

3.8.4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan akan bahan tanam kelapa sawit yang berkualitas tinggi sangat diperlukan untuk menunjang perkembangan perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Masalah yang sering dihadapi dalam penyerbukan buatan adalah kesiapan polen, penyimpanan, dan viabilitas polen (Pratiwi *et al.*, 2017). Salah satu nilai penting dalam suatu hibridisasi yaitu viabilitas polen karena polen yang akan diserbukkan harus hidup dan mampu berkecambah supaya pembuahan terjadi (Ernawati *et al.*, 2021). Tepung sari (polen) dengan viabilitas tinggi merupakan salah satu penentu keberhasilan tanaman hibrida (Widiastuti dan Palupi 2008; Hasrianda *et al.*, 2020). Selanjutnya Anitasari *et al.*, (2018), menyebutkan bahwa uji viabilitas polen digunakan untuk menentukan keberhasilan pemuliaan tanaman dalam menghasilkan varietas unggul.

Secara umum, data penelitian tandan benih kelapa sawit pada tanaman Blok 2005 dan Blok 2007 menunjukkan perolehan benih lebih tinggi dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Penelitian kedua ini memiliki rerata viabilitas sebesar 80,67% dengan viabilitas terendah sebesar 78,60% dan viabilitas tertinggi mencapai 85,40%. Untuk bobot tandan percobaan ini memiliki rerata sebesar 23,95 kg, dengan bobot terendah adalah 15 kg dan bobot tertinggi mencapai 43 kg. Percobaan ini juga menghasilkan rerata jumlah biji baik sebanyak 1.302 butir, dengan biji baik paling sedikit sejumlah 574 butir dan biji baik paling banyak sejumlah 2.625 butir. Sementara itu, biji afkir yang muncul dari percobaan ini memiliki rata-rata sejumlah 101 butir, dengan biji afkir paling sedikit adalah 0 (tidak ada biji afkir) dan paling banyak 597 butir (Tabel lampiran 42). Jumlah benih cenderung memiliki tren meningkat seiring dengan bertambahnya umur tanaman kelapa sawit. Polen membuahi sel telur dengan cepat dan menghasilkan buah bermutu baik serta benih berviabilitas tinggi apabila memiliki viabilitas yang tinggi (Ridha, 2016; Yabani *et al.*, 2024). Daya tahan polen dapat ditingkatkan dengan mengendalikan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kelangsungan hidupnya. Faktor-faktor ini termasuk cahaya, suhu, udara, dan kelembaban. Secara umum polen bertahan lebih lama dalam kondisi kering dan suhu rendah (Nirmala *et al.*, 2013; Yousefi *et al.*, 2021).

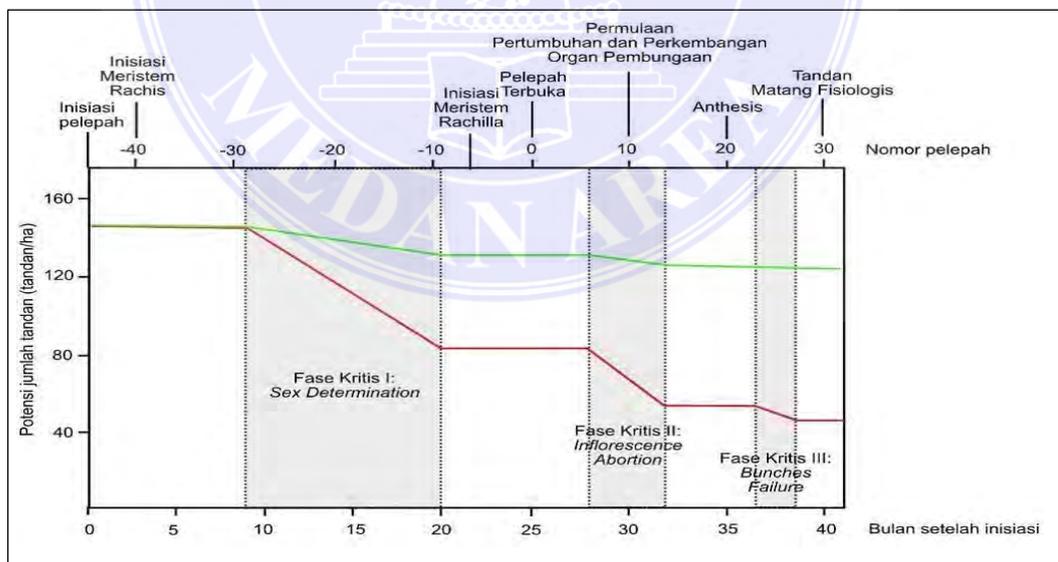
Menurut Visser, (1983) dan Ridha, (2016), bahwa daya hidup serbuk sari dalam penyimpanan tergantung pada besarnya aktifitas fisiologi yang dapat di kurangi tanpa merusak serbuk sari tersebut. Kemampuan serbuk sari untuk bertahan dalam penyimpanan dan mempertahankan viabilitasnya berkorelasi positif dengan rata-rata respirasi dan perkembangan mitokondria (Sedgley dan Griffin, 1989; Li *et al.*, 2023). Tidak stabilnya suhu pada saat di simpan dalam freezer juga salah satu faktor yang paling besar dalam menentukan besar atau kecilnya viabilitas serbuk sari. Menurut Lubis (1993; 2008), biasanya serbuk sari di simpan dalam freezer dengan suhu (-20) - (-18) °C.

Tabel 19. Hasil rerata jumlah benih periode tahun 2022

No	Lokasi Blok	Tahun Tanam	Jumlah benih (butir)
1	MA II/2005 A	2005	1.447
2	MA II/2005 B	2005	1.447
3	MA I/2007 A	2007	1.357
5	MA I/2007 B	2007	1.502
5	MA I/2007 C	2007	1.546
<i>Jumlah Rerata jumlah benih</i>			1.460

Menurut Corley dan Tinker (2016) pemupukan merupakan salah satu komponen pemeliharaan tanaman yang memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap pencapaian produksi dalam usaha perkebunan kelapa sawit. Di sisi lain, pemupukan juga merupakan unit kegiatan pemeliharaan yang memerlukan biaya yang cukup besar, oleh sebab itu pemupukan yang tepat dari segala aspek menjadi salah satu kunci sukses dalam usaha perkebunan kelapa sawit (Ginting *et al.*, 2021). Iklim merupakan salah satu faktor lingkungan fisik pertanaman yang belum dapat dikendalikan dan memegang peranan penting dalam menentukan produksi tandan benih kelapa sawit (Darlan, 2023). Perubahan iklim dapat mengakibatkan perubahan pada produksi tandan benih. Unsur-unsur iklim yang mempengaruhi produksi tandan benih kelapa sawit adalah curah hujan, radiasi matahari, suhu udara, kelembaban udara, dan evapotranspirasi (Turner, 1982; Siregar *et al.*, 2014; Pradiko *et al.*, 2016).

Secara fisiologis, setiap pelepah memiliki potensi untuk menghasilkan tandan. Namun cekaman lingkungan yang terjadi pada saat pembentukan tandan tersebut dapat mengurangi potensi tersebut. Terdapat tiga fase kritis penting cekaman lingkungan yang sangat berpengaruh pada pembentukan tandan. Inisiasi pembentukan bunga dan buah kelapa sawit dimulai pada 40 bulan sebelum tandan dipanen atau pada pelepah minus ke-40 (Corley dan Tinker, 2016; Yousefi *et al.*, 2021). Fase kritis 1 terjadi pada 20 - 30 bulan sebelum tandan panen atau pada pelepah minus ke-10 hingga ke-30. Pada fase ini apabila terjadi cekaman kekeringan, potensi pembentukan bunga betina atau tandan akan berkurang hingga 40%. Pada 15 bulan sebelum tandan dipanen, pelepah termuda sudah mulai membuka (pelepah ke-0). Fase kritis 2 terjadi pada 8 - 12 bulan sebelum tandan dipanen atau pada pelepah ke-5 hingga ke-15. Pada fase ini apabila terjadi cekaman lingkungan maka potensi kehilangan tandan hingga 54%. Bunga *anthesis* terjadi pada pelepah ke-20 atau 5 - 6 bulan sebelum tandan dipanen. Fase kritis 3 terjadi setelah tandan *anthesis* yaitu pada saat 3 - 4 bulan sebelum tandan panen atau di sekitar pelepah ke-24 hingga 26. Potensi penurunan produksi akibat cekaman lingkungan pada fase ini hingga 58% (Woittiez *et al.*, 2017).



Gambar 36. Tahap-tahap perkembangan bunga dan buah kelapa sawit dan bagaimana cekaman lingkungan mempengaruhi potensi pembentukan tersebut (Woittiez *et al.*, 2017).

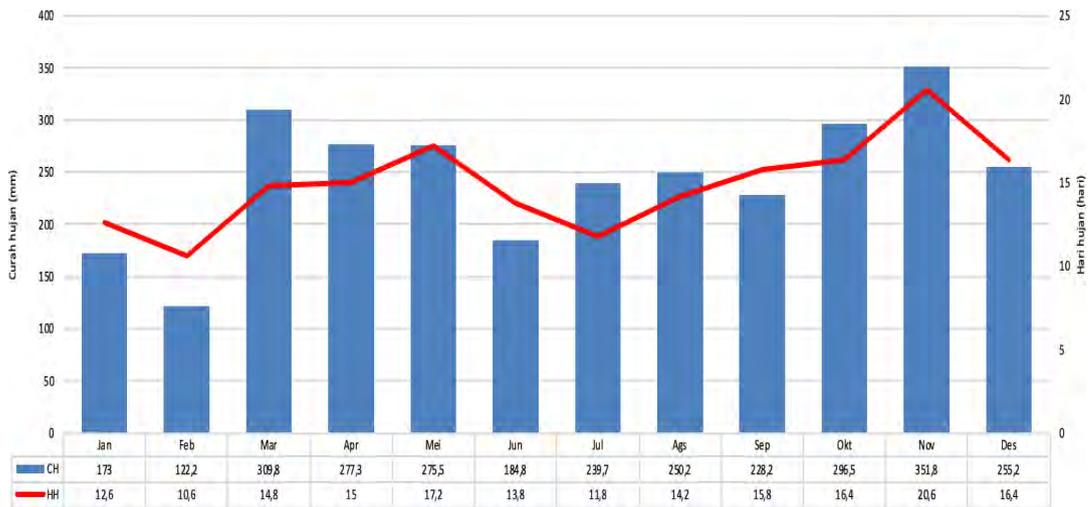
Produksi tanaman merupakan representasi dari interaksi faktor genetik dan lingkungan tumbuhnya. Kondisi tanah dan faktor iklim sangat berperan dalam pertumbuhan dan produksi tanaman kelapa sawit. Unsur-unsur iklim yang dilaporkan berperan terhadap produksi tanaman kelapa sawit adalah curah hujan, jumlah hari hujan, lama penyinaran efektif, kelembaban udara dan suhu udara (Combres *et al.*, 2012; Siregar *et al.*, 2014; Pradiko *et al.*, 2016).

Kondisi iklim sangat penting dalam mempengaruhi produksi kelapa sawit. Kondisi iklim ini juga merupakan tahapan awal dalam penentu kelas kesesuaian lahan. Beberapa faktor iklim yang mempengaruhi produksi adalah curah hujan, suhu, kelembaban, radiasi surya, dan kecepatan angin. Rerata curah hujan tahunan pada periode tahun 2018-2023 sekitar 2.836 mm/tahun dengan rerata hari hujan sebanyak 180 hari hujan/tahun. Pada periode tersebut terdapat defisit air > 200 mm/tahun yang menjadi faktor pembatas pertumbuhan yang terjadi setiap tahun. Namun demikian tidak adanya laporan gejala kekeringan di Kebun benih Marihat. Rerata curah hujan bulanan terendah terjadi di bulan Februari dan tertinggi di bulan November periode 2018-2022. Curah hujan bulanan terendah terjadi di bulan Juni dan tertinggi di bulan Februari untuk periode 2023.

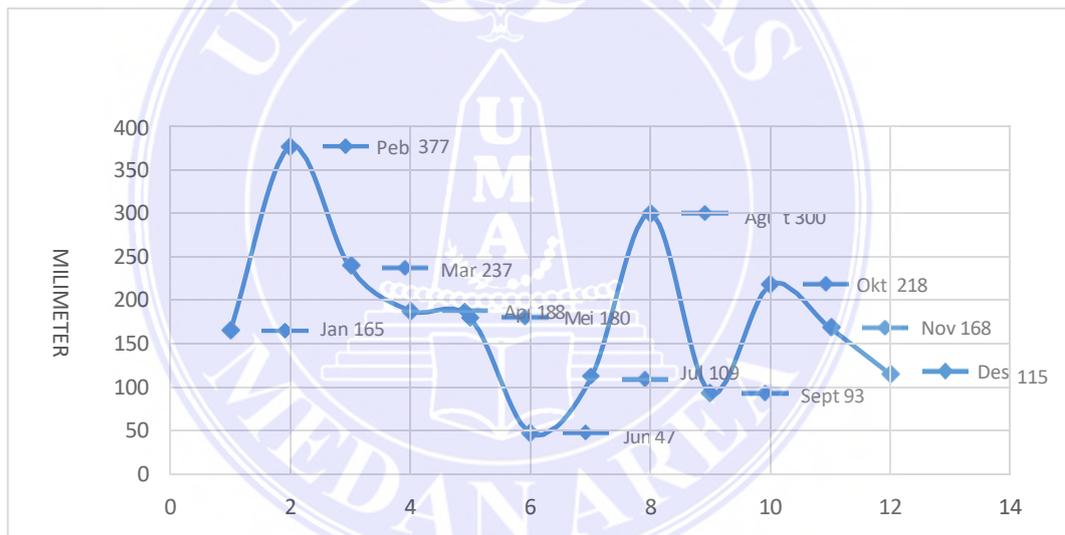
Tabel 20. Curah hujan, hari hujan, defisit air dan bulan kering di Kebun Marihat, 2018-2022

Tahun pengamatan	CH (mm)	HH (hari)	DA (mm)	BK (bulan)	HTTH (hari)
2018	2.947	196	35	-	64 hari
2019	2.950	181	47	-	56 hari
2020	2.413	152	78	1	68 hari (Januari)
2021	3.465	175	94	1	77 hari (Februari)
2022	3.047	192	10	-	45 hari
2023	2.197	186	24	-	62 hari

Keterangan : CH (curah hujan), HH (hari hujan), DA (defisit air), BK (bulan kering), HTTH (hari terpanjang tidak hujan)



Gambar 37. Penyebaran rerata curah hujan bulanan di Kebun benih PPKS, periode tahun 2018-2022



Gambar 38. Curah hujan bulanan di Kebun benih PPKS, periode tahun 2023

Cekaman lingkungan. 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 *et al.*, 2014; Abubakar *et al.*, 2021).

Tabel 21. Kriteria defisit air dan dampaknya pada pertumbuhan dan produksi tanaman kelapa sawit

Stadia	Defisit air (mm/th)	Gejala pada pertumbuhan kelapa sawit	Penurunan produksi (%)
I	<200	Belum begitu berpengaruh	0-10
II	200 -300	Pada TBM dan TM 3-4 daun muda mengumpul dan tidak membuka Pada TM, 1-4 pelepah daun tua patah (sengkleh)	10-20
III	300-400	Pada TBM dan TM, 4-5 daun muda tidak membuka Pada TM, 8-12 pelepah daun tua patah dan mengering	20-30
IV	400-500	Pada TBM dan TM, 4-5 daun muda mengumpul dan tidak membuka Pada TM, 12-16 pelepah daun tua patah dan mengering	30-40
V	>500	Pada TBM dan TM, daun muda dan tua seperti stadia IV Pada TM dan TBM, pupus bengkok dan akhirnya dapat patah	>40

Sumber : (Siregar *et al* , 2014)

Pemupukan. Pemupukan agar dilakukan sesuai rekomendasi (5 T = tepat jenis, dosis, waktu, cara dan urutan aplikasi). Pemupukan harus sesuai dengan kebutuhan tanaman kelapa sawit. Jika pemupukan dilakukan secara tepat akan tercapai produktivitas secara optimal. Ketidaktepatan pemupukan menyebabkan rendahnya efektivitas pemupukan. Penyediaan pupuk hendaknya dilakukan tepat waktu, sedangkan dosis pupuk di lapangan agar mengacu kepada kebutuhan tanaman. Kondisi piringan pohon yang terlambat pengendalian gulmanya akibat keterlambatan ketersediaan herbisida harus segera dibersihkan sebelum pelaksanaan pemupukan. Pupuk yang telah diterima kebun hendaknya segera diaplikasikan untuk menghindari semakin terlambatnya pelaksanaan pemupukan.

Tabel 22. Realisasi pemupukan pohon induk Marihat periode 2018-2022

Tahun	Semester I (Kg)							Semester II (Kg)							Jumlah Semester I+II	
	N	p	K	DOL	B	NPK	Bioneensis	Jlh	N	P	K	DOL	B	NPK		Jlh
2018	1,97	2,25	1,25	1,5	0,1	-	-	7,07	1	0,75	1	1,25	-	-	4	11,07
2019	1,25	1,25	1,25	1,5	0,1	-	-	5,35	-	-	-	-	-	-	0	5,35
2020	-	-	-	1,25	0,05	3,5	1,5	6,3	-	-	-	1,25	-	2,5	3,75	10,05
2021	1,25	1	1,25	1,25	-	2,5	-	7,25	-	-	-	-	-	-	0	7,25
2022	1,25	1	1,25	1,00	0,075	2,25	-	6,75	1,25	1	1,50	1,25	0,075	2,25	7,25	14

Realisasi pemupukan yang dilakukan di kebun benih Marihat tahun 2018-2022 tidak selalu sesuai dosis rekomendasi begitu juga waktu aplikasinya. Pada tahun 2018 dan 2022 dilakukan dua kali aplikasi sedangkan pada 2019 hanya semester I, 2020 dan 2021 dilakukan 2 kali aplikasi setiap semester tetapi tidak sesuai dosis rekomendasi. Sedangkan pada tahun 2022 dapat terlaksana dua kali aplikasi.

Penurunan produksi benih selain karena defisit air maupun bulan kering juga diperparah karena pemupukan yang tidak terlaksana, hal ini sesuai hasil penelitian Sidhu *et al.*, (2014) bahwa efek tidak teraplikasinya akan berpengaruh pada penurunan kandungan hara daun dan menurunkan produksi pada 20-30 bulan setelah aplikasi dapat mencapai 3,9 ton TBS/tahun/ha lebih rendah dari pada yang diaplikasi pupuk secara normal, selain itu juga pemupukan yang tidak dilaksanakan pada tahun ke-n dapat menyebabkan penurunan produktivitas pada tahun ke n+1 dan n+2 berturut-turut sebanyak 16%-23% dan 10%-16% dibandingkan produktivitas tahun ke-n. Hal ini sesuai dengan kondisi kebun benih Marihat yang pemupukannya tidak berjalan dengan baik pada Semester II 2021. Kekeringan akan berdampak pada penurunan produksi hingga 30% (Siregar *et al.*, 2013; Syarovy *et al.*, 2017; Pradiko *et al.*, 2018; 2022).

Produktivitas tandan benih. Produktivitas tandan benih dan jumlah benih cenderung meningkat pada 2021-2022, pada periode 2018-2020 menurun. Pada Penelitian 2023 juga diperoleh kenaikan benih baik sebesar 2.164 butir (32 kg) pada perlakuan S1T4, penurunan produksi ini lebih disebabkan perolehan jumlah rerata benih yang tidak stabil.

Tabel 23. Perkembangan Jumlah tandan benih, jumlah benih dan rerata jumlah benih periode 2018-2022

Keterangan	2018	2019	2020	2021	2022
Jlh tandan benih (buah)	14.342	12.153	10.736	12.965	14.592
Jlh benih (butir)	17.897.180	15.414.516	15.902.759	17.744.910	20.772.855
Rerata jlh benih (butir)	1.276	1.287	1.491	1.372	1.447



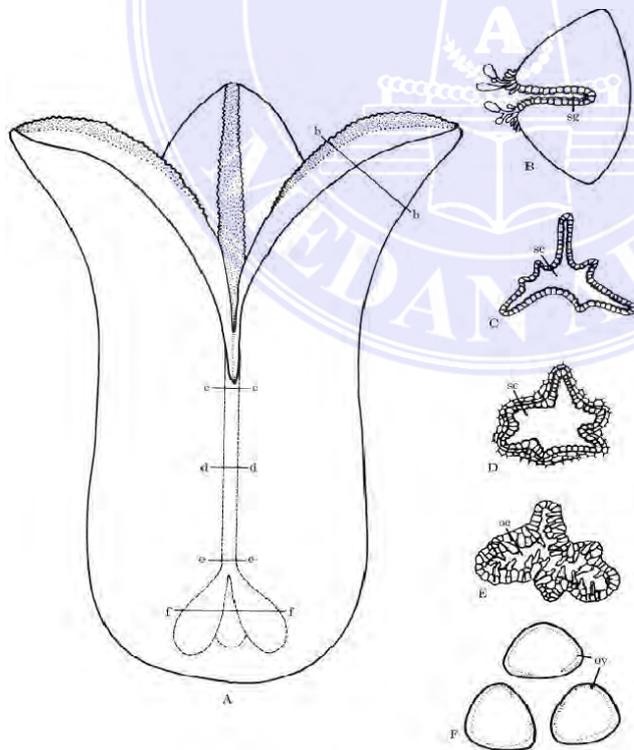
Gambar 39. Perkembangan Jumlah tandan benih, jumlah benih dan rerata jumlah benih periode 2018-2022

Oleh sebab itu, untuk mengetahui penyebab terjadinya berkurangnya jumlah rerata benih terendah pada perlakuan S3T0 (umur polen <4 tahun, penyerbukan pada jam >07.00 – 08.00 wib) yakni 902 butir (19 kg), kita harus mempelajari faktor atau kondisi ekofisiologis yang tidak optimal sekitar 24 bulan atau 2 tahun sebelum panen. Kondisi ekofisiologis yang tidak optimal ini yang perlu dicermati pada tahun 2020-2021 dapat berupa kondisi iklim, perlakuan pemupukan, manajemen kanopi (jumlah pelepah), dan lain-lain yang akan menentukan produksi tandan.

Bunga betina memiliki bagian stigma dengan tiga lobus yang berbulu dan puncak membentuk permukaan reseptif serta bersifat lembab dan beraroma unik yang menarik serangga pada tahap reseptif (Corley dan Tinker, 2016). Bunga anthesis biasanya berlangsung selama 36-48 jam bahkan hingga seminggu. Bunga-bunga pada bagian bawah *spikelet* lebih dulu terbuka lalu diikuti bunga-bunga di bagian atas. Setelah bunga mekar, lobus stigma berubah menjadi keunguan karena pengaruh antosianin. Serbuk sari yang mendarat pada stigma berwarna ungu tidak dapat berkecambah (Priambodo *et al.*, 2017; Lankinen *et al.*, 2018).



Gambar 40. Bunga betina kelapa sawit antesis dengan tiga permukaan stigma membuka yang lembab tempat mendaratnya serbuk sari. Sebelum fase antesis ketiga masih saling menyatu.



Gambar 41.a. Diagram dengan tiga lobus stigmatik. Daerah putus-putus pada permukaan adaksial dari setiap lobus stigmatik mewakili daerah reseptif papilat. Garis putus-putus pada stilus dan ovarium menunjukkan kanal stilar dan lokus. B±F, Potongan melintang dari lobus stigma. B, kanal stilar, (C±E) dan lokula (F) diambil pada titik-titik yang ditunjukkan pada A. ov, bakal biji; sg, alur stigmatik; sc, saluran stilar (Tandon, *et al.* 2001)

Tepung sari (polen) yang berkecambah ditandai dengan terbentuknya tabung polen dan mempunyai panjang yang sama dengan diameter polen (Anitasari *et al.*, 2018; Yousefi *et al.*, 2021). Tepung sari kelapa sawit berbentuk struktur segitiga dengan celah lebar yang tampak secara trikotomi. Sifat eksudat ada dalam celah serbuk sari dan pola pencucian serbuk sari melalui celah tersebut. Struktur ini mendukung sifat entomofilik dan kemampuan penyimpanan. Polen kelapa sawit dengan jelas menunjukkan kedekatan polen dengan penyerbukan biotik (Subashini *et al.*, 2003). Ketiga sumber polen memiliki struktur morfologi dan karakter protein yang sama. Berat molekul protein berkisar antara 10 KDa hingga 100 KDa menunjukkan berat molekul protein yang relatif rendah (Priambodo *et al.*, 2017). Myint *et al.*, (2012) melakukan uji viabilitas segera setelah polen didapatkan dari pokok dan tidak dilakukan proses pengeringan terlebih dahulu.

Tabel 24. Rerata dan Standar Deviasi Masing-Masing Perlakuan

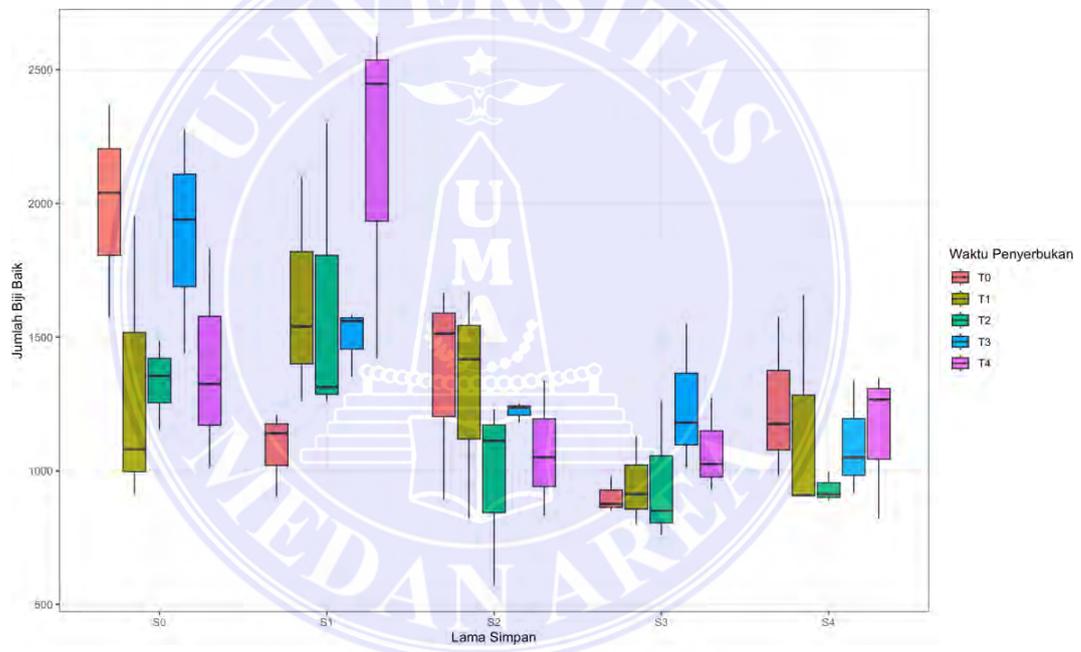
Perlakuan	Rerata Biji Baik	Standar deviasi Biji Baik	Rerata Biji Afkir	Standar deviasi Afkir	Rerata Viabilitas	Standar deviasi Viabilitas	Rerata Bobot Tandan	Standar deviasi Bobot Tandan
S1 T4	2164.33	650.66	154.67	135.74	81.20	0.36	32.33	8.14
S0 T0	1994.00	400.98	332.33	304.20	82.37	2.76	34.33	10.26
S0 T3	1885.67	424.12	148.33	122.08	82.37	2.76	32.67	8.33
S1 T1	1633.33	427.71	97.67	107.22	81.20	0.36	24.00	6.08
S1 T2	1624.00	586.01	40.67	70.44	81.20	0.36	25.67	1.15
S1 T3	1498.33	128.16	80.00	138.56	81.20	0.36	22.67	1.53
S0 T4	1390.00	411.37	147.67	124.56	82.37	2.76	22.67	2.08
S2 T0	1357.00	409.90	118.33	183.73	78.60	0.00	24.67	7.51
S0 T2	1331.67	167.23	185.67	150.07	82.37	2.76	23.00	5.29
S0 T1	1315.33	559.44	176.67	189.36	82.37	2.76	25.00	6.24
S2 T1	1302.33	436.45	122.00	113.86	80.07	1.27	24.00	4.00
S3 T3	1247.67	274.82	0.00	0.00	80.00	0.00	24.33	1.53
S4 T0	1243.33	303.33	41.00	49.51	80.00	0.00	21.33	1.53
S2 T3	1221.67	36.86	129.67	20.01	80.07	1.27	20.67	1.15
S4 T1	1157.33	433.59	132.67	125.70	80.00	0.00	21.33	4.04
S4 T4	1144.67	284.14	48.33	50.08	80.00	0.00	24.00	2.65
S4 T3	1101.67	217.16	13.33	23.09	80.00	0.00	24.33	1.15
S1 T0	1083.33	162.58	85.67	94.48	81.20	0.36	19.33	4.04
S3 T4	1075.33	177.92	181.00	136.52	80.00	0.00	23.67	1.53
S2 T4	1073.33	253.81	23.67	20.50	80.07	1.27	22.33	4.04
S2 T2	972.00	349.69	95.67	27.06	80.07	1.27	22.33	4.04
S3 T2	957.33	267.66	10.67	18.48	80.00	0.00	23.00	2.65
S3 T1	947.67	167.71	60.67	66.64	80.00	0.00	21.67	1.53
S4 T2	932.67	57.84	42.00	72.75	80.00	0.00	20.33	2.52
S3 T0	901.67	68.98	62.67	35.02	80.00	0.00	19.00	1.00

Tabel 24 menunjukkan nilai rerata dan standar deviasi setiap variabel pengamatan untuk masing-masing interaksi perlakuan. Berdasarkan peringkat rerata biji baik, interaksi S1T4 memiliki rerata biji baik tertinggi, yaitu sebanyak 2.164 butir, sementara peringkat terendah dimiliki oleh interaksi perlakuan S3T0, yaitu sebesar 901 butir.

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 lama simpan dengan waktu penyerbukannya.

• **Jumlah Biji Baik**

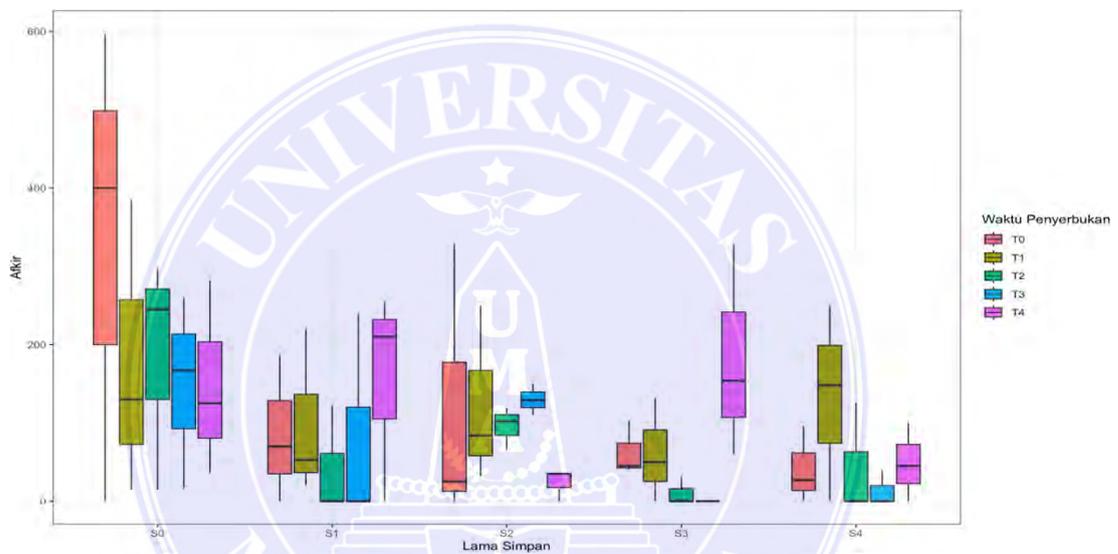


Gambar 42. Boxplot jumlah biji baik berdasarkan interaksi lama simpan dan waktu penyerbukan.

Boxplot biji baik menunjukkan tidak terdapat nilai ekstrim (berpotensi menjadi outlier) di luar boxplot. Dari 25 interaksi, S1T4 menunjukkan median (Q2) biji baik tertinggi dan S3T2 menunjukkan median biji baik terendah. Secara umum, median biji baik di atas 1.250 biji mayoritas terdapat pada lama simpan S0 dan S1 pada semua waktu penyerbukan, kecuali S0T1 dan S1T0 (Q2 < 1.250 biji baik).

Polen adalah pembawa materi genetik jantan kepada gametofit betina ketika terjadi penyerbukan. Pada tandan benih, gagalnya pembentukan biji secara alamiah juga diakibatkan perbedaan masa reseptif stigma dengan viabilitas polen, sehingga memberi peluang terhadap gagalnya penyerbukan dan pembuahan, yang akhirnya menyebabkan kegagalan pembentukan biji. Keadaan lapangan dan kondisi kesehatan tanaman mempengaruhi polen dalam menembus dinding putik yang mengakibatkan lambatnya proses fertilisasi sehingga menghambat pertumbuhan tandan benih.

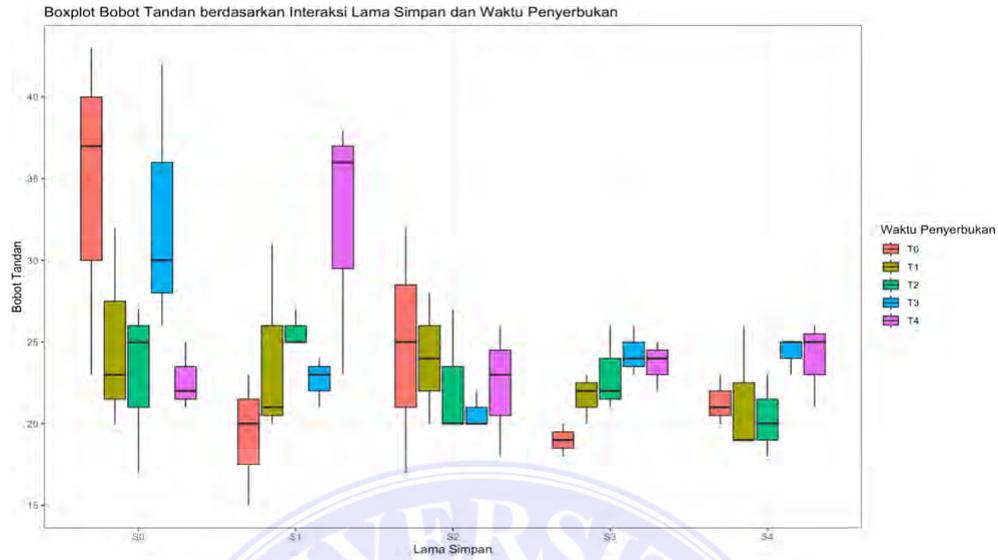
• **Jumlah Biji Afkir**



Gambar 43. Boxplot jumlah biji afkir berdasarkan interaksi lama simpan dan waktu penyerbukan.

Boxplot Biji Afkir menunjukkan tidak terdapat nilai ekstrim (berpotensi menjadi outlier) di luar boxplot. Dari 25 interaksi, S0T0, menunjukkan median (Q2) biji afkir tertinggi dan mencapai 400 biji afkir. Sementara median biji afkir terendah bernilai 0 (tidak ada biji afkir) terdapat pada lama simpan S1, S3, dan S4, dengan waktu penyerbukan T2 dan T3. Median Biji afkir interaksi perlakuan lainnya secara keseluruhan masih berada di bawah 200 butir, kecuali S0T2 dan S1T4 (200-300 biji afkir).

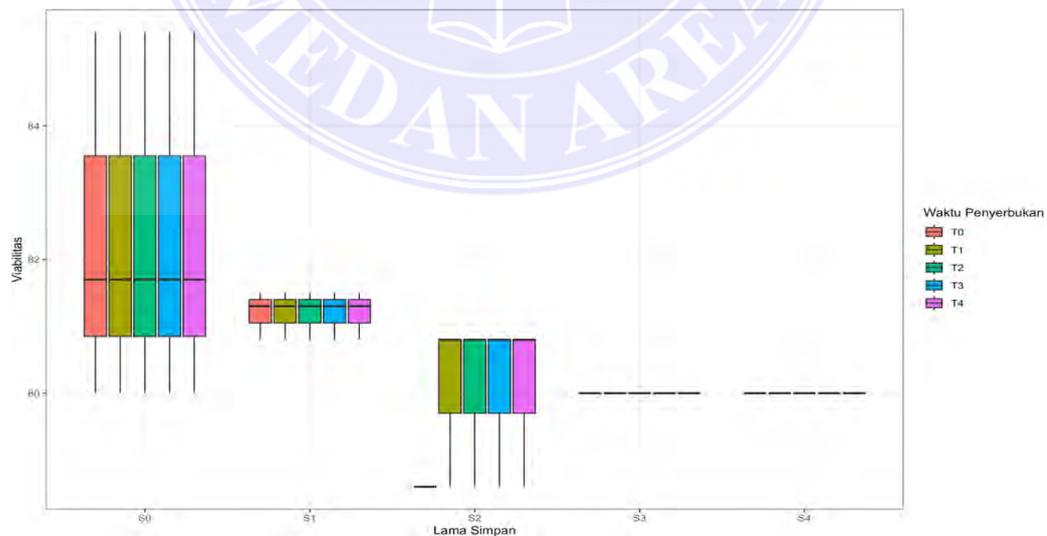
• **Bobot Tandan**



Gambar 44. Boxplot bobot tandan berdasarkan interaksi lama simpan dan waktu penyerbukan.

Boxplot bobot tandan menunjukkan tidak terdapat nilai ekstrim (berpotensi menjadi outlier) di luar boxplot. Dari 25 interaksi, S0T0, S1T4, dan S0T3 secara berurutan menghasilkan median (Q2) bobot tandan tertinggi (berkisar antara 30-40 kg). Adapun bobot tandan interaksi perlakuan lainnya berada di bawah 25 kg, dimana bobot terendah dimiliki oleh S3T0 dan S4T1 (< 20 kg).

• **Viabilitas**



Gambar 45. Boxplot viabilitas berdasarkan interaksi lama simpan dan waktu penyerbukan.

Boxplot viabilitas menunjukkan tidak terdapat nilai ekstrim (berpotensi menjadi outlier) di luar boxplot. Secara umum, interaksi S0 dengan semua waktu penyerbukan menghasilkan median viabilitas paling tinggi jika dibandingkan dengan lama simpan lainnya. Pada tiap-tiap lama simpan, semua bentuk boxplot sama untuk semua waktu penyerbukan, yang artinya masing-masing lama simpan memiliki sebaran data viabilitas dan median yang sama untuk semua interaksi waktu penyerbukan. Boxplot lama simpan S3 dan S4 hanya menampilkan 1 garis horizontal, yang menunjukkan bahwa Q1, Q2, dan Q3 pada masing-masing 8 interaksi tersebut bernilai sama.

Analisis Ragam dan Uji DMRT

a. Jumlah Biji Baik (butir)

Tabel 25a. Hasil uji beda rata-rata jumlah biji baik

```

> summary(modelBaik)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Ulangan        2  261793   130896   1.090   0.3444
`Lama Simpan`  4 4392154 1098038   9.144 1.42e-05 ***
`Waktu Penyerbukan`  4  491932   122983   1.024   0.4044
`Lama Simpan`:`Waktu Penyerbukan` 16 3297075  206067   1.716   0.0758 .
Residuals     48 5764032  120084
    
```

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

Tabel 25b. Uji beda rata-rata jumlah biji baik

Lama Simpan	Rerata Jumlah Biji Baik	group
S1	1600.667	a
S0	1583.333	a
S2	1185.267	b
S4	1115.933	b
S3	1025.933	b

Tabel 25b merupakan hasil uji DMRT yang menunjukkan lama simpan S1 dan S0 berbeda nyata dengan lama simpan S2,S3, dan S4. S1 dan S0 memiliki rerata jumlah biji baik tertinggi dan berbeda tidak signifikan satu sama lain, sedangkan S2, S3, dan S4 memiliki jumlah biji baik lebih rendah dan berada dalam grup yang sama.

Dari data dapat dilihat bahwa S1T4 (umur polen <2 tahun, penyerbukan pada jam >11.00 – 12.00 wib) menghasilkan jumlah biji layak untuk benih tertinggi yakni 2.164 butir (32 kg), kemudian berturut-turut diikuti oleh S0T0 (umur polen <1 tahun, penyerbukan pada jam 07.00 – 08.00 wib) yakni 1.994 butir (34 kg), S0T3 (umur polen <1 tahun, penyerbukan pada jam >10.00 – 11.00 wib) yakni 1.886 butir (33 kg), S1T1 (Umur polen<2 tahun, penyerbukan pada jam >08.00 – 09.00 wib) yakni 1.633 butir (24 kg), S1T2 (Umur polen <2 tahun, penyerbukan pada jam >09.00 – 10.00 wib) yakni 1.624 butir (26 kg) dan terendah pada perlakuan S3T0 (umur polen <4 tahun, penyerbukan pada jam >07.00 – 08.00 wib) yakni 902 butir (19 kg). Corley dan Tinker (2016) mengatakan bahwa daerah yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman kelapa sawit memenuhi kriteria yaitu temperatur minimum sekitar 22-24 °C.

Hasil dari pengujian lama simpan polen dan waktu penyerbukan merupakan indikasi yang diharapkan dapat memberikan informasi awal tentang viabilitas polen yang akan digunakan dalam proses penyerbukan buatan. Oleh karena itu pengujian lama simpan polen dan waktu yang dapat menunjukkan tingkat keakuratan viabilitas dan waktu yang tepat akan menjadi faktor penting dalam pengelolaan polen dalam penyerbukan buatan. Metode penyimpanan polen yang diterapkan PPKS dapat dikatakan baik dalam mempertahankan viabilitas polen mengingat polen yang berumur >4 tahun viabilitasnya berkisar 80-82%.

b. Jumlah Biji Afkir (butir)

Tabel 26a. Hasil uji beda rata-rata jumlah biji afkir

```
> summary(modelAfkir)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Ulangan	2	49090	24545	1.845	0.1691
`Lama Simpan`	4	195714	48928	3.678	0.0108 *
`Waktu Penyerbukan`	4	37664	9416	0.708	0.5906
`Lama Simpan`:`Waktu Penyerbukan`	16	162640	10165	0.764	0.7157
Residuals	48	638609	13304		

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

Tabel 26b merupakan hasil uji yang menunjukkan lama simpan S0 berbeda nyata dengan lama simpan lainnya (S1, S2, S3, dan S4). S0 memiliki rerata jumlah afkir tertinggi, yaitu 198 biji afkir. sedangkan lama simpan lainnya memiliki jumlah biji baik lebih rendah dan berada dalam grup yang sama, sehingga dianggap berbeda tidak nyata.

Tabel 26b. Uji beda rata-rata jumlah biji afkir

Lama Simpan	Rerata Afkir	groups
S0	198.13333	a
S2	97.86667	b
S1	91.73333	b
S3	63.00000	b
S4	55.46667	b

c. Berat Tandan (kg)

Tabel 27a. Hasil uji beda rata-rata bobot tandan

```
> summary(modelbobot)
```

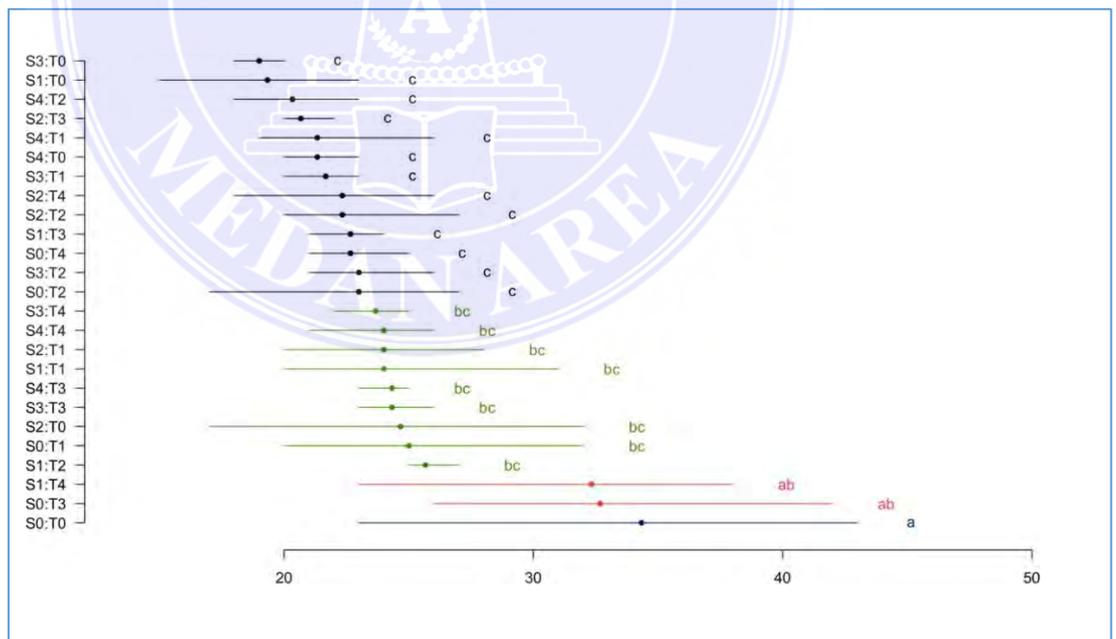
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Ulangan	2	3.0	1.49	0.069	0.9338
`Lama Simpan`	4	305.0	76.25	3.502	0.0138 *
`Waktu Penyerbukan`	4	57.8	14.45	0.664	0.6204
`Lama Simpan`:`Waktu Penyerbukan`	16	711.0	44.44	2.041	0.0292 *
Residuals	48	1045.0	21.77		

Hasil analisis ragam di atas menunjukkan lama simpan dan interaksinya dengan waktu penyerbukan memberikan pengaruh nyata (signifikan) secara statistik terhadap bobot tandan pada tingkat signifikansi (α) 5%.

Tabel 27b. Uji beda rata-rata bobot tandan

Lama Simpan	Rerata bobot tandan	groups
S0	27.53333	a
S1	24.80000	ab
S2	22.80000	b
S3	22.33333	b
S4	22.26667	b

Tabel 27b di atas merupakan hasil uji yang menunjukkan lama simpan S0 berbeda nyata dengan lama simpan lainnya (S1, S2, S3, dan S4). S0 memiliki rerata bobot tandan tertinggi, yaitu 27,53 kg. Selanjutnya disusul dengan bobot tandan S1 yaitu seberat 24,8 kg dan juga berbeda nyata dengan lama simpan lainnya. S2, S3, dan S4 memiliki bobot tandan terendah dan berada dalam grup yang sama, sehingga dianggap berbeda tidak nyata.



Gambar 46. Grafik uji beda rata-rata bobot tandan dan interaksinya

Grafik di atas merupakan hasil uji DMRT yang menunjukkan interaksi S0T0 menghasilkan bobot tandan tertinggi yaitu sebesar 34,44 kg dan berbeda nyata

dengan 24 interaksi lainnya. Selanjutnya disusul oleh interaksi S0T3 dan S1T4 masing-masing seberat 32,67 kg dan 32,33 kg. Keduanya berada di dalam grup yang sama sehingga dianggap berbeda tidak nyata.

Tabel 28. Uji interaksi perlakuan dengan bobot tandan

Interaksi Perlakuan	Bobot Tandan	groups
S0:T0	34.33333	a
S0:T3	32.66667	ab
S1:T4	32.33333	ab
S1:T2	25.66667	bc
S0:T1	25.00000	bc
S2:T0	24.66667	bc
S3:T3	24.33333	bc
S4:T3	24.33333	bc
S1:T1	24.00000	bc
S2:T1	24.00000	bc
S4:T4	24.00000	bc
S3:T4	23.66667	bc
S0:T2	23.00000	c
S3:T2	23.00000	c
S0:T4	22.66667	c
S1:T3	22.66667	c
S2:T2	22.33333	c
S2:T4	22.33333	c
S3:T1	21.66667	c
S4:T0	21.33333	c
S4:T1	21.33333	c
S2:T3	20.66667	c
S4:T2	20.33333	c
S1:T0	19.33333	c
S3:T0	19.00000	c

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

Bobot tandan benih berkisar antara 19-34 kg per tandan. Bobot tertinggi diperoleh pada perlakuan S0T0 (34 kg), dan terendah pada perlakuan S3T0 (19 kg). Hal ini diduga karena polen sebelum digunakan dicek terlebih dahulu viabilitasnya

harus >70% pada saat akan digunakan untuk penyerbukan ke lapangan. Hasrianda *et al.* (2020), menambahkan bahwa viabilitas polen yang tinggi dapat menghasilkan buah dan biji yang baik pada proses penyerbukan dan merupakan kandidat parental jantan yang baik.

Hasil yang bertentangan justru ditunjukkan oleh data berat tandan yang terjadi pada hasil penyerbukan buatan menggunakan serbuk sari (polen) dengan viabilitas yang tinggi (80%) dengan perolehan berat tandan 19 kg, sedangkan polen dengan viabilitas 79 % menghasilkan berat tandan 25 kg, hal ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan polen yang berviabilitas tinggi tetap dapat memunculkan berat tandan yang rendah jika faktor luar dari viabilitas polen tidak mendukung untuk terjadinya *fruit set* yang tinggi.

Corley dan Tinker (2016) mengatakan bahwa daerah yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman kelapa sawit memenuhi kriteria yaitu temperatur minimum sekitar 22-24 °C. Penyerbukan pada pagi hari (07.00 – 10.00 wib) memberi peluang waktu panjang, suhu dan kelembaban optimum pada proses penyerbukan yakni melekatnya tepung sari dengan kepala putik bunga betina.

d. Viabilitas

Tabel 29a. Hasil uji beda rata-rata viabilitas polen

```
> summary(modelviab)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Ulangan	2	6.26	3.131	1.785	0.179
`Lama Simpan`	4	72.92	18.230	10.395	3.81e-06 ***
`Waktu Penyerbukan`	4	1.03	0.258	0.147	0.963
`Lama Simpan`:`Waktu Penyerbukan`	16	4.13	0.258	0.147	1.000
Residuals	48	84.18	1.754		

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

Tabel 29b. Uji beda rata-rata viabilitas polen

Lama Simpan	Viabilitas	group
S0	82.36667	a
S1	81.20000	b
S3	80.00000	c
S4	80.00000	c
S2	79.77333	c

Tabel 29b di atas merupakan hasil uji DMRT yang menunjukkan S0 memiliki viabilitas yang tertinggi, yaitu sebesar 82,37% dan berbeda nyata dengan lama simpan lainnya. Selanjutnya disusul oleh S1 memiliki rerata viabilitas sebesar 81,2% dan juga berbeda nyata dengan lama simpan lainnya. Sedangkan S3, S4, dan S2 tidak berbeda nyata satu sama lain.

Kesimpulan yang dapat dihasilkan pada percobaan ini adalah bahwa pada tingkat tertentu tingginya nilai viabilitas polen akan tidak berpengaruh lagi untuk menghasilkan *fruit set* yang tinggi jika tidak ditunjang oleh faktor lain yang optimal. Faktor lain dari penggunaan polen berviabilitas tinggi, dosis tinggi dan waktu pada percobaan ini dapat muncul dari polinator. Selain itu dari hasil percobaan ini koreksi dapat muncul terhadap kondisi internal tanaman dura (pohon induk) sebagai tetua betina karena keberhasilan pembentukan benih juga dapat dipengaruhi oleh individu betina. Berdasarkan hal tersebut dapat diajukan pendugaan bahwa penggunaan dosis polen, waktu serbuk dan viabilitas tinggi tidak selamanya menunjang keberhasilan jumlah benih yang lebih tinggi juga. Secara spasial dapat dikatakan bahwa polinator dapat menjadi faktor penentu jumlah serbuk sari yang jatuh pada stigma dan ketepatan waktu penyerbukan, sedangkan kondisi internal tanaman dapat menjadi faktor penentu kesiapan bunga untuk menerima serbuk sari dan perkembangan bunga setelah penyerbukan.

3.8.5. KESIMPULAN

Indikator lain yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat masak benih adalah warna kulit buah. Tandan benih mencapai matang fisiologi ketika tandan berumur 4,5 - 6 bulan setelah penyerbukan (BSP). Dari data penelitian dapat dilihat bahwa perlakuan lama simpan polen <2 tahun memberikan perolehan benih baik lebih tinggi, dan waktu penyerbukan terbaik adalah dipagi hari (jam 07-10.00 Wib).

Lama simpan polen memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah biji baik, tingginya nilai viabilitas polen akan tidak berpengaruh menghasilkan jumlah biji baik yang tinggi jika tidak ditunjang oleh faktor lain yang optimal.



3.9. Penelitian III

KAJIAN VARIETAS TERHADAP DAYA BERKECAMBAH BENIH KELAPA SAWIT

ABSTRAK

Benih sebagai bahan tanam memegang peranan penting dalam pembangunan pertanian. Benih sawit termasuk benih yang sulit ditumbuhkan karena memerlukan perlakuan sebelum plumula radikula muncul. Kulit cangkang yang keras menambah tingkat kesulitan perkecambahan setelah mengalami masa dormansi, baik primer maupun sekunder. Metode yang umum digunakan untuk pematangan dormansi benih kelapa sawit adalah sistem pemanasan kering selama 55-60 hari pada suhu 38-40⁰C. Permintaan kecambah kelapa sawit yang tinggi menyebabkan lamanya waktu perkecambahan menjadi suatu kendala bagi konsumen dan produsen benih. Konsumen memerlukan kecambah dalam waktu yang cepat berbanding terbalik dengan waktu perkecambahan, menyebabkan kurangnya ketersediaan benih bersertifikat, dan berakibat adanya penjualan benih palsu sehingga produktivitas kelapa sawit Indonesia berpotensi menurun hingga 50%. Kondisi ini membuat penulis tertarik untuk melakukan penelitian ini untuk mengetahui kajian varietas terhadap daya berkecambah benih kelapa sawit sehingga bisa diketahui daya berkecambah benih dari masing-masing varietas.

Penelitian dilakukan di *Seed Processing Unit* PPKS terhadap sembilan varietas PPKS (Simalungun, PPKS 540, Yangambi, PPKS 239, PPKS 718, Dumpy, Avros, Langkat, dan PPKS 540 NG). Parameter yang diamati yaitu daya berkecambah (DB) benih. Perlakuan yang diberikan dalam proses perkecambahan untuk seluruh varietas dilakukan dengan menjamin agar lingkungan menguntungkan bagi perkecambahan (sesuai SOP). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa varietas PPKS 540 memiliki 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 dikecambahkan 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: *Benih kelapa sawit, daya kecambah, dorman benih, pemanasan, varietas benih.*

3.9.1. Pendahuluan

Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) merupakan salah satu produsen kecambah kelapa sawit yang menerapkan sistem *The International Organization for Standardization*, ISO 9001:2015 sebagai bentuk jaminan manajemen mutu pada kecambah yang dihasilkannya. Sejak memulai sistem ISO tersebut pada tahun 2002 hingga akhir 2023, PPKS telah menyalurkan 1.273.678.000 butir kecambah atau setara dengan 6.368.390 – 7.075.988 hektar lahan kelapa sawit (PPKS, 2023). Kegiatan pemuliaan kelapa sawit dikenal dengan nama *Resiprocal Recurrent Selection* (RRS) yaitu persilangan yang berbasis karakter/sifat tanaman dari dua populasi dasar (Sulistyo, 2010; Kelanaputra *et al.*, 2018). Perakitan varietas tanaman kelapa sawit dapat dilakukan melalui pengembangan program pemuliaan tanaman dalam merakit varietas tanaman sawit dengan memanfaatkan keragaman genetik *Elaeis oleifera* yang disilangkan dengan sawit komersial *Elaeis guineensis* (Murphy, 2014; Purba, 2019; Ayuningtyas *et al.*, 2022). Persilangan *Elaeis oleifera* dengan *Elaeis guineensis* dapat menghasilkan keturunan pertama F1 (Rivera-Mendez *et al.*, 2013). Setiowati *et al.*, (2023) menyebut plasma nutfah merupakan bagian penting dari program pemuliaan tanaman untuk mendukung tercapainya tujuan pemuliaan. Plasma nutfah berperan sebagai sumber keragaman untuk dilakukannya seleksi. Tiga puluh enam progeni kelapa sawit dari 19 tetua betina yang berasal dari turunan Deli dura dan 11 tetua jantan dari Afrika yaitu Yangambi, La Mé x SP540 diuji di lapangan dengan informasi silsilah digunakan untuk menduga nilai pemuliaan (daya gabung umum) tetua betina, jantan dan simpangan dominan (Amal *et al.*, 2021). Hasil penelitian Sujadi *et al.*, (2020) menyatakan bahwa varietas yang memiliki durasi fase perkembangan tandan lebih cepat (Dumpy, Avros, dan PPKS 540) diprediksi lebih mudah beradaptasi dengan kenaikan suhu udara.

Benih-benih yang dihasilkan oleh Pusat Penelitian Kelapa Sawit sebanyak 9 jenis varietas yang telah aktif diproduksi terdiri dari DxP Yangambi, DxP Avros, DxP Simalungun, DyxP Dumpy, DxP PPKS 540, DxP PPKS 540 NG, DxP PPKS 718, DxP Langkat, dan DxP PPKS 239. Penetapan varietas didasarkan pada pengelompokan (Khair *et al.*, 2014; Afrillah, 2018; Gunawan, 2018; PPKS 2023), yaitu (1) DxP Langkat, varietas dengan karakter tanaman *compact* dan tandan

berukuran sedang, (2) turunan SP540 yang merupakan kelompok varietas dengan karakter produksi minyak tinggi dan tandan berukuran sedang, (3) DyxP SP-1 (Dumpy), varietas dengan karakter laju pertumbuhan meninggi yang lambat dan ukuran tandan yang besar, dan (4) turunan Yangambi, merupakan kelompok varietas dengan karakter tandan berukuran besar.

Berdasarkan penelitian Julyan *et al.*, (2017) benih varietas kelompok Yangambi memiliki karakteristik berukuran sedang-besar, varietas ini umumnya mulai berkecambah pada umur perkecambahan 20-21 hari perkecambahan. Benih varietas Avros merupakan benih berukuran kecil-sedang, dengan tingkat kemunculan benih non inti yang cukup besar, varietas ini umumnya berkecambah pada umur 25-27 hari perkecambahan. Benih kelompok varietas Simalungun, 540 merupakan benih yang berukuran paling besar beserta intinya, varietas ini umumnya berkecambah pada umur 20-21 hari perkecambahan. Asmono *et al.*, (2005) serta Corley dan Tinker (2016) menyatakan karakter unggul varietas kelapa sawit dapat dilihat dari mutu genetik (potensi hasil tinggi), mutu fisiologis (daya tumbuh), dan mutu morfologis (keseragaman dan higienitas benih).

Menurut Green *et al.*, (2013) menyebut ketika pengecambahan dilaksanakan dengan menggunakan metode yang sesuai, daya kecambah benih kelapa sawit mencapai 50% saat 15 hari setelah benih dipatahkan dormansinya dan naik menjadi 80% pada hari ke-30. Corley dan Tinker (2016) tidak menyangkal ditemukannya banyak kasus dengan daya kecambah rendah disebabkan oleh embrio abnormal yang terbentuk akibat perkembangan benih yang tidak sempurna. Sadjad (1993) dan Kaewtaphan *et al.*, (2016) berpendapat 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 sebagai bahan tanam memegang peranan penting dalam pembangunan pertanian (Rhebergen, 2020). Pengadaan benih bahan tanaman atau disebut sebagai teknologi benih pada kelapa sawit tidak semudah seperti pada tanaman lain. Benih sawit termasuk benih yang sulit ditumbuhkan karena memerlukan perlakuan sebelum plumula muncul. Secara alami dibutuhkan waktu beberapa bulan dan persentase tumbuhnya rendah. Kulit (cangkang) bijinya cukup keras sehingga menyulitkan perkecambahan dalam waktu yang cepat (Lubis, 2008). Kenyataan ini berkaitan

dengan sifat benih yang mengalami apa yang disebut sebagai masa dormansi. Kulit benih yang keras ini menghambat proses absorpsi air dan oksigen yang sangat dibutuhkan benih untuk berkecambah. Menurut Delouche (1985) dan Kok *et al.*, (2013), dormansi pada kulit benih (fisik) dapat diatasi dengan stratifikasi yaitu perlakuan panas dalam jangka waktu yang pendek sebelum perlakuan dingin. Metode yang sudah lama diterapkan untuk pematangan dormansi benih kelapa sawit adalah sistem pemanasan kering (*dry heat treatment*) selama 60 hari pada suhu 38° – 40° C (Chaerani, 1992; Setiawan, 2017).

Benih unggul bersertifikasi menjamin mutu dan produktivitas kelapa sawit seragam, sehingga potensi pendapatan dapat di optimalkan (Sugiarto dan Raisawati, 2021). Konsumen benih bersertifikasi juga dilindungi oleh pemerintah dengan menerapkan regulasi kepada produsen benih yang terdapat pada Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 26/kpts/KB.020/10/2021 tentang pedoman produksi, sertifikasi, peredaran dan pengawasan benih tanaman kelapa sawit. Peraturan ini menjelaskan perlu dilakukannya penetapan dan evaluasi kebun sumber benih agar menghasilkan benih unggul dan berkualitas sesuai standar yang berlaku (Ayuningtyas *et al.*, 2022).

Perkecambahan secara umum ditandai dengan munculnya radikula dari dalam permukaan kulit biji, sedangkan proses perkecambahan sudah dimulai sejak benih melakukan imbibisi air melalui kulit sampai terjadi pembentukan dan perkembangan sel-sel dari embrio. Kecepatan dan karakteristik perkecambahan setiap benih biasanya berkaitan dengan adanya faktor dormansi, faktor lingkungan, dan faktor genetik (Sugiarto *et al.*, 2021).

Metode pematangan dormansi yang secara umum dilaksanakan oleh produsen bahan tanaman pada skala industri adalah *dry heat method* (DHM) yang mulai diterapkan secara komersial pertama kali pada 1959 di Malaysia (Herrera *et al.*, 1998; Setiawan, 2017). Martine *et al.*, (2009) menyatakan bahwa DHM memiliki beberapa kelemahan seperti biaya yang tinggi serta waktu pematangan dormansi dan pengecambahan yang lama untuk mendapatkan persentase daya berkecambah (DB) yang dinilai layak, meskipun demikian praktik pematangan dormansi tersebut masih dilakukan hingga saat ini di banyak negara penghasil kecambah kelapa sawit.

Benih kelapa sawit mempunyai endokarp yang sangat keras sehingga diperlukan perlakuan khusus untuk mempercepat perkecambahannya. Endokarp yang keras dapat menyebabkan dormansi karena impermiabel terhadap air dan gas serta dapat menghambat embrio secara mekanik. Benih kelapa sawit mengalami dormansi fisik, oleh karena itu perlu adanya perlakuan yang khusus pada endokarpnya untuk dapat mempercepat perkecambahannya (Farhana *et al.*, 2013; Hadi *et al.*, 2017)

Perlakuan perendaman dalam air mengalir berfungsi untuk mencuci zat-zat yang menghambat perkecambahan dan dapat melunakkan kulit benih. Perendaman dapat merangsang penyerapan lebih cepat. Perendaman adalah prosedur yang sangat lambat untuk mengatasi dormansi fisik, selain itu ada resiko bahwa benih akan mati jika dibiarkan dalam air sampai seluruh benih menjadi permeabel (Schmidt, 2000; Maia *et al.*, 2021). Oleh karena itu, perlu diperoleh waktu perendaman yang tidak merusak benih dan dapat membantu pematangan dormansi jika dikombinasikan dengan perlakuan lain. Penyebab dan mekanisme dormansi merupakan hal yang sangat penting diketahui untuk dapat menentukan cara pematangan dormansi yang tepat, sehingga benih dapat berkecambah dengan cepat dan seragam.

Menurut Farhana *et al.* (2013) bahwa dormansi pada benih kelapa sawit disebabkan oleh cangkang benih atau endokarp yang tebal. Aktivitas untuk mengeluarkan embrio dari endokarp bukan metode yang efisien untuk diterapkan pada skala industri meski efektif untuk mematahkan dormansi benih kelapa sawit. Di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) pematangan dormansi benih telah dilakukan secara rutin dengan perlakuan pemanasan pada suhu 38° – 40° C selama 55-60 hari dan telah berhasil dengan baik. Corley dan Tinker (2016) menyatakan bahwa proses *dry heat method* (DHM) merupakan metode umum untuk mematahkan dormansi benih kelapa sawit, diawali dengan perendaman benih di air mengalir. Namun sejalan perkembangan bisnis kelapa sawit yang marak saat ini belakangan terjadi perubahan permintaan dari pihak konsumen. Adakalanya benih yang telah siap seleksi proses begitu masuk ruang stok benih langsung dikecambahkan sehingga tidak ada lagi masa simpan benih mengingat tingginya permintaan pembelian dari pihak konsumen. 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 (Normasiwi, 2013; Kartika *et al.*, 2015; Arif, 2023).

Lamanya waktu perkecambahan merupakan suatu kendala bagi konsumen dan produsen benih. Konsumen benih memerlukan kecambah dalam waktu yang cepat, sementara proses perkecambahan yang membutuhkan waktu yang lama mengharuskan konsumen memesan 3-6 bulan sebelumnya, sedangkan produsen sendiri harus terus melakukan proses perkecambahan untuk memenuhi permintaan konsumen, dimana menjadi kendala bagi produsen di saat permintaan kecambah kelapa sawit tinggi dan menyebabkan banyaknya konsumen yang harus mengantri (PPKS, 2023).

Tingginya permintaan konsumen terhadap kecambah dari Pusat Penelitian Kelapa Sawit membuat penulis tertarik untuk melakukan penelitian ini untuk mengetahui kajian varietas terhadap daya berkecambah benih kelapa sawit sehingga bisa diketahui daya berkecambah benih dari masing-masing varietas. Kekurangan benih kelapa sawit bersertifikat di Indonesia menyebabkan adanya penjualan benih palsu yang menyebabkan menurunnya produktivitas kelapa sawit Indonesia sampai 50% dibanding dengan penggunaan benih unggul bersertifikat (Sokoastri *et al.*, 2019). Kekurangan benih tersebut ditutupi dengan impor benih dari Malaysia, Papua Nugini dan Costa Rica. Saat ini Indonesia memiliki 62 varietas yang dihasilkan dari populasi tetua betina yang beragam (Media Perkebunan, 2022).

3.9.2. Tinjauan Pustaka

3.9.2.1. Pengelolaan Tandan Benih

Pengambilan tandan yang akan diproses di persiapan benih dilakukan pada pohon induk yang telah memiliki tandan siap panen. Tandan siap panen merupakan tandan yang telah matang fisiologis, yaitu umur 4,5-6 bulan (Corley dan Tinker, 2016; Setiawan, 2017). Tandan selalu disertai dengan label dan selalu dibawa dari proses awal hingga akhir. Pada beberapa pohon dapat ditemui gagal tandan. Gagal tandan ini bisa disebabkan penyerbukan tidak tepat waktu, sehingga *fruit set* atau buah sempurna yang terbentuk sedikit. Kriteria penerimaan tandan dari lapang di persiapan benih :

Baik	Afkir
<ul style="list-style-type: none"> Tandan diterima dari lapang diperiksa kebenaran jumlahnya dan identitas label harus sesuai dengan advis panen, yaitu no penyerbukan, tanggal pembungkusan, tanggal penyerbukan, kode pohon induk, nomor registrasi dan inisial polinator. Tandan berkualitas baik/tidak busuk. Kondisi label tertancap kokoh diantara spikelet dan tidak melukai buah. Tandan ditimbang dan dipipil serta dievaluasi berdasarkan <i>fruit set</i>/persentase buah sempurna terhadap total buah yang terbentuk. Kelas <i>fruitset</i> adalah pengkategorian yang berdasarkan pada penilaian kisaran persentase yang sudah ditetapkan 	<ul style="list-style-type: none"> Identitas tandan/label laminating tidak sesuai dengan advis panen. Kondisi tandan berkualitas rendah yaitu tandannya busuk, tandan dengan <i>fruitset</i>nya < 20%, dan tandan tanpa biji (pengamatan secara visual). Kondisi label tidak tertancap kokoh serta kawat label menembus/melukai daging buah. Tandan afkir dihitung jumlahnya dan dimusnahkan dengan cara dibakar serta dilengkapi berita acara (BA) pemusnahan.

3.9.2.2. Fermentasi dan pemipilan

Tandan dari lapang ditimbang dan dilakukan Fermentasi. Label dari lapang selalu dilampirkan pada tandan yang akan diproses. Tandan dengan kelas E harus diafkir.

Tabel 30. Kriteria Kelas Fruit Set Tandan Benih

Kelas <i>Fruitset</i>	Persentase (%)
Kelas A	80-90
Kelas B	60-79
Kelas C	40-59
Kelas D	20-39
Kelas E	< 20

Tandan yang sudah diberikan *etephon* pada bonggol dikumpulkan pada peti/keranjang yang berukuran 60 cm x 60 cm x 40 cm untuk dilakukan fermentasi. Fermentasi dilakukan selama 4-7 hari. Tujuan dari fermentasi ini adalah untuk mempermudah pemisahan buah dari spikelet dan mempercepat pelunakan daging buah (mesokarp). Proses fermentasi dilakukan per tandan dan sesuai identitas tandan tersebut. Setelah fermentasi, dilakukan pemipilan untuk memisahkan buah dari spikeletnya. Pemipilan dilakukan dengan alat bantu mesin pemipilan. Seluruh buah berondolan dipastikan sudah terpisah dari spikelet. Buah berondolan hasil pipilan dimasukkan ke dalam karung goni di sertai dengan label laminating/identitas tandan.

3.9.2.3. Pengupasan

Berondolan/buah dimasukkan ke dalam mesin pengupas biji (*defericarper*). Mesin yang digunakan ada dua macam, yaitu mesin *depericarper* berbentuk hexagonal horizontal dan mesin turbo vertikal berbentuk silinder vertikal. Mesin *depericarper* mampu mengupas 2 tandan dalam waktu 45 menit. Mesin turbo vertikal mampu mengupas satu tandan dalam waktu 3-5 menit. Sebelum dilakukan pembersihan, benih terlebih dahulu diinspeksi untuk dibersihkan sisa-sisa serabut yang masih menempel secara manual menggunakan *cutter*. Benih kemudian dibersihkan menggunakan deterjen. Pembersihan menggunakan deterjen ini dilakukan untuk menghilangkan sisa-sisa minyak yang ada pada benih. Setelah itu, dilakukan perlakuan fungisida untuk mencegah benih berjamur. Fungisida yang digunakan mengandung bahan aktif *mankozeb*. Masing-masing proses ini dilakukan selama tiga menit perlakuan. Benih yang telah dibersihkan dikering anginkan di ruangan *drying* menggunakan kipas angin selama minimal 18 jam. Setelah dikeringkan, benih disortir (seleksi) dan dihitung,

3.9.2.4. Seleksi benih

Seleksi benih yang dilakukan memiliki kriteria tertentu. Benih baik dan biji afkir dihitung. Benih baik ditimbang dan dicatat jumlahnya. Biji afkir di hitung, di timbang serta di musnahkan dengan cara dibakar dan di lengkapi berita acara (BA).

Benih Baik	Benih Afkir
Biji tidak lolos dari kotak kawat seleksi atau bobot biji $\geq 0,86$ gram.	Biji lolos dari kotak seleksi/berat biji < 0.86 gram.
Biji tidak cacat/terluka.	Biji cacat/terluka hingga melukai bagian inti.
Biji berwarna hitam $>50\%$.	Biji berwarna putih $>50\%$.
Biji-biji terseleksi atau benih-benih baik ditimbang dan dihitung jumlahnya.	Biji-biji afkir ditimbang dan dihitung jumlahnya, serta dimusnahkan dengan cara dibakar dan dilengkapi berita acara pemusnahan.
<u>Pelabelan atau label kertas kuning persiapan benih pada setiap kantong benih sesuai dengan data label laminating dari lapangan.</u>	

Benih yang telah mengalami seleksi dipisahkan berdasarkan varietas dan dimasukkan ke dalam ruang stok. Benih dari ruang stok kemudian dikecambahkan sesuai dengan permintaan. Jika ada permintaan maka benih dikeluarkan dari ruang stok untuk dilakukan tagging "PPKS" dan pengecambahan.

3.9.2.5. Pematahan Dormansi Benih

Secara umum dormansi terbagi ke dalam dormansi primer dan sekunder (Kartika *et al.*, 2015). 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 (*Induced dormansi*) dimaknai sebagai benih yang pada keadaan normal mau berkecambah, tapi bila dikenakan pada suatu keadaan tidak menguntungkan selama beberapa waktu dapat menjadi kehilangan kemampuannya untuk berkecambah. Diduga dormansi sekunder tersebut disebabkan oleh perubahan fisik yang terjadi pada kulit biji yang diakibatkan oleh pengeringan yang berlebihan sehingga pertukaran gas-gas pada saat imbibisi menjadi lebih terbatas.

Dengan kata lain dormansi sekunder adalah benih non dorman namun mengalami kondisi yang menyebabkannya menjadi dorman. Penyebabnya kemungkinan benih terekspos kondisi yang ideal untuk terjadinya perkecambahan kecuali satu yang tidak terpenuhi. Dormansi sekunder dapat diinduksi oleh: (1) thermo- (suhu), dikenal sebagai thermodormancy; (2) photo-(cahaya), dikenal sebagai photodormancy; (3) skoto-(kegelapan), dikenal sebagai skotodormancy. Meskipun penyebab lain seperti kelebihan air, bahan kimia, dan gas bisa juga terlibat. Mekanisme dormansi sekunder diduga karena: (1) terkena hambatan pada titik-titik krusial dalam sekuens metabolik menuju perkecambahan; (2) ketidakseimbangan zat pemacu pertumbuhan versus zat penghambat pertumbuhan.

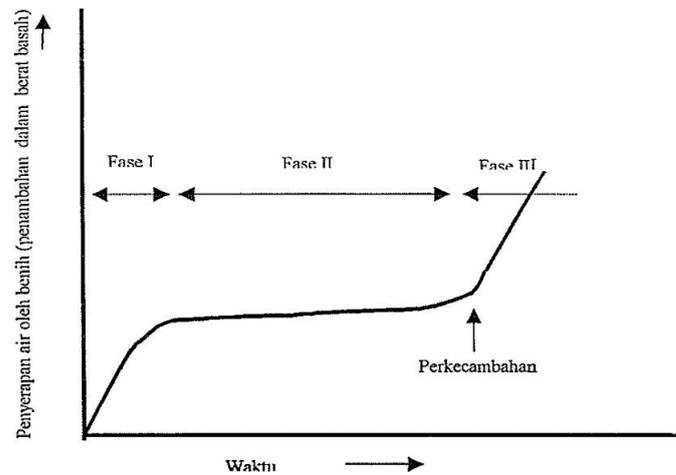
Penyebab dan mekanisme dormansi merupakan hal yang sangat penting diketahui untuk dapat menentukan cara pematangan dormansi yang tepat, sehingga benih dapat berkecambah dengan cepat dan seragam. Pada dormansi eksogenous, umumnya perlakuan pematangan diberikan secara fisik, seperti skarifikasi mekanik dan kimiawi. Bewly dan Black (1983) juga menyatakan bahwa Dormansi biji kebanyakan species disebabkan karena struktur yang mengelilingi embrio (*seed coat*), yang mencakup pericarp, testa, perisperm dan endosperm. Struktur tersebut dapat menghambat embrio berkecambah, karena mengganggu masuknya air dan pertukaran gas. Benih yang mempunyai struktur kulit biji yang keras dapat mengganggu penyerapan air dan pertukaran gas, selain adanya zat penghambat di dalam kulit benih itu sendiri, menghalangi lepasnya penghambat dari embrio.

Benih kelapa sawit mempunyai endokarp yang sangat keras sehingga diperlukan perlakuan khusus untuk mempercepat perkecambahannya (Corley dan Tinker, 2016; Yabani *et al.*, 2023). Endokarp yang keras dapat menyebabkan dormansi karena impermiabel terhadap air dan gas serta dapat menghambat embrio secara mekanik. Benih kelapa sawit mengalami dormansi fisik, oleh karena itu perlu adanya perlakuan yang khusus pada endokarpnya untuk dapat mempercepat perkecambahannya. Delouche (1985) menyatakan bahwa dormansi karena benih keras dapat dipecahkan dengan stratifikasi, pengaturan cahaya, skarifikasi, perlakuan panas dalam jangka waktu pendek dan perlakuan suhu dingin.

Perlakuan perendaman dalam air mengalir berfungsi untuk mencuci zat-zat yang menghambat perkecambahan dan dapat melunakkan kulit benih. Perendaman

dapat merangsang penyerapan lebih cepat. Perendaman adalah prosedur yang sangat lambat untuk mengatasi dormansi fisik, selain itu ada resiko bahwa benih akan mati jika dibiarkan dalam air sampai seluruh benih menjadi permeabel (Schmidt, 2000; Kaewtaphan *et al.*, 2016). Oleh karena itu, perlu diperoleh waktu perendaman yang tidak merusak benih dan dapat membantu pematangan dormansi jika dikombinasikan dengan perlakuan lain. Perlakuan perendaman sering dilakukan untuk meningkatkan perkecambahan benih jati (*Tectona grandis*). Setiadi dan Munawir, (1997) dan Muharis *et al.*, (2022), melaporkan bahwa perendaman dalam air selama 3 hari dapat mematahkan dormansi pada benih jati. Selain itu, perendaman dan pengeringan masing-masing selama 12 jam secara bergantian selama satu minggu merupakan perlakuan yang biasa digunakan Perum Perhutani untuk mempercepat perkecambahan benih jati.

Karena dormansi pada benih kelapa sawit disebabkan oleh keberadaan cangkang yang tebal, maka mekanisme untuk menghilangkan atau mengurangi penghalang fisik tersebut dengan merusak integritas cangkang benih perlu dilaksanakan untuk mendapat daya kecambah yang tinggi. Bewley dan Black (1982) menyatakan bahwa keseluruhan proses perkecambahan melewati tiga fase, yaitu fase I (fase imbibisi), fase II (lag fase) dan fase III (fase pertumbuhan). Dalam fase I air diserap oleh benih, baik benih dorman maupun non dorman, benih viable maupun benih non viable. Proses ini berlangsung karena adanya perbedaan potensial air antara benih dengan air yang sangat besar. Potensi air pada benih kering dapat mencapai -1000 bar, sementara pada air 0 bar. Fase II atau lag fase adalah periode mulai aktifnya metabolisme sebagai persiapan untuk perkecambahan pada benih non dorman. Pada fase III atau fase pertumbuhan hanya terjadi pada benih non dorman yang viable, ditandai dengan munculnya akar dan diikuti dengan proses pembelahan sel yang ekstensif, peningkatan laju penyerapan air dan perombakan cadangan makanan.



Gambar 47. Penyerapan air oleh benih yang sedang berkecambah (sumber. Bewley and Black,1982)

Faktor lingkungan disebut juga faktor luar yang mempengaruhi perkecambahan yakni faktor air, suhu, cahaya, oksigen dan medium (Sadjad, 1975). Terbatasnya oksigen yang dapat dipakai akan menghambat proses perkecambahan benih (Sutopo, 2002; Muharis *et al.*, 2022). Menurut Kamil, (1979) dan Kok *et al.*, (2013), umumnya benih akan berkecambah dalam udara yang mengandung 20% oksigen dan 0,03 % CO₂. Namun untuk benih yang mengalami dormansi perkecambahan terjadi jika oksigen yang masuk kedalam benih ditingkatkan sampai 80% karena biasanya oksigen yang masuk ke embrio kurang dari 3%. Efek pematangan dormansi melalui pemanasan pada akhirnya menjadikan kondisi yang optimal bagi benih untuk tumbuh atau berkecambah dimana oksigen tersuplai dari retaknya dinding kulit biji akibat suhu tinggi (Harjadi, 1975; Alang, 1981; Norsazwan *et al.*, 2016; Norziha *et al.*, 2017).

Sedangkan dilain sisi apabila semakin tinggi suhu pemanasan yang diberikan terhadap benih, akan semakin besar pula kebocoran membran yang terjadi. Disamping itu pemanasan yang sangat tinggi tersebut dapat menyebabkan terjadinya denaturasi protein dari benih, sehingga benih akan menurun. Sebagaimana diungkapkan oleh Sutopo (1998), bahwa pengeringan yang dilakukan pada suhu yang sangat tinggi dapat meningkatkan laju kemunduran viabilitas benih. Hasil penelitian sebagai efek dari perlakuan pemanasan terhadap benih kelapa sawit

pada pemanasan 40, 60 dan 80 hari diperoleh perkecambahan yang terbaik pada pemanasan 60 hari. Sementara pada pemanasan 80 hari dan 40 hari perkecambahan semakin menurun (Beugree *et al.*, 2009).

Kemunduran benih dapat ditunjukkan oleh gejala fisiologis sebagai berikut: (a). Terjadinya perubahan warna benih (b). tertundanya perkecambahan (c) menurunnya toleransi terhadap kondisi lingkungan sub optimum selama perkecambahan (d) rendahnya toleransi terhadap kondisi simpan yang kurang sesuai (e) peka terhadap radiasi, (f) menurunnya pertumbuhan kecambah (g) menurunnya daya berkecambah dan (h) meningkatnya kecambah abnormal. Selanjutnya indikasi biokimia dalam benih yang mengalami kemunduran viabilitas adalah sebagai berikut: (a) Perubahan aktivitas enzim (b) Perubahan laju respirasi (c) Perubahan di dalam cadangan makanan (e) Kerusakan kromosom. Endosperma pada benih kelapa sawit memiliki kandungan cadangan makanan berupa lipid dalam proporsi yang tinggi, sekitar 55% (Kok *et al.*, 2013). Metode mengatasi deteriorasi adalah menekan respirasi benih sehingga cadangan makanan tidak terurai dan tetap tersedia bagi embrio (Suhartanto, 2013).

Gejala fisiologis dipengaruhi pula oleh: (a) Aktivitas enzim menurun : dehidrogenase, glutamate dan karboksilase, katalase, peroksidase, fenolase, amylase, sitokrom oksidase. (b) Respirasi menurun : konsumsi O₂ rendah, produksi CO₂ rendah, produksi ATP rendah. (d) Bocoran metabolit meningkat menjadikan nilai daya hantar listrik meningkat dan glutamate terlarut meningkat. (e) Kandungan Asam Lemak Bebas meningkat yakni lipid asam lemak ditambah gliserol. Benih kapas kandungan asam lemak bebas lebih besar sama dengan 1% sudah tidak mampu berkecambah.

Secara fisiologis pertumbuhan adalah sesuatu yang tidak dapat balik (*irreversible*) maka benih yang sudah dilakukan upaya agar benih berkecambah seyogyanya akan tumbuh dan berkembang menghasilkan kecambah. Benih seperti itu diperkirakan akan memberikan pengaruh terhadap kualitas benih untuk masa selanjutnya. Kualitas yang terbaik terhadap suatu benih adalah pada saat benih berada dalam kondisi masak fisiologis, karena pada saat itu berat kering benih, viabilitas dan vigor benih tertinggi. Setelah masak fisiologis kondisi benih cenderung menurun hingga benih kehilangan daya viabilitasnya dan vigornya

sehingga benih tersebut mati. Proses penurunan kondisi benih setelah masak fisiologis itulah yang disebut sebagai peristiwa deteriorasi atau benih mengalami proses menua. Proses penuaan kondisi benih tidak dapat dihentikan tetapi dapat dihambat. Kemunduran benih yang menyebabkan menurunnya vigor dan viabilitas benih merupakan awal kegagalan dalam kegiatan pertanian sehingga harus dicegah agar tidak mempengaruhi produktivitas tanaman. Sadjad (1994) menguraikan viabilitas benih merupakan daya hidup benih yang dapat ditunjukkan dalam fenomena pertumbuhannya, gejala metabolisme, kinerja kromosom sedangkan viabilitas potensial adalah parameter viabilitas dari sesuatu lot benih yang menunjukkan kemampuan benih menumbuhkan tanaman normal yang berproduksi normal pada kondisi lapang yang optimum.

Proses penuaan atau mundurnya vigor secara fisiologis ditandai dengan penurunan daya berkecambah, peningkatan jumlah kecambah abnormal, penurunan pemunculan kecambah di lapangan, terhambatnya pertumbuhan dan perkembangan tanaman, meningkatnya kepekaan terhadap lingkungan yang ekstrim yang akhirnya dapat menurunkan produksi tanaman (Copeland dan Donald, 1976). Kemunduran benih adalah mundurnya mutu fisiologis benih yang dapat menimbulkan perubahan menyeluruh di dalam benih, baik fisik, fisiologi maupun kimiawi yang mengakibatkan menurunnya viabilitas benih (Sadjad, 1993; Lubis, 2008).

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi viabilitas benih selama penyimpanan dibagi menjadi faktor internal dan eksternal. Faktor internal mencakup sifat genetik, daya tumbuh dan vigor, kondisi kulit dan kadar air benih awal. Faktor eksternal antara lain kemasan benih, komposisi gas, suhu dan kelembaban ruang simpan (Copeland dan Donald, 1976). Faktor internal benih mencakup kondisi sifat fisik dan keadaan fisiologisnya. Benih yang retak, luka dan tergores lebih cepat kemundurannya. Selain itu kelembaban nisbi dan temperatur, kadar air benih mempengaruhi kepada respirasi benih. Menurut Harrington (1972), masalah yang dihadapi dalam penyimpanan benih makin kompleks sejalan dengan meningkatnya kadar air benih. Benih adalah higroskopis sehingga benih akan mengalami kemundurannya tergantung dari tingginya faktor-faktor kelembaban relatif udara dan suhu lingkungan dimana benih disimpan. Kadar air 14% mengakibatkan respirasi tinggi suhu meningkat dan investasi cendawan.

Pemahaman kadar air keseimbangan tak lain karena benih bersifat higroskopis karena itu benih akan menyerap kelembaban dari atau melepaskan kelembaban yang dimilikinya kepada atmosfer di sekelilingnya sampai terjadi suatu keseimbangan antara kadar air benih dengan kelembaban relatif dari atmosfer lingkungan. Jumlah kelembaban dalam benih pada saat keseimbangan itu berkaitan langsung dengan komposisi kimia benih. Kadar air keseimbangan benih berpati dan berminyak berbeda yakni antara benih jagung dan kedelai. Hal ini diterima logika karena minyak atau lemak tidak bercampur dengan air akibatnya pada jagung yang mengandung pati menyerap kadar air lebih tinggi 96% sedangkan benih berminyak seperti kedelai hanya 80%.

3.9.2.6. Perkecambahan Benih Kelapa Sawit

Perkecambahan benih kelapa sawit merupakan suatu rangkaian kompleks dari perubahan-perubahan morfologi, fisiologi dan biokimia. Copeland (1976) dan Kaewtaphan *et al.*, (2016), menyatakan bahwa pada proses perkecambahan terjadi proses imbibisi, aktivasi enzim, inisiasi pertumbuhan embrio, retaknya kulit benih dan munculnya kecambah. Menurut Sadjad (1994), 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, gas, suhu, dan cahaya.

Dormansi juga terjadi pada benih kelapa sawit yang secara alami membutuhkan waktu lama, sekitar 1-3 tahun, untuk berkecambah (Martine *et al.*, 2009; Fondom *et al.*, 2010; Norsazwan *et al.*, 2016; Ravichandran *et al.*, 2016). Klasifikasikan dormansi pada benih kelapa sawit sebagai dormansi fisik yang disebabkan cangkang benih tebal yang menghalangi embrio dari faktor lingkungan pendukung perkecambahan. Benih kelapa sawit sangat sulit untuk berkecambah dan tidak dapat tumbuh serempak, hal ini disebabkan oleh karena benih mempunyai sifat dormansi akibat endokarpnya yang tebal dan keras, bukan disebabkan oleh embrionya yang dorman (Hartley, 1977; Panggabean *et al.*, 2020). Kecedapan kulit benih terhadap air atau gas dapat disebabkan oleh tiap lapisan kulit benih. Dalam banyak kasus misalnya pada leguminosa, kulit luar benih menyebabkan kekedapan.

Pada Semangka dan Mentimun kekedapan terjadi pada membrane nucellus. Pada benih Kopi endokarpnya menyebabkan oksigen sulit masuk kedalam benih (Copeland, 1976; Rahman *et al.*, 2022). Kekedapan dapat juga disebabkan oleh tertimbunnya berbagai senyawa kedap pada testa, perikarp atau membrane nucellus. Timbunan suberin, liginin atau kutin yang tebal banyak terjadi pada kulit benih leguminosa sebagaimana terjadi pada biji tanaman keras lainnya. Timbunan kutin terdapat pada membrane nucellus pada benih family gramineae. Pada benih kacang kutikula kedap terhadap air (Copeland, 1976). Selain itu menurut penelitian Nurmaila (1999), pada tempurung benih kelapa sawit mengandung kadar lignin yang cukup tinggi yaitu 65.70%. Adanya inhibitor tersebut dapat menjadi salah satu penyebab lamanya benih kelapa sawit berkecambah.

Zat penghambat dapat berada dalam kulit benih dan juga di bagian-bagian benih yang lebih dalam, karena sebelumnya zat penghambat tersebut berada dalam daging buah (Sudikno, 1977; Tresniawati *et al.*, 2014). Inhibitor tidak mempengaruhi proses respirasi, tetapi secara tidak langsung mencegah perkecambahan dengan memblockng produksi bahan-bahan yang diperlukan untuk respirasi. Hidrolisis (perombakan) pati dikatalisir oleh enzim amylase. Akibatnya hambatan aktivitas atau ketersediaan enzim amylase menghambat perkecambahan. Perombakan protein di katalisir oleh enzim protease. Perombakan menghasilkan larutan asam amino dan amida. Jika ini dicegah oleh inhibitor seperti coumarin, larutan sumber nitrogen ini tidak terjadi dan mencegah perkecambahan benih. Perombakan lemak menjadi gliserol dan asam lemak pada benih berlemak oleh kerja enzim lipase. Coumarin dapat menghambat perombakan phytin oleh enzim phytase sebagai sumber fosfor inorganik yang menyediakan energi untuk proses perkecambahan benih (Copeland, 1976; Rahayuningtyas *et al.*, 2016; Rahman *et al.*, 2022).

Jika zat penghambat (inhibitor) terdapat dalam kulit benih, maka untuk menghilangkan zat penghambat tersebut, kulit benih dihilangkan. Menghilangkan zat penghambat dapat juga dengan merendam benih dalam air yang secara periodik air perendaman diganti atau benih ditempatkan pada tempat yang airnya mengalir. 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



3.9.3. BAHAN DAN METODE

3.9.3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2023– Januari 2024 (dengan mengambil data perkecambahan tahun 2020-2023) di *Seed Processing Unit* (SPU), Divisi Produksi, Satuan Usaha Strategis Bahan Tanaman, 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.

3.9.3.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah : Benih varietas Simalungun, PPKS 540, PPKS 540 NG, Yangambi, PPKS 239, PPKS 718, Avros, Langkat dan Dumpy.

Penelitian ini adalah implementasi dari varietas hasil serbuk pada tandan benih :

V1	:	Varietas Simalungun (SMB)
V2	:	Varietas PPKS 540
V3	:	Varietas Yangambi
V4	:	Varietas PPKS 239
V5	:	Varietas PPKS 718
V6	:	Varietas Dumpy
V7	:	Varietas Avros
V8	:	Varietas Langkat
V9	:	Varietas PPKS 540 NG

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan tahap-tahap sebagaimana SOP yang berlaku pada sistim perkecambahan PPKS, tidak ada perlakuan :

Pemanenan. Pemanenan tandan benih dilakukan dari pohon induk Dura yang ditanam. Benih yang dipanen adalah benih yang sudah masak fisiologis yaitu umur 4,5-6 bulan setelah penyerbukan, karena pada saat itulah benih memiliki tingkat viabilitas yang optimal.

Chopping dan Detaching. Pemisahan tandan dengan spikelet (Chopping) dilakukan 4-7 hari setelah pemberian ethephone. Chopping ini dilakukan dengan menggunakan mesin. Tandan benih yang sudah diberikan ethephone 4-7 hari (proses fermentasi atau pemeraman) sudah bisa dipipil.

Depericarping. Depericarping adalah proses pemisahan benih dari buah dengan menggunakan alat depericarper. Mesin ini akan bekerja selama 3-5 menit per proses, tergantung keadaan buah yang di-depericarping. Buah yang baik fermentasinya akan semakin cepat di-depericarping. Satu proses depericarping memiliki kapasitas satu tandan.

Perlakuan Benih. Perlakuan benih ini dilakukan setelah benih keluar dari depericarper dan setelah pembersihan sisa-sisa serabut yang menempel pada endokarp dengan menggunakan cutter. Proses ini mencakup pencucian benih dengan detergen cair selama 2-3 menit dengan konsentrasi 10 ml/1 liter air. Pencucian dengan detergen ini untuk membersihkan sisa-sisa mesokarp yang menempel pada benih. Proses akhir dari perlakuan benih ini adalah perendaman dengan larutan fungisida (Dithane M-45) dengan konsentrasi 2-2.5 g/1 liter air selama 3 menit. Pada akhir proses perlakuan benih, dilakukan seleksi benih. Benih-benih yang pecah, putih, terapung, kecil diafkir.

Pengeringan Benih. Benih yang telah direndam dalam larutan fungisida, dikeringanginkan selama 2 hari dengan menggunakan keranjang pengeringan. Pengeringan ini dilakukan dengan menggunakan kipas angin.

Seleksi benih. Setelah benih dikeringanginkan selama 24 jam, dilakukan seleksi benih. Seleksi ini mencakup memilih benih yang sehat, utuh dan memiliki ukuran yang sedang (minimal 0,86 gram). Menurut Lubis (2008), biji putih memiliki cangkang yang putih, lembut, porous, tipis, mudah mengisap air tetapi juga mudah kering dan dimasuki mikroorganisme sehingga biji putih ini tidak baik dijadikan sebagai benih. Setelah seleksi benih dilakukan, benih dikemas dengan menggunakan plastik yang berlubang. Jumlah lubang pada masing-masing plastik adalah 50-55 lubang, dengan diameter lubang 3 mm.

Perendaman-1. Benih yang telah dikeringanginkan selama dua hari dikirim ke Seed Processing Unit (SPU) untuk proses lebih lanjut. Pengiriman ini dilakukan dalam satu hari. Penyimpanan benih setelah sampai di SPU dilakukan pada ruang penyimpanan dengan suhu 18-22°C. Perendaman dalam bak perendaman dilakukan sehari setelah sampai di SPU dan air perendaman diganti setiap hari. Perendaman-1 ini dilakukan selama 5-7 hari, tergantung pada perlakuan. Kantong jaring yang

berlubang kecil-kecil digunakan untuk membungkus benih selama perendaman agar sirkulasi air tetap baik. Tujuan perendaman-1 ini untuk meningkatkan kadar air benih hingga 17-20% serta diharapkan benih yang mengalami kondisi basah kering dapat merusak operculum benih sawit sehingga embrio dapat segera tumbuh melalui germ porm dan mendorong fibre plug keluar.

Pengeringan-1. Benih yang telah direndam pada perendaman-1 diambil kemudian direndam dalam larutan fungisida (Dithane M-45) dengan konsentrasi 2 g/l selama 3 menit. Setelah itu, benih dikeringkan dengan menggunakan rak pengering selama kurang lebih 8-24 jam. Pengeringan ini hanya untuk mengeringkan bagian luar benih, sehingga serangan dari cendawan dapat diminimalkan sedangkan kadar air setelah pengeringan tidak mengalami penurunan. Pengeringan ini dilakukan dengan menggunakan kipas angin yang dipasang sekitar rak pengering.

Pemanasan Benih. Benih yang telah kering dimasukkan ke dalam tray plastik 60 cm x 40 cm. Satu tray plastik berisi 300-750 butir benih. Lama pemanasan benih ini adalah 55-60 hari. Temperatur yang digunakan adalah 38-40°C dengan menggunakan heater yang terkontrol. Alat ini dipasang dalam ruang pemanas. Beberapa kipas angin dipasang terus menerus untuk menyebarkan panas ke seluruh ruang secara merata. Fungsi pemanasan ini diharapkan dapat mematahkan dormansi benih sawit. Setiap minggu kantong plastik dibuka untuk aerasi.

Perendaman-2. Benih direndam di dalam air selama 3 hari. Air perendaman diganti setiap hari untuk menjaga ketersediaan oksigen bagi benih. Kadar air setelah perendaman diharapkan sekitar 20-23%.

Pengeringan-2. Benih direndam dalam larutan fungisida Dithane M-45 dengan konsentrasi 2 g/l selama 3 menit. Setelah itu, benih dikeringanginkan pada rak-rak pengeringan yang dibantu dengan kipas angin. Setelah 3-5 jam, benih dimasukkan ke dalam tray plastik. Benih-benih ini siap untuk dkecambahkan pada ruang inkubasi (ruang pengecambahan).

Inkubasi Benih. Tray plastik yang berisi benih sawit dimasukkan ke dalam ruang pengecambahan. Ruang ini diterangi dengan lampu neon 35 watt serta suhunya dipertahankan sekitar 28-33°C. Seleksi pertama dilakukan setelah 12-14 hari

inkubasi dan seleksi berikutnya setiap 5 hari. Penyemprotan sampai lembab dengan larutan Dithane M-45 0.1-0.2% dilakukan saat optimalisasi jika benih kelihatan kering.

Seleksi Kecambah. Benih yang sudah berkecambah normal dikeluarkan dari ruang perkecambahan. Kriteria kecambah normal yang digunakan (Kriteria di PPKS) adalah :

1. Kecambah normal adalah kecambah yang sudah dapat dibedakan antara radikula dan plumula.
2. Kecambah yang normal berwarna putih kekuning-kuningan.
3. Kecambah sehat dan utuh atau mengalami sedikit kerusakan.
4. Kecambah yang memiliki sudut antara radikula dengan plumula tidak kurang dari 90°

Tolok ukur pengamatan pada percobaan ini adalah :

1. Daya Berkecambah

Pematahan dormansi benih kelapa sawit dilaksanakan dengan DHM sebagaimana dijelaskan oleh Lubis (2008) serta Corley dan Tinker (2016). Daya berkecambah diukur dengan menghitung persentase kecambah normal pada tahap seleksi pertama sampai terakhir. Pengamatan pertama DB kelapa sawit pada percobaan ini dilakukan pada hari ke dua belas setelah benih diletakkan di ruang perkecambahan hingga hari ke- 58 sebagaimana jumlah hari yang berlaku standar bagi proses pengecambahan di PPKS. Benih dianggap berkecambah ketika plumula-radikula sudah bisa dibedakan.

$$DB (\%) = \frac{\sum \text{kecambah normal}}{\text{jumlah benih yang dikecambahkan}} \times 100\%$$

2. Kadar Air (KA)

Pengukuran kadar air (KA) diukur dengan cara benih utuh ditimbang sebelum masuk ke oven (Memmert tipe UNE-800) bersuhu $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ kemudian ditimbang (Sartorius tipe AZ214) selama 24 jam sebagai Berat Basah (BB). Setelah itu, benih dikeluarkan dari oven lalu dimasukkan ke desikator selama 30-45 menit.

Setelah keluar dari desikator, benih ditimbang untuk mendapatkan Berat Kering (BK). Kadar air diukur sebelum perendaman-1 (kadar air awal), dan setelah pengeringan-2 (kadar air masuk inkubasi). Persen kadar air benih dihitung berdasarkan persentase air benih terhadap berat kering benih. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

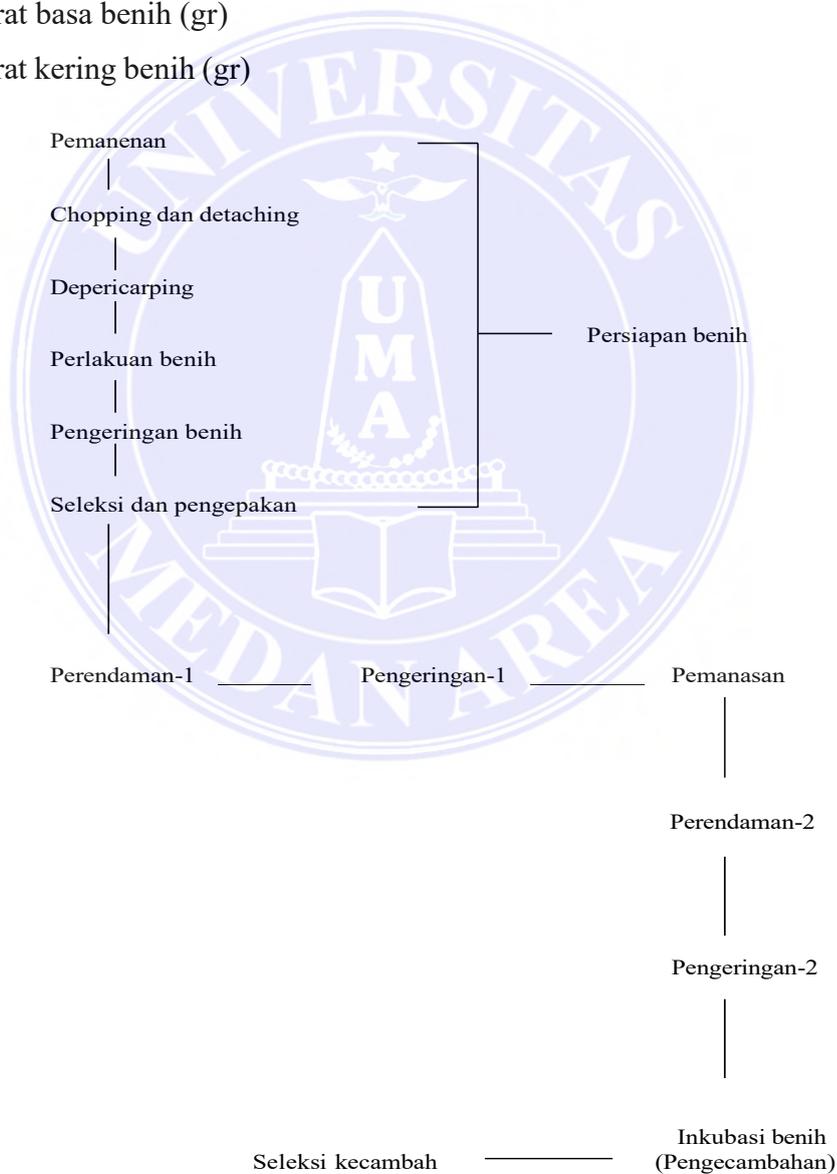
$$KA (\%) = \frac{BB - BK}{BK} \times 100$$

Keterangan :

KA : Kadar air benih (%)

BB : Berat basa benih (gr)

BK : Berat kering benih (gr)



Gambar 48. Alur pelaksanaan penelitian kajian varietas daya berkecambah

3.9.4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Benih kelapa sawit memiliki komponen tambahan yaitu endokarp berupa cangkang yang tebalnya dapat mencapai 2-8 mm, dan mengalami dormansi akibat cangkang yang tebal dan impermeabel terhadap air dan gas (Corley dan Tinker, 2016; Hadi *et al.*, 2017). Tipe yang dikecambahkan adalah benih kelapa sawit tipe Dura karena tipe ini dipercaya lebih penting untuk skala perkebunan dibanding dua tipe lainnya (Corley dan Tinker, 2016). Arif (2023) menyatakan bahwa kemasakan benih dapat diduga secara objektif, salah satunya melalui parameter viabilitas dan vigor benih. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa daya berkecambah (DB) benih semua varietas pada umur panen 4,5 – 6 bulan setelah penyerbukan (BSP) relatif berbeda tergantung kondisi internal dan eksternal benih. Kondisi lingkungan sebagai faktor eksternal yang terjaga dan relatif konstan tersebut memberi pengaruh yang sama terhadap daya kecambah benih sawit. Menurut Kuswanto (1996) perkecambahan benih di pengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal berhubungan dengan kondisi benih yang dikecambahkan, sedangkan faktor eksternal lebih berkaitan dengan lingkungan. Selain itu faktor yang mempengaruhi perkecambahan adalah faktor dalam yang terdiri dari faktor genetik. Gen adalah faktor pembawa sifat menurun yang terdapat di dalam makhluk hidup. Gen dipengaruhi setiap struktur makhluk hidup dan juga perkembangannya, sedangkan hormon adalah suatu senyawa organik yang dibuat pada suatu bagian tanaman dan kemudian diangkut ke bagian lain, yang konsentrasinya rendah dan menyebabkan suatu dampak fisiologi. Faktor lingkungan disebut juga faktor luar yang mempengaruhi perkecambahan yakni faktor air, suhu, cahaya, oksigen dan medium (Sadjad, 1993; Corley dan Tinker, 2016; Hadi *et al.*, 2017).

Benih memiliki kemampuan untuk tumbuh dan berkembang secara maksimal saat benih berada pada kondisi masak fisiologi. Masak fisiologi merupakan kondisi ketika seluruh organ penyusun benih telah terbentuk sempurna sehingga kondisi masak fisiologi dicirikan dengan bobot kering benih berada pada kondisi maksimal. 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; Arif, 2023).

Sedangkan menurut Kartasapoetra, (1996) dan Norsazwan *et al.*, (2016), syarat perkecambahan biji antara lain :

- a. Tersedianya air, bagian biji yang mengatur masuknya air yaitu kulit dengan cara imbibisi dan air masuk dengan cara difusi (perpindahan substansi karena perbedaan konsentrasi) dari kadar air tinggi ke rendah atau konsentrasi larutan rendah ke tinggi. Faktor yang mempengaruhi penyerapan air permeabilitas kulit/membran biji dan konsentrasi air.
- b. Suhu air tinggi energi meningkat, difusi air meningkat sehingga kecepatan penyerapan tinggi.
- c. Tekanan hidrostatik berbanding terbalik dengan kecepatan penyerapan air. Ketika volume air dalam membran biji telah sampai pada batas tertentu akan timbul tekanan hidrostatik yang mendorong keluar biji sehingga kecepatan penyerapan air menurun.
- d. Luas permukaan biji yang kontak dengan air berhubungan dengan kedalaman penanaman biji dan berbanding lurus dengan kecepatan penyerapan air.
- e. Daya intermolekuler merupakan tenaga listrik pada molekul-molekul tanah atau media tumbuh. Makin rapat molekulnya, makin sulit air diserap oleh biji.
- f. Spesies dan varietas berhubungan dengan faktor genetik yang menentukan susunan kulit biji.
- g. Tingkat kemasakan berhubungan dengan kandungan air dalam biji. Apabila biji makin masak maka kandungan air berkurang dan kecepatan penyerapan air meningkat.
- h. Komposisi kimia biji tersusun atas karbohidrat, protein, lemak. Kecepatan penyerapan air : protein > karbohidrat > lemak.
- i. Umur berhubungan dengan lama penyimpanan makin lama disimpan, makin sulit menyerap air.
- j. Tingkat kemasakan benih, benih yang dipanen sebelum tingkat kemasakan fisiologisnya tercapai tidak mempunyai viabilitas yang tinggi karena belum memiliki cadangan makanan yang cukup, serta pembentukan embrio belum sempurna.

Suryawan *et al.*, (2019) berpendapat bahwa mencirikan maksimalnya cadangan makanan bagi embrio yang akan tumbuh dan berkembang sehingga benih

yang dipanen pada kondisi tersebut akan memiliki viabilitas yang tinggi. Pada data pengamatan menunjukkan urutan parameter daya berkecambah tertinggi ke terendah ; varietas DXP 540 (V2 : 84,9%) mendapatkan daya berkecambah tertinggi dan nyata lebih tinggi dibandingkan daya kecambah pada varietas lainnya. Hasil pengamatan juga memperlihatkan terjadi perbedaan daya berkecambah antar-varietas pada tandan yang dipanen matang fisiologis. Daya berkecambah berikutnya diikuti oleh varietas DXP Simalungun (V1 : 81,5%), DXP PPKS 540 NG (V9 : 75,5%), DXP Langkat (V8 : 75,4%), DXP SP-1 (Dumpy) (V6 : 73,4%), DXP 718 (V5 : 72,3), DXP Yangambi (V3 : 68,8%), DXP 239 (V4 : 65,7%), dan menunjukkan daya berkecambah yang nyata lebih tinggi dibanding DXP Avros (V7 : 56,9%). Kecambah yang dipilih ditandai dengan panjang plumula dan radikula total maksimal 2 cm, hal ini didasari apabila benih dikemas di dalam plastik, pada saat perjalanan pengiriman tidak patah plumula dan radikulanya (Ayuningtyas *et al.*, 2022; Yabani *et al.*, 2023). Pemberian identitas benih dibuat oleh Divisi Produksi sebagai Divisi yang mengolah dan memproduksi benih yang berasal dari tandan. Pemberian identitas benih dilakukan pada saat pengiriman dan pengemasan kecambah kepada konsumen. Bentuk dari identitas benih tidak berbeda dengan identitas tandan. Identitas benih terdiri dari kelompok varietas, nomor penyerbukan, nomor registrasi, jumlah kecambah, tanggal dikirim, tanggal pemanasan dan kode pemilih.

Menurut Baskin (1998) dan Kartika *et al.*, (2015), bahwa benih kelapa sawit merupakan salah satu benih yang memerlukan waktu yang cukup lama untuk berkecambah karena benih sawit mempunyai dormansi fisik dan dikombinasikan dengan dormansi fisiologis. Nurmailah (1999) dan Muharis *et al.*, (2022), juga berpendapat bahwa pada cangkang benih sawit memiliki kadar lignin yang tinggi yaitu 65%. Lignin tersebut dapat menjadi penghambat proses respirasi dan imbibisi. Akibatnya, tidak adanya pengaktifan enzim untuk pertumbuhan kecambah. Seperti yang kita ketahui benih kelapa sawit dilindungi oleh cangkang benih yang impermeabel terhadap air dan oksigen (Hadi *et al.*, 2017 dan Maia *et al.*, 2021) menyebabkan tidak tersedianya kedua komponen untuk inisiasi perkecambahan. Daya berkecambah benih kelapa sawit memiliki karakteristik yang berbeda dengan

benih tanaman musiman. Benih kelapa sawit tidak tumbuh secara serempak dan sangat dipengaruhi oleh kondisi ruang perkecambahan (Yabani *et al.*, 2024).

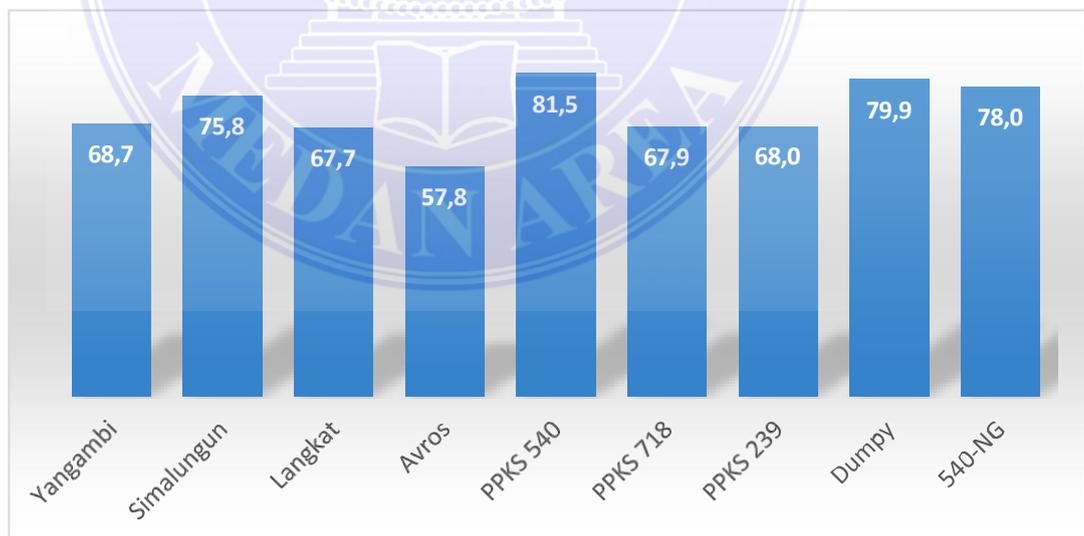


Gambar 49. Persentase daya kecambah benih berdasarkan varietas pada proses perkecambahan

Julyan *et al.*, (2017) memperoleh hasil yang sama dengan adanya perbedaan DB dan potensi tumbuh maksimum antar-varietas kelapa sawit yang diuji dan menyatakan bahwa penyebab perbedaan parameter - parameter fisiologis tersebut adalah perbedaan ukuran benih. Penelitian ini membantah pernyataan Julyan *et al.*, (2017) di atas dengan penggunaan benih yang ukurannya relatif seragam melalui proses penapisan benih di Divisi produksi, seksi Persiapan Benih sebagai mana diatur dalam standar nasional Indonesia (SNI) benih dengan berat benih minimal 0,86 gram/butir. Pendapat lain yang menjelaskan perbedaan parameter fisiologis antar-varietas adalah adanya perbedaan tingkat kematangan tandan akibat perbedaan kebutuhan *thermal unit* pada tiap bahan tanaman dengan latar belakang genetik yang berbeda (Pradiko *et al.*, 2019). Meskipun karakter pohon induk varietas benih PPKS memiliki latar belakang genetik Dura Deli, namun karakter tersebut berasal dari lini turunan yang spesifik. Pohon induk varietas DxP PPKS 540 adalah Dura Deli yang berasal dari lini PA131D *self* dan TI221D x GB30D dengan daya gabung aditif (SK Mentan 2007), pohon induk varietas DxP Langkat dan DxP Yangambi adalah Dura Deli dengan daya gabung dominan (SK Mentan 2003, SK Mentan 1985), sedangkan pohon induk varietas DyxP SP-1 (Dumpy) adalah Dura Dumpy yang merupakan mutasi dari Dura Deli (SK Mentan 1984). Lebih lanjut Amal *et al.*, (2021) menjelaskan ragam aditif tetua jantan lebih besar

dari tetua betina menunjukkan bahwa keragaman keturunan lebih disebabkan oleh tetua jantan. Ragam dominan berbeda nyata untuk sifat berat tandan dan rendemen, menunjukkan bahwa terdapat *elit inbreed* pada populasi tetua.

Daya berkecambah (DB) suatu lot benih sangat penting diketahui untuk memberi gambaran persentase pertumbuhannya setelah proses pematangan dormansi. Untuk produsen benih kelapa sawit, daya berkecambah mencerminkan jumlah benih yang dapat dijual, karena benih kelapa sawit dijual dalam bentuk kecambah normal. Pengecambahan benih kelapa sawit tanpa perlakuan sebelum pengecambahan dapat menghasilkan perkecambahan sekitar 50% dalam waktu 6 bulan (Fauzi *et al.*, 2002), 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% dari total benih. Sementara Hussey (1958) dalam Corley (1976; 2016) menyatakan bahwa dormansi benih sawit tidak disebabkan oleh embrionya tetapi akibat inti yang akan tetap dorman hingga 6 bulan, dormansi ini dapat diatasi dengan pemanasan pada suhu 40°C selama 60 hari.



Gambar 50. Rata-rata persentase daya kecambah benih berdasarkan varietas pada proses perkecambahan

Rerata daya berkecambah (DB) benih kelapa sawit tertinggi diperoleh pada Varietas DxP 540 (81,5%), dan terendah pada Varietas Avros (57,8%), (lama

perendaman (I) 5-7 hari, perendaman (II) 3 hari dan lama pemanasan 55-60 hari. Daya berkecambah yang tinggi ini diduga karena pengaruh kadar air benih yang optimum sebelum dikecambahkan, lama pemanasan yang tidak terlalu lama (55-60 hari) dan perlakuan yang optimum selama pengecambahan. Pada penelitian ini, daya berkecambah dipengaruhi dengan nyata oleh faktor lama pemanasan, kadar air dan lama perendaman. Menurut Haryani (2005) dan Muharis *et al.*, (2022) yang menyatakan bahwa lama pemanasan yang efektif untuk memecahkan dormansi benih kelapa sawit adalah 60 hari. Faktor lain yang berpotensi menjadi penyebab rendahnya DB benih kelapa sawit adalah kerusakan benih yang terjadi saat proses pematangan dormansi berlangsung. Pada proses pematangan dormansi benih kelapa sawit, kerusakan membran sel benih dapat terjadi akibat laju aliran air antara benih dan lingkungannya yang disebabkan perbedaan tekanan air. Rendahnya kadar air benih kelapa sawit yang telah disimpan selama waktu tertentu (Arif dan Sihombing, 2015; Arif, 2023), sedangkan proses kedua DHM diawali dengan perendaman benih di air mengalir (Corley dan Tinker, 2016), dikhawatirkan terjadi kerusakan membran sel pada benih kelapa sawit yang akan dikecambahkan akibat laju aliran air yang kuat dari area bertekanan air tinggi ke benih yang memiliki tekanan air yang rendah (Rachmawati, 2009; Fitriasa, 2015), sebagaimana konsep *moisture equilibrium* yang disampaikan oleh Copeland dan McDonald (2001).

Tabel 31. Lama pemanasan terhadap kadar air benih kelapa sawit

Varietas/Grup	Lama Pemanasan (hari)	Kadar Air (%)	
		I	II
DxP Langkat	55	17	19
DxP PPKS 540, Avros, SMB		17	20
DyxP SP-1 (Dumpy)		20	21
DxP Yangambi, 239, 718		18	22
DxP Langkat	60	16	19
DxP PPKS 540, Avros, SMB		19	20
DyxP SP-1 (Dumpy)		19	22
DxP Yangambi, 239, 718		20	21

Sumber : PPKS (2023)

Awal proses pematangan dormansi benih kelapa sawit dengan DHM berupa perendaman benih dalam air mengakibatkan terjadinya peningkatan kadar air secara

cepat, khususnya pada benih yang memiliki kadar air awal rendah. Pergerakan massa air dari lingkungan ke dalam benih dapat mengakibatkan kerusakan membran sel penyusun benih yang akan menyebabkan rendahnya daya berkecambah (Mangoni *et al.*, 2004; Rasooli *et al.*, 2006). Metode ini terbukti meningkatkan daya berkecambah, laju perkecambahan, dan pertumbuhan bibit di lapangan (Ilyas, 2006) pada benih dari banyak spesies, seperti kedelai (Mariani, 2021), biji Chia (Witkovski *et al.*, 2022), dan benih selada (Takahata *et al.*, 2008).

Dari tabel 29 dapat dilihat lama pemanasan 55-60 hari memiliki kadar air 16-20% (perendaman I), dan 19-22% (perendaman II) setelah keluar dari pemanas. Kadar air benih kelapa sawit yang cenderung stabil mengindikasikan masak fisiologi benih. Peningkatan kadar air benih secara bertahap selama perendaman dan pemanasan masih memperlihatkan pola kenaikan diduga karena benih kelapa sawit dikelilingi oleh cangkang yang tebal (Corley dan Tinker, 2016). Hal serupa ditemukan oleh Tresniawati *et al.*, (2014) pada benih Kemiri Sunan (*Reutealis trisperma*) dan Ilham (2015) pada benih aren (*Arenga pinnata* (Wurmb.) Merr.). Menurut Adiguno (1998), kadar air benih kelapa sawit selama di pemanas tidak kurang dari 18%, sehingga viabilitasnya dapat dipertahankan. Kadar air benih menurun dengan semakin lamanya benih di ruang pemanas karena kondisi ruang pemanas yang memiliki suhu tinggi (39-40°C) serta kelembaban yang relatif rendah. Hal ini dapat menyebabkan kadar air benih dapat menurun walaupun benih berada dalam tray plastik yang tertutup. Secara umum, suhu dan kelembaban merupakan dua parameter yang saling berbanding terbalik (Nasrullah *et al.*, 2015, Rahayuningtyas dan Kuala, 2016).

Proses pengecambahan benih kelapa sawit di Pusat Penelitian Kelapa Sawit dengan daya berkecambah tertinggi 84,9%. Proses pengecambahan benih kelapa sawit di PPKS yaitu dengan lama perendaman 7-3 hari dan lama pemanasan 55-60 hari. Menurut Chaerani (1992) dan Arif, (2023) apabila kadar air benih kelapa sawit kurang dari 17% maka benih akan kekeringan dan dapat merusak embrio. Selain itu, kemunduran benih yang disebabkan oleh penuaan (kemunduran kronologis) tidak dapat dihindarkan, merupakan faktor lain penyebab menurunnya viabilitas benih kelapa sawit selama di pemanas. Optimalisasi benih saat di ruang pemanas dan inkubasi sangat penting dilakukan dengan tepat. Selama benih di ruang

pemanas, setiap satu minggu benih harus dilakukan optimalisasi dengan membuka tray plastik yang berisi benih, diserak dan dianginkan selama 3-5 menit sehingga terjadi aerasi. Selain itu, benih yang terserang cendawan dikeluarkan dari tray plastik lalu diafkir (dilengkapi berita acara pengafkiran). Oksigen sangat dibutuhkan oleh benih untuk respirasi. Oleh karena itu, jika tidak dilakukan penganginan setiap minggu maka dapat menurunkan viabilitas benih dengan cepat. Ketersediaan oksigen bagi benih yang tidak cukup dapat menyebabkan respirasi anaerob.

Tahap pengeringan benih perlu dilakukan dengan tepat. Pengeringan yang dibantu dengan kipas angin dapat menyebabkan kekeringan benih yang tidak merata. Kekeringan yang tidak merata ini dapat terjadi jika jarak antara kipas angin dengan benih yang dikeringkan tidak seragam dengan benih lainnya. Benih yang terlalu dekat dengan kipas angin akan cepat kering dibanding dengan benih yang jauh dari kipas angin. Selain itu, jumlah benih per wadah pengeringan juga mempengaruhi kecepatan pengeringan benih. Benih yang terlalu banyak jumlahnya per wadah pengeringan akan menumpuk sehingga benih pada bagian bawah akan butuh waktu yang lebih lama pengeringannya jika tidak diadakan pengadukan yang tepat dan merata (Julyan *et al.*, 2017; Setiawan, 2017).

Pengeringan pada proses pengecambahan benih kelapa sawit (pengeringan setelah perendaman 1 dan 2) hanya berguna untuk mengeringkan bagian permukaan dari benih sawit. Pengeringan ini diharapkan tidak menurunkan kadar air benih. Pengeringan dihentikan jika terlihat permukaan benih sudah tidak basah. Benih yang terlalu basah akan rentan dengan serangan cendawan sedangkan benih yang terlalu kering dapat menurunkan kadar air benih. Kadar air yang turun setelah pengeringan akan menurunkan manfaat dari perendaman yaitu untuk meningkatkan kadar air benih sampai kadar air yang diinginkan. Pengeringan yang terlalu kering saat sebelum masuk inkubasi dapat menyebabkan benih tidak dapat berkecambah pada seleksi pertama dan bahkan mengurangi persentase daya berkecambah dari lot benih. Jumlah benih per kantong tray saat benih di pemanas dan di inkubasi juga diduga mempengaruhi viabilitas benih sawit.

Dengan tipe intermediat, kadar air (KA) benih kelapa sawit hendaknya dipertahankan pada level tertentu. Bewley dan Black (1982) dan Arif, (2023)

menyatakan bahwa penurunan kadar air pada benih rekalsitran dapat mengakibatkan pengeringan di bagian embrio sehingga menekan aktifitas ribosom dalam mensintesa protein, sehingga viabilitas benih dapat menurun. Selanjutnya, Anshory (1999) dan Norsazwan *et al.*, (2016) menambahkan bahwa penurunan kadar air dapat menyebabkan kerusakan membran sel, sehingga terjadi kebocoran metabolit seperti gula, fosfat dan kalium yang berakibat menurunkan viabilitas benih.

Daya berkecambah merupakan tolok ukur viabilitas potensial yang merupakan simulasi dari kemampuan benih untuk tumbuh dan berproduksi normal dalam kondisi optimum (Arif, 2023; Yabani *et al.*, 2023). Uji perkecambahan dapat digunakan untuk mengetahui kemampuan benih berkecambah maksimum pada kondisi optimum. Kecepatan tumbuh benih sangat terkait dengan persentase daya berkecambah benih. Perkecambahan benih merupakan suatu rangkaian perubahan-perubahan morfologi, fisiologi dan biokimia sebagaimana dikemukakan oleh Copeland & Mc Donald (2001) yang menyatakan bahwa perkecambahan benih secara fisiologi muncul dan berkembangnya struktur-struktur dari embrio benih sampai dengan akar menembus kulit biji.

Persentase daya berkecambah benih merupakan jumlah proporsi benih-benih yang telah menghasilkan perkecambahan dalam kondisi dan periode tertentu. Persentase kecambah normal yang dapat dihasilkan oleh benih murni pada kondisi yang menguntungkan dalam jangka waktu yang sudah ditetapkan. Bila daya uji kecambah benih memberikan hasil yang negatif maka perlu diadakan usaha lain untuk mengetahui faktor apakah yang mengakibatkan kegagalan perkecambahan. Prosedur uji daya kecambah benih dilakukan dengan menjamin agar lingkungan menguntungkan bagi perkecambahan seperti ketersediaan air, cahaya, suhu dan oksigen. Daya kecambah benih memberikan informasi kepada pemakai benih akan kemampuan benih tumbuh normal menjadi tanaman yang berproduksi wajar dalam kondisi biofisik lingkungan yang optimal.

Kecepatan Tumbuh (KCT) merupakan tolok ukur dari vigor kekuatan tumbuh suatu lot benih. Berdasarkan informasi dari PPKS bahwa KCT diduga dipengaruhi dengan sangat nyata oleh lama perendaman, kadar air, lama pemanasan, dan tingkat kematangan fisiologis benih. Lama perendaman sangat mempengaruhi tingkat

kadar air benih yang direndam. Standar kadar air benih kelapa sawit setelah perendaman-1 adalah 17-20%, setelah perendaman-2 (masuk inkubasi) 20-22% dan selama benih sawit di ruang pemanas kadar airnya dipertahankan sekitar 18% (PPKS, 2023).

Lama perendaman berpengaruh sangat nyata terhadap daya kecambah benih karena diduga dengan lama perendaman yang dilakukan dapat mendapatkan kadar air yang tepat untuk mengaktifkan metabolisme benih. Enzim-enzim hidrolase akan aktif dalam menghidrolisis cadangan makan dalam benih (endosperm) jika air dalam benih cukup tersedia. Hal ini akan memacu perkecambahan embrio dalam benih yang akhirnya akan menembus testa atau kulit benih dan muncul melalui germ porm (Kelanaputra *et al.*, 2018).

3.9.5. KESIMPULAN

Daya Berkecambah (DB) benih kelapa sawit tertinggi diperoleh pada Varietas DxP 540 (V2 : 84,9%). Kadar air (KA) benih kelapa sawit yang cenderung stabil mengindikasikan masak fisiologi benih. Daya berkecambah benih dipengaruhi oleh faktor lama pemanasan, kadar air, lama perendaman dan karakteristik sumber pohon induk. Daya berkecambah yang tinggi diperoleh dari lama pemanasan 55-60 hari dan pergantian oksigen, sesuai prosedur standar pengecambahan yang diterapkan selama ini.

Pematahan dormansi merupakan kegiatan untuk mematahkan sifat dorman yang terdapat pada benih, tahapan kegiatan pematahan dormansi terdiri dari, perendaman yang dilakukan dua tahap, pemanasan dan pengeringan. Perkecambahan merupakan kegiatan mengecambahkan benih menjadi kecambah siap tanam, tahapan kegiatan perkecambahan yaitu penyiraman, dan pemilihan kecambah.

IV. PEMBAHASAN UMUM

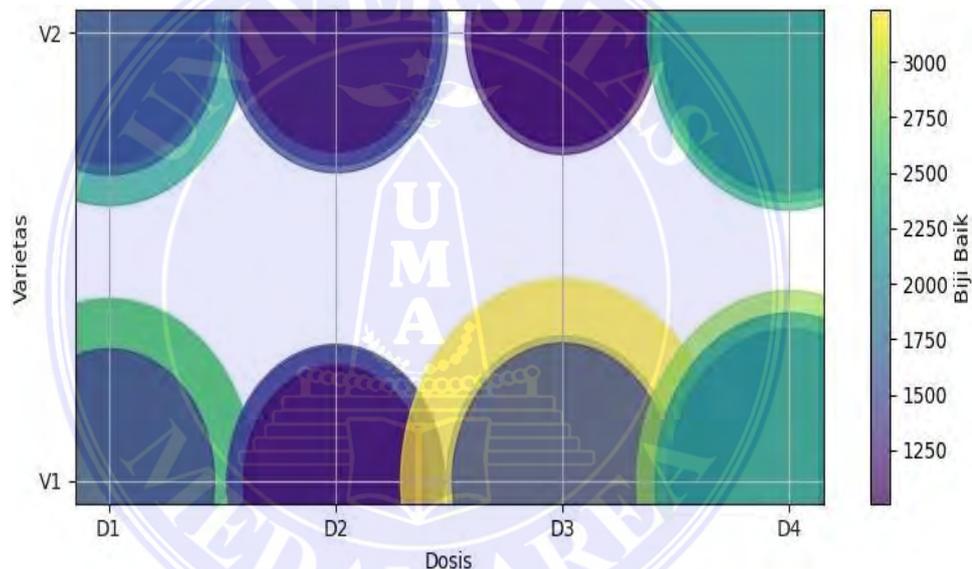
Pemanenan tandan benih harus dilakukan saat masak fisiologi untuk memperoleh benih dengan viabilitas awal yang tinggi. Pemanenan terlalu dini dapat mengakibatkan belum lengkapnya struktur embrio atau belum maksimalnya cadangan makanan (*endosperma*) yang akan mendukung perkembangan embrio menjadi individu 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.

Secara visual kondisi masak fisiologi terlihat oleh tingginya proporsi warna matang pada eksokarp serta keberadaan buah yang rontok dari tandannya. Peningkatan proporsi warna matang pada eksokarp menunjukkan semakin tingginya kandungan karotenoid pada buah kelapa sawit dan menjadi salah satu parameter penyebab penyebaran benih dengan manusia sebagai vektor (*antropokori*) melalui pemanenan tandan. Keberadaan buah yang rontok dari tandannya juga menjadi penciri kondisi masak fisiologi dengan selesainya akumulasi cadangan makanan dalam biji sehingga tanaman memisahkan buah dan biji tersebut melalui mekanisme penuaan (*senescence*) pada jaringan penghubung (*feniculus*) antara buah dan tanaman induknya. Berdasarkan parameter-parameter tersebut varietas kelapa sawit yang menunjukkan waktu masak fisiologi yang berbeda. Hal tersebut diduga karena karakter pohon induk dari varietas tandan benih PPKS memiliki latar belakang genetik Dura Deli, namun karakter tersebut berasal dari lini turunan yang spesifik. Pohon induk varietas DxP PPKS 540 adalah Dura Deli yang berasal dari lini PA131D *self* dan TI221D x GB30D dengan daya gabung aditif (SK Mentan 2007), pohon induk varietas DxP Langkat dan DxP Yangambi adalah Dura Deli dengan daya gabung dominan (SK Mentan 2003, SK Mentan 1985), sedangkan pohon induk varietas DyxP SP-1 (Dumpy) adalah Dura Dumpy yang merupakan mutasi dari Dura Deli (SK Mentan 1984).

Variasi jumlah tandan benih yang dipanen umumnya dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu perubahan perkembangan bunga, variasi jenis kelamin bunga dan bunga aborsi pada fase awal perkembangan bunga. Ketiga faktor tersebut selain dikendalikan oleh faktor genetik, umur tanaman dan kultur teknis.

Dalam produksi benih unggul 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 terdapat pada benih yang dihasilkan, berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) benih bina 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.

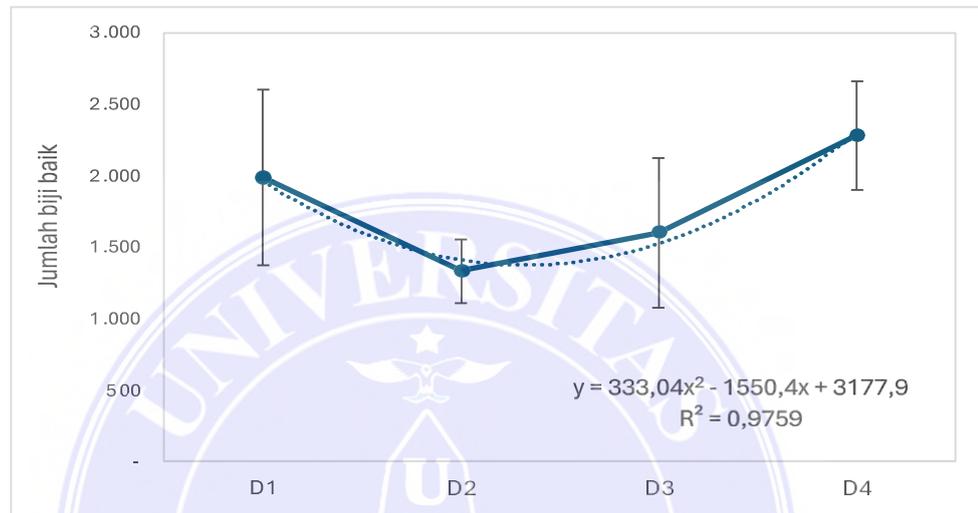
Secara umum, data penelitian tandan benih kelapa sawit pada tanaman Blok 2005 dan Blok 2007 menunjukkan perolehan benih lebih tinggi dibandingkan dengan tahun sebelumnya.



Gambar 51. Pengaruh interaksi perlakuan sumber polen dan dosis terhadap pembentukan biji baik.

Hasil analisis di atas menunjukkan dosis memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah biji baik, sementara sumber polen dan interaksinya dengan dosis tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap jumlah biji baik. Dari 8 interaksi, V1D1 menunjukkan median 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 (Gambar 51 dan 52).

Dari data di atas juga dapat 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 (polen) yang digunakan kompatibel.



Gambar 52. Model pendugaan linear terhadap jumlah biji baik berdasarkan dosis polen.

4.1. K-Means Clustering

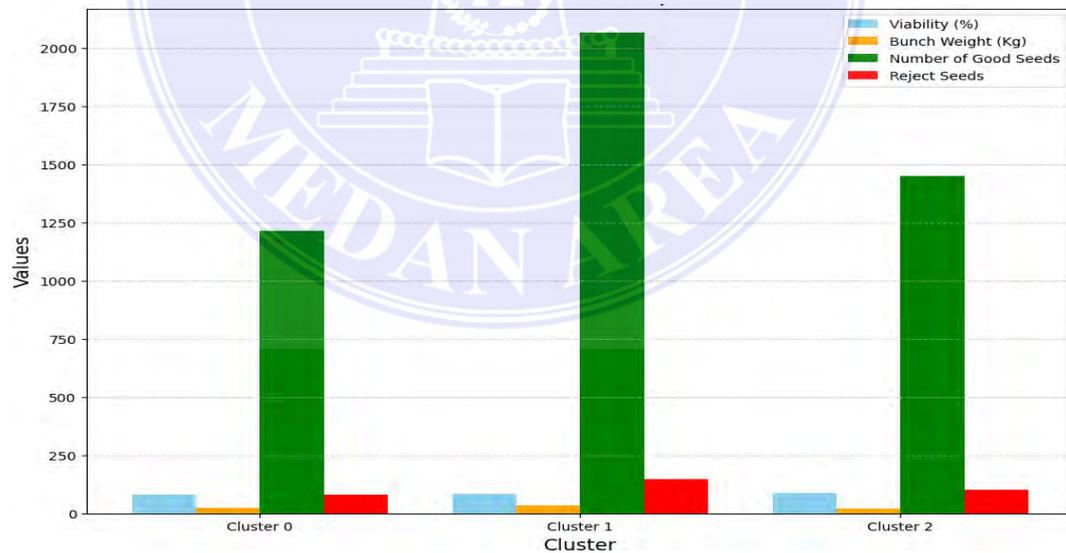
Penerapan K-Means Clustering untuk mengelompokkan data berdasarkan variabel-variabel kunci dapat dilihat pada tabel 32. Tabel Cluster Centers menunjukkan karakteristik utama dari tiga kluster terbentuk berdasarkan hasil analisis K-Means pada data produksi benih kelapa sawit. Setiap kluster memiliki nilai rata-rata untuk variabel kunci, yaitu viabilitas (%), berat tandan (kg), jumlah biji baik (butir), dan biji afkir (butir), yang menggambarkan fokus dan performa masing-masing kluster, dimana :

- Cluster 0 memiliki viabilitas polen sebesar 81.27%, bobot tandan 22.29 kg, jumlah biji baik 1.214,02 butir, dan biji afkir 79,17 butir. Kluster ini menunjukkan keseimbangan baik antara viabilitas polen dan jumlah biji baik yang dihasilkan, dengan tingkat biji afkir relatif rendah. Hal ini menunjukkan bahwa Cluster 0 fokus pada efisiensi produksi biji dengan kualitas yang tetap terjaga.

- b. Cluster 1 memiliki viabilitas polen sebesar 81.93%, bobot tandan tertinggi di antara semua klaster sebesar 35,86 kg, jumlah biji baik 2.066,24 butir, dan biji afkir tertinggi sebesar 145,86 butir. Klaster ini fokus pada meningkatkan kuantitas, baik dari bobot tandan maupun jumlah biji baik, namun dengan kompromi pada kualitas, terlihat dari tingginya tingkat biji afkir.
- c. Cluster 2 memiliki viabilitas polen tertinggi sebesar 85.40%, bobot tandan terendah sebesar 21,25 kg, jumlah biji baik 1.450 butir, dan biji afkir sebesar 100,42 butir. Klaster ini menunjukkan prioritas pada viabilitas polen dan kualitas biji yang lebih baik, meskipun dengan bobot tandan yang lebih rendah. Cluster 2 berfokus pada keseimbangan antara kualitas biji baik dan tingkat biji ditolak yang lebih terkendali.

Tabel 32. Cluster Centers

Cluster	Viability (%)	Berat Tandan (Kg)	Biji Baik (btr)	Biji Afkir (btr)
0	81.27	22.29	1214.02	79.17
1	81.93	35.86	2066.24	145.86
2	85.40	21.25	1450.00	100.42



Gambar 53. Visualisasi Cluster Center

Performa klaster ditunjukkan pada tabel 33, tabel ini menyajikan performa masing-masing klaster terbentuk dari hasil analisis K-Means berdasarkan variabel utama seperti viability (%), berat tandan (kg), jumlah biji baik (butir), biji afkir

(butir), jumlah data dalam setiap klaster, dan Silhouette Score mengukur kualitas klasterisasi, dimana :

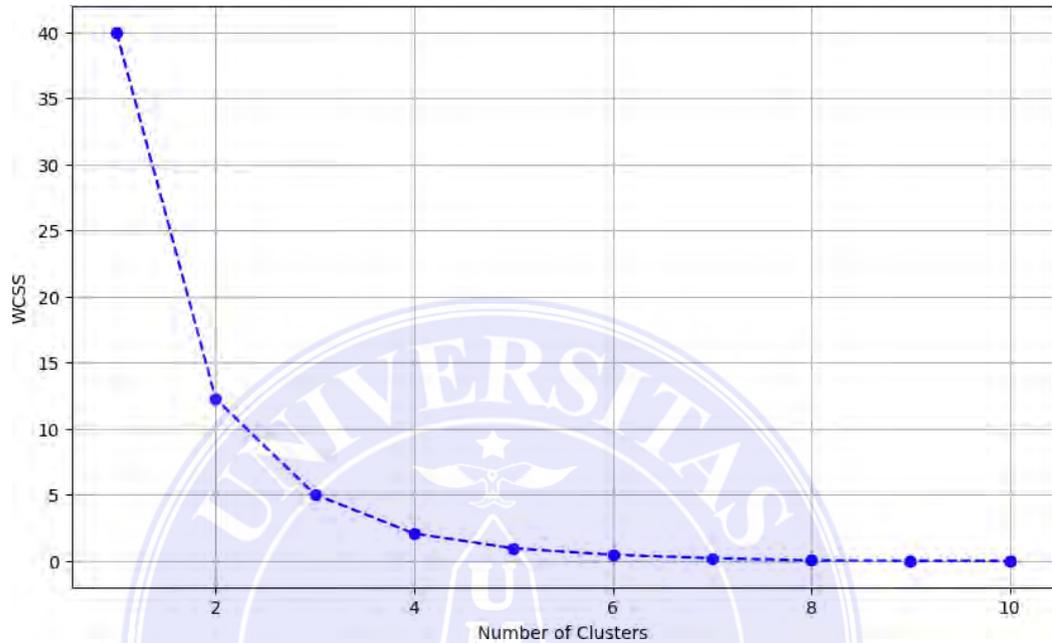
- Cluster 0 memiliki viabilitas polen sebesar 81.27%, bobot tandan 22.29 kg, jumlah biji baik 1.214,02 butir, dan biji afkir 79.17 butir. Klaster ini berisi 50 data poin dengan Silhouette Score 0.45, menunjukkan bahwa klaster ini memiliki pemisahan yang cukup baik, dengan fokus pada keseimbangan antara kualitas dan jumlah biji baik serta tingkat biji afkir relatif rendah.
- Cluster 1 menampilkan viabilitas polen sebesar 81.93%, dengan bobot tandan tertinggi di antara klaster lainnya sebesar 35.86 kg dan jumlah biji baik tertinggi sebesar 2.066,24 butir. Namun, klaster ini juga memiliki biji afkir tertinggi, yaitu 145,86 butir. Klaster ini terdiri dari 45 data poin dan memiliki Silhouette Score 0.38, merupakan terendah di antara semua klaster, menunjukkan bahwa pemisahan klaster ini kurang optimal, kemungkinan karena fokus lebih besar pada kuantitas produksi dengan mengorbankan kualitas.
- Cluster 2 menunjukkan viabilitas polen tertinggi di antara semua klaster sebesar 85.40 %, dengan bobot tandan terendah sebesar 21.25 kg, dan jumlah biji baik cukup tinggi yaitu 1.450 butir, serta biji afkir sebesar 100.42 butir. Klaster ini berisi 55 data poin dan memiliki Silhouette Score tertinggi sebesar 0.52, menunjukkan bahwa klaster ini memiliki pemisahan terbaik dan paling homogen, dengan fokus pada viabilitas dan kualitas biji lebih baik dibandingkan dengan klaster lainnya

Tabel 33. Performa Klaster menggunakan WCSS

Cluster	Viabilitas (%)	Berat Tandan (Kg)	Biji Baik (btr)	Biji Afkir (btr)	Jumlah Data	Silhouette Score
0	81.27	22.29	1.214,02	79,17	50	0.45
1	81.93	35.86	2.066,24	145,86	45	0.38
2	85.40	21.25	1.450,00	100,42	55	0.52

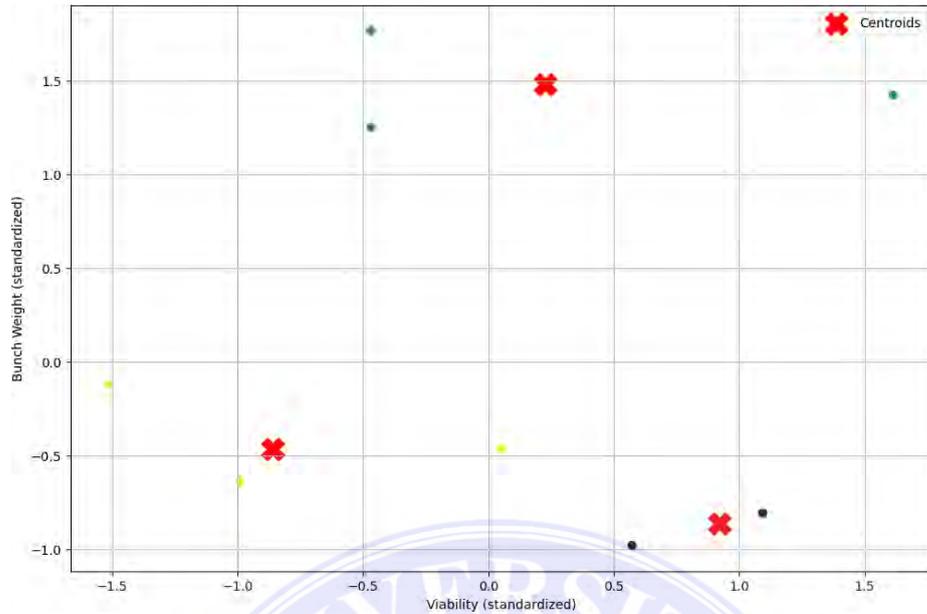
Gambar 54 adalah grafik Elbow Method berdasarkan tabel 33 digunakan untuk menentukan jumlah klaster optimal dalam analisis K-Means clustering. Grafik ini menunjukkan hubungan antara jumlah klaster (sumbu X) dan nilai Within-Cluster

Sum of Squares (WCSS) (sumbu Y), mengukur seberapa baik data dalam setiap kluster terkelompokkan. Tujuan Elbow Method menemukan keseimbangan antara jumlah kluster digunakan dan kualitas klusterisasi dihasilkan. Titik Elbow menunjukkan jumlah kluster optimal memberikan klusterisasi baik.



Gambar 54. Grafik Elbow Method

Gambar 55 merupakan visualisasi hasil dari K-Means clustering di mana data dikelompokkan berdasarkan kesamaan dua variabel utama terstandarisasi. Posisi centroid memberikan gambaran tentang pusat karakteristik dari masing-masing kluster, dan distribusi data menunjukkan kesesuaian dengan kluster yang dihasilkan.



Gambar 55. K-Means Clustering Result

4.2. Model Optimasi

Selanjutnya, kita akan menerapkan rumus optimasi baru pada tiap kluster untuk melihat bagaimana setiap kluster dapat dioptimalkan berdasarkan tujuan berbeda, hasil dapat dilihat pada tabel 34. Tabel ini menunjukkan hasil analisis yang dihitung berdasarkan rumus optimasi. Tabel ini membantu mengidentifikasi performa masing-masing kluster serta efektivitas strategi optimasi, dimana :

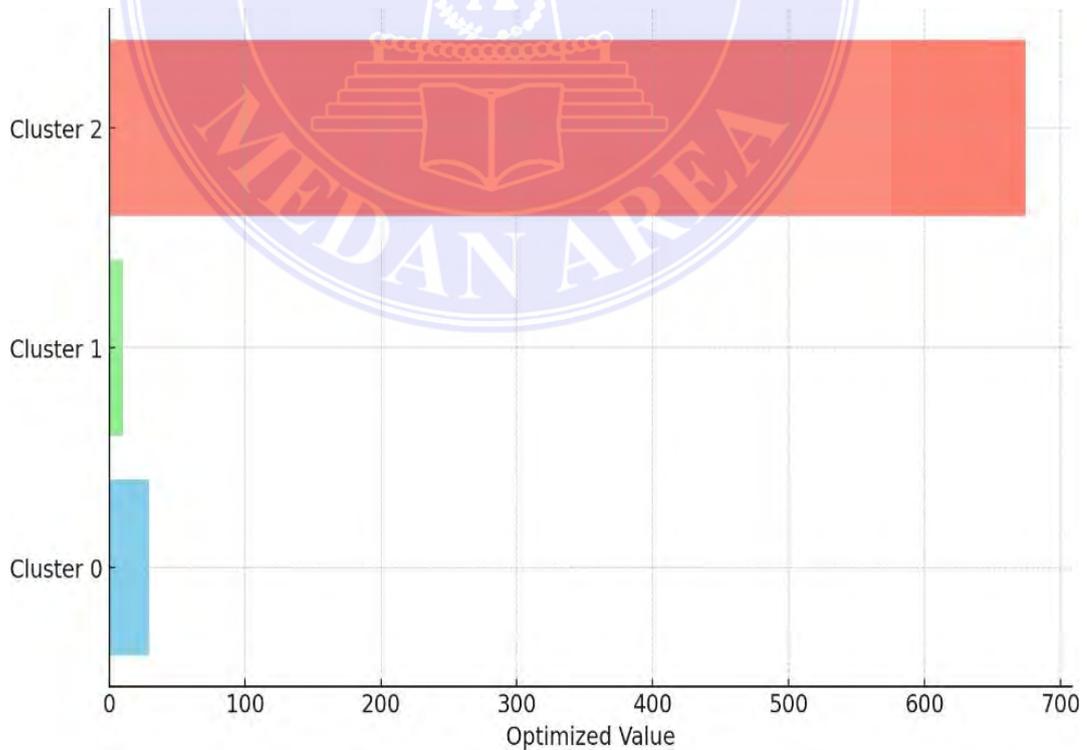
- a. Cluster 0 memiliki viabilitas polen sebesar 81.27%, bobot tandan 22.29 kg, jumlah biji baik 1.214,02, dan biji afkir 79.17 butir. Kluster ini menghasilkan Optimized Value sebesar 29.45, menunjukkan bahwa meskipun kluster ini memiliki keseimbangan baik antara viabilitas polen dan jumlah biji baik dengan biji afkir rendah, nilai optimasinya tidak terlalu tinggi. Ini menunjukkan potensi untuk meningkatkan efisiensi lebih lanjut dengan strategi optimasi lebih baik.
- b. Cluster 1 menunjukkan viabilitas polen sebesar 81.93%, bobot tandan tertinggi di antara semua kluster sebesar 35.86 kg, dan jumlah biji baik tertinggi sebesar 2.066,24 butir, namun dengan biji afkir tertinggi sebesar 145.86 butir. Kluster ini memiliki Optimized Value paling rendah yaitu 10.20, menandakan bahwa meskipun fokus kluster ini pada kuantitas produksi, tingginya biji afkir dan bobot tandan tidak berkontribusi positif terhadap nilai optimasi, menunjukkan kebutuhan akan perbaikan dalam pengelolaan biji afkir.

- c. Cluster 2 memiliki viabilitas polen tertinggi sebesar 85.40%, bobot tandan terendah sebesar 21.25 kg, jumlah biji baik sebesar 1.450,00 butir, dan biji afkir 100.42 butir. Klaster ini mencatatkan Optimized Value tertinggi sebesar 674.56, menandakan bahwa fokus pada viabilitas polen dan keseimbangan antara kualitas biji baik dan biji afkir menghasilkan klaster dengan performa optimasi terbaik. Hal ini menunjukkan bahwa strategi menekankan pada kualitas polen dan pengendalian biji afkir memberikan dampak positif terhadap hasil optimasi.

Tabel 34. Cluster Optimized Means

Cluster	Viabilitas (%)	Berat Tandan (kg)	Biji Baik (btr)	Biji Afkir (btr)	Nilai Optimal
0	81.27	22.29	1.214,02	79.17	29.45
1	81.93	35.86	2.066,24	145.86	10.20
2	85.40	21.25	1.450,00	100.42	674.56

Visualisasi dapat dilihat pada gambar 57.



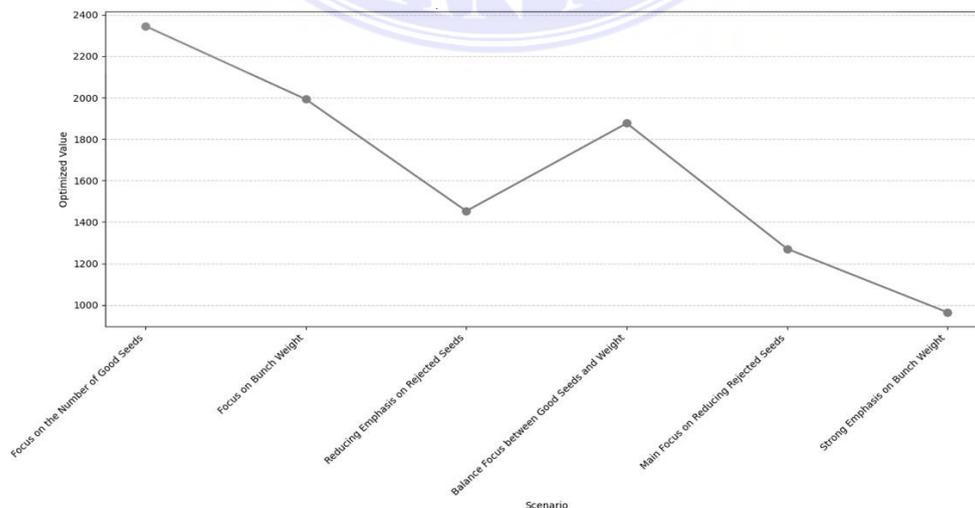
Gambar 56. Pengoptimalan berdasarkan klaster

4.3. Pengoptimalan Berdasarkan Skenario Pembobotan

Setiap skenario merepresentasikan fokus optimasi berbeda, baik meningkatkan jumlah biji baik, memaksimalkan bobot tandan atau mengurangi biji afkir. Bobot ini digunakan dalam rumus optimasi untuk menghasilkan nilai menunjukkan performa setiap klaster dalam skenario tersebut. Hasil dari skenario menggunakan pembobotan model optimasi dapat dilihat pada tabel 35 dan visualisasi dapat dilihat pada gambar 57.

Tabel 35. Hasil Optimasi Berdasarkan Pembobotan Skenario

Skenario	w ₁	w ₂	w ₃	Nilai yang Dioptimalkan
Fokus pada Jumlah Benih yang Baik	2	1	0.5	$(2 \times 1214.02) + (1 \times 22.29) - (0.5 \times 79.17) = 2345.17$
Fokus pada Berat Tandan	1	2	1	$(1 \times 2066.24) + (2 \times 35.86) - (1 \times 145.86) = 1992.10$
Mengurangi Penekanan pada Benih yang Afkir	1	1	0.2	$(1 \times 1450.00) + (1 \times 21.25) - (0.2 \times 100.42) = 1452.83$
Fokus Keseimbangan antara Benih yang Baik dan Berat	1.5	1.5	0.5	$(1.5 \times 1214.02) + (1.5 \times 22.29) - (0.5 \times 79.17) = 1876.45$
Fokus Utama pada Pengurangan Benih yang Afkir	1	1	2	$(1 \times 1450.00) + (1 \times 21.25) - (2 \times 100.42) = 1270.41$
Penekanan Kuat pada Berat Tandan	0.5	2	1	$(0.5 \times 2066.24) + (2 \times 35.86) - (1 \times 145.86) = 964.17$



Gambar 57. Optimasi Berdasarkan Pembobotan

Berdasarkan hasil optimasi dari pembobotan ditunjukkan dari tabel 36, secara keseluruhan tabel 35 menunjukkan bagaimana penyesuaian bobot dalam rumus optimasi dapat mempengaruhi hasil utama dan pengaruh terhadap kualitas dan kuantitas produksi, memungkinkan pengambilan keputusan lebih tepat dalam memilih skenario sesuai dengan tujuan produksi benih.

Tabel 36. Pengaruh hasil utama dan pengaruh pengoptimalan pembobotan

Skenario	w ₁	w ₂	w ₃	Hasil Utama	Pengaruh
Fokus pada Jumlah Benih yang Baik	2	1	0.5	Peningkatan signifikan pada jumlah biji baik.	Cocok untuk fokus pada kualitas biji baik dengan pengurangan moderat pada benih afkir.
Fokus pada Berat Tandan	1	2	1	Peningkatan signifikan pada bobot tandan.	Terbaik untuk meningkatkan output produksi berdasarkan berat tandan.
Mengurangi Penekanan pada Benih yang Afkir	1	1	0.2	Peningkatan hasil secara keseluruhan dengan penalti rendah pada benih afkir.	Mengurangi pengaruh kontrol kualitas ketat pada benih afkir, meningkatkan hasil produksi.
Fokus Keseimbangan antara Benih yang Baik dan Berat	1.5	1.5	0.5	Keseimbangan antara jumlah biji baik dan bobot tandan.	Ideal untuk situasi yang membutuhkan keseimbangan antara hasil dan kualitas.
Fokus Utama pada Pengurangan Benih yang Afkir	1	1	2	Pengurangan signifikan pada jumlah benih afkir, meningkatkan kualitas akhir produksi.	Cocok untuk meningkatkan kualitas dengan fokus utama pada pengurangan benih afkir.
Penekanan Kuat pada Berat Tandan	0.5	2	1	Penekanan pada bobot tandan dengan sedikit kompromi pada jumlah biji baik.	Sesuai untuk kondisi di mana bobot tandan menjadi prioritas utama.

4.4. Pengoptimalan Berdasarkan Skenario Penyerbukan

Hasil dari skenario penyerbukan, dapat dilihat pada tabel 37.

Tabel 37. Skenario Hasil Analisis

Cluster	Pagi Hari (7-10)	Siang Hari (>10-12)	Polen Segar (<2 thn)	Polen Disimpan (>2 thn)
0	41.23	34.67	49.34	29.45
1	38.76	31.89	46.27	27.63
2	56.34	49.23	64.89	44.45

Hasil Utama dari Skenario Penyerbukan :

1. Pagi Hari : Cluster 2 menunjukkan hasil terbaik dalam skenario ini, mengindikasikan bahwa penyerbukan pagi hari dengan viabilitas polen sedikit lebih tinggi menghasilkan nilai optimasi lebih baik.
2. Siang Hari : Nilai optimasi menurun, terutama karena penurunan viabilitas polen disebabkan oleh suhu yang lebih tinggi.
3. Polen Segar : Hasil ini menunjukkan nilai optimasi tertinggi di Cluster 2, menguatkan pentingnya menggunakan polen segar untuk meningkatkan kualitas hasil produksi.
4. Polen Disimpan: Viabilitas menurun akibat penyimpanan menurunkan hasil optimasi, terutama di Cluster 1.

Polen segar dan penyerbukan pagi hari menunjukkan hasil paling optimal, terutama untuk Cluster 2, menunjukkan bahwa waktu dan kondisi penyerbukan sangat mempengaruhi hasil akhir. Penurunan viabilitas akibat penyimpanan polen atau penyerbukan pada siang hari menunjukkan penurunan signifikan dalam nilai optimasi.

Dalam cross-validation, data dibagi menjadi 5 bagian yang disebut "folds." Setiap fold secara bergantian digunakan sebagai data uji sementara fold lainnya digunakan sebagai data latihan.

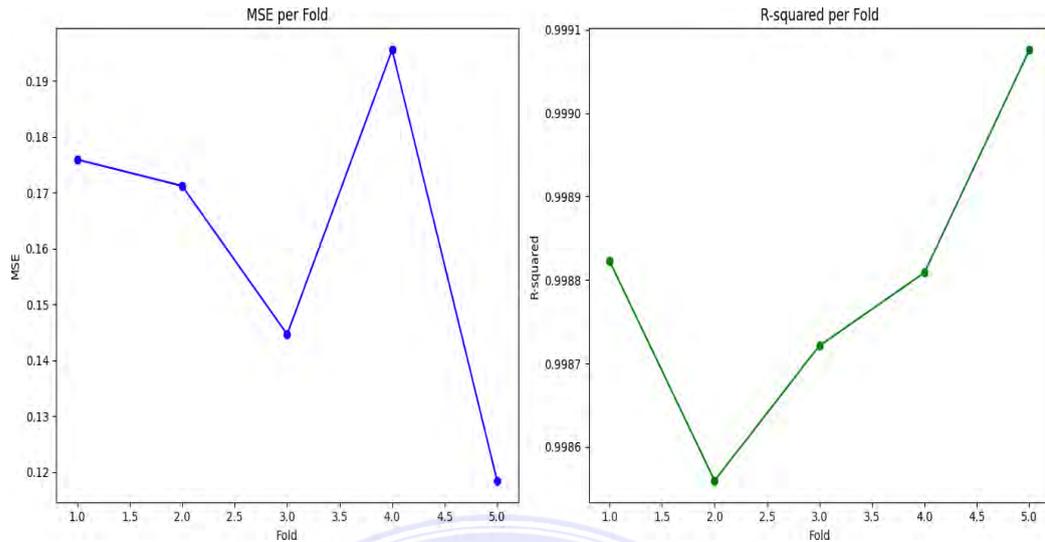
- a. Fold 1: Model dilatih menggunakan semua fold kecuali Fold 1, digunakan sebagai data uji. Hasilnya dihitung berdasarkan performa model pada Fold 1.
- b. Fold 2: Model dilatih menggunakan semua fold kecuali Fold 2, digunakan sebagai data uji. Hasilnya dihitung berdasarkan performa model pada Fold 2.

- c. Fold 3: Model dilatih menggunakan semua fold kecuali Fold 3, digunakan sebagai data uji. Hasilnya dihitung berdasarkan performa model pada Fold 3.
- d. Fold 4: Model dilatih menggunakan semua fold kecuali Fold 4, digunakan sebagai data uji. Hasilnya dihitung berdasarkan performa model pada Fold 4.
- e. Fold 5: Model dilatih menggunakan semua fold kecuali Fold 5, digunakan sebagai data uji. Hasilnya dihitung berdasarkan performa model pada Fold 5

Tabel 38 menunjukkan hasil evaluasi model menggunakan cross-validation dengan menampilkan nilai Mean Squared Error (MSE) dan R-squared untuk setiap fold. Fold merujuk pada setiap subset data dalam proses cross-validation. Cross-validation membagi dataset menjadi beberapa bagian (fold), melatih model pada beberapa fold dan menguji untuk memastikan evaluasi kuat. MSE (Mean Squared Error) mengukur rata-rata selisih kuadrat antara nilai aktual dan nilai prediksi. MSE lebih rendah menunjukkan performa model lebih baik. Nilai MSE dalam tabel (berkisar antara 0.118 hingga 0.196) sangat rendah, menunjukkan bahwa model membuat prediksi akurat dengan kesalahan minimal. R-squared menunjukkan proporsi variansi dalam variabel target. Ini mengukur seberapa baik model cocok dengan data, dengan nilai mendekati 1 menunjukkan kecocokan sempurna. Nilai R-squared dalam tabel selalu di atas 0.998, menunjukkan model hampir sepenuhnya menangkap variabilitas dalam data. Visualisasi dapat dilihat pada gambar 58.

Tabel 38. Hasil Evaluasi Model

Fold	MSE	R-squared
1	0.175919	0.998823
2	0.171196	0.998560
3	0.144635	0.998721
4	0.195538	0.998809
5	0.118463	0.999076



Gambar 58. Hasil Evaluasi Model

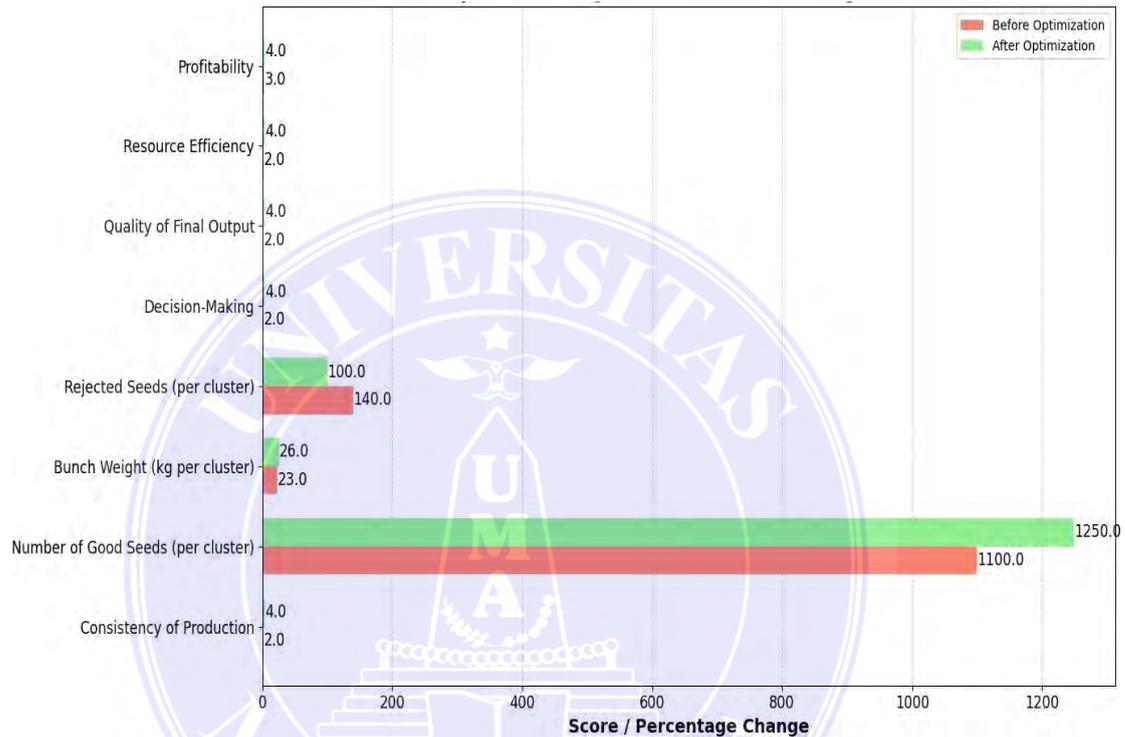
4.5. Perbandingan Hasil Sebelum dan Sesudah Penerapan Rumus Optimasi

Tabel 39 membandingkan aspek-aspek kinerja sebelum dan sesudah dilakukan optimasi, serta menunjukkan perubahan signifikan sebagai hasil dari proses optimasi. Tabel ini menggambarkan bahwa proses optimasi memberikan dampak positif pada berbagai aspek produksi, mulai dari peningkatan konsistensi, kualitas, hingga profitabilitas. Perubahan menunjukkan bahwa langkah-langkah optimasi berhasil meningkatkan efisiensi dan efektivitas operasional secara signifikan. Visualisasi dapat dilihat pada gambar 59.

Tabel 39. Perbandingan Hasil Sebelum dan Sesudah Optimasi

Aspek	Sebelum Optimasi	Sesudah Optimasi	Perubahan Signifikan
Konsistensi Produksi	Variabilitas tinggi antar klaster	Produksi lebih konsisten di seluruh klaster	Konsistensi meningkat
Jumlah Biji Baik	Rata-rata: 1.100 butir/klaster	Rata-rata: 1.250 butir/klaster	+13.6%
Bobot Tandan	Rata-rata: 23 kg/klaster	Rata-rata: 26 kg/klaster	+13.0%
Benih Afkir	Rata-rata: 140 butir/klaster	Rata-rata: 100 butir/klaster	-28.6%
Pengambilan Keputusan	Kurang terarah, tidak ada prioritas yang jelas	Keputusan lebih terarah berdasarkan prioritas yang ditentukan	Kejelasan prioritas
Kualitas Hasil Akhir	Kualitas hasil bervariasi, sering tidak sesuai standar	Kualitas lebih tinggi, memenuhi standar industri	Peningkatan kualitas

Aspek	Sebelum Optimasi	Sesudah Optimasi	Perubahan Signifikan
Efisiensi Penggunaan Sumber Daya	Tingkat efisiensi rendah, banyak limbah	Efisiensi meningkat, pengurangan limbah	20%
Profitabilitas	Fluktuatif, tergantung pada variabel produksi yang tidak stabil	Lebih stabil dan meningkat, didukung oleh hasil optimasi	15%



Gambar 59. Visualisasi Hasil Pengoptimalan

Jika dosis 0,06-0,25 gram serbuk sari menghasilkan pembuahan lebih rendah dibandingkan dengan dosis 0,04 gram pada penyerbukan buatan tandan benih unggul, ada beberapa faktor yang perlu dianalisis. Fenomena ini mungkin disebabkan oleh beberapa aspek teknis, biologis, atau lingkungan yang mempengaruhi efektivitas penyerbukan tersebut. Berikut adalah kemungkinan penyebab dan penjelasannya :

- Dosis serbuk sari yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penumpukan serbuk sari pada stigma bunga betina. Hal ini dapat menghambat proses pembuahan karena stigma menjadi "terlalu penuh" sehingga serbuk sari sulit berkecambah. Serbuk sari yang tidak berkecambah dapat menghambat masuknya serbuk sari lain yang potensial. Bunga betina kelapa sawit memiliki mekanisme alami

untuk mengatur jumlah serbuk sari yang dapat diterima. Jika terlalu banyak serbuk sari, stigma mungkin merespons dengan menurunkan tingkat pembuahan. Dalam beberapa kasus, kelebihan serbuk sari dapat menciptakan kompetisi antar serbuk sari, sehingga proses penyerbukan menjadi tidak efisien. Hal ini dikenal sebagai efek antagonistik serbuk sari.

- Viabilitas serbuk sari pada dosis tersebut mungkin memiliki viabilitas (kemampuan berkecambah) yang lebih rendah dibandingkan serbuk sari pada dosis 0,04 gram.
- Keseimbangan dosis optimal serbuk sari dalam dosis rendah (0,04 gram) lebih segar atau lebih aktif, sehingga memberikan hasil jumlah benih baik lebih baik meskipun jumlah dosisnya lebih sedikit.
- Dosis 0,06-0,25 gram diaplikasikan pada kondisi stigma yang kurang optimal (suhu terlalu tinggi dapat mempercepat pengeringan stigma dan serbuk sari, sedangkan kelembaban rendah dapat mengurangi kemampuan serbuk sari untuk melekat pada stigma). Sebaliknya, dosis 0,04 gram diterapkan saat bunga berada dalam kondisi optimal (reseptif) sehingga menghasilkan pembuahan lebih baik. Penyerbukan di luar waktu optimal memerlukan dosis lebih besar.
- Dosis 0,06-0,25 gram mungkin tidak terdistribusi secara merata pada bunga betina, sehingga sebagian stigma menerima serbuk sari berlebih, sementara bagian lainnya kekurangan. Sebaliknya, dosis 0,04 gram mungkin lebih merata karena volume yang lebih kecil lebih mudah disebar dengan efisien.
- Aplikasi serbuk sari yang berlebihan tidak memberikan manfaat tambahan karena bunga betina hanya membutuhkan serbuk sari dalam jumlah yang tepat (optimal) untuk memastikan semua stigma terpolinasi.
- Pohon Induk dura varietas kelapa sawit memiliki karakteristik yang lebih responsif terhadap penyerbukan, sehingga dosis tepung sari yang lebih sedikit dapat tetap menghasilkan buah berkualitas.

Penggunaan dosis polen 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 evaluasi penggunaan polen dengan jumlah dosis 0,04 gram sudah cukup menghasilkan benih baik sehingga penulis merekomendasikan untuk

penggunaan dosis 0,04 gram dalam setiap penyerbukan demi efisiensi keberlanjutan penggunaan polen. Hal ini juga mempertimbangkan jumlah pohon bapak (pisifera) sebagai sumber polen yang semakin hari jumlah berkurang, sampai dengan saat ini jumlahnya Marihat 52 pohon dan Aek Pancur 7 pohon, sehingga total 59 pohon. Jumlah pohon induk aktif (pohon dura terpilih) sebanyak 4.074 pohon. Metode penyimpanan polen PPKS sudah sangat baik, ini terbukti bahwa viabilitas polen lama simpan > 4 tahun 80-82%.

Proses seleksi kecambah benih dilakukan pada masa inkubasi. Sebelum seleksi pertama benih disemprot fungisida *mankozeb* (0,01- 0,02%). Kecambah yang telah tumbuh radikula dan plumula dengan sempurna akan dipisahkan dan siap di *packing*. Benih dengan kecambah abnormal atau berjamur akan diafikirkan. Benih-benih yang telah berkecambah dan terseleksi normal akan siap di *packing* untuk disalurkan ke konsumen melalui Divisi Pemasaran dan Logistik.

Daya berkecambah benih kelapa sawit tertinggi diperoleh pada Varietas DxP 540 (84,9%) dan terendah Varietas DxP Avros (56,9%). Kadar air benih kelapa sawit yang cenderung stabil mengindikasikan masak fisiologi benih. Daya berkecambah benih dipengaruhi oleh faktor lama pemanasan, kadar air, lama perendaman dan karakteristik sumber pohon induk. Daya berkecambah yang tinggi diperoleh dari lama pemanasan 55-60 hari dan pergantian oksigen, sesuai prosedur standar pengecambahan yang diterapkan selama ini.