670.285	4.325.427	6.743.443	8.559.025	7.669.213
6	Tunggal Yunus Estate	6.600.000	15.000.000	13.081.090	18.641.444	11.966.735	8.769.058	10.568.856	9.775.605	8.308.447	7.428.808	6.186.693	9.337.303	12.606.223	16.047.196	16.837.562
7	Tania Selatan	2.000.000	6.000.000	2.505.000	2.629.470	2.490.564	1.102.770	1.133.942	2.165.138	1.304.295	808.639	780.987	1.243.814	1.336.843	1.521.699	1.757.638
8	Bakti Tari Nusantara	3.400.000	16.000.000	2.409.832	2.950.770	3.040.542	2.313.886	1.824.529	1.166.342	1.115.200	3.238.598	1.458.652	2.482.686	2.600.538	3.383.173	1.319.381
9	Sarana Inti Pratama	-	-	5.545.088	1.289.276	2.411.850	3.537.252	3.297.231	2.905.245	2.043.763	2.238.219	1.118.352	1.379.733	1.499.046	3.519.987	2.489.670
10	Sasaran Ehsan Mekarsari	-	-	-	780.000	3.547.348	775.370	380.300	90.000	-	6.150	41.450	40.320	16.300	-	165.030
11	ASD-Bakrie	-	-	-	-	-	-	-	1.196.687	1.513.194	2.125.603	1.524.318	1.852.692	2.557.427	6.151.429	3.726.456
13	PTPN IV	-	-	-	-	-	-	-	969.676	316.028	770.293	813.855	670.551	1.026.187	2.220.599	1.270.247
12	GSIP - Astra	-	-	-	-	-	-	-	890.305	862.956	1.076.677	453.219	831.034	1.917.935	1.706.366	2.260.062
14	Palma Inti Lestari	-	-	-	-	-	-	-	361.500	1.559.522	1.145.675	1.021.790	1.434.660	1.691.725	690.634	1.506.084
15	Aneka Sawit Lestari	-	-	-	-	-	-	-	1.583.150	1.849.285	1.682.956	1.041.493	2.011.992	1.620.176	287.074	479.682
16	Mitra Agro Servindo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	Panca Surya Garden	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	77.980	4.638.116	4.096.091	6.128.189	4.542.709
18	AAR Indonesia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	541.458	911.654	500.228	375.745
19	Timbang Deli	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	466.811	842.612	1.279.626	1.865.862
	Nasional	102.460.000	148.978.142	144.020.378	170.031.528	128.512.508	102.826.918	93.297.781	77.239.506	82.293.864	87.841.999	50.808.574	87.042.651	106.332.991	126.590.570	122.662.920



Gambar 2. Penyaluran benih kelapa sawit dari Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Dalam konteks ini, penggunaan teknologi analisis data seperti pengelompokan K-means dan pengembangan rumus optimasi baru menawarkan pendekatan yang lebih terarah dan efektif untuk memaksimalkan hasil penyerbukan buatan. K-Means memungkinkan pengelompokan data berdasarkan karakteristik penting sehingga

kelompok tanaman yang merespons penyerbukan buatan paling baik dapat diidentifikasi. Sementara itu, rumus optimasi dikembangkan dengan mempertimbangkan variabel-variabel seperti viabilitas serbuk sari, berat tandan, jumlah benih yang baik dan biji afkir untuk memberikan arahan yang lebih tepat dalam pengambilan keputusan (Yabani *et al.*, 2024).

Metode evaluasi seperti validasi silang dan analisis R-kuadrat memberikan validasi model yang kuat, memastikan bahwa teknik tersebut andal dan menghasilkan hasil yang konsisten. Dengan menerapkan pendekatan ini, penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi yang efektif untuk meningkatkan produktivitas benih kelapa sawit melalui teknik penyerbukan buatan yang dioptimalkan.

Keberhasilan pengembangan industri dan kebutuhan perluasan lahan tidak terlepas dari ketersediaan faktor pendukung, salah satu diantaranya adalah ketersediaan benih unggul kelapa sawit dari hasil silangan bunga betina pohon Dura (D) dengan serbuk sari bunga jantan pohon Pisifera (P) yang didasari oleh aktivitas pemuliaan yang sistematis dan berkelanjutan (Kelanaputra *et al.*, 2018; Amiruddin *et al.*, 2023). Untuk mendapatkan benih kelapa sawit yang unggul harus dilakukan dengan polinasi buatan yang dirancang sedemikian rupa sesuai dengan ilmu pemuliaan sehingga dapat diketahui dengan jelas asal usul benih tersebut, yang merupakan salah satu syarat dari benih unggul (Kartika *et al.*, 2015; Hasibuan, 2020; Yabani *et al.*, 2023).

Corley dan Tinker (2016) menyatakan tandan kelapa sawit akan matang pada 4,5 hingga 6 bulan setelah penyerbukan. Sebagian produsen benih kelapa sawit di Indonesia mensyaratkan pemanenan tandan-tandan benih untuk dilakukan pada fase awal rentang tersebut, yaitu pada 4,5 hingga 6 bulan (PPKS) sebagai upaya menekan jumlah kehilangan benih akibat rontoknya buah dari tandannya. *Fruit set* adalah istilah untuk perbandingan/rasio buah yang jadi (hasil penyerbukan) terhadap keseluruhan buah pada satu tandan termasuk buah tidak jadi (partenokarpi). Rendahnya *fruit set* ditandai dengan banyaknya buah partenokarpi pada tandan buah sawit. Dari sisi kebun, perhitungan *fruit set* didasarkan pada jumlah buah jadi dan buah tidak jadi (Prasetyo dan Susanto, 2012).

Disamping itu untuk mendapatkan jumlah benih unggul yang baik diperlukan waktu penyerbukan, jumlah dosis, lama simpan dan viabilitas polen. Dalam hal ini waktu penyerbukan, jumlah dosis, lama simpan dan viabilitas polen sangat menentukan keberhasilan penyerbukan terhadap bunga betina yang anthesis atau bunga betina yang telah siap untuk menerima serbuk sari atau diserbuki (Yabani *et al.*, 2023). Sehingga dengan demikian kebutuhan akan benih unggul untuk pengembangan dan perluasan lahan dapat terpenuhi.

Penelitian ini tidak hanya menawarkan kontribusi yang signifikan bagi industri kelapa sawit dalam hal peningkatan produksi dan efisiensi, tetapi juga membuka jalan bagi penerapan teknik optimasi yang lebih luas di bidang pertanian lainnya.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah diuraikan di atas, dapat diketahui bahwa perlu dilakukan optimalisasi produksi bahan tanaman unggul kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) melalui kajian polinasi buatan. Berdasarkan pada masalah tersebut, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Perlunya metode lebih efektif untuk menghasilkan bahan tanaman unggul kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) dalam memproduksi tandan benih dan benih baik yang optimal per tandannya.
2. Metode pemuliaan tradisional memiliki keterbatasan dalam memproduksi bahan tanaman dengan sifat-sifat yang dapat berdampak pada profitabilitas dan keberlanjutan budidaya kelapa sawit.
3. Terbatasnya sumber polen sehingga perlu dilakukan penelitian optimalisasi produksi bahan tanaman unggul kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) melalui kajian polinasi (penyerbukan) buatan perlu dilakukan.

Langkah ini perlu dilakukan untuk mempercepat tambahan jumlah benih, dan peningkatan daya berkecambah benih yang dapat dilakukan dalam waktu jangka pendek (<1 tahun), sehingga dapat memenuhi permintaan benih unggul yang tinggi dari konsumen.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah :

1. Untuk mendapatkan metode optimalisasi produksi bahan tanaman kelapa sawit unggul melalui penelitian penyerbukan buatan, yang dapat mengatasi keterbatasan metode pemuliaan tradisional dan meningkatkan profitabilitas dan keberlanjutan industri kelapa sawit.
2. Mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap mutu penyerbukan (varietas, dosis, lama simpan polen, waktu penyerbukan dan viabilitasnya).
3. Mengidentifikasi dan evaluasi faktor-faktor yang mempengaruhi daya berkecambah benih.

1.4. Hipotesis Penelitian

1. Adanya kompatibilitas (kecocokan) antara putik dan polen kelapa sawit sebesar $>75\%$ pada varietas tertentu.
2. Keberhasilan penyerbukan dipengaruhi oleh varietas, dosis, lama simpan polen, waktu penyerbukan dan viabilitas polen.
3. Persiapan benih, perendaman, pemanasan dan pergantian oksigen mempengaruhi daya berkecambah benih.

Manfaat Penelitian

1. Dari segi akademik, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya khazanah keilmuan disiplin agronomi, Fisiologis dan Ekologi.
2. Dari segi Praktis/Implikasi. Implikasi praktis dari penelitian ini penting bagi industri benih kelapa sawit, menyediakan peta jalan berbasis data untuk mengoptimalkan penyerbukan dan meningkatkan hasil dan kualitas benih. Temuan dari penelitian ini dapat diimplementasikan untuk mencapai keuntungan ekonomi yang lebih baik, efisiensi yang lebih tinggi, dan keberlanjutan dalam produksi benih kelapa sawit.
3. Dari segi metodologi, penelitian ini dapat dijadikan sebagai tambahan informasi dan rujukan tentang sumber polen, dosis, lama simpan polen, waktu penyerbukan dan daya berkecambah antar varietas benih.

1.5. Keterbaruan Penelitian (Novelty)

Penelitian ini memperoleh keterbaruan (Novelty) : “Nilai kebaruan ditunjukkan pada model optimalisasi untuk meningkatkan produksi bahan tanaman berkualitas tinggi untuk kelapa sawit melalui penyerbukan buatan. Penggunaan teknik penyerbukan buatan dapat meningkatkan hasil dan kualitas bahan tanaman yang dihasilkan, dapat berdampak signifikan bagi industri kelapa sawit. Secara keseluruhan, penelitian ini memiliki implikasi penting bagi industri kelapa sawit, serta bidang penelitian pertanian yang lebih luas”.

Model optimasi dikembangkan menggunakan rumus yang mempertimbangkan variabel-variabel kunci :

$$\text{Maximize: } YB = w_1 \cdot \left(\frac{J}{A} + 1\right) + w_2 \cdot \left(B \cdot \frac{V}{100}\right) - w_3 \cdot A$$

YB	:	Nilai pengoptimalan yang ingin dimaksimalkan
w_1	:	Bobot setiap komponen pada fungsi tujuan disesuaikan berdasarkan prioritas
$\frac{J}{A} + 1$:	Perbandingan jumlah biji yang baik dengan biji afkir, ditambah 1 agar tidak dibagi dengan nol
$B \cdot \frac{V}{100}$:	Kombinasi bobot tandan dengan viabilitas polen, untuk meningkatkan kualitas hasil tandan benih
$-w_3 \cdot A$:	Penalti jumlah biji yang afkir bertujuan untuk mengurangi benih yang tidak layak

Setelah menetapkan tujuan, identifikasi variabel kunci yang mempengaruhi hasil optimasi. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel utamanya adalah :

Viabilitas Polen (V)	:	Persentase viabilitas polen (serbuk sari) mempengaruhi keberhasilan penyerbukan
Berat Sekelompok (tandan) (B)	:	Berat tandan benih kelapa sawit.
Jumlah Biji Baik (J)	:	Jumlah benih yang layak proses dari satu tandan.
Benih yang Afkir (A)	:	Banyaknya benih yang tidak sesuai atau tidak memenuhi standar (afkir).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Botani Tanaman Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit masuk ke Indonesia untuk pertama kalinya dibawa oleh bangsa Belanda dengan bibit yang berasal dari Bourbon atau Mauritius sebanyak 2 (dua) bibit, dari Amsterdam juga 2 (dua) bibit. Bibit tersebut ditanam di Kebun Raya Bogor untuk dijadikan sebagai tanaman koleksi pada tahun 1848. Oleh karena itu tanaman kelapa sawit yang ada di Kebun Raya Bogor ini dianggap sebagai nenek moyang tanaman kelapa sawit di Asia Tenggara (Robins, 2021). Tanaman kelapa sawit menghasilkan bunga jantan dan betina secara bergantian pada tanaman yang sama (Corley dan Tinker, 2016). Tanaman kelapa sawit dapat tumbuh sampai ratusan tahun, tetapi karena pertimbangan efisiensi dan nilai ekonomi untuk usaha perkebunan hanya dipertahankan sampai umur 25-30 tahun. Jenis lain kelapa sawit (*E. oleifera*) berasal dari Amerika Selatan (Robins, 2021).

Menurut Lubis (2008) kelapa sawit bukanlah tanaman asli Indonesia dan baru ditanam secara komersil pada tahun 1911. Kebun industri kelapa sawit dibuka pada tahun 1911 di Tanah Itam Ulu oleh maskapai Oliepalmen Cultuur dan di Pulau Raja oleh Maskapai Seumadam Cultuur Mij, Sungai Liput Cultuur Mij, Mapoli, Tanjung Genteng oleh Palbomen Cultuur Mij, Medang Ara Cultuur Mij, Deli Muda oleh Huilleries de Deli dan lain-lain.

Dalam dunia botani, semua tumbuhan diklasifikasikan untuk memudahkan dalam identifikasi secara ilmiah. Metode pemberian nama ilmiah (Latin) ini dikembangkan oleh Carolus Linnaeus. Tanaman kelapa sawit diklasifikasikan sebagai berikut :

Devisi	: <i>Tracheophyta</i>
Subdevisi	: <i>Pteropsida</i>
Kelas	: <i>Angiospermae</i>
Subkelas	: <i>Monocotyledoneae</i>
Ordo	: <i>Cocoideae</i>
Family	: <i>Palmae</i>
Genus	: <i>Elaeis</i>
Spesies	: <i>Elaeis guineensis</i> Jacq

Nama *Elaeis guineensis* diberikan oleh Jacquin pada tahun 1763 berdasarkan pengamatan pohon-pohon kelapa sawit yang tumbuh di Martinique, kawasan Hindia Barat, Amerika Tengah. Kata *Elaeis* (Yunani) berarti minyak, sedangkan kata *guineensis* dipilih berdasarkan keyakinan Jacquin bahwa kelapa sawit berasal dari Guinea (Afrika).

Kelapa sawit termasuk tanaman monokotil. Batangnya tumbuh lurus, tidak bercabang, dan tidak mempunyai kambium. Tanaman ini berumah satu atau *monoecious*, bunga jantan dan bunga betina terdapat pada satu pohon. Bunga dapat menyerbuk silang atau menyerbuk sendiri. Tanaman kelapa sawit dapat dibagi menjadi bagian vegetatif dan bagian generatif. Bagian vegetatif terdiri atas akar, batang, dan daun. Sedangkan bagian generatif yang berfungsi sebagai alat perkembangbiakan adalah bunga dan buah (Mangoensoekarjo, 2005; Juvany dan Munné-Bosch, 2015). Batang kelapa sawit tidak mempunyai cabang dan tidak mempunyai kambium. Jenis pertumbuhannya yaitu pertumbuhan primer, titik tumbuh berada pada ujung batang dan terus berkembang membentuk daun serta tinggi batang. Batang mencapai diameter 90 cm dengan ketinggian 12 meter. Pertumbuhan batang sawit mencapai sebesar 0.3 – 0.6 m/tahun (Setiawan, 2017). Lubis (2008) dan Corley dan Tinker, (2016) mengemukakan bahwa batang sawit baru dapat terlihat setelah tanaman berumur empat tahun.

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) berkembangbiak secara generatif dengan menggunakan biji, tetapi tanaman ini juga bisa dikembangbiakkan dengan kultur jaringan. Menurut Lubis (2008) kelapa sawit terdiri dari banyak varietas dan dibedakan atas tipe buah, bentuk luar dan tebal cangkang serta warna buah.

Berdasarkan warna buah dari spesies *Elaeis guineensis* Jacq, dikenal varietas

1. **Nigrescens** yaitu buahnya berwarna violet sampai hitam pada waktu muda dan berubah menjadi oranye setelah buah matang.
2. **Virescens** yaitu buah berwarna hijau waktu muda dan setelah matang berwarna oranye.
3. **Albescens** yaitu waktu muda buah berwarna kuning pucat, tembus cahaya karena mengandung sedikit karotein. Pada jenis *nigrescens* maupun *virescens* dijumpai buah yang memiliki carpel (bersayap) dan dikenal sebagai Diwakka-wakka.

Tanaman kelapa sawit dewasa memiliki 8.000 – 10.000 akar primer, yang panjangnya 15-20 m dari dasar batang dengan diameter 4-10 mm . Akar sekunder akan tumbuh setelah akar primer dengan panjang sekitar 150 cm berdiameter 2-4 mm, yang sebagian besar tumbuh mengarah kepermukaan tanah. Batang kelapa sawit tidak memiliki kambium dan tidak bercabang. Pertumbuhan batang kelapa sawit tidak terbatas selama masa hidupnya, tetapi menurut pertimbangan ekonomisnya berumur 25-30 tahun atau mencapai ketinggian 10-20 meter.

Daun kelapa sawit merupakan daun majemuk, bersirip genap dan bertulang sejajar dengan dasar tangkai daun utama menempel di sekeliling ujung batang dan membentuk pelepah yang panjangnya mencapai lebih dari 7.5-9 m. jumlah anak daun dari setiap pelepahnya mencapai 250-400 helai. Pembungaan kelapa sawit disebut monocious karena bunga jantan dan bunga betina terdapat pada satu pohon.

Risza (1994) dan Subashini *et al.*, (2003) menyatakan bunga jantan ataupun bunga betina keluar pada ketiak pelepah daun. Satu tandan bunga jantan terdiri dari ± 200 spikelet. Dalam satu spikelet terdapat 700 – 1000 bunga jantan. Dalam satu tandan bunga jantan dapat mencapai ± 50 gram tepung sari. Di lain pihak, bunga betina dalam satu tandan juga dapat mencapai 200 spikelet. Tetapi dalam satu spikelet hanya terdapat ± 20 bunga betina. Dan dalam satu tandan bunga betina terdapat ± 3000 bunga betina. Bentuk bunga betina seperti bunga cengkeh.

Proses pembentukan buah sejak saat penyerbukan sampai buah matang ± 6 bulan. Dalam satu tandan dewasa dapat mencapai 2.000-3.000 buah. Buah kelapa sawit termasuk buah batu terdiri dari 3 bagian yaitu :

1. Lapisan luar (*Epicarpium*) disebut kulit luar.
2. Lapisan tengah (*Mesocarpium*) disebut daging buah, mengandung minyak sawit (CPO = *Crude Palm Oil*).
3. Lapisan dalam (*Endocarpium*) disebut inti, mengandung minyak inti (PKO = *Palm Kernel Oil*).

Dalam biji kelapa sawit (*kernel*) terdiri dari 3 bagian, yaitu :

1. Kulit biji (*Spermodermis*) disebut cangkang (*sheel*).
2. Tali pusat (*Funiculus*).
3. Inti biji (*Nucleus seminis*).

Pertumbuhan perkembangan bunga kelapa sawit dimulai sejak 36 – 40 bulan sebelum tandan buah matang fisiologis. Sepanjang periode perkembangan bunga kelapa sawit terdapat beberapa fase atau tahap pembungaan yang waktunya berbeda-beda yaitu inisiasi pembentukan bunga, pembentukan perhiasan tandan bunga, diferensiasi jenis kelamin bunga, perkembangan perhiasan bunga, anthesis, pematangan tandan buah, dan matang fisiologis (Keong dan Keng, 2012; Combres *et al.*, 2012). Diantara inti dan daging buah terdapat lapisan lempung (cangkang) yang keras. Di dalam inti inilah terdapat lembaga atau embrio yang merupakan calon tanaman baru (Risza, 1994; Corley dan Tinker, 2016).

Menurut Pahan (2008; 2010) sistem perakaran kelapa sawit merupakan sistem akar serabut, terdiri dari akar primer, sekunder, tersier dan kuartener. Akar primer umumnya berdiameter 6-10 mm, keluar dari pangkal batang dan menyebar secara horisontal dan menghujam ke dalam tanah dengan sudut yang beragam. Akar primer bercabang membentuk akar sekunder yang diameternya 2-4 mm. Akar sekunder bercabang membentuk akar tersier yang berdiameter 0.7-1.2 mm dan umumnya bercabang lagi membentuk akar kuartener.

Sebagian besar perakaran kelapa sawit terutama berada dekat dengan permukaan tanah. Hanya sedikit akar kelapa sawit yang berada pada kedalaman 90 cm, padahal permukaan atas air tanah (*water table*) cukup dalam. Dengan demikian, sistem perakaran yang aktif berada antara kedalaman 10-30 cm. Secara umum, kebanyakan akar sekunder dapat mencapai kedalam 1.5 m, yaitu kedalaman maksimal, dimana akar sekunder dapat ditemukan.

2.1.1. Struktur Bunga Kelapa Sawit

Bunga tanaman kelapa sawit termasuk golongan bunga berumah satu (*monoecious*) yang berarti bahwa bunga jantan dan bunga betina terdapat pada satu tanaman namun posisinya terpisah (Corley dan Tinker, 2016; Amiruddin *et al.*, 2023). Ekspresi kelamin bunga tanaman kelapa sawit secara individu dapat dikelompokkan ke dalam tanaman Androecious dan Ginoecious. Tanaman androecious berarti bahwa tanaman kelapa sawit cenderung banyak menghasilkan bunga jantan yang bisa menghasilkan serbuk sari (polen). Pada bunga jantan juga ada spekilet yang jumlahnya bervariasi tergantung pada kondisi tanaman, lokasi tumbuh, umur maupun genotipe (sama dengan bunga betina). Saat bunga jantan

anthesis maka ditandai dengan kumpulan serangga penyerbuk *elaeidobius* sehingga serbuk sari menempel pada badan, kaki atau kepala *elaeidobius*. Secara umum, bobot total serbuk sari yang dihasilkan oleh bunga jantan bisa berkisar antara 30-50 gr/tandan tergantung umur (Subashini *et al.*, 2003; Corley dan Tinker, 2016).

Walaupun letak bunga betina dan jantan terpisah dalam satu tanaman, ada juga tanaman kelapa sawit yang menunjukkan bahwa pada satu tandan di dalam sekumpulan bunga betina terdapat beberapa bunga jantan (yang menghasilkan serbuk sari) sehingga dinamakan bunga hermaphrodit. Hal ini berarti bahwa bunga jantan berada di dalam tandan bunga betina, jumlah tanaman hermaphrodit tidak banyak dan bunga jantannya kadang-kadang tidak terlihat saat observasi kecuali dengan dilakukan dengan cermat dan teliti. Tanaman kelapa sawit dengan bunga hermaphrodit akan menguntungkan jika berada dalam populasi tanaman hibrida tenera DxP karena sistem persilangan akan optimum. Namun sebaliknya perlu diwaspadai jika bunga hermaphrodit ini berada pada tandan betina yang dijadikan sebagai induk dura untuk menghasilkan benih hibrida DxP komersial. Hal ini akan menyebabkan terjadi penyerbukan dan pembuahan sendiri (DxD) sehingga dapat merugikan karena tujuan utama adalah untuk persilangan menghasilkan hibrida DxP tenera. Jika ada tandan bunga yang hermaphrodit maka sebaiknya segera dibatalkan tandan bunga yang sudah dibungkus dan tidak dilakukan persilangan DxP untuk benih komersial. Jika tidak ada pembatalan penyerbukan pada bunga hermaphrodit, maka kondisi ini bisa digolongkan pada tingkat ketelitian yang rendah karena adanya kontaminasi dari serbuk sari yang tidak dikehendaki (asing).

Persilangan antara bunga betina dura (sebagai putik) dan serbuk sari dari bunga jantan pisifera untuk mendapatkan benih unggul perlu pengontrolan manajemen data. Manajemen data bunga tanaman dura meliputi:

1. Berapa rata-rata jumlah tandan bunga pada setiap pohon dari famili yang sama yang dihasilkan setiap tahun.
2. Pohon dura yang mana yang sering atau pernah menghasilkan bunga hermaphrodit.
3. Apakah pohon dura yang terpilih menjadi induk unggul mempunyai rekaman tandan bunga yang mengalami aborsi (gugur).

4. Adakah setiap pohon dura sebagai induk unggul rekaman tentang tandan bunga yang pada saat bunga betina reseptif namun tidak merata sehingga perlu penyerbukan yang berjenjang atau beberapa kali penyerbukan.
5. Pertumbuhan tandan bunga yang lambat akibat posisinya terjepit dengan dasar pelepah sehingga membutuhkan pembungkusan yang ekstra hati-hati agar tangkai tandan bunga tidak patah.
6. Apakah umur panen tandan bunga yang sudah diserbuki oleh serbuk sari digolongkan ke dalam panen awal atau lambat. Saat panen secara normal biasanya dilakukan pada umur 130-160 hari setelah penyerbukan (HSP). Jika pohon dura memiliki karakter umur panen awal setelah penyerbukan, misalnya 130 HSP, maka jika panen tandan benih dilakukan pada umur 160 HSP akan terjadi banyak buah berondolan yang sudah lepas dari spekilet. Dengan adanya buah berondolan yang jatuh di sekitar pohon maka bisa menyebabkan tingkat efisiensi berkurang kecuali tandan benih dipasang jaring.
7. Apakah pohon dura yang terseleksi sebagai induk betina unggul ini mewariskan sifat-sifat yang tidak diinginkan seperti sensitive pada unsur B, Mg, N maupun K. Sifat lainnya adalah sensitive pada gejala penyakit fisiologi *Crown Disease* (CD).

Selanjutnya, manajemen data pohon pisifera (TxP) yang terpilih sebagai pohon induk jantan sebagai sumber serbuk sari adalah:

1. Tingkat kemudahan pohon pisifera sebagai induk jantan unggul dalam menghasilkan bunga jantan.
2. Apakah setiap serbuk sari dari pohon pisifera terpilih dilakukan persilangan dengan pohon dura terpilih mengalami aborsi sehingga panen tandan benih mengalami kegagalan.
3. Rekaman bobot rata-rata serbuk sari yang berhasil dipanen dan diproses untuk dijadikan sebagai sumber serbuk sari.
4. Rekaman viabilitas serbuk sari yang baru dipanen maupun yang sudah lama disimpan di dalam frozen (suhu sekitar -18°C).
5. Apakah serbuk sari dari pohon pisifera mempunyai kemampuan untuk menghasilkan cangkang tipis atau kernel kecil jika disilangkan dengan tandan bunga pohon dura.

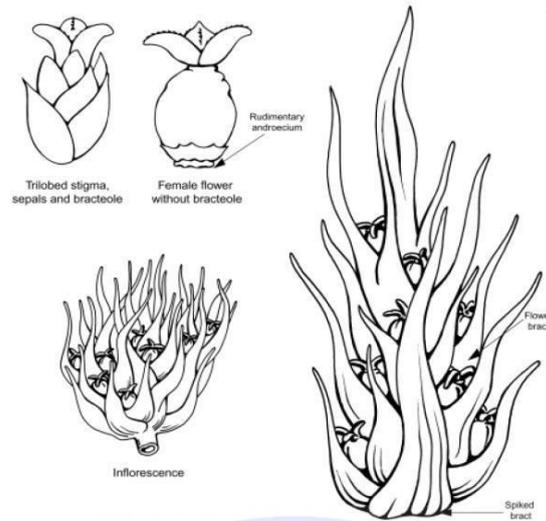
2.1.1.1. Infloresens Kelapa Sawit.

Primordia bunga diproduksi pada setiap ketiak daun pada saat inisiasi daun. Primordia dapat berkembang menjadi infloresen jantan, betina atau hermaprodit. Oleh karena itu, produksi tandan buah segar sangat terkait dengan tingkat produksi daun, yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan status hara tanaman kelapa sawit. Bunga dapat gugur sebagai tanggap terhadap cekaman, dan produksi yang tinggi hanya dapat diperoleh dengan nisbah jenis kelamin yang tinggi (bunga betina: total bunga) dan tingkat aborsi yang rendah. Potensi hasil dengan demikian ditentukan oleh tingkat produksi daun, nisbah jenis kelamin dan jumlah aborsi bunga.

Pada tanaman dewasa infloresen berkembang sekitar 2 sampai 3 tahun (Adam *et al.*, 2005; Amiruddin *et al.*, 2023). Setiap infloresen terdiri dari spikelet yang tertutup oleh seludang yang kokoh. Spikelet tersusun dalam bentuk spiral pada tengah-tengah aksis. Sekitar 1 bulan setelah bunga muncul di atas dasar pelepah daun, seludang luar bunga akan terbuka. Dua sampai tiga minggu kemudian, seludang bagian dalam terbuka dan bunga yang terdapat pada spikelet akan terlihat.

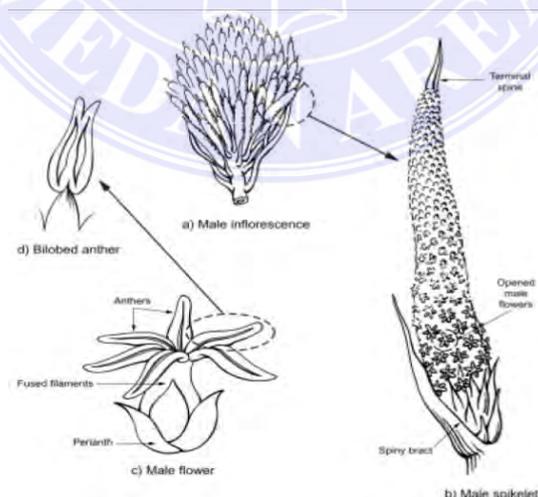
Bunga betina terdiri dari floral triads yang berisi bunga pistilata tunggal yang diapit oleh dua bunga staminate abortif, sedangkan bunga jantan mengandung bunga staminate fungsional tunggal (Adam *et al.*, 2005). Permukaan reseptif dari lobus stigma yang ditekan satu sama lain ketika muda akan membuka ketika bunga dewasa. Pada bagian tengah bunga betina, setiap spikelet dapat menghasilkan 12 sampai 30 bunga, sedangkan pada spikelet bagian atas dan bawah hanya menghasilkan 12 bunga atau kurang.

Infloresen betina dapat menghasilkan 85 sampai 200 spikelet, oleh karena itu terdapat lebih dari 3.000 bunga pada setiap individu dalam infloresen betina. Spikelet pada bagian bawah infloresen akan mekar lebih dahulu daripada bagian atas. Bunga dalam satu spikelet juga akan mekar dari bagian terbawah. Pada bunga betina kepala putik terdiri dari 3 karpel yang terbungkus oleh androesium rudimenter dan di sebelah luarnya terbungkus lagi oleh dua lingkaran lapisan periantum yang terdiri dari 3 segmen sepaloid.



Gambar 3. Komposisi infloresens betina, menunjukkan brakteol dan spina secara tampak dekat (Sumber: Jacquemard, 1998).

Bunga jantan ditopang oleh tangkai yang panjang dan terdiri dari spikelet yang menyerupai jari berbentuk silinder, masing-masing terdiri dari 700 sampai 1 200 bunga jantan. Bunga jantan terdiri dari periant dan androesium berbentuk tabung dengan enam benang sari. Bunga mulai membuka dari bagian dasar spikelet. Tepung sari berwarna kuning pucat dan memiliki aroma yang khas. Satu tandan bunga jantan dapat mengandung 25 sampai 50 gram tepung sari (Hartley, 1988).



Gambar 4. Komposisi infloresen jantan, menunjukkan spikelet, bunga dan anter dan duri secara tampak dekat. (Sumber: Jacquemard, 1998.)

Tanaman kelapa sawit memproduksi bunga jantan atau betina untuk periode tertentu (*alternate bearing*), oleh karena itu dibutuhkan adanya tanaman yang memproduksi polen dan bunga reseptif agar penyerbukan dapat terjadi. Nisbah seks sebagian ditentukan secara genetik tapi juga sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Tanaman yang mengalami cekaman diantaranya kekeringan, kelembaban udara yang rendah, kekurangan hara, pemangkasan yang berlebih dan serangan penyakit memiliki nisbah seks yang rendah dan hasil yang sedikit.

Tanaman kelapa sawit akan merespons cekaman kekurangan air dan hara pada saat diferensiasi seks dengan cara mengubah primordia infloresen menjadi infloresen jantan. Periode dari inisiasi bunga sampai panen tandan buah sekitar 40 bulan dan cekaman akan mempengaruhi produktivitas pada 3 tahun berikutnya (Corley dan Tinker, 2003; 2016).

2.1.1.2. Absisi Pada Buah Kelapa Sawit.

Proses penanggalan (pelepasan) buah kelapa sawit melibatkan pemisahan sel yang terjadi pada dua zona absisi yang terdapat pada bagian dasar buah. Zona absisi utama yang paling besar berada antara dua jaringan yang mudah dibedakan, yaitu mesokarp buah yang kaya akan lipida dan pedikel (tangkai buah). Zona absisi berbatasan dengan bagian luar dasar buah. Zona utama terdiri dari 8 sampai 10 lapisan sel yang dapat dengan mudah dilihat secara visual. Menggunakan pewarnaan khusus sel-sel terlihat mengandung inti sel, sedangkan batas zona absisi tidak memiliki karakterisasi yang jelas. Sel terpisah menjadi dua zona yang berurutan, yaitu zona absisi utama kemudian perbatasan zona absisi. Dilaporkan bahwa etilena menginduksi pemisahan hanya pada zona absisi utama, sementara itu bagaimana sinyal menginduksi pemisahan pada bagian perbatasan zona absisi masih belum diketahui (Tranbarger *et al.*, 2011).

Anatomi absisi pada buah kelapa sawit berbeda dengan buah-buahan komersial pada umumnya. Absisi terjadi dalam dua tahap dengan jarak 1 sampai 2 hari antar keduanya (Osborne *et al.*, 1992; Purba *et al.*, 2000). Pada tahap pertama buah terpisah dari bagian tengah tangkai buah (posisi 1) tetapi pada tahap ini buah masih menempel pada tangkai buah dan jaringan lain yang belum terpisah seperti bagian dasar dari enam tepal. Pada fase kedua sel pada situs sekunder pada posisi 2

atau 3, selanjutnya terpisah dan oleh karena itu buah akan terlepas dari tandan buah (Henderson dan Osborne, 1994).

Himmah *et al.*, (2020) menyatakan kategori kematangan tandan dalam tiga kelompok, yaitu (1) tandan mentah ketika tidak ada buah yang rontok dari tandan, (2) tandan cukup matang ketika 12,5-25% buah rontok dari tandan, dan (3) tandan matang ketika 26-50% buah telah rontok dari tandan. Buah merupakan salah satu *sink* (pengguna) fotosintat utama (Smith *et al.*, 2018), sehingga ketika buah telah layak dilepas dari pohon induknya, tanaman akan memisahkan buah tersebut melalui mekanisme penuaan (*senescence*) pada jaringan penghubung (*feniculus*) antara benih dan tanaman induk. Proses ini menunjukkan bahwa proses akumulasi cadangan makanan dalam biji telah selesai sehingga menjadi penciri bahwa biji yang ada di dalam buah telah masak secara fisiologis. Pada tanaman kelapa sawit, persentase buah yang rontok dari tanaman induk sudah umum digunakan sebagai indikator kematangan tandan (Arif, 2023).

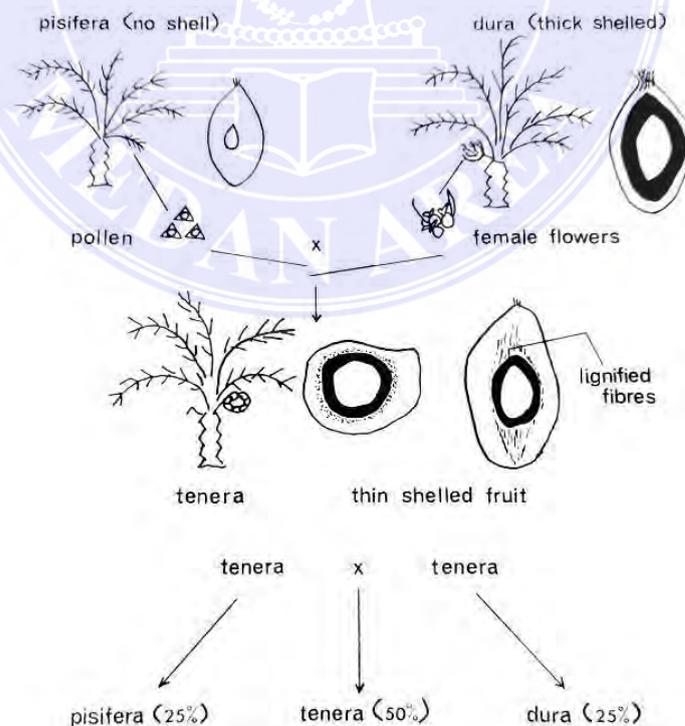
2.1.2. Persilangan DxP Unggul

Tanaman dura menghasilkan buah dengan ketebalan cangkang yang sangat bervariasi (Amiruddin *et al.*, 2023). Hal penting yang perlu diperhatikan pada buah dura adalah di sekitar cangkang tidak terlihat adanya serat. Selanjutnya, tindakan utama yang dilakukan pada bunga betina dura sebelum disilangkan dengan serbuk sari adalah melakukan pengamatan bunga betina kapan saat yang tepat dibungkus. Secara visual waktu pembungkusan bunga betina adalah dengan melihat pembungkus bunga atau seludang yang sudah pecah pada ujungnya. Setelah seludang dibersihkan maka bunga betina dura siap dibungkus. Berdasarkan kondisi ini maka ada beberapa tahapan yang dilakukan seperti :

1. Melakukan observasi bunga betina pada tanaman dura yang sudah terseleksi menjadi induk secara terjadwal dan terukur agar tidak terjadi kehilangan bunga (*loses*).
2. Jika ujung seludang bunga betina sudah mulai membuka (pecah) maka seludang tersebut siap dibersihkan secara pelan-pelan, lembut dan ekstra hati-hati.

3. Melakukan penyemprotan insektisida pada tandan bunga dan di sekitar tandan bunga agar serangga yang berpotensi membawa serbuk sari akan menjauh dari bunga yang akan dibungkus.
4. Melapisi dasar tangkai bunga dengan kapas secara melingkar agar saat pengikatan dengan tali/karet ban pada saat pembungkusan tidak ada serangga yang masuk.
5. Melakukan pemantauan pada bunga betina dura yang sudah dibungkus terutama kapan putik reseptif atau siap menerima serbuk sari. Jika putik reseptif pada saat kurang dari 10 hari setelah pembungkusan maka bunga tersebut dibatalkan. Alasan pembatalan adalah adanya kecurigaan bahwa masih ada serbuk sari liar. Serbuk sari akan mati pada saat lebih dari 10 hari.

Ada beberapa pendapat tentang umur tanaman dura dan pisifera (TxP) yang digunakan sebagai induk unggul berasal dari seleksi dan evaluasi projeni yang siap dilakukan penyerbukan. Ada pendapat yang menginginkan bahwa umur tanaman Dura dan Pisifera (TxP) yang akan dijadikan induk sebaiknya sudah mencapai > 6 TST, ini sesuai dengan standar yang dikeluarkan oleh pemerintah.



Gambar 5. Ilustrasi persilangan komersil pada kelapa sawit

2.1.3. Mekanisme Pelepasan Varietas Tanaman Perkebunan

Sesuai dengan peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 19 tahun 2021 tentang sumber daya genetik dan pelepasan varietas tanaman perkebunan, dalam Peraturan Menteri ini yang dimaksud dengan :

1. Sumber Daya Genetik (SDG) Tanaman Perkebunan yang selanjutnya disingkat SDG Tanaman Perkebunan adalah material genetik yang berasal dari tumbuhan, atau jasad renik yang mengandung unit yang berfungsi sebagai pembawa sifat keturunan, baik yang mempunyai nilai nyata maupun potensial.
2. Koleksi SDG yang selanjutnya disebut Koleksi adalah kegiatan pengumpulan yang diikuti dengan penyimpanan dan pemeliharaan SDG hasil eksplorasi, baik dalam bentuk materi maupun informasi SDG.
3. Bank SDG adalah tempat untuk menyimpan SDG secara *in vitro* baik dalam bentuk benih, serbuk sari, kultur jaringan maupun *cryopreservation*.
4. Pelepasan Varietas adalah pengakuan pemerintah terhadap suatu varietas hasil pemuliaan di dalam negeri atau introduksi dari luar negeri yang menyatakan bahwa varietas tersebut merupakan varietas unggul yang dapat diedarkan.
5. Varietas Tanaman Perkebunan yang selanjutnya disebut Varietas Perkebunan adalah sekelompok tanaman dari suatu jenis atau spesies yang ditandai oleh bentuk tanaman, pertumbuhan tanaman, daun, bunga, biji, dan ekspresi karakteristik genotipe atau kombinasi *genotype* yang dapat membedakan dari jenis atau spesies yang sama oleh sekurang-kurangnya satu sifat yang menentukan dan apabila diperbanyak tidak mengalami perubahan.
6. Varietas Hibrida adalah keturunan pertama (F1) yang dihasilkan dari persilangan antara 2 (dua) atau lebih galur tetua homozigot yang secara genetik berbeda untuk tanaman semusim dan/atau antar populasi berbeda untuk tanaman tahunan.
7. Pemulia Tanaman yang selanjutnya disebut Pemulia adalah orang yang melaksanakan pemuliaan tanaman.
8. Pemuliaan Tanaman adalah rangkaian kegiatan untuk mempertahankan kemurnian, jenis, dan/atau varietas tanaman yang sudah ada atau menghasilkan jenis dan/atau varietas tanaman baru yang lebih baik.

9. Penyelenggara Pemuliaan adalah orang perseorangan, badan usaha, badan hukum atau instansi pemerintah yang menyelenggarakan serangkaian kegiatan penelitian dan pengujian atau kegiatan penemuan dan pengembangan suatu varietas.
10. Tim Penilai Varietas Perkebunan yang selanjutnya disingkat TPV Tanaman Perkebunan adalah tim yang mempunyai tugas memberikan saran rumusan prosedur pengujian, penilaian, pelepasan dan penarikan Varietas Perkebunan.
11. Pusat Perlindungan Varietas Tanaman dan Perizinan Pertanian yang selanjutnya disebut PPVTPP adalah unit kerja Eselon II di lingkungan Kementerian Pertanian yang mempunyai tugas melaksanakan pengelolaan perlindungan dan pendaftaran varietas tanaman, serta pelayanan perizinan dan rekomendasi teknis pertanian.
12. Direktur Jenderal adalah pejabat pimpinan tinggi madya di lingkungan Kementerian Pertanian yang mempunyai tugas pembinaan komoditas perkebunan.
13. (1) Untuk menjamin mutu Varietas Perkebunan yang akan diproduksi dan diedarkan, Varietas Perkebunan harus dilakukan pelepasan oleh Menteri.
14. (2) Pelepasan Varietas Perkebunan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) merupakan Varietas Perkebunan hasil pemuliaan atau introduksi.

2.1.3.1. Tata Cara Pengujian Keunggulan :

Prosedur pemuliaan dalam pembentukan varietas disesuaikan dengan sistem reproduksi dan daur hidup tanaman. Terdapat 11 (sebelas) tipe varietas bisa diciptakan melalui prosedur pemuliaan dan metode seleksi yang diterapkan yaitu varietas :

1. Galur murni untuk tanaman semusim yang menyerbukan sendiri yang dihasilkan melalui penggaluran dan seleksi galur terbaik sebagai calon varietas. Seleksi galur murni juga sangat sesuai diterapkan untuk pemurnian varietas lokal.
2. Hibrida melalui pengujian daya gabung antar galur pada tanaman semusim dan daya gabung antar populasi pada tanaman tahunan.
3. Klon untuk tanaman perbanyak vegetatif atau tanaman perbanyak generative yang mudah diklonkan.

4. Populasi bersari bebas (PBB) untuk perbaikan populasi varietas lokal tanaman tahunan menyerbuk silang melalui seleksi masa dalam pemilihan pohon induk
5. PBB Komposit bila terdapat sejumlah populasi terpilih dari tanaman semusim atau tahunan menyerbuk silang yang berbeda latar belakang genetik dapat digabungkan membuat PBB baru yang lebih baik.
6. PBB Sintetik untuk tanaman semusim atau tahunan yang memiliki beberapa populasi terpilih atau galur berbeda yang sudah teruji baik daya gabungannya satu sama lain.
7. Semiklon untuk perbaikan keseragaman hibrida antar populasi pada tanaman tahunan.
8. Biklon untuk keseragaman lebih baik hibrida antar populasi pada tanaman tahunan.
9. Mutan untuk memanfaatkan adanya perubahan karakter tertentu yang bernilai ekonomi pada varietas tanaman semusim atau tahunan.
10. Multilini untuk menciptakan kultivar dengan ketahanan horizontal dengan membentuk galur-galur isoline pada tanaman semusim.
11. Poliklon pada tanaman tahunan dengan tujuan untuk memperoleh benih Komposit atau Sintetik di kebun benih dan/atau untuk perbaikan mutu hasil dan ketahanan (Organisme Pengganggu Tumbuhan) OPT di pertanaman. Prosedur pengujian keunggulan.

Tabel 3. Kriteria Pengujian Keunggulan Tanaman Perkebunan

Tipe Varietas	Komoditas	Prosedur Pemuliaan dan Pengujian		Wujud Benih Hasil pemuliaan	
		Metode Pemuliaan	Metode Uji Keunggulan	Benih Sumber	Benih Edar
Hibrida	Kelapa Sawit (DxP)	Seleksi berulang dalam populasi dura dan populasi pisifera (<i>recurrent selection</i>) dilanjutkan dengan pengujian projeni (DxP) terhadap semua calon pohon induk dengan rancangan silang terkoneksi (<i>connected mating design</i>).	Pengujian projeni (DxP) terhadap calon pohon induk dura dan Pisifera. Penilaian keunggulan berdasarkan nilai daya gabung (<i>breeding value</i>) untuk karakter utama yang diinginkan.	Pohon induk dura dan pohon bapak Pisifera terpilih.	F1 dari persilangan dura dengan Pisifera terpilih (DxP)

Sumber : Permentan RI no. 19 tahun 2021

2.1.4. Bahan Tanaman Unggul Kelapa Sawit

Benih dalam sudut pandang agronomi adalah fase awal dari siklus kehidupan tumbuhan yang digunakan sebagai bahan perbanyakan. Sudut pandang genetik, benih adalah *chimera* yang berasal dari bakal biji yang telah dibuahi. Benih kelapa sawit unggul umumnya merupakan persilangan dari kelapa sawit tipe buah Dura dan Pisifera (DxP) yang kemudian disebut Tenera (T) (Setiawan, 2017). Benih kelapa sawit terdiri dari cangkang yang keras tersusun dari lignoselulosa dan kernel. Lignoselulosa terdiri dari tiga komponen utama, yaitu lignin, selulosa, dan hemiselulosa (Hadi *et al.*, 2017). Kernel terdiri dari endosperma yang keras dan berminyak, berwarna putih ke abu-abuan, dan diselimuti testa berwarna hitam gelap yang diselimuti jaringan serat. Embrio menempel pada endosperma dan terletak pada lubang berkecambah (Corley dan Tinker, 2016).

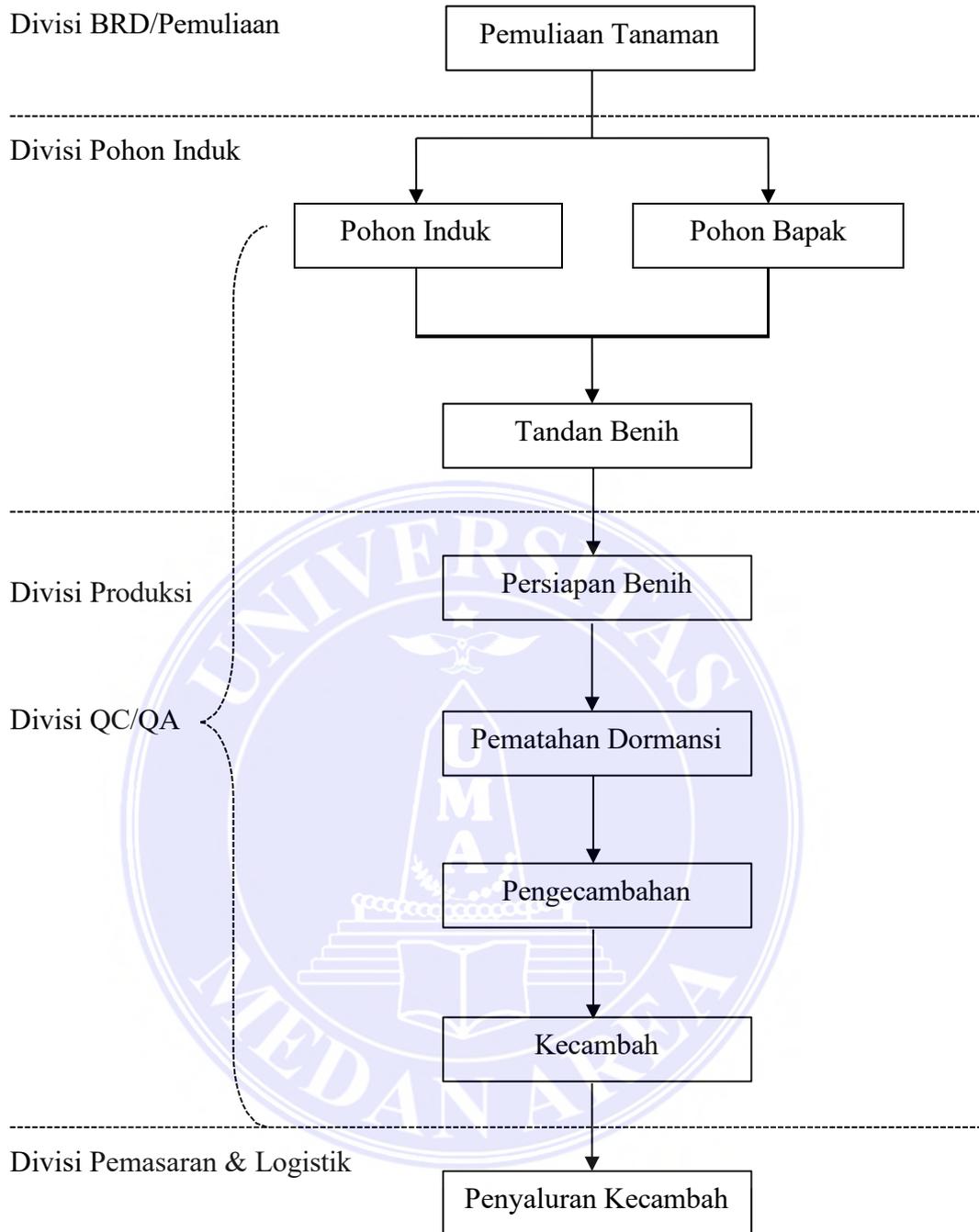
Sebagai salah satu modal dasar industri perkebunan, bahan tanaman kelapa sawit berperan dalam menentukan keberhasilan suatu usaha perkebunan. Sinergi antara pengelolaan bahan tanaman unggul dan perlakuan kultur teknis yang benar akan membawa usaha suatu perkebunan kepada pencapaian hasil yang optimal (Mawardati, 2017). Hal ini dapat dimengerti bahwa pengelolaan bahan tanaman kelapa sawit yang baik dan benar, sejak pemesanan hingga ke penanaman di lapang, akan memberikan jaminan bagi kepastian produksi. Melalui perlakuan kultur teknis sesuai standar, seluruh potensi yang dimiliki oleh bahan tanaman akan dapat diperoleh (Lubis, 2008; Pahan, 2010). Guna mendukung upaya pengelolaan bahan tanaman secara baik dan benar diperlukan informasi yang lengkap mengenai karakter bahan tanaman dan strategi dalam pengelolaannya.

Produksi benih terbaik membutuhkan praktik pertanian dan manajemen tanaman yang baik. Praktik-praktik agronomis pada kelapa sawit secara umum juga digunakan untuk kebun induk benih. Produsen benih perlu memerhatikan praktik hulu mulai dari persiapan lahan, pengolahan lahan, pemilihan material tanam, praktik pemuliaan, pembibitan, hingga praktik hilir seperti *marketing* (McDonald dan Copeland 1997; Yabani *et al.*, 2023).

Tujuan dari pemulia kelapa sawit ialah untuk memaksimalkan produksi kelapa sawit dan menghasilkan varietas kelapa sawit sesuai keinginan pasar (Lestari *et al.*, 2019; Amiruddin *et al.*, 2023). Selain itu tipe buah, komponen minyak,

karakter vegetatif, ketahanan terhadap penyakit dan stres tertentu menjadi kriteria pemulia kelapa sawit dalam merakit dan menyeleksi varietas (Corley dan Tinker 2016). Proses produksi benih dimulai dari memisahkan dan mengontrol persilangan dari lini tetua, pemanenan tandan, membuang *mesocarp*, dan memindahkan benih yang belum dikecambahkan ke fasilitas produksi benih. Proses produksi benih dimulai dari kebun induk kelapa sawit melalui proses isolasi, polinasi buatan, dan pemanenan. Proses isolasi, polinasi, dan panen tandan buah polinasi pada kelapa sawit dijelaskan oleh Kelanaputra *et al.*, (2018).

1. Isolasi dilakukan pada bunga untuk mencegah kerusakan. Bunga harus diberi perlakuan insektisida untuk mencegah serangga mengontaminasi bunga. Kantung pembungkus khusus yang memiliki jendela transparan digunakan untuk memonitor perkembangan bunga. Sebelum diisolasi dilakukan inspeksi pada pokok-pokok seleksi untuk mengetahui bunga mana yang siap diisolasi. Bunga yang telah siap diisolasi dibuang seludang pembungkusnya dan disemprot insektisida untuk mencegah kontaminasi. Setelah itu bunga dibungkus dengan kantung pembungkus hingga pangkal tangkai bunga dan diikat dengan tali karet. sepuluh hari waktu yang dibutuhkan untuk bunga dapat mekar. Jika bunga mekar sebelum 10 hari, maka bunga dimusnahkan, dikhawatirkan polen liar telah menyerbuki bunga.
2. Mekarnya bunga betina diawasi lewat jendela transparan pada kantung pembungkus bunga. Sebelum dipolinasi area sekitar kantung isolasi bunga harus steril dari serangga yang dapat membawa polen liar. Polen biasanya dicampur dengan bedak untuk memperluas areal penyebaran polen di dalam kantung. Campuran polen dan bedak ini semprotkan ke bunga yang reseptif menggunakan tabung steril dan pipet. Kantung isolasi di guncangkan agar polen menyebar ke seluruh bunga. Label kemudian dipasang menunjukkan tanggal polinasi dan genotipe tetuanya. Kantung isolasi akan dilepas ketika buah mulai muncul. *Blank pollination* menjadi *quality control* dari polinasi untuk menguji kualitas pekerjaan polinator dan menilai apakah ada kontaminasi yang berakibat terbentuknya buah.
3. Tandan buah dapat dipanen lebih kurang 130-160 hari setelah polinasi dengan buah berwarna kemerahan atau setelah buah telah memberondol.



Gambar 6. Alur Pengadaan Bahan Tanaman Unggul PPKS

Benih yang baik adalah benih penghasil tanaman yang bermutu, berproduksi tinggi dan memiliki sifat sekunder yang baik atau unggul serta telah dilepas pemerintah secara resmi (Lubis, 1993; 2008; Kelanaputra *et al.*, 2018). Pada UU No. 12 tahun 1992 tentang Sistem Budidaya Tanaman dikatakan bahwa benih bermutu jika varietasnya benar dan murni serta mempunyai mutu genetis, mutu fisiologis dan mutu fisik yang tinggi sesuai dengan standar mutu pada kelasnya.

Lubis (2008); Setiawan, (2017) dan Kelanaputra *et al.*, (2018) menyatakan bahwa pengertian dilepas pemerintah adalah pernyataan diakuinya suatu hasil pemuliaan menjadi varietas unggul dan dapat disebarluaskan setelah memenuhi persyaratan yaitu silsilah, metode pemuliaan, hasil uji adaptasi rancangan dan analisa percobaan, serta kesediaan benih dari varietas yang bersangkutan pada saat dilepas. Untuk kelapa sawit, varietas yang baik atau unggul yaitu :

- Berasal dari pemuliaan serta telah diuji pada berbagai kondisi.
- Tersedia sebagai bahan tanaman dalam jumlah yang dibutuhkan.
- Umur genjah.
- Memiliki produksi dan kualitas minyak yang tinggi.
- Respon terhadap perlakuan yang diberikan.
- Memiliki umur ekonomis cukup panjang (25 – 30 tahun).
- Tahan terhadap hama penyakit dan toleran terhadap lingkungan (ekologi).
- Benih tersebut dihasilkan oleh Pusat Sumber Benih kelapa sawit yang resmi ditunjuk pemerintah.

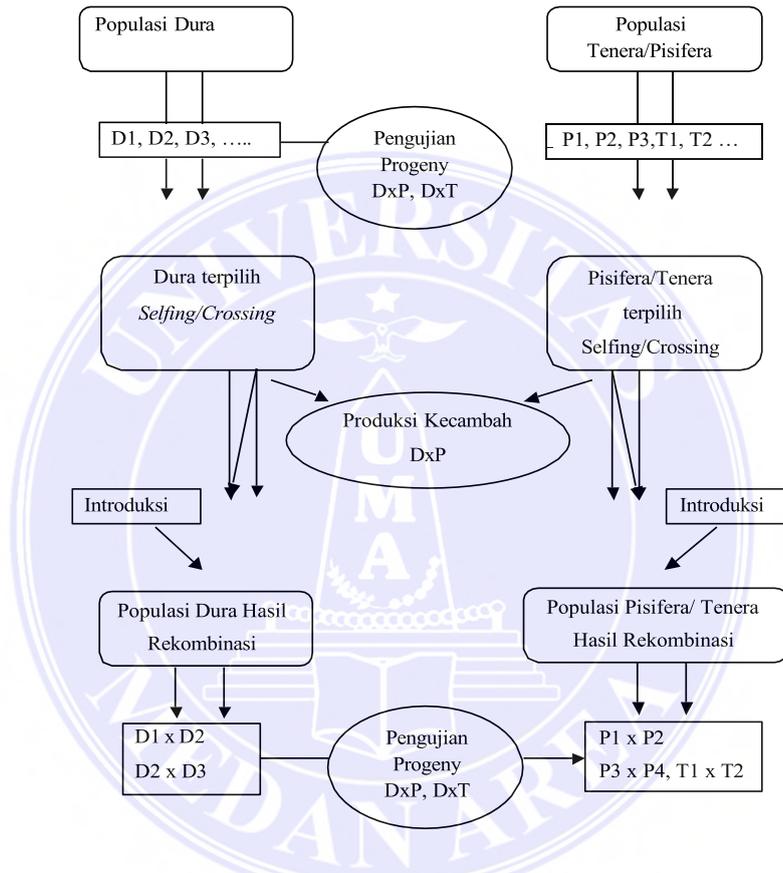
Tabel 4. Standar Nasional Indonesia (SNI) Benih Kelapa Sawit Unggul

Kriteria seleksi	Keterangan
Produksi TBS	200 Kg/phn/thn
	± 28 Ton TBS/ha/thn
Palm product (CPO + PKO)	>6 ton/ha/thn
Rendemen industri (IER)	>23%
Pertumbuhan meninggi	<85 cm/thn

Bahan tanaman yang dipergunakan adalah kecambah yang dikeluarkan oleh produsen benih yang ditunjuk oleh pemerintah, salah satunya adalah Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS). Varietas yang dikeluarkan adalah hibrida F1 yang berasal dari persilangan Dura dengan Pisifera (D x P), yang disebut juga varietas Tenera. Potensi produksi varietas ini mencapai 6,8 - 8,9 ton CPO/ha/tahun, dengan rendemen minyak mencapai >24% (Kelanaputra *et al.*, 2018; Lestari *et al.*, 2019).

Bahan tanaman kelapa sawit dihasilkan melalui proses pemuliaan (seleksi) yang panjang dan berkesinambungan. Untuk menghasilkan bahan tanaman kelapa sawit unggul digunakan dua prosedur seleksi, yaitu *reciprocal recurrent selection (RRS)* dan *family and individual palm selection (FIPS)*. Pada setiap prosedur seleksi melibatkan dua populasi dasar, yaitu populasi dura dan populasi

tenera/pisifera. Proses seleksi dilakukan melalui pengujian persilangan di antara dua populasi tersebut. Persilangan terbaik dari hasil pengujian tersebut untuk selanjutnya direproduksi guna kepentingan produksi bahan tanaman. Secara umum, dalam setiap prosedur seleksi dilakukan beberapa tahapan kegiatan, mencakup pembangunan populasi dasar, tahap evaluasi, tahap seleksi, dan tahapan rekombinasi untuk pembangunan populasi yang baru.



Gambar 7. Skema umum tahap kegiatan pemuliaan kelapa sawit dengan metode RRS

Proses pemuliaan yang panjang yang dilakukan PPKS telah menghasilkan beberapa Varietas antara lain : DXP AVROS, DXP Bah Jambi, DXP Dolok Sinumbuh, DXP La Me, DXP Yangambi, DXP Sungai Pancur 1, DXP Sungai Pancur 2, DXP Langkat, DXP Simalungun, DXP PPKS 540, DXP PPKS 718, DXP PPKS 239 dan varietas moderat ganoderma DXP PPKS 540 NG (PPKS, 2023).

Metode persilangan DXT ini dilakukan untuk menguji atau menilaikan induk D dan T berdasarkan penampilan projeni di lapang. Dengan demikian ada dua populasi yang digunakan sebagai induk, yaitu populasi pohon dura (D) sebagai

induk betina dan populasi pohon tenera (T) sebagai induk jantan (sumber serbuk sari). Awalnya, dilakukan seleksi berdasarkan fenotipe atau penampilan pada kedua induk D dan T. Setelah itu, induk terpilih D dan T disilangkan untuk menghasilkan hibrida DxT, kegiatan tersebut masih pada siklus 0 (S0). Secara simultan atau pada saat yang bersamaan, dilakukan persilangan DxD baik *selfing* (sendiri), *sibbing* (saudara tiri) maupun *crossing* (beda famili) dari pohon yang sudah terpilih jadi induk. Begitu juga untuk pohon induk T dilakukan persilangan TxT sama dengan yang dilakukan pada DxD. Jika persilangan hibrida DxT pada siklus 0 sudah ada penampilan projeni yang menampakan produksi tinggi maka perlu dicatat secara detail induk D dan T yang menghasilkan projeni dengan produksi tinggi tersebut. Kemudian dari famili induk T yang terseleksi ini, dilakukan verifikasi atau pengecekan untuk mendapatkan pohon pisifera (P). Pohon P yang berasal dari famili yang sama dengan pohon induk T yang terpilih langsung dijadikan sebagai pohon jantan untuk sumber serbuk sari. Selanjutnya, pohon induk D dan T yang terpilih dilakukan silang sendiri lalu disilangkan lagi untuk mendapatkan siklus 1 (S1). Begitu seterusnya sehingga peningkatan produksi setiap siklus mulai S0, S1, S2 dan seterusnya akan terlihat pada evaluasi di lapang.

Kondisi lain misal, untuk pohon induk D dan T yang sudah terpilih lalu disilangkan dengan famili lain (*outcrossing*) akan dinyatakan dengan siklus 1 dan masih perlu dievaluasi lagi untuk mendapatkan induk unggul berdasarkan uji projeni yang berpenampilan produksi tinggi di lapang. Setelah mendapatkan data tentang induk unggul berdasarkan penampilan projeni, maka kedua induk unggul ini dilakukan persilangan sendiri. Berdasarkan ini, maka evaluasi penampilan kedua induk D dan T hasil *selfing* perlu dilakukan yang kemudian dilakukan persilangan hibrida DxT untuk menilaikan kedua induk betina dan jantan. Perbanyak pohon induk D dan T (yang sudah terpilih) hasil dari *selfing* (sendiri), *sibbing* (saudara tiri) yang telah dilakukan bisa digunakan sebagai induk untuk menghasilkan benih unggul, yaitu persilangan DxP yang digunakan sebagai benih hibrida. Jika hasil dari persilangan DxT yang *outcrossing*, mampu menghasilkan projeni dengan produksi tinggi maka pohon P hasil silang sendiri induk T tersebut bisa digunakan serbuk sarinya untuk menghasilkan hibrida komersial DxP. Dengan demikian, pohon induk pisifera dari famili pohon tenera disilangkan dengan induk dura yang

sudah terpilih akan menghasilkan hibrida, yaitu DxP untuk dijadikan benih unggul DxP. Begitu selanjutnya, dilakukan persilangan sendiri atau saudara tiri untuk perbanyak pohon induk digunakan uji projeni pada siklus berikutnya. Persilangan sendiri atau saudara tiri ini akan mengakibatkan timbulnya *inbreeding depression* atau tekanan akibat proses inbreeding. Penampakan vegetatif tanaman yang berkali-kali dilakukan silang sendiri atau saudara tiri akan cenderung kurang vigor pertumbuhannya. Namun, sifat genetik tanaman hasil silang sendiri atau saudara tiri lebih homozigot atau inbred. Jika dilakukan persilangan antara induk-induk yang inbred ini maka hasil persilangan hibrida DxP akan berpenampilan jauh lebih baik dibandingkan dengan kedua induknya karena faktor heterosis. Perlu digarisbawahi bahwa hasil persilangan sendiri atau saudara tiri TxT akan menghasilkan projeni dengan rasio fenotipe sebagai berikut : 25% D : 50% T : 25% P. Pisifera inilah yang bisa dijadikan sebagai pohon induk jantan untuk sumber serbuk sari dan disilangkan dengan dura untuk benih unggul hibrida DxP.

Metode persilangan DxP ini dilakukan untuk menguji atau menilaikan induk D dan P berdasarkan penampilan projeni di lapang. Metode ini banyak dilakukan di Indonesia dan Malaysia untuk menilaikan atau menguji induk dura dan pisifera (Amiruddin *et al.*, 2023). Seleksi awal dilakukan berdasarkan data fenotipe terhadap karakter vegetatif dan generatif yang didapat dari induk dura (DxD) dan tenera (TxP). Setelah mendapatkan karakter yang diinginkan pada famili dura dan famili tenera tersebut maka dilakukan persilangan sendiri atau saudara tiri. Setelah kegiatan seleksi untuk sifat yang diinginkan, seperti penambahan tinggi batang rendah, tanaman sehat tidak ada gejala defisiensi hara, produksi tandan tinggi dan besar, analisis minyak tinggi, dan komponen buah tinggi maka dilakukan persilangan DxP untuk evaluasi di lapang maka juga dilakukan persilangan sendiri atau saudara tiri DxD maupun TxT pada saat yang bersamaan (simultan).

Pohon pisifera yang digunakan adalah pohon pisifera yang berasal dari famili yang sama dengan pohon tenera yang terseleksi. Ada dua cara pengujian apakah pohon dari persilangan TxT itu pisifera atau bukan, yaitu :

1. Pemotongan buah berondolan secara melintang, jika ditemukan inti tanpa cangkang maka pohon tersebut adalah pisifera. Cara lain yaitu pengambilan buah berondolan yang sudah lunak daging buahnya lalu diremas dengan

jari-jari tangan jika menemukan inti yang kecil warna putih dan keras maka pohon tersebut adalah pisifera.

2. Pemeriksaan pohon pisifera yang berasal dari TxT bisa dilihat terutama kondisi fisik bunga, seperti banyak tandan buah yang mengalami aborsi (gugur) dan tidak berhasil membentuk buah. Jika pohon tersebut menghasilkan buah maka banyak buah yang partenokarpi, yaitu pembesaran buah tanpa hasil peleburan sel telur dan sel kelamin jantan. Pohon yang menghasilkan buah partenokarpi ini bunga jantannya bisa dipanen lalu diproses untuk diambil serbuk sarinya. Serbuk sari dari pohon tersebut digunakan untuk disilangkan dengan bunga betina dari pohon D yang kemudian ditanam di lapang. Jika hasil persilangan tersebut ini sudah menghasilkan buah maka segera buah berondolan dipotong melintang untuk dilihat ukuran cangkangnya. Jika secara visual menghasilkan cangkang tipis berarti serbuk sari dari pohon yang diduga pisifera ini langsung dikonfirmasi bahwa pohon tersebut pisifera. Untuk perbanyak pohon pisifera, maka pohon yang sudah dikonfirmasi untuk sumber serbuk sari segera dilakukan persilangan TxP baik sibbing maupun *outcrossing*.

Bunga tandan dari tanaman dura hasil selfing atau sibbing disilangkan dengan serbuk sari dari pohon pisifera (hasil dari TxT) yang kemudian hasil persilangan DxP tersebut ditanam di lapang sebagai siklus 0. Projeni yang ditanam tersebut akan digunakan untuk mengevaluasi pohon induk dura dan pisifera untuk bisa dijadikan sebagai induk. Jika penampakan projeni setelah dievaluasi menunjukkan keragaan (performan) yang unggul maka tetua dari projeni tersebut bisa digunakan sebagai induk. Selanjutnya, pohon induk dura yang terseleksi sebagai induk dilakukan persilangan sendiri atau sibbing lalu disilangkan dengan pisifera yang sudah terseleksi maka persilangan DxP merupakan siklus 1. Persilangan DxP siklus 1 ini dilakukan evaluasi lalu diseleksi berdasarkan penampakan unggul dim lapang. Kondisi ini bisa berlanjut terus berdasarkan evaluasi dan seleksi penampakan terbaik dari yang terbaik lalu persilangan DxP merupakan siklus 2 dan seterusnya.

Peningkatan keragaman genetik untuk induk D maupun T dari TxP ataupun TxT sangat diperlukan agar proses seleksi mampu mengeksplorasi karakter yang ada di kedua induk bisa maksimum. Keragaman genetik bisa dilakukan dengan

melakukan persilangan yang berlainan latar belakang genetik satu dengan yang lainnya. Hasil persilangan induk-induk D dan P tersebut yang sudah mempunyai latar belakang genetik berbeda sangat berpotensi untuk dijadikan sebagai induk-induk baru. Namun, beberapa tahapan persilangan dan seleksi masih perlu dilakukan untuk mendapatkan induk-induk yang relatif homogenus. Jika induk-induk sudah relatif homogenus dari hasil persilangan sendiri atau saudara tiri maka induk-induk tersebut bisa digunakan untuk menghasilkan benih hibrida unggul DxP. Selanjutnya, induk-induk yang relatif homogenus tersebut bisa juga disilangkan dengan famili lainnya untuk perbaikan sifat yang diinginkan.

Evaluasi individu pohon yang akan dijadikan induk perlu dilakukan baik itu untuk induk D maupun T begitu juga untuk induk P. Evaluasi yang dilakukan biasanya meliputi pertumbuhan vegetatif seperti :

1. Pengukuran penambahan tinggi batang, yaitu dengan cara mengukur tinggi batang dari permukaan tanah hingga pelepah ke 17. Pengukuran ini mulai dilakukan minimum 2 tahun sekali pada tanaman yang berumur 6 tahun setelah tanam (TST) hingga 18 atau 20 TST. Rumus pengukuran penambahan tinggi batang (PTB) per tahun adalah :

$$PTB = \{Tinggi\ batang\ umur\ 6\ TST\ (cm)\} / (6-2)\ \text{tahun.}$$

2. Pengukuran panjang pelepah, yaitu mengukur pelepah mulai dari pangkal pelepah yang menempel pada batang hingga ujung daun dengan satuan cm. Pelepah tanaman sawit terdiri atas panjang rachis dan panjang petiol. Panjang rachis diukur mulai dari duri rachis awal hingga ujung daun pelepah (yang tidak membuka). Selanjutnya panjang petiol diukur mulai dari pangkal pelepah hingga duri rachis.
3. Pertambahan jumlah pelepah per tahun, diukur dengan cara, yaitu memberi tanda cat (biru) pada pelepah ke 17 pada kondisi ini (saat ini). Kemudian satu tahun lagi, penandaan cat biru pada pelepah yang ke 17 dilakukan lagi. Sehingga ada dua tanda biru pada pelepah yang nantinya akan dihitung berapa jumlah pelepah antara pelepah ke 17 yang diberi tanda biru pertama kali dan tanda biru pelepah ke 17 yang berikutnya. Cara lain yang serupa adalah dengan memberi tanda cat biru pada pelepah pertama (yang sudah membuka penuh)

pada tahun (saat) ini. Kemudian satu tahun berikutnya penandaan cat biru dilakukan pada pelepah ke 1 yang membuka penuh. Pertambahan jumlah pelepah dihitung berdasarkan perhitungan jumlah pelepah antara ke dua tanda biru tersebut, yaitu pelepah ke 1 yang diberi tanda biru pada awalnya dan pelepah ke 1 yang diberi tanda biru berikutnya.

Evaluasi individu untuk variable generatif juga dilakukan, biasanya pada saat tanaman sawit berbuah awal atau berumur 6 TST. Evaluasi variable generatif yang dilakukan biasanya meliputi:

1. Jumlah tandan per pohon, yaitu menghitung jumlah tandan yang sudah dipanen dalam satu tahun. Jadi setiap kali dilakukan panen maka langsung dicatat jumlah tandan yang dipanen dalam satu pohon. Begitu seterusnya, sehingga jika rotasi panen dilakukan 10 hari sekali, maka pada pohon yang sama dihitung jumlah tandan yang dipanen dalam satu tahun. Pada satu plot percobaan biasanya ada 16 tanaman yang dihitung lalu jumlah tandan total dibagi dengan 16 yang dinamakan rata-rata jumlah tandan per plot projeni. Panen biasanya dilakukan menurut rotasi panen, yaitu ada yang 7, 8, 10 bahkan 14 hari sekali. Hal ini tergantung pada kondisi tanaman dan lingkungan.
2. Rata-rata bobot per tandan, atau disebut juga bobot janjang rata-rata, adalah total bobot tandan yang dipanen pada satu pohon dibagi dengan jumlah tandan yang dipanen.
3. Bobot tandan segar, yaitu menimbang bobot tandan buah segar (TBS) yang terlebih dulu dipotong tangkai tandan hingga dekat dengan dasar buah. Bobot TBS tersebut merupakan total tandan yang dipanen pada 16 sampel x bobot per tandan yang kemudian disetarakan dalam 1 hektare.
4. Bobot berondolan atau bobot buah, yaitu menimbang bobot buah yang sudah dilepas dari tandan dan spikelet. Kemudian sekitar 16 buah fertile (bukan buah partenokarpi) ditimbang dan dihitung rata-rata bobot per buah dengan cara membagi bobot 16 buah dengan 16.
5. Mesokarp, yaitu pengurangan dari bobot per buah dengan bobot biji. Bijinya diambil dengan cara merajang daging buah hingga terpisah antara biji dan daging buah.

6. Bobot kernel (inti) dan cangkang (kulit biji), yaitu biji yang sudah terpisah dengan buah sawit, dipanaskan sebentar pada suhu 110°C selama 24 jam. Kemudian biji ditumbuk dengan martir agar kernel dan cangkang bisa terpisah. Penimbangan kernel dan cangkang dilakukan karena kedua variable ini merupakan indikator kernel kecil maupun cangkang tebal.

Setelah karakter vegetatif dan generatif dievaluasi per pokok dalam setiap famili baik berasal dari famili dura, tenera (TxP), maupun projeni (DxT dan DxP) maka dilakukan seleksi berdasarkan sifat yang diinginkan. Pokok dari dura dengan karakter yang baik dan diinginkan, dipilih berdasarkan kriteria vegetatif dan generatif. Ada tiga tahapan utama yang biasanya dijadikan dasar untuk mendapatkan pohon baik famili dura, tenera (TxP), maupun projeni (DxT dan DxP), yaitu:

1. Evaluasi dan seleksi fenotipe
2. Uji projeni dan produksi benih, dan 3. Perbaikan sifat (karakter) induk

Tabel 5. Karakteristik benih kelapa sawit PPKS

No	Grup (Kelompok)	Varietas	Rerata Jumlah Tandan	Rerata TBS	Potensi TBS	Rendemen	Potensi CPO	Pertumb. Meninggi	Panjang Pelepah
			(tandan/ph/ thn)	(ton/ha/ thn)	(ton/ha/ thn)	(%)	(ton/ha/ thn)	(cm/thn)	(meter)
1	Dumpy	Dy x P Dumpy	8,0	28,0	32	26,0	7,5	40-55	6,20
2	SP540	DxP AVROS	12,0	27,0	30	26,0	7,8	70-80	6,08
		DxP Simalungun	13,0	28,4	33	26,5	8,7	75-80	5,47
		DxP PPKS 540	14,1	27,5	33	29,9	9,6	72	5,47
3	Yangambi	DxP Yangambi	13,0	28,0	39	26,0	7,5	60-70	6,09
		DxP PPKS 718	9,3	26,5	28	25,2	8,1	75	5,47
		DxP PPKS 239	15,3	32,0	38	25,8	8,4	62-75	6,50
4	Langkat	DxP Langkat	12,5	27,5	31	26,3	8,3	60-70	5,31

Bila ditinjau dari karakter pertumbuhan meningginya, bahan tanaman yang diproduksi PPKS memiliki rentang pertumbuhan meninggi yang beragam. Keragaman ini membawa beberapa konsekuensi dalam penanganannya. Konsekuensi tersebut antara lain perlunya pengelompokan bahan tanaman di lapang agar setiap varietas dapat mengekspresikan seluruh potensinya. Pengelompokan varietas ini hendaknya dilakukan sejak awal penanganan, seperti di pembibitan hingga saat penanaman di lapang. Pencampuran beberapa varietas dengan karakter

yang berbeda pada suatu hamparan akan menimbulkan beberapa permasalahan, seperti terjadinya kompetisi antar tanaman serta kesulitan dalam pelaksanaan pemungutan hasil dan kegiatan kultur teknis lainnya, seperti penunasan.

Kompetisi antar tanaman dapat terjadi bila bahan tanaman yang berbeda secara genotip dan fenotip ditanam pada areal yang sama (Syamsuddin *et al*, 1994; Lubis, 2008). Tingkat kompetisi antar individu tanaman sangat erat kaitannya dengan tingkat produksi yang diperoleh, baik produksi per individu tanaman maupun kumulatif dari suatu luasan lahan tertentu. Persaingan terjadi dalam hal penggunaan cahaya matahari, unsur hara, dan ruang tumbuh. Faktor penentu yang sangat berpengaruh dalam kemampuan bersaing pada setiap individu tanaman adalah kecepatan pertumbuhan meninggi dan rentang kanopi tanaman. Hal ini dapat dimengerti bahwa pencampuran bahan tanaman dengan laju pertumbuhan meninggi yang berbeda akan membawa dampak kepada penurunan produksi akibat efek naungan dan etiolasi dari tanaman yang berkompetisi. Efek naungan terjadi karena tanaman dengan laju pertumbuhan meninggi yang cepat akan menghambat perolehan cahaya matahari bagi tanaman yang pertumbuhannya cukup lambat. Untuk mengejar kebutuhan cahaya matahari, maka tanaman yang ternaungi akan beretiolasi.

Dampak persaingan antar tanaman dapat terlihat dari produksi tandan yang dihasilkan. Kompetisi dalam pemanfaatan cahaya dan unsur hara menyebabkan tanaman tidak optimal dalam mengekspresikan potensinya. Pada areal dengan tingkat kompetisi yang tinggi, tanaman kelapa sawit cenderung untuk menghasilkan bunga jantan, yang berakibat kepada penurunan jumlah tandan yang dapat dipanen (Lubis, 2008; Corley dan Tinker, 2016). Efek etiolasi yang menyebabkan tajuk tanaman cenderung tegak akan menghambat perkembangan tandan. Kompetisi dalam hal ruang tumbuh menyebabkan aerasi udara kurang baik yang mendorong timbulnya serangan penyakit.

Penggabungan beberapa varietas kelapa yang memiliki perbedaan karakter pertumbuhan meninggi pada satu hamparan pertanaman juga akan menyulitkan dalam kegiatan pemungutan hasil. Ketidakteraturan tinggi tanaman pada suatu blok pertanaman akan mengurangi kecepatan pekerja untuk memungut hasil. Dari

segi estetika, satu hamparan dengan berbagai karakter tinggi tanaman akan menimbulkan kesan yang kurang baik.

Pengelompokan bahan tanaman sesuai dengan karakternya akan mempermudah para praktisi kebun untuk menilai tingkat produktivitas suatu bahan tanaman secara obyektif. Bila ditemukan beberapa hal yang membawa dampak terhadap kerugian akan mudah untuk dideteksi. Selama ini banyak kesulitan yang dialami oleh produsen benih, khususnya PPKS, untuk mengevaluasi bahan tanaman yang digunakan oleh pihak kebun karena telah terjadi pencampuran antar varietas (Lubis, 2008; PPKS, 2023).

Tabel 6. Karakter Vegetatif dan Cara Pengamatannya

No	Karakter vegetatif	Cara pengamatan
1	Tinggi tanaman	Menggunakan egrek yang panjangnya sudah ditandai. Pengukuran tinggi dilakukan dari permukaan tanah (pangkal batang) sampai pangkal rachis.
2	Produksi daun	Menghitung pertambahan jumlah daun dari pertambahan jumlah daun dari pengamatan sebelumnya.
3	Jumlah daun	Menghitung jumlah pelepah yang ada saat pengamatan dengan menghirung jumlah spiral daun kelapa sawit kemudian dikalikan delapan.
4	Panjang pelepah	Mengukur dari anak daun rudimenter paling bawah sampai daun yang paling atas.
5	Jumlah anak daun	Menghitung jumlah anak daun pada salah satu sisi pelepah daun ke-17.
6	Diameter batang	Menggunakan meteran, pengukuran dilakukan satu meter di atas permukaan tanah.
7	Lebar dan panjang petiole	Menggunakan caliper (jangka sorong).

Pengelompokan bahan tanaman, baik di pembibitan maupun di lapang, akan memudahkan sistem evaluasi dan rekomendasi. Pihak produsen akan mengetahui kelemahan dan kelebihan bahan tanaman yang diproduksinya, sehingga proses perbaikan lanjutan akan lebih terarah. Bagi pihak konsumen, pengajuan klaim terhadap kualitas dan mutu bahan tanaman juga mudah dipertanggungjawabkan

dengan adanya sistem pengelompokan. Dengan demikian, sistem pengelompokan ini akan membawa dampak yang saling menguntungkan bagi kedua belah pihak.

Dalam rangka memberikan panduan bagi pihak pengguna dalam upaya pengelompokan bahan tanaman, PPKS telah mengeluarkan sistem pengelompokan bahan tanaman berdasarkan varietas dan laju pertumbuhan meninggi. Informasi mengenai karakter pertumbuhan meninggi pada masing-masing kelompok.

Tabel 7. Klasifikasi laju pertumbuhan meninggi

Kelas	Pertumbuhan meninggi (cm/tahun)
A	>80
B	70-80
C	60-70
D	<60

Sumber : Purba *et al.*, (1997) dan Lubis, (2008)

Peredaran benih kelapa sawit ilegal di masyarakat cukup banyak diperdagangkan bebas, yakni benih kelapa sawit yang tidak memenuhi aspek legalitas, karena selain diproduksi oleh lembaga/ perorangan yang tidak diakui oleh pemerintah dan tidak memenuhi syarat-syarat serta tatacara pelepasan varietas (Lestari *et al.*, 2019).

2.1.4.1. Pemahaman Dokumen Persilangan

Sebagai langkah awal dalam pengelolaan bahan tanaman PPKS secara benar, maka pihak-pihak yang akan terlibat sebaiknya perlu mengetahui seluruh dokumen bahan tanaman. Pemahaman terhadap dokumen persilangan sebaiknya dimiliki oleh berbagai tingkatan manajemen, mulai dari manajer (administratur) hingga asisten/mandor pembibitan dan lapangan. Pengetahuan mengenai dokumen persilangan akan membantu pihak pimpinan untuk mengontrol kegiatan, dan bagi para mandor/petugas lapangan, pengetahuan tersebut akan sangat membantu dalam mengalokasikan areal dan tenaga untuk menjalankan aktivitas pembibitan dan penanaman di lapang.

Dalam setiap penyaluran kecambah, PPKS selalu mengikutsertakan beberapa dokumen pendukung yang dijadikan sebagai pegangan dalam pengelolaan bahan

tanaman. Dokumen tersebut terdiri atas surat perintah penyerahan barang (DO), surat pengantar, dan daftar persilangan.

1. *Surat Perintah Penyerahan Barang (DO)*

Surat perintah penyerahan barang (DO) merupakan prasyarat bagi para konsumen untuk dapat mengambil pesanan bahan tanaman. Surat tersebut dikeluarkan oleh pihak pimpinan PPKS, yang berisi keterangan mengenai jumlah kecambah yang dipesan dan jumlah kecambah rafaksi serta nilai penjualan kecambah. Surat ini dapat dikeluarkan bila konsumen telah memenuhi beberapa kewajiban.

2. *Surat Pengantar*

Surat pengantar berfungsi sebagai bukti penyerahan bahan tanaman kepada pihak konsumen. Surat ini berisi informasi mengenai nama pemesan, jumlah kecambah, jenis persilangan, tanggal pengiriman, dan nomor peti.

3. *Daftar Persilangan*

Daftar persilangan merupakan dokumen yang memuat informasi tentang bahan tanaman yang akan dikirim kepada pihak konsumen. Dokumen daftar persilangan merupakan “ciri khas” dari bahan tanaman yang dikeluarkan oleh PPKS sebagai jaminan kepastian sumber asal persilangan. Pada daftar tersebut tercantum nomor penyerbukan, informasi tetua ibu dan bapak, jumlah kecambah, jumlah kantong, dan kelompok persilangan. Nomor penyerbukan merupakan identitas khusus dan spesifik bagi setiap persilangan, sebab setiap persilangan dipastikan memiliki nomor penyerbukan yang berbeda. Pada nomor penyerbukan ini tercantum kode tempat penyerbukan, nomor urut penyerbukan, dan tahun dilaksanakannya penyerbukan. Untuk mengetahui sumber asal bahan tanaman dapat diperoleh dari informasi tetua ibu dan tetua bapak. Pada setiap daftar persilangan selalu dicantumkan nomor pohon induk dan nomor pohon bapak. Hal ini dapat dijadikan sebagai landasan untuk menelusuri silsilah bahan tanaman tersebut.

Pada daftar persilangan juga dicantumkan informasi jumlah kecambah dan jumlah kantong kecambah untuk setiap persilangan. Pada setiap kantong berisi 150 butir kecambah. Bila suatu persilangan terdiri atas beberapa kantong kecambah, maka biasanya kantong tersebut dijadikan satu ikat.

Informasi lain yang sangat penting untuk dipahami oleh pihak pengguna adalah kode kelompok persilangan. Kode persilangan ini merupakan pegangan utama dalam upaya pengelolaan bahan tanaman. Setiap kode berisi dua pasang angka dan sebuah huruf. Pasangan angka tersebut menunjukkan orijin dan sub orijin pisifera yang digunakan sebagai tetua bapak.

2.1.4.2. Metode Penyimpanan Polen (Tepung Sari)

Selain menggunakan pohon induk dura (induk betina) elite di Pusat Penelitian Kelapa Sawit juga menggunakan pohon induk pisifera (induk jantan) elite. Pohon induk jantan inilah yang digunakan untuk menghasilkan bahan tanam yang berkualitas tinggi. Serbuk sari merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam produksi benih kelapa sawit sehingga ketersediaan dan viabilitasnya merupakan hal yang perlu dijaga (Lubis 1993; 2008).

Daya hidup serbuk sari dalam penyimpanan tergantung pada besarnya aktifitas fisiologi yang dapat di kurangi tanpa merusak serbuk sari tersebut. Bahwa kemampuan serbuk sari untuk bertahan dalam penyimpanan dan mempertahankan viabilitasnya berkorelasi positif dengan rata-rata respirasi dan perkembangan mitokondria. Hal tersebut berhubungan dengan status metabolisme serbuk sari dan penurunan aktifitas metabolisme yang mengindikasikan penurunan kemampuannya berkecambah. Pada umumnya serbuk sari dapat bertahan hidup lebih baik dalam kondisi kering. Penyimpanan serbuk sari di tempat yang lembab akan berakibat buruk karena pada saat tempat tersebut mudah terjangkit cendawan dan bakteri yang dapat menyebabkan serbuk sari mati (Kelanaputra *et al.*, 2018).

2.1.4.3. Viabilitas Polen

Pemanenan bunga jantan, pengamatan viabilitas polen diawali dengan pembungkusan bunga jantan yang muncul pada setiap pohon bapak terpilih. Setiap bunga jantan yang muncul pada pohon bapak (pisifera) diamati kemudian dilakukan pembungkusan dengan kantong pembungkus khusus (*Pollination bag*). Pembungkusan dilakukan minimal bunga jantan sudah pecah seludang 25%, selanjutnya tandan bunga jantan yang dibungkus diberi label identitas sesuai dengan identitasnya. Pemanenan serbuk sari dilakukan pada saat beberapa bunga sudah mulai mekar yang ditandai dengan sudah mulai terbukanya kelopak bunga

>75%. Pemanenan dilakukan pada jam 9-12 siang, selanjutnya tandan yang telah dipanen dibawa ke laboratorium tepung sari untuk selanjutnya dikondisikan pada ruangan ber-AC selama 3-4 jam. Pemanenan dilakukan pada jam 09.00-12.00 Wib. Pengumpulan tepung sari (polen) dilakukan dengan cara sebagai berikut : (1) tangkai tandan diletakkan di bagian atas, (2) kemudian dilakukan pemukulan kantong pembungkus tandan dengan menggunakan kayu tumpul dari segala arah, (3) tepung sari yang lepas dari spikelet kemudian ditampung dalam tabung plastik, (4) tabung plastik yang berisi tepung sari selanjutnya dilipat, di klip dan diolesi alkohol, (5) tepung sari di dalam tabung plastik selanjutnya diberi identitas sesuai identitasnya/kelompok (Lubis, 2008; Kelanaputra *et al.*, 2018).

Tahapan pengeringan yang dilakukan adalah sebagai berikut: (1) tepung sari yang telah dikumpulkan pada tahapan sebelumnya selanjutnya di masukkan dalam peti manipulasi yang dilengkapi dengan 2 buah lampu kwarz 1000 watt dengan suhu 105⁰C setelah disterilisasi selama 5 menit, (2) di dalam peti manipulasi kemudian tepung sari dicurahkan ke ayakan dengan ukuran 85-100 mesh serta diberi silika gel aktif sebanyak 10-20 gram di bagian bawah ayakan, (3) tepung sari hasil ayakan selanjutnya diplester bagian atasnya untuk selanjutnya ditampung di dalam wadah yang telah dilapisi kertas filter untuk selanjutnya disimpan di dalam freezer dengan suhu -18⁰C.

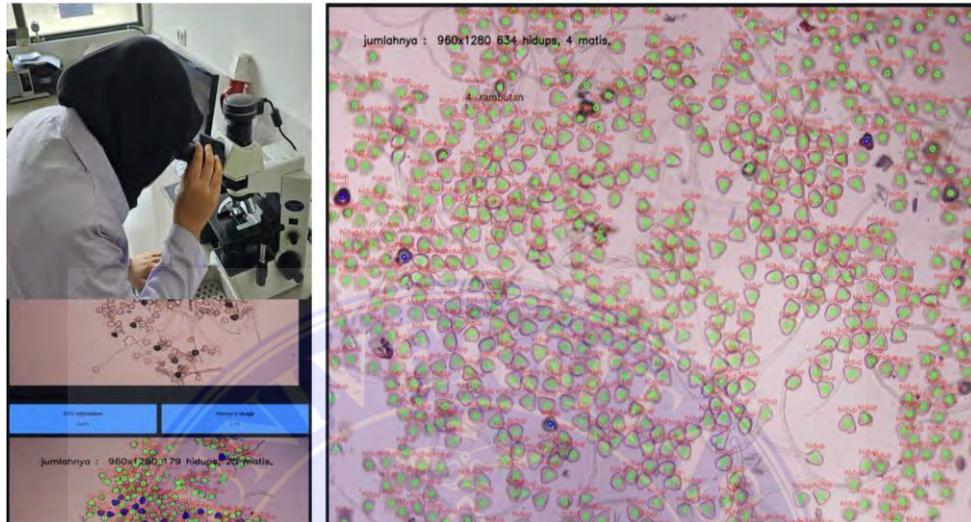
Pengujian viabilitas tepung sari, bahan yang digunakan untuk menguji viabilitas tepung sari adalah: 1) media pengecambahan/sucrose 8%; 2) Borax 15 ppm; dan 3) Aquades. Cara pengujiannya adalah sebagai berikut: (i) media dan tepung sari diletakkan pada dek gelas, (ii) kemudian dek gelas yang berisi tepung sari tersebut disimpan dalam oven dengan suhu 38⁰C selama 3-4 jam, (iii) setelah dipanaskan selanjutnya tepung sari tersebut diamati di bawah mikroskop yang meliputi jumlah kecambah tepung sari yang hidup dan mati, (iv) selanjutnya hitung nilai persentase kecambah tepungsari yang hidup. Tepung sari dikategorikan telah berkecambah apabila tabung polen yang terbentuk telah mencapai paling sedikit sama dengan panjang diameter polen. Perhitungan viabilitas polen adalah sebagai berikut :

Untuk mengetahui persentase viabilitas, digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Persentase viabilitas} = T / (T + M) \times 100\%$$

T = jumlah tepung sari yang tumbuh

M = jumlah tepung sari yang mati



Gambar 8. Uji viabilitas tepung sari

Penilaian dilakukan dalam dua tahap, bila pada pemeriksaan pertama diperoleh viabilitas >70% maka tepungsari dianggap baik dan tepung sari langsung disimpan. Apabila pemeriksaan pertama diperoleh viabilitas <70% maka dilakukan pemeriksaan kedua. Apabila rerata hasil pemeriksaan pertama dan kedua diperoleh viabilitas >70% maka tepung sari dianggap baik namun bila hasilnya <70% maka tepung sari harus diafkir.

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui kadar air tepung sari apakah layak digunakan dalam penyerbukan. Bila kada air diatas 4% maka tepung sari tidak dapat digunakan untuk penyerbukan dan harus diafkir. Untuk penyerbukan setiap unit tepung sari dimasukkan ke dalam botol serbuk yang berisi tepung talkum sebanyak 4 gram, kemudian tepung sari dan talkum dicampurkan/diaduk. Talkum yang digunakan harus kering. Pencampuran dilakukan di dalam peti manipulasi. Lobang pipa botol serbuk ditutup solatip agar tepung sari tidak keluar atau terkontaminasi. Pencampuran dan pembotolan tepung sari dilakukan pada pagi hari dan harus sudah selesai pada pada pukul 08.00-09.00 Wib agar siap digunakan pada proses penyerbukan.

2.1.4.4. Keberhasilan Penyerbukan

Tandan buah kelapa sawit yang dipanen dapat menggambarkan proses penyerbukan yang terjadi pada 4,5–6 bulan sebelumnya dan keadaan nutrisi selama proses perkembangan buah. Penyerbukan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan polen dengan viabilitas yang tinggi dan kecukupan populasi serangga penyerbuk *Elaeidobius kamerunicus* untuk perkebunan komersil. Penelitian sebelumnya mengkaji dua kelompok tanaman dengan kondisi fisik yang berbeda yaitu tanaman jagur dan tanaman kurus. Kajian dilakukan masing-masing pada tanaman tahun tanam 2000, 2006, dan 2010 (Susanto *et al.*, 2020). Pengamatan meliputi penghitungan nilai *fruit set* dan *fruit to bunch* tandan kelapa sawit, produksi dan viabilitas polen dari bunga jantan yang dihasilkan, jumlah populasi kumbang *E. kamerunicus* per hektar, dan analisis hara daun dan tanah.

Secara umum, semakin tua umur tanaman maka *fruit set* dan *fruit to bunch* semakin tinggi. Nilai *fruit set* sangat dipengaruhi oleh produksi dan viabilitas polen dari bunga jantan mekar dan kecukupan populasi *E. kamerunicus* yang selalu di atas 20.000 kumbang/ha. Sementara itu, nilai *fruit to bunch* sangat dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi dalam tanah dan konsentrasi hara dalam daun kelapa sawit (Susanto *et al.*, 2020).

Kesehatan tanaman juga menentukan produktivitas kelapa sawit (Tui *et al.*, 2019). Kualitas dan kuantitas tandan bunga jantan dan bunga betina akan dipengaruhi oleh kondisi defisiensi unsur hara tanaman (Sidhu *et al.*, 2009).

2.1.4.5. Kriteria Seleksi

Kelapa sawit memiliki produktivitas paling tinggi dibandingkan dengan tanaman minyak nabati lainnya dan peningkatan produktivitas melalui benih unggul dapat dilakukan apabila seleksi tetua dilakukan dengan tepat (Amal *et al.*, 2021; PASPI, 2021). Dalam melakukan seleksi terhadap tetua dura dan tetua pisfera untuk kepentingan produksi bahan tanaman, PPKS menggunakan beberapa kriteria utama antara lain:

a) Tingkat produksi minyak

Tingkat produksi minyak (CPO) tetap menjadi kriteria utama dalam pemilihan persilangan untuk produksi bahan tanaman kelapa sawit. Suatu

persilangan D_xP dapat dipilih sebagai persilangan terbaik bila memiliki tingkat produksi minyak di atas 6.0 ton/ha/tahun. Penentuan tingkat produksi minyak pada setiap persilangan yang diuji didasarkan kepada hasil pengamatan selama periode 8-10 tahun terhadap komponen produksi (jumlah tandan dan bobot tandan) dan hasil analisis tandan.

b) *Laju pertumbuhan meninggi*

Karakter lain yang dijadikan sebagai acuan dalam seleksi persilangan adalah laju pertumbuhan meninggi. PPKS telah melakukan seleksi terhadap persilangan yang memiliki laju pertumbuhan meninggi yang lambat. Suatu persilangan dengan laju pertumbuhan meninggi > 85 cm/tahun tidak dijadikan sebagai persilangan terpilih.

c) *Rentang kanopi tanaman*

Sama halnya dengan sifat pertumbuhan meninggi, dalam seleksi persilangan, PPKS juga memfokuskan untuk merakit bahan tanaman dengan tajuk yang lebih pendek. Hal ini berkaitan dengan upaya meningkatkan produktivitas perkebunan kelapa sawit melalui peningkatan kerapatan tanam. Peningkatan kerapatan tanam membawa implikasi kepada kebutuhan bahan tanaman yang memiliki rentang kanopi yang lebih pendek.

2.1.5. Jenis Tanaman Kelapa Sawit

Setyamidjaja (2006) dan Amiruddin *et al.*, (2023) menyatakan kelapa sawit dapat dibedakan menjadi tiga jenis berdasarkan tebal tipisnya cangkang, yaitu dura, pisifera, dan tenera.

- Tipe Dura

Tipe ini memiliki ciri-ciri daging buah (*mesokarp*) tipis, cangkang (*endokarp*) tebal (2 – 8 mm), inti (*endosperm*) besar, dan tidak terdapat cincin serabut. Persentase daging buah 35 - 60 % dengan rendemen minyak 17 - 18 %.

- Tipe Pisifera

Tipe ini memiliki ciri-ciri daging buahnya tebal, tidak mempunyai cangkang, tetapi terdapat cincin serabut yang mengelilingi inti. Intinya kecil sekali bila dibandingkan dengan tipe Dura ataupun Tenera. Perbandingan daging buah terhadap buahnya tinggi dan kandungan minyaknya tinggi.

Bunga kelapa sawit tipe Pisifera biasanya steril. Kelapa sawit tipe ini hanya dipakai sebagai "pohon bapak" dalam persilangan dengan tipe Dura.

- Tipe Tenera

Tipe ini merupakan hasil persilangan antara tipe Dura dan Pisifera. Sifat tipe Tenera merupakan kombinasi sifat khas dari kedua induknya. Tipe ini mempunyai tebal cangkang 0.5 – 4 mm, mempunyai cincin serabut walaupun tidak sebanyak seperti Pisifera, sedangkan intinya kecil. Perbandingan daging buah terhadap buah 60 – 90 %, rendemen 22 - 24 %.



Gambar 9. Tipe kelapa sawit berdasarkan ketebalan cangkang, terdiri atas Dura (1), Pisifera (2), dan Tenera (3). (Sumber: PPKS)

Bahan tanaman kelapa sawit yang umum digunakan di perkebunan komersial merupakan benih hasil penyerbukan buatan antara pohon induk dura (D) dengan pisifera (P). Berkaitan dengan tingkat produktivitas minyak, kelapa sawit tipe tenera memiliki proporsi kandungan minyak di dalam mesokarp 30 % lebih tinggi dibandingkan dengan tipe dura. Hal ini dapat dipahami karena persentase mesokarp per buah tipe tenera lebih tinggi dibandingkan dengan tipe dura, dan memiliki sifat heterosis (*hybrid vigor*) hasil persilangan dura x pisifera (Amiruddin *et al.*, 2023).

2.1.6. Pembungkusan Bunga

Tandan bunga betina yang berada pada ketiak pelepah daun mulai muncul 1 bulan sebelum anthesis. Setelah seludang pecah baru dapat dilihat jenis kelaminnya. Tandan bunga jantan biasanya lebih ramping dan memanjang sedang yang betina lebih pendek dan gemuk. Sebelum dibungkus harus dibersihkan terlebih dahulu yaitu dengan membuang seludang dan membersihkan tangkai tandan (*stalk*). Untuk mempermudah pekerjaan ini biasanya pelepah daun biasanya dibengkokkan sedikit kebawah (ditekan). Kadang-kadang sebagian spikelet bunga yang berada dibagian bawah dibuang agar kantong pembungkus dapat lebih mudah disarungkan. Setelah

dibersihkan dari sampah yang melekat kemudian disemprot dengan insektisida agar binatang kecil seperti semut, *spider* dan lain-lain mati. Pembungkus bunga (*pollination bag*) diberi berjendela plastik kemudian disarungkan dan diikat dibagian bawah tangkai tandan setelah sebelumnya dibalut dengan kapas yang dibubuhi insektisida tepung. Sebagai pengikat dipakai karet bekas ban sepeda motor/mobil agar lentur dan tidak mengganggu pertumbuhan tandan. Setelah dibungkus maka dibagian luar pembungkus disemprot kembali dengan insektisida untuk mengusir binatang kecil agar tidak masuk. Pembungkus *pollination bag* berukuran 60cm x 60cm.

Pekerjaan ini dilakukan 10-15 hari sebelum bunga anthesis. Setelah 7 hari tandan bunga yang telah dibungkus harus diperiksa untuk mengetahui apakah bungkusannya tetap baik dan mengetahui kapan anthesisnya (Lubis, 1992;2008).

2.1.7. Penyerbukan

Faktor lingkungan yang mempengaruhi keberhasilan penyerbukan antara lain suhu, curah hujan, serta ada tidaknya hama dan penyakit yang menginfeksi bunga. Azwar dan Woelan (1996) mengungkapkan bahwa keberhasilan pembentukan buah dipengaruhi oleh faktor genetik dan cuaca. Menurut Turner dan Gilbanks (1982), suhu optimum untuk penyerbukan kelapa sawit adalah 22-33^oC. Produksi fruit set pada tanaman kelapa sawit dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya ketersediaan air, kandungan hara dan kualitas penyerbukan. Produktivitas kelapa sawit ditentukan oleh *sex ratio*. *Sex ratio* merupakan perbandingan antara jumlah bunga betina dengan jumlah bunga keseluruhan (Susanto *et al.*, 2020).

Bunga yang anthesis <10 hari setelah dibungkus umumnya tidak diserbuk karena khawatir sebelum pembungkusan ada yang terbawa tepung sari. Anthesis bunga ditandai dengan adanya bunga yang mekar pada spikelet dimana kepala putik berwarna putih-krem, sudah merekah dan memiliki cairan putih kekuningan. Penyerbukan dilakukan bila 75% dari bunga sudah anthesis jadi tidak perlu menunggu 100%, karena sisanya 1-2 hari kemudian akan menyusul. Sebelum penyerbukan, bagian luar pembungkus disemprot dengan insektisida agar binatang-binatang kecil tidak masuk yang mungkin pada tubuhnya melekat tepung sari liar. Jendela plastik *pollination bag* dilap dengan alkohol kemudian dilubangi untuk

memasukkan ujung botol semprot tepung sari. Tepung sari disemprotkan (*dust*) dari kedua sisi jendela kemudian ditutup dengan plester. Tandan bunga digoyang agar campuran tepung sari dan serbuk menyebar rata jatuh ke kepala putik. Setelah selesai label identitas yang bertuliskan nomor pokok, nomor serbuk, nomor pisifera, tanggal bungkus/serbuk dan nama polinator diikatkan pada karet ban pengikat.

Setelah tiga hari diperiksa apakah memerlukan serbukan ulang. Setelah 15 hari kemudian bungkus dibuka. Bunga yang busuk, pembungkus yang koyak (berlubang) tidak boleh diteruskan dimana label diambil dan tidak dipergunakan untuk benih. Hanya tandan bunga yang pembungkusnya baik saja yang dapat digunakan. Label identitas kemudian ditancapkan diantara spikelet setelah dibagian bawah dibengkokkan. Karena pertumbuhan buah label ini akan lebih kuat terjepit. Bunga yang baik belum tentu akan selamat sampai buah matang. Kegagalan dapat terjadi karena luka yang terjadi pada tangkai tandan (*stalk*) waktu pembungkusan, tepung sari yang dipakai daya tumbuhnya rendah, gangguan hama seperti tikus, tupai dan lain-lain (Lubis, 1992; 2008).

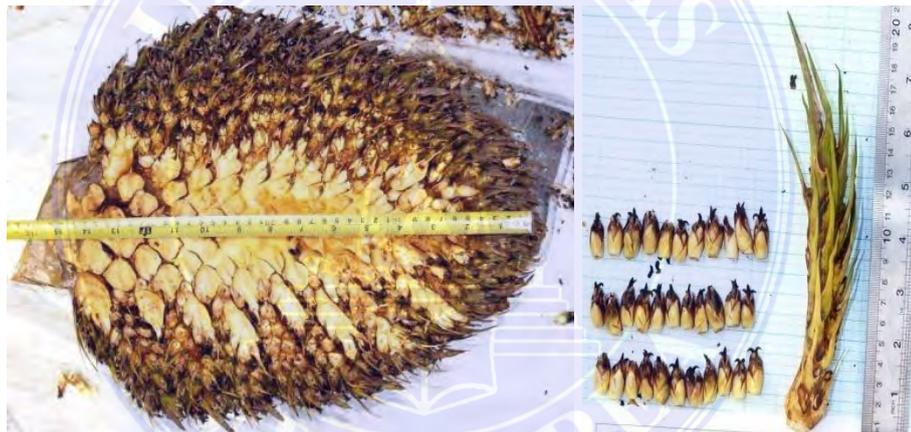
Ketersediaan serbuk sari dengan viabilitas yang tinggi merupakan salah satu komponen yang menentukan keberhasilan persilangan tanaman. Pengelolaan serbuk sari yang mencakup saat pemanenan yang tepat, pengolahan untuk menjamin kemurniannya, dan penyimpanan untuk mempertahankan viabilitasnya mempunyai peranan penting dalam produksi benih kelapa sawit (Lubis, 1993; Yabani *et al.*, 2023). Salah satu masalah dalam pengelolaan serbuk sari sawit adalah kontinuitas ketersediaannya sehingga pada saat bunga betina mekar, serbuk sari telah tersedia dan dapat langsung diserbukkan. Untuk mengantisipasi hal ini, perlu dilakukan upaya agar viabilitas serbuk sari dapat dipertahankan untuk jangka waktu lama dalam penyimpanan.

2.1.8. Penyerbukan Blanko

Penyerbukan blanko (*blank pollination*) merupakan penyerbukan yang hanya menggunakan 2 gram tepung talkum (talcum powder) tanpa disertai serbuk sari. Penyerbukan blanko dilakukan sebagai indikator kinerja karyawan isolator polinator. Pada tandan bunga yang diberi perlakuan penyerbukan blanko diharapkan tidak terbentuk buah. Bila ada terbentuk buah, hal itu menandakan adanya kesalahan pada saat isolasi maupun pada saat polinasi. Terbentuknya buah

dapat disebabkan oleh pembungkusan yang kurang benar sehingga ada celah yang memungkinkan serangga penyerbuk untuk masuk.

Penyerbukan blanko disiapkan oleh karyawan dari Divisi Pohon Induk (Laboratorium tepung sari). Para polinator tidak mengetahui apakah tabung yang dibawa berupa blank polination. Penyerbukan blanko dilakukan sebanyak 1% dari jumlah total penyerbukan pada bulan tersebut. Metode penyerbukan blanko sama seperti penyerbukan biasa. Setelah 30 hari tandan buah hasil perlakuan penyerbukan blanko dipanen berdasarkan data dari laboratorium tepung sari. Dipastikan bahwa label masih ada dan data label sesuai dengan data dari Divisi Pohon Induk. Tandan yang dipanen dilapangan dimasukkan ke dalam pembungkus pollination bag bekas. Lalu dibawa ke laboratorium/persiapan benih untuk dilakukan analisis keberhasilan penyerbukan blanko.



Gambar 10. Hasil penyerbukan blanko (kontrol)

2.1.9. Perbanyak Tanaman Kelapa sawit

Perbanyak tanaman dapat dilakukan secara vegetatif dan generatif. Perbanyak tanaman kelapa sawit adalah pada umumnya secara generatif (biji). Hal ini dapat dilakukan dengan cara penyerbukan buatan (*assisted polination*) yaitu perkawinan silang antara Dura terpilih dari pohon induk dengan pisifera sebagai pohon bapak (Amiruddin *et al.*, 2023). Pohon Dura yang terpilih sebagai pohon induk adalah Dura Deli, sedangkan pisifera yang terpilih sebagai pohon bapak adalah varietas Lame, Yangambi, Sungai Pancur, Bah jambi, Marihat, Langkat, Simalungun, dan lain-lain. Pohon pisifera adalah merupakan sumber penghasil

serbuk sari yang digunakan untuk memproduksi bahan tanaman unggul kelapa sawit yang ditanam oleh perusahaan secara komersil karena menghasilkan produksi yang lebih tinggi.

Hal ini dilakukan karena Induk Dura yang memiliki cangkang tebal dan daging buah tipis jika disilangkan/kawinkan dengan Pisifera yang bercangkang tipis dan daging buah tebal maka akan menghasilkan varietas baru yaitu Tenera yang memiliki cangkang dan daging buah diantara keduanya (Amiruddin *et al.*, 2023).

2.1.10. Panen Tandan Benih

Lebih kurang 130-160 hari setelah penyerbukan, tandan sudah dapat dipanen atau dipotong. Pemanenan benih yang terlalu cepat atau terlalu lambat akan memiliki konsekuensi terhadap viabilitas benih tersebut. Normasiwi (2013) dan Arif (2023) berpendapat bahwa pemanenan benih yang terlalu cepat dapat menyebabkan terpanennya benih dengan struktur embrio dan cadangan makanan yang belum sempurna, sedangkan pemanenan yang terlalu lambat menyebabkan terjadinya deteriorasi benih hingga panen dilaksanakan. Kriteria panen yang dipakai PPKS adalah bila telah terdapat minimal satu buah telah lepas dari spikeletnya (brondolan). Kadang kala ada tandan yang belum memberondol, meskipun telah berumur enam bulan. Kriteria satu brondolan yang dipakai karena jika ditunggu lebih lama maka biji yang akan dipakai sebagai benih yang akan berkurang jumlahnya. Tandan yang akan dipanen dapat dicek dari buku penyerbukan sehingga polinator dapat dengan cepat mengetahui mana tandan yang akan dipanen. Label yang terdapat pada tandan harus dicek kebenarannya dan perlu disesuaikan dengan buku penyerbukan. Tandan yang labelnya hilang agar diafikir. Sebelum dipotong, buah yang jatuh ke tanah atau telah memberondol dikumpulkan dalam plastik dan tidak dipakai sebagai benih atau disingkirkan, kemudian tandan dipotong. Brondolan yang lepas ketika tandan jatuh dikumpulkan dalam plastik diberi label kertas yang mencantumkan jumlahnya dan nomor penyerbuk. Brondolan ini dimasukkan ke dalam goni/ kantong pembungkus tandan dan diikat untuk dikirim ke kantor.

Keberhasilan tandan sampai matang panen tergantung dari perlakuan yang diberikan, selain kemungkinan gangguan iklim atau hama. Kegagalan tandan dapat terjadi karena :

- Tandan membusuk karena adanya pelukaan pada pangkal tangkai tandan sewaktu pembungkusan.
 - Tandan mengecil atau gagal karena kegagalan proses pembuahan, yang dapat disebabkan karena tepung sari yang dipakai sudah rendah viabilitasnya atau mati sewaktu penyerbukan dilakukan.
 - Waktu penyerbukan tidak sesuai, terlalu cepat atau terlambat.
 - Gangguan hama seperti, tupai, *Tirathaba sp.* atau penyakit *Marasmius sp.*
- Tandan yang dipanen dicatat pada formulir khusus (Lubis, 1993; 2008).

Benih bermutu tinggi apabila panen dilakukan saat benih telah mencapai masak fisiologis. Masak fisiologis dicapai apabila kebutuhan nutrisi benih tidak tergantung lagi pada pohon induk. Perkembangan biji hingga masak ditentukan oleh suplai asimilat dan nutrisi lainnya (Harahap, 2008). Saat translokasi asimilat berhenti inilah benih memiliki cadangan yang cukup dengan viabilitas optimum untuk dapat berkecambah. Buah kelapa sawit yang matang dicirikan dengan warna oranye kemerahan. Dilihat dari warnanya, kematangan buah sawit tidak seragam dalam satu tandan yang mana pangkal lebih muda dibanding yang tengah dan ujung. Selain itu, letak buah yang berada didalam dengan diluar juga berbeda yang mana buah yang letaknya diluar lebih matang dibanding yang didalam. Hal ini juga diungkapkan oleh Lubis (1992; 2008) bahwa buah sawit memiliki waktu matang yang tidak sama, dimana yang matang lebih dahulu adalah bagian ujung (apical), diikuti oleh bagian tengah tandan (equatorial), dan berakhir di bagian bawah (basal).

Identitas tandan dan benih merupakan sesuatu yang sangat penting. Pemberian identitas tandan dibuat oleh divisi Pohon Induk sebagai Divisi yang memproduksi dan menghasilkan tandan untuk dijadikan benih. Identitas tandan benih memiliki bentuk label yang dilaminating dan diberi kawat. Pemberian label dengan cara dikaitkan ke dalam sela-sela spikelet tandan.

Tabel 8. Identitas tandan benih

Pos	NP : Nomor Penyerbukan
Kelompok	TB : Tanggal Bungkus
	TS : Tanggal Serbuk
	PI : Pohon Induk
	PB : Pohon Bapak
	REG : Registrasi
	POL : Polinator

2.1.11. Dormansi dan Pengecambahan Benih Kelapa Sawit

Benih kelapa sawit merupakan benih yang unik dikarenakan memiliki cangkang yang paling tebal dibandingkan dengan komoditas perkebunan lainnya. Permasalahan lain yang menghinggapi perbenihan kelapa sawit yaitu masih adanya beberapa lot benih yang tidak tumbuh pada waktunya dan ketidakseragaman pertumbuhan (Farhana *et al.*, 2013; Julyan *et al.*, 2017; Kelanaputra *et al.*, 2018).

Menurut Sadjad (1993), dormansi benih adalah keadaan dimana benih mengalami istirahat total sehingga meskipun dalam keadaan media tumbuh benih optimum, benih tidak menunjukkan gejala atau fenomena hidup. Benih dikatakan dorman apabila benih tersebut sebenarnya hidup tetapi tidak berkecambah walaupun diletakkan pada keadaan yang secara umum dianggap telah memenuhi persyaratan bagi suatu perkecambahan (Sutopo, 2002; Corley dan Tinker 2016, Harahap *et al.*, 2016; Yabani *et al.*, 2024).

Dormansi benih dapat berlangsung beberapa hari, beberapa minggu hingga beberapa bulan tergantung pada jenis tanaman dan tipe dormansi yaitu dormansi primer atau sekunder. Dormansi primer adalah dormansi yang paling sering terjadi, terdiri dari dua sifat: (1) dormansi eksogenous yaitu kondisi dimana komponen penting perkecambahan tidak tersedia bagi benih dan menyebabkan kegagalan dalam perkecambahan. Tipe dormansi tersebut berhubungan dengan sifat fisik dari kulit benih serta faktor lingkungan selama perkecambahan; (2) dormansi endogenous yaitu dormansi yang disebabkan karena sifat-sifat tertentu yang melekat pada benih, seperti adanya kandungan inhibitor yang berlebih pada benih,

embrio benih yang rudimenter dan sensitivitas terhadap suhu dan cahaya. Dormansi sekunder adalah sifat dormansi yang terjadi karena dihilangkannya satu atau lebih faktor penting perkecambahan.

Benih kelapa sawit memiliki masa dormansi yang cukup panjang sebelum berkecambah. Mangoensoekarjo dan Semangun (2005) menyatakan bahwa ketika baru dipanen, benih kelapa sawit mengalami dormansi dan sangat jarang terjadi perkecambahan secara alami dalam kurun waktu beberapa tahun. Proses pengecambahan benih kelapa sawit cukup sulit karena benih memiliki kulit yang keras sehingga bersifat dorman. Adanya kondisi dormansi ini menyebabkan benih harus diberi perlakuan untuk mematahkan dormansi. Proses pengecambahan benih kelapa sawit yang bermutu memerlukan waktu sekitar 3 bulan dengan metode pemanasan kering suhu 40°C (Yabani *et al.*, 2024). Martine *et al.*, (2009) menyatakan bahwa pada kondisi alami, pengecambahan benih kelapa sawit membutuhkan waktu 1 hingga 3 tahun. Corley dan Tinker (2016) menambahkan bahwa pada areal terbuka dan hutan, rentang waktu 3 tahun hanya mampu mengecambahkan 25% dan 3% dari total benih.

Mangoensoekarjo dan Semangun (2005) juga menyatakan bahwa pemecahan dormansi dapat dilakukan dengan pemanasan benih pada suhu 40°C selama 80 hari. Selain dormansi, faktor lain yang mempengaruhi perkecambahan adalah kadar air. Lubis (2008) menyatakan bahwa kadar air optimal untuk pengecambahan benih kelapa sawit yaitu $\pm 23\%$. Perlakuan suhu tinggi pada saat kadar air benih masih rendah dapat membantu perkecambahan dan akan dipercepat dengan peningkatan kadar air, selain itu suplai oksigen harus terjamin (Yabani *et al.*, 2024).

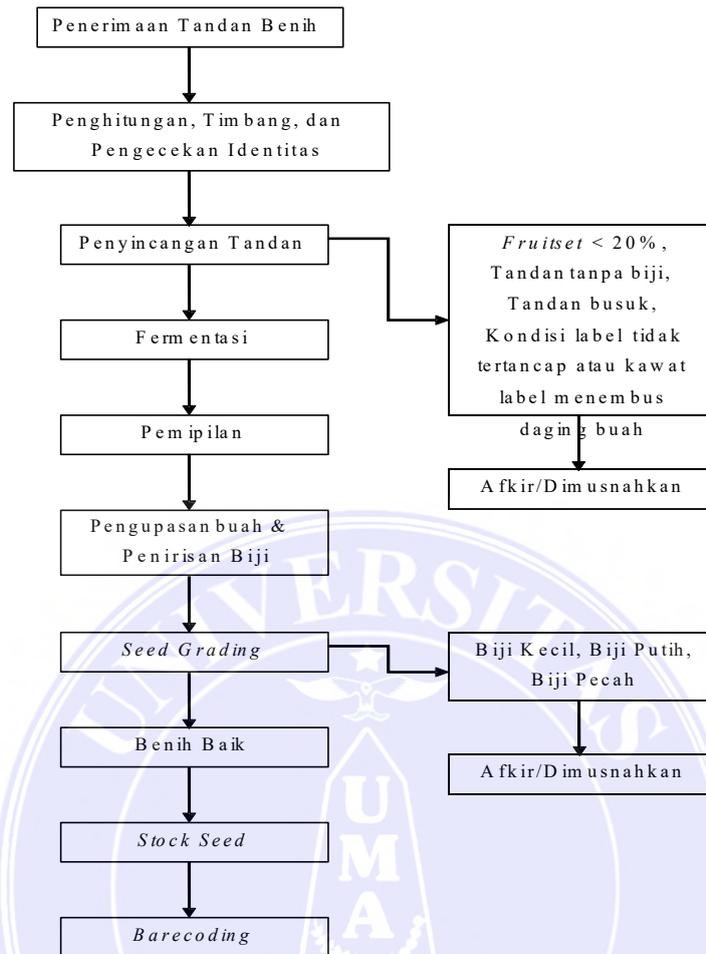
Perkecambahan benih kelapa sawit merupakan suatu rangkaian kompleks dari perubahan-perubahan morfologi, fisiologi dan biokimia. Copeland (1976) menyatakan bahwa pada proses perkecambahan terjadi proses imbibisi, aktivasi enzim, inisiasi pertumbuhan embrio, retaknya kulit benih dan munculnya kecambah. Menurut Sadjad (1975) dan Tabi *et al.*, (2017) faktor genetik dan lingkungan menentukan proses metabolisme perkecambahan. Faktor genetik yang berpengaruh adalah komposisi kimia, kadar air, enzim dalam benih dan susunan fisik atau kimia dari kulit benih. Adapun faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap proses perkecambahan adalah air, suhu, dan cahaya.

Kelapa sawit memiliki tipe perkecambahan hypogeal (Chin dan Robert, 1980) yaitu kotiledon tetap berada di permukaan tanah setelah benih berkecambah. Menurut Adiguno (1998) kriteria kecambah normal adalah kecambah yang tumbuh sempurna dan secara jelas dapat dibedakan antara radikula dan plumula, tidak patah, tumbuh lurus, panjang plumula dan radikula kurang lebih 1-1.5 cm, sedangkan kecambah abnormal mempunyai ciri-ciri tumbuh bengkok, plumula dan radikula tumbuh searah, kecambah kerdil, hanya memiliki radikula atau plumula saja dan terserang penyakit, sedangkan menurut Chairani (1991) ciri-ciri kecambah kelapa sawit yaitu 1) radikula berwarna kekuning-kuningan dan plumula berwarna keputih-putihan, 2) radikula lebih panjang dari plumula, 3) radikula dan plumula tumbuh lurus serta berlawanan arah.

2.1.12. Pengolahan Benih

Pengolahan benih merupakan proses transformasi fisik benih dari saat setelah panen menjadi benih yang bersih dan seragam sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Pengolahan benih bertujuan untuk menghasilkan benih yang bermutu baik sesuai dengan standar mutu benih yang telah ditetapkan. Pada kelapa sawit proses pengolahan benih dimulai dari proses ekstraksi benih dari tandan buah segar hingga diperoleh kecambah kelapa sawit bermutu baik.

Mutu benih dibedakan menjadi tiga kriteria, yaitu mutu fisiologis, mutu genetik, dan mutu fisik (Amiruddin *et al.*, 2023). Menurut Sadjad (1997) mutu fisiologis adalah mutu benih yang ditentukan oleh viabilitas dan kadar air sehingga mampu menghasilkan tanaman yang normal. Mutu genetik yaitu benih yang mempunyai identitas genetik yang murni dan mantap, dan apabila ditanam mewujudkan kinerja pertanaman yang homogeni sesuai dengan deskripsi oleh pemuliaannya.



Gambar 11. Proses Penyiapan Tandan Benih Menjadi Benih

2.1.13. Syarat Tumbuh Kelapa Sawit

Curah hujan. Air merupakan faktor penting yang dapat membatasi pertumbuhan dan produktivitas tanaman kelapa sawit. Jumlah curah hujan yang optimum untuk tanaman kelapa sawit antara 2.000 sampai 2.500 mm tahun⁻¹, dengan penyebaran merata sepanjang tahun (Corley dan Tinker 2003; 2016). Jumlah curah hujan yang kurang atau melebihi kebutuhan akan menurunkan produktivitas tanaman kelapa sawit. Curah hujan yang tinggi akan menyebabkan pertumbuhan vegetatif lebih dominan dibandingkan dengan pertumbuhan generatif, sehingga mengurangi pembentukan tandan bunga. Curah hujan dengan intensitas tinggi juga menyebabkan penyerbukan kurang sempurna (Harahap *et al.*, 2018). Penyebaran curah hujan merupakan faktor penting dalam perkembangan bunga.

Curah hujan yang rendah akan menyebabkan kekurangan air sehingga akan mempengaruhi produksi pelepah daun, jumlah tandan buah, diferensiasi seks, rontoknya bunga dan buah muda (Darlan, 2023).

Radiasi matahari. Produksi tanaman kelapa sawit juga dipengaruhi oleh lama penyinaran efektif. Penyinaran efektif didefinisikan sebagai total jumlah jam penyinaran yang diterima sepanjang periode kelembaban air tanah yang mencukupi ditambah selama periode cekaman air dan dikurangi dengan lamanya cekaman air tanah yang terjadi. Penyinaran radiasi matahari yang cukup untuk tanaman kelapa sawit adalah lebih dari 1.600 jam tahun⁻¹ dengan rata-rata 5 sampai 7 jam hari⁻¹ (Corley dan Tinker 2003; 2016) dan kelembaban udara 85%. Penyinaran efektif akan berpengaruh terhadap nisbah seks bunga dua tahun berikutnya, dan terhadap hasil sekitar 28 bulan berikutnya. Lama penyinaran per hari lebih berpengaruh terhadap produktivitas tanaman kelapa sawit dibandingkan dengan rata-rata radiasi harian. Selain itu nisbah seks juga akan dipengaruhi oleh kombinasi dari jumlah hari kering, lamanya penyinaran harian dan curah hujan.

Suhu udara. Tanaman kelapa sawit dapat tumbuh dan berkembang dengan baik pada daerah yang mempunyai suhu udara siang hari rata-rata 29°C sampai 33°C dan suhu udara malam rata-rata 22°C sampai 24°C (Corley dan Tinker 2003; 2016). Tanaman kelapa sawit dibudidayakan, tumbuh dan berkembang dengan baik pada daerah tropis antara 13° Lintang Utara dan 12° Lintang Selatan (Hartley, 1988). Perkebunan kelapa sawit yang mempunyai produktivitas yang tinggi terdapat pada daerah yang mempunyai keragaman suhu udara bulanan yang kecil.

Kelembaban udara. Tanaman kelapa sawit tumbuh baik di kawasan tropis dengan rata-rata kelembaban udara harian berkisar antara 75 sampai 85%. Apabila kelembaban udara rendah, penyinaran efektif juga tidak akan berfungsi dengan baik. *Vapour Pressure Deficit* (PVD) yang tinggi menyebabkan penutupan stomata yang akan mempengaruhi proses fotosintesis yang dapat menyebabkan penurunan produksi. Udara kering dengan kelembaban udara rendah menyebabkan konduksi stomata menurun yang mengakibatkan pertukaran gas antara jaringan tanaman dan atmosfer terganggu.

Angin. Kecepatan angin yang sangat sesuai untuk membantu penyerbukan bunga kelapa sawit adalah dengan kecepatan 5 sampai 6 km jam⁻¹. Angin yang

terlalu kencang dapat berbahaya untuk pertanaman kelapa sawit, terutama pada tanaman muda yang dapat menyebabkan tanaman condong/miring (Darlan, 2023). Penempatan tanaman muda dengan posisi vertikal sangat dianjurkan pada pertanaman baru, terutama pada daerah dengan topografi miring untuk mencegah kerusakan yang disebabkan angin.

Menurut Setyamidjaja (2006) dan Corley dan Tinker (2016), sifat fisik dan kimia tanah yang harus dipenuhi untuk pertumbuhan kelapa sawit yang baik adalah sebagai berikut:

1. Solum cukup dalam (> 80 cm) dan tidak berbatu agar perkembangan akar tidak terganggu.
2. Tekstur ringan dan yang terbaik memiliki pasir 20 – 60 %, debu 10 – 40 %, dan liat 20 – 25 %.
3. Struktur tanah baik, konsistensi gembur sampai agak teguh dan permeabilitas sedang.
4. Drainase baik dan permukaan air tanah cukup dalam. Tanah yang memiliki drainase buruk sebaiknya dibuat saluran drainase.
5. Reaksi tanah (pH) optimal yaitu pada 5 – 5.5.
6. Tanah memiliki kandungan unsur hara cukup tinggi.

Berdasarkan hasil analisis tekstur tanah di Lokasi Penelitian diketahui bahwa didominasi % fraksi pasir antara 69-79%; fraksi debu sebesar 9-17% dan fraksi liat sebesar 10-16% sehingga tekstur tanah dari kesembilan sampel tergolong ke dalam tekstur Lempung Berpasir (*Sandy Loam*). Hasil analisis tekstur tanah secara lengkap disajikan pada :

Tabel 9. Hasil Analisis Tekstur Tanah di Lokasi Penelitian

Kode Sampel	Karakteristik Tanah			Tekstur
	% Pasir	% Debu	% Liat	
1	71	13	16	Lempung berpasir (<i>sandy loam</i>)
2	77	13	10	Lempung berpasir (<i>sandy loam</i>)
3	77	13	10	Lempung berpasir (<i>sandy loam</i>)
4	77	13	10	Lempung berpasir (<i>sandy loam</i>)
5	79	9	12	Lempung berpasir (<i>sandy loam</i>)
6	77	13	10	Lempung berpasir (<i>sandy loam</i>)
7	75	13	12	Lempung berpasir (<i>sandy loam</i>)
8	73	15	12	Lempung berpasir (<i>sandy loam</i>)
9	69	17	14	Lempung berpasir (<i>sandy loam</i>)

Hasil analisa sifat fisika tanah menunjukkan bahwa seluruh sampel tergolong pada pH agak masam yaitu berkisar antara 5,0-5,3. Kandungan C-organik tergolong rendah sampai dengan agak rendah, yaitu berkisar antara 0,96-1,36%. Kandungan hara makro N tergolong agak rendah (0,15-0,19%) dan agak tinggi (0,35-0,37%); sehingga diperoleh C/N ratio yang cukup bervariasi antara rendah sampai dengan sedang, yaitu berkisar antara 3-8. Kadar P-tersedia tergolong rendah sampai dengan agak rendah, yaitu sebesar 2,63-8,61 ppm. Kandungan kation tertukarkan adalah berturut-turut sebagai berikut : kandungan K dapat ditukarkan tergolong rendah yaitu antara 0,07-0,25 me/100 g tanah; sedangkan Ca dapat ditukar tergolong rendah yaitu antara 0,32-1,12 me/100 g tanah; Na dapat dipertukarkan tergolong rendah yaitu 0,01-0,40 me/100 g sedangkan Mg dapat dipertukarkan tergolong rendah sampai dengan agak rendah yaitu berkisar antara 0,07-0,40 me/100 g tanah. Kandungan kation basa tergolong rendah yaitu berkisar antara 1-7 me/100 g tanah, dan kejenuhan Al tergolong rendah sampai dengan sedang yaitu berkisar antara 3,5-30,4%. Hasil analisa kimia tanah secara lengkap disajikan pada Tabel lampiran.

2.1.14. Pengaruh Curah Hujan bagi Pertumbuhan Kelapa Sawit

Produksi tandan buah segar kelapa sawit merupakan fungsi dari faktor genetik, umur, lingkungan, dan kultur teknis (seperti pemupukan). Genetik bahan tanaman dapat diasumsikan homogen dan kultur teknis dilakukan optimal, sehingga keragaman produksi dipengaruhi oleh umur dan faktor lingkungan. Faktor lingkungan terdiri dari tanah dan iklim. Faktor tanah dengan pemupukan yang optimal dapat diasumsikan berpengaruh proporsional menurut umur. Sehingga faktor iklim menjadi penting mempengaruhi keragaman produksi.

Secara umum, tanaman kelapa sawit tumbuh optimum di wilayah dengan curah hujan tahunan antara 1.750 – 3.000 mm dan menyebar merata sepanjang tahun, lama penyinaran 5 – 7 jam/hari atau 2.000 – 2.500 mm/tahun, dan mempunyai suhu udara rata-rata tahunan 24 – 28°C dan suhu udara minimal tidak kurang dari 15°C (Corley, 2003; 2016). Menurut Siregar *et al.*, (2005), unsur iklim yang berpengaruh dominan pada perkebunan kelapa sawit di Indonesia adalah curah hujan, radiasi matahari, dan suhu udara (jika di dataran tinggi).

Faktor iklim yang mempunyai pengaruh paling besar dalam mempengaruhi produksi tandan adalah curah hujan. Beberapa sifat hujan yang mempengaruhi keragaman produksi tanaman ialah besarnya curah hujan, lama musim hujan, sifat hujan musiman, dan kejadian-kejadian iklim ekstrim seperti intensitas hujan yang tinggi ataupun kemarau panjang. Kemarau panjang yang di atas normal akan menyebabkan kekeringan sehingga tanaman akan mengalami defisit air, sedangkan intensitas curah hujan yang di atas normal akan menyebabkan banjir. Kejadian iklim ekstrim tersebut, biasa disebut anomali iklim, umumnya akan menimbulkan masalah ataupun dampak negatif terhadap berbagai aspek budidaya pertanian, termasuk perkebunan kelapa sawit (Darlan, 2023).

Cekaman kekeringan akibat musim kemarau mulai terjadi pada perkebunan kelapa sawit bila terdapat salah satu parameter dengan kriteria: jumlah curah hujan < 1.250 mm/tahun; defisit air > 200 mm/tahun; bulan kering (curah hujan < 60 mm/bulan) > 3 bulan; dan terpanjang tidak hujan (*dry spell*) > 20 hari. Cekaman kekeringan akan berakhir ketika defisit air kembali menjadi 0 mm yang diindikasikan dengan curah hujan 150 mm/bulan ataupun 50 mm/10 hari dengan kecenderungan meningkat (Siregar, 1995; 2014).

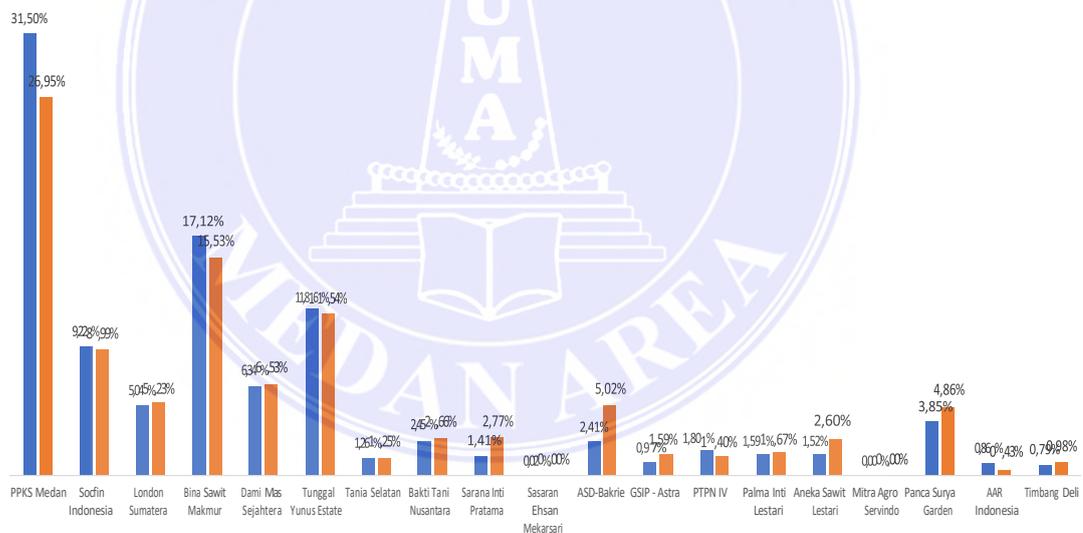
Sementara itu, intensitas curah hujan yang di atas normal juga akan memberikan dampak yang kurang baik bagi tanaman kelapa sawit, meskipun dampak negatifnya tidaklah sebesar dampak dari musim kemarau. Curah hujan yang berlebih umumnya dapat mengakibatkan kerusakan infrastruktur kebun (seperti jalan dan tangga panen), mengganggu kegiatan panen, dan menyebabkan banjir. Selain itu, curah hujan berlebih juga dapat meningkatkan aliran permukaan yang terjadi di areal topografi yang berbukit sehingga lahan akan kehilangan banyak air beserta tanah lapisan atas yang umumnya mengandung unsur hara dan bahan organik yang tinggi (Ustha, 2010; Darlan, 2023).

2.1.15. Posisi PPKS pada Perdagangan Benih Kelapa Sawit Indonesia

Masalah ketersediaan benih kelapa sawit yang tidak seimbang antara penawaran dan permintaan (*supply - demand*), tidaklah hanya tergantung pada jumlah benih yang tersedia (*supply side*) dan dibutuhkan (*demand side*) tetapi juga tergantung pada keterbatasan yang dihadapi oleh para produsen dan pengguna, dan belum memadainya pasar benih kelapa sawit.

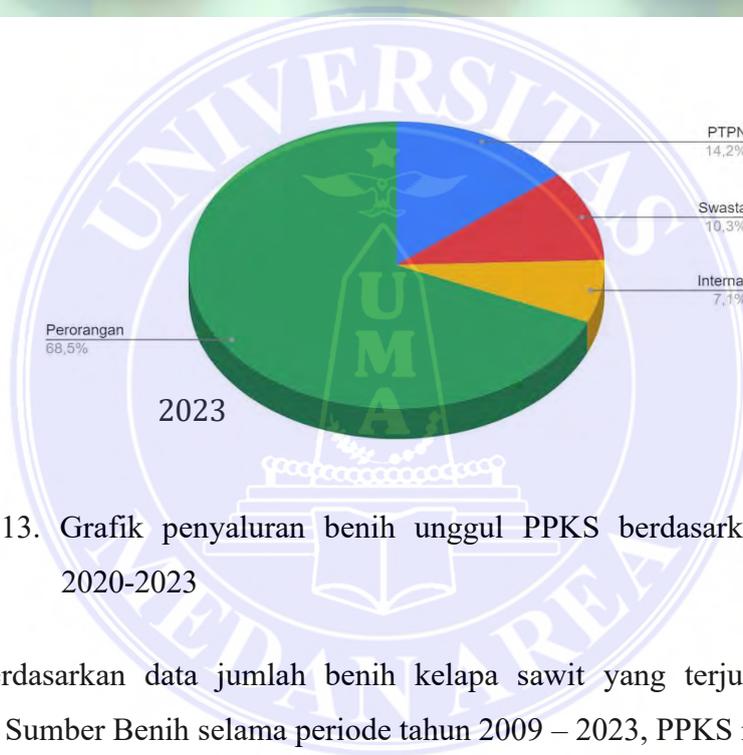
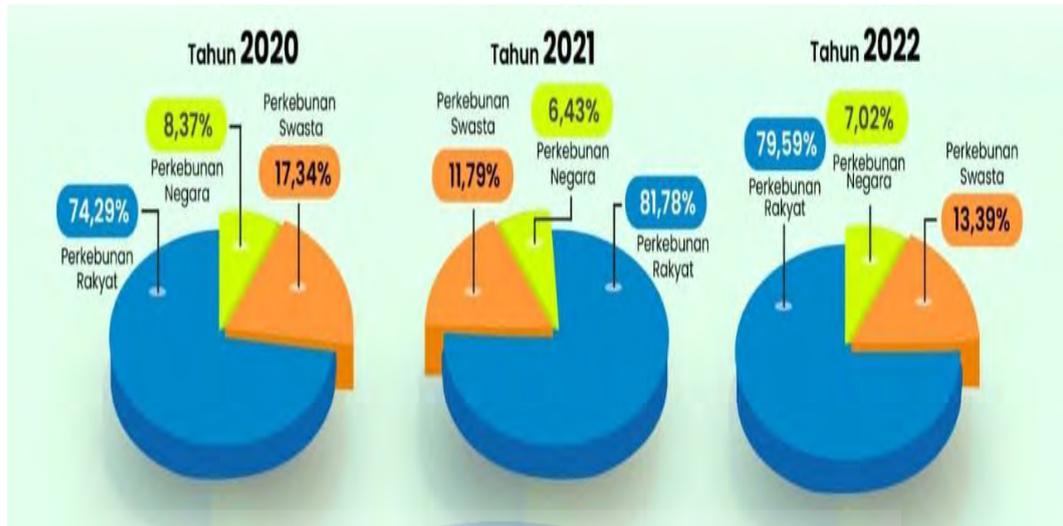
Pertumbuhan permintaan benih unggul sangat erat kaitannya dengan pertambahan lahan yang dipicu oleh peningkatan harga minyak sawit. Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) sebagai penghasil sekaligus penyalur bahan tanaman kelapa sawit unggul mampu menghasilkan/memiliki kapasitas 50-60 juta benih kecambah pada setiap tahunnya. Penyaluran benih yang dihasilkan PPKS lebih tinggi dibandingkan dengan produsen penghasil bahan tanaman unggul lainnya.

Harga benih kelapa sawit pada umumnya tidak jauh berbeda antara para produsen, kecuali harga benih PPKS yang lebih rendah dibandingkan harga benih produsen lain karena PPKS sebagai sebuah lembaga usaha pemerintah yang memproduksi benih yang harus mengemban amanat pemerintah untuk memenuhi kebutuhan benih, khususnya bagi pekebun berskala kecil dan menengah, dengan harga yang terjangkau. Harga kecambah asal PPKS Rp 8.000 per butir, namun untuk petani pembelian <1000 butir diberikan diskon harga 10% (PPKS, 2023).



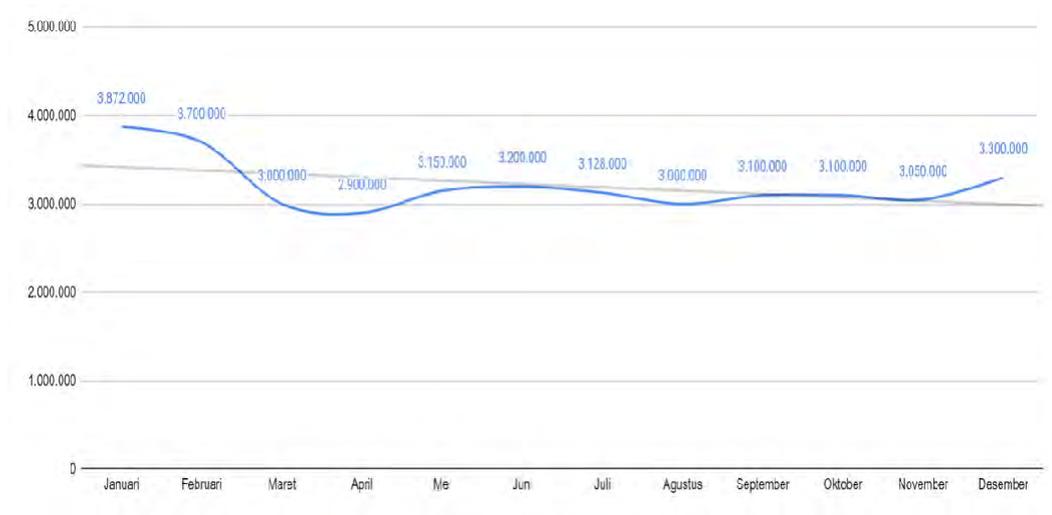
Gambar 12. Market share penyaluran benih unggul Indonesia

Bersarkan data tersebut terjadi penurunan produksi dan share market pada produsen benih unggul dalam hal ini PPKS. Terjadinya penurunan produksi benih bahan tanaman unggul PPKS disebabkan karena terbatasnya jumlah produksi bahan dasar benih dari lapangan (Kuswardani *et al.*, 2024). Saat ini di PPKS dihadapkan pada persoalan turunnya jumlah pohon induk aktif dan rendahnya *fruit set* atau jumlah benih yang dihasilkan.



Gambar 13. Grafik penyaluran benih unggul PPKS berdasarkan konsumen 2020-2023

Berdasarkan data jumlah benih kelapa sawit yang terjual di Indonesia menurut Sumber Benih selama periode tahun 2009 – 2023, PPKS menguasai pasar benih. Dinamika pangsa pasar benih kelapa sawit sejak tahun 2009 tersebut diakibatkan oleh bertambahnya produsen benih domestik baru (*new entry*) pada pasar benih kelapa sawit di Indonesia. Ini berarti, semua produsen benih domestik harus dapat mengantisipasi berkurangnya pangsa pasar benih mereka dan harus mencari strategi pemasaran yang lebih sesuai untuk dapat memiliki daya saing yang tinggi di masa mendatang. Berikut rencana penyaluran benih kelapa sawit PPKS tahun 2024 sebanyak 38.500.000 butir.



Gambar 14. Grafik rencana penyaluran benih unggul PPKS periode tahun 2024

2.2. Penelitian Terdahulu (*Previous Research*)

Pada kajian polinasi buatan pada produksi bahan tanaman unggul kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) ini perlu diketahui kompatibilitas antara putik dan polen sehingga penyerbukan menjadi optimal. Mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap polinasi (varietas, dosis, lama simpan polen, waktu penyerbukan dan viabilitas) dan faktor-faktor yang mempengaruhi daya berkecambah pada benih (Yabani *et al.*, 2023).

Telah banyak penelitian mengenai polinasi buatan pada jenis varian kelapa sawit, diantaranya, McKey (1961); Harahap *et al.*, (2018); Ruiz-Alvarez *et al.*, (2021) mengemukakan bahwa dalam reproduksi perkembangan tanaman bermula dari struktur generasi menuju pembentukan biji, pembentukan benang sari dan putik, mekarnya bunga, polinasi, pembuahan, pertumbuhan dan perkembangan sel, pemasakan biji, dan panen. Tahir (2003; 2008); Yousefi *et al.*, (2020) mengemukakan bahwa pengadaan polen dengan polen ekstraktor menghasilkan viabilitas dan kemurnian yang tinggi, sedang polinator elektrik menghasilkan polinasi yang merata dan dampaknya homogenitas pembuahan yang diperoleh tinggi.

Syukur dan Lubis, (1982), dan Purba *et al.*, (2016), melakukan penelitian polinasi buatan pada tanaman kelapa sawit muda, pada penelitian ini dilakukan persilangan buatan dengan kondisi tanaman kelapa sawit dengan syarat daya tumbuh polen di atas 55%, bila kurang dari angka tersebut dapat mengakibatkan tidak terjadinya pembuahan atau mengalami kegagalan atau gugur.

Tahir (2008) pada penelitiannya melaporkan bahwa dosis tepung sari untuk penyerbukan pada satu tandan bunga betina adalah 0,10-0,15 g, agar penyerbukan merata diseluruh tandan bunga betina, maka dilakukan penyerbukan yang disesuaikan dengan level bunga betina.

Hasil produksi buah kelapa sawit dipengaruhi oleh proses penyerbukan untuk menghasilkan bakal buah. Pembentukan buah diawali dengan proses polinasi kepala putik oleh serbuk sari melalui penyerbukan sendiri (bantuan angin), serangga penyerbuk, dan manusia yang selanjutnya polen berkecambah dan mencapai bakal biji (Pardal, 2001; Harahap *et al.*, 2018).

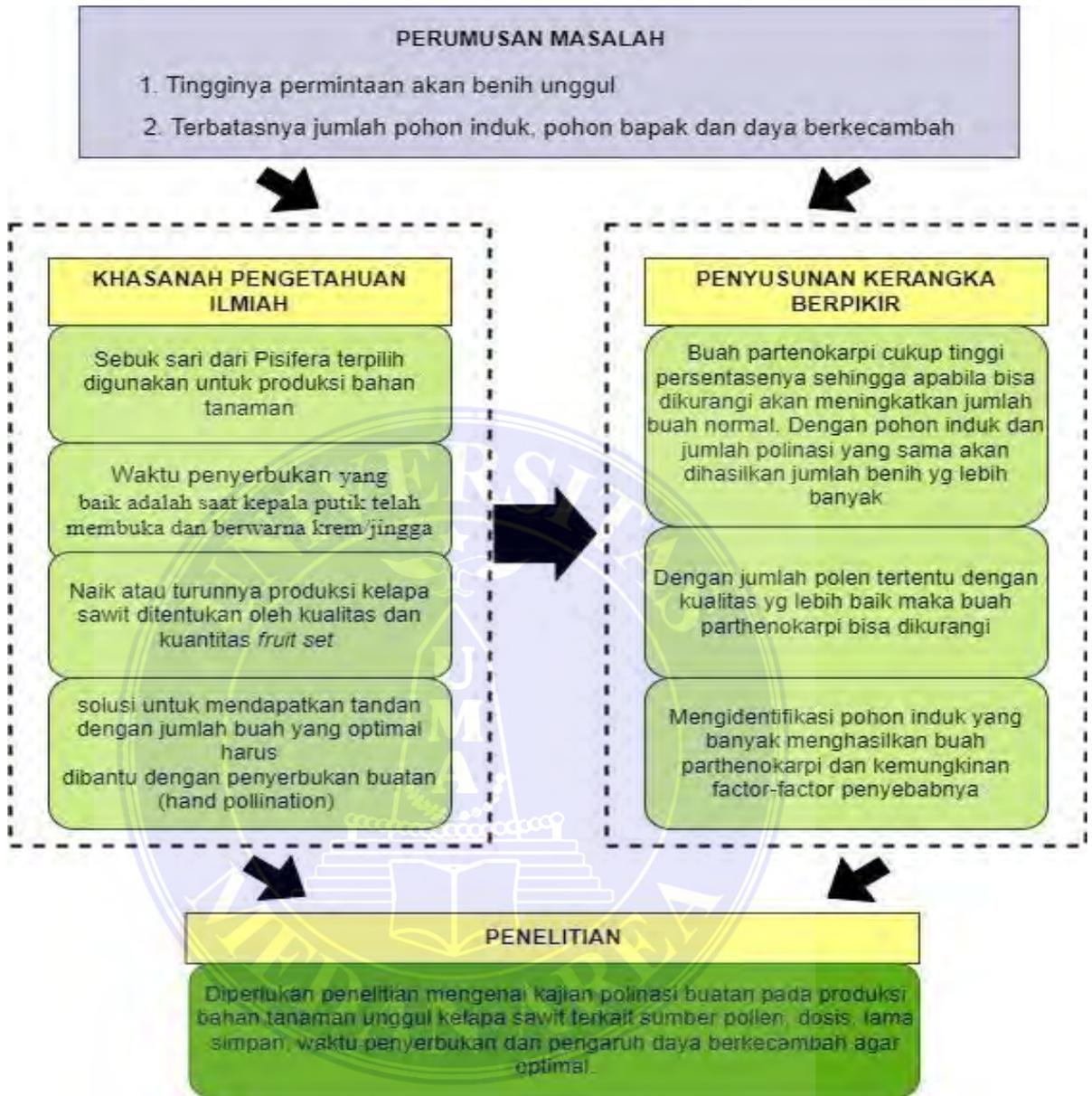
Lawton, (1978); Appiah *et al.*, (2013); Lim *et al.*, (2021) pada penelitian perancangan tabung polen pada gynaecium kelapa sawit mengatakan viabilitas serbuk sari yang buruk, ketidakmampuan serbuk sari, kegagalan pembuahan dan perkembangan embrio dan disfungsi anthesis adalah kontribusi dari kinerja persentase set buah yang rendah.

Syed *et al.* (1982) dan Basri *et al.* (1983; 1987) pada penelitian polinasi kelapa sawit menyampaikan kumbang penyerbuk, *Elaeidobius kamerunicus*, berhasil mengurangi masalah penyerbukan yang buruk. Penyerbukan bonggol meningkatkan pembentukan buah dibandingkan penyerbukan dengan tangan sekitar 20%, yaitu dari 50% menjadi 70%. Peningkatan hasil dihasilkan dari peningkatan berat tandan dari rasio buah-ke-tandan yang lebih tinggi. Namun menurut (Chan *et al.*, 1982; Lubis *et al.*, 2017), akan terjadi pengurangan ukuran buah meskipun dikompensasi dengan peningkatan rasio *mesocarp-to-bunch* dan *kernel-to-bunch*, dan pengurangan jumlah buah partenokarpi.

Yee *et al.* (1984); Lankinen *et al.* (2018); John Martin *et al.* (2022) menyatakan perubahan karakteristik tandan yang ditimbulkan oleh kumbang disebabkan oleh peningkatan pembuahan bunga bagian dalam. Buah dari tandan bagian dalam lebih kecil dengan rasio *mesocarp-to-fruit* yang lebih rendah dari pada buah bagian luar.

Harun dan Noor (2002); Corley dan Tinker, (2003;2016); Susanto *et al.*, (2007); Prasetyo *et al.*, (2012) melaporkan bahwa serangga penyerbuk kelapa sawit merupakan agen polinasi yang terbukti mampu meningkatkan fruit set dari 20% menjadi 50-70% dan fruit set buah yang baik jika dibatasi di atas 75%. Fruit set dapat mempengaruhi berat tandan yang berdampak pada produktivitas di perkebunan kelapa sawit (Setiawan, 2017; Yabani *et al.*, 2023).

2.3. Kerangka Konseptual



Gambar 15. Kerangka Konseptual Penelitian

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Marihat. Ketinggian lokasi penelitian terletak ± 369 meter di atas permukaan laut (dpl), pada posisi $02^{\circ}55'$ Lintang Utara dan $99^{\circ}05'$ Bujur Timur.

3.2. Waktu Penelitian

Penelitian pada Kebun Benih Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Unit Marihat dilakukan selama 6 bulan. Sedangkan untuk pengujian daya berkecambah benih dilakukan di *seed procesing unit* (SPU) Marihat selama ± 6 bulan. Penelitian dilaksanakan pada Bulan Juli 2023 s/d Januari 2024 (*Lampiran I*).

3.3. Bahan dan Alat

a. Bahan

- Bunga betina kelapa sawit
- *Pollination Bag* (pembungkus tandan benih)
- Tepung sari (polen) kelapa sawit
- Bedak talk
- Insektisida cair/dithane M-45
- Kapas, alkohol, karet ban
- Kawat khasa dan benih kelapa sawit

b. Alat

- Botol *pupper*, mesin pemipil dan *tagging*
- Alat-alat polinator/alat perkecambahan
- Perlengkapan alat tulis, dan Tangga bantu

3.4. Tahapan Penelitian

1. Pengumpulan Data : Eksperimen polinasi buatan dilakukan pada berbagai varietas, dosis, lama simpan, waktu penyerbukan, viabilitas polen dan daya berkecambah. Variabel yang dihitung termasuk: Viabilitas polen (%) : kemampuan polen untuk menyerbuki. Berat tandan (kg): berat tandan benih yang diproduksi. Biji baik (butir) : jumlah biji baik yang lolos seleksi. Biji afkir : jumlah biji afkir yang tidak lolos seleksi (berat <0,86 gram/butir).

2. *K-Means Clustering Process*

K-Means clustering adalah algoritma pembelajaran tanpa pengawasan yang bertujuan untuk membagi dataset menjadi beberapa kelompok atau cluster berdasarkan kesamaan fitur. Dalam konteks penelitian ini, K-means digunakan untuk mengelompokkan data produksi benih kelapa sawit berdasarkan variabel seperti viabilitas polen (serbuk sari), berat tandan, jumlah biji baik, dan biji afkir.

3.4.1. Langkah-langkah Proses K-Means

Proses K-Means melibatkan beberapa langkah inti :

Langkah 1 : Inisialisasi Centroid

Pada awalnya, K-Means secara acak memilih k centroid (pusat kluster) dari dataset. Untuk penelitian ini, $k=3$ karena kami ingin membagi data menjadi tiga kluster.

Langkah 2 : Perhitungan Jarak Euclidean

Untuk setiap titik data, jarak Euclidean ke setiap centroid dihitung menggunakan rumus berikut :

$$d(x_i, c_j) = \sqrt{\sum_{f=1}^n (x_{i,f} - c_{j,f})^2}$$

Dimana :

- $d(x_i, c_j)$ adalah jarak antara titik data x_i dan centroid c_j .
- n adalah jumlah fitur (dalam hal ini : viabilitas polen (serbuk sari), bobot tandan).
- $x_{(i,f)}$ dan $c_{(j,f)}$ adalah nilai fitur f untuk titik data dan centroid, masing-masing.

Langkah 3 : Penentuan Kluster

Setiap titik data ditugaskan ke centroid terdekat berdasarkan jarak Euclidean. Data yang lebih dekat satu sama lain dikumpulkan ke dalam cluster yang sama.

Langkah 4 : Pembaruan Centroid

Setelah semua titik data ditugaskan ke sebuah cluster, pusat massa diperbarui dengan menghitung rata-rata semua titik data dalam cluster tersebut. Centroid baru dihitung sebagai berikut :

$$c_j = \frac{1}{|C_j|} \sum_{x_i \in C_j} x_i$$

c_j adalah centroid baru dari cluster J

C_j adalah kumpulan titik data dalam sebuah cluster J

Langkah 5 : Pengulangan Proses

Langkah 2 sampai 4 diulangi sampai pusat massa tidak lagi berubah. Proses ini disebut "konvergensi".

3.4.2. Mengelompokkan data menjadi 3 cluster

Setelah proses K-Means selesai, data dibagi menjadi tiga cluster dengan ciri-ciri sebagai berikut :

Cluster 1

Cluster ini terdiri dari data dengan viabilitas polen (serbuk sari) sedang dan bobot tandan tinggi, namun dengan jumlah benih yang ditolak (afkir) tinggi. Hal ini mencerminkan bahwa tanaman pada kelompok ini menghasilkan tandan yang besar namun fruitsetnya rendah sehingga banyak benih (bunga) yang tidak terserbuki.

Cluster 2

Cluster ini memiliki viabilitas serbuk sari yang tinggi, jumlah benih yang baik lebih banyak, dan bobot tandan sedang. Tanaman pada cluster ini menunjukkan hasil terbaik karena viabilitas serbuk sari yang optimal dan produksi benih yang berkualitas.

Cluster 3

Cluster ini menunjukkan bobot tandan dan viabilitas serbuk sari yang lebih rendah, serta jumlah benih yang ditolak dalam jumlah sedang. Hal ini

menunjukkan bahwa tanaman pada cluster ini tidak memberikan hasil yang optimal pada kondisi penyerbukan tertentu.

Fungsi cluster pada penelitian ini sebagai identifikasi pola, cluster membantu mengidentifikasi pola dalam data. Setiap cluster mengelompokkan data memiliki karakteristik serupa, memungkinkan memahami struktur atau pola di dalam dataset. Analisis lanjutan, dengan mengetahui karakteristik masing-masing cluster, dapat melakukan analisis lebih lanjut, seperti menerapkan rumus optimasi untuk melihat bagaimana masing-masing kelompok dapat ditingkatkan.

3.4.3. K-Means Formula

Rumus utama proses K-Means adalah meminimalkan jumlah kuadrat jarak antara titik data dan centroid terdekat, atau disebut dengan Within-Cluster Sum of Squares (WCSS). Tujuan K-Means adalah meminimalkan WCSS, yang dirumuskan sebagai :

$$WCSS = \sum_{j=1}^k \sum_{x_i \in C_j} ||X_i - C_j||^2$$

C_j adalah kumpulan titik data dalam sebuah cluster j

C_j adalah pusat cluster j

x_i adalah titik data dalam cluster j

k adalah jumlah cluster (dalam hal ini, $k = 3$).

Untuk membuat skenario optimasi yang berbeda dengan menggunakan rumus optimasi, dimana akan menguji beberapa kombinasi bobot berbeda untuk melihat bagaimana mempengaruhi hasil produksi benih kelapa sawit. Berikut adalah skenario digunakan aplikasi skenario optimasi :

3.4.4. Skenario berdasarkan bobot (dosis)

Skenario menunjukkan fokus atau prioritas utama dari setiap pendekatan optimasi. Memberikan penjelasan singkat mengenai tujuan dari setiap skenario.

w_1, w_2, w_3 : Bobot yang digunakan dalam rumus optimasi,

Dimana :

- w_1 mengacu pada bobot jumlah biji baik.
- w_2 mengacu pada bobot tandan.
- w_3 mengacu pada penalti atau bobot untuk benih afkir.

Skenario ini digunakan untuk memahami dan membandingkan pendekatan berbeda dalam mengoptimalkan produksi benih berdasarkan variabel yang menjadi prioritas.

Tabel 10. Skenario berdasarkan bobot

Skenario	Deskripsi	w_1	w_2	w_3
Fokus pada Jumlah Benih yang Baik	Memaksimalkan jumlah biji baik dengan tetap mempertimbangkan bobot tandan dan mengurangi benih afkir.	2	1	0.5
Fokus pada Berat Kelompok (Tandan)	Memaksimalkan bobot tandan sambil mempertahankan jumlah biji baik dan mengurangi benih afkir.	1	2	1
Mengurangi Penekanan pada Benih Afkir	Menyeimbangkan antara jumlah biji baik dan bobot tandan dengan penalti yang lebih rendah untuk biji afkir.	1	1	0.2
Fokus Keseimbangan antara Jumlah Benih yang Baik dan Bobot Tandan	Menyeimbangkan antara mendapatkan jumlah biji baik yang tinggi dan bobot tandan yang optimal, dengan sedikit penalti untuk biji afkir.	1.5	1.5	0.5
Fokus Utama Mengurangi Benih yang Ditolak	Mengutamakan pengurangan biji afkir, sementara tetap mempertimbangkan jumlah biji baik dan bobot tandan.	1	1	2
Penekanan Kuat pada Berat Kelompok (Tandan)	Menitikberatkan pada bobot tandan yang tinggi dengan tetap menjaga kualitas biji baik dan biji afkir yang minimal.	0.5	2	1

3.4.5. Skenario melalui penyerbukan

Untuk mengembangkan skenario optimasi berdasarkan proses penyerbukan buatan, kita harus mempertimbangkan beberapa aspek kunci yang dapat mempengaruhi hasil penyerbukan, seperti waktu penyerbukan, kondisi lingkungan, sumber polen yang digunakan, dan teknik penyerbukan itu sendiri. Berikut adalah beberapa skenario yang dapat diterapkan untuk memaksimalkan hasil penyerbukan buatan dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Skenario berdasarkan penyerbukan

Skenario	Deskripsi	Tujuan
Skenario 1: Penyerbukan Pagi Hari (07.00-10.00) Wib	Penyerbukan dilakukan pada pagi hari ketika suhu masih rendah dan kelembaban tinggi, meningkatkan stabilitas polen.	Memaksimalkan jumlah biji baik dan meningkatkan kualitas hasil tandan.
Skenario 2: Penyerbukan Siang Hari (>10.00- 12.00) Wib	Penyerbukan dilakukan pada siang hari ketika suhu lebih tinggi untuk mengeksplorasi pengaruh suhu terhadap polen.	Mengukur efek suhu siang hari terhadap viabilitas polen dan hasil produksi.
Skenario 3: Penyerbukan dengan Polen Segar (<2 tahun)	Menggunakan polen yang baru dipanen dengan viabilitas tertinggi untuk penyerbukan.	Memaksimalkan viabilitas polen dan hasil tandan dengan polen yang paling segar.
Skenario 4: Penyerbukan dengan Polen Disimpan (>2 tahun)	Menggunakan polen yang telah disimpan selama beberapa tahun untuk melihat efek penyimpanan.	Menentukan durasi penyimpanan optimal yang masih menjaga viabilitas polen yang tinggi.

3.5. Pelaksanaan Penelitian dan Pengamatan Parameter

3.5.1. Pelaksanaan Penelitian

1) Persiapan lapangan

Persiapan dilapangan terlebih dahulu adalah menentukan dan mencatat pohon-pohon induk yang terpilih sebagai tempat dilakukannya penelitian dengan pengamatan kemunculan tandan bunga betina untuk dilakukan proses penelitian selanjutnya.

2) Pembungkusan tandan bunga betina

Pembungkusan ini bertujuan untuk menjamin bahwa tandan bunga betina tersebut dibungkus pada waktu yang tepat dengan kondisi *bagging* (pembungkus) yang memenuhi syarat serta pelaksanaan pembungkusan yang benar. Pembungkusan dilakukan dengan cara menutup rapat seluruh

bagian tandan bunga mulai dari ujung tandan sampai tangkai tandan (*stalk*). Kegiatan pembungkusan ini dilakukan sekurang-kurangnya 10 hari sebelum bunga anthesis atau ujung seludang bunga (*spatha*) masih tertutup dengan kondisi seludang pecah 25%.

3) Penyerbukan tandan bunga betina.

Penyerbukan tandan bunga betina adalah upaya menyerbuki tandan bunga betina yang anthesis dengan tepungsari asal tandan bunga jantan yang kompatibel, dengan tujuan menjamin legitimasi benih yang tidak terkontaminasi dengan serbuk sari liar.

4) Pembukaan bungkus

Pembukaan bungkus ini dilakukan 15 hari setelah penyerbukan. Pembukaan bungkus ini bertujuan agar bunga dapat berkembang secara alami. Pembukaan bungkus ini dilakukan dengan cara membuka *bagging* yang menyungkup tandan, dan kemudian memasang label identitas tandan.

5) Pemanenan

Panen dilakukan pada saat tandan berumur 4,5 – 6 bulan. Cara pemanenan tandan yaitu memotong *stalk* tandan, dan kemudian tandan-tandan tersebut dibawa ke unit persiapan benih (Divisi Produksi, Satuan Usaha Strategis Bahan Tanaman) untuk diproses lebih lanjut.

3.5.2. Pengamatan Parameter

1. Berat Tandan (kg)

Berat tandan diukur dengan menggunakan timbangan salter, dilakukan pada akhir penelitian.

2. Jumlah biji baik (butir)

Jumlah benih dihitung dengan cara menghitung biji baik, dilakukan pada akhir penelitian.

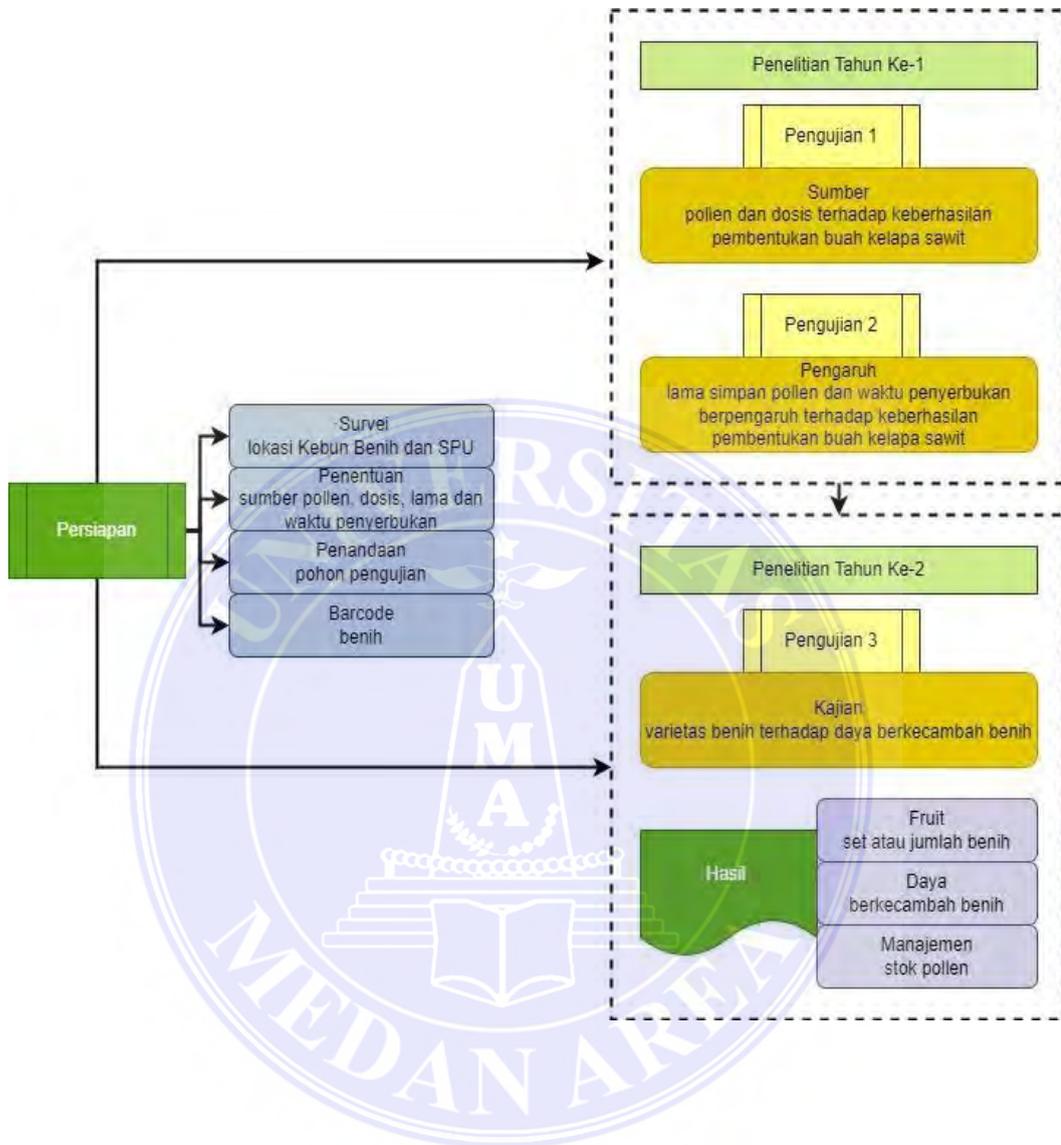
3. Jumlah biji afkir (butir) dan Viabilitas polen (%)

Menghitung jumlah biji afkir (tidak layak), dilakukan pada akhir penelitian dan viabilitas polen >70% (sesuai SOP).

4. Daya berkecambah benih

Jumlah benih yang dikecambahkan, dihitung berapa yang tumbuh dan benih yang tidak tumbuh.

3.6. Bagan Alur Penelitian



Gambar 16. Bagan Alur Penelitian

3.7. Penelitian I.

SUMBER POLEN DAN DOSIS TERHADAP KEBERHASILAN PEMBENTUKAN BUAH KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Abstrak

Produksi benih merupakan aspek yang paling vital bagi kegiatan pertanian. Pemilihan benih berkualitas baik menentukan hasil yang menghasilkan hubungan berbanding lurus dengan banyaknya hasil produksi kelak. Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah mengetahui pengaruh sumber polen (serbuk sari) dan dosis terhadap pembentukan buah kelapa sawit dengan cara penyerbukan buatan. Metode yang digunakan merupakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua faktor. Faktor pertama adalah sumber serbuk sari (polen), yaitu: V1 : Yangambi dan V2 : PPKS 540. Faktor kedua adalah jumlah dosis serbuk sari, yaitu: D1= 0,25 g serbuk sari; D2 = 0,12 g serbuk sari; D3 = 0,06 g serbuk sari; D4 = 0,04 g serbuk sari, dan D5 = talk/blangko (kontrol), sehingga terdapat 10 kombinasi perlakuan yang diulang tiga kali sehingga jumlah tanaman yang menjadi bahan percobaan ada sebanyak 30 pohon. Pengujian lanjut dilakukan dengan Uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*). Hasil penelitian menghasilkan rerata jumlah biji baik sebanyak 1.800 butir, dengan biji baik paling sedikit sejumlah 1.011 butir dan biji baik paling banyak sejumlah 3.232 butir. Sementara itu, biji afkir yang muncul dari percobaan ini memiliki rata-rata sejumlah 120 butir, dengan biji afkir paling sedikit adalah 0 (tidak ada biji afkir) dan paling banyak 1.156 butir. Untuk bobot tandan percobaan ini memiliki rerata sebesar 28,5 kg, dengan bobot terendah adalah 18 kg dan bobot tertinggi mencapai 52 kg.

Hasil analisis ragam dosis memberikan pengaruh nyata (signifikan) secara statistik terhadap jumlah biji baik, sementara sumber polen dan interaksinya dengan dosis tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap jumlah biji baik. Hasil uji menunjukkan semua dosis berbeda nyata satu sama lain. D4 memiliki rerata jumlah biji baik tertinggi, yaitu sebanyak 2.280 butir, sedangkan D2 memiliki jumlah biji baik terendah, yaitu sebanyak 1.334 butir.

Kata kunci : *Varietas, dosis polen, biji baik dan biji afkir.*

3.7.1. Pendahuluan

Kelapa sawit merupakan tanaman yang tumbuh di daerah tropis tergolong dalam famili *arecaceae* yang berasal dari Afrika (Robins, 2021). Kelapa sawit juga dapat tumbuh di luar daerah asalnya, seperti Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Papua Nugini. Kelapa sawit memiliki potensi yang besar di Indonesia, penyebaran perkebunan kelapa sawit saat ini telah memasuki 26 provinsi (Rizqullah, 2023; PPKS, 2023). Keberhasilan pengembangan industri dan kebutuhan perluasan lahan tidak terlepas dari ketersediaan faktor pendukung, salah satu diantaranya adalah ketersediaan benih unggul kelapa sawit dari hasil silangan bunga betina pohon Dura (D) dengan tepung sari bunga jantan pohon Pisifera (P) yang didasari oleh aktivitas pemuliaan yang sistematis dan berkelanjutan (Yabani *et al.*, 2023; Amiruddin *et al.*, 2023). Untuk mendapatkan benih kelapa sawit yang unggul harus dilakukan dengan polinasi buatan yang dirancang sedemikian rupa sesuai dengan ilmu pemuliaan sehingga dapat diketahui dengan jelas asal usul benih tersebut, yang merupakan salah satu syarat dari benih unggul. Kesehatan tanaman juga menentukan produktivitas kelapa sawit (Tui *et al.*, 2019). Kualitas dan kuantitas tandan bunga jantan dan bunga betina akan dipengaruhi oleh kondisi defisiensi unsur hara tanaman (Sidhu *et al.*, 2009; Susanto *et al.*, 2020).

Produksi kelapa sawit harus di dorong demi memenuhi permintaan pasar yang terus meningkat. Produksi kelapa sawit bergantung pada berbagai faktor, di antaranya cuaca, kesesuaian lahan, benih unggul, dan teknologi yang mendukung intensifikasi (Kartika *et al.*, 2015; Varkkey *et al.*, 2018; Nurkholis dan Sitanggang, 2020; Ginting *et al.*, 2021). Produktivitas optimal kelapa sawit dapat mencapai 24-30 ton tandan buah segar (TBS) per hektare per tahun atau sekitar 4-6 ton minyak sawit (Syarovy *et al.*, 2017). Material tanam seperti benih memainkan peran signifikan dalam mutu dan hasil produksi kelapa sawit. Penggunaan benih ilegal relatif signifikan menyebabkan *gap* hasil aktual dengan potensi produktivitas (Ardana *et al.*, 2022). Benih unggul yang telah bersertifikasi menjamin mutu hasil dan produksi kelapa sawit. Benih unggul memainkan peran signifikan dalam mutu dan hasil produksi kelapa sawit (Kelanaputra *et al.*, 2018; Purba, 2019). Benih unggul dikomersilkan dengan tipe buah Tenera yang biasanya memiliki produktivitas tinggi, rendemen minyak lebih tinggi, dan kernel yang lebih kecil

merupakan persilangan kelapa sawit jenis buah Dura dan Pisifera (Kartika *et al.*, 2015; Hasibuan, 2020).

Dalam melakukan polinasi buatan faktor penting yang mendukung salah satunya adalah polen (serbuk sari) dari pohon Pisifera yang berkualitas serta dosis serbuk sari itu sendiri, diluar dari faktor-faktor penting yang lain. Mengapa hal ini dianggap penting sebab dapat mempengaruhi dan menentukan *fruit set* tandan benih. Semakin baik *fruit set* tandan maka kualitas dan ukuran tandan semakin meningkat yang ditandai dengan perbandingan buah jadi lebih banyak dibanding dengan buah partenokarpi. Dengan semakin banyaknya buah yang jadi maka semakin besar kemungkinan mendapatkan benih yang dapat memenuhi kebutuhan perluasan lahan untuk kebutuhan pengembangan industri. Masa anthesis bunga jantan tidak selalu sama dengan masa reseptif bunga betina (Lubis, 2008; Corley dan Tinker, 2016).

Keberhasilan penyerbukan ini dapat dilihat dari jumlah buah per tandan (*fruit set*) dan kualitas benih yang dihasilkan. Jumlah buah yang tinggi dapat dicapai pada saat bunga betina mekar, terdapat serbuk sari yang viable dalam jumlah cukup, sehingga semua bunga dapat diserbuki. Serbuk sari dengan viabilitas tinggi akan lebih dulu membuahi sel telur serta menghasilkan buah bermutu baik dan benih berviabilitas tinggi (Buana *et al.*, 1994). *Spikelet* menempel pada batang stalk dan polen menempel pada *spikelet* (Fairhurst dan Hardter, 2003; Corley dan Tinker, 2016). Bunga betina berbentuk agak bulat dengan ujung kelopak rata dan garis tengah lebih besar. Rangkaian bunga terdiri dari batang poros dan cabang-cabang runcing yang disebut *spikelet*. Jumlah *spikelet* bunga jantan dan betina relatif sama (Corley dan Tinker, 2016).

Kelapa sawit tipe buah Pisifera dijadikan tetua jantan karena biasanya memiliki bunga betina steril (*abortus*) dan tipe Dura dijadikan sebagai tetua betina sehingga membuat varietas kelapa sawit hibrida DxP (Babu *et al.*, 2017; Amiruddin *et al.*, 2023). Karakter ketebalan cangkang pada kelapa sawit dikendalikan oleh gen tunggal yaitu gen Sh (shell). Tipe Dura bercangkang tebal (2-8 mm), memiliki genotipe homozigot dominan (Sh+/Sh+). Tipe Pisifera tidak bercangkang, memiliki genotipe homozigot resesif (sh-/sh-). Persilangan tetua Dura dan Pisifera akan

memiliki genotipe heterozigot (Sh+/sh-) dengan cangkang tipis (Tasma dan Arumsari, 2013).

Pereira (2021) menyebutkan unsur boron sangat penting untuk pertumbuhan generatif. Boron terlibat dalam metabolisme karbohidrat dan asam fenolik, yang sangat penting untuk pertumbuhan tabung serbuk sari. Penurunan hasil atau kualitas biji/buah dapat disebabkan oleh berkurangnya perkembangan reproduksi pada awal atau akhir siklus pembungaan/pembuahan akibat rendahnya unsur hara B. Sering terlihat bahwa pertumbuhan reproduktif, terutama pembungaan, pembentukan buah dan biji, sangat sensitif terhadap defisiensi B dibandingkan dengan pertumbuhan aseksual (Bariya *et al.*, 2014). Pada tanaman kelapa sawit, boron sangat berperan penting dalam proses polinasi dan pembentukan buah atau *fruit set*. Berikut hasil uji laboratorium PPKS terhadap hara makro dan mikro pada serbuk sari kelapa sawit.

Tabel 12. Unsur hara makro dan mikro yang terkandung dalam serbuk sari (polen)

No	Parameter Unsur	Jumlah Kandungan
1	Nitrogen (N)	5,54 (%)
2	Posfor (P)	1,13 (%)
3	Kalium (K)	0,71 (%)
4	Calsium (Ca)	1,05 (%)
5	Magnesium (Mg)	0,32 (%)
6	Boron (B)	15,55 (ppm)
7	Cuprum (Cu)	18,90 (ppm)
8	Besi (Fe)	22,79 (ppm)
9	Sulfur (S)	0,33 (%)

Dalam pengelolaan serbuk sari perlu juga usaha untuk meningkatkan efisiensi penggunaan serbuk sari. Penggunaan serbuk sari dengan viabilitas yang baik diharapkan akan dapat meningkatkan efisiensi dalam penggunaan serbuk sari (Borg dan Twell, 2011; Yabani *et al.*, 2024). Selama proses penyerbukan buatan, polinator akan menentukan jatuhnya serbuk sari pada stigma. Oleh karena itu keterampilan polinator yang berbeda-beda dalam melakukan penyerbukan buatan akan menjadi salah satu faktor yang beragam pada keberhasilan pembentukan buah (*fruit set*).

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan solusi terbaik meningkatkan jumlah benih kelapa sawit dengan menggunakan metode penyerbukan buatan dari sumber dan beberapa taraf dosis polen (serbuk sari).

3.7.2. Tinjauan Pustaka

Karakteristik bahan tanaman kelapa sawit unggul sangat penting untuk meningkatkan hasil dan keberlanjutan dalam produksi kelapa sawit. Ciri-ciri utama termasuk hasil tandan buah segar (FFB) yang tinggi, pertumbuhan lambat <85 cm/tahun (PPKS, 2023).

3.7.2.1. Karakteristik varietas benih unggul

a). Karakteristik DxP Simalungun

Keputusan Mentan RI No. 137/Kpts/TP.204/4/2003

Rerata jumlah tandan : 13 tandan/pohon/tahun

Rerata berat tandan : 19,2 kg

Tandan Buah Segar (TBS)

Rerata : 28,4 ton/ha/tahun

Potensi : 33 ton/ha/tahun

Rendemen : 26,5 %

Crude Palm Oil (CPO)

Rerata : 7,53 ton/ha/tahun

Potensi : 8,7 ton/ha/tahun

Inti/buah : 9,2 %

Pertumbuhan meninggi : 75-80 cm/tahun

Panjang pelepah : 5,47 m

Keunggulan : Pertumbuhan jagur, produksi tandan tinggi, rendemen minyak sangat tinggi. Dapat ditanam pada berbagai areal.

b). Karakteristik DxP PPKS 540

Keputusan Mentan RI No. 371/Kpts/TP.120/7/2007

Rerata jumlah tandan : 14 tandan/pohon/tahun

Rerata berat tandan : 15,4 kg

Tandan Buah Segar (TBS)

Rerata : 28,4 ton/ha/tahun

Potensi : 35 ton/ha/tahun

Rendemen : 27,4 %

Crude Palm Oil (CPO)

Rerata : 7,53 ton/ha/tahun

Potensi : 9,6 ton/ha/tahun

Inti/buah : 9,2 %

Pertumbuhan meninggi : 75-80 cm/tahun

Panjang pelepah : 5,5 m

Keunggulan : Pertumbuhan jagur, produksi tandan tinggi, rendemen minyak sangat tinggi. Daya adaptasi luas.

c). Karakteristik Turunan Langkat

Keputusan Mentan RI No. 136/Kpts/TP.204/2/2003

Rerata jumlah tandan : 12,5 tandan/pohon/thn

Rerata berat tandan : 19,0 kg

Tandan Buah Segar (TBS)

Rerata : 27,5 ton/ha/tahun

Potensi : 31 ton/ha/tahun

Rendemen : 26,3 %

Crude Palm Oil (CPO)

Rerata : 7,23 ton/ha/tahun

Potensi : 8,3 ton/ha/tahun

Inti/buah : 9,3 %

Pertumbuhan meninggi : 60-70 cm/tahun

Panjang pelepah : 5,31 m

Keunggulan : Pertumbuhan relatif jagur, produksi tandan tinggi, rendemen minyak sangat tinggi, dapat ditanam di berbagai areal.

d). Karakteristik Turunan Dumpy

Keputusan Mentan RI No. 384/Kpts/TP.204/4/1984

Rerata jumlah tandan : 8 tandan/pohon/tahun

Rerata berat tandan : 25,0 kg

Tandan Buah Segar (TBS)

Rerata : 25-28 ton/ha/tahun

Potensi : 32 ton/ha/tahun

Rendemen : 23-26 %

Crude Palm Oil (CPO)

Rerata	: 6,5-7,3 ton/ha/tahun
Potensi	: 7,5 ton/ha/tahun
Inti/buah	: 6,5 %
Pertumbuhan meninggi	: 40-55 cm/tahun
Panjang pelepah	: 6,20 m
Keunggulan	: Pertumbuhan meninggi sangat lambat, tidak dianjurkan ditanam di daerah berlereng.

e). Karakteristik Turunan Yangambi

Keputusan Menteri Pertanian Nomor 317/Kpts/TP.240/4/1985. Yangambi merupakan populasi kelapa sawit asal Afrika yang banyak digunakan sebagai tetua pisifera sumber benih unggul. Varietas kelapa sawit PPKS yang dihasilkan dari populasi ini adalah: Yangambi, PPKS 239 dan PPKS 718.

Secara umum, populasi ini memiliki keunggulan pada bobot tandan yang relatif besar. Varietas yangambi memiliki potensi produksi 39 ton/ha/tahun. Dengan karakter tandan besar tersebut, varietas-varietas yang dihasilkan dari populasi ini dapat ditanam di wilayah yang tenaga panennya terbatas, serta areal pertanaman yang relatif datar. Varietas DxP PPKS 239, selain memiliki tandan yang relatif besar, juga memiliki potensi produksi CPO > 7,5 ton/ha/tahun dan rendemen 26% yang lebih tinggi dibanding varietas lainnya dalam kelompok ini. Varietas ini cocok dikembangkan untuk industri minyak non pangan.

3.7.2.2. Bunga Kelapa Sawit

Primordia bunga (bakal bunga) mempunyai potensi membentuk bunga jantan dan bunga betina. Tandan bunga jantan dan bunga betina muncul dari setiap ketiak pelepah daun (Harahap, 2008; Corley dan Tinker, 2016; Woittiez *et al.*, 2017; Yabani *et al.*, 2023). Tanaman kelapa sawit mulai berbunga pada umur 12-14 bulan, tetapi baru ekonomis untuk di panen pada umur 2,5 tahun (Lubis, 2008). Bunga periode pertama ini umumnya memunculkan tandan bunga jantan atau *hermaphrodite* terlebih dahulu. Satu tandan bunga tumbuh dan berkembang dari sisi pangkal setiap pelepah daun berbeda. Dengan demikian akan ada 24 hingga 36

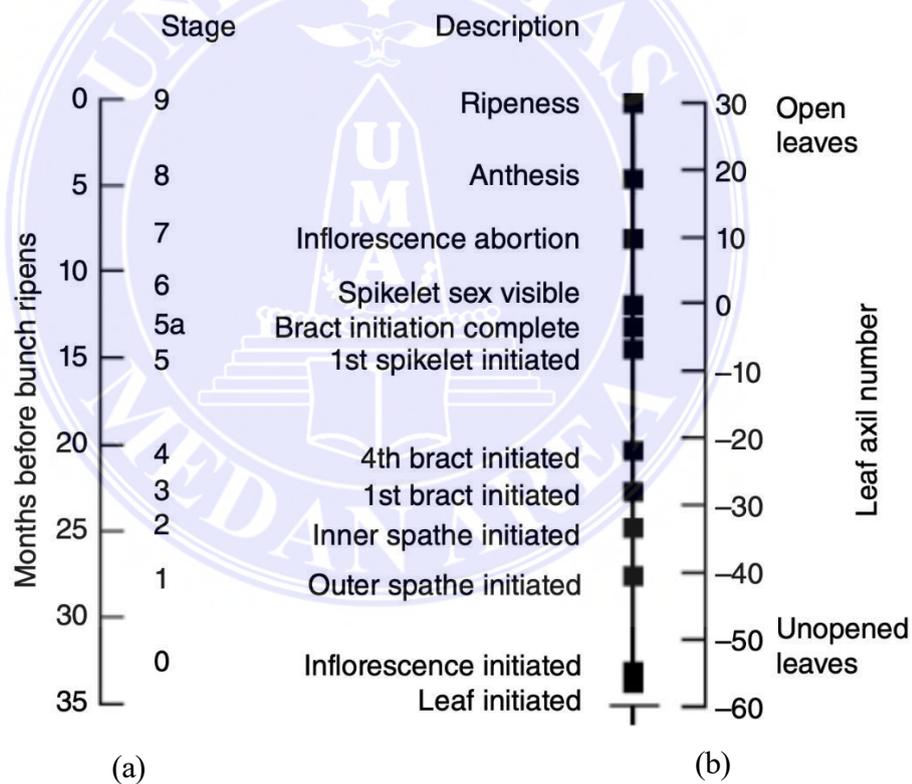
bunga pertahun, disebabkan pelepas daun tumbuh 2-3 per bulan. Umumnya sulit mengidentifikasi pertumbuhan awal bunga karena bentuknya dan terjepit diantara batang dan pangkal pelepah (Forero *et al.*, 2012). Bunga kelapa sawit merupakan *monoecious*, bunga jantan dan bunga betina dalam satu pohon. Proporsi pembentukan tandan bunga kelapa sawit berdasarkan jenis kelaminnya dikenal dengan sex-ratio yaitu produksi tandan bunga betina terhadap total produksi bunga (Amiruddin *et al.*, 2023).

Anthesis bunga betina ini tidak serentak dalam satu tandan, biasanya berselang 3-5 hari (Hidayat, *et al.*, 2013). Jumlah bunga betina per tandan beragam, pada tanaman muda 1.000-3.000 bunga/tandan. Bunga mekar selama 3-5 hari, dimulai dari pangkal spikelet, terbanyak (60%-75%) pada hari ke 2-3, yaitu saat yang tepat untuk diserbuki. Selanjutnya kepala putik berubah warna menjadi kemerahan karena adanya senyawa antosianin, dan akhirnya menghitam. Tiap tandan memiliki 100-250 spikelet yang panjangnya 10-20 cm dan diameter 1-1,5 cm. Tiap bunga jantan menghasilkan serbuk sari (polen) sebanyak 40-60 gram/tandan, berbau harum, jauh lebih harum dari bunga betina. Bau tersebut dikeluarkan oleh senyawa estragol yang berfungsi sebagai penarik serangga (Corley dan Tinker, 2016). Penyerbukan yang umum terjadi biasanya penyerbukan silang namun kadang juga sendiri (Mangoensoekarjo dan Semangun, 2008). Bunga banci (*hermaprodit*) tergolong pada bunga abnormal dimana terdapat bunga jantan dan bunga betina dalam satu tandan.



Gambar 17. Bunga Anthesis (A) dan Bunga Lewat Anthesis (B)

Penyerbukan pada tanaman kelapa sawit adalah proses terjadinya pertemuan antara stamen dan kepala putik. Pada sekuntum bunga bertemunya gamet jantan dan gamet betina dan membentuk zygote (Borg dan Twell, 2011). Hal ini merupakan fenomena alam yang terjadi didalam bunga yakni masuknya tepung sari dari anther ke stigma dan terjadi pembuahan yang menghasilkan embryo dan endosperm. Selain itu, pelepasan dan penyebaran serbuk sari, dan tingkat pembentukan buah dipengaruhi pula oleh suhu, cahaya matahari, angin, kelembaban dan curah hujan. Turner *et al.*, (1982); Corley dan Tinker, (2016) menyatakan bahwa suhu yang tinggi meningkatkan jumlah serbuk sari di atmosfer sedangkan kelembaban udara yang rendah akan menyebabkan kepala putik pada bunga betina menjadi kering sehingga penangkapan serbuk sari menjadi berkurang sehingga menurunkan buah yang terbentuk.



Gambar 18. Jajaran tahap perkembangan bunga. Skala berdasarkan bulan sebelum tandan buah matang serta fase perkembangan bunga pada sisi kanan (a) Skala berdasarkan jumlah pelepah tumbuh (b). Perkembangan bunga betina dan jantan tampak mirip sampai pada fase inisiasi kelopak pada seludang (pelepah daun -4) (Corley dan Tinker, 2016).

Keterangan Gambar 18 dan 19 :

A, pertumbuhan awal empat kelopak bunga, diferensiasi seks belum ada (fase 4)

B, pertumbuhan lebih lanjut kelopak bunga

C, pertumbuhan awal *spikelet* (fase 5)

D, pertumbuhan belum sempurna kelopak bunga

E, pertumbuhan sempurna kelopak bunga (fase 5a)

F, perkembangan lanjut *spikelet*

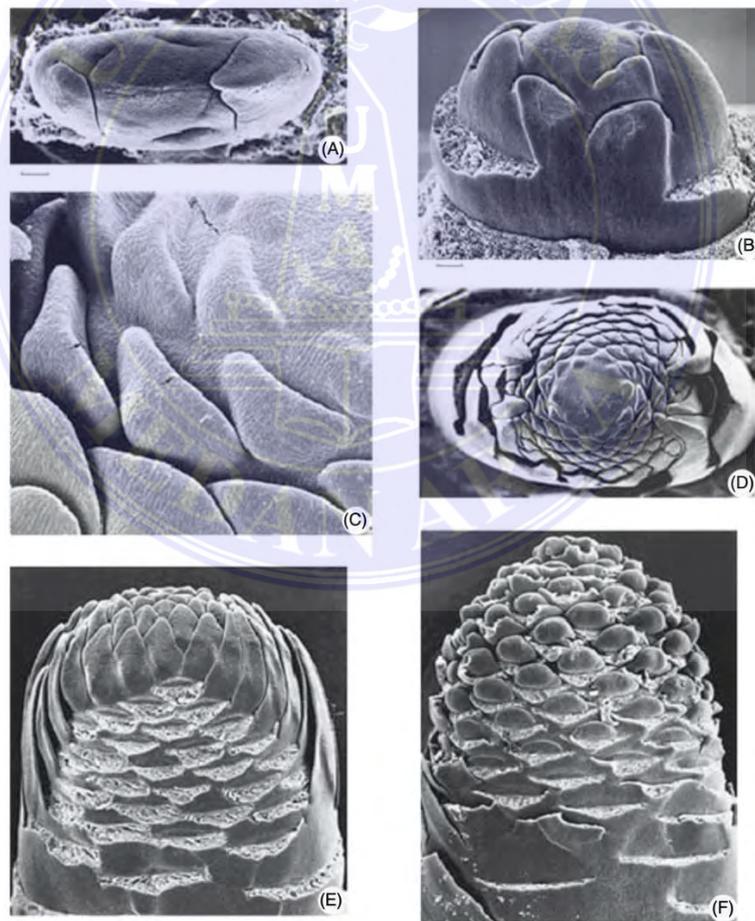
G, jenis bunga *spikelet* dapat diketahui (betina, fase 6)

H, jenis bunga *spikelet* dapat diketahui (jantan, fase 6)

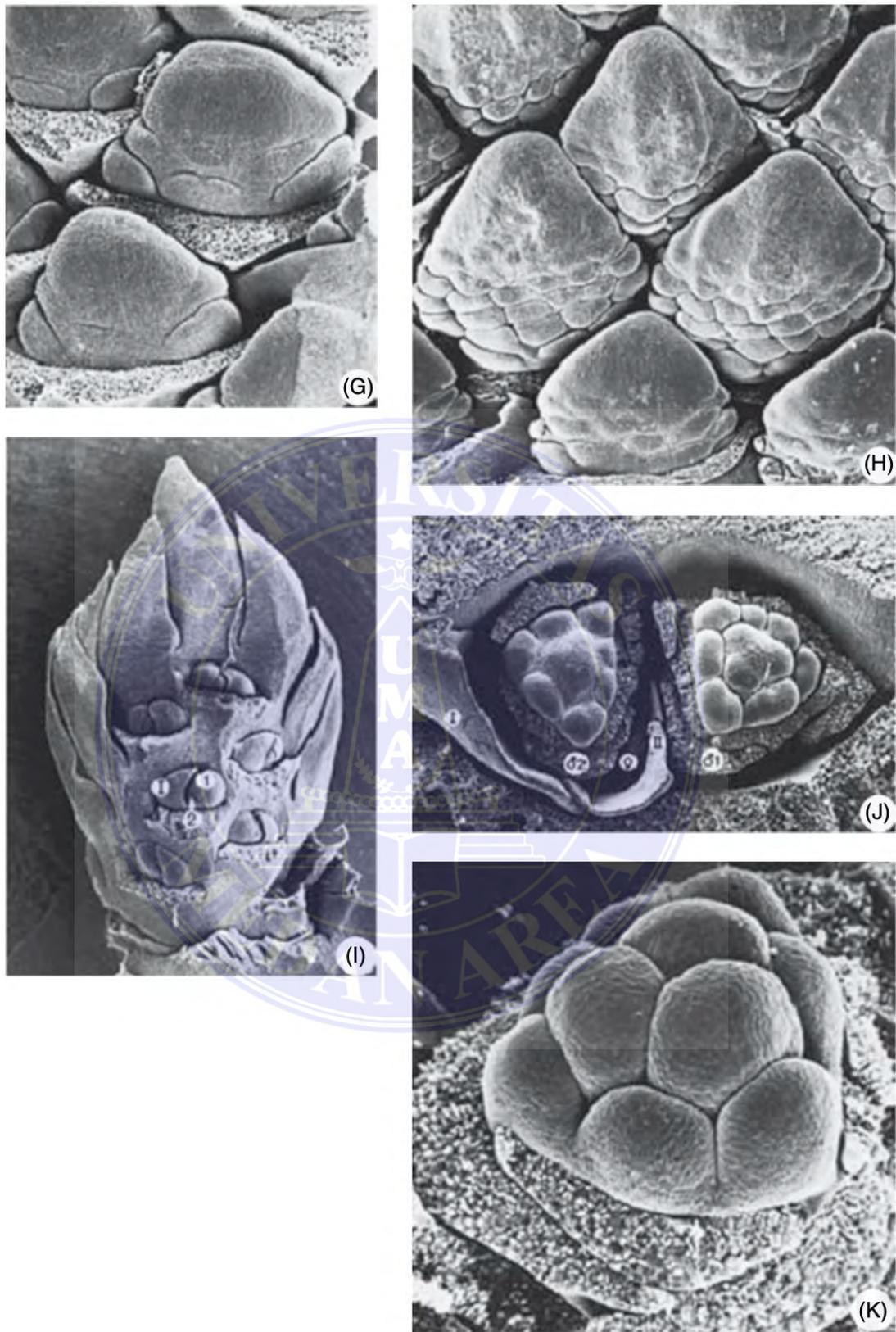
I, bunga betina 3 rangkaian bunga dengan bungan jantan

J, dua bunga jantan dengan 3 rangkaian bunga betina

K, bunga betina siap berkembang, namun bungan jantan tidak



Gambar 19. Hasil pindai mikrograf elektron perkembangan bunga kelapa sawit (Adam *et al.*, 2007).



Gambar 19. Hasil pindai mikrograf elektron perkembangan bunga kelapa sawit (lanjutan).

3.7.2.3. Buah

Buah kelapa sawit adalah tipe buah batu atau satu buah yang mengandung biji yang ditutupi oleh mesokarp dengan berbagai bentuk dari hampir bulat, bulat telur atau memanjang. Panjang buah kelapa sawit berkisar antara 2 sampai 7 cm, beratnya 30 gram dan terdiri dari kulit (*eksokarp*) tipis, mesokarp, cangkang (*endokarp*), dan endosperm atau kernel. Kulit buah dan mesokarp disebut juga perikarp yang mengandung sebagian besar minyak mentah kelapa sawit dengan rendemen 20 sampai 27%, sedangkan kernel (inti sawit) mengandung minyak inti dengan rendemen 4 sampai 6% (Wahid *et al.*, 2005). Mesokarp buah kelapa sawit juga mengandung banyak karotenoid (Sambanthamurthi *et al.*, 2000). Sedangkan inti tersebut terdiri dari endosperma dan embrio (Mangoensoekarjo dan Semangun, 2008; Amiruddin *et al.*, 2023).

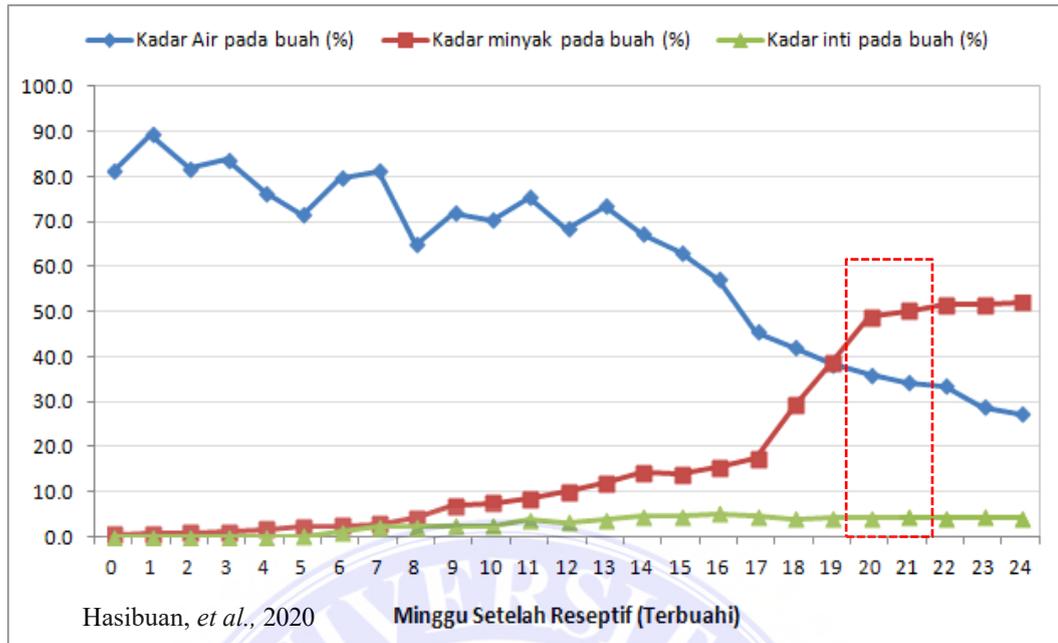
Perkembangan mesokarp buah kelapa sawit dibagi ke dalam lima fase. Fase I terjadi antara 30 sampai 60 hari setelah polinasi (HSP) yang ditandai dengan pembelahan sel antiklinal dan pembesaran sel dengan peningkatan awal pada ukuran dan bobot buah. Fase II di antara 60 sampai 100 HSP merupakan periode transisi yang dikarakterisasi dengan akumulasi bobot segar dan jumlah indole-3-acetic acid (IAA) yang tinggi. Fase III di antara 100 sampai 120 HSP merupakan akhir dari periode transisi, terlihat dengan menurunnya konsentrasi auksin, sitokinin dan giberelin. Fase IV merupakan fase awal pemasakan yang terlihat dengan peningkatan bobot segar mesokarp dan akumulasi lipid terlihat pada 120 HSP. Pada fase ini lipid dapat mencapai 2 g buah⁻¹ dan mulai terjadi akumulasi karoten. Fase V merupakan fase pemasakan yang ditandai dengan meningkatnya konsentrasi hormon ABA dan etilena (Tranbarger *et al.*, 2011).



Gambar 20. Fase perkembangan buah kelapa sawit pada berbagai umur

Penampakan luar buah bervariasi terutama saat pematangan. Jenis paling umum adalah buah tipe nigrescens yang berwarna ungu tua sampai hitam pada apeks dan tidak berwarna pada bagian dasar sebelum buah masak. Pada waktu masak warna bervariasi dari jingga ke merah, yang disebabkan oleh terjadinya perubahan kandungan karoten. Jenis buah yang relatif jarang adalah tipe virescens yang berwarna hijau sebelum masak dan saat matang berubah menjadi warna jingga kemerahan. Jenis buah lain tanpa karoten dalam mesokarp disebut sebagai albescens, namun jenis ini sangat jarang. Struktur internal buah menunjukkan variasi yang cukup besar, yang paling penting adalah karakter ketebalan cangkang yang ditentukan secara genetik. Buah kelapa sawit ada yang tanpa cangkang atau memiliki cangkang hingga ketebalan 8 mm (Corley dan Tinker 2016; Amiruddin *et al.*, 2023). Bentuk buah internal ditentukan oleh faktor genetik.

Tandan buah berisi sekitar 1.500 buah dengan nisbah buah terhadap tandan berkisar antara 60 sampai 70%. Pada waktu tandan buah berkembang hingga masak, tandan buah ditopang oleh pelepah daun ke 30 sampai ke 32 dan bobot tandan buah bervariasi dari beberapa kilogram sampai 18-35 kg pada tanaman dewasa (15 sampai 20 tahun setelah tanam). Buah bagian luar lebih berwarna dan buah bagian dalam kurang berpigmen. Terdapat juga beberapa buah partenokarpi yang berkembang meskipun tidak terjadi pembuahan.



Gambar 21. Grafik perkembangan komposisi buah kelapa sawit setelah masa reseptif.

3.7.2.4. Benih atau Biji

Benih yang baik adalah benih yang akan tumbuh menghasilkan tanaman yang bermutu, berproduksi tinggi, memiliki sifat sekunder yang baik atau unggul, serta telah dilepas Pemerintah secara resmi. Pada UU No. 12 tahun 1992 tentang Sistem Budidaya Tanaman dikatakan bahwa benih bermutu jika varietasnya benar dan murni serta mempunyai mutu genetik, mutu fisiologis dan mutu fisik yang tinggi sesuai standar mutu pada kelasnya.

Menurut Lubis, (2008); Corley dan Tinker, (2016) bahwa benih kelapa sawit unggul memiliki ciri- ciri, yaitu :

1. Berasal dari hasil pemuliaan serta telah diuji pada berbagai kondisi
2. Tersedia sebagai bahan tanaman dalam jumlah yang dibutuhkan
3. Umur genjah
4. Memiliki produksi dan kualitas minyak yang tinggi
5. Respon terhadap perlakuan yang diberikan
6. Memiliki umur ekonomis cukup panjang
7. Tahan terhadap hama dan penyakit serta toleran terhadap lingkungan
8. Benih diperoleh dari Pusat sumber benih yang resmi dan telah diakui pemerintah

Biji merupakan bagian buah yang telah terpisah dari daging buah yang telah terpisah dari daging buah dan sering disebut noten atau nut yang memiliki berbagai ukuran tergantung tipe tanaman (Lubis, 2008). Biji kelapa sawit terdiri atas cangkang, embryo dan inti atau endosperm. Embryo panjangnya 3 mm berdiameter 1,2 mm berbentuk silindris seperti peluru dan memiliki dua bagian utama. Bagian yang tumpul permukaannya berwarna kuning dan bagian lain agak tajam berwarna kuning. Endosperm merupakan cadangan makanan bagi pertumbuhan embryo. Pada perkecambahan embriyo berkembang dan akan keluar melalui lobang cangkang (*germpore*). Bagian pertama yang muncul adalah radikula (akar) dan menyusul plumula (Lubis, 2008).

3.7.2.5. Viabilitas Polen

Pollen grains atau serbuk sari adalah mikrogametofit dari organ reproduktif tanaman yang menghasilkan gamet jantan yang dibutuhkan untuk bereproduksi secara seksual. Pada angiospermae polen terdiri dari dua (biselular) atau tiga (triselular) sel haploid ketika anthesis. Kedua polen memiliki sel vegetatif yang terdiri dari satu sel generatif atau dua sel sperma. Sel vegetatif terdiri dari sekumpulan serbuk sari dan bertanggung jawab terhadap perkecambahan polen dan pertumbuhan tabung polen. Tabung polen mampu untuk melakukan penetrasi jauh ke dalam jaringan *style* untuk mengirimkan dua sel sperma ke kantung embrio ketika melakukan pembuahan ganda. Satu sel sperma bergabung dengan satu sel telur haploid membentuk zigot diploid dan sel sperma kedua bergabung dengan dua sel sentral untuk membentuk triploid endosperma primer (Borg dan Twell, 2011).

Ketersediaan serbuk sari dengan viabilitas yang tinggi merupakan salah satu komponen yang menentukan keberhasilan persilangan tanaman. Pengelolaan serbuk sari yang mencakup saat pemanenan yang tepat, pengolahan untuk menjamin kemurniannya, dan penyimpanan untuk mempertahankan viabilitasnya mempunyai peranan penting dalam produksi benih kelapa sawit (Lubis, 1993; Lubis, 2008; Yabani *et al.*, 2023). Serbuk sari merupakan jaringan hidup yang dapat mengalami kemunduran dan kematian. Daya hidup serbuk sari berbeda pada setiap spesies, dari beberapa jam, beberapa bulan, hingga beberapa tahun. Lama simpan serbuk sari dapat ditingkatkan dengan mengendalikan faktor-faktor yang mempengaruhi viabilitasnya. Faktor ini mencakup cahaya, suhu, udara, dan

kelembaban. Umumnya serbuk sari dapat disimpan lebih lama dalam kondisi kering dan suhu rendah (Sudaryono *et al.*, 2005).

Menurut Shivanna *et al.*, (1991); De Vitis *et al.*, (2020), serbuk sari dinyatakan viable apabila mampu menunjukkan kemampuan atau fungsinya menghantarkan sperma ke kandung lembaga, setelah terjadi penyerbukan. Serbuk sari dapat kehilangan viabilitasnya pada suatu periode waktu tertentu. Hilangnya viabilitas segar dipengaruhi oleh kondisi lingkungan terutama suhu dan kelembaban relatif. Menurut hasil penelitian Moro *et al.*, (1999) hasil uji viabilitas serbuk sari juga dapat dipengaruhi oleh asal pengambilan serbuk sari dari bunga yang tumbuh di bagian mana dari tanaman tersebut. Turner dan Gillbanks (2003) menyatakan bahwa tidak ada perbedaan viabilitas serbuk sari dari berbagai umur pada suatu individu kelapa sawit, akan tetapi serbuk sari yang dihasilkan lebih awal akan memiliki viabilitas yang lebih baik pada suatu tandan bunga jantan.

Polen memiliki berbagai ukuran, bentuk, dan tekstur permukaan yang berbeda. Ukuran polen memiliki variasi diameter 5-200 μm dengan bentuk bulat, lonjong, atau bentuk lainnya. Dinding polen, yang disebut *exine* adalah struktur paling luar polen yang bertindak sebagai pelindung polen. *Exine* menentukan posisi bukaan perkecambahan polen. Selain fungsi *exine* melindungi sel-sel reproduksi dari benturan dan cedera lingkungan, *exine* memainkan peran penting dalam penyebaran polen melalui penempelan ke serangga penyerbuk dan pada permukaan stigma (Borg dan Twell, 2011).

Dalam pengelolaan serbuk sari (polen) perlu dilakukan juga usaha untuk meningkatkan efisiensi penggunaan serbuk sari. Penggunaan serbuk sari dengan viabilitas yang baik diharapkan akan dapat meningkatkan efisiensi dalam penggunaan serbuk sari. Selama proses penyerbukan buatan, polinator akan menentukan jatuhnya serbuk sari pada stigma. Oleh karena itu keterampilan dan kompetensi polinator yang berbeda-beda melakukan penyerbukan buatan akan menjadi salah satu faktor yang beragam pada keberhasilan pembentukan buah (*fruit set*). Evaluasi tentang perbedaan polinator tentu akan menjadi salah satu tolak ukur dalam penggunaan serbuk sari.

Polen kelapa sawit memiliki pita mRNA yang 76% identik dengan mRNA pada padi, perkecambahan polen terjadi dalam waktu 2 jam setelah polinasi (Wang, *et al.*, 2018). Perkecambahan optimal pada kondisi *in vitro* didapat setelah 3 jam

(Youmbi *et al.*, 2015). Polen dapat hidup selama 3-15 hari (Lankinen *et al.*, 2018). Polen kelapa sawit dapat hidup hingga 5 hari karena polen kelapa sawit termasuk polen biselular (Youmbi *et al.*, 2015). Penelitian lain mengungkapkan polen kelapa sawit menunjukkan hilangnya viabilitas setelah 7 hari (Tandon *et al.*, 1999). Periode hidup polen adalah periode waktu polen mempertahankan viabilitasnya hingga saat pembuahan (Sunilkumar *et al.*, 2017).

3.7.2.6. Pemilihan Pohon Induk dan Pohon Jantan

Saat ini bahan tanaman yang digunakan di Indonesia adalah tenera yang merupakan hasil persilangan antara dura terpilih dengan pisifera hasil pengujian. Pada kegiatan persilangan, pohon dura terpilih dijadikan sebagai pohon induk/betina dan pohon pisifera sebagai pohon bapak/jantan. Pusat penelitian Kelapa Sawit memberi tanda merah untuk pohon dura terseleksi dan warna merah/hijau untuk pohon pisifera terseleksi.

Pohon dura terseleksi diperoleh dari hasil persilangan DxD. Setelah hasil pengujian DxD diketahui dan telah ditelusuri tetua dura yang digunakan maka dilakukan pemilihan pohon induk pada kebun induk DxD (Amiruddin *et al.*, 2023). Karakter yang diamati untuk penentuan pohon dura seleksi yaitu tingkat produksinya secara individu, dilakukan analisis tandan, sifat pertumbuhan, kepekaan terhadap penyakit dan kemurniannya. Pemilihan dilakukan berdasarkan kriteria yang ditentukan, yaitu: produksi tandan, persentase buah/tandan, daging buah/tandan, minyak/daging buah, minyak/tandan. Pohon jantan atau pisifera diperoleh dari hasil pengujian persilangan TxP, TxT. Pohon pisifera yang digunakan sebagai pejantan adalah pohon yang menunjukkan hasil baik menurut rekomendasi dari Kelompok Peneliti Pemuliaan (*Breeding*).

Latif (2006); Kelanaputra *et al.*, (2018); dan Cui *et al.*, (2020) menyatakan bahwa karakter tetua-tetua yang akan menjadi pohon induk setidaknya memiliki; (1) Produksi TBS ≥ 200 kg pokok⁻¹ tahun⁻¹ atau 6 ton hektare⁻¹ tahun⁻¹ dihitung dengan standar pokok hektare⁻¹ (SPH) 136 pokok rata-rata selama 3 tahun (2) Rendemen minyak $\geq 23\%$ dan (3) Pertumbuhan meninggi ≤ 85 cm tahun⁻¹ diukur setelah berumur 6 tahun setelah tanam. Evaluasi vegetatif meliputi; (1) Pengukuran pertambahan tinggi batang (2) Pengukuran panjang pelepah (3) Pengukuran jumlah

pelepah tahun pertama. Setiap populasi calon tetua akan diamati setiap individu. Tinggi batang dihitung dari permukaan tanah hingga pelepah ke-41. Panjang pelepah dihitung dari pangkal pelepah yang menempel pada batang hingga ujung daun. Pertambahan jumlah pelepah dihitung dengan menandai pelepah ke-17 pada saat dihitung. Evaluasi generatif meliputi; (1) Jumlah tandan per pokok (2) Rata-rata bobot tandan per tahun (3) bobot berondolan atau bobot buah (4) bobot *mesocarp* (5) bobot cangkang kernel dan kernel. Sama seperti evaluasi yang lain, setiap individu dari masing-masing populasi akan dievaluasi.

Data yang didapat dari pekerjaan-pekerjaan evaluasi minyak, evaluasi vegetatif, dan evaluasi generatif akan diberikan peringkat untuk mendapat tetua-tetua elit yang dapat dijadikan pokok seleksi. Hasil dari pengurutan peringkat tersebut akan dilakukan persilangan antar tetua untuk kemudian di evaluasi turunannya. Pokok-pokok induk yang telah siap untuk dijadikan tetua akan diserahkan oleh Divisi *Breeding Research and Development* kepada unit *seed Garden* untuk digunakan sebagai pohon induk benih pada Dura dan produksi polen pada Pisifera.

3.7.3. BAHAN DAN METODE

3.7.3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli-Desember 2023 di areal PT. Perkebunan Nusantara IV Kebun Marihat pada lokasi Kebun Induk Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Blok 2005, 2007 Unit Marihat, Kabupaten Simalungun-Sumatera Utara, dengan ketinggian 369 meter dpl, pada posisi 02°55' Lintang Utara dan 99°05' Bujur Timur.

3.7.3.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah : tandan bunga betina kelapa sawit, kantung pembungkus tandan (polination bag), serbuk sari (polen) kelapa sawit, insektisida cair, bedak talk, kapas, alkohol, karet ban, kawat kassa, isolasi dan bahan lain yang mendukung. Alat yang digunakan adalah : botol *pupper*, alat-alat polinator, perlengkapan alat tulis dan tangga bantu.

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan Rancangan Acak kelompok (RAK) dengan dua faktorial. Faktor pertama adalah Sumber serbuk sari (polen), yaitu: V1 : Yangambi dan V2 : PPKS 540. Faktor kedua adalah jumlah serbuk sari, yaitu: D1= 0,25 g serbuk sari; D2 = 0,12 g serbuk sari; D3 = 0,06 g serbuk sari; D4 = 0,04 g serbuk sari, dan D5 = talk/blangko (kontrol). Dari kedua faktor tersebut terdapat 10 kombinasi perlakuan, setiap kombinasi perlakuan diulang 3 kali, sehingga jumlah tanaman yang menjadi bahan percobaan ada sebanyak 30 pohon.

V1D1	V2D1
V1D2	V2D2
V1D3	V2D3
V1D4	V2D4
V1D5*	V2D5*

Model matematika untuk penelitian ini adalah :

$$Y_{ijk} = \mu + V_i + D_j + (VD)_{ij} + U_k + \epsilon_{ijk}$$

Keterangan :

Y_{ij} : nilai pengamatan dengan sumber serbuk sari ke-i dan jumlah dosis serbuk sari ke-j

μ : nilai tengah umum

V_i : pengaruh sumber serbuk sari ke-i

D_j : pengaruh jumlah dosis serbuk sari ke-j

$(LP)_{ij}$: pengaruh interaksi sumber serbuk sari ke-i dan jumlah dosis serbuk sari ke-j

U_k : pengaruh ulangan ke-k ϵ_{ijk} = pengaruh galat percobaan

**penyerbukan kontrol (blanko)*

Jika dalam analisis ragam, perlakuan berpengaruh nyata, maka dilanjutkan dengan uji DMRT pada taraf 5%. Pengamatan dilakukan dengan memanen tandan $\geq 4,5-6$ bulan setelah penyerbukan dan mengamati viabilitas polen, bobot tandan, jumlah biji baik, dan jumlah biji afkir.

3.7.3.2.1. Pelaksanaan Penelitian :

Persiapan Lapangan

Percobaan ini dilaksanakan dengan terlebih dahulu menentukan dan mencatat lokasi pohon induk yang terpilih untuk melakukan penelitian sesuai dengan petunjuk perusahaan dimana penelitian dilakukan.

Lokasi yang terpilih adalah kebun Marihat blok 2005 tahun tanam 2005 dan Blok 2007 tahun tanam 2007 dengan luas hamparan 40 Ha. Jumlah pohon yang terpilih untuk penelitian sebanyak 30 pohon. Kegiatan persiapan sumber dan dosis polen yang akan digunakan dilakukan sebagai berikut, tepungsari (polen) yang tersedia ditimbang dengan menggunakan timbangan *elektrik* untuk menjamin eror bobot tepungsari. Tepungsari yang telah ditimbang apabila belum waktunya digunakan maka disimpan pada *freezer* dengan wadah ampul, sedang tepungsari (polen) yang akan digunakan dicampur dengan bedak talk dengan bobot 4 gram sebagai *carier* (1 : 4), pada wadah botol *pupper* sesuai dosis beserta indentitas bunga.

3.7.3.2.2. Kegiatan Penelitian meliputi :

1. Pengamatan Bunga

Pengamatan bunga betina dari pohon yang terpilih harus diberi nomor *registrasi* sebagai tanda kemunculan bunga agar mempermudah pelaksanaan tahapan berikutnya. Pengamatan bunga muncul dilaksanakan sesuai dengan aturan yang berlaku di perusahaan seperti yang sudah diterangkan pada bab sebelumnya.



Gambar 22. Bunga Betina dan Bunga Jantan Sawit

2. Pembungkusan Bunga

Semua bunga yang teramati teregister jika sudah cukup waktunya harus dilakukan pembungkusan dengan kantong pembungkus tandan Agriveg atau *terylenee*. Waktu pembungkusan biasanya satu minggu setelah bunga dikenali atau selambatnya sepuluh hari sebelum melakukan penyerbukan. Pelaksanaan pembungkusan bunga betina dilaksanakan sesuai dengan keterangan pelaksanaan pembungkusan pada bab sebelumnya.



Gambar 23. Pembungkusan tandan buah

3. Penyerbukan Bunga

Penyerbukan bunga dapat dilakukan apabila bunga betina sawit telah *anthesis* minimal 70% dari keseluruhan tandan bunga. Penyerbukan umumnya dilakukan pukul 07.00 - 13.00 Wib guna menjaga agar tidak terlalu panas dan kering pada bunga yang *anthesis*. Alat yang dipakai adalah botol khusus (*pupper*) yang telah dimodifikasi guna mempermudah perlakuan penyerbukan seperti yang telah dilihat pada gambar 24.



Gambar 24. Penyerbukan polen pada tandan buah

4. Pembukaan Bungkus Bunga

Pembukaan bungkus dilakukan setelah 15 hari pelaksanaan penyerbukan, hal ini dilakukan bertujuan agar tandan bunga dapat berkembang secara alami.

5. Pemanenan

Pemanenan tandan dilakukan setelah tandan bunga berumur 4,5 - 6 bulan setelah penyerbukan biasanya ditandai dengan warna buah menjadi hitam kemerahan atau cangkang berwarna hitam. Pemanenan hendaknya dilaksanakan saat benih berada pada kondisi masak fisiologi tersebut karena mempercepat atau menunda pemanenan menyebabkan benih tidak berada pada kondisi vigor dan DB maksimal (Darmawan *et al.*, 2014). Normasiwi (2013); Arif, (2023) mengatakan pemanenan benih yang dilakukan terlalu cepat dari kondisi masak fisiologinya berpotensi menghasilkan benih dengan kondisi struktur embrio dan cadangan makanan, yang dibutuhkan selama pertumbuhan dan perkembangan awal embrio, masih belum terbentuk secara sempurna, sedangkan pemanenan lewat masak fisiologi menyebabkan deteriorasi benih terjadi selama proses menunggu panen dan pengecambahan dilakukan. Benih akan memanfaatkan cadangan makanan yang ada dan umumnya berupa endosperma benih untuk mempertahankan kondisi metabolisme optimal.



Gambar 25. Tandan Benih Siap Panen umur >4,5 BSP

6. Pengamatan Fermentasi dan Persiapan Benih

Tandan harus dilakukan fermentasi selama 4-7 hari dengan cara menyuntikan etepon dalam stalk tandan benih untuk memudahkan pemisahan/perontokan buah yang berada di *spikelet*. Setelah dilakukan fermentasi maka dilakukan pemisahan *spikelet* dengan buah, untuk mengetahui jumlah buah yang jadi sebagai benih dari hasil penyerbukan sesuai dengan sumber dan dosis tepung sari.

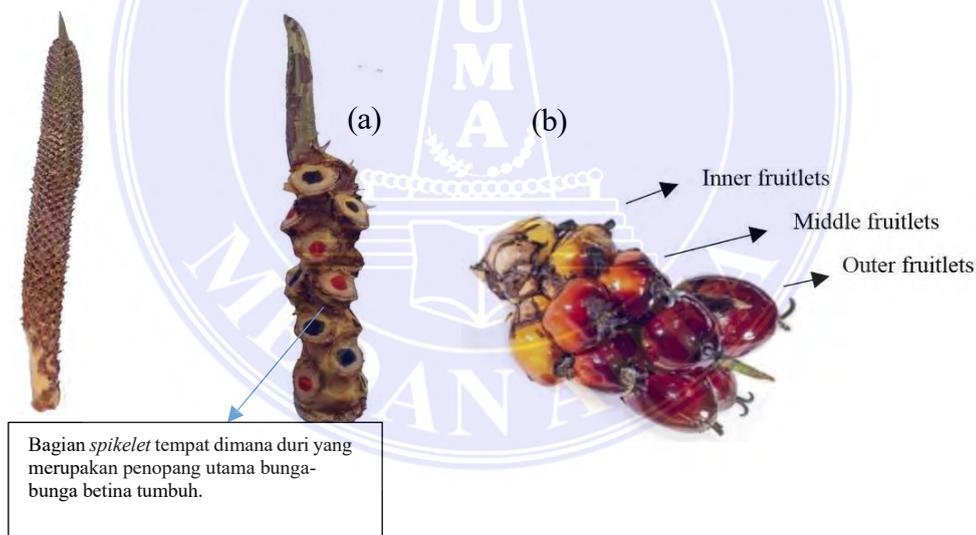


3.7.4. HASIL DAN PEMBAHASAN

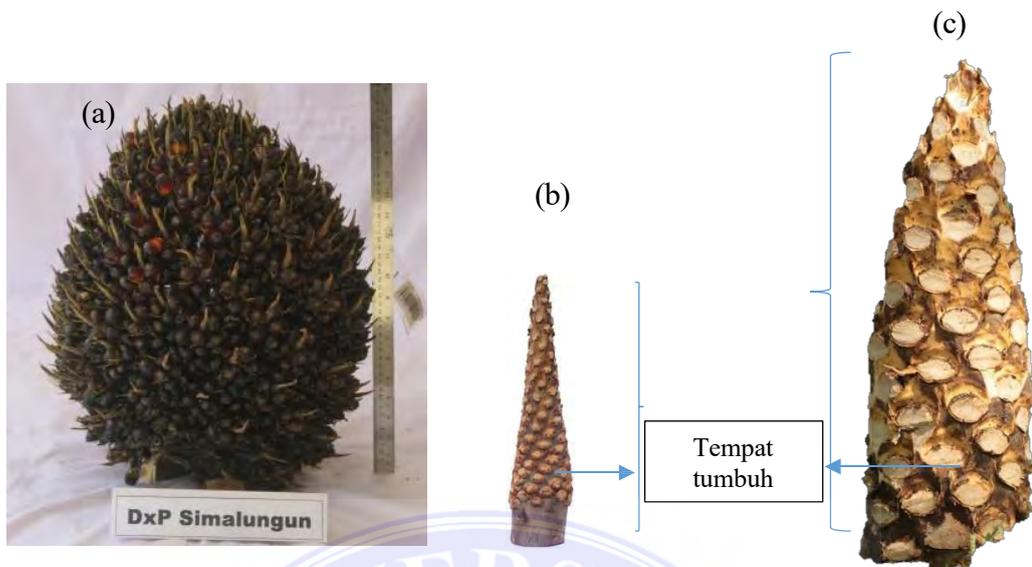
Panen pada tandan benih (*seed garden*) berbeda dengan panen tandan komersil. Panen pada tandan benih diperlakukan lebih ketat untuk mencegah kehilangan buah karena memberondol. Proses ini menunjukkan bahwa proses akumulasi cadangan makanan dalam biji telah selesai sehingga menjadi penciri bahwa biji yang ada di dalam buah telah masak secara fisiologis. Teknisi panen harus naik ke pohon untuk menghindari luka yang tidak diperlukan pada tandan benih. Penentuan waktu masak fisiologi merupakan salah satu faktor penting bagi produsen bahan tanaman. Pemanenan tandan benih yang terlalu cepat atau terlalu lambat dapat berkonsekuensi pada turunnya viabilitas benih yang dihasilkan (Darmawan *et al.*, 2014). Sejalan dengan Arif (2023) pemanenan terlalu dini dapat mengakibatkan belum lengkapnya struktur embrio atau belum maksimalnya cadangan makanan (endosperma) yang akan mendukung perkembangan embrio menjadi individu baru, sedangkan pemanenan yang terlambat menyebabkan berkurangnya cadangan makanan yang telah dihimpun selama proses pematangan benih untuk mempertahankan kondisi konstan sehingga komponen benih tetap berfungsi secara normal.

Demikian juga dengan Corley dan Tinker (2016) yang menjelaskan bahwa tandan matang dan layak panen pada kisaran 4,5 - 6 bulan setelah penyerbukan (BSP). Buah kelapa sawit tipe *nigrescens* yang matang akan berwarna oranye karena peningkatan kandungan karotenoid pada mesokarp selama proses pematangan buah, berbeda dengan buah mentah yang berwarna hitam karena kandungan antosianin yang tinggi pada lapisan eksokarp. Lebih detail Himmah *et al.*, (2020) menyatakan bahwa warna lapisan eksokarp pada buah kelapa sawit dapat menjadi penentu kematangan buah, yaitu buah mentah dicirikan warna hitam pada eksokarp, buah cukup matang ketika eksokarp berwarna kemerahan, dan buah matang saat eksokarp berwarna merah mengkilat. Tandan yang dipanen pada umur 4,5 dan 5 BSP tidak memperlihatkan adanya buah yang rontok dari tandan. Pelepasan buah kelapa sawit mulai terjadi pada tandan berumur 5,5 BSP dengan persentase 12,35% dan meningkat menjadi 21,97% pada 6 BSP (Ugroseno *et al.*, 2017; Arif, 2023).

Perubahan proporsi warna matang berdasarkan umur tandan panen kelapa sawit disebabkan oleh peningkatan kandungan karotenoid pada mesokarp selama proses pematangan buah (Corley dan Tinker 2016, Harahap *et al.*, 2016) dan juga penurunan jumlah senyawa antosianin pada lapisan eksokarp dengan semakin bertambahnya umur tandan (Fitrya *et al.*, 2019). Penelitian ini memperkuat indikasi bahwa pada 4,5 - 6 BSP benih kelapa sawit sudah mencapai masak fisiologi. Buah merupakan salah satu *sink* (pengguna) fotosintat utama (Smith *et al.*, 2018), sehingga ketika buah telah layak dilepas dari pohon induknya, tanaman akan memisahkan buah tersebut melalui mekanisme penuaan (*senescence*) pada jaringan penghubung (*feniculus*) antara benih dan tanaman induk. Tandan benih hasil polinasi yang telah di panen di masukkan ke dalam karung dan diikat dengan tali lengkap dengan identitas. Tandan dikumpulkan dipinggir jalan menunggu untuk diangkut dengan mobil khusus ke Divisi Produksi, seksi persiapan benih untuk proses lebih lanjut.



Gambar 25b. *Spikelet* bunga jantan dan betina. Penambahan warna merah dan hitam yang tersusun spiral pada *spikelet* bunga betina merupakan tempat tumbuh duri penopang bunga-bunga yang selanjutnya berkembang menjadi buah setelah terjadi penyerbukan (a) Bunga telah berkembang menjadi buah yang tersusun rapi pada sebuah *spikelet* (b)



Gambar 25c. Tandah buah matang jenis *nigrescens* dengan ujung *sikelet* yang memanjang (a). tangkai tandan bunga (*peduncle*) jantan (b). memperlihatkan tangkai tempat tumbuh *sikelet* yang tersusun spiral (c).

Pada penelitian ini terdapat 4 (empat) variabel yang diamati yaitu viabilitas, bobot tandan, jumlah biji baik, dan jumlah biji afkir.

Secara keseluruhan, percobaan ini memiliki rerata viabilitas sebesar 81,57% dengan viabilitas terendah sebesar 80,50% dan viabilitas tertinggi mencapai 81,80%. Nilai standar deviasi masing-masing interaksi perlakuan (Tabel lampiran 41) juga bernilai 0 dan hanya 1 interaksi yaitu VIDI yang memiliki setandar deviasi 0.58%. Hal ini menunjukkan viabilitas masing-masing perlakuan sama dengan nilai reratanya. Untuk bobot tandan percobaan ini memiliki rerata sebesar 28,5 kg, dengan bobot terendah adalah 18 kg dan bobot tertinggi mencapai 52 kg.

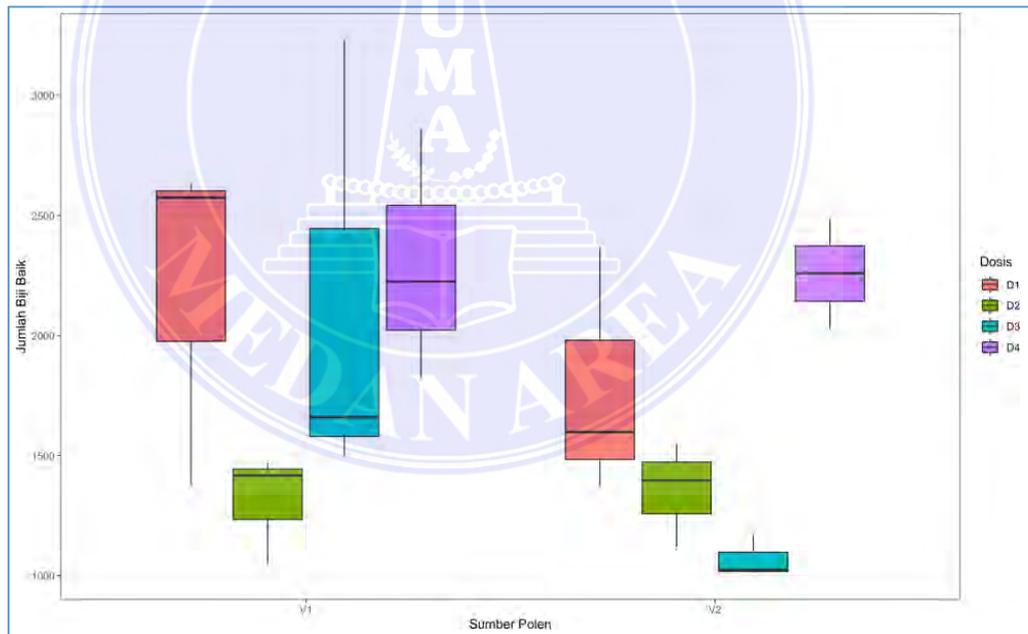
Percobaan ini juga menghasilkan rerata jumlah biji baik sebanyak 1.800 butir, dengan biji baik paling sedikit sejumlah 1.011 butir dan biji baik paling banyak sejumlah 3.232 butir. Sementara itu, biji afkir yang muncul dari percobaan ini memiliki rata-rata sejumlah 120 butir, dengan biji afkir paling sedikit adalah 0 (tidak ada biji afkir) dan paling banyak 1.156 butir.

Tabel 13. Nilai rerata dan standar deviasi setiap variabel pengamatan untuk masing-masing interaksi perlakuan.

Interaksi Perlakuan	Rerata Biji Baik	Standar Deviasi Biji Baik	Rerata Biji Afkir	Standar Deviasi Biji Afkir	Rerata Viabilitas	Standar Deviasi Viabilitas	Rerata Bobot Tandan	Standar Deviasi Bobot Tandan
V1 D4	2302	524.15	89	154.15	81	0	34	3.61
V2 D4	2258	231.00	172.33	140.34	81.80	0	31.67	8.14
V1 D1	2194.33	708.39	150	78.43	80.83	0.58	37.33	13.20
V1 D3	2130.67	957.13	30	30	81.50	0	30.67	18.58
V2 D1	1777	520.13	40	36.06	81.80	0	26.33	7.09
V2 D2	1355.33	217.87	385.33	667.42	81.80	0	24.67	6.43
V1 D2	1312.67	228.96	74	95.65	81.50	0	22	1
V2 D3	1068.33	88.29	19	32.91	81.80	0	21.33	1.15

Sebaran data untuk jumlah biji baik, jumlah biji afkir, bobot tandan, dan viabilitas, berdasarkan kuartil (Q1, Q2, Q3) dapat ditunjukkan dengan analisa menggunakan boxplot. Boxplot dikelompokkan berdasarkan interaksi sumber polen (Varietas) dengan dosisnya.

• Jumlah Biji Baik

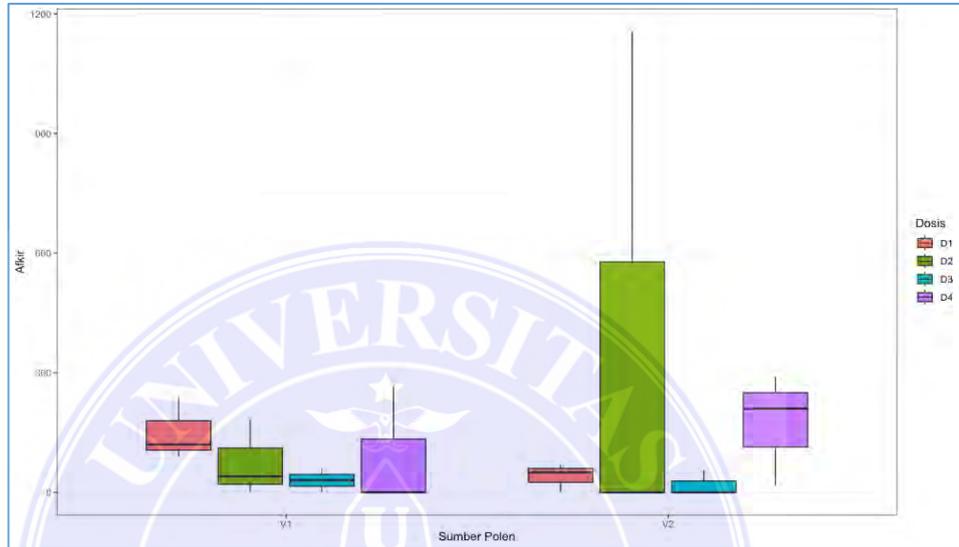


Gambar 26. Boxplot jumlah biji baik berdasarkan interaksi sumber polen dan dosis.

Boxplot biji baik menunjukkan tidak terdapat nilai ekstrim (berpotensi menjadi outlier) di luar boxplot. Dari 8 interaksi, V1D1 menunjukkan median (Q2) biji baik tertinggi dan V2D3 menunjukkan median biji baik terendah.

Pada V2, median biji baik tertinggi dihasilkan oleh interaksi dosis D4. Secara keseluruhan, median biji baik di V1 lebih tinggi dari median di V2 pada dosis yang sama (D1, D2, D3), kecuali D4 yang justru memiliki median biji baik lebih tinggi di V2 dibandingkan V1.

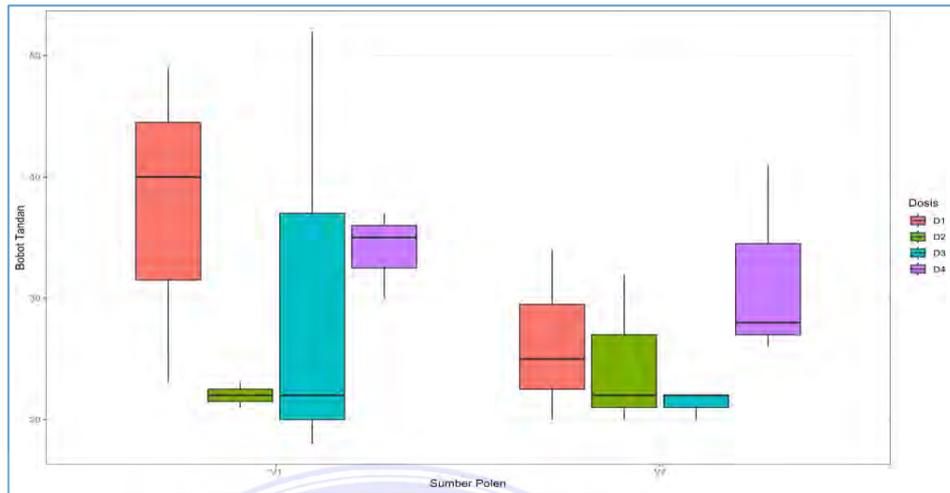
• **Jumlah Biji Afkir**



Gambar 27. Boxplot jumlah biji afkir berdasarkan interaksi sumber polen dan dosis.

Boxplot biji afkir menunjukkan tidak terdapat nilai ekstrim (berpotensi menjadi outlier) di luar boxplot. Dari 8 interaksi, V1D4, V2D2, dan V2D3 menunjukkan median (Q2) biji afkir terendah. Pada V1, median biji afkir tertinggi dihasilkan oleh interaksi dosis D1, sedangkan pada V2, median biji afkir tertinggi dihasilkan oleh interaksi dosis D4. Secara keseluruhan, median biji afkir di V2 lebih rendah dari median di V2 pada dosis yang sama (D1, D2, D3), kecuali D4 yang justru memiliki median biji afkir lebih tinggi di V2 dibandingkan V1.

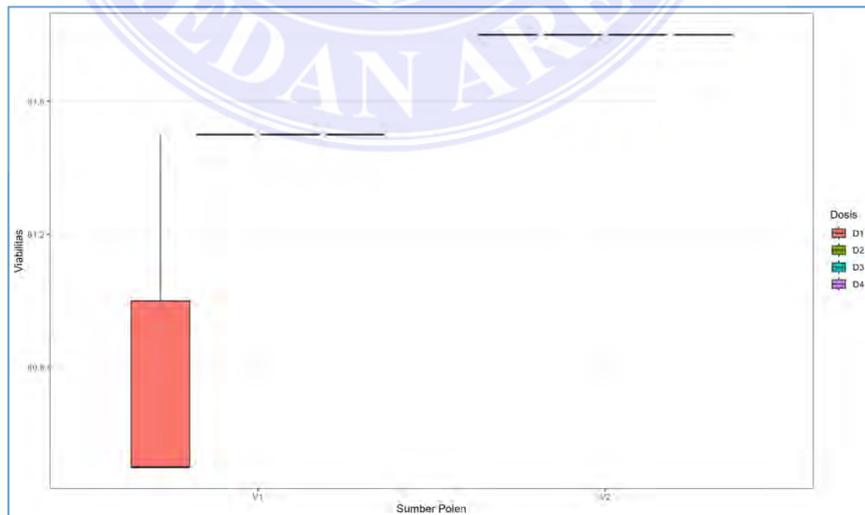
• **Bobot Tandan**



Gambar 28. Boxplot bobot tandan berdasarkan interaksi sumber polen dan dosis.

Boxplot bobot tandan menunjukkan tidak terdapat nilai ekstrim (berpotensi menjadi outlier) di luar boxplot. Dari 8 interaksi, V1D1 menghasilkan median (Q2) bobot tandan tertinggi. Dosis D1 dan D4 akan menghasilkan median bobot tandan lebih tinggi pada V1 dibandingkan pada V2. Sementara dosis D2 dan D3 menunjukkan median bobot yang hampir sama baik di V1 maupun V2.

• **Viabilitas**



Gambar 29. Boxplot viabilitas berdasarkan interaksi sumber polen dan dosis.

Boxplot viabilitas menunjukkan tidak terdapat nilai ekstrim (berpotensi menjadi outlier) di luar boxplot. Secara umum, V2 menghasilkan median viabilitas lebih tinggi pada interaksi semua dosis jika dibandingkan dengan V1. Interaksi VID1 menghasilkan median viabilitas terendah dibandingkan 7 interaksi lainnya. Boxplot 7 interaksi tersebut hanya menampilkan 1 garis, yang menunjukkan bahwa Q1, Q2, dan Q3 pada masing-masing 7 interaksi lainnya bernilai sama.

Analisis Ragam dan Uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*).

a. Jumlah Biji Baik

Tabel 14a. Hasil uji beda rata-rata jumlah biji baik

```
> summary(modelBaik)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Ulangan        2 1024413   512207   2.224 0.1449
`Sumber Polen`  1  822510   822510   3.572 0.0797 .
Dosis          3 3133369 1044456   4.535 0.0202 *
`Sumber Polen`:Dosis 3 1137203  379068   1.646 0.2239
Residuals     14 3224048  230289
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Hasil analisis ragam di atas menunjukkan dosis memberikan pengaruh nyata (signifikan) secara statistik terhadap jumlah biji baik pada tingkat signifikansi (α) 5%. Sementara sumber polen dan interaksinya dengan dosis tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap jumlah biji baik. Untuk melihat dosis apa saja yang berbeda nyata, perlu dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan Multiple Range Test*).

Tabel 14b. Uji beda rata-rata jumlah biji baik

Dosis	Rerata Jumlah Biji Baik (Butir)	group
D4	2280	a
D1	1985.67	ab
D3	1599.5	bc
D2	1334	c

Tabel 14b di atas merupakan hasil uji DMRT yang menunjukkan semua dosis berbeda nyata satu sama lain. D4 memiliki rerata jumlah biji baik tertinggi, yaitu sebanyak 2.280 butir, sedangkan D2 memiliki jumlah biji baik terendah, yaitu sebanyak 1.334 butir.

Penulis menduga bahwa tingkat jumlah bunga betina yang berhasil terserbuki oleh polinator sangat berpengaruh terhadap jumlah benih yang dihasilkan, mengingat viabilitas serbuk sari yang digunakan sesuai dengan intruksi kerja Divisi Pohon Induk yaitu viabilitas >70%. Corley dan Tinker (2016), menyatakan adanya korelasi negatif antara jumlah tandan dan berat tandan. Berat tandan akan meningkat seiring dengan bertambahnya umur tandan, tetapi jumlah tandan akan berkurang. Kesamaan struktur dan molekul protein mendukung bukti tidak adanya pengaruh sumber polen terhadap pembentukan buah (Wang *et al.*, 2018).



Gambar 30 . Letak posisi spikelet buah dalam tandan

Julyan *et al.*, (2017) menyatakan stalk dan spikelet merupakan bagian yang cukup penting dalam produksi benih. Stalk merupakan bagian tempat melekatnya spikelet memiliki proporsi yang cukup besar yaitu antara 20%-50% berat tandan. Tiap bagian spikelet memiliki karakteristik ukuran, bentuk dan jumlah berondolan yang berbeda-beda. Bagian atas tandan merupakan bagian yang meruncing, sedangkan bagian bawah tandan merupakan bagian yang terdapat potongan stalk. Secara umum perbedaan varietas antar tandan benih tidak memiliki perbedaan yang

mencolok, mayoritas berukuran dan berbentuk sama. Lebih lanjut Julyan *et al.*, (2017) menyebut bagian atas tandan memiliki karakter spikelet yang berukuran sedang-kecil dengan jumlah berondolan total berkisar antara 18-26 butir dengan berondolan yang terbentuk baik sebanyak 9-12 butir (50%). Bagian tengah tandan memiliki karakter spikelet yang berukuran sedang-besar dengan jumlah berondolan total sebanyak 28-33 butir dengan berondolan yang terbentuk baik sebesar 22-26 butir (75%). Bagian bawah memiliki karakter spikelet yang besar dan melebar namun berukuran pendek, pada bagian ini, jumlah berondolan total antara 16-22 butir dengan jumlah berondolan terbentuk baik sebesar 11-13 butir (50%).

Hal ini diperkirakan terjadi akibat perbedaan jumlah *spikelet* pada tiap tandan tidak sama tergantung besar tandan, umur tanaman yang disesuaikan dengan kesehatan tanaman (Yousefi *et al.*, 2021). Sesuai dengan pernyataan Lubis (2008) yang menyatakan jumlah *spikelet* pada fase pertumbuhan sesuai dengan umur tanaman sebagai berikut :

1. Tanaman muda umur 5-10 tahun memiliki *spikelet* 100-200 buah dengan bakal buah 15-20 bunga betina.
2. Tanaman remaja umur 10-15 tahun memiliki *spikelet* 200-300 buah dengan bakal buah 15-20 bunga betina.

Dari keterangan di atas dapat dijelaskan potensi jumlah bakal buah pertandan sesuai dengan fase pertumbuhan untuk tanaman muda memiliki potensi jumlah bakal buah pertandan antara 1.500 buah sampai 4.000 buah pertandan, remaja memiliki potensi jumlah bakal buah pertandan antara 3.000 - 6.000 buah pertandan,

b. Jumlah Biji Afkir

Tabel 15. Hasil uji beda rata-rata jumlah biji afkir

```
> summary(modelAfkir)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Ulangan	2	97909	48954	0.747	0.492
`Sumber Polen`	1	28085	28085	0.429	0.523
Dosis	3	131315	43772	0.668	0.585
`Sumber Polen`:Dosis	3	146056	48685	0.743	0.544
Residuals	14	917065	65505		

Hasil analisis ragam di atas menunjukkan sumber polen, dosis, maupun interaksi keduanya tidak memberikan pengaruh nyata (signifikan) secara

statistik terhadap jumlah biji afkir pada tingkat signifikansi (α) 5%. Dengan kata lain, rerata jumlah biji afkir pada percobaan ini dianggap berbeda tidak nyata. Karena tidak ada yang berpengaruh signifikan, maka tidak perlu dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan Multiple Range Test*).

c. Bobot Tandan

Tabel 16. Hasil uji beda rata-rata jumlah bobot tandan

```
> summary(modelbobot)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Ulangan	2	614.2	307.12	5.571	0.0166 *
`Sumber Polen`	1	150.0	150.00	2.721	0.1213
Dosis	3	377.0	125.67	2.280	0.1241
`Sumber Polen`:Dosis	3	181.0	60.33	1.094	0.3840
Residuals	14	771.8	55.13		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Hasil analisis ragam di atas juga menunjukkan sumber polen, dosis, maupun interaksi keduanya tidak memberikan pengaruh nyata (signifikan) secara statistik terhadap bobot tandan pada tingkat signifikansi (α) 5%. Dengan kata lain, rerata bobot tandan pada percobaan ini dianggap berbeda tidak nyata. Karena tidak ada yang berpengaruh signifikan, maka tidak perlu dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan Multiple Range Test*).

d. Viabilitas

Tabel 17a. Hasil uji beda rata-rata viabilitas

```
> summary(modelviab)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Ulangan	2	0.0833	0.0417	1.00	0.3927
`Sumber Polen`	1	1.3067	1.3067	31.36	6.55e-05 ***
Dosis	3	0.5000	0.1667	4.00	0.0299 *
`Sumber Polen`:Dosis	3	0.5000	0.1667	4.00	0.0299 *
Residuals	14	0.5833	0.0417		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

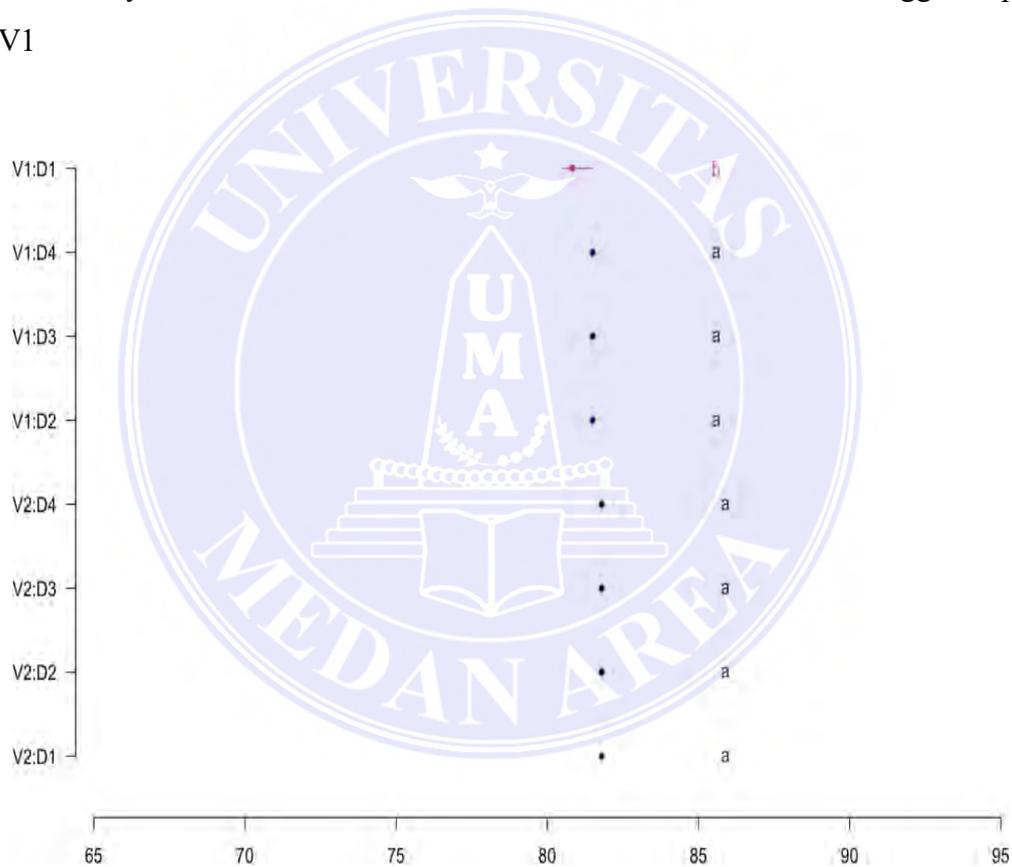
Hasil analisis ragam di atas menunjukkan sumber polen, dosis, dan interaksi keduanya memberikan pengaruh nyata (signifikan) secara statistik terhadap jumlah biji baik pada tingkat signifikansi (α) 5%. Untuk melihat perlakuan apa

saja yang berbeda nyata, perlu dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan Multiple Range Test*).

Tabel 17b. Uji beda rata-rata sumber polen dan viabilitas

Sumber Polen	Rerata Viabilitas	groups
V2	81.80	a
V1	81.33	b

Tabel 17b di atas merupakan hasil uji DMRT yang menunjukkan sumber polen berbeda nyata satu sama lain. V2 memiliki rerata Viabilitas lebih tinggi daripada V1



Gambar 31. Grafik uji perlakuan dosis dan interaksinya

Gambar 31 di atas merupakan grafik hasil uji DMRT yang menunjukkan interaksi VID1 berbeda nyata dengan 7 interaksi lainnya. VID1 juga memiliki rerata viabilitas terendah, yaitu sebesar 80,83%. Sedangkan 7 interaksi perlakuan lainnya tidak berbeda nyata satu sama lain.

Tabel 18. Hasil uji perlakuan, viabilitas dan interaksinya

Interaksi Perlakuan	Viabilitas	groups
V2:D1	81.8	a
V2:D2	81.8	a
V2:D3	81.8	a
V2:D4	81.8	a
V1:D2	81.5	a
V1:D3	81.5	a
V1:D4	81.5	a
V1:D1	80.83	b

*Interaksi dengan grup yang berbeda memiliki rerata viabilitas yang berbeda nyata pada $\alpha = 5\%$

Data pembentukan buah ini menunjukkan bahwa dalam penyerbukan buatan yang dilakukan, tandan bunga betina dapat membentuk benih dengan hasil yang berbeda-beda. Benih kecil dan benih putih merupakan benih yang tidak lolos seleksi untuk dijadikan benih, mengingat berat benih kurang dari 0,86 gram sesuai dengan SNI benih dan benih dengan tingkat putihnya >50% juga diafkir untuk menghindari komplain benih dari konsumen. Secara genetik benih kecil dan benih putih memiliki potensi yang sama dengan benih yang beratnya >0,86 gram dan putih <50% selama diperoleh dari hasil persilangan terkontrol dari produsen benih.

Penggunaan dosis polen 0,25 gram untuk menyerbuki bunga betina, berperan dalam meningkatkan jumlah benih yang terbentuk dan berhubungan dengan kualitas polen yang digunakan. Akan tetapi jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, maka penggunaan polen dengan dosis 0,04 gram sudah cukup menghasilkan benih baik sehingga penulis menyarankan untuk penggunaan dosis 0,04 gram dalam setiap penyerbukan demi efisiensi penggunaan polen dan keberlanjutan.

Dari data di atas diketahui seluruh perlakuan menunjukkan hasil yang positif, bahkan hampir semua perlakuan penelitian atau tandan benih tidak ada yang afkir. Hasil persentase keberhasilan pembentukan buah setiap tandanya sudah sangat baik. Terjadinya keberhasilan pembentukan buah dalam proses penyerbukan buatan yang dilakukan karena polinator dan serbuk sari yang digunakan (Ridha, 2016; Yabani *et al.*, 2023). Polinator dalam penyerbukan buatan adalah manusia sehingga

dapat mengoptimal banyaknya serbuk sari yang digunakan serta jatuhnya serbuk sari ke kepala putik juga dapat dioptimalkan. Serbuk sari yang digunakan adalah serbuk sari yang sudah diproses melalui laboratorium tepung sari (serbuk sari (polen)+ talk) dengan viabilitas >70% sehingga dapat mengurangi kegagalan dalam penyerbukan dan meningkatkan persentase buah dalam satu tandan.

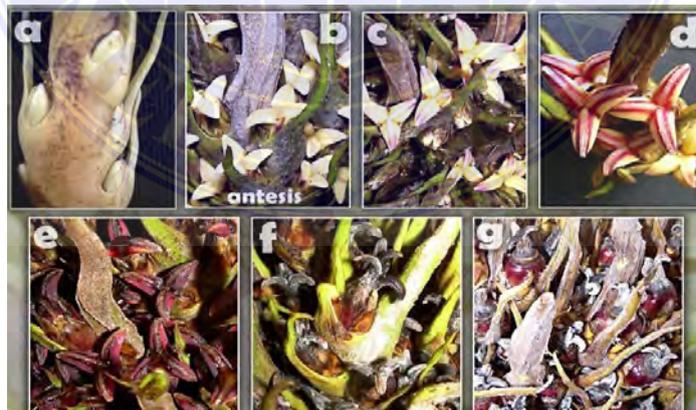
Hal tersebut sesuai dengan yang dilaporkan Jambak (2011); Prasetyo *et al.*, (2012), bahwa peningkatan persentase keberhasilan pembentukan buah tanaman kelapa sawit akan terjadi jika dilakukan penyerbukan buatan dengan menyaring serbuk sari menggunakan saringan 8-10 mesh, peningkatan persentase buah sebesar 80%. Padahal menurut Setyawibawa dan Widyastuti (1992); Lubis, (2008) bahwa tanaman kelapa sawit varietas Yangambi (Dura x Pisifera) dengan penyerbukan alami memiliki persentase keberhasilan buah pertandan hanya 56,6% saja dan ini sangat bertolak belakang dengan hasil penelitian penyerbukan buatan yang dilakukan. Hal ini memperjelas bahwa dengan metode penyerbukan buatan dapat meningkatkan persentase keberhasilan pembentukan buah kelapa sawit di atas 80%. Hasrianda *et al.*, (2020), menambahkan bahwa viabilitas polen yang tinggi dapat menghasilkan buah dan biji yang baik pada proses penyerbukan.

Selain itu terdapat faktor pendukung sehingga dapat menunjang meningkatkan persentase keberhasilan pembentukan buah yaitu suhu dan kelembaban udara di tempat penelitian (Yabani *et al.*, 2024). Suhu pada tempat penelitian berkisar antara 22,2^oC – 31,05^oC dan kelembaban udara berkisar antara 57% – 90%. Hal ini sesuai dengan yang diungkapkan oleh Turner dan Gillbanks (1974); Siregar (2014), bahwa suhu yang tinggi dapat meningkatkan jumlah serbuk sari di atmosfer dalam penyerbukan tanaman kelapa sawit sendiri memiliki batas optimum untuk memproduksi buah. Corley dan Tinker, (2016), menambahkan bahwa kelembaban yang tinggi dapat meningkatkan kelembaban putik bunga betina sehingga penangkapan serbuk sari meningkat serta akan meningkatkan jumlah buah yang terbentuk.

Sehingga dapat diasumsikan bahwa peningkatan persentase keberhasilan pembentukan buah (*fruit set*) disebabkan terjadi karena lebih ketepatan dosis polen yang melakukan penyerbukan ke kepala putik bunga maka semakin banyak buah yang jadi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sumber polen dan dosis

berpengaruh terhadap jumlah buah yang terbentuk pada tanaman kelapa sawit. Faktor yang mempengaruhi keberhasilan pembentukan bakal buah diantaranya kerapatan polen, kondisi lingkungan pada saat penyerbukan, pemupukan, perkembangan embrio, dan sumber daya yang bisa dipakai untuk pemasakan buah dan benih (Putri dan Pramono, 2013; Yabani *et al.*, 2023).

Kemampuan bunga betina kelapa sawit untuk dapat diserbuki tergantung kepada masa suburnya. Masa subur (*reseptif*) bunga betina adalah 36 – 48 jam (Yousefi *et al.*, 2021), tetapi tidak semua bunga terbuka pada waktu yang sama. Dengan pemberian polen aktif inilah bunga betina yang tersisa masa *reseptifnya* akan terserbuki (Yabani *et al.*, 2023). Pada satu rangkaian bunga betina yang normal, pembukaan pada hari kedua merupakan saat yang tepat untuk melakukan penyerbukan sebab pada waktu itu rata-rata 82% bunga betina sudah terbuka. Bunga jantan juga mengalami perkembangan mulai dari terbentuknya kelopak bunga sampai siap melakukan perkawinan. Pada hari pertama setelah kelopak terbuka, tepung sari keluar dari bagian ujung tandan bunga, pada hari kedua dibagian tengah sedangkan pada hari ketiga dibagian tandan bawah. Pada hari ketiga keluarnya tepung sari, bunga jantan akan mengeluarkan bau yang khas, hal ini menandakan bunga jantan sedang aktif dan tepung sari dapat diambil untuk penyerbukan buatan (Fauzi *et al.*, 2008; Lubis, 2008; Corley dan Tinker, 2016).

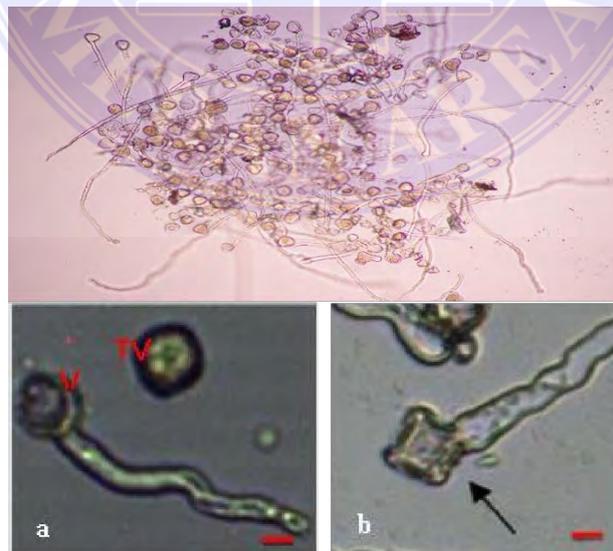


Gambar 32. Perkembangan bunga kelapa sawit betina

Berdasarkan gambar 32 di atas menunjukkan tanda-tanda hasil penyerbukan buatan homogen sesuai dengan siklus perubahan bunga tanaman kelapa sawit. Setyawibawa dan Widyastuti, (1992) ; Lubis, (2008) menyebut bahwa bunga betina pada hari pertama sesudah mekar berwarna putih, sedangkan pada hari kedua

berubah menjadi warna kuning gading, pada hari ketiga berubah menjadi agak kemerahan (jingga), dan pada hari keempat berubah menjadi kehitam-hitaman. Menurut Taddon *et al.*, (2011), bahwa pada waktu bunga mekar, putih kekuningan dengan kepala putik yang terlihat mengeluarkan cairan. Setelah bunga mekar kepala putik menghasilkan anthosianin ditandai dengan perubahan warna putik bunga menjadi merah keunguan (jingga). Menurut Harborne (1987), dalam Ingrath *et al.*, (2015), bahwa antosianin merupakan pewarna yang paling penting dan tersebar luas dalam tumbuhan. Jadi penyebab perubahan warna bunga setelah proses penyerbukan adalah zat anthosianin dari kepala putik bunga betina yang mekar, mengakibatkan bunga berubah warna menjadi kuning gading, kejinggaan dan kehitam-hitaman.

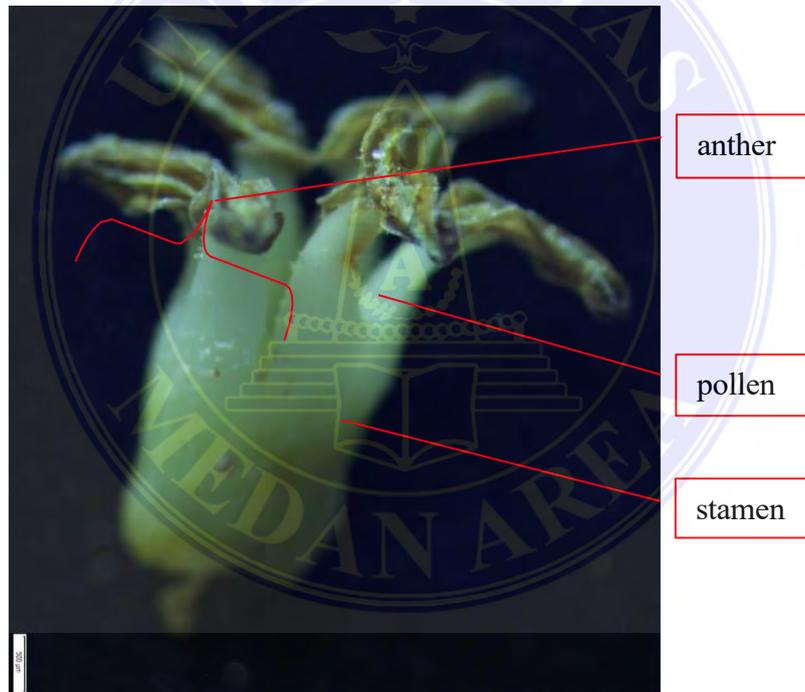
Dari penjelasan di atas dapat diketahui bahwa keberhasilan penyerbukan buatan pada tanaman kelapa sawit tergantung kepada kematangan bunga betina (masa *reseptif*) kematangan bunga jantan sebagai penghasil serbuk sari (*polen*), jumlah tepung sari yang aktif (Wang *et al.*, 2018). Hasil penelitian memperlihatkan bahwa jumlah polen yang optimal untuk menghasilkan benih adalah sejumlah yang terdapat pada bobot 0,04 gram. Polen dengan dosis 0,04 gram menghasilkan rerata buah jadi yang terbanyak karena pada setiap fase perkembangan bunga betina masih tersedia polen yang aktif untuk membuahi (Yabani *et al.*, 2023).



Gambar 33. Pengamatan viabilitas serbuk sari (a) serbuk sari viabel (V) dan tidak viabel (TV); (b) serbuk sari dengan aperture serbuk sari

Buah tidak jadi hal ini disebabkan karena kemampuan bunga betina kelapa sawit untuk dapat diserbuki tergantung kepada masa suburnya (*reseptif*). Dan tidak semua bunga betina dapat terserbuki dengan sempurna untuk membentuk buah terutama bagian dalam (Lubis, 2008; Corley dan Tinker, 2016). Masa *reseptif* bunga betina adalah 36 – 48 jam, tetapi tidak semua bunga terbuka pada waktu yang sama.. Pada satu rangkaian bunga betina yang normal, pembukaan pada hari kedua merupakan saat yang tepat untuk melakukan penyerbukan sebab pada waktu itu rata-rata 82% bunga betina sudah terbuka.

Hal ini sesuai dengan penjelasan pada buah yang jadi dimana ada waktu-waktu yang tertentu bunga betina siap untuk dibuahi demikian juga dengan tepung sari (*polen*) mempunyai batas waktu untuk dapat membuahi bunga betina (Fauzi *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2023).



Gambar 34. Tampak samping mikroskopis bunga jantan tanpa bunga serbuk sari yang dapat dilihat dengan jelas.

Secara umum, keberhasilan pembentukan buah dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor internal dan faktor eksternal lingkungan. Pada tanaman kelapa sawit jumlah buah normal yang terbentuk juga dipengaruhi oleh keberhasilan penyerbukan, yaitu banyaknya bunga yang mekar yang berhasil diserbuki dalam

satu tandan. Pada tandan bunga betina, jumlah buah normal yang terbentuk ditentukan oleh dua hal, yaitu jumlah spikelet dan jumlah bunga pada setiap spikelet. Dua hal tersebut dipengaruhi oleh faktor internal tanaman yang berhubungan dengan sifat yang dikendalikan secara genetik. Pengetahuan mengenai perkembangan bunga dan viabilitas serbuk sari sangat diperlukan untuk menunjang keberhasilan persilangan.

Dalam produksi benih kelapa sawit, jumlah *fruit set* belum dapat dijadikan patokan bahwa dengan jumlah tersebut akan menghasilkan jumlah benih yang sama. Hal ini dikarenakan adanya kriteria benih normal yang harus terdapat pada benih yang dihasilkan, berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) benih memiliki berat minimal 0,86 gram/butir. Setelah proses penyerbukan, bunga yang tidak mengalami peleburan inti sperma dan sel telur biasanya akan berkembang menjadi buah partenokarpi (buah tanpa embrio atau inti), sedangkan bunga yang tidak tumbuh menjadi buah akan layu dan mengalami kerontokan. Buah partenokarpi dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu : 1) tidak adanya proses pembuahan dan 2) tidak adanya stimulan yang berasal dari penyerbukan, dengan kata lain perkembangan ovarium dan jaringan lain pada buah dapat terjadi tanpa adanya rangsangan yang menyertai perkembangan sel telur menjadi zigot. Bahkan suhu yang sangat ekstrim juga dapat menginduksi terjadinya buah partenokarpi.

Jumlah biji pada setiap tandan benih yang dihasilkan tergantung pada (Maheshwari *et al.*, 1964; Lubis, 2008; Corley dan Tinker, 2016; Bohra *et al.*, 2021):

1. Jumlah butiran serbuksari yang digunakan untuk menyerbuk
2. Jumlah serbuk sari yang menempel pada stigma
3. Lamanya waktu perkecambahan serbuk sari yang menempel pada stigma
4. Jumlah serbuk sari yang berkecambah pada stigma.

Banyaknya sel telur yang dapat berkembang membentuk biji dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu :

1. Banyaknya sel telur yang diproduksi
2. Jumlah dan kualitas serbuk sari yang membuahi sel telur
3. Status nutrisi dan fotosintat yang mendukung perkembangan buah, yaitu tercukupi tidaknya zat hara yang diperlukan oleh buah dan biji selama

perkembangannya serta lancar tidaknya alokasi makanan oleh jaringan tanaman

4. Ada tidaknya kerusakan buah dan biji
5. Suhu

3.7.5. KESIMPULAN

Perlakuan dosis polen yang digunakan dalam melakukan penyerbukan buatan pada tandan benih berpengaruh nyata terhadap jumlah benih pertandan tetapi dipengaruhi juga oleh kesehatan umur tanaman dan besar tandan pada tiap pohon. Perlakuan dosis polen yang digunakan dalam melakukan penyerbukan buatan pada tandan benih berpengaruh nyata terhadap jumlah biji baik yang dihasilkan pada taraf perlakuan. Varietas Yangambi (V1D4 : 0,04 gram) dengan hasil rerata jumlah biji baik tertinggi sebanyak 2.302 butir pertandan, sedangkan hasil yang paling rendah rerata jumlah biji baik didapat varietas PPKS 540 (V2D3 : 0,06 gram) dengan jumlah biji baik yang dihasilkan sebanyak 1.068 butir pertandan. Sementara sumber polen dan interaksinya dengan dosis tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap jumlah biji baik.

3.8. Penelitian II.

PENGARUH LAMA SIMPAN POLEN DAN WAKTU PENYERBUKAN TERHADAP KEBERHASILAN PEMBENTUKAN BUAH KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Abstrak

Produksi benih dapat diukur melalui jumlah biji baik pada tandan yang dipengaruhi oleh tingkat keberhasilan penyerbukan bunga betina. Dalam rangka meningkatkan efektivitas penyerbukan upaya yang dilakukan adalah dengan mempertahankan viabilitas polen. Pembentukan biji kelapa sawit menurun, berimbas pada produksi jumlah biji baik. Penurunan jumlah biji baik ini diakibatkan oleh lama simpan polen dan waktu penyerbukan yang kurang efektif. Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah mengetahui pengaruh dan interaksi lama simpan dan waktu penyerbukan terhadap pembentukan buah tanaman kelapa sawit dengan cara penyerbukan buatan. Metode yang digunakan merupakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua faktor. Faktor pertama adalah lama simpan polen, yaitu: S0 = ≤1 tahun, S1 = ≤2 tahun, S2 = ≤3 tahun, S3 = ≤4 tahun, dan S4 = >4 tahun. Faktor kedua adalah waktu penyerbukan, yaitu: T0 = 07.00-08.00 Wib; T1 = ≥08.00-09.00 Wib; T2 = ≥09.00-10.00 Wib; T3 = ≥10.00-11.00 Wib, dan T4 = ≥11.00-12.00 Wib sehingga terdapat 25 kombinasi perlakuan yang diulang tiga kali. Pengujian lanjut dilakukan dengan Uji Duncan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama simpan polen berpengaruh nyata terhadap parameter jumlah biji baik pertandan, persentase keberhasilan pembentukan biji rata-rata yang dihasilkan, sedangkan pada aplikasi waktu penyerbukan dan interaksinya dengan lama simpan polen memberikan pengaruh pada parameter jumlah biji baik pertandan.

Hasil uji menunjukkan interaksi S0T0 menghasilkan bobot tandan tertinggi yaitu sebesar 34,44 kg dan berbeda nyata dengan 24 interaksi lainnya. Selanjutnya disusul oleh interaksi S0T3 (1.885 butir) dan S1T4 (2.164 butir) masing-masing seberat 32,67 kg dan 32,33 kg. Keduanya berada di dalam grup yang sama sehingga dianggap berbeda tidak nyata. Jumlah biji baik terendah S3T0 (901 butir) dengan bobot tandan 19 kg.

Kata kunci : lama simpan, waktu penyerbukan, polen, biji baik.

3.8.1. Pendahuluan

Pada saat ini perkebunan kelapa sawit telah berkembang lebih jauh sejalan dengan kebutuhan dunia akan minyak nabati dan produk industri Oleochemical. Produk minyak sawit merupakan komponen penting dalam perdagangan minyak nabati dunia (Waromi, 2012; Mawardati, 2017; PASPI, 2021). Sehubungan dengan hal tersebut pemerintah mencanangkan program ekonomi yang pro pertumbuhan, pro orang kecil dan pro kesehatan kerja yang memacu agribisnis kelapa sawit sebagai salah satu ujung tombak kerangka dasar pembangunan Indonesia menyongsong era Indonesia Emas. Perkebunan kelapa sawit merupakan salah satu pondasi bagi tumbuh dan berkembangnya sistem agribisnis kelapa sawit. Sistem agribisnis kelapa sawit merupakan gabungan subsistem sarana produksi pertanian (agroindustri hulu), pertanian, industri hilir, dan pemasaran yang dengan cepat akan merangkai seluruh subsistem untuk mencapai skala ekonomi (Pahan, 2007; Khor *et al.*, 2013; Darmawan *et al.*, 2014).

Produksi kelapa sawit ditentukan antara lain oleh sukses tidaknya penyerbukan. Penyerbukan pada tanaman kelapa sawit memerlukan agen karena meskipun kelapa sawit berumah satu (*monocieus*) namun bunga-bunga pada bulir (*spikelet*) jantan dan betina mekar pada waktu yang berlainan. Menurut Mcdonald dan Copeland (1997); De Vitis *et al.*, (2020) produksi benih terbaik membutuhkan praktik pertanian dan manajemen tanaman yang baik. Praktik-praktik agronomis pada kelapa sawit secara umum juga digunakan untuk kebun induk benih. Produsen benih perlu memperhatikan praktik hulu mulai dari persiapan lahan, pengolahan lahan, pemilihan material tanam, praktik pemuliaan, pembibitan, hingga praktik hilir seperti *marketing* (Mawardati, 2017; Amiruddin *et al.*, 2023).

Kebutuhan akan bahan tanam kelapa sawit yang berkualitas tinggi sangat diperlukan untuk menunjang perkembangan perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Salah satu cara untuk menunjang perkembangan perkebunan kelapa sawit adalah penggunaan benih sawit varietas unggul yang memiliki kandungan minyak tinggi, waktu panen lebih cepat, ukuran tandan besar dan sifat unggul lainnya yang diutamakan dalam industri minyak sawit (Lestari *et al.*, 2019; Rizqullah, 2023). Bahan tanaman unggul diperoleh dari hasil pemuliaan melalui persilangan tetua yang mempunyai sifat-sifat unggul. Persilangan secara konvensional merupakan

alternatif yang masih banyak digunakan karena selain biayanya murah peluang keberhasilannya juga lebih terpercaya.

Kebutuhan terhadap serbuk sari untuk penyerbukan buatan telah menyebabkan pisifera-pisifera elit memiliki fungsi yang penting dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi dalam produksi benih kelapa sawit (Priambodo, *et al.*, 2017; Yabani *et al.*, 2023). Dalam industri perbenihan kelapa sawit, konservasi yang baik pada serbuk sari pisifera akan dapat menunjang program penyerbukan buatan yang berkelanjutan dalam produksi benih dan pemuliaan yang terus berkembang. Oleh karena itu populasi pisifera merupakan salah satu faktor penting untuk dikelola dan dikembangkan. Pengelolaan serbuk sari memerlukan rangkaian kegiatan penanganan untuk mempertahankan viabilitasnya hingga pemakaian untuk penyerbukan buatan (Wang *et al.*, 2018; Yousefi *et al.*, 2021).

Bunga jantan dan bunga betina pada kelapa sawit mekar pada waktu yang berlainan sehingga perlu dilakukan upaya untuk menjaga ketersediaan dan viabilitasnya agar pada saat bunga mekar bisa langsung dapat dilakukan penyerbukan. Serbuk sari di alam liar hanya bisa bertahan hidup selama tujuh hari. Serbuk sari dapat disimpan untuk fasilitas produksi benih dan pemuliaan. Serbuk sari dapat diawetkan dengan tingkat kelembaban penyimpanan <10% (Towill dan Walters, 2008; Li *et al.*, 2023). Salah satu tahap penting lain dari pengelolaan serbuk sari adalah penyimpanan.

Menurut James dan Wilcox (1996), ruang yang kering atau tidak ada gas, lebih efektif untuk menyimpan serbuk sari untuk kebanyakan spesies. Menurut Horsley *et al.*, (2007) dan Wang *et al.*, (2018), serbuk sari di masukkan ke dalam botol kecil (*vial*) dan dimasukkan ke dalam botol kaca (desikator) yang berisi silika gel yang akan dibagi dalam beberapa suhu berikut ini : suhu ruangan ($\pm 25^{\circ}\text{C}$), peti es (4°C), freezer (-10°C) dan nitrogen air (-190°C) untuk 12 bulan penyimpanan. Serbuk sari yang disimpan dalam botol vacum pada suhu -18°C dapat bertahan selama 2-3 bulan bahkan sampai setahun dengan penurunan daya berkecambah 10% yaitu dari 89% menjadi 79% (Lubis 1993; 2008).

Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh lama simpan polen dan waktu penyerbukan terhadap keberhasilan pembentukan fruit set tandan benih kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq).

3.8.2. Tinjauan Pustaka

3.8.2.1. Polinasi

Polinasi adalah kegiatan penyerbukan buatan yang dilakukan agar tandan buah menghasilkan genetik varietas yang diinginkan. Pohon induk (Dura) dapat diserbuki oleh beberapa jantan (Pisifera) terpilih. Pohon induk ini tidak asal diserbuki, sudah ada *mating desain* atau skema persilangan yang telah diteliti oleh unit *breeding* untuk menghasilkan varietas tertentu (Amiruddin *et al.*, 2023). Interval standar isolasi polinasi perusahaan ialah minimal 10 hari bunga betina telah reseptif dan bunga jantan telah anthesis. Interval ini digunakan sebagai tolok ukur untuk menghindari bunga terlalu muda dan terlalu tua ketika diisolasi.

Polinator diharuskan teliti melihat waktu mekarnya bunga-bunga yang telah diisolasi. Terlalu cepat atau terlalu lambat melakukan polinasi akan menyebabkan tandan tidak berbuah sempurna atau bunga melewati masa subur (biasanya bunga berwarna merah). Bunga yang telah diisolasi selama 10 hari akan di cek oleh polinator agar mengetahui kesiapan mekar bunga untuk dipolinasi (Lubis, 2008). Setiap harinya, polinator membuat rencana bunga isolasi mana saja yang akan siap dipolinasi keesokan harinya. Pembuatan rencana dilakukan dengan menandai kode referensi yang sesuai pada form polinasi setelah melihat bunga isolasi mana yang siap untuk dipolinasi. Pembuatan rencana ini dilakukan agar unit *polen preparation* (laboratorium tepung sari) menyiapkan polen yang akan dipolinasi pada progeni-progeni tertentu (PPKS, 2023).

Polinator diberikan ancah tetap dan bertanggung jawab terhadap polinasi bunga yang ada diancaknya. Pemasangan label, dan pengamatan perkembangan tandan benih juga menjadi tanggungjawab polinator. Setiap harinya polinator melakukan cek kepada bunga-bunga yang diisolasi untuk melihat kesiapan reseptif bunga betina. Apabila terdapat bunga yang telah reseptif >70% polinator akan menandai bunga tersebut pada lembar rencana polinasi. Masa reseptif bunga betina berkisar antara 36-48 jam (Yousefi *et al.*, 2021). Terbatasnya masa reseptif ini mengharuskan polinator untuk tetap melakukan polinasi meski di hari libur. Tenaga polinasi tidak memiliki capaian target polinasi. Banyaknya bunga yang siap untuk dipolinasi pada satu hari, sebanyak itu pula polinator akan melakukan polinasi terhadap pohon induk ancaknya (Rizqullah, 2023; PPKS, 2023).



Gambar 35. Kegiatan proses tandan benih kelapa sawit

3.8.2.2. Viabilitas Serbuk Sari

Salah satu kemampuan adaptasi dari bahan tanaman unggul yang perlu untuk diteliti adalah viabilitas polen yang erat kaitannya terhadap kemampuan pembentukan biji (Yabani *et al.*, 2023). Viabilitas polen merupakan parameter penting, karena polen harus hidup dan mampu berkecambah setelah penyerbukan agar terjadi pembuahan. Ketersediaan polen dengan viabilitas yang tinggi merupakan salah satu komponen yang menentukan keberhasilan persilangan tanaman (Widiastuti dan Palupi, 2008). Polen dapat kehilangan viabilitasnya pada suatu periode waktu tertentu. Hilangnya viabilitas sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama suhu dan kelembaban relatif (Shivanna *et al.*, 1991; Hadi *et al.*, 2017).

Kualitas polen dapat ditentukan salah satunya dengan melihat tingkat viabilitasnya. Kualitas dan kuantitas polen yang diproduksi bunga merupakan komponen penting dalam kelestarian tanaman. Pengetahuan mengenai viabilitas polen dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan produksi buah yang akan diperoleh (Kelly *et al.*, 2002; Hadi *et al.*, 2017). Jumlah buah yang tinggi dapat dicapai jika pada saat bunga betina mekar, terdapat polen yang viabel dalam jumlah cukup, sehingga semua bunga dapat diserbuki. Di samping itu viabilitas polen juga dapat mempengaruhi viabilitas benih yang dihasilkan. Polen dengan viabilitas tinggi akan lebih dahulu membuahi sel telur, serta menghasilkan buah bermutu baik dan benih berviabilitas tinggi (Widiastuti dan Palupi, 2008; Yousefi *et al.*, 2021).

Fotoperiodesitas dan temperatur sangat mempengaruhi pembungaan dan keberhasilan proses pembuahan sehingga dapat mempengaruhi produksi biji. Sinar

matahari diperlukan untuk memproduksi karbohidrat dan memacu pembentukan bunga dan buah. Lama penyinaran optimum yang diperlukan tanaman kelapa sawit antara 5-7 jam per hari. Penyinaran yang kurang dapat menyebabkan berkurangnya asimilasi dan gangguan penyakit. Peningkatan hasil akan diperoleh jika penyerbukan buatan diaplikasikan pada pohon kelapa sawit umur lebih 10 tahun (Turner dan Gillbanks, 1982; Corley dan Tinker, 2016; Yousefi *et al.*, 2021)

Kumbang penyerbuk tanaman kelapa sawit *E. kamerunicus* mengunjungi bunga betina karena adanya bau sangat menyengat yang mengandung senyawa kimia *p-metosialilbenzena* (*estragole*) (Agus *et al.*, 2007). Menurut Aminah (2011), frekuensi waktu kunjungan kumbang *E. kamerunicus* pada waktu pagi hari (09:00-10:00 WIB) dengan jumlah kunjungan 121 kumbang/10 menit, siang hari (13:00-14:00 WIB) dengan jumlah kunjungan 23 kumbang/10 menit, dan sore hari (16:00-17:00 WIB) dengan jumlah kunjungan 17 kumbang/10 menit. Jumlah rata-rata frekuensi kunjungan adalah 54 kumbang/10 menit. Menurut Jambak (2011), penyerbukan buatan efektif jika dilakukan pada pagi hari (08:00-10:00 WIB) karena di pagi hari kemungkinan bunga betina mekar (*reseptif*) cukup besar.

3.8.2.3. Penyimpanan Serbuk Sari

Serbuk sari yang berkecambah tinggi merupakan prasyarat penting untuk kesuksesan hibridisasi suatu tanaman. Pengeringan bunga jantan dan lama penyimpanan polen mempengaruhi tingkat viabilitas suatu polen (Yabani *et al.*, 2024). Penyimpanan serbuk sari sebagai sel hidup membutuhkan kondisi yang baik untuk mempertahankan viabilitasnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi viabilitas serbuk sari dalam kondisi penyimpanan antara lain : cahaya, suhu dan kelembaban relatif (RH). Tingkat kelembaban lingkungan biasanya diatur dengan menyimpan botol yang berisi serbuk sari pada desikator dengan suhu tertentu. Dalam kondisi kering dan suhu rendah aktifitas serbuk sari dapat ditekan seminimum mungkin sehingga sumber energinya tersimpan lebih lama. Viabilitas serbuk sari dalam penyimpanan tergantung pada tingkat pengurangan aktivitas fisiologis tanpa merusak strukturnya (Galletta *in* Moore and Janick, 1983; Ibrahim *et al.*, 2018). Anitasari *et al.*, (2018), menyebutkan bahwa viabilitas polen digunakan untuk menentukan keberhasilan pemuliaan tanaman dalam menghasilkan varietas unggul.

3.8.3. BAHAN DAN METODE

3.8.3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli-Desember 2023 di areal PT. Perkebunan Nusantara IV Kebun Marihat pada lokasi Kebun Induk Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Unit Marihat, Kabupaten Simalungun-Sumatera Utara, dengan ketinggian 369 meter dpl, pada posisi 02°55' Lintang Utara dan 99°05' Bujur Timur.

3.8.3.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah : tandan bunga betina kelapa sawit, kantung pembungkus tandan (*polination bag*), serbuk sari (polen) kelapa sawit, insektisida cair, tepung, kapas, alkohol, karet ban, kawat kassa, isolasi dan bahan lain yang mendukung. Dan alat yang digunakan adalah kampak, arit polinator, gunting, botol *pupper* serta peralatan lain yang mendukung.

Penelitian ini merupakan percobaan 2 faktor. Faktor pertama adalah lama simpan serbuk sari (polen), yaitu: S0 = ≤1 tahun, S1 = ≤2 tahun, S2 = ≤3 tahun, S3 = ≤4 tahun, dan S4 = ≥5 tahun. Faktor kedua adalah waktu penyerbukan , yaitu: T0= 07.00-08.00 Wib; T1 = >08.00-09.00 Wib; T2 = >09.00-10.00 Wib; T3 = >10.00-11.00 Wib, dan T4 = >11.00-12.00 Wib.

Dari kedua faktor tersebut terdapat 25 kombinasi perlakuan, setiap kombinasi perlakuan diulang 3 kali, sehingga terdapat 75 unit percobaan. Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rancangan acak kelompok dengan pohon induk sebagai kelompok. Model matematika untuk penelitian ini adalah :

Metode Analisis :

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \epsilon_{ijk}$$

Keterangan :

Y_{ij} : nilai pengamatan dari perlakuan ke-j, dan ke-k dan ulangan ke-i

μ : nilai tengah umum

ρ_i : pengaruh ulangan ke-i

α_j : pengaruh perlakuan ke-j

β_k : Pengaruh perlakuan ke-k

$(\alpha\beta)_{jk}$: pengaruh interaksi perlakuan ke-j dan perlakuan ke-k

E_{ijk} : pengaruh galat percobaan dari perlakuan ke-j dan ke-k pada ulangan ke-i

Jika dalam analisis ragam, perlakuan berpengaruh nyata, maka dilanjutkan dengan uji DMRT pada taraf 5%.

3.8.3.2.1. Pelaksanaan Penelitian

a. Persiapan lapangan

Pada lokasi pohon induk Blok 2005 dan Blok 2007 telah diinventarisir sebanyak 1.339 pohon sebagai pohon induk. Untuk kebutuhan penelitian sebanyak 75 pohon dilakukan pengamatan lapangan untuk memenuhi kebutuhan tersebut dengan pengamatan terhadap tandan bunga betina yang siap untuk di bungkus. Persiapan dilapangan terlebih dahulu adalah menentukan dan mencatat pohon-pohon induk yang terpilih sebagai tempat dilakukannya penelitian dengan pengamatan kemunculan tandan bunga betina untuk dilakukan proses penelitian selanjutnya.

b. Pembungkusan tandan bunga betina

Pembungkusan tandan bunga betina dilakukan dengan menggunakan polination bag yang terbuat dari Agriveg/Agrobag dan terylene. Pembungkusan ini bertujuan untuk menjamin bahwa tandan bunga betina tersebut dibungkus pada waktu yang tepat dengan kondisi polination bag (pembungkus) yang memenuhi syarat serta pelaksanaan pembungkusan yang benar. Pembungkusan dilakukan dengan cara menutup rapat seluruh bagian tandan bunga mulai dari ujung tandan sampai tangkai tandan (*stalk*). Kegiatan pembungkusan ini dilakukan sekurang-kurangnya 10 hari sebelum bunga anthesis atau ujung seludang bunga (*spatha*) masih tertutup dengan kondisi seludang pecah <25%. Adapun cara pembungkusan tersebut yaitu menyingkirkan semua duri pelepah yang mengganggu (sisi kiri dan

sisi kanan), lalu pangkal pelepah yang menyangga bunga diiris membujur, kemudian pelepah ditekan kebawah agar pembungkusan bunga dapat dengan mudah dilakukan. Seludang (*spatha*) yang menutupi bunga dibuang dan bunga dibersihkan dari sampah dan sisa-sisa seludang.

Selanjutnya tangkai tandan bunga betina dibalut dengan kapas yang telah ditaburi bubuk insektisida yang bertujuan untuk mencegah masuknya serangga dari arah tangkai tandan. Polination bag yang akan digunakan untuk membungkus bunga terlebih dahulu disemprot dengan insektisida cair (agar steril dari serangga). Polination bag disungkup dari sebelah atas sampai ke bagian bawah tangkai tandan dan diikat dengan tali karet di bagian tengah tangkai tandan.

c. Penyerbukan tandan bunga betina.

Penyerbukan tandan bunga betina adalah upaya menyerbuki tandan bunga betina yang anthesis dengan tepung sari asal tandan bunga jantan yang kompatibel, dengan tujuan menjamin legitimasi benih yang tidak terkontaminasi dengan serbuk sari liar.

Penyerbukan ini dilakukan pada saat bunga mengalami anthesis (minimal anthesis bunga 70%). Pada saat itu sebahagian besar kepala putik telah membuka dan berwarna putih kekuningan. Penyerbukan ini dilakukan dengan menggunakan tepung sari yang dicampur dengan 4 gram talkum murni. Sebelum penyerbukan ini dilakukan, polination bag disemprot dengan insektisida cair untuk mengusir (mematikan) serangga yang mengganggu termasuk serangga penyerbuk kelapa sawit (SPKS) "*Elaeidobius kamerunicus*". Pada saat akan melakukan penyerbukan seluruh peralatan disterilisasi dengan menggunakan alkohol, hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya kontaminasi.

d. Pembukaan bungkusan

Pembukaan bungkusan ini dilakukan 15 hari setelah penyerbukan. Pembukaan bungkusan ini bertujuan agar bunga dapat berkembang secara alami. Pembukaan bungkusan ini dilakukan dengan cara membuka polination bag yang menyungkup tandan, dan kemudian memasang label identitas tandan.

e. Pemanenan

Panen dilakukan pada saat tandan berumur 4,5 – 6 bulan. Cara pemanen tandan yaitu memotong stalk tandan, dan kemudian tandan-tandan tersebut dibawa ke unit persiapan benih untuk diproses lebih lanjut.

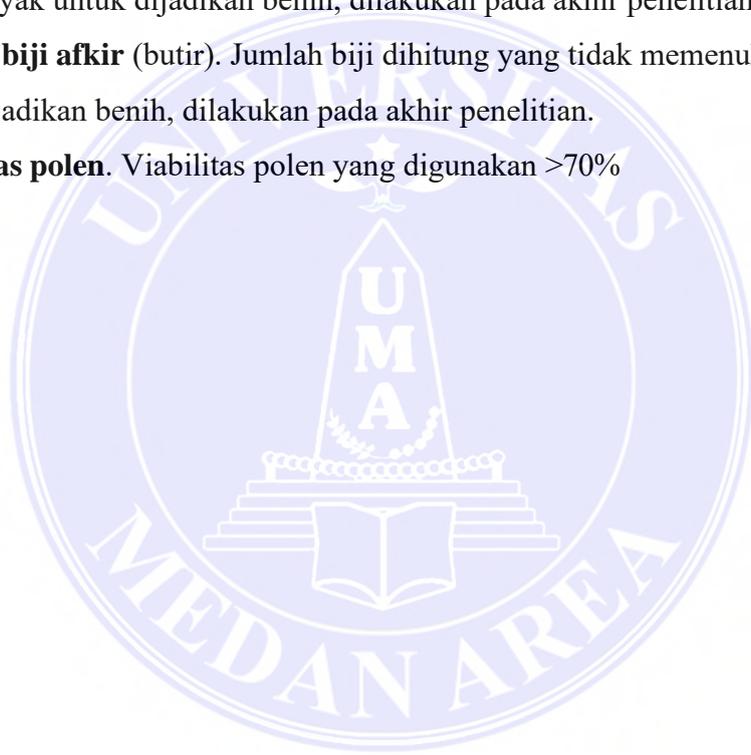
3.8.3.2.2. Pengamatan Parameter :

Berat Tandan (kg). Berat tandan diukur dengan menggunakan timbangan salter, dilakukan pada akhir penelitian.

Jumlah biji layak untuk benih (butir). Jumlah biji dihitung yang memenuhi syarat/layak untuk dijadikan benih, dilakukan pada akhir penelitian.

Jumlah biji afkir (butir). Jumlah biji dihitung yang tidak memenuhi syarat/tidak layak dijadikan benih, dilakukan pada akhir penelitian.

Viabilitas polen. Viabilitas polen yang digunakan >70%



V. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

5.1. Kesimpulan

1. Model Optimalisasi produksi bahan tanaman unggul kelapa sawit melalui penyerbukan buatan memberikan konsistensi produksi dengan mengurangi variabilitas antar klaster, meningkatkan jumlah biji baik rata-rata sebesar 13.6%, dan menaikkan bobot tandan sebesar 13.0%. Selain itu, jumlah benih afkir berkurang hingga 28.6%, menunjukkan seleksi lebih efisien dan kualitas produksi lebih baik.
2. Varietas Yangambi, penyerbukan dilakukan dipagi hari (07.00 – 10.00 Wib) dan lama simpan polen <2 tahun (polen segar) menghasilkan jumlah benih baik tertinggi (rata-rata 1.250 butir/klaster) atau meningkat sebesar 13,6%. Penggunaan polen dengan dosis 0,04 gram sudah cukup menghasilkan biji baik sehingga penulis menyarankan untuk penggunaan dosis 0,04 gram dalam setiap penyerbukan di PPKS demi efisiensi penggunaan polen.
3. Hasil kajian menunjukkan bahwa varietas PPKS 540 memiliki DB tertinggi (84,9%), dan terendah varietas Avros (56,92%). Daya berkecambah benih dipengaruhi oleh faktor lama pemanasan, kadar air, lama perendaman dan karakteristik sumber pohon induk.

5.2. Rekomendasi

1. Untuk efisiensi dan keberlanjutan pengelolaan polen, mengingat jumlah pohon pisifera aktif PPKS yang terbatas, dosis 0,04 gram bisa menjadi solusi.
2. Mempertahankan metode penyimpanan polen yang sudah baik, lama simpan polen > 4 tahun dibawah 5 tahun dengan viabilitas >80%.
3. Penyerbukan disarankan dilakukan pada pagi hari (07.00-10.00 Wib).
4. Memberikan perlakuan khusus tambahan terhadap benih yang memiliki daya kecambah rendah.
5. Perlunya kajian lebih lanjut tentang faktor-faktor lain yang memungkinkan berkontribusi dalam penyerbukan (Kompetensi polinator, Umur pohon pisifera sebagai sumber polen, Keseimbangan hara pohon induk, gap produksi tandan dan jumlah benih).

DAFTAR PUSTAKA

- Adiguno, S. 1998. Pengadaan dan pengawasan mutu internal kecambah kelapa sawit dan bibit kelapa sawit di PT. Socfindo-Medan, Sumatera Utara. Laporan Keterampilan Profesi. Jurusan Budidaya Pertanian. IPB. Bogor. 56 hal.
- Anshory, A. H. 1999. Pengaruh periode konservasi dan perlakuan matriconditioning terhadap viabilitas benih kayu manis (*Cinnamomum zeylanicum*) Skripsi. Jurusan Budidaya Pertanian. Fakultas Pertanian. IPB. Bogor.
- Adam H, Jouannic S, Escoute J, Duval Y, Verdeil JL, Tregear JW. 2005. Reproductive developmental complexity in the African oil palm (*Elaeis guineensis*, Arecaceae). *Am J Bot.* 92:1836–1852.
- Adam H, Jouannic S, Orioux Y, Morcillo F, Richaud F, Duval Y, Tregear JW, 2007. Functional characterization of MADS box genes involved in the determination of oil palm flower structure. *Journal of Experimental Botany*, 58(6): 1245–1259.
- Asmono D, A R Purba, Y. Yenni, M. Kohar, H. Zaelanie, T. Liwang, A. B. Beng. 2005. Peta dan Prospek Pemuliaan dan Industri Perbenihan Kelapa Sawit Indonesia. Simposium Nasional dan Kongres V PERIPI, Purwokerto, 25-27 Agustus 2005.
- Appiah, S., Agyei-Dwarko, D. J. E. A. 2013. Studies on Entomophil pollination towards sustainable production and increased profitability in the oil Palm: a review. 55, 12878-12883.
- Arif, M., Sihombing D. 2015. Penurunan kadar air benih kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) selama proses penyimpanan benih dengan menggunakan media kantung plastik linear low density. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit.* 23(3):101-108.
- Arif, M. 2023. Viabilitas Benih Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* L. Jacq.) pada Berbagai Tingkat Masak Fisiologi, Metode Pematangan Dormansi, Kondisi Simpan, dan Invigorasi. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Afrillah, M. 2018. Karakteristik Morfofisiologi Varietas Kelapa Sawit Pada Tingkat Pemberian Pupuk N di Pembibitan Utama. Tesis. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Anitasari S.D, Winingsih A.R, Waris W, Sari D.N.R, Astarini I.A, Defiani M.R. 2018. Pengaruh Variasi Media Terhadap Viabilitas Pollen Tanaman Tebu (*Saccharum* Sp.). In Prosiding Seminar Nasional SIMBIOSIS Jember, 2018.

- Asra, R., Samarlina R.A, Silalahi M. 2020. Hormon tumbuhan. Jakarta: UKI Press.
- Bailly C, El-Maarouf-Bouteau H, Corbineau F. 2008. From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. *C. R. Biologies*. 331:806–814.
- Amal, S. Taryono, Basunanda, P. 2021. Prediksi nilai pemuliaan kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) dengan best linear unbiased prediction pada rancangan alpha. Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada.
- Abubakar, A., Ishak, M. Y., & Makmom, A. A. 2021. Impacts of and adaptation to climate change on the oil palm in Malaysia: a systematic review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(39), 54339-54361.
- Ardana IK, Wulandari S, Hartati RS. 2022. Urgency to accelerate replanting of Indonesian oil palm: A review of the role of seed institutions. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 974(1):1–9.
- Ayuningtyas U, Isharyadi F, Mulyono AB, Kristiningrum E, Dulbert B, Sistem R, Berkelanjutan P, Hidup D, Riset B. 2022. Penentuan Titik Kritis Persyaratan Pada SNI 8211:2015 dan Regulasi Teknis Terkait Benih Tanaman Kelapa Sawit Untuk Meningkatkan Produktivitas. *J Stand*. 24(1):21–32.
- Amiruddin, M.D, Marjuni, M, Malike, F.A, Bakar, N.A.A, Yaakub, Z, Abdullah, N and Mustaffa, S. 2023. Oil Palm Breeding and Seed Production. In *Advances in Oil Palm Research Second Edition (Volume 1)*. Malaysian Palm Oil Board (MPOB).
- Brewbaker JL, Kwack BH. 1964. The Calcium Ion and Substance Influencing Pollen Growth. In: H. F. Linkes (eds). 1964. *Pollen Physiology and Fertilization*. Amsterdam: North- Holland Publishing Company.
- Bewley and Black, 1982. *Physiology and Biochemistry of Seed. In Relation to Germination, Volume (2)*. Springer Verlag.
- Bewley and Black, 1983. *Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination*, Springer Verlag, New York
- Basri, M W; Abdul Halim, H and Ahmad, H (1983). Current status of *Elaeidobius kamerunicus* Faust and its effects on the oil palm industry in Malaysia. *PORIM Occasional Paper No. 6*: 24 pp.
- Buana, L, T. Hutomo, dan M. Chairani. 1994. Faktor penentu viabilitas benih kelapa sawit. *Buletin PPKS 2(2)*: 71-76
- Beugre, M.M., Kouakou, K.L., Boghonkpe, J.P, Konan, K.E., Kouakou, T.H., and Kouadio, Y.J (2009). Effects of Storage and Heat Treatments on the Germination of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq). *Seed. African Journal Agricultural Research* 4, 931- 937).

- Borg M, Twell D. 2011. Pollen: Structure and Development. Chichester (UK): John Wiley & Sons, Ltd.
- Bariya, H., Bagtharia, S., & Patel, A. 2014. Boron: A Promising Nutrient for Increasing Growth and Yield of Plants. January, 153–170. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-10635-9-6>
- Babu BK, Mathur RK, Naveen Kumar P, Ramajayam D, Ravichandran G, Venu MVB, SparjanBabu S. 2017. Development, identification and validation of CAPS marker for SHELL trait which governs dura, pisifera and tenera fruit forms in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). PLoS One. 12(2):1–16.
- Bohra P, Waman AA, Devi RK. 2021. Seed fatty acid composition and germination studies in *Garcinia dhanikhariensis* S.K. Srivastava (*Clusiaceae*): A novel tropical fruit species from Bay Islands, India. International Journal of Fruit Science. 21(1):970-978.
- Bittencourt CB, Carvalho da Silva TL, Rodrigues Neto JC, Vieira LR, Leão AP, de Aquino Ribeiro JA, et al. Insights from a Multi-Omics Integration (MOI) Study in Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Response to Abiotic Stresses: Part One—Salinity. Plants. 2022 Jun 30;11(13):1755.
- Copeland, L. D. 1985. Principles of Seed Science and Technology. Burgess Publishing Company. Minneapolis Minnesota. 369p.
- Copeland, L. O., & Mc Donald., M. B. 2001. Principles of Seed Science and Technology. Burgess Publishing Company.
- Corley, R.H.V. 1976. Inflorescence abortion and sex differentiation. In: Oil palm research (Ed. by R.H.V. Corley, J.J. Hardon & B.J. Wood), pp.37-54, Elsevier, Amsterdam.
- Corley, R.H.V and Tinker. 2003. The Oil Palm (Four Edition). Blackwell Science Ltd., Oxford. p:562.
- Corley R.H.V, Tinker P. 2016. *The Oil Palm*. Fifth. West Sussex : Blackwell Science Ltd.
- Chin, H. F and E. H. Roberts. 1980. Recalcitrant Crop Seed. Tropical Trees SDN. BHD, Kualalumpur, malaysia. 151p.
- Chan, K W; Lim, K C; Yee, C B and Ong, E C (1982). Some preliminary bunch analysis studies on weevil pollinated bunch and their implication in palm oil production in mills. Proc. of the Eighth Oil Palm Seminar. Guthrie Research Chemara, Seremban. p. 4-9.
- Chairani, M. 1991. Teknik pengadaan benih kelapa sawit bersertifikat. Berita Pen. Perkebunan 2:57-70.

- Chairani, M. 1992. Kajian kemunduran viabilitas benih kelapa sawit. Berita Pen. Perkebunan. Vol. 2(3):107-114.
- Combres, J.C., B. Pallas, L. Roun, I. Mialet-Serra, J.P. Caliman, S. Braconnier, J.C. Soulie, and M. Dingkuhn. 2012. Simulation of inflorescence dynamics in oil palm and estimation of environment-sensitive phenological phases: a model base analysis. Functional Plant Biology 40(3): 265-279.
- Cui J, Lamade E, Tcherkez G. 2020. Seed Germination in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.): a review of metabolic pathways and control mechanisms. International Journal of Molecular Sciences. 21:1-13.
- Dwidjoseputro, D.1985. Pengantar Fisiologi Tumbuhan. Penerbit PT. Gramedia Jakarta
- Delouche, J.D. 1985. Seed Physiology. Seed Tech. Lab. Mississippi State University.
- Darmawan AC, Respatijarti, Soetopo L. 2014. Pengaruh tingkat kemasakan benih terhadap pertumbuhan dan produksi cabai rawit (*capsicum frutescent* L.) varietas Comexio. Jurnal Produksi Tanaman. 2(4):339-346.
- Direktorat Sumber Daya Energi, Mineral dan Pertambangan. 2015. *Kajian pengembangan bahan bakar nabati (BBN)*. Jakarta: Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional Republik Indonesia/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.
- Direktorat Jenderal Perkebunan (Ditjenbun). 2020. Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2019 – 2021. Jakarta : Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian.
- Direktorat Jenderal Perkebunan (Ditjenbun). 2022. Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2021-2023. Jakarta: Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Daza E, Ayala-Díaz I, Ruiz-Romero R, Romero HM. Effect of the application of plant hormones on the formation of parthenocarpic fruits and oil production in oil palm interspecific hybrids. Plant Prod Sci. 2021 Jul 3;24(3):354–62.
- De Vitis M, Hay FR, Dickie JB, Trivedi C, Choi J, Fiegenger R. 2020. Seed storage: maintaining seed viability and vigor forrestoration use. Restoration Ecology. 28(S3):S249–S255.
- Dassou OS, Bonneau X, Aholoukpè H, Vanhove W, Ollivier J, Peprah S. Oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) genetic differences in mineral nutrition: potassium and magnesium effects on morphological characteristics of four oil palm progenies in Nigeria (West Africa). OCL. 2022 Aug 10;29:31.

- Darlan, N.H. 2023. Pengembangan teori perubahan pola curah hujan di sentra perkebunan kelapa sawit Sumatera Utara dan kaitannya dengan indicator iklim global. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Ernawati E, Pratami G, Setyaningrum E, Kiascha G, Anggelika D. 2021. Karakterisasi struktur morfologi dan viabilitas polen dari lima kultivar pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.). Buletin Kebun Raya 24(1):35-41.
- Fauzi, Y, Yustina E. W, Iman, S dan Rudi, H. 2002. Kelapa Sawit. Ed. Revisi. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Fauzi, Y; YE, Widyastuty; Satyawibawa; R. Hartono. 2008. Kelapa Sawit, Budidaya, Pemanfaatan Hasil dan Limbah, Analisis Usaha dan Pemasaran. Penerbit Penebar Swadaya Jakarta.
- Fairhurst T, Hardter F. 2003. Management For Large dan Sustainable Yields. Bern (CHE): International Potash Institute.
- Fondom NY, Etta CE, Mih AM. 2010. Breaking Seed Dormancy: Revisiting heat-treatment duration on germination and subsequent seedling growth of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) progenies. Journal of Agricultural Science. 2(2):101- 110.
- Forero, D.C., Hormaza, P. and Romero, H.M., 2012. Phenological growth stages of African oil palm (*Elaeis guineensis*). Annals of Applied Biology, 160(1), pp.56-65.
- Farhana B, Ilyas S, Budiman LF. 2013. Pematangan dormansi benih kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan perendaman dalam air panas dan variasi konsentrasi ethephon. Bul. Agrohorti. 1(1):72-78.
- Fitriesa S, Iyas S, Qadir A. 2016. Invigorasi dan pengurangan pupuk N untuk meningkatkan pertumbuhan, hasil, dan mutu benih kacang Bambara. J. Agron. Indonesia. 44(2):190-196.
- Fitriesa S, Sari M, Suhartanto MR. 2017. Pengaruh pemupukan N, P, dan K pada dua varietas benih kedelai (*Glycine max* (L) Merr.) terhadap kandungan antosianin dan hubungannya dengan vigor benih. Bul. Agrohorti. 5(1):117-125.
- Fitra Suzantil RAKSR and AS. 2016. Contribution of epiphytes on the canopy insect population in oil palm plantations in Nort Sumatera. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016;11(11).
- Fitrya N, Wirman SP, Fitri W. 2019. Karakterisasi warna buah kelapa sawit untuk menentukan kadar CPO (*crude palm oil*) dengan metode LSI (*laser speckle imaging*). Prosiding SainsTeKes Semnas MIPAKes UMR. 1:24-28.

- Galleta G.J. 1983. Pollen and Seed Management p. 23-35. In: More JN, Janick J (eds). *Methods in Fruit Breeding*. Purdue Univ. Press. West Lafayette Ind.
- Green M, Lima WAA, de Figueiredo AF, Atroch AL, Lopes R, da Cunha RNV, Teixeira PC. 2013. Heat-treatment and germination of oil palm seeds (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Journal of Seed Science*. 35(3):296-301.
- Gunawan, H. 2018. Uji Ketahanan Beberapa Varietas Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Pada Tanah Salin di Main Nursery Diberi Asam Humat. Tesis. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Ginting, E. N., dan Wiratmoko, D. 2021. Potensi dan Tantangan Penerapan Precision Farming dalam Upaya Membangun Perkebunan Kelapa Sawit yang Berkelanjutan. *WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 26(2), 12.
- Harrington, J. F. 1972. Seed storage and longevity. P:145-256. In: T. T. Kozlowski (ed.). *Seed Biology*. Vol.3. Academy Press. New York.
- Harjadi, S.S. 1975. Dormansi Benih dan Dasar-dasar Teknologi Benih. *Kapita Selecta*. Departemen Agronomi. IPB Bogor. Hal. 78 – 79.
- Harborne, J B. 1987. *Metode Fitokimia*. Bandung : Penerbit ITB
- Hartley CWS. 1988. *The Oil Palm (Elaeis guineensis Jacq.)*. New York (USA). Longman Scientific and Technical Publication. Wiley.
- Henderson J, Osborne DJ. 1994. Inter-tissue signalling during the two-phase abscission in oil palm fruit. *J Exp Bot*. 45(276):943-951
- Herrera J, Alizaga R, Guevara E. 1998. Use of chemical treatments to induce seed germination in oil palm *Elaeis guineensis* Jacq. ASD oil palm papers no. 18.
- Harun, M.H. & M.R.M.D. Noor. 2002. Fruit set and Oil Palm Bunch Component. *Journal of Palm Oil Research* Volume 14 No. 2: 29-33
- Haryani, N. 2005. Pengujian viabilitas benih selama periode konservasi dan upaya pematangan dormansi untuk mempercepat pengecambahan benih kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). Skripsi. Jurusan Budidaya Pertanian. Fakultas Pertanian. IPB. Bogor.
- Horsley TN, Johnson SD, Stanger TK. 2007. Optimising storage and in vitro germination of Eucalyptus pollen. *Australian Journal of Botany* 55(1):83-89.
- Harahap, I.Y. 2008. Kajian Diferensiasi Jenis kelamin pada Pembentukan Bunga Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Melalui Pendekatan Kuantitatif-Statistik. *Jurnal Pusat Penelitian Kelapa Sawit*.

- Harahap, I. Y., dan Lubis, M. E. S. 2018. Penggunaan Model Jaringan Saraf Tiruan (Artificial Neuron Network) untuk Memprediksi Hasil Tandan Buah Segar (TBS) Kelapa Sawit Berdasar Curah Hujan dan Hasil TBS Sebelumnya. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 26(2), 59–70. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v26i2.42>.
- Hassan, M.M Hazem, 2011. Chemical Composition and Nutritional Value of Palm Pollen Grains. *Global Journal of Biotechnology & Biochemistry* 6 (1): 01-07. Biochemistry Department, Faculty of Agriculture, Cairo University, Giza, Egypt
- Hidayat, T. C, Harahap, I.Y.,Rahutomo, S, Pangaribuan, Y. 2013. Bunga, Buah, dan Produksi Kelapa Sawit. Seri Kelapa Sawit Populer 13. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Sumatera Utara. 42 hal.
- Harahap, LS, Rasyad A, Isnaini, Khoiri MA. 2016. Pola perubahan beberapa sifat morfologis dan fisiologis buah kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) selama perkembangan sampai saat panen. *J. Agrotek. Trop.* 5(2):62-69.
- Hasibuan, A. A., E. Sobari. 2017. Efek Ukuran Serbuk Sari dalam Pernyerbukan Terhadap Perkembangan Buah Tanaman Kelapa Sawit. Jurusan Agroteknologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung.
- Hasibuan, HA. 2020. Penentuan Rendemen, Mutu dan Komposisi Kimia Minyak Sawit dan Minyak Inti Sawit Tandan Buah Segar Bervariasi Kematangan sebagai Dasar untuk Penetapan Standar Kematangan Panen. *J Peneliti Kelapa Sawit.* 28(3):123–132.
- Hadi, P.K, Widjayanti E, Salma S. 2017. Aplikasi Enzim Ligninase dan Selulase untuk Meningkatkan Perkecambah Benih Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Pematang Siantar, Sumatera Utara. *Bul Agrohorti.* 5(1):69–76.
- Himmah, E.F, Widyaningsih M, Maysaroh. 2020. Identifikasi kematangan buah kelapa sawit berdasarkan warna RGB dan HSV menggunakan metode *K-means clustering*. *Jurnal Sains dan Informatika.* 6(2):2598-5841.
- Hasrianda, E.F, Zaelani A, Poerba YS. 2020. Jumlah, uji viabilitas dan daya kecambah polen 31 aksesori pisang (*Musa* sp.) koleksi kebun plasma nutfah pisang LIPI. *Berita Biologi* 19(2):197-206.
- Ilyas S. 2006. Seed Treatments Using Matricconditioning to Improve Vegetable Seed Quality. *Bul. Agron.* 34(2):124-132.
- Ilham I. 2015. Studi teknik pematangan dormansi terhadap viabilitas benih Aren. Dinas Perkebunan Provinsi Kalimantan Timur. [diakses 11 Juni 2023]. https://www.academia.edu/20324789/dormansi_aren.

- Ingrith, W., W.A. Nugroho dan R. Yulianingsi. 2015. Ekstraksi Pigmen Anthosianin Dari Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus costaricensis*) Sebagai Pewarna Alami Dengan Menggunakan Microwave. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*. 3 (3) 1-8.
- Ibrahim Z, Sabri N, Isa D. 2018. Palm oil fresh fruit bunch ripeness grading recognition using convolutional neural network. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*. 10(3-2): 109-113.
- James, Wilcox. 1996. Vacuum storage of yellow-poplar pollen. Northern Research Station. <http://www.google.com>.
- Jacquemard JC. 1998. Oil Palm The Agriculturalist. London (GB). CTA Macmillan. Pp 1-144.
- Jambak, M.AA. 2011. Metode Perbanyakan Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Secara Konvensional Dan Kultur Jaringan Di Unit Usaha Marihat, Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Sumatera Utara. Bogor: IPB Press.
- Juvany, M. and Munné-Bosch, S., 2015. Sex-related differences in stress tolerance in dioecious plants: a critical appraisal in a physiological context. *Journal of Experimental Botany*, 66(20), pp.6083-6092.
- Julyan B, Qadir A, Supijatno. 2017. Pengolahan tandan benih kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) di Pusat Penelitian Kelapa Sawit. *Bul. Agrohorti*. 5(3):365-372.
- John Martin JJ, Yarra R, Wei L, Cao H. Oil Palm Breeding in the Modern Era: Challenges and Opportunities. *Plants*. 2022 May 24;11(11):1395.
- Khan AA. 1968. Inhibition of Gibberellic Acid-induced Germination by Abscisic Acid and Reversal by Cytokinins. *Plant Physiol*. 43:1463-1465.
- Kamil, J. 1979. Teknologi Benih 1. Universitas Andalas. Penerbit Angkasa Raya. Padang.
- Kuswanto, H. 1996. Dasar-dasar teknologi, produksi, dan sertifikasi benih. Andi offset.
- Kartasapoetra, A.G. 1996. Teknologi Benih. Rineka Cipta. Jakarta.
- Kelly, J. K., Rasch, A. and Kaliz, S. 2002. A Method to estimate pollen viability from pollen size variation. *Amer. J. Bot.* 89 (6): 1021-1023.
- Keong, Y.K. and W.M. Keng. 2012. Statistical modeling of weather-based yield forecasting for young mature oil palm. *APCBEE Procedia* 4:58-65

- Kok SY, Pnamasivayam P, Ee GCL, Ong-Abdullah M. 2013. Biochemical characterization during seed development of oil palm (*Elaeis guineensis*). J. Plant Res. 126:539-547
- Khor, J.F., Ling, L., Yusop, Z., Tan, W. L., Ling, J. C., & Soo, E. Z. X. 2013. Impact of El Nino on oil palm yield in Malaysia. Agronomy, 11,: 2189.
- Khair, H., J. S. Darmawati dan R. S. Sinaga. 2014. Uji Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit Dura dan Varietas Unggul Dxp Simalungun (*Elaeis guineensis* jacq.) terhadap Pupuk Organik Cair di Main Nursery. Agrium. 18 (3).
- Kartika, M Surahman, M Susanti. 2015. Pematahan dormansi benih kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) menggunakan KNO₃ dan skarifikasi. J Enviagro Pertan dan Lingkungan. 8(2):48–55.
- Kaewtaphan P, Chanprasert W, Sayasoonthorn S, Wongsri O, Petchrrun T. 2016. Germination of de-operculated oil palm (*Elaeis guineensis*) seed as affected by gibberellic acid (GA 3). Seed Sci. & Technol. 44:298-309.
- Kelanaputra ES, Nelson SP, Setiawati U, Sitepu B, Nur F, Forster BP, Purba AR. 2018. Seed production in oil palm: a manual. Boston (USA): CABI.
- Kamani MH, Eş I, Lorenzo JM, Remize F, Roselló-Soto E, Barba FJ, et al. Advances in plant materials, food by-products, and algae conversion into biofuels: use of environmentally friendly technologies. Green Chemistry. 2019;21(12):3213–31.
- Kamil M, Ramadan K, Olabi AG, Ghenai C, Inayat A, Rajab MH. Desert Palm Date Seeds as a Biodiesel Feedstock: Extraction, Characterization, and Engine Testing. Energies (Basel). 2019 Aug 16;12(16):3147.
- Kuswardani R.A, Yabani, Susanto A, Vajri Y.I. 2024. Optimization of Supply Superior Oil Palm Seeds Using Artificial Pollination to Support Sustainable Palm Plantations. Conference Proceeding Series: Business, Management and Social Science, Vol. 4 No. 1 (2024) <https://doi.org/10.31098/bmss.v4i1.892>.
- Lawton, D M; Jefferies, C J and William, R R (1978). The development of the pollen tube in the gynaecium of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Rep. Long Ashton. pp 33-34
- Lawton, D. M. (1982). Pollination and fruit set in Oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Proceedings of the International Conference on Oil Palm in Agriculture in the Eighties, Pushparajah, E. Chew, P.S. (eds.). - Kuala Lumpur (Malaysia): PPP (ISP), p. 241-262.
- Lubis, U.A,. 1992. Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Indonesia. Pusat Penelitian Perkebunan Marihat. Sumatera Utara. 453hal.

- _____. 1993. Pengadaan Benih Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). Pusat Penelitian Perkebunan Marihat. Sumatera Utara. 65 hal.
- _____. 2008. Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Indonesia. Edisi 2. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Sumatera Utara. 362 hal.
- Liwang T, Daryanto A, Gumbira-Said E, Nuryartono N. 2011. Analisis faktor-faktor determinasi pasar benih kelapa sawit di Indonesia. *Jurnal Manajemen Bisnis*. 1(1):33-43.
- Liwang T, Daryanto A, Gumbira-Said E, Nuryartono N. 2012. Analisa dinamika perkembangan industri benih kelapa sawit di Indonesia. *Jurnal Ilmu Ekonomi dan Sosial*. 1(2):115-125.
- Lankinen Å, Lindström SAM, D'Hertefeldt T. 2018. Variable pollen viability and effects of pollen load size on components of seed set in cultivars and feral populations of oilseed rape. *PLoS One*. 13(9):1–15.
- Lubis, M.F, Lubis I. 2018. Analisis Produksi Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Di Kebun Buatan, Kabupaten Pelalawan, Riau. *Bul. Agrohorti*. 6(2):271-276.
- Lubis, F. I., Sudarjat, S., & Dono, D. 2017. Populasi serangga penyerbuk kelapa sawit *Elaeidobius kamerunicus* Faust dan pengaruhnya terhadap nilai *fruit set* pada tanah berliat, berpasir dan gambut di Kalimantan Tengah. *Jurnal Agrikultura*, 28(1), 39-46.
- Lestari EI, Roisah K, Prabandari AP. 2019. Perlindungan Hukum terhadap Varietas Tanaman dalam Memberikan Kepastian Hukum kepada Pemulia Tanaman. *J Notarius*. 12(2):972–985.
- Low ETL, Azizi N, Halim MAA, Sanusi NSNM, Chan KL, Amiruddin N, et al. Oil Palm Genome: Strategies and Applications. In 2020. p. 83–115.
- Lim CH, Lim S, How BS, Ng WPQ, Ngan SL, Leong WD, et al. A review of industry 4.0 revolution potential in a sustainable and renewable palm oil industry: HAZOP approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021 Jan;135:110223.
- Li K, Grass I, Fung TY, Fardiansah R, Rohlf M, Buchori D, et al. Adjacent forest moderates insect pollination of oil palm. *Agric Ecosyst Environ*. 2022 Oct;338:108108.
- Li M.; Jiang, F.; Huang, L.; Wang, H.; Lagu, W.; Zhang, X.; Zhang, Y.; Niu, L. Optimasi Perkecambah In Vitro, Uji Viabilitas dan Penyimpanan Serbuk Sari *Paeonia ostii*. *Tanaman* **2023**, 12, 2460. <https://doi.org/10.3390/plants12132460>
- Mc Key, J.W. 1961. How Seeds Area Formed. *Seeds The Year book of Agricultural USDA*.

- Maheshwari, P. and K. Kanta. 1964. Control of Fertilization. *In* Linkens HF. (Ed.). Pollen Physiology and Fertilization. North-Holland Publishing Company. Amsterdam.
- Menteri Pertanian, Surat Keputusan Kementrian Pertanian Nomor No.384/Kpts/TP.204/4/1984 Tentang Pelepasan Kelapa Sawit Dumpy Dura x Pisifera SP 540 (DYP) Sebagai Varietas Unggul Dengan Nama Sungai Pancur I. 1984.
- Menteri Pertanian, Surat Keputusan Kementrian Pertanian Nomor 317/Kpts/TP.240/4/1985 Tentang Pelepasan Kelapa Sawit DeliDura x Pisifera Yangambi Sebagai Varietas Unggul Dengan Nama DP Yangambi. 1985.
- Menteri Pertanian, Surat Keputusan Kementrian Pertanian Nomor 136/Kpts/TP.240/2/2003 Tentang Pelepasan Varietas Kelapa Sawit Varietas D x P Langkat Sebagai Varietas Unggul. 2003.
- Menteri Pertanian, Surat Keputusan Kementrian Pertanian Nomor 371/Kpts/Sr.120/7/2007 Tentang Pelepasan Kelapa Sawit Varietas D x P PPKS 540 Sebagai Varietas Unggul. 2007.
- Mcdonald MB, Copeland LO. 1997. Seed Production Principles and Practices. New York (US): Chapman & Hall.
- Moro, F.V., M.A.S. Silva and J.R. Moro. 1999. Pollen Viability in *Syagrus romanzoffiana* and *Coronata* (Arecaceae). *Acta.Hort* (486):215-217.
- Mangoni LM, Papo N, Barra D, Simmaco M, Bozzi A, Di Diulio A, Rinaldi AC. 2004. Effects of the antimicrobial peptide temporin L on cell morphology, membrane permeability and viability of *Escherichia coli*. *J. Biochem.* 380:859- 865.
- Mangoensoekarjo, S. dan H. Semangun. 2005. Manajemen Agribisnis Kelapa Sawit. Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 605 hal.
- Mangoensoekarjo, S. dan S. Haryono. 2008. Manajemen Agribisnis Kelapa Sawit. UGM press. Yogyakarta.
- Myint K a, Rafii MY, Din NML a M. 2012. Determination of the optimum pollen germination medium for different fruit forms of oil palm (*Elaeis guineensis*). *J Anim Plant Sci.* 14(1):1855–1865.
- Martine BM, Laurent KK, Pierre BJ, Eugène KK, Hilaire KT, Justin KY. 2009. Effect of storage and heat treatments on the germination of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seed. *African Journal of Agricultural Research.* 4(10):931-937.

- Masykur. 2013. Analisis produksi kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Kebun Buatan, Kabupaten Pelalawan, Riau. *Jurnal Reformasi*. 3(2):96-107.
- Murphy, D.J. 2014. Review Article. The future of oil palm as a major global crop: Opportunity and challenges. *Journal of Oil Palm Research*, 26 (1), : 1- 24.
- Mawardati. 2017. Agribisnis Perkebunan Kelapa Sawit. Handayani S, editor. Lhokseumawe (ID): Unimal Press.
- Myint KA, Amiruddin MD, Rafii MY, Samad MYA, Ramlee SI, Yaakub Z. Genetic diversity and selection criteria of MPOB-Senegal oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) germplasm by quantitative traits. *Ind Crops Prod*. 2019 Nov;139:111558
- Mariani AWW. 2021. Pengaruh perlakuan *matricconditioning* terhadap viabilitas dan vigor benih kedelai (*Glycine max* L. Merrill). *J. Agrotan*. 7(1):55-67.
- Maia J, Qadir A, Widajati E, Purwanro YA. 2021. Teknologi ultrafine bubbles untuk pematihan dormansi benih cendana (*Santalum album* L.). *Jurnal Perbenihan Tanaman Hutan*. 9(1): 27-41.
- Mensah P, Danso H, Mitchual SJ, Donkoh MB. Effect of Moisture Content and Preservatives on the Discoloration of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Lumber. *Forests*. 2022 Oct 29;13(11):1799.
- Media Perkebunan. 2022. Sudah ada 62 varietas kelapa sawit resmi, jangan gunakan benih ilegal. (diakses 25 Mei 2023). <http://mediaperkebunan.id/sudah-ada-62-varietas-kelapa-sawit-resmi-jangan-gunakan-benih-ilegal>.
- Muharis A, Faisal, Nasruddin, Jamidi, Rafli M. 2022. Pematihan dormansi benih kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan skarifikasi mekanik dan kimia. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agroekoteknologi*. 1(2):43-48.
- Nurmaila, E. S. 1999. Pengaruh *matricconditioning* plus inokulasi dengan *Trichoderma* sp. terhadap perkecambahan, kadar lignin dan asam absisat benih kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). Skripsi. Jurusan Budidaya Pertanian. Fakultas Pertanian. IPB. Bogor.
- Normasiwi S. 2013. Tingkat kematangan buah dan pengaruhnya terhadap perkecambahan *Ardisia* spp. *Prosiding Ekspose dan Seminar Pembangunan Kebun Raya Daerah: Membangun kebun raya untuk penyelamatan keanekaragaman hayati dan lingkungan menuju ekonomi hijau*. Bogor: LIPI. 765-771.
- Normaya D., Mayta N. I., dan Siti F. 2015. respon perkecambahan biji tembesu (*fragraea fragrans roxb.*) pada perendaman berbagai konsentrasi giberelin (*ga3*). Thesis. Universitas Riau, Riau.

- Nasrullah, Rahim R, Baharuddin, Mulyadi R, Jamala N, Kusno A. 2015. Temperatur dan kelembaban relatif udara outdoor. Prosiding Temu Ilmiah IPLBI 2015. Manado.
- Norsazwan MG, Puteh AB, Rafii MY. 2016. Oil palm (*Elaeis guineensis*) seed dormancy type and germination pattern. *Seed Science and Technology*. 44(1):15- 26.
- Norziha A, Marhalil M, Fadila AM, Zulkifli Y, Maizura I, Din AM, Rajanaidu N, Kushairi A. 2017. Long-tem storage of oil palm germplasm zygotic embryo using cryopreservation. *Journal of oil palm research*. 29(4):541-547.
- Nurfatriani F, Ramawati, Sari GK, Komarudin H. Optimization of Crude Palm Oil Fund to Support Smallholder Oil Palm Replanting in Reducing Deforestation in Indonesia. *Sustainability*. 2019 Sep 9;11(18):4914.
- Nurkholis A, Sitanggang IS. 2020. Optimization for prediction model of palm oil land suitability using spatial decision tree algorithm. *J Teknol dan Sist Komput*. 8(3):192–200.
- Nanda, M. A. 2022. Menerapkan Pertanian Presisi pada Kelapa Sawit. Detik. <https://news.detik.com/kolom/d-6029710/menerapkan-pertanian-presisi-pada-kelapa-sawit>.
- Osborne DJ, Henderson J, Corley RHV. 1992. Controlling fruit-shedding in the oil Palm. *Endeavour*, New hies.16(4):173-177
- Purba, A.R., Akiyat, Dan C. Muluk. 1997. Bahan tanaman kelapa sawit asal Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Prosiding Pertemuan Teknis Kelapa Sawit : Pengenalan Bahan Tanaman Kelapa Sawit. pp11-26.
- Purba, A.R, Noyer JL, Baudouin L, Perrier X, Hamon S, Lagoda PJJ. 2000. A new aspect of genetic diversity of Indonesian oil palm[*Elaeis guineensis* Jacq.] revealed by isoenzyme and AFLP markers and its consequences for breeding. *Theor Appl Genet*. 101:956-961
- Purba, A. R., Prasetyo, A. E., Kurniawan, A., Supena, N., Siregar, H. A., Hasibuan, H. A., Suprianto, E. (2016, 27-29 September 2016). *Oil Palm Pollinator Weevil *Elaeidobius kamerunicus* and The Fruit Set in Indonesia*. Paper presented at the The Sixth IOPRI-MPOB International Seminar of Oil Palm Pests and Diseases, Medan, Indonesia.
- Purba JHV. 2019. Replanting policy of Indonesian palm oil plantation in strengthening the implementation of sustainable development goals. Di dalam: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Volume ke-336. IOP Publishing. hlm 1–10.

- Pusat Penelitian Kelapa Sawit. 2006. IK-006/PI/Prod. KS: Instruksi kerja pemanenan dan pengangkutan tandan benih. Kriteria panen. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Pusat Penelitian Kelapa Sawit. 2007. IK-005/PROD/Prod.KS: Instruksi kerja perkecambahan benih. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Pusat Penelitian Kelapa Sawit. 2023. Product knowledge 2023: Profil, produk riset dan pelayanan jasa dari kami untuk kelapa sawit Indonesia. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Perveen, A. 2007. Pollen germination capacity, viability and Maintenance of *Pisium sativum* L papilionaceae). Middle-East Journal of Scientific Research 2: 79–81.
- Pahan, I. 2008. Panduan Lengkap Kelapa Sawit Manajemen Agribisnis dari Hulu ke Hilir. Penebar Swadaya. Jakarta. 411 hal.
- Pahan, I. 2010 .Paduan Lengkap Kelapa Sawit Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir (Cetakan ke VII). Jakarta (ID): Penebar Swadaya.
- Prasetyo, A. E., Arif, M., & Hidayat, T. C. 2012. Buah landak pada tanaman muda kelapa sawit. Warta PPKS, 17(1), 13-20.
- Prasetyo, A.E., dan A. Susanto. 2012. Meningkatkan Fruit set Kelapa Sawit dengan Teknik *Hatch and Carry*. Buku Seri Kelapa Sawit Populer 11. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Putri, K. P., & Pramono, A. A. 2013. Perkembangan Bunga, Buah dan Keberhasilan Reproduksi Jenis Saga (*Adenantha pavonina* L.). Penelitian Hutan Tanaman, 10(3), 147–154.
- Poodineh, A. Mehraban, and A. Hosein. 2014. Effect of water stress and spraying cytokinin hormone on Hamoon wheat variety in Sistan region. Int. J. of Farming and Allied Sci. Vol. 4 (S4): 814-818.
- Pramono, A.A, Rustam E. 2017. Perubahan kondisi fisik, fisiologis, dan biokimia benih *Michelia champaca* pada berbagai tingkat kemasakan. Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversity Indonesia. 3(3):368-375.
- Pratiwi W, Kuswanto, Purnamaningsih SL. 2017. Studi Viabilitas Polen Melalui Silang Diri Pada Tiga Genotipe Tanaman Kecipir (*Psophocarpus tetragonolobus*). Jurnal Produksi Tanaman 5(3):425– 432.
- Priambodo R, Witarto AB, Salamah A, Setiorini, Triyono D, Bowolaksono A. 2017. Morphology and protein molecular weight analysis from three variant of oil palm pollen; Dura, Pisifera, and Tenera. Di dalam: AIP Conference Proceedings. Volume ke-1862. hlm 1–6.

- Pradiko, I., Rahutomo, S., dan Hasan Siregar, H. 2018. Mengenal Anomali-Anomali Iklim dan Efeknya terhadap Produktivitas Tanaman Kelapa Sawit di Indonesia. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 22(3), 111–121.
- Pradiko I, Sujadi, Rahutomo S. 2019. Pengamatan fenologi pada delapan varietas kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) menggunakan konsep thermal unit. *J. Pen. Kelapa Sawit*. 27(1):57-69.
- Pradiko, I., Rahutomo, S., Farrasati, R., Ginting, E. N., Hidayat, F., dan Syarovy, M. 2022. Transpiration Of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Based on Sap Flow Measurement: The Relation to Soil and Climate Variables. *Journal of Oil Palm Research*. <https://doi.org/10.21894/jopr.2022.0035>.
- Panggabean NH, Nurwahyuni I, Elimasni. 2020. Pematihan dormansi benih kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). menggunakan metode skarifikasi dan giberelin. *Klorofil*. 4(2):62-70.
- Pereira, G. L., Siqueira, J. A., Batista-Silva, W., Cardoso, F. B., Nunes-Nesi, A., & Araújo, W. L. (2021). Boron: more than an essential element for land plants?. *Frontiers in Plant Science*, 11, 610307.
- Palm Oil Agribusiness Strategic Policy Insitute (PASPI). 2021. Kebijakan dan multibenefit replanting kebun sawit. *Palm Oil Journal*. 2(23):417-424.
- Risza, S. 1994. Upaya Peningkatan Produktifitas Kelapa Sawit. Kanisius. Yogyakarta. 186 hal
- Rasooli I, Rezaei MB, Allameh A. 2006. Ultrastructural studies on antimicrobialefficacy of thyme essential oils on *Listeria monocytogenes*. *Internat'l. J. Infect. Dis.* 9:342-345.
- Rachmawati, A.Y. 2009. Pengaruh perlakuan matricconditioning plus bakterisida sintesis atau nabati untuk mengendalikan hawar daun bakteri (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*) terbawa benih serta meningkatkan viabilitas dan vigor benih padi (*Oryza sativa* L.) [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Rusmin, D., F. C. Suwarno. dan I. Darwati. 2011. Pengaruh Pemberian GA3 pada Berbagai Konsentrasi dan Lama Imbibisi terhadap Peningkatan Viabilitas Benih Purwoceng (*Pimpinella pruatjan* Molk.). *Jurnal Littri* 17(3):89-94.
- Rivera-Mendez. Y.D., Cayón S.D.G., 2, & López M.J.E. (2013). Physiological and morphological characterization of american oil palms (*Elaeis oleifera* HBK Cortes) and their hybrids (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*) on the Indupalma plantation. *Agronomía Colombiana*, 31(3), :314- 323.
- Rahayuningtyas A, Kuala SI. 2016. Pengaruh suhu dan kelembaban udara pada proses pengeringan singkong (studi kasus : pengering tipe rak). *Ethos*. 4(1):99- 104.

- Ridha R. 2016. Uji viabilitas polen beberapa varietas padi (*Oryza sativa* L.) Introduksi. *Jurnal Penelitian Agrosamudra* 3(2):81-89.
- Ravichandran G, Murugesan P, Kumar NP, Mathur RK, Ramajayam D. 2016. Effect of chemicals on disintegration of the operculum in oil palm (*Elaeis guineensis*) seeds for early germination. *Seed Sci. & Technol.* 44: 475-485.
- Rhebergen, T. 2020. Closing Yield Gaps in Oil Palm Production Systems in Ghana Through Best Management Practices. *European Journal of Agronomy*, 19.
- Ruiz-Alvarez E, Daza ES, Caballero-Blanco K, Mosquera-Montoya M. Complementing assisted pollination with artificial pollination in oil palm crops planted with interspecific hybrids O × G (*Elaeis guineensis* × *Elaeis oleifera*): Is it profitable? *OCL*. 2021 Apr 19;28:27.
- Robins JE. 2021. Oil Palm: A Global History. Robins JE, editor. Chapel Hill (US): University of North Carolina Press.
- Rahman H, Sitompul JP, Tjokrodiningrat S. 2022. The composition of fatty acids in several vegetable oils from Indonesia. *Biodiversitas*. 23(4):2167-2176.
- Rizqullah, R. 2023. Analisis Pengelolaan Kebun Induk Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Kebun Surya Adi, PT Bina Sawit Makmur, Sumatera Selatan. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Setiowati, R.D, Nugroho K, Reswari H.A , dan Sulassih. 2023. Varietas Kelapa sawit toleran genangan : upayaantisipasi perubahan iklim. *Warta PPKS*, 2023, 28(2): 85-94.
- Syed, R A; Law, I H and Corley, R H V (1982). Insect pollination of the oil palm: introduction, 33 establishment and pollinating efficiency of *Elaeidobious kamerunicus* in Malaysia. *The Planter*, 58: 547.
- Sedgley M, Graffin AR. 1989. Sexual Reproduction of Tree Crop. New York: Academic Press.
- Shivanna, K.R H.F Linskns and M. Cresti. 1991. Pollen Viability and Pollen Vigor. *Theor.Appl.Genet.*81:38-42.
- Setyawibawa, I dan Widyastuti, YE . 1992. Kelapa Sawit Usaha Budidaya, Pemanfaatan Hasil Dan Aspek Pemasaran. Jakarta: PT Penebar Swadaya.
- Syamsuddin, E., A. R. Purba, Dan Akiyat. 1994. Pengaturan tata letak tanaman di lapang pada perkebunan kelapa sawit. *Berita Pusat Penelitian Kelapa Sawit* 2 (3) :163-173.
- Sutopo, L. 2002. Teknologi Benih. Edisi Revisi. PT Raja Gafindo Persada. Jakarta.

- Sadjad S. 1980. Panduan Pembinaan Mutu Benih Tanaman kehutanan di Indonesia. Bogor: IPB Bogor.
- Sadjad, S. 1993. Dari Benih Kepada Benih. Grasindo. Jakarta.
- Sadjad, S. 1975. Proses pembentukan benih tanaman angiospermae., hal. 12-34. dalam S. Sadjad (ed) Dasar-dasar Ilmu dan Teknologi Benih. IPB. Bogor.
- Sadjad, S. 1993. Dari Benih Kepada Benih. Grasindo. Jakarta.
- Sadjad. 1994. Kuantifikasi Metabolisme Benih. PT. Grasindo. Jakarta. Hal. 8 -17.
- Sadjad, S. 1997. Membangun Industri Benih dalam Era Agribisnis Indonesia. Grasindo. Jakarta. 164 hal.
- Setiadi, H. R. H., dan M. Munawir. 1997. Pengalaman pembuatan tanaman jati dengan plances pada awal tahun. Duta Rimba 205-206 (xx): 44-50.
- Schmidt, L. 2000. Pedoman penanganan benih hutan tropis dan subtropis 2000 (terj.). Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial. Departemen Kehutanan.
- Sutopo, L. 2002. Teknologi Benih. Edisi Revisi. PT Raja Gafindo Persada. Jakarta.
- Subashini J, Pillai R, Mohankumar C. 2003. Structure and Composition Analysis of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Pollen - Dura, Tenera, and Pisifera var. *Int J Oil Palm*. 3:27-30.
- Sudaryono, T., Soemartono, I. Sumardi, D. Prayitno dan A.P. Purwantoro. 2005. Pengaruh Asal Serbuk Sari dan Cara Penyimpanan Terhadap Viabilitas Serbuk Sari Salak. *Jurnal Agrivita* 27(1).
- Sidhu, M., Kong, C., Sinuraya, Z., Kurniawan, M., & Hasyim, A. 2009. Resumption of manuring and its impact on the nutrient status, growth and yield of unfertilised oil palm. *The Planter*, 85 (1004), 675-689.
- Suhartanto MR. 2013. *Teknologi pengolahan dan penyimpanan benih. Dalam: Dasar ilmu dan teknologi benih*. Widajati E, Muniarti E, Palupi ER, Kartika T, Suhartanto MR, Qadir A. Bogor: IPB Press.
- Siregar, H. H., Darlan, N. H., dan Pradiko, I. (2013). Pemanfaatan Data Iklim untuk Perkebunan Kelapa Sawit. Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), 51, 1– 21.
- Siregar, H.H., Darlan, N.H., Pradiko, I. 2014. Pemanfaatan Data Iklim untuk Perkebunan Kelapa Sawit. Disampaikan pada Sekolah Lapang Iklim BMKG. 15 April 2014. Medan Indonesia.

- Susanto, A., R.Y. Purba dan A.E. Prasetyo. 2007. *Elaeidobius kamerunicus*: Serangga Penyerbuk Kelapa Sawit. Seri Buku Saku 28. Pusat Penelitian Kelapa Sawit
- Susanto, A., Prasetyo, A.E., Priwiratama, H. 2020. Hubungan Kesehatan Tanaman Terhadap Penyerbukan Kelapa Sawit. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit* 25(2): 92-100, Medan.
- Sulistyo, B. 2010. *Budidaya Kelapa Sawit*. Balai Pustaka. Jakarta. 190 hal.
- Sari, H.P., C. Hanum, dan Charloq. 2014. Daya kecambah dan pertumbuhan mucuna bracteata melalui pematangan dormansi dan pemberian zat pengatur tumbuh giberelin (GA3). *Jurnal Agroekoteknologi* 2 (2): 630- 644. Fakultas Pertanian USU. Medan.
- Sidhu, M. et all. 2014. Withdrawal of fertiliser and its impact on the nutrient status, growth and Production of Previously Fertilised Oil Palm. *The Planters*. Volume 90 (1059) Halaman 399-417
- Suzanti F. Diversity of Vascular and Insects Canopy Epiphytes on Palm Oil in North Sumatra, Indonesia. *American Journal of Environmental Protection*. 2016;5(3):39.
- Setiawan K. 2017. *Pemuliaan Kelapa Sawit untuk Produksi Benih Unggul: Tanaman Pendek, Kompak, dan Minyak Tak Jenuh Tinggi*. Yogyakarta (ID). Plantaxia.
- Sunilkumar K, Mathur RK, Sparjan Babu DS. 2017. Differential pollen longevity in Dura and Pisifera oil palm (*Elaeis guineensis*) fruit types at storage temperatures. *Indian J Agric Sci*. 87(7):893–898.
- Syarovy, M., Pradiko, I., Listia, E., Darlan, N. H., Hidayat, F., Rahutomo, S., dan Kekeringan, A. (2017). Efek Kekeringan dan Gangguan Asap terhadap Ekofisiologi dan Produktivitas Tanaman Kelapa Sawit di Sumatra Selatan. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 25(3), 137–146. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v25i3.31>
- Smith MR, Rao, IM, Merchant A. 2018. Source-sink relationships in crop plants and their influence on yield development and nutritional quality. *Front. Plant Sci*. 9(1889): 1-10.
- Suryawan KLL, Raka IGN, Mayun IA, Wijaya IKA. 2019. Perbedaan umur panen terhadap hasil dan mutu benih tanaman buncis (*Phaseolus vulgaris* L.). *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. 8(4):436-446.
- Sokoastri, V., Setiadi, D., Hakim, A. R., Mawardhi, A. D., dan Fadli, M. L. (2019). Smallholders Oil Palm: Problems and Solutions. *Sodality: Jurnal Sosiologi Pedesaan*, 7(3), 182–194. <https://doi.org/10.22500/sodality.v7i3.27221>

- Sujadi., I. Pradiko , S. Rahutomo dan R. Farrasati. 2020. Prediksi Kemampuan Adaptasi Delapan Varietas Kelapa Sawit pada Cekaman Abiotik Akibat Perubahan Iklim Global. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 44 (2) : 129-139. ISSN 1410-7244.
- Samudra PC, Herawati MM. 2020. Pengaruh suhu dan lama simpan terhadap viabilitas polen petunia (*Petunia inflata*). *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan* 20(2):135-141.
- Swaray S, Y. Rafii M, Din Amiruddin M, Firdaus Ismail M, Jamian S, Jalloh M, *et al.* Assessment of Oil Palm Pollinating Weevil (*Elaeidobius kamerunicus*) Population Density in Biparental dura × pisifera Hybrids on Deep Peat-Soil in Perak State, Malaysia. *Insects*. 2021 Mar 4;12(3):221.
- Sugiarto, E., dan Raisawati, T. (2021). Kajian Peranan Sertifikasi Benih pada Usaha Penangkaran Benih dalam Mendukung Pembangunan di Bengkulu. *Jurnal Ilmu Tanaman*, 1(2), 99–106.
- Seyum EG, Bille NH, Abtey WG, Rastas P, Arifianto D, Domonhédó H. Genome properties of key oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) breeding populations. *J Appl Genet*. 2022 Dec 13;63(4):633–50.
- Turner, P. D. & Gillbanks, R. A. 1974. Oil palm cultivation and management, Incorporated Society of Planters. 2(51) : 262 - 263.
- Turner. P.D and R.A. Gilbanks. 1982. Oil Palm Cultivate and Management. The Incorporated Society of Planters. Kuala Lumpur. Malaysian Palm Oil Board.
- Tandon R, Manohara TN, Nijalingappa BHM, Shivanna KR. 1999. Polyethylene glycol enhances in vitro germination and tube growth of oil palm pollen. *Indian J Exp Biol*. 37(2):169–172.
- Tandon R, Manohara TN, Nijalingappa BHM, Shivanna KR, 2001. Pollination and pollen-pistil interaction in oil palm, *Elaeis guineensis*. *Annals of Botany*, 87: 831±838.
- Tahir, M. 2003. Uji Perbandingan Polen Ekstraktor Motor 3,6 v dan 4,8 V Terhadap Bobot, Kemurnian, dan Kemurnian Polen Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) serta Pengaruhnya terhadap Polinasi Buatan dan Hasil Tandan Buah Segar (TBS). Politeknik Negeri Lampung. Laporan Penelitian. Tidak dipublikasikan.
- Tahir, M. 2008. Rancang Bangun Polinator Elektrik Kelapa Sawit. Laporan Penelitian Beasiswa Unggulan. Depdiknas Jakarta. Tidak Dipublikasikan.
- Towill L, Waltres C. 2008. Seed and pollen. USDA-ARS, National Center For Genetic Resources Preservation. Preservation of Plant Germplasm Research, Fort Collins, CO. <http://www.google.com>.

- Takahata K, Mine Y, Karimata A, Miura H. 2008. An effective post-sown priming method to improve emergence from lettuce seeds at high temperature. *Hortechology*.18(3):433-435.
- Tranbarger TJ, S Dussert, T Joet, X Argout, M Summo, A Champion, D Cros, A Omore, B Nouy, F Morcillo. 2011. Regulatory mechanism underlying oil palm fruit mesocarp maturation, ripening, and functional specialization in lipid and carotenoid metabolism. *Plant Physiol*. 156:564-584.
- Tandon, R., Manohara, T.N., Nijalingappa, B.H.M, Shivana K.R. 2011. Pollination and pollenpistil interaction in oil palm, *Elaeis guineensis*.*Annal. Bot.* 8 (7) : 831 - 838.
- Tasma IM, Arumsari S. 2013. Analisis Diversitas Genetik Aksesori Kelapa Sawit Kamerun Berdasarkan Marka SSR. *J Litri*. 19(4):194-202.
- Tresniawati C, Murniati E, Widajati E. 2014. Perubahan fisik, fisiologi dan biokimia selama pemasakan benih dan studi rekalsitransi benih Kemiri Sunan. *J. Agron. Indonesia*. 42(1):74-79.
- Tetuko. K.A., S. Parman, dan M. Izzati. 2015. Pengaruh Kombinasi Hormon Tumbuh Giberelin dan Auksin terhadap Perkecambahan Biji dan Pertumbuhan Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis* Mull. Arg.). *Jurnal Biologi*. 4 (1): 61-72. Fakultas Sains dan Matematika. Universitas Diponegoro.
- Tabi, KM, Ebongue NGF, Ntsomboh GN, Youmbi E. 2017. Effect of dry heat treatment along with some dormancy breaking chemicals on oil palm seed germination. *South African Journal of Botany*. 112:489-493.
- Tui, L. C., Selvaraja, S., Yaw, S. K., Mahdhar, S., Hussaid, S., & Bador, S. (2019). Impact of ceased manuring on oil palm. *The Planter*, 95 (116), 157-168.
- Triani N, Permatasari VP, Guniarti. 2020. Pengaruh konsentrasi dan frekuensi pemberian zat pengatur tumbuh giberelin (GA3) terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman terung (*Solanum melongena* L. Cv. Antaboga-1). *Agro Bali*. 3(2):144- 155.
- Ugroseno R, Wachjar A. 2017. Manajemen Pemanenan dan Penanganan Pasca Panen Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Teluk Siak Estate, Riau. *Bul Agrohorti*. 5(3):309-315.
- Visser T. 1983. A Comparison of the Montor Pioner Pollen Technque in Compatible and Incompatible Pollination of Apple and Pear. In: Mulcahy DL, Ottaviano E (eds). *Pollen: Biology and Implication for Plant Breeding*. New York: Elsevier Biomedica.

- Varkkey H, Tyson A, Choiruzzad SAB. 2018. Palm oil intensification and expansion in Indonesia and Malaysia: Environmental and socio-political factors influencing policy. *For Policy Econ.* 92(1):148–159.
- Widiastuti, A. dan Palupi, E. R. 2008. Viabilitas serbuk sari dan pengaruhnya terhadap keberhasilan pembentukan buah kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian IPB. Bogor.
- Wahid MB, Choo YY, Chan KW. 2011. Strategic Directions in Oil Palm Research. Di dalam: Wahid, MB, Choo YY, Chan KW, editor. *Further advances in Oil Palm Research (2000 – 2010)*. Malaysia: Malaysian Palm Oil Board.
- Waromi, J. (2012). Industri perkebunan kelapa sawit dalam konteks pembangunan berkelanjutan. *Jurnal Agrotek*, 3 (1),: 45-57.
- Woittiez, L. S., van Wijk, M. T., Slingerland, M., van Noordwijk, M., dan Giller, K. E. 2017. Yield Gaps in Oil Palm: A Quantitative Review of Contributing Factors. *European Journal of Agronomy*, 83, 57–77. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.002>
- Wang Y, Htwe YM, Ihase LO, Shi P, Cao H, Lei X. 2018. Pollen germination genes differentially expressed in different pollens from Dura, Pisifera and Tenera oil palm (*Elaeis guineensis* jacq.). *Sci Hortic (Amsterdam)*. 235(2018):32–38.
- Wahono DR, Tampubolon BD, Mulyono AB, Isharyadi F, Anggundari WC. Application of superior palm oil seeds based on SNI 8211:2015 to increase productivity significantly. In 2022. p. 040010.
- Witkovski A, Stefeni AR, Possenti JC, de Lima AB, Deuner C, Rampazzo-Favoretto V. 2022. *Matriconditioning* effect on the physiological performance of chia seeds (*Salvia hispanica* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*. 39(2):99-109.
- Youmbi E, Tabi K, Ebongue N, Frank G, Tonfack LB, Ntsomboh G. 2015. Oil palm (*elaeis guineensis* jacq.) improvement: Pollen assessment for better conservation and germination. *J Oil Palm Res.* 27(3):212–219.
- Yarra R, Jin L, Zhao Z, Cao H. Progress in Tissue Culture and Genetic Transformation of Oil Palm: An Overview. *Int J Mol Sci.* 2019 Oct 28;20(21):5353.
- Yousefi M, Mohd Rafie AS, Abd Aziz S, Azrad S, ABD Razak A binti. Introduction of current pollination techniques and factors affecting pollination effectiveness by *Elaeidobius kamerunicus* in oil palm plantations on regional and global scale: A review. *South African Journal of Botany.* 2020 Aug;132:171–9.

- Yousefi MD, Mohd Rafie AS, Abd Aziz S, Azrad S, Mazmira Mohd Masri M, Shahi A, Marzuki OF. 2021. Classification of oil palm female inflorescences anthesis stages using machine learning approaches. *Inf Process Agric.* 8(4):537–549.
- Yusop MR, Sukaimi J, Amiruddin MD, Jalloh M, Swaray S, Yusuff O. 2020. Genetic Improvement of Oil Palm Through Recurrent Selection. In 2020. p. 35–46.
- Yulianti, Putri K.P, Yuniarti N, Aminah A, Suita E, Danu, Sudrajat DJ, Nurhasybi, Syamsuwida D. 2020. Seed handling of specific forest tree species: Recalcitrant and intermediate seed. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* 522:1-10.
- Yabani, Kuswardani, R.A, Susanto, A, and Syah, R. 2023. Production approach model for oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) superior plant materials using artificial pollination studies. *J. Glob. Innov. Agric. Sci.*, 2023, 11(4):587-59
- Yabani, Kuswardani, R.A, Susanto, A, and Sihotang, S. 2024. Study on the production of superior seed bunches of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) Case Study : Indonesian Oil Palm Research Institute (PPKS) Marihat Unit. *Jurnal Pembelajaran Biologi dan Nukleus*, Vol.10 Issue 2, July 2024.
- Yabani, Kuswardani, R.A, Susanto, A, and Sihotang, S. 2024. Variety Study on Germination Power of Palm Seeds (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Jurnal Pembelajaran dan Biologi*. Vol.10 Issue 3, November 2024.
- Yabani, Kuswardani, R.A, Susanto, A, and Syah, R. 2024. Optimising Superior Seed Bunches : A New Approach to Artificial Pollination Using Data-Driven Techniques. *J. Glob. Innov. Agric. Sci.*, 2024. (Accepted)
- Zailani M, Kuswardani R.A, Panggabean EL. Growth Response and Crop Production (*Brassica Juncea* L.) Against Watering Time Interval at Various Hydroponics Media. *Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal.* 2019 Jan 9;1(1):9–22.
- Zahari Z, R. A. Kuswardani, Y. Lubis. Kajian Strategi Integrasi Nilai-Nilai Keberlanjutan Kedalam Proses Pembangunan Kelapa Sawit Rakyat Di Tapanuli Selatan. *JURNAL AGRICA.* 2021;14(1).



Tabel 40. Jadwal Tentatif Penelitian

No	Nama Kegiatan	Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Persiapan	■											
2	Analisis bahan, tempat dan alat		■										
3	Pengujian 1			■	■								
4	Hasil pengujian 1 dan implementasi					■	■						
5	Pengujian 2							■	■				
6	Hasil pengujian 2 dan implementasi								■				
7	Menyiapkan Draf Publikasi									■	■		
8	Laporan kemajuan											■	
9	Laporan akhir												■

No	Nama Kegiatan	Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Persiapan	■											
2	Analisis bahan, tempat dan alat		■										
3	Pengujian 3			■	■								
4	Hasil pengujian 3 dan implementasi					■	■						
5	Validasi							■					
6	Implementasi keseluruhan pengujian								■				
7	Menyiapkan Draf Publikasi									■	■		
8	Laporan kemajuan											■	
9	Laporan akhir												■

Tabel 41. Uji statistika deskriptif viabilitas, bobot tandan, jumlah biji baik, dan jumlah biji afkir.

Viabilitas (%)	Bobot Tandan (kg)	Jumlah Biji Baik (butir)	Jumlah Biji Afkir (butir)
Min. :80.50	Min. :18.00	Min. :1011	Min. : 0.0
1st Qu.:81.50	1st Qu.:22.00	1st Qu.:1375	1st Qu.: 0.0
Median :81.65	Median :24.00	Median :1574	Median : 45.0
Mean :81.57	Mean :28.50	Mean :1800	Mean : 120.0
3rd Qu.:81.80	3rd Qu.:34.25	3rd Qu.:2286	3rd Qu.: 135.5
Max. :81.80	Max. :52.00	Max. :3232	Max. :1156.0

Tabel 42. Hasil uji statistik terhadap viabilitas, bobot tandan, jumlah biji baik, dan jumlah biji afkir.

Viabilitas (%)	Bobot Tandan (kg)	Jumlah Biji Baik	Afkir
Min. :78.60	Min. :15.00	Min. : 574	Min. : 0.0
1st Qu.:80.00	1st Qu.:20.00	1st Qu.: 954	1st Qu.: 0.0
Median :80.00	Median :23.00	Median :1235	Median : 50.0
Mean :80.67	Mean :23.95	Mean :1302	Mean :101.2
3rd Qu.:81.30	3rd Qu.:25.50	3rd Qu.:1526	3rd Qu.:149.0
Max. :85.40	Max. :43.00	Max. :2625	Max. :597.0

Tabel 43. Data Pembungkusan Bunga

No.	Perlakuan	Lokasi Pos	Varietas	No. Pohon	Tgl. Pengamatan	Tgl. Bungkus
1	V2 D1 (0,25 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	51_11	28/07/23	28/07/23
2	V2 D1 (0,25 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	50_7	12/07/23	20/07/23
3	V2 D2 (0,12 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	44_14	13/07/23	20/07/23
4	V2 D2 (0,12 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	51_6	20/07/23	24/07/23
5	V1 D1 (0,25 g)	POS 2005A	DxP Yangambi	39_5	22/07/23	26/07/23
6	V2 D3 (0,06 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	43_17	26/07/23	26/07/23
7	V2 D3 (0,06 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	49_3	14/07/23	21/07/23
8	V2 D4 (0,04 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	45_9	17/07/23	22/07/23
9	V2 D4 (0,04 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	47_3	28/07/23	29/07/23
10	V1 D4 (0,04 g)	POS 2005A	DxP Yangambi	40_10	15/07/23	21/07/23
11	V2 D4 (0,04 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	46_18	07/07/23	12/07/23
12	V1 D1 (0,25 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	39_19	17/07/23	20/07/23
13	V1 D1 (0,25 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	26_24	26/07/23	26/07/23
14	V2 D1 (0,25 g)	POS 2005B	DxP PPKS 540	42_27	21/07/23	26/07/23
15	V1 D2 (0,12 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	22_30	20/07/23	22/07/23
16	V1 D2 (0,12 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	24_20	21/07/23	22/07/23
17	V1 D2 (0,12 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	24_3	22/07/23	24/07/23
18	V1 D3 (0,06 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	41_30	14/07/23	17/07/23
19	V1 D3 (0,06 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	23_9	26/07/23	29/07/23
20	V1 D3 (0,06 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	25_7	20/07/23	24/07/23
21	V1 D4 (0,04 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	39_27	20/07/23	22/07/23
22	V1 D4 (0,04 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	40_28	27/07/23	28/07/23
23	V2 D2 (0,12 g)	POS 2005B	DxP PPKS 540	20_4	20/07/23	22/07/23
24	V2 D3 (0,06 g)	POS 2005B	DxP PPKS 540	21_8	21/07/23	22/07/23

Tabel 44. Data Penyerbukan dan Bobot Tepung sari

No.	Perlakuan	Lokasi Pos	Varietas	No. Pohon	Tgl. Pengamatan	Tgl. Bungkus	Tgl. Serbuk
1	V2 D1 (0,25 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	51_11	28/07/23	28/07/23	08/08/23
2	V2 D1 (0,25 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	50_7	12/07/23	20/07/23	08/08/23
3	V2 D2 (0,12 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	44_14	13/07/23	20/07/23	09/08/23
4	V2 D2 (0,12 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	51_6	20/07/23	24/07/23	09/08/23
5	V1 D1 (0,25 g)	POS 2005A	DxP Yangambi	39_5	22/07/23	26/07/23	10/08/23
6	V2 D3 (0,06 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	43_17	26/07/23	26/07/23	10/08/23
7	V2 D3 (0,06 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	49_3	14/07/23	21/07/23	10/08/23
8	V2 D4 (0,04 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	45_9	17/07/23	22/07/23	10/08/23
9	V2 D4 (0,04 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	47_3	28/07/23	29/07/23	10/08/23
10	V1 D4 (0,04 g)	POS 2005A	DxP Yangambi	40_10	15/07/23	21/07/23	11/08/23
11	V2 D4 (0,04 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	46_18	07/07/23	12/07/23	11/08/23
12	V1 D1 (0,25 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	39_19	17/07/23	20/07/23	08/08/23
13	V1 D1 (0,25 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	26_24	26/07/23	26/07/23	08/08/23
14	V2 D1 (0,25 g)	POS 2005B	DxP PPKS 540	42_27	21/07/23	26/07/23	08/08/23
15	V1 D2 (0,12 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	22_30	20/07/23	22/07/23	10/08/23
17	V1 D2 (0,12 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	24_3	22/07/23	24/07/23	10/08/23
18	V1 D3 (0,06 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	41_30	14/07/23	17/07/23	10/08/23
19	V1 D3 (0,06 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	23_9	26/07/23	29/07/23	10/08/23
20	V1 D3 (0,06 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	25_7	20/07/23	24/07/23	10/08/23
21	V1 D4 (0,04 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	39_27	20/07/23	22/07/23	10/08/23
22	V1 D4 (0,04 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	40_28	27/07/23	28/07/23	10/08/23
23	V2 D2 (0,12 g)	POS 2005B	DxP PPKS 540	20_4	20/07/23	22/07/23	10/08/23
24	V2 D3 (0,06 g)	POS 2005B	DxP PPKS 540	21_8	21/07/23	22/07/23	10/08/23

Tabel 45. Data Penyerbukan Talkum Tanpa Serbuk Sari (*blanko*)

Perlakuan	IDENTITAS POHON		TANDAN	Jumlah	
				Spikelet	Buah
VID5 (Kontrol)	Nomor Penyerbukan	MA-00341/23	Tandan Atas	16	320
	Tanggal Pembungkusan	28/07/23	Tandan Tengah	17	340
	Tanggal Polinasi	10/08/23	Tandan Bawah	16	310
	Pohon Induk	MA/2007/36-43 MA 3536 D	Jumlah	177	2.862
	Pohon Bapak	BO 980 P	Rerata Biji Sample Pada Tandan	16,17	970
	Registrasi	0188921	Buah Jadi		
	Tanggal Panen	20/09/2023			
	Polinator	WAH	% Kontaminasi		-
	Nomor Penyerbukan	MA-01122/23	Tandan Atas	13	260
	Tanggal Pembungkusan	27/07/23	Tandan Tengah	31	620
Tanggal Polinasi	10/08/23	Tandan Bawah	11	220	
Pohon Induk	MA/2007/19-26 MA 3781 P	Jumlah	178	3.263	
Pohon Bapak	BO 961 P	Rerata Biji Sample Pada Tandan	18,33	1.100	
Registrasi	0190966	Buah Jadi			
Tanggal Panen	20/09/2023				
Polinator	YSF	% Kontaminasi		-	
Nomor Penyerbukan	MA-01875/23	Tandan Atas	17	340	
Tanggal Pembungkusan	27/07/23	Tandan Tengah	20	400	
Tanggal Polinasi	10/08/23	Tandan Bawah	18	360	
Pohon Induk	MA/2007/14-6 MA 4371 D	Jumlah	191	3.502	
Pohon Bapak	BO 997 P	Rerata Biji Sample Pada Tandan	18,33	1.100	
Registrasi	0192290	Buah Jadi			
Tanggal Panen	20/09/2023				
Polinator	YOK	% Kontaminasi		-	
V2D5 (Kontrol)	Nomor Penyerbukan	MA-02804/23	Tandan Atas	18	360
	Tanggal Pembungkusan	26/08/23	Tandan Tengah	20	400
	Tanggal Polinasi	07/09/23	Tandan Bawah	17	340
	Pohon Induk	MA/2005/48-25 MA 4821 D	Jumlah	188	3.447
	Pohon Bapak	BO 989 P	Rerata Biji Sample Pada Tandan	18,33	1.100
	Registrasi	0194148	Buah Jadi		
	Tanggal Panen	17/10/2023			
	Polinator	EJL	% Kontaminasi		-
	Nomor Penyerbukan	MA-03910/23	Tandan Atas	12	230
	Tanggal Pembungkusan	26/08/23	Tandan Tengah	22	440
Tanggal Polinasi	07/09/23	Tandan Bawah	12	240	
Pohon Induk	MA/2005/24-19 MA 3610 D	Jumlah	190	2.882	
Pohon Bapak	BO 1049 P	Rerata Biji Sample Pada Tandan	15,17	910	

Registrasi	0195664	Buah Jadi	30
Tanggal Panen	17/10/2023		
Polinator	SKY	% Kontaminasi	1,04
Nomor Penyerbukan	MA-06199/23	Tandan Atas	19
Tanggal Pembungkusan	21/08/23	Tandan Tengah	18
Tanggal Polinasi	17/10/2023	Tandan Bawah	15
Pohon Induk	MA/2005/48-13	MA3380D	Jumlah
			139
Pohon Bapak	BO989P	Rerata Biji Sample Pada Tandan	17,37
		Buah Jadi	1.042
Registrasi	0200439		-
Tanggal Panen	20/09/2023		
Polinator	BAL	% Kontaminasi	-

Tabel 46. Data Pemanenan Tandan Benih

No.	Perlakuan	Lokasi Pos	Varietas	Register	Pol	Letak	No. Pohon	Tgl. Panen	Usia Panen (hari)
1	V2 D1 (0,25 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	MAR-0201672	BAL	MKI	51_11	02/01/24	147
2	V2 D1 (0,25 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	MAR-0200692	TRA	MKN	50_7	28/12/23	142
3	V2 D2 (0,12 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	MAR-0200803	EJL	BKN	44_14	02/01/24	146
4	V2 D2 (0,12 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	MAR-0201130	TRA	MKI	51_6	02/01/24	146
5	V1 D1 (0,25 g)	POS 2005A	DxP Yangambi	MAR-0201320	PRA	BKI	39_5	02/01/24	145
6	V2 D3 (0,06 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	MAR-0201505	PRA	BKI	43_17	28/12/23	140
7	V2 D3 (0,06 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	MAR-0200882	TAR	BKN	49_3	28/12/23	140
8	V2 D4 (0,04 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	MAR-0200993	BAL	MKI	45_9	28/12/23	140
9	V2 D4 (0,04 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	MAR-0201671	TRA	MKI	47_3	28/12/23	140
10	V1 D4 (0,04 g)	POS 2005A	DxP Yangambi	MAR-0200959	PRA	MKI	40_10	02/01/24	144
11	V2 D4 (0,04 g)	POS 2005A	DxP PPKS 540	MAR-0200440	EJL	BKN	46_18	28/12/23	139
12	V1 D1 (0,25 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	MAR-0201005	RDN	BKI	39_19	02/01/24	147
13	V1 D1 (0,25 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	MAR-0201520	SKY	BKI	26_24	19/12/23	133
14	V2 D1 (0,25 g)	POS 2005B	DxP PPKS 540	MAR-0201242	RDN	MKI	42_27	28/12/23	142
15	V1 D2 (0,12 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	MAR-0201147	SKY	BKN	22_30	02/01/24	145
16	V1 D2 (0,12 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	MAR-0201240	SKY	BKI	24_20	19/12/23	131
17	V1 D2 (0,12 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	MAR-0201331	SKY	BKN	24_3	02/01/24	145
18	V1 D3 (0,06 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	MAR-0200892	RDN	BKN	41_30	09/01/24	152
19	V1 D3 (0,06 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	MAR-0201516	SKY	BKN	23_9	02/01/24	145
20	V1 D3 (0,06 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	MAR-0201149	SKY	BKN	25_7	28/12/23	140
21	V1 D4 (0,04 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	MAR-0201151	RDN	BKI	39_27	02/01/24	145
22	V1 D4 (0,04 g)	POS 2005B	DxP Yangambi	MAR-0201610	RDN	BKN	40_28	02/01/24	145
23	V2 D2 (0,12 g)	POS 2005B	DxP PPKS 540	MAR-0201142	MYK	BKN	20_4	19/12/23	131
24	V2 D3 (0,06 g)	POS 2005B	DxP PPKS 540	MAR-0201236	MYK	MKI	21_8	02/01/24	145

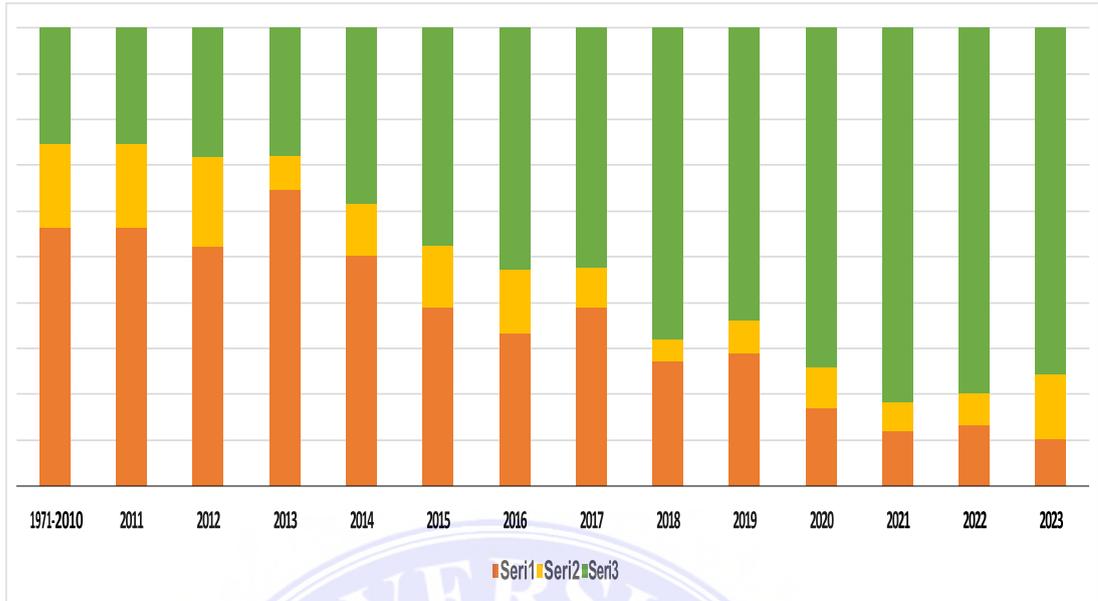
Tabel 47. Data Curah Hujan dan Perhitungan Keseimbangan Air PPKS Marihah periode 2018-2023

Tahun :2018													
Uraian	Tahun												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	
Curah hujan (mm)	141	115	222	91	218	146	320	336	403	404	322	229	2947
Hari hujan (hari)	14	10	15	10	17	13	16	18	23	19	22	19	196
Terpig. tdk hujan (hari)	4	7	5	7	4	13	10	3	2	2	3	4	64
Cadangan awal (mm)	200	0	0	102	43	141	167	200	0	200	200	200	1453
Evapotranspiration (mm)	120	150	120	150	120	120	120	120	120	120	120	120	1500
Keseimbangan (mm)	221	-35	102	43	141	167	367	416	283	484	402	309	2900
Cadangan akhir (mm)	200	0	102	43	141	167	200	200	200	200	200	200	1853
Kelebihan air (mm)	21	0	0	0	0	0	167	216	83	284	202	109	1082
Defisit air (mm)	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35
Tahun :2019													
Uraian	Tahun												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	
Curah hujan (mm)	222	258	380	345	364	172	191	199	73	395	171	180	2950
Hari hujan (hari)	15	16	20	18	20	13	6	10	14	17	17	15	181
Terpig. tdk hujan (hari)	5	3	3	2	2	7	10	6	5	4	4	5	56
Cadangan awal (mm)	200	0	138	200	200	200	200	200	0	0	200	200	1738
Evapotranspiration (mm)	120	120	120	120	120	120	150	150	120	120	120	120	1500
Keseimbangan (mm)	302	138	398	425	444	252	241	249	-47	275	251	260	3188
Cadangan akhir (mm)	200	138	200	200	200	200	200	200	0	200	200	200	2138
Kelebihan air (mm)	102	0	198	225	244	52	41	49	0	75	51	60	1097
Defisit air (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	47
Tahun :2020													
Uraian	Tahun												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	
Curah hujan (mm)	50	72	195	212	280	116	212	123	224	190	454	285	2413
Hari hujan (hari)	6	7	10	13	14	11	17	9	13	13	21	18	152
Terpig. tdk hujan (hari)	9	8	4	8	3	5	2	10	5	7	4	3	68
Cadangan awal (mm)	200	0	0	45	137	200	196	200	0	104	174	200	1456
Evapotranspiration (mm)	150	150	150	120	120	120	120	150	120	120	120	120	1560
Keseimbangan (mm)	100	-78	45	137	297	196	288	173	104	174	508	365	2309
Cadangan akhir (mm)	100	0	45	137	200	196	200	173	104	174	200	200	1729
Kelebihan air (mm)	0	0	0	0	97	0	88	0	0	0	308	165	658
Defisit air (mm)	0	78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78
Tahun :2021													
Uraian	Tahun												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	
Curah hujan (mm)	241	56	357	141	411	273	321	348	251	347	514	206	3465
Hari hujan (hari)	15	6	14	13	21	15	12	20	12	14	23	10	175
Terpig. tdk hujan (hari)	4	17	5	5	3	3	7	8	3	11	2	9	77
Cadangan awal (mm)	200	0	0	200	200	200	200	200	0	131	200	200	1731
Evapotranspiration (mm)	120	150	120	120	120	120	120	120	120	120	120	150	1500
Keseimbangan (mm)	321	-94	237	221	491	353	401	428	131	358	594	256	3696
Cadangan akhir (mm)	200	0	200	200	200	200	200	200	131	200	200	200	2131
Kelebihan air (mm)	121	0	37	21	291	153	201	228	0	158	394	56	1659
Defisit air (mm)	0	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94
Tahun :2022													
Uraian	Tahun												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	
Curah hujan (mm)	211	110	395	598	105	217	155	245	190	147	298	376	3047
Hari hujan (hari)	13	14	15	21	14	17	8	14	17	19	20	20	192
Terpig. tdk hujan (hari)	5	4	6	3	4	3	5	3	2	3	5	2	45
Cadangan awal (mm)	200	0	0	200	200	185	200	200	0	70	97	200	1552
Evapotranspiration (mm)	120	120	120	120	120	120	150	120	120	120	120	120	1470
Keseimbangan (mm)	291	-10	275	678	185	282	205	325	70	97	275	456	3129
Cadangan akhir (mm)	200	0	200	200	185	200	200	200	70	97	200	200	1952
Kelebihan air (mm)	91	0	75	478	0	82	5	125	0	0	75	256	1187
Defisit air (mm)	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

Tahun 2023

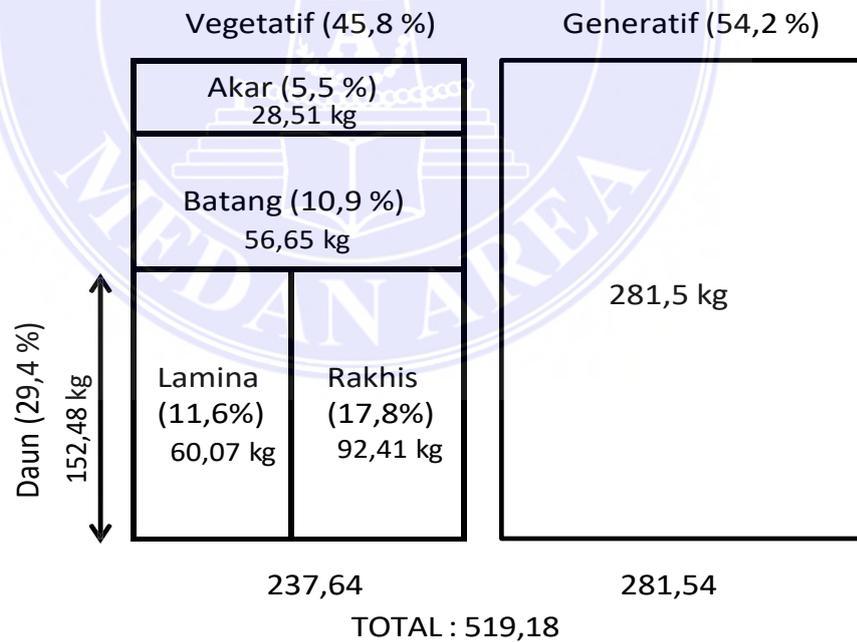
Uraian	Tahun												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	
Curah hujan (mm)	211	110	395	598	105	217	155	245	190	147	298	376	3047
Hari hujan (hari)	13	14	15	21	14	17	8	14	17	19	20	20	192
Terpjpg. tdk hujan (hari)	5	4	6	3	4	3	5	3	2	3	5	2	45
Cadangan awal (mm)	200	0	0	200	200	185	200	200	0	70	97	200	1552
Evapotranspiration (mm)	120	120	120	120	120	120	150	120	120	120	120	120	1470
Keseimbangan (mm)	291	-10	275	678	185	282	205	325	70	97	275	456	3129
Cadangan akhir (mm)	200	0	200	200	185	200	200	200	70	97	200	200	1952
Kelebihan air (mm)	91	0	75	478	0	82	5	125	0	0	75	256	1187
Defisit air (mm)	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

Rerata 6 tahun (Tahun 2018 - 2023)													
Uraian	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Jlh.
Curah hujan (mm)	172	165	298	262	260	162	218	259	206	283	321	232	2.836
Hari hujan (hari)	13	11	15	14	17	13	12	16	16	17	20	16	180



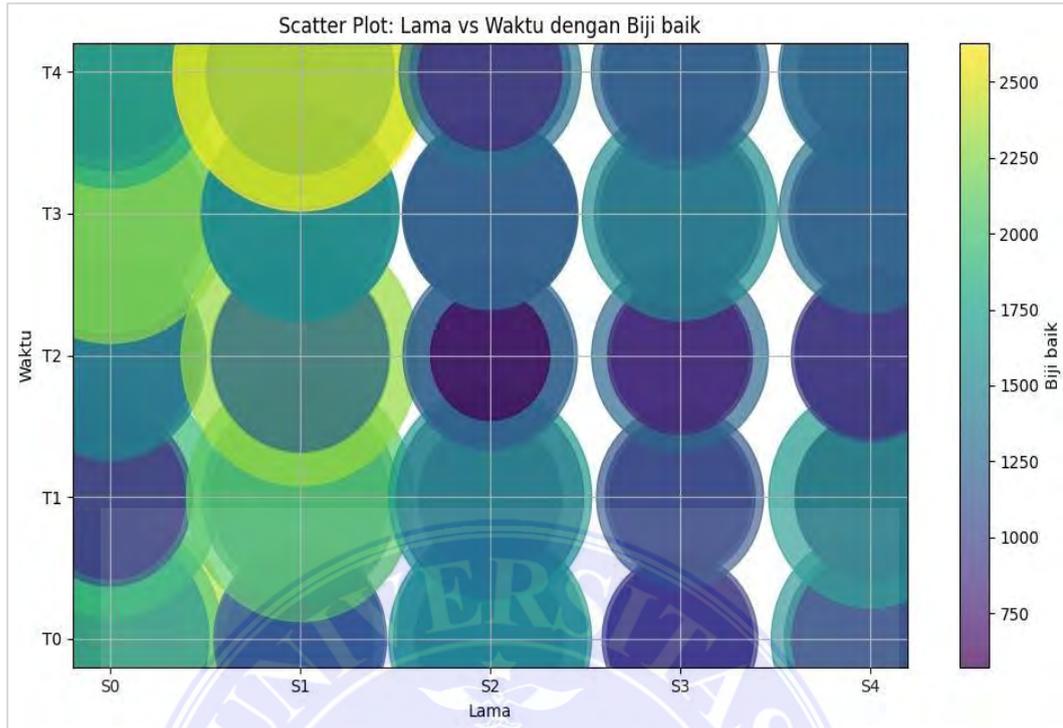
Gambar 60. Grafik penyaluran kecambah unggul PPKS periode 1971-2023

GOLONGAN	TAHUN													
	1971-2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Private Plantation	56%	56%	52%	65%	50%	39%	33%	39%	27%	29%	17%	12%	13%	10%
State Plantation	18%	18%	20%	7%	11%	14%	14%	9%	5%	7%	9%	6%	7%	14%
Smallholder Plantations	25%	25%	28%	28%	38%	47%	53%	52%	68%	64%	74%	82%	80%	76%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

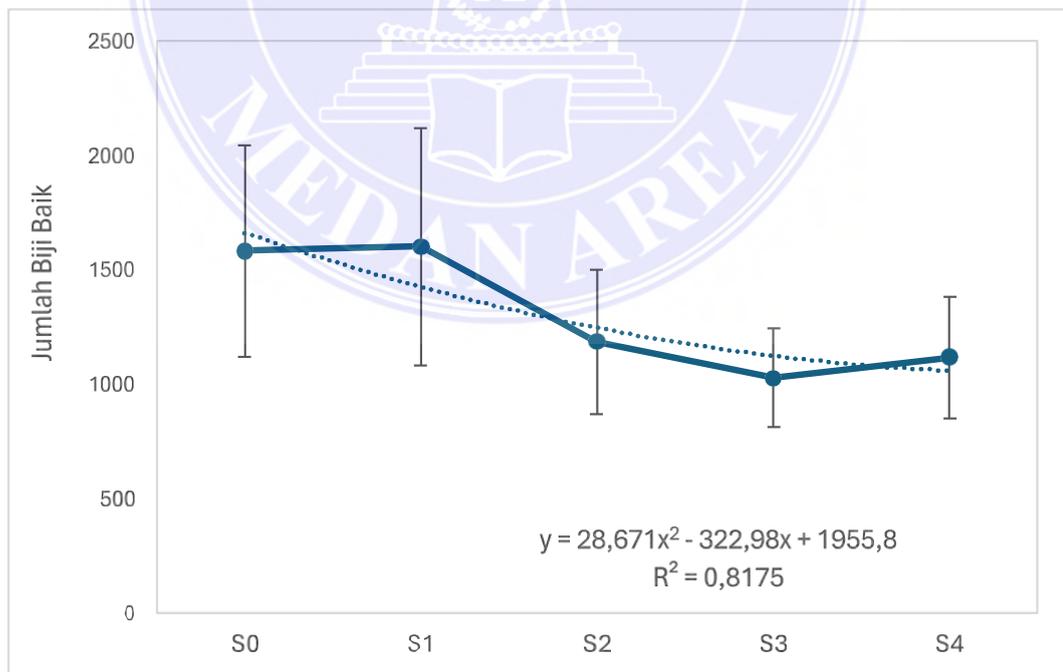


Gambar 62. Diagram partisi asimilat bersih (kg CH₂O/pohon/tahun)

(Harahap, I.Y., 2008)



Gambar 63. Pengaruh interaksi perlakuan lama simpan polen dan waktu penyerbukan terhadap pembentukan biji baik



Gambar 64. Model pendugaan linear terhadap jumlah biji baik berdasarkan lama penyimpanan polen