

KONSEP DAN TAHAPAN DASAR PEMULIAAN TANAMAN (KELAPA SAWIT)



Disusun Oleh:
Prof. Dr. Dra. Rama Riana Sitinjak, M.Si.

UNPRI PRESS

KONSEP DAN TAHAPAN DASAR PEMULIAAN TANAMAN (KELAPA SAWIT)

PENULIS

Prof. Dr. Dra. Rama Riana Sitinjak, M.Si.

EDITOR

Dr. Suratni Afriani, S.T., M.Si.

Hak Cipta dilindungi undang-undang Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk dan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KONSEP DAN TAHAPAN DASAR PEMULIAAN TANAMAN (KELAPA SAWIT)

Penulis : Prof. Dr. Dra. Rama Riana Sitinjak, M.Si.

Editor : Dr. Suratni Afriani, S.T., M.Si.

Desain Isi : Prof. Dr. Dra. Rama Riana Sitinjak, M.Si.

Desain Cover : Prof. Dr. Dra. Rama Riana Sitinjak, M.Si.

PENERBIT : UNPRI PRESS

*ISBN : 978-623-8299-51-5
(ANGGOTA IKAPI)
Pebruari 2026*

*Alamat Redaksi: Kampus 2
Jl. Sampul No. 4 Medan*

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke Hadirat Tuhan Yang Maha Esa, oleh karena kasih karunia-Nya sehingga penulisan / pembuatan Buku Ajar ini dapat diselesaikan dengan tepat waktu. Buku ini berjudul “Konsep dan Tahapan Dasar Pemuliaan Tanaman (Kelapa Sawit)” yang membahas beberapa topik yang terkait dengan konsep dan tahapan dasar pemuliaan tanaman khususnya kelapa sawit, yang meliputi: konsep dan tujuan pemuliaan tanaman, tahapan dan evolusi pemuliaan tanaman, sejarah perkembangan pemuliaan tanaman kelapa sawit di Indonesia, koleksi plasma nutfah tanaman, plasma nutfah kelapa sawit di Indonesia, sistem perkembangbiakan dalam pemuliaan tanaman, *self-incompatibility* dan mandul jantan pada tanaman, struktur dan perkembangan bunga sawit, sistem penyerbukan pada tanaman kelapa sawit, karakter kualitatif dan hukum Mendel, metode pemuliaan tanaman menyerbuk sendiri, metode pemuliaan tanaman menyerbuk silang, pembuatan benih dan pengembangan hybrid kelapa sawit, pemuliaan tanaman kelapa sawit melalui metode persilangan, merakit varietas unggul tanaman kelapa sawit, dan teknik budidaya tanaman kelapa sawit.

Penulisan Buku ini bertujuan untuk mempermudah, memperlancar, dan membantu para pembaca terutama mahasiswa yang mengikuti Mata Kuliah Pemuliaan Tanaman khususnya tanaman kelapa sawit, sehingga mampu untuk memahami tentang pemuliaan tanaman dan diharapkan dapat menimbulkan motivasi untuk bisa menjadi pemulia-pemulia yang handal dan memuliakan tanaman kelapa sawit menjadi lebih inovatif, produktif, kompetitif, dan berkesinambungan.

Penulisan buku ini juga tidak luput dari segala kekurangan, sehingga diharapkan masukan berupa saran dari para pembaca dan pemulia, khususnya tanaman kelapa sawit. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Medan, Februari 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB I. KONSEP DAN TUJUAN PEMULIAAN TANAMAN	1
1. Konsep Pemuliaan Tanaman.....	1
2. Tujuan Pemuliaan Tanaman.....	3
3. Modifikasi Jangkauan dan Konstitusi.....	6
4. Sumbangan Pemuliaan Tanaman pada Kemajuan Pertanian	8
BAB II. TAHAPAN DAN EVOLUSI PEMULIAAN TANAMAN	11
1. Jenis Pemuliaan Tanaman	11
2. Tahapan Pemuliaan Tanaman.....	11
3. Evolusi Pemuliaan Tanaman.....	15
BAB III. SEJARAH PERKEMBANGAN PEMULIAAN TANAMAN KELAPA SAWIT DI INDONESIA	20
1. Sejarah Perkembangan Pemuliaan Tanaman Secara Umum.....	20
2. Sejarah Perkembangan Kelapa Sawit di Indonesia.....	22
A. Introduksi Kelapa Sawit ke Indonesia	23
B. Awal Pengembangan Kelapa Sawit di Indonesia	26
C. Perkembangan Kelapa Sawit Pasca Kemerdekaan	27
BAB IV. KOLEKSI PLASMA NUTFAH TANAMAN	29
1. Domestikasi Tanaman	29
2. Koleksi Plasma Nutfah Tanaman.....	30
3. Pusat Penyebaran Plasma Nutfah	33
4. Pengelolaan Plasma Nutfah Tanaman Terintegrasi Pemuliaan.....	34
5. Pelepasan Plasma Nutfah Sebagai Donor Gen	36
BAB V. PLASMA NUTFAH KELAPA SAWIT DI INDONESIA	38
1. Pembangunan Plasma Nutfah Kelapa Sawit	38
2. Pemuliaan Tanaman Kelapa Sawit Kini.....	42
A. Ketersediaan Materi Genetik	42
B. Strategi Utama Pemuliaan Kelapa Sawit	43

3. Kontribusi Pemuliaan Tanaman	44
4. Hasil-hasil Pemuliaan Tanaman di PPKS	45
5. Manfaat Pemuliaan Tanaman Kelapa Sawit	46
6. Pengembangan Plasma Nutfah Kelapa Sawit	48
BAB VI. SISTEM PERKEMBANGBIAKAN DALAM PEMULIAAN TANAMAN.....	52
1. Perkembangbiakan Secara Vegetatif.....	52
2. Perkembangbiakan Secara Generatif	54
3. Jenis Penyerbukan pada Tanaman	55
A. Tanaman Menyerbuk Sendiri (Autogami)	55
B. Tanaman Menyerbuk Silang (Alogami).....	56
4. Struktur Bunga.....	56
5. Beberapa Tipe Seks pada Tanaman.....	57
6. Proses Penyerbukan pada tanaman	57
7. Fertilisasi	59
BAB VII. <i>SELF INCOMPATIBILITY</i> DAN MANDUL JANTAN	60
1. <i>Self-Incompatibility</i> (SI)	60
A. Tipe-tipe <i>Self Incompatibility</i>	60
B. Gangguan Ketidakserasian	63
C. Kegunaan <i>Self Incompatibility</i> dalam Pemuliaan	64
2. Mandul Jantan pada Tanaman.....	65
A. Tipe-tipe Mandul Jantan	65
B. Pengendalian Kimia	68
C. Aplikasi Mandul Jantan pada Pemuliaan Tanaman	69
BAB VIII. STRUKTUR DAN PERKEMBANGAN BUNGA KELAPA SAWIT	72
1. Struktur Bunga Kelapa Sawit	72
A. Bunga Betina.....	74
B. Bunga Jantan	76
2. Perkembangan Perbungaan Kelapa Sawit	77
BAB IX. SISTEM PENYERBUKAN PADA TANAMAN KELAPA SAWIT ...	82
1. Kastrasi pada Tanaman Kelapa Sawit.....	82
2. Penyerbukan Alami pada Tanaman Kelapa Sawit	84
3. Penyerbukan Buatan pada Tanaman Kelapa Sawit.....	94
BAB X. KARAKTER KUALITATIF DAN HUKUM MENDEL.....	96
1. Percobaan Mendel.....	96
2. Percobaan Monohibrid.....	98

3. Hukum Medel I.....	99
4. Penggabungan Gamet Secara Acak	101
5. Percobaan Hibrid	102
6. Hukum Mendel II.....	104
7. Uji Silang (<i>Test Cross</i>).....	105
BAB XI. METODE PEMULIAAN TANAMAN MENYERBUK SENDIRI	107
1. Konsep Metode Menyerbuk Sendiri	107
2. Dasar Genetik Tanaman Menyerbuk Sendiri	107
3. Jenis Seleksi dalam Metode Menyerbuk Sendiri	109
A. Seleksi Massa.....	109
B. Seleksi Galur Murni.....	110
C. Seleksi Silsilah (Pedigree)	112
D. Seleksi Bulk	114
BAB XII. METODE PEMULIAAN TANAMAN MENYERBUK SILANG	116
1. Dasar Genetik Menyerbuk Silang.....	116
2. Pembentukan Populasi Dasar.....	116
3. Jenis Seleksi dalam Metode Menyerbuk Silang	117
A. Seleksi Massa.....	118
B. Seleksi Tongkol ke Baris	119
C. Seleksi Daur Ulang	120
BAB XIII. PEMBUATAN BENIH DAN PENGEMBANGAN	
 HIBRID KELAPA SAWIT	124
1. Proses Pembuatan Benih Kelapa Sawit	124
2. Cara Lain Membuat Benih Kelapa Sawit	125
3. Pengembangan Hibrida Kelapa Sawit	126
A. Pemanfaatan Karakteristik Sawit untuk Benih Unggul	126
B. Eksplorasi Sumber Daya Genetik untuk Perbaikan	
Karakter Dura dan Pisifera	131
4. Varietas Sintetis.....	134
5. Varietas Komposit.....	136
BAB XIV. PEMULIAAN TANAMAN KELAPA SAWIT	
 MELALUI METODE PERSILANGAN.....	137
1. Klasifikasi Kelapa Sawit.....	137
2. Metode Pemuliaan pada Tanaman Kelapa Sawit.....	138
3. Tujuan Pemuliaan Kelapa Sawit.....	140
4. Persilangan Buatan	143
5. Penentuan Pohon Induk	147
6. Penentuan Benih Kelapa Sawit Asli	150

7. Penilaian dan Penetapan Calon Kebun Sumber Benih	152
BAB XV. MERAKIT VARIETAS UNGGUL TANAMAN SAWIT	154
1. Materi Genetik	155
2. Tujuan Pemuliaan	156
3. Metode Seleksi.....	156
4. Perbanyak Bahan Tanam.....	159
5. Pelepasan Varietas.....	160
6. Manfaat Pemuliaan Kelapa Sawit.....	160
BAB XVI. TEKNIK BUDIDAYA TANAMAN KELAPA SAWIT	164
1. Studi Kesesuaian Lahan.....	164
2. Penyediaan Bahan Tanaman	165
3. Pembibitan	166
4. Perhitungan Kebutuhan Bahan Tanam.....	168
5. Strategi Pemupukan	171
6. Panen.....	173
DAFTAR PUSTAKA	176
RIWAYAT PENULIS	181

DAFTAR TABEL

1. Beberapa Lembaga Internasional Pengelolaan Plasma Nutfah	31
2. Spesies Tanaman yang Berasal dari Pusat Penyebaran China	34
3. Spesies Tanaman Berasal dari Pusat Penyebaran Indo-Malaya	34
4. Keturunan yang dihasilkan dari berbagai kombinasi persilangan pada mandul jantan genik	66
5. Klasifikasi tanaman berdasarkan tipe sitoplasma dan gen inti	68
6. Tujuh Karakter Kacang Kapri yang menjadi Objek Penelitian Mendel.....	97
7. Data Persilangan dan hasil F1 percobaan Mendel pada kacang kapri	98
8. Data F2 hasil persilangan monohybrid Mendel pada kacang kapri	99
9. Jumlah tanaman F2 (hasil persilangan dihybrid) percobaan Mendel yang terbagi 4 kelompok fenotipe	102
10. Jumlah tanaman F2 percobaan Mendel berdasarkan bentuk biji atau warna .	103
11. Frekuensi fenotipe & genotype tanaman kacang kapri hasil persilangan dihybrid Mendel	103
12. Jenis persilangan tanaman kelapa sawit.....	141
13. Kesesuaian iklim untuk kelapa sawit	164
14. Kriteria lahan untuk budidaya kelapa sawit menurut kelasnya.....	165
15. Rekomendasi pemupukan dan pembibitan utama kelapa sawit.....	168

DAFTAR GAMBAR

1. Tahapan dasar pemuliaan tanaman	13
2. Bentuk buah kelapa sawit yang dipanen	51
3. Proses pembelahan sel induk mikrospora dan megaspora serta pembuahan tanaman	58
4. Perilaku alel S pada <i>gametophytic self-incompatibility</i>	61
5. Perilaku alel S pada ketidakserasian sendiri sporofitik	63
6. Sterilitas memperoleh biji hibrida tergantung interaksi antara gen dan sitoplasma	70
7. Pandangan makroskopik inflorescence kelapa sawit: (A) inflorescence betina dewasa, (B) inflorescence jantan dewasa.	73
8. Bunga betina menjadi buah kelapa sawit	73
9. Makroskopik perbungaan kelapa sawit betina dan Jantan dewasa	75
10. Ciri-ciri perkembangan reproduksi pada kelapa sawit	80
11. Morfologi kumbang pollinator <i>E. kamerunicus</i>	86
12. Pembentukan gamet	100
13. Hasil percobaan monohybrid generasi F1 dan F2	101
14. Ilustrasi percobaan dihibrid	103
15. Bujur sangkar Punnet untuk menjelaskan perbandingan genotype F2	104
16. Ilustrasi hukum Mendel II	104
17. Persilangan F1 monohybrid dengan tetua resesif (test cross)	105
18. Persilangan F1 dihibrid dengan tetua resesif	106
19. Sebaran homozigot dan heterosigot bila satu tanaman yang heterozigot pada satu lokus (Aa) diserbuki sendiri sampai 5 generasi.	107
20. Prosedur seleksi galur murni untuk tanaman menyerbuk sendiri	112
21. Prosedur seleksi pedigree untuk tanaman menyerbuk sendiri	113
22. Skema seleksi daur ulang	121
23. Persilangan antara Dura dan Pisifera menghasilkan Tenera	127
24. Induksi bunga jantan pisifera secara perebahan pelepah	129
25. Induksi bunga jantan pada tanaman pisifera secara pruning	130

26. Karakteristik yang dimiliki Dura, Pisifera dan Tenera.....	140
27. Skema RRS kelapa sawit yang ditrapkan di Balit Marihat.....	143
28. Skematis tahapan kegiatan pemuliaan tanaman kelapa sawit.....	155

BAB I

KONSEP DAN TUJUAN PEMULIAAN TANAMAN

Pemuliaan tanaman merupakan kegiatan dalam merakit tanaman yang memiliki potensi lebih unggul dari tanaman sebelumnya. Kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh bibit unggul yang mampu untuk memenuhi kebutuhan manusia yang populasinya semakin meningkat, dan dapat berkembang serta berkelanjutan meskipun dalam waktu yang cukup lama atau berevolusi sesuai dengan tuntutan kebutuhan dalam kehidupan. Pada BAB I ini akan dibahas konsep dan tujuan pemuliaan tanaman, modifikasi jangkauan dan konstitusi, dan sumbangannya terhadap kemajuan pertanian/perkebunan.

1. Konsep Pemuliaan Tanaman

- Kegiatan untuk mengubah susunan genetik tanaman secara baka sehingga memiliki sifat atau penampilan sesuai dengan tujuan yang diinginkan pemulianya. Kegiatan memelihara dengan propagasi dan menjaga kemurnian.
- Sebagai ilmu dan seni yang mempelajari adanya pertukaran dan perbaikan karakter tanaman yang diwariskan pada suatu populasi baru dengan sifat genetik yang baru.
- Umumnya mencakup: tindakan penangkaran, persilangan, dan seleksi.
- Usaha memperoleh bibit unggul dengan merakit keanekaragaman genetik (plasma nutfah) organisme. Organisme yang dikategorikan bibit unggul adalah masa pertumbuhan pendek (cepat menghasilkan), tahan hama dan penyakit, produksi tinggi dan rasanya enak, adaptif terhadap kondisi lingkungan, masa produksi lama. Usaha yang dilakukan dalam pemuliaan tanaman adalah hibridisasi, seleksi, mutasi (tumbuhan poliploidi dan mutasi radiasi dengan radioaktif), transplantasi/cangkok gen, *tissue culture*. Pemuliaan berusaha memperbaiki mutu genetik sehingga diperoleh tanaman yang lebih bermanfaat. Keberhasilan usaha pemuliaan sangat ditentukan oleh pengetahuan mengenai perilaku biologi tanaman

dan pengalaman dalam budidaya tanaman sehingga pemuliaan tanaman sebagai seni dan ilmu memperbaiki keturunan tanaman demi kesejahteraan manusia.

- Di Perguruan Tinggi, dianggap sebagai cabang agronomi (ilmu produksi tanaman) atau genetika terapan, karena sifat multidisiplinernya. Pelaku pemuliaan tanaman disebut *pemulia tanaman*. Karena pengetahuannya, pemulia tanaman biasanya menguasai agronomi dan genetika. Tugas pokok pemulia tanaman adalah merakit kultivar yang lebih baik: memiliki ciri khas dan lebih bermanfaat bagi penanamnya. Produk pemuliaan tanaman kultivar dengan ciri-ciri khusus sesuai dengan yang diinginkan pemulianya seperti: produksi tinggi, toleran terhadap kondisi-kondisi lingkungan yang mariginal, resisten terhadap hama dan penyakit, dan lain-lain.
- Dilihat dari sudut pandang agribisnis, pemuliaan tanaman bagian dari usaha perbenihan (memastikan tersedia benih atau bahan tanam yang baik dan bermutu tinggi) yang menempati posisi awal dari keseluruhan mata rantai industri pertanian.
- Kegiatan yang dinamis dan berkelanjutan. Kedinamisan tercermin dari adanya tantangan dan kondisi lingkungan cenderung berubah. Contohnya strain pathogen yang selalu berkembang, selera konsumen pada pangan berkembang, maka kegiatan pemuliaan akan terus berkembang, berkelanjutan, dan berkesinambungan.
- Ilmu terapan yang multidisipliner, menggunakan beragam ilmu lain: genetika, sitogenetik, agronomi, botani, fisiologi, patologi, entomologi, genetika molekuler, biokimia, dan statistika. Pada umumnya proses kegiatan pemuliaan diawali dengan: usaha koleksi plasma nutfah sebagai sumber keragaman, identifikasi dan karakterisasi, induksi keragaman, misalnya melalui persilangan atau transfer gen, diikuti dengan proses seleksi, pengujian dan evaluasi, pelepasan, distribusi dan komersialisasi varietas. Teknik persilangan yang diikuti dengan proses seleksi merupakan teknik yang paling banyak dilakukan dalam inovasi perakitan kultivar

unggul baru, selanjutnya, diikuti oleh kultivar introduksi, teknik induksi mutasi dan mutasi spontan yang juga menghasilkan beberapa kultivar baru.

- Penerapan prinsip genetik untuk menghasilkan tanaman yang lebih bermanfaat bagi manusia. Hal ini dilakukan dengan memilih tanaman yang diinginkan secara ekonomi atau estetika, pertama dengan mengontrol perkawinan individu terpilih, dan kemudian dengan memilih individu tertentu di antara keturunannya. Proses seperti itu, yang diulangi selama beberapa generasi, dapat mengubah susunan dan nilai keturunan dari populasi tanaman jauh melampaui batas alami populasi yang ada sebelumnya.

2. Tujuan Pemuliaan Tanaman

- Berdasarkan strategi jangka panjang, untuk mengantisipasi berbagai perubahan arah konsumen atau keadaan lingkungan. Contohnya pemuliaan padi, diarahkan pada peningkatan hasil, tetapi sekarang diarahkan pada perakitan kultivar toleran kondisi ekstrem (tahan genangan, kekeringan, dan bergaram) karena proyeksi perubahan iklim 20–50 tahun.
- Untuk mengembangkan dan menggunakan metode yang secara efektif memilih fenotipe terbaik yang mengarah pada pengembangan kultivar yang lebih baik. Secara umum, Pemuliaan tanaman mencakup dua aspek utama: (1) pemilihan tanaman unggul dengan cara yang cepat dan akurat, dan (2) rekombinasi seksual tanaman terpilih untuk menghasilkan genotipe baru (dan diharapkan fenotipe). Charles Darwin dalam tulisan "*On The Origin of Species* (1859), berpendapat bahwa pemulia harus memperhatikan detail untuk mengidentifikasi varians unggul yang akan mengarah pada perbaikan bertahap melalui seleksi. Agar pemulia berhasil dalam seleksi, variasi fenotipik harus ada, dan lebih banyak lebih baik.
- Tujuan umum yaitu:

- a. Peningkatan kepastian terhadap hasil yang tinggi dan perbaikan kualitas produk.
- b. Peningkatan kepastian terhadap hasil biasanya diarahkan pada peningkatan daya hasil, cepat dipanen, ketahanan pada organisme pengganggu atau kondisi alam yang kurang baik bagi usaha tani, dan kesesuaian pada perkembangan teknologi pertanian lain.

Salah satu tujuan dari hampir setiap proyek pemuliaan adalah untuk meningkatkan hasil:

- Dapat dilakukan dengan seleksi varian morfologis. Misalnya seleksi varietas padi kerdil yang berumur genjah. Varietas kerdil ini kokoh dan memberikan hasil biji-bijian yang lebih besar, kematangan awalnya dapat membebaskan lahan dengan cepat, seringkali memungkinkan penanaman padi tambahan atau tanaman lain pada tahun yang sama.
- Dapat dengan mengembangkan varietas yang tahan terhadap penyakit dan serangga. Dalam banyak kasus, pengembangan varietas tahan menjadi satu-satunya metode praktis pengendalian hama. Mungkin ciri yang paling penting dari varietas tahan adalah efek menstabilkan yang mereka miliki pada produksi dan karenanya pada persediaan makanan yang stabil. Varietas yang toleran terhadap kekeringan, panas, atau dingin memberikan manfaat yang sama.

Beberapa tanaman tertentu yang dalam usaha budidayanya melibatkan banyak peralatan mekanik memerlukan populasi yang seragam atau khas agar sesuai dengan kemampuan mesin dalam bekerja. Usaha perbaikan kualitas produk dapat diarahkan pada perbaikan ukuran, warna, kandungan bahan tertentu (penambahan dan penghilangan substansi tertentu), pembuangan sifat-sifat yang tidak disukai, ketahanan simpan, atau keindahan serta keunikan. Memuliakan jenis tanaman perlu ditempuh proses:

- a. Menentukan tujuan program pemuliaan: Pemulia perlu mengetahui masalah yang ada, harapan produsen dan konsumen, dan gagasan pemulia sendiri.

- b. Penyediaan materi pemuliaan: tanaman tertentu dapat ditingkatkan penampilannya (seperti daya hasil), harus ada perbedaan/ keragaman genetik di antara materi pemuliaan.
- c. Penilaian genotipe atau populasi untuk dijadikan varietas baru: melalui penggunaan metode seleksi yang efektif tergantung dari macam pembiakan, tanaman dan tujuan serta fasilitas tersedia. Pada sektor ini juga diperhatikan kemampuan tanaman terhadap lingkungan ekstrim.
- d. Pengujian: Suatu galur atau populasi harapan dilepas menjadi suatu varietas baru, terlebih dahulu harus diadakan pengujian atau adaptasi diberbagai lokasi, musim atau tahun. Maksud pengujian ini untuk melihat kemampuan tanaman terhadap lingkungan di banding dengan varietas unggul yang sudah ada.

Tujuan pemuliaan tanaman secara umum (Allard, 1960) yaitu:

- a. Merakit jenis baru yang berdaya hasil tinggi
- b. Mengembangkan varietas yang lebih baik untuk lahan pertanian baru (seperti lahan marginal).
- c. Mengembangkan varietas baru yang tahan terhadap hama dan penyakit.
- d. Perbaikan karakter agronomik dan hortikulturik tanaman.
- e. Peningkatan kualitas hasil tanaman.

Pemulia tanaman biasanya memikirkan tanaman ideal yang menggabungkan sejumlah maksimum karakteristik yang diinginkan. Seperti: ketahanan terhadap penyakit dan serangga; toleransi terhadap panas, salinitas tanah, atau embun beku; ukuran, bentuk, dan waktu yang tepat untuk jatuh tempo; dan banyak ciri umum dan khusus lainnya yang berkontribusi pada peningkatan adaptasi terhadap lingkungan, kemudahan dalam pertumbuhan dan penanganan, hasil yang lebih besar, dan kualitas yang lebih baik. Para pemulia tanaman juga harus memperhatikan daya tarik estetika. Oleh karena itu, pemulia jarang dapat memusatkan perhatian pada salah satu karakteristik tetapi harus memperhitungkan sifat-sifat ragam yang membuat tanaman lebih berguna dalam memenuhi tujuan pertumbuhannya. Pemuliaan tanaman merupakan alat penting dalam mempromosikan ketahanan pangan global, dan

banyak tanaman pokok telah dibiakkan untuk lebih tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem yang terkait dengan pemanasan global, seperti kekeringan atau gelombang panas.

3. Modifikasi Jangkauan dan Konstitusi

Tujuan umum lainnya:

- Untuk memperluas wilayah produksi suatu spesies tanaman. Contoh: modifikasi biji-bijian sorgum sejak diperkenalkan ke Amerika Serikat pada tahun 1750-an. Berasal dari daerah tropis, biji-bijian sorgum sebagian besar terbatas di daerah dataran Selatan dan Barat Daya, tetapi varietas yang tumbuh lebih awal dikembangkan, dan biji-bijian sorgum sekarang menjadi tanaman penting di Utara hingga Dakota Utara.
- Pengembangan varietas tanaman yang cocok untuk pertanian mekanis telah menjadi tujuan utama pemuliaan tanaman dalam beberapa tahun terakhir. Keceragaman karakter tanaman sangat penting dalam mekanisasi pertanian karena operasi lapangan jauh lebih mudah bila individu dari suatu varietas memiliki kesamaan waktu perkecambahan, kecepatan pertumbuhan, ukuran buah, dan sebagainya. Keceragaman dalam kematangan, penting ketika tanaman seperti tomat dan kacang polong dipanen secara mekanis.
- Kualitas nutrisi tanaman dapat ditingkatkan dengan pembiakan. Misalnya dimungkinkan untuk membiakkan varietas jagung yang mengandung lisin jauh lebih tinggi daripada varietas yang sudah ada sebelumnya. “Biofortifikasi” tanaman pangan ini, istilah yang juga mencakup modifikasi genetik, telah terbukti meningkatkan gizi dan sangat berguna di daerah berkembang di mana kekurangan gizi sering terjadi dan infrastruktur medis mungkin kurang.
- Dalam pemuliaan tanaman hias, perhatian diberikan pada faktor-faktor seperti periode mekar yang lebih lama, kualitas pemeliharaan bunga yang lebih baik, penghematan umum, dan fitur-fitur lain yang berkontribusi pada kegunaan dan daya tarik estetika. Kebaruan itu sendiri sering

merupakan kebajikan dalam ornamen, dan yang spektakuler, bahkan yang unik, sering dicari.

- Pemulia tanaman menggunakan berbagai teknologi dan metodologi untuk mencapai perubahan yang ditargetkan dan terarah pada sifat tanaman. Seiring kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, alat-alat baru dikembangkan sementara yang lama disempurnakan untuk digunakan oleh para pemulia. Sebelum memulai proyek pemuliaan, tujuan pemuliaan yang jelas ditentukan berdasarkan faktor-faktor seperti kebutuhan produsen, preferensi dan kebutuhan konsumen, dan dampak lingkungan. Mereka dapat memodifikasi struktur tanaman sehingga dapat menahan tempat tinggal dan dengan demikian memfasilitasi pemanenan mekanis. Mereka mungkin mengembangkan tanaman yang tahan hama sehingga petani tidak perlu menggunakan pestisida atau dapat menggunakan bahan kimia ini dalam jumlah yang lebih kecil. Tidak menerapkan pestisida dalam produksi tanaman berarti mengurangi pencemaran lingkungan dari sumber pertanian.

Seni dan ilmu pemuliaan tanaman diarahkan pada salah satu tantangan terbesar umat manusia, yaitu kebutuhan untuk memberi makan, pakaian, dan memberi makan populasi dunia yang sedang tumbuh dalam menghadapi iklim ekstrem, penurunan ketersediaan air, permintaan energi terbarukan, dan keharusan untuk lingkungan. Inovasi sangat penting untuk melanjutkan kemajuan dalam menyediakan ketahanan pangan dan gizi bagi umat manusia di dekade mendatang. Ada urgensi untuk pemuliaan tanaman dan kebutuhan akan inovasi karena populasi manusia yang semakin meningkat dan kemakmuran yang meningkat akan membutuhkan perbaikan genetik pada tanaman dengan tingkat perbaikan dua kali lipat saat ini secara global.

Tujuan akhir pemuliaan tanaman adalah mengembangkan tanaman yang lebih baik. Perbaikan dapat dilakukan dalam produktivitas tanaman (misalnya, hasil biji-bijian; adaptasi ke wilayah tertentu; tahan penyakit dan hama; toleransi terhadap kekeringan, panas, dingin, atau salinitas),

pemrosesan dan pemasaran tanaman (misalnya, penggilingan atau pemanggangan / pemasakan / fermentasi mutu, hasil biofuel, daya tarik visual, daya simpan pascapanen, umur simpan), dan / atau mutu konsumen (misalnya, rasa, kandungan protein, profil minyak, mutu serat, nilai gizi). Proses pengembangan kultivar yang ditingkatkan dimulai dengan turunan perkawinan dengan kinerja tinggi untuk sifat-sifat yang diminati, kemudian mengevaluasi dan memilih keturunan luar biasa yang menunjukkan kinerja unggul, dan terakhir, memastikan stabilitas kinerja di seluruh wilayah pasar potensial.

Mengingat tujuan dan langkah dalam proses pemuliaan tanaman, inovasi memberikan cara untuk mencapai hasil yang lebih besar, meningkatkan efisiensi, dan mempercepat waktu pemasaran untuk kultivar yang ditingkatkan. Inovasi dapat datang dalam bentuk teknologi genetik baru yang mungkin melibatkan penciptaan atau perakitan keanekaragaman genetik, produksi keturunan yang akan dievaluasi, struktur dan skema untuk memfasilitasi pemilihan genotipe unggul, dan bahkan sistem untuk memungkinkan penyampaian kinerja unggul kepada petani. Perbaikan tanaman melalui inovasi teknologi difasilitasi, diberdayakan, dimanfaatkan, dan dimaksimalkan dengan berbagai cara. Teknologi mitra, kolaborasi multidisiplin, transfer teknologi, investasi keuangan, akreditasi *biosafety* pemerintah, perlindungan kekayaan intelektual, adopsi petani, dan penerimaan konsumen, semuanya berperan dalam memungkinkan kemajuan teknologi genetik dan realisasi yang efektif dari tujuan ketahanan pangan.

Dengan demikian, pemuliaan tanaman adalah manipulasi kualitas tanaman yang bertujuan untuk menghasilkan varietas baru dengan serangkaian karakteristik yang diinginkan. Tanaman yang mempunyai kualitas lebih tinggi diseleksi dan disilangkan untuk memperoleh tanaman dengan kualitas yang diinginkan.

4. Sumbangan Pemuliaan Tanaman pada Kemajuan Pertanian

- a. Peningkatan produktivitas: Diciptakan varietas genjah dan berdaya hasil tinggi, maka produktivitas pertanian dapat ditingkatkan perkesatuan luas (ha) dan perkesatuan waktu (tahun).
- b. Perluasan daerah produksi: Dengan merubah sifat tertentu tanaman, maka daerah produksinya dapat diperluas, seperti: pada lahan marginal.
- c. Penggunaan varietas hibrida (*hybrid vigor*): Dengan diketemukan varietas hibrida produksi pertanian dapat ditingkatkan, seperti pada tanaman pangan (terutama jagung), hortikultura (cabai besar, tomat, melon, semangka).
- d. Tahan terhadap hama dan penyakit: Varietas unggul baru yang dihasilkan diharapkan tahan terhadap hama dan penyakit, seperti ditemukan tanaman padi varietas IR-36, IR-64, IR-66, IR-72 toleran terhadap hama wereng dan penyakit virus.
- e. Peningkatan kualitas: Varietas unggul yang dihasilkan diharapkan memiliki kualitas hasil tinggi, untuk dapat memenuhi kebutuhan industri dan masyarakat yang makin maju. Misalnya varietas semangka (tanpa biji, rasa manis, warna daging buah menarik), durian bangkok varietas Cane dan Montong (daging buah tebal, aroma tidak terlalu tajam, rasa enak dan manis).
- f. Kesesuaian terhadap mesin pemanenan: Varietas-varietas yang dihasilkan sebaiknya berbatang pendek, sehingga sesuai dengan mesin pemanenan.
- g. Menggalakkan teknologi pertanian modern: dengan ditemukan varietas berdaya hasil tinggi, maka akan merubah dari pertanian tradisional menjadi pertanian modern. Perkembangan bioteknologi di akhir abad ke-20 telah membantu pemuliaan terhadap tanaman yang mampu menghasilkan bahan pangan dgn kandungan gizi tambahan (pangan fungsional) atau mengandung bahan pengobatan tertentu (*pharmacrops*, kegiatannya dikenal sebagai *crop pharming*).
 - Teknologi pemuliaan baru memiliki potensi untuk meningkatkan bentuk, ukuran, warna, dan manfaat kesehatan dari produk, serta

untuk menginformasikan program pemuliaan konvensional. Teknik pemuliaan baru meniru perubahan pada DNA yang dibuat di alam dan dapat digunakan untuk memajukan praktik pemuliaan dan penanaman konvensional.

- Pemuliaan tanaman memainkan bagian fundamental dari ketahanan pangan jangka panjang negara. Peningkatan produksi pangan yang luar biasa selama abad terakhir sebagian besar disebabkan oleh pemuliaan tanaman, dan populasi dunia terus meningkat. Fokus pada ketahanan pangan mendapat lebih banyak perhatian dalam beberapa bulan terakhir, karena pandemi COVID-19 telah menyebar ke seluruh dunia. Pemuliaan tanaman adalah cara jangka panjang dan berkelanjutan untuk mengatasi kekhawatiran tentang memiliki cukup makanan dan menjaga sumber makanan tetap aman. Pemuliaan tanaman memiliki banyak bentuk, dari pemuliaan toleransi penyakit, meningkatkan produksi, memperkenalkan varietas baru yang enak, atau meningkatkan toleransi kekeringan. Bisa jadi penyakit, hama, perubahan iklim, dan sebagainya. Patogen tanaman, seperti bakteri, dan hama selalu beradaptasi, sehingga varietas tanaman yang dibiakkan untuk melawan penyakit secara alami mulai kehilangan pertahanannya. Program pemuliaan tanaman membantu para penanam untuk tetap terdepan dalam adaptasi yang berpotensi membahayakan tsb.

Dampak lain dari penurunan program pemuliaan adalah kehilangan fokus lokal. Contoh, di Washington program pemuliaan sereal sangat terfokus pada produksi lokal. Gandum dibudidayakan yang tumbuh sangat baik untuk Washington bagian timur. Contoh lainnya adalah industri jeruk. Penyakit penghijauan jeruk telah menghancurkan para petani, terutama di Florida, ketika pohon menghasilkan buah yang pahit, hijau, dan cacat. Program pemuliaan tanaman bekerja keras untuk mengembangkan varietas yang secara alami mengusir hama penyebab masalah. Salah satu penyebab menurunnya program pemuliaan tanaman adalah biaya. Perlu

waktu bertahun-tahun untuk mengembangkan varietas tanaman baru. Mendanai program selama itu membutuhkan investasi yang signifikan. Pemulia tidak dapat melakukan apa pun dalam pemuliaan tanaman dalam tiga tahun, ini membutuhkan pendanaan jangka panjang yang berkelanjutan untuk menjalankan program.

BAB II TAHAPAN DAN EVOLUSI PEMULIAAN TANAMAN

1. Jenis Pemuliaan Tanaman

Ada berbagai jenis pemuliaan tanaman, seperti berikut ini:

- a. Persilangan kembali (*Back Crossing*): Dalam hal ini tanaman yang mempunyai sifat-sifat yang diinginkan disilangkan dengan tanaman yang tidak mempunyai sifat-sifat yang diinginkan tetapi mempunyai beberapa sifat lainnya.
- b. Kawin sedarah (*Inbreeding*): Dalam hal ini terjadi pembuahan sendiri. Keturunan yang dihasilkan pun sama dari generasi ke generasi. Ini membantu melestarikan ciri-ciri aslinya.
- c. Pemuliaan hibrida (*Hybrid Breeding*): Dalam hal ini, dua ras berbeda disilangkan untuk menghasilkan keturunan yang lebih produktif dibandingkan induknya.
- d. Pemuliaan mutasi (*Mutation Breeding*): Mutasi gen tanaman menghasilkan varietas baru. Mutasi juga dapat terjadi pada tumbuhan dengan memaparkannya pada bahan kimia dan radiasi.
- e. Rekayasa genetika (*Genetic Engineering*): Rekayasa genetika membantu menghasilkan tanaman dengan sifat-sifat yang diinginkan dengan memasukkan gen yang diinginkan ke dalam DNA tanaman. Tanaman seperti ini dikenal sebagai tanaman hasil rekayasa genetika.

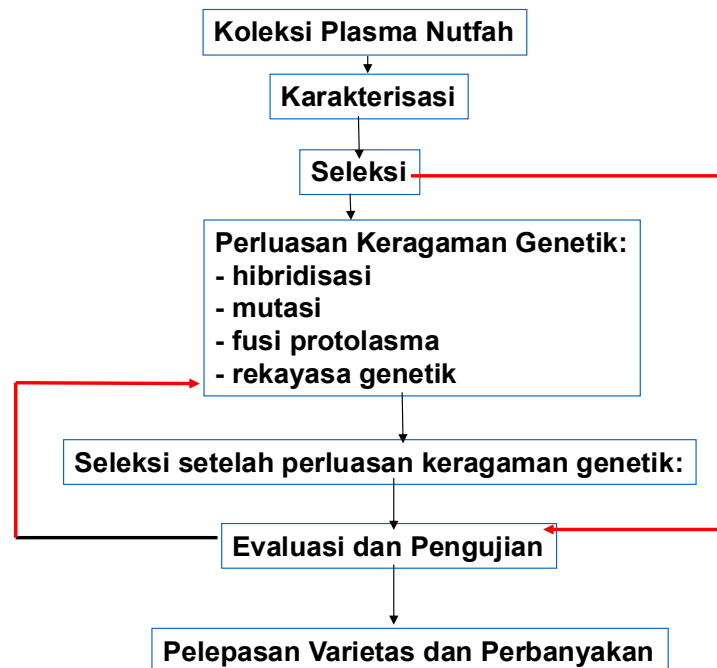
2. Tahapan Pemuliaan Tanaman

Metode pemuliaan tanaman telah mengalami banyak perubahan sejak dimulai 9000 – 11000 tahun yang lalu. Metode pemuliaan tanaman modern dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

- Kumpulan Variabilitas (*Collection of Variability*): Variabilitas merupakan akar dari semua praktik pemuliaan. Langkah pertama melibatkan pengumpulan tanaman atau benih untuk semua kemungkinan alel untuk semua gen pada tanaman tertentu, yang dikenal sebagai plasma nutfah.

Koleksi ini bahkan melibatkan varietas liar dan kerabat dari spesies yang dibudidayakan.

- **Evaluasi dan Seleksi Tanaman Induk (*Evaluation and Selection of Parent Plants*):** Plasma nutfah dievaluasi untuk pemilihan tanaman induk dengan karakteristik yang diinginkan. Kombinasi ciri-ciri ini diharapkan terjadi pada keturunan hibrida. Misalnya suatu tanaman yang mempunyai kandungan protein tinggi dapat dipilih untuk disilangkan dengan tanaman yang ketahanannya terhadap penyakit lebih tinggi.
- **Hibridisasi silang di antara orangtua (*Cross-hybridization among Selected Parents*):** Terpilih pada langkah ketiga, orangtua dihibridisasi silang untuk mengembangkan garis keturunan murni. Ini adalah praktik yang membosankan dan memakan waktu yang dilakukan dengan cara konvensional yaitu memasukkan serbuk sari dari satu tanaman ke kepala putik tanaman lainnya. Meskipun melibatkan tenaga kerja, hanya satu atau dua dari beberapa ratus keturunan yang menunjukkan kombinasi karakteristik yang diinginkan.
- **Seleksi dan Pengujian Rekombinan Unggul (*Selection and Testing of Superior Recombinants*):** Keturunan yang dikembangkan kemudian dievaluasi dan keturunan dengan kombinasi karakteristik yang diinginkan diserbuki sendiri untuk mencapai homozigositas.
- **Pengujian, Pelepasan dan Komersialisasi Kultivar Baru (*Testing, Release and Commercialization of New Cultivars*):** Galur-galur baru ditanam di lahan penelitian dimana sifat-sifat agronomisnya diuji dalam hal kualitas, hasil, ketahanan terhadap penyakit, dan lain-lain. Hal ini diikuti dengan budidaya tanaman ini di lahan petani di lokasi berbeda di negara tersebut yang mewakili perbedaan agroklimat zona. Dengan hasil yang sukses, hasil panen dilepas secara komersial untuk konsumsi masyarakat.



Gambar 1. Tahapan Dasar Pemuliaan Tanaman

- 1) Koleksi berbagai genotipe: akan digunakan sebagai sumber untuk mendapatkan genotipe (varietas) yang diinginkan atas dasar tujuan pemuliaan tanaman. Koleksi plasma nutfah, dapat berasal dari plasma nutfah lokal maupun yang diintroduksi dari luar negeri, termasuk genotipe liar dan eksotik. Tanaman introduksi dapat dikembangkan menjadi varietas baru: langsung dari tanaman introduksi setelah via proses adaptasi, via seleksi, dan sebagai bahan perluasan keragaman genetik.
- 2) Setelah dikoleksi, tanaman tersebut diseleksi sesuai dengan karakter yang diinginkan. (Pengetahuan cara perkembangbiakan tanaman penting untuk pemulia, karena menentukan metode seleksi yang digunakan). Hasil seleksi bisa dilepas menjadi varietas baru setelah via serangkaian pengujian varietas yang dihasilkan biasanya: varietas lokal. Metode seleksi yang biasa dilakukan adalah seleksi massa dan seleksi galur murni. Seleksi diharapkan dapat memperbaiki satu atau beberapa karakter yang diinginkan. Karakter tersebut tersebar di beberapa genotip. Untuk mengumpulkan atau untuk

memunculkan karakter yang diinginkan diperlukan perluasan keragaman genetik sehingga seleksi lebih efektif.

- 3) Perluasan keragaman genetik umum dilakukan dengan cara hibridisasi dan mutasi. Persilangan adalah penyerbukan silang antara tetua yang berbeda susunan genetiknya. Mutasi merupakan perubahan mewariskan bahan genetik yang tidak disebabkan oleh rekombinasi atau segregasi. Perluasan keragaman genetik teknologi baru melalui fusi protoplasma dan transformasi genetik (transgenik). Fusi protoplasma adalah upaya menyilangkan sel somatik secara *in vitro*, bagi persilangan antar-genotip/spesies yang tidak bisa dilakukan secara konvensional, dengan melibatkan organel sel tertentu. Fusi protoplasma bertujuan untuk meningkatkan keragaman genetik tanpa hibridisasi seksual. Teknik ini berpeluang merakit tanaman dari spesies berbeda. Transformasi genetik tanaman adalah pemindahan gen (DNA) asing (yang diisolasi dari tanaman, virus, bakteri, jamur, dan hewan) ke dalam genom tanaman. Gen tersebut dapat menampilkan karakter yang disandinya pada tanaman yang mengalami transformasi tersebut.
- 4) Setelah perluasan keragaman genetik, dilakukan seleksi. Metode seleksi yang digunakan sangat tergantung dari tipe penyerbukan. Ada 2 tipe penyerbukan, yaitu:
 - a. Tanaman menyerbuk sendiri: seleksi menggunakan metode bulk, pedigree, *single seed descend*, *diallel selective mating system*, dan *back cross*. Varietas yang dihasilkan berupa galur murni.
 - b. Tanaman menyerbuk silang: seleksi menggunakan metode *recurrent selection*, hibrida, dan *back cross*. Varietas yang dihasilkan berupa varietas hibrida dan bersari bebas
- 5) Setelah seleksi, dilakukan uji daya hasil pendahuluan dan uji daya lanjutan. Hasil dari uji daya lanjutan: berupa galur-galur harapan atau calon varietas yang siap dilepas setelah uji multilokasi (pengujian dilakukan di beberapa lokasi dan musim). Uji multilokasi dilakukan sebelum calon varietas tersebut dilepas sebagai varietas.

- 6) Syarat pelepasan varietas, yaitu silsilah jelas, deskripsi lengkap, unggul, benih penjenis tersedia dengan cukup (**Gambar 1**).

3. Evolusi Pemuliaan Tanaman

Pemuliaan tanaman telah dilakukan sejak manusia pertama kali membudidayakan tanaman. Selama 100 tahun terakhir intensitas pemuliaan tanaman telah meningkat, dan sekarang dikenal sebagai integrasi yang rumit antara sains dan kepraktisan. Belakangan ini, meningkatnya kebutuhan untuk memberi makan penduduk dunia, serta permintaan yang semakin besar akan pola makan yang seimbang dan sehat, telah menyebabkan tekanan yang terus berlanjut untuk menghasilkan budidaya tanaman baru yang lebih baik. Strategi yang digunakan untuk menghasilkan ini semakin didasarkan pada pengetahuan pemulia tentang sains yang relevan, khususnya genetika, tetapi melibatkan pemahaman multidisiplin yang mengoptimalkan pendekatan yang diambil.

Persyaratan pertama dari setiap program pemuliaan adalah menghasilkan variasi genetik pada karakter yang akan diperbaiki. Setelah variasi genetik dihasilkan, perlu untuk memilih jenis yang diinginkan, yang memiliki ekspresi karakter atau kombinasi karakter tertentu yang lebih baik. Setelah diidentifikasi jenis yang dipilih perlu distabilkan dan diperbanyak / digandakan untuk penggunaan komersial. Oleh karena itu, pemuliaan tanaman tampaknya merupakan proses yang relatif sederhana, dan dalam banyak hal memang benar bahwa gagasan perbaikan tanaman itu sederhana. Namun, kenyataannya lebih kompleks. Tiga elemen proses pemuliaan tanaman dapat dipertimbangkan (disebutkan di atas sebagai: untuk menghasilkan variasi genetik, untuk seleksi, dan untuk menstabilkan dan menggandakan untuk penggunaan komersial) untuk memahami pemuliaan tanaman modern.

Pemuliaan tanaman dianggap sebagai salah satu aktivitas terlama yang dilakukan oleh manusia, yang memilih tanaman yang lebih produktif dan berguna bagi diri mereka sendiri dan hewan setidaknya 10.000 tahun yang lalu. Evolusi peradaban menyamai keberhasilan pemuliaan tanaman, meskipun hal ini belum diakui oleh publik. Alasannya mungkin kurangnya pemahaman tentang apa yang mencakup pemuliaan tanaman. Konsep pemuliaan tanaman

berkembang, tergantung pada waktu perumusannya, tetapi tanpa kehilangan hakikat seni dan ilmu memanipulasi tanaman untuk manusia. Di dalam evolusi konsep dan metode pemuliaan tanaman, ada tiga unsur penting yang perlu diketahui: seleksi berdasarkan fenotipe, nilai pemuliaan dan genotipe.

- **Seleksi berdasarkan fenotipe:**

Fenotipe dihasilkan dari kombinasi pengaruh genetik dan lingkungan individu. Fenotipe adalah ciri-ciri visual yang diamati dan merupakan ciri-ciri pertama yang terlihat jelas baik yang diekspresikan sebagai bunga hias yang indah, kematangan, perawakan tanaman, ketahanan terhadap hama, atau ciri-ciri lain yang dapat diamati. Fenotipe individu jelas merupakan unit seleksi oleh pemulia tanaman sebelumnya karena seleksi berdasarkan fenotipe (biasanya disebut sebagai seleksi massal) adalah metode yang jelas untuk memilih tipe yang diinginkan. Awalnya, seleksi adalah untuk fenotipe yang lebih produktif di antara spesies tumbuhan liar dan liar untuk menyediakan makanan dalam jumlah yang cukup bagi peradaban primitif. Secara bertahap, kisaran sifat yang dipertimbangkan dalam seleksi diperluas untuk mencakup adaptasi yang lebih baik, jenis tanaman dan benih yang disukai, ketahanan yang lebih besar terhadap hama, dan sifat-sifat lain yang dipertimbangkan untuk keperluan dekorasi dan upacara.

Seleksi fenotipe tentu saja merupakan metode pemilihan tanaman dengan penggunaan yang paling lama dan terus menerus dalam perbaikan tanaman. Ini adalah metode sederhana yang membutuhkan sumber daya minimum dan telah menjadi metode yang efektif dalam banyak hal. Kontribusi terbesar dari seleksi fenotipik harus mencakup transisi dari spesies tanaman liar ke spesies tanaman budidaya. Dalam kebanyakan kasus, itu mungkin termasuk membuat perubahan kecil dan bertahap yang, dengan beberapa mutan yang berguna, akhirnya menyebabkan spesies tanaman bergantung pada manusia untuk kelangsungan hidup mereka. Seleksi fenotipik efektif untuk sifat-sifat yang memiliki sistem genetik yang relatif lebih sederhana; yaitu memiliki heritabilitas yang lebih tinggi. Karena seleksi fenotipik didasarkan pada seleksi antar individu, kombinasi pengaruh genetik dan

lingkungan tidak dapat dipisahkan. Seleksi fenotipe umumnya digunakan dalam program pemuliaan tanaman dan hasilnya serupa dengan yang dialami dalam mengembangkan kultivar penyerbukan terbuka. Seleksi fenotipe memiliki sejarah terpanjang dari semua metode perbaikan tanaman; itu digunakan untuk mengembangkan spesies tanaman budidaya dari spesies induk liar, liar yang menghukum dan terus digunakan dalam pengembangan plasma nutfah dan pembibitan. Seleksi fenotipe jelas sangat penting dalam mengembangkan sumber daya plasma nutfah kita saat ini dan mungkin harus dianggap sebagai salah satu pencapaian terbesar pemuliaan dan seleksi fenotipik akan selalu mendapat tempat dalam pemuliaan tanaman, tetapi keefektifannya akan bergantung pada sifat-sifat yang dipertimbangkan dalam seleksi dan meminimalkan efek lingkungan.

- **Nilai Pemuliaan:**

Konsep menentukan nilai pemuliaan uji keturunan orang tua adalah salah satu faktor utama untuk kemajuan produktivitas yang dibuat selama abad ke-20. Sebagian besar penelitian menunjukkan bahwa 50 - 60% kemajuan yang dicapai dalam hasil biji jagung adalah karena perbaikan genetik yang dilakukan pada galur dan hibrida. Meskipun tidak sebesar pada spesies tanaman lain, kemajuan signifikan telah dibuat untuk produktivitas dan toleransi terhadap hama, kekeringan, tanah masam, dan lain-lain. Nilai pemuliaan akan terus menjadi komponen penting dalam program pemuliaan tanaman di masa depan dalam pemilihan tetua yang dipertimbangkan dalam mengembangkan populasi pemuliaan.

- **Seleksi berdasarkan genotipe:**

Secara tidak langsung, genotipe selalu menjadi unit dasar seleksi, baik melalui seleksi alam maupun manusia. Selama ribuan tahun yang mencakup domestikasi, seleksi fenotipik, evaluasi nilai pemuliaan, dan saat ini ketika genetika molekuler digunakan dalam pemilihan genotipe induk, dan pengembangan organisme hasil rekayasa genetika (GMO), genotipe individu tetap menjadi unit seleksi. Seberapa efektif seleksi genotipe tergantung pada heritabilitas sifat tersebut, yang ditentukan oleh bagaimana

lingkungan mempengaruhi ekspresi genotipe. Selama awal abad ke-20, pemulia tanaman dan ahli genetika dapat mempelajari dan memetakan lokasi pada kromosom untuk gen mutan yang dapat diklasifikasikan berdasarkan pemisahan fenotipe mereka. Ciri-ciri ini dianggap sebagai ciri tipe Mendel dalam pewarisannya dan termasuk jenis endosperm, orientasi daun, ukuran tanaman, bentuk, dan lain-lain. Studi genetika ini informatif untuk penentuan organisasi kromosom, tetapi mereka tidak berkontribusi secara langsung untuk mengembangkan kultivar baru.

Penilaian nilai tanaman sehingga pemulia dapat memutuskan individu yang harus dibuang dan yang diperbolehkan untuk menghasilkan generasi berikutnya adalah tugas yang sangat sulit. Pemulia harus detail memperhatikan dan memahami semua karakter kualitatif maupun kuantitatif sampel.

- Karakter kualitatif: karakter yang paling mudah dihadapi, yang diatur oleh satu atau beberapa gen utama. Banyak perbedaan yang diwariskan dan memiliki pengaruh yang besar pada nilai dan pemanfaatan tanaman. Contoh: biji bertepung versus manis (karakteristik ladang dan jagung manis, masing-masing) dan determinan versus kebiasaan pertumbuhan tak tentu dalam kacang hijau (varietas determinan disesuaikan dengan pemanenan mekanis). Perbedaan tersebut dapat dilihat dengan mudah dan dievaluasi dengan cepat, dan ekspresi sifatnya tetap sama terlepas dari lingkungan tempat tanaman tumbuh. Ciri-ciri jenis ini disebut sangat diwariskan.
- Karakter kuantitatif: karakter tumbuhan bergradasi secara bertahap dari satu ekstrim ke ekstrim lainnya dalam rangkaian yang berkesinambungan, dan klasifikasi ke dalam kelas-kelas terpisah tidak dimungkinkan. Variabilitas seperti itu disebut kuantitatif. Karakter ekonomi penting dari jenis ini; misalnya ketinggian, toleransi dingin dan kekeringan, waktu untuk matang, dan terutama hasil. Ciri-ciri ini diatur oleh banyak gen, masing-masing memiliki pengaruh kecil. Meskipun perbedaan antara dua jenis sifat tidak mutlak, namun mudah untuk menunjuk karakter kualitatif sebagai yang melibatkan perbedaan diskrit dan karakter kuantitatif sebagai

yang melibatkan seri bertingkat. Karakter kuantitatif jauh lebih sulit untuk dikendalikan oleh pemulia, karena tiga alasan utama:

- 1) banyaknya gen yang terlibat membuat perubahan keturunan lambat dan sulit untuk dinilai;
- 2) variasi sifat yang terlibat umumnya hanya dapat dideteksi melalui pengukuran dan analisis statistik yang tepat; dan

sebagian besar variasi disebabkan oleh lingkungan dan bukan karena faktor genetik; Misalnya heritabilitas sifat tertentu kurang dari 5%, artinya 5% variasi yang diamati disebabkan oleh gen dan 95% disebabkan oleh pengaruh lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan eksperimen yang dirancang dengan cermat untuk membedakan tanaman yang lebih unggul karena mereka membawa gen yang diinginkan dari yang lebih unggul karena kebetulan tumbuh di lokasi yang menguntungkan.

BAB III

SEJARAH PERKEMBANGAN PEMULIAAN TANAMAN KELAPA SAWIT DI INDONESIA

Sejarah perkembangan pemuliaan tanaman sangat terkait dengan sejarah perkembangan genetika dan sitologi. Metode pemuliaan tanaman yang lahir pertama kali adalah seleksi dan domestikasi. Sejak lahirnya teori seleksi alam dan evolusi dan ditemukan prinsip penurunan sifat pada organisme, para ahli banyak melakukan penelitian untuk mendapatkan varietas baru. Dengan dukungan berbagai ilmu, pemuliaan tanaman sebagai ilmu berkembang dengan pesat. Demikian halnya tanaman kelapa sawit, berawal dari empat benih kelapa sawit yang diintroduksi pada tahun 1848, industri kelapa sawit Indonesia terus berkembang hingga menjadi penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Pada BAB ini akan dibahas sejarah perkembangan pemuliaan tanaman secara umum, sejarah perkembangan kelapa sawit di Indonesia,

1. Sejarah Perkembangan Pemuliaan Tanaman Secara Umum

Sejarah perkembangan pemuliaan tanaman sama dengan sejarah perkembangan pertanian. Sejarah perkembangan pemuliaan tanaman sangat terkait dengan sejarah perkembangan genetika dan sitologi.

- Bangsa Assyrians dan Babylonia (awal tahun 700 sebelum masehi) telah melakukan persilangan buatan pada tanaman sejenis palem.
- Hooke (1635-1703), Grew (1641-1712) dan Malpighi (1628-1694): pengguna mikroskop I, dan pelopor penelitian permulaan dari sel. Millington (1676) mengemukakan fungsi tepung sari, organ kelamin jantan. Camerarius (1694) mendemonstrasikan organ seks pada tanaman. Cotton Mather (1716) menemukan persilangan alami pada tanaman jagung. Sejak itu orang mulai melakukan persilangan pada tanaman untuk memperoleh jenis hibrida yang dipelopori oleh: Fairchild (1717) Joseph Koelreuter (1760-1766) dan Andrew Knight (1757-1835). Newport (1854) Pringsheim (1856), dan Thuret (1857) mengemukakan pertama istilah

fertilisasi. Charles Darwin (1858) mengemukakan teori Seleksi Alam dan Evolusi.

- Gregor Mendel (1822-1884) mengumumkan hasil penelitian dengan kacang polong: berupa penurunan sifat dari *parents* kepada *filials*, dikenal Hukum Mendel. Tetapi produk penelitian itu belum diakui oleh para ilmuwan saat itu. Strasburger (1875) melaporkan gambaran inti sel secara lengkap. Hertwig (1875) menegaskan bahwa gamet-gamet yang bersatu itu berasal dari induknya masing-masing. Fleming (1882) pertama memberikan nama kromatin untuk bagian kromosom yang mudah mengisap zat warna. Hjalman Nilson (1890) mengembangkan varietas baru yang berasal dari seleksi turunan tanaman menyerbuk sendiri, dengan cara tersebut pemulia tanaman mulai menggunakan dasar ilmiah untuk pertama kali. Hugo de Vries, Carl Correns dan Tschermak (1900) melakukan kembali penelitian sama dengan yang dilakukan oleh Gregor Mendel, tetapi pada lokasi yang berbeda. Hasil penelitian ketiga ilmuwan ini, menunjukkan prinsip yang sama dengan Gregor Mendel Sejak itu Hukum Mendel baru diakui kebenarannya, dan sejak itu pula penelitian Genetika, Sitologi, dan pemuliaan tanaman berkembang dengan pesat. Bateson (1900) mengemukakan istilah *allorlormorf*, *homozigot*, dan *filial*. Punnet dan Bateson (1902) menunjukkan adanya peristiwa *linkage* pada organisme. Shull (1904) mengembangkan galur inbrida pada tanaman jagung, dan mengusulkan istilah *heterosis* untuk ketegaran *hibrida*. Haris (1912) mengusulkan penggunaan *Chi-square*. Inkler (1912) mengusulkan nama genom untuk sepasang kromosom. Love (1934) menerangkan rancangan percobaan dan sidik ragam.
- Crik dan Watson (1953) menemukan molekul DNA sebagai penentu pewarisan sifat pada organisme, sejak itu genetika modern/rekayasa genetika berkembang pesat. IRRI (1965) telah melepas varietas unggul padi dengan nama PB5 (IR5) dan IR8 (PB8). Varietas ini berumur genjah, berdaun tegak, respon terhadap pemupukan dan potensi produksi tinggi, dan mempunyai andil besar dalam *green revolution*. Metode pemuliaan

tanaman yang lahir pertama kali adalah seleksi dan domestikasi. Sejak lahirnya teori Seleksi Alam dan Evolusi dan ditemukan prinsip penurunan sifat pada organisme (1866) para ahli banyak melakukan penelitian untuk mendapatkan varietas baru. Dengan dukungan berbagai ilmu, pemuliaan tanaman sebagai ilmu berkembang dengan pesat.

2. Sejarah Perkembangan Kelapa Sawit di Indonesia

Berawal dari empat benih kelapa sawit yang diintroduksi pada tahun 1848, industri kelapa sawit Indonesia terus berkembang hingga menjadi penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Saat ini luasan perkebunan kelapa sawit Indonesia mencapai 10,95 juta ha dan produksi *crude palm oil* (CPO) sebesar 29,5 juta ton. Nilai ekspor minyak sawit dan produk turunannya ekspor mencapai USD 17 milyar atau sekitar 14% dari total ekspor non migas. Selain sebagai sumber pemasukan devisa, kelapa sawit juga sangat berperan dalam penyediaan tenaga kerja dan pengembangan wilayah melalui dampak *multiplier effect* dari pengembangan perkebunan kelapa sawit. Sebagai salah satu sumber minyak nabati dunia, kelapa sawit di Indonesia memegang peranan penting dalam perdagangan global. Hal ini dapat dilihat dari beberapa aspek, yakni:

- 1) kemampuan Indonesia untuk meningkatkan produksi baik melalui proses intensifikasi maupun ekstensifikasi,
- 2) harga yang kompetitif, dan
- 3) aspek nutrisi kelapa sawit.

Untuk peningkatan produksi melalui ekstensifikasi, Indonesia memiliki peluang untuk meningkatkan luas areal perkebunan kelapa sawit di wilayah perbatasan. Berdasarkan hasil penilaian kesesuaian lahan, luas areal potensial wilayah perbatasan sebesar 3,7 juta ha untuk dapat dikembangkan menjadi perkebunan kelapa sawit. Dari sisi produktivitas, tanaman kelapa sawit merupakan tanaman yang paling produktif dibandingkan dengan tanaman penghasil minyak nabati lainnya, Dengan rerata produksi minyak antara 4-5 ton/ha pada skala komersial, tingkat produksi minyak kelapa sawit melebihi

kemampuan produksi minyak dua tanaman utama penghasil minyak nabati lainnya, yakni *rapeseed* (2 ton/ha) dan kedelai (0.5 ton/ha). Produktivitas kelapa sawit diperkirakan akan terus meningkat sejalan dengan penerapan *best management practices*, dan diharapkan dapat mencapai potensi produksi sekitar 8-10 ton CPO/ha/tahun, sebagaimana yang diperoleh dari hasil-hasil pengujian projeni.

Bila ditinjau dari aspek harga, kelapa sawit merupakan komoditi yang kompetitif dibandingkan dengan rapeseed dan kedelai. Biaya produksi untuk menghasilkan 1 ton minyak kelapa sawit sebesar USD 300, lebih rendah dibandingkan dengan biaya produksi 1 ton minyak kedelai (USD 400 – 800) dan minyak rapeseed (USD 500 – 1200). Beberapa kelebihan kelapa sawit dari aspek biaya mencakup biaya input produksi, biaya operasi (kecuali biaya tenaga kerja) dan biaya lahan. Hasil kajian ekonomi oleh Agri Benchmark menunjukkan bahwa pasar minyak nabati dunia di masa depan akan dikendalikan oleh *supply* minyak kelapa sawit. Kekuatan kelapa sawit juga direfleksikan melalui kandungan nutrisi kelapa sawit. Kelapa sawit merupakan minyak nabati yang kaya akan beta karoten (pro vitamin A) dan vitamin E. Keseimbangan antara komponen jenuh dan minyak tak jenuh pada minyak kelapa sawit memungkinkan kelapa sawit untuk menyediakan fraksi padat yang alami tanpa memerlukan proses hidrogenasi, sehingga memiliki lebih sedikit struktur molekul *trans*.

A. Introduksi Kelapa Sawit ke Indonesia

Introduksi kelapa sawit ke Indonesia (dahulu disebut Netherlands India atau Hindia Belanda) terdapat empat bibit kelapa sawit yang ditanam di *Buitenzorg Botanical Garden* (Kebun Raya Bogor) pada tahun 1848. Dari empat bibit tersebut, dua bibit diintroduksi dari Bourbon atau Mauritius pada Februari 1848 oleh D.T Pryce, sementara dua bibit yang lainnya diintroduksi dari Amsterdam pada Maret 1848. Ada dugaan bahwa bibit dari Amsterdam juga berasal dari kelompok yang sama dengan bibit yang berasal dari Bourbon. Laporan resmi pertama mengenai tanaman

kelapa sawit yang diintroduksi oleh D.T. Pryce di Bogor ditulis pada 23 Maret 1850 oleh J.E. Teysmann, seorang pengawas Pemerintahan (Intendant Gouvernements-hotels), yang isinya sebagai berikut: '*Elaeis guineensis* dari *Hortus Botanicus Amsterdam* yang dibawa oleh D.T. Pryce telah diterima.

Palma ini merupakan tanaman yang menghasilkan minyak. Pada 1 Maret 1853, Teysmann kembali menulis laporan: '*Elaeis guineensis* yang telah dilaporkan sebelumnya, telah menghasilkan bunga dan ditemukan bahwa dua tanaman yang berasal dari Bourbon keduanya berbunga jantan, tetapi dua tanaman lainnya yang berasal dari Hortus Botanicus Amsterdam keduanya berbunga betina. Tanaman yang terakhir akan segera menghasilkan buah'. Pada Maret 1856, Teysmann menuliskan laporan tentang kelapa sawit di Kebun Raya Bogor sebagai berikut: "Tanaman *Elaeis guineensis* yang sebelumnya hanya menghasilkan bunga jantan atau bunga betina, pada akhirnya menghasilkan bunga jantan dan bunga betina. Telah diperoleh banyak buah dari tanaman-tanaman tersebut, yang sebagian buahnya direbus untuk diambil minyaknya, dan sebagian buah digunakan untuk reproduksi. Namun demikian, belum diketahui apakah tanaman ini akan produktif dalam menghasilkan minyak, sebagaimana halnya tanaman kelapa, palma yang paling bermanfaat yang telah menyebar secara luas".

Buah kelapa sawit yang dipanen dari empat dura tersebut (sesuai laporan Teysmann) didistribusikan secara gratis ke berbagai wilayah pada tahun 1853. Pada tahun 1858, Sekretaris Kantor Kolonial (*the Secretary of the Colonial Office*) di Hindia Belanda mengajak Pemerintah Negara Belanda untuk menjajaki kemungkinan penanaman kelapa sawit di Indonesia. Sebanyak 146 lot benih kelapa sawit didistribusikan ke: (i) Jawa dan Madura (mencakup Bagelen, Banyumas, Banyuwangi, Bantam, Batavia, Besuki, Cirebon, Yogyakarta, Jepara, Kediri, Kedu, Madiun, Madura, Pasuruan, Pekalongan, Priangan, Probolinggo, Rembang, Semarang, Surabaya, Surakarta, Tegal), (ii) Sumatera (Bengkulu,

Lampung, Palembang, Sumatera Timur, Sumatera Barat, Tapanuli, Riau), (iii) Kalimantan, (iv) Sulawesi, (v) Maluku, (vi) Nusa Tenggara. Sebelum tahun 1860 sekitar 3.4 ha areal percobaan kelapa sawit dibangun di Banyumas dan 0.74 ha dibangun di Palembang. Selama periode 1859 – 1864, pengeluaran tahunan dibuat untuk pemeliharaan percobaan ini. Pada tahun 1864, percobaan kelapa sawit di Banyumas dan Palembang dihentikan. Tanaman kelapa sawit di kebun percobaan tumbuh lebih baik dibandingkan dengan pertumbuhan di tempat asalnya, dan tanaman mulai menghasilkan buah pada umur 4 tahun, lebih cepat dibandingkan di tempat asalnya yang memerlukan waktu 6-7 tahun untuk berbuah. Tanaman kelapa sawit tidak hanya diujicobakan di wilayah Banyumas dan Palembang, tetapi juga ditanam di residen lainnya, seperti di Residen Priangan. Beberapa perkebunan swasta juga mengujicobakan tanaman kelapa sawit di wilayah Pamanukan dan Ciasem, Cikandi Udik, Ciomas dan beberapa tempat lainnya. Pada 1875, benih kelapa sawit yang berasal dari Kebun Raya Bogor ditanam di Distrik Deli Sumatera. Empat tahun kemudian pada 1879, J. Krol, Kepala *Deli Maaatschappij* melaporkan ke Kebun Raya Bogor bahwa kelapa sawit yang ditanam di Distrik Deli tumbuh dengan sangat baik.

Pada 1878, Direktur Kebun Raya Bogor merancang sebuah plot percobaan kelapa sawit seluas 1 acre (0.4 ha) di Economic Garden, Bogor. Kelapa sawit yang ditanam di Economic Garden ini diduga menjadi sumber kelapa sawit yang ditanam di perkebunan tembakau di Sumatra. Kelapa sawit diketahui ditanam di perkebunan tembakau dekat Medan, pengelola perkebunan menggunakan tanaman kelapa sawit sebagai tanaman hias di pinggir-pinggir jalan menuju bungalow dan gedung pusat. Tanaman paling tua diketahui berada di St. Cyr Estate yang ditanam pada 1884 dan Bekala Estate yang ditanam pada 1888. Selain itu, terdapat juga pohon kelapa sawit yang ditanam di St. Cyr Estate dan Bekala Estate pada 1898, di Morawa Estate pada 1898 dan 1903, serta di perkebunan Medan, Polonia, Sei Sikambing, dan Rotterdam. Kurangnya

publikasi mengenai kegunaan kelapa sawit pada masa tersebut menyebabkan tidak adanya industri perkebunan kelapa sawit sebelum tahun 1911. Ketidak tertarikannya untuk mengusahakan kelapa sawit dikarenakan ketiadaan industri pengolahan dan pada saat itu kelapa sawit tidak dapat berkompetisi dengan tanaman kelapa. Meskipun hasil pengujian di plot-plot percobaan menunjukkan hasil yang sangat baik, tetapi pengembangan kelapa sawit pada skala ekonomi pada masa itu tidak segera dikembangkan oleh Pemerintah Belanda. Dr Hunger dalam tulisannya mengenai sejarah kelapa sawit menyampaikan opini bahwa kegagalan dalam pengembangan kelapa sawit di Jawa lebih karena sikap dari otoritas lokal yang tidak memiliki antusias untuk mengembangkan lebih lanjut, dan menghentikan percobaan kelapa sawit sesegera mungkin.

B. Awal Pengembangan Kelapa Sawit di Indonesia (1911 – 1945)

Tonggak pengembangan kelapa sawit di Indonesia pada skala ekonomi dibangun oleh M. Adrien Hallet, seorang warga negara Belgia. Berbekal pengetahuan tentang kelapa sawit yang didapat dari Kongo – Afrika, dan melihat pertumbuhan kelapa sawit yang baik sebagai tanaman hias di Sumatera, Hallet membangun perkebunan kelapa sawit pertama seluas 6500 acre (~ 2630 ha) pada 1911 di wilayah Sumatera bagian Timur mencakup Pulu Raja (Asahan) dan Sungai Liput (Aceh) dengan menggunakan bahan tanaman orijin Deli. Pada saat yang bersamaan, K. Schadt, warga negara Jerman, menanam 2000 bibit kelapa sawit di Tanah Itam Ulu. Di tahun-tahun berikutnya, kelapa sawit ditanam di setiap wilayah yang berdekatan dengan distrik-distrik tersebut. Perang dunia pertama mempengaruhi perkembangan luas areal kelapa sawit. Hingga 1917, luas perkebunan kelapa sawit di Sumatera masih sekitar 1.605 ha.

Setelah perang dunia pertama, industri kelapa sawit berkembang cukup pesat. Pada tahun 1918 terdapat 2.100 ha kebun kelapa sawit yang dikelola oleh 19 kebun. Pabrik kelapa sawit (PKS) pertama dibangun di Sungei Liput pada tahun 1918. Pada tahun 1922, jumlah perkebunan yang

mengelola kelapa sawit mencapai 25 maskapai di Sumatera Timur, delapan maskapai di Aceh, dan satu maskapai di Sumatera Selatan dengan total luas area sekitar 6.916 ha dan meningkat menjadi 31.600 ha pada tahun 1925. Pada tahun 1938, perkebunan kelapa sawit di Sumatera mencapai luasan 90.000 ha, dan terus meningkat menjadi 100.000 ha pada 1939 yang dikelola oleh 66 kebun. Pada masa penjajahan Jepang 1942-1945, banyak perkebunan kelapa sawit yang diganti dengan tanaman pangan dan pabrik kelapa sawit dihentikan kegiatannya. Setelah kemerdekaan, pada tahun 1947 kebun-kebun tersebut dikembalikan ke pemiliknya semula. Setelah direinventarisasi hanya 47 kebun saja yang dapat dibangun kembali dari 66 kebun sebelumnya. Beberapa kebun mengalami kehancuran total seperti Kebun Taba Pingin dan Kebun Oud Wassenar di Sumatera Selatan, Kebun Ophir di Sumatera Barat, Kebun Karang Inou di Aceh dan beberapa kebun di Riau.

C. Perkembangan Kelapa Sawit Pasca Kemerdekaan

Perkembangan luas areal kelapa sawit setelah masa penjajahan Jepang hingga tahun 1969 hanya mengalami peningkatan sekitar 10.000 ha. Pada masa setelah kemerdekaan, terjadi stagnasi dan situasi politik sangat tidak mendukung perkembangan industri kelapa sawit di Indonesia. Namun demikian, beberapa hal yang dicatat pada periode peralihan 1957 – 1968 sebagai berikut:

- 1) Pemerintah Indonesia mengambil alih atau nasionalisasi perusahaan Belanda pada 10 Desember 1957. Hal ini dilakukan sesuai Surat Keputusan Menteri Pertanian No. 229/UM/1957.
- 2) Pengembalian perusahaan milik Inggris, Perancis, Belgia dan Amerika kepada pemiliknya masing-masing pada 19 Desember 1967.
- 3) Reorganisasi Perusahaan Negara Perkebunan (PNP), melalui penggabungan Perusahaan Perkebunan Negara (PPN) pada 1961-1962.

- 4) Pembentukan organisasi baru berdasarkan komoditas, yakni karet, aneka tanaman, tembakau, gula dan serat pada 1963 – 1968, yang disusul dengan pembentukan PT. Perkebunan (PTP).

Pulihnya keamanan dan politik setelah gerakan G30S/PKI serta semangat membangun dari Pemerintahan Orde Baru banyak mengundang perhatian investor asing seperti Bank Dunia dan Asian Development Bank untuk berkontribusi dalam pembangunan perkebunan. Pada masa Pembangunan Lima Tahun (Pelita) I yang dimulai pada 1968, pembukaan areal kelapa sawit dilakukan di luar wilayah tradisional. Dalam upaya pengembangan perkebunan besar swasta, Direktorat Jenderal Perkebunan menyusun kebijakan Perkebunan Besar Swasta Nasional (PBSN) melalui mekanisme kredit pada tahun 1977. Skema PBSN berjalan cukup baik dalam tiga tahap, yakni PBSN I pada 1977-1981, PBSN II 1981-1986, dan PBSN III pada 1986-1989.

BAB IV KOLEKSI PLASMA NUTFAH TANAMAN

1. Domestikasi Tanaman

Domestikasi adalah suatu budidaya yang menyebabkan perubahan genetik pada tanaman yang dilakukan oleh manusia. Proses domestikasi ini membutuhkan waktu bertahun-tahun karena melibatkan suatu seleksi dan pemuliaan (perbaikan keturunan) yang menghasilkan sebuah varietas atau spesies baru (spesiasi). Domestikasi bisa disebut sebagai bentuk evolusi akibat proses adaptasi dari lingkungan liar ke lingkup kehidupan sehari-hari manusia. Oleh karena itu, spesies baru yang terbentuk akan memiliki karakter yang berbeda dengan nenek moyangnya.

Menurut sejarah, domestikasi tumbuhan telah lama dilakukan sejak 10.000 tahun yang lalu di Mesopotamia. Bangsa Mesopotamia mengumpulkan biji-biji tumbuhan seperti gandum, jelai, kacang-kacangan dan kacang polong, kemudian menanam dan menumbuhkannya. Sejak terjadi domestikasi tumbuhan, manusia tidak lagi hidup dengan berburu hewan atau mencari tumbuhan liar. Mereka mulai hidup menetap dan bercocok tanam. Tujuan manusia melakukan domestikasi pada tumbuhan tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan pangan, tetapi juga untuk bahan baku kain, dekorasi, atau komoditas perdagangan. Tumbuhan yang didomestikasi akan mengalami perubahan baik pada bentuk maupun karakter yang dimiliki. Salah satu contoh adalah jagung (*Zea mays*). Para ahli berpendapat bahwa jagung yang dibudidayakan sekarang ini adalah bentuk evolusi dari jagung liar (*Teosinte*). Jagung yang sekarang memiliki jumlah biji yang banyak dengan tongkol yang tertutup, berbeda dengan *Teosinte* yang hanya memiliki jumlah biji yang sedikit dengan tongkol yang terbuka.

Seiring berkembangnya teknologi, manusia juga melakukan pengembangan domestikasi tumbuhan dengan cara menyisipkan gen yang dikehendaki atau melakukan perkawinan silang sehingga tanaman budidaya saat ini banyak yang memiliki sifat tahan terhadap hama, tahan terhadap penyakit, atau dapat bertahan dalam suhu tinggi maupun rendah. Sampai sekarang, domestikasi

pada tumbuhan masih terus dilakukan dan dikembangkan oleh manusia. Perubahan yang terjadi pada bentuk dan sifat akibat proses domestikasi tersebut berbeda-beda tergantung dari masing-masing spesies dan budaya dari komunitas manusia yang mengadopsinya. Dengan kata lain, manusia dapat mempengaruhi bentuk evolusi pada tumbuhan yang dapat mengakibatkan terjadinya keanekaragaman spesies di dunia.

Jadi dalam proses domestikasi terjadi perubahan dari tumbuhan liar ke tanaman budidaya, melibatkan seleksi alam dan buatan, terjadi perubahan karakter morfologi, fisiologi, dan biokimia tanaman, sehingga lebih sesuai dengan sistem budidaya dan kebutuhan manusia. Pada tanaman liar, tingkat keragamannya rendah, dan secara naluri, seleksi, propagasi, dan mempertahankan karakter-karakter yang baik adalah dasar mengetahui awal domestikasi. Sedangkan tanaman hasil domestikasi: tingkat keragamannya tinggi, berbeda, terisolasi secara reproduksi, perubahan genetik (perubahan frekuensi gen-gen akibat seleksi).

2. Koleksi Plasma Nutfah Tanaman

Koleksi plasma nutfah adalah sumber kekayaan keragaman genetik bagi pemuliaan tanaman. Koleksi ini merupakan hasil eksplorasi dari tempat terdapatnya keragaman genetik yang tinggi yaitu dari tempat asal berkembangnya spesies tanaman (*center of origin*) atau dari tempat tanaman secara intensif dibudidayakan sejak lama (*center of diversity*). Koleksi plasma nutfah bertujuan untuk mempelajari tingkat keragaman yang ada dan untuk konservasi keragaman genetik. Keragaman genetik dapat menurun karena usaha untuk menanam atau memperluas jenis-jenis unggul baru, sehingga jenis-jenis lokal yang amat beragam akan terdesak, bahkan dapat punah. Akibatnya dapat mengurangi ragam genotipe yang penting artinya bagi pemuliaan. Untuk itu diperlukan lembaga yang mampu melaksanakan koleksi semua jenis secara bertahap.

Pelestarian genetik via koleksi dalam jumlah besar dan luas memerlukan kerjasama antara pemerintah diberbagai negara dengan lembaga penelitian

internasional, dibutuhkan biaya besar. Koleksi berasal dari pusat penyebaran dan sentra produksi tanaman. Koleksi dan konservasi plasma nutfah, perhatian dunia, dibentuk suatu badan dunia yaitu: *international Plant Genetic Resource Institute* (IPGRI) (**Tabel 1**) yang bertujuan untuk:

- menetapkan sejumlah species yang menjadi prioritas pengelolaan plasma nutfah pada tingkat global dan regional,
- membentuk badan-badan internasional yang berperan dalam pengelolaan plasma nutfah untuk komoditas tertentu.

Tabel 1. Beberapa Lembaga Internasional Pengelolaan Plasma Nutfah:

No.	Nama Lembaga		Lokasi	Tanaman Koleksi
1	CIAT	International Center for Tropical Agriculture	Cali, Kolombia	Padi, rumput pakan, leguminosa, ketela pohon.
2	CIMMYT	International Maize and Wheat Improvement Center	El Batan, Meksiko	Jagung dan gandum
3	CIP	International Potato Center	Lima, Peru	Kentang dan ubi jalar.
4	ICARDA	International Center for Agriculture in The Dry Area	Aleppo, Syria	Gandum, barley, faba bean, pakan, leguminosa.
5	ICRISAT	International Crop Research Institute for The Semi Arid	Hyderabad, India	Sorghum, millet, chickpea, kacang tanah.
6	IITA	International Institute for Tropical Agriculture	Ibadan, Nigeria	Padi, kentang, ubi jalar, kacang tanah, kedelai, jagung, ketela pohon.
7	IRRI	International Rice Research Institute	Los Banos, Filipina	Padi
8	AVRDC	Asian Vegetable Research and Development Center	Shanhua, Taiwan	Sayuran

Di Indonesia pengelolaan sumber daya genetika tanggung-jawab KNPB. Koleksi plasma nutfah Indonesia secara fisik tanggung-jawab LIPI, dan khusus untuk sumber daya genetika pertanian tanggung-jawab Balai Besar Sumber Daya Genetika dan Bioteknologi yang berada di bawah Pusat Penelitian dan Pengembangan Pertanian Bogor.

Konservasi plasma nutfah, dapat dilakukan dengan cara *in situ* yaitu dalam bentuk Taman Nasional atau wilayah yang dilindungi, dan dengan cara *ex situ* yaitu dapat di *gene bank* atau kebun raya. Berdasarkan status dalam pemuliaan tanaman, koleksi plasma nutfah dalam *gene bank* dikelompokkan menjadi:

1. Varietas unggul yang telah ditanam luas (sumber kombinasi gen yang berguna secara ekonomi).
2. Galur-galur harapan hasil program pemuliaan tanaman (*breeding lines*): sumber bagi kombinasi gen-gen yang penting dalam budidaya.
3. Genotipe lokal hasil eksplorasi dari daerah. Landrace: hasil seleksi alam dan petani, sumber gen untuk adaptasi terhadap kondisi lingkungan dan budidaya yang spesifik.
4. Species liar kerabat dari species budidaya (sumber gen ketahanan terhadap berbagai cekaman lingkungan biotik dan abiotik).

Untuk pemanfaatan dalam kegiatan pemuliaan tanaman, koleksi plasma nutfah dikelompokkan berdasarkan kemudahan untuk melakukan rekombinasi via persilangan buatan. Pengelompokan berdasarkan kemudahan pemanfaatan:

- a. *Primary gene pool (GP-1)*: materi genetik yang masih satu species dengan tanaman budidaya, tidak ada hambatan reproduksi saat persilangan buatan. Contohnya: varietas komersial, *breeding lines*, landraces.
- b. *Secondary gene pool (GP-2)*: species tanaman liar masih berkerabat dekat dengan species tanaman budidaya sehingga persilangan akan menghadapi kendala ketidaksesuaian kromosom dan turunan yang steril, dapat terdiri dari subspecies yang berbeda dari species tanaman

budidaya. Contohnya: padi subspecies japonica dengan subspecies indica.

- c. *Tertiary pool (GP-3)*: species berkerabatan lebih jauh dari GP-2 sehingga persilangan akan menghasilkan embrio yang lethal. embrio hanya dapat tumbuh dengan upaya penyelamatan embrio (embryo rescue): yaitu mengkulturkan embrio dalam media tumbuh buatan. Contohnya untuk padi: *O. minuta* dengan *O. rufipogon*, kerabat liar dari padi (*Oryza sativa*).

3. Pusat Penyebaran Plasma Nutfah

Delapan PP genetik (Vavilo, 1951):

1. PP China: pusat asal tanaman budidaya tertua dan terluas di dunia (**Tabel 2**).
2. PP India: tempat asal tanaman padi, banyak tanaman kacang-kacangan dan buah-buahan. PP Indo-Malaya: Malaysia, Indonesia, dan Filipina. Daerah tropis dan cukup luas (**Tabel 3**).
3. PP Asia Tengah: semua kawasan Afganistan, Barat Daya India, dan sebagian kecil daerah Rusia. Tempat asal beberapa species gandum.
4. PP Asia Timur Dekat: daerah Asia kecil, Iran, dan dataran tinggi Turki. Terdapat bermacam tanaman gandum dan tanaman biji-bijian terutama makanan ternak, sayuran, dan buah-buahan.
5. PP Mediteran: terletak disekitar laut Mediteran, termasuk bagian dataran Eropa maupun Afrika. Asal banyak macam sayuran.
6. PP Abisina: di bagian Afrika Timur Daya menghadap ke Laut Merah. Banyak ditemukan tanaman kelompok gandum.
7. PP Meksiko Selatan dan Amerika Tengah: Daerah sekitar perbatasan antara Amerika Tengah dan Utara. Asal tanaman jagung, lada, dan tanaman buah-buahan tropika, mungkin juga tanaman kakao, ketela rambat, dan kapas.
8. PP Amerika Selatan: daerah Peru, Equador, dan Bolivia. Daerah khusus untuk kentang.

PP Brazilia-Paraguay terletak di perbatasan Brazilia dan Paraguay.

Species tanaman dapat berasal dari lebih satu Pusat Penyebaran (PP). Varietas yang tumbuh di PP biasanya terdiri dari sejumlah besar karakter yang dikendalikan oleh gen dominan. sementara karakter yang dikendalikan oleh gen resesif hasil mutasi dan inbreeding, banyak ditemukan di daerah tepi PP atau daerah yang terisolir. Karakter ini penting dalam PT. Contoh; ingin memuliakan pisang mendapatkan varietas berbuah panjang, di negaranya belum ada jenis itu, pemulia perlu datang ke PP tanaman ini (misalnya Indonesia). Maka pada suatu saat keinginannya akan tercapai melalui program pemuliaannya.

Tabel 2. Species Tanaman yang Berasal dari Pusat Penyebaran China:

No.	Nama Latin	Nama Indonesia
1	<i>Andropogon sorghum</i> Brot.	Sorghum
2	<i>Asparagus lucidus</i> Lindl.	Asparagus
3	<i>Avena meda</i> L.	Oat
4	<i>Bochmeria nivea</i> Hock.	Rami
5	<i>Brassica juncea</i> L.	Sawi hijau
6	<i>Cinnamomun camphora</i> Nees & Eberm	Kayu manis
7	<i>Citrus</i> sp.	Jeruk
8	<i>Cucurbita moschata</i>	Waluh
9	<i>Dioscorea balatas</i> Decue.	Ubi
10	<i>Dioscorea japonica</i> Thumb.	Ubi
11	<i>Glycine hispida</i> Maxim	Kedelai
12	<i>Panicum</i> sp.	Sekoi
13	<i>Papaver somniferum</i> L.	Opium/candu
14	<i>Perilla ocymoides</i> L.	Daun shiso
15	<i>Phaseolus angularis</i> L.	Kara
16	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Buncis
17	<i>Phyllostachys</i> sp.	Bambu kecil
18	<i>Prunus</i> sp.	Peach
19	<i>Sesamum indicum</i> L.	Wijen
20	<i>Solanum melongena</i> L.	Terung

Tabel 3. Species Tanaman Berasal dari Pusat Penyebaran Indo-Malaya:

No.	Nama Latin	Nama Indonesia
1	<i>Citrus maxima</i>	Jeruk besar

2	<i>Cocos nucifera</i>	Kelapa
3	<i>Dioscorea</i> sp.	Ubi
4	<i>Musa</i> sp.	Pisang
5	<i>Saccharum officinarum</i> L.	tebu

4. Pengelolaan Plasma Nutfah Tanaman Terintegrasi Program Pemuliaan.

Pemuliaan tanaman adalah ilmu genetika terapan yang didukung oleh berbagai cabang ilmu kegenetikaan, termasuk plasma nutfah, genetika klasik, genetika molekuler, sitogenetika, dan genetika transformasi. Keberhasilan pemuliaan sangat tergantung dari ketersediaan sumber gen yang disediakan oleh pengelola plasma nutfah. Tanpa kontribusi sumber gen dari pengelola plasma nutfah, hasil pemuliaan tanaman mengalami penyempitan kandungan genetik, atau terjadi gejala leher botol genetik. Penelitian plasma nutfah adalah bagian integral dari pengelolaan materi pemuliaan nutfah, yang bertujuan untuk:

1. menggali kekayaan sifat genetik plasma nutfah guna penyediaan tetua persilangan dan bahan publikasi ilmiah,
2. menelusuri asal-usul spesies tanaman,
3. melepas secara resmi plasma nutfah sebagai sumber gen yang diakui kepemilikannya.

Keterkaitan pengelolaan plasma nutfah dengan program pemuliaan dapat dilaksanakan melalui:

- a. pemanfaatan langsung aksesori plasma nutfah elit untuk dilepas sebagai varietas unggul,
- b. Pemurnian dan pemantapan populasi aksesori plasma nutfah sebagai calon varietas,
- c. pemanfaatan aksesori plasma nutfah sebagai donor gen untuk rekombinasi gen-gen unggul adaptif,
- d. Plasma nutfah sebagai donor gen spesifik,
- e. Plasma nutfah sebagai bahan perluasan latar belakang genetik varietas melalui proses introgresi dan nobilisasi,

- f. pemanfaatan plasma nutfah untuk perbaikan genetik populasi seleksi,
- g. Pembentukan populasi dasar yang mengandung keragaman genetik luas melalui persilangan banyak tetua.

Fungsi pengelolaan plasma nutfah lainnya adalah melestarikan sumber daya genetik untuk kebutuhan gen di masa depan, agar dapat menyediakan gen-gen untuk mengantisipasi perubahan ras patogen dan tipe baru serangga hama yang bersifat dinamis, serta penyediaan gen guna mengatasi cekaman abiotik alamiah. Pengelolaan plasma nutfah dinilai berhasil apabila telah mampu menyediakan aksesori plasma nutfah sebagai sumber gen donor dalam program pemuliaan. Pemuliaan tanaman berhasil secara optimal apabila telah memanfaatkan keragaman genetik sifat yang diinginkan, yang tersedia dalam koleksi plasma nutfah. Keterpisahan kelembagaan antara unit kerja pengelolaan plasma nutfah dengan program pemuliaan tidak boleh membatasi keterpaduan program penelitian antara kedua cabang disiplin keilmuan tersebut.

5. Pelepasan Plasma Nutfah Sebagai Donor Gen:

Penemuan gen yang bersifat spesifik dan memiliki potensi ekonomi tinggi dapat dinilai sama seperti halnya penemuan varietas komersial. Apabila peneliti plasma nutfah dapat menemukan sumber gen baru yang belum ditemukan sebelumnya, seperti gen tahan penggerek batang padi, gen tahan virus tungro, gen penambat nitrogen pada padi, gen yang dapat mengubah tanaman padi C3 menjadi tanaman padi C4, gen pengatur sintesis protein atau vitamin, maka plasma nutfah yang mengandung gen penting tsb dapat dipatenkan dan atau dilepas secara resmi.

Di Eropa dan Amerika Serikat, temuan gen ekonomis pada plasma nutfah tanaman dapat dilepas sebagai *germplasm released dan dilindungi* kepemilikan gen-nya. Persyaratan untuk melepas aksesori plasma nutfah tanaman sebagai donor gen secara resmi dengan SK Menteri Pertanian belum ada di Indonesia, namun dapat dibuat dengan mengacu UU yang telah ada, dan disarankan berdasarkan ketentuan sbb: Ketentuan dan persyaratan untuk pelepasan materi plasma nutfah:

- a. Gen pada aksesori plasma nutfah yang ditemukan bersifat baru, dan berfungsi sebagai gen donor yang diperlukan oleh program pemuliaan.
- b. Aksesori plasma nutfah pembawa gen donor dapat disilangkan dengan genotipe/varietas yang akan diperbaiki sifatnya [*germplasm with transferable gene(s)*].
- c. Plasma nutfah pembawa gen baru dapat dan telah dibuktikan keberadaan gen-nya mengikuti prosedur penelitian yang sesuai dengan kaidah ilmiah, termasuk usulan pemberian kode gennya.
- d. Gen baru yang ditemukan telah diteliti karakter gen aksinya (*mode of gene action*) dan cara pewarisannya (*gene inheritance*), menggunakan teknik segregasi Mendel atau teknik genetika molekuler.
- e. Aksesori plasma nutfah pembawa gen yang bersangkutan belum pernah dilepas secara resmi, belum pernah dipublikasikan oleh instansi di dalam negeri, negara lain atau oleh Lembaga Penelitian Internasional.
- f. Plasma nutfah yang mengandung gen yang dimaksudkan, apabila diambil dari “kepemilikan” masyarakat, harus ada persetujuan masyarakat sesuai dengan prinsip *Prior Informed Consent* dari ketentuan CBD (1992).
- g. Hak kepemilikan plasma nutfah oleh seseorang atau lembaga harus dapat dimanfaatkan bagi kemaslahatan masyarakat luas, melalui pemanfaatan gen dalam program pemuliaan tanaman.

Bukti empiris menunjukkan adalah keberhasilan program pemuliaan di negara-negara maju seperti Korea, Jepang, Eropa, Amerika Serikat, dan di Pusat Penelitian Pertanian Internasional. Seperti IRRI, CIMMYT, AVRDC, dan ICRISAT diakibatkan oleh adanya keterpaduan penelitian plasma nutfah dengan program pemuliaan, yang didukung oleh kekayaan koleksi plasma nutfah. Pada tahap awal program pemuliaan tanaman, fungsi koleksi plasma nutfah bahkan sangat dominan, karena varietas unggul tidak jarang berasal dari seleksi atau ekstraksi genotipe elit yang terdapat pada koleksi plasma nutfah. Kondisi demikian masih dilakukan pada pemuliaan tanaman ubi jalar, ubi kayu, padi ketan, kacang panjang, tanaman buah-buahan, dan sayuran asli Indonesia.

BAB V

PLASMA NUTFAH KELAPA SAWIT DI INDONESIA

Salah satu komoditi andalan nasional dan berperan penting bagi perekonomian Indonesia adalah tanaman kelapa sawit. Adanya perkebunan kelapa sawit ini sangat berpengaruh terutama dalam penyediaan lapangan kerja, sumber pendapatan petani dan sumber devisa bagi negara. Oleh karena itu, untuk mendukung keberlanjutan perkebunan kelapa sawit ini di Indonesia, perlu dilakukan pengelolaan yang baik mulai terutama dalam penyediaan bibit unggul.

Data Ditjen Perkebunan Kementerian Pertanian (Kementan) menyebutkan, luas areal lahan kelapa sawit di Indonesia pada 2011 mencapai 8.908.000 hektar, sementara di 2012 angka sementara mencapai 9.271.000 hektar dan diproyeksikan akan meningkat secara signifikan pada tahun-tahun mendatang. Indonesia membutuhkan sumber daya genetik kelapa sawit yang kaya dan beragam sebagai bahan baku untuk perakitan varietas unggul baru yang mampu mendukung pertumbuhan industri kelapa sawit yang memiliki daya saing global. Namun, sumber daya genetik kelapa sawit yang ada di Indonesia belum terdokumentasi dengan baik dan rawan terhadap erosi genetik dan kepunahan karena tidak adanya kebun koleksi sumber daya genetik kelapa sawit yang berskala nasional yang dikelola secara khusus oleh lembaga khusus serta sumber daya genetik yang tersedia masih terbatas pada 12 produsen benih atau calon produsen benih yang kelestariannya belum terjamin secara optimal.

1. Pembangunan Plasma Nutfah Kelapa Sawit

Salah satu cara yang dilakukan untuk mendukung program penyediaan bibit unggul ini adalah melalui pelestarian dan penganekaragaman klon kelapa sawit yang pada akhirnya sebagai jaminan sumber keragaman genetik melalui pembangunan plasma nutfah kelapa sawit. Plasma nutfah (germplasm) pada dasarnya merupakan sumber genetik dalam satu spesies tanaman yang memiliki keragaman genetik yang luas yang ditimbulkan oleh perbedaan varietas, strain, galur, sub-spesies atau populasi.

Koleksi plasma nutfah dapat diartikan sebagai kumpulan varietas, populasi, strain, galur, klon, maupun mutan dari satu spesies yang sama yang berasal dari lokasi, agroklimat, atau asal usul yang berlainan. Masing-masing anggota koleksi plasma nutfah harus memiliki perbedaan genotipe, baik yang terlihat secara fenotipik maupun yang tidak. Materi dasar plasma nutfah diperlukan oleh pemulia untuk perakitan varietas baru dengan keunggulan yang lebih spesifik dari varietas sebelumnya. Plasma nutfah merupakan salah satu faktor sumber keragaman genetik yang dapat menunjang keberhasilan suatu program pemuliaan, karena dengan adanya keragaman genetik maka suatu varietas dengan sifat yang diinginkan dapat dirakit. Untuk tetap mempertahankan plasma nutfah sebagai sumber genetik dan menjamin keefektifan pemuliaan, maka sering dibuat suatu konservasi baik secara *in situ* maupun *ex situ*.

Indonesia telah memiliki sumber daya genetik kelapa sawit yang dikoleksi oleh produsen dan tersebar di beberapa lembaga riset dan produsen benih seperti Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), PT. Socfin Indonesia, PT. PP London Sumatra Indonesia, PT. Dami Mas Sejahtera (SMART Tbk.), PT. Tunggal Yunus Estate (Asian Agri Group), PT. Bina Sawit Makmur (PT. Sampoerna Agro Tbk), dan PT. Tania Selatan Group, serta beberapa calon produsen benih kelapa sawit. Tetapi eksistensi atau keberadaan sumber daya genetik kelapa sawit di perusahaan ini tidak terjamin keberlanjutannya. Kenyataan ini memberikan gambaran bahwa keberlangsungan plasma nutfah kelapa sawit di Indonesia dalam kondisi yang rentan, dan tidak dapat dijamin keberadaannya. Atas dasar kenyataan tersebut maka dipandang perlu adanya langkah-langkah penyempurnaan dalam pengelolaan plasma nutfah kelapa sawit nasional untuk mengamankan dan memperkaya keragaman plasma nutfah kelapa sawit Indonesia dalam mendukung industri perbenihan kelapa sawit dan industri berbasis kelapa sawit yang lestari, kompetitif, sehat dan kuat.

Dalam upaya memperkaya keragaman sumber daya genetik kelapa sawit di Indonesia maka telah dilakukan program eksplorasi sumber daya genetik baru. Program ini terealisasi berkat adanya konsorsium, yang terdiri atas beberapa

perusahaan swasta dan lembaga penelitian pemerintah yang berkeinginan untuk mendapatkan material genetik yang baru. Perusahaan/lembaga yang tergabung dalam konsorsium, yaitu Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan, PT Agricinal, PT Bakrie Sumatera Plantation, PT Duta Palma Nusantara, PT Astra Agro Lestari, PT SMART, PT Tania Selatan, PT Socfin Indonesia, PT PP London Sumatera, PT Tunggal Yunus, PT Bina Sawit Makmur, dan PT Salim Ivomas Pratama. Konsorsium ini sendiri diinisiasi oleh Dewan Minyak Sawit Indonesia (DMSI) dan didukung oleh Direktorat Jenderal Perkebunan sebagai wakil pemerintah dan fasilitator.

Berdasarkan hasil Lokakarya Kajian Koleksi Sumber Daya Genetik Kelapa Sawit, telah dihasilkan konsep model kelembagaan Kebun Koleksi Nasional Sumber Daya Genetik Kelapa Sawit yang mengakomodasi kepentingan semua pihak terkait. Selanjutnya para pemangku kepentingan sepaham untuk menindaklanjuti pengembangan sumber daya genetik kelapa sawit berskala nasional untuk mendukung pertumbuhan industri kelapa sawit yang mampu bersaing di tingkat global, yaitu dengan :

- Membangun kelembagaan pengelola sumber daya genetik kelapa sawit di Indonesia yang mampu mengakomodasi kepentingan pihak-pihak terkait dengan merujuk kepada peraturan dan perundangan yang berlaku di Indonesia;
- Melakukan koleksi dan karakterisasi sumber daya genetik yang ada di kebun koleksi sumber daya genetik produsen benih dan calon produsen benih dalam negeri, serta melanjutkan kegiatan eksplorasi dan pertukaran sumber daya genetik ke dan dengan Negara-negara sebagai sumber sumber daya genetik kelapa sawit di Afrika dan Amerika Latin;
- Melengkapi Kebun Koleksi Nasional Sumber Daya Genetik kelapa sawit dengan sumber daya genetik yang dimiliki oleh masing-masing pemilik sumber daya genetik dalam negeri dengan mempertimbangkan hak dan kewajiban masing-masing, sesuai dengan peraturan dan perundangan yang berlaku serta menjamin kelancaran pelaksanaan kegiatan-kegiatan pengembangan sumber daya genetik kelapa sawit yang berkelanjutan di

Indonesia, dengan dukungan semua pihak, terutama dari unsur birokrasi, akademisi, dan dunia usaha serta perlu didasari dengan aspek legal yang diperlukan.

Untuk memelihara eksistensi dan kelestarian plasma nutfah di Indonesia, maka melalui serangkaian pertemuan yang melibatkan para pemangku kepentingan industri kelapa sawit, seperti produsen benih kelapa sawit, perusahaan besar swasta nasional, serta pihak pemerintah yang diwakili oleh Direktorat Jenderal Perkebunan, telah ada kesepakatan untuk membentuk suatu lembaga pengelola plasma nutfah kelapa sawit untuk tingkat nasional. Dengan demikian, pemerintah berkewajiban untuk memelihara eksistensi dan kelestarian plasma nutfah. Saat ini telah dibangun Kebun Koleksi Nasional Sumber Daya Genetik (KKN-SDG) Kelapa Sawit di Sitiung, Kabupaten Dharmasraya Provinsi Sumatera Barat. Perkembangan pelaksanaan dari upaya tersebut, telah berhasil dilakukan eksplorasi Sumber Daya Genetik Kelapa Sawit asal Kamerun dan asal Angola. Pembangunan KKN-SDG di KP Sitiung ini, telah mulai dilakukan penanamannya pada tahun 2011 untuk akses kelapa sawit yang berasal dari Kamerun dan untuk akses kelapa sawit asal Angola telah dilakukan penanamannya tahun 2012. Selain akses kelapa sawit asal Kamerun dan Angola, di kebun ini juga ditanam beberapa jenis/varietas kelapa sawit yang berasal dari beberapa sumber benih kelapa sawit yang ada di Indonesia, antara lain dari Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), PT. Socfin Indonesia, PT. PP London Sumatra Indonesia, PT. Dami Mas Sejahtera (SMART Tbk.), PT. Tunggal Yunus Estate (Asian Agri Group), PT. Bina Sawit Makmur (PT. Sampoerna Agro Tbk), PT. Tania Selatan Group, PT. Sarana Inti Pratama, PT. Bakti Tani Nusantara dan PT. Sasaran Eham Mekarsari.

Sejak tahun 2013 pengelolaan KKN-SDG ini telah diserahkan oleh BBP2TP Medan ke Badan Litbang Pertanian. Masing-masing akses koleksi plasma nutfah yang ada memiliki perbedaan genotipe, baik yang terlihat secara fenotipik maupun yang tidak. Perbedaan ini merupakan materi dasar plasma nutfah yang diperlukan oleh pemulia untuk perakitan varietas baru dengan

keunggulan yang lebih spesifik dari varietas sebelumnya. Keberadaan koleksi beberapa jenis plasma nutfah ini, pada akhirnya akan berfungsi sebagai sarana pengenalan varietas unggul dan sekaligus mendukung program koleksi sumber daya genetik khususnya tanaman kelapa sawit. Karena keanekaragaman material genetik (plasma nutfah) merupakan kunci utama dalam pengembangan program pemuliaan tanaman kelapa sawit. Dengan adanya Kebun Koleksi Nasional (KKN) Sumber Daya Genetik (SDG) kelapa sawit akan memiliki peranan yang sangat penting karena Sumber Daya Genetik yang ada berfungsi sebagai koleksi, konservasi, penelitian dan pengembangan serta sebagai pusat informasi.

Dalam usaha meningkatkan keragaman genetik telah dilakukan eksplorasi plasma nutfah di pusat keragaman genetik kelapa sawit di Kamerun. Pada diversitas genetik 54,72%, aksesori Kamerun terbagi menjadi tujuh kelompok masing-masing terdiri dari 9, 28, 4, 2, 1, 2, dan 3 aksesori. Aksesori dengan diversitas genetik tinggi dan berada pada klaster berbeda, potensial digunakan sebagai calon tetua dalam program pemuliaan kelapa sawit. Untuk mengetahui keragaman genetik dan hubungan kekerabatan, peta genetik, dan sidik jari DNA pada populasi kelapa sawit juga dapat secara efektif menggunakan metode marker molekuler, diantaranya marker *Random amplified polymorphism DNA* (RAPD). Dari 18 sampel untuk setiap populasi Yangambi origin, Lame origin dan Lame silang lanjut sawit tipe pisifera dapat diketahui tingkat keragaman genetik yang sedang dengan nilai rata-rata 0,24.

2. Pemuliaan Tanaman Kelapa Sawit Kini

A. Ketersediaan Material Genetik

Material genetik (plasma nutfah) merupakan kunci utama dalam pengembangan program pemuliaan kelapa sawit. Saat ini, plasma nutfah kelapa sawit tersebar di areal komersial perkebunan kelapa sawit dan pusat-pusat riset kelapa sawit: PPKS, PT. Socfindo, PT London Sumatra Indonesia, PT Dami Mas Sejahtera (SMART Tbk.), PT Tunggal Yunus Estate (Asian Agri Group), PT Bina Sawit Makmur (PT Sampoerna Agro

Tbk), dan PT Tania Selatan Group, serta beberapa calon produsen benih kelapa sawit. Plasma nutfah kelapa sawit terbagi 2, yaitu sub heterotic group, dura dan pisifera.

a. Plasma Nutfah Dura:

- diturunkan dari 4 plasma nutfah dura yang berasal dari kebun raya Bogor thn tanam 1848,
- hasil re-introduksi beberapa famili elit Deli dura seperti Dura Dumpy (E 206), dan
- introduksi terbatas populasi dura dari Afrika seperti dura-dura ex-Zaire dan Kamerun.

b. Plasma Nutfah Pisifera: di introduksi dari Afrika Barat sejak 1914. Beberapa turunan plasma nutfah pisifera elit tercatat dimiliki oleh pusat-pusat riset kelapa sawit di Indonesia, seperti: turunan pisifera SP 540, turunan pisifera BM 119, turunan pisifera Lame (L-series) ex-populasi BRT-10, pisifera Yangambi (YA-series), turunan pisifera Dami DM 742 dan DM 743, turunan pisifera Nigeria GHA 608 dan Ghana GHA 648, turunan pisifera Ekona CAM 236 dan CAM 243. Selain *E. guineensis*, beberapa pusat riset juga memiliki plasma nutfah *E. oleifera*, antara lain: beberapa generasi *Elaeis oleifera* dari Suriname dan Brazilia dan San Alberto (Colombia).

B. Strategi Utama Pemuliaan Kelapa Sawit

a) Seleksi Klasik.

Pemuliaan klasik berbasis genetika kuantitatif adalah pendekatan terpenting dalam menghasilkan bahan tanaman unggul. Beberapa strategi yang telah dikenal luas dalam pemuliaan kelapa sawit antara lain: *Recurrent Reciprocal Selection* (RRS) dan *Family & Individual Palm Selection* (FIPS). Strategi ini pada prinsipnya memanfaatkan 2 group utama: dura dan tenera/pisifera. Dari populasi dasar yang telah diseleksi dilakukan tahapan evaluasi lapang maupun laboratorium untuk menentukan individu tanaman terbaik yang dilihat dari

keragaman progeninya. Seleksi untuk menentukan tetua–tetua yang dapat dijadikan pohon induk untuk produksi benih dilakukan berdasarkan hasil evaluasi tersebut. Selain penentuan pohon induk untuk benih komersial, pada tahapan seleksi ini juga dipilih tetua-tetua yang akan direkombinasikan untuk mencari materi persilangan dengan potensi yang lebih baik pada siklus pemuliaan berikut. Tahapan apa yang dilakukan dalam strategi tersebut untuk menentukan tetua-tetua yang dapat dijadikan pohon induk dan untuk tetua-tetua yang akan direkomendasikan untuk mencari materi persilangan dengan potensi yang lebih baik.

b) Kultur Jaringan:

Kultur jaringan mempunyai 2 kontribusi penting dalam pemuliaan kelapa sawit, yaitu untuk pembiakan massal secara vegetatif, dan untuk regenerasi jaringan yang telah ditransform oleh gen pengendali sifat tertentu dalam proses rekayasa genetika. Keberhasilan penerapan teknologi ini telah dilaporkan sejak pertengahan 1970-an. Saat ini $\pm$ 20-an laboratorium kultur jaringan di seluruh dunia berpacu dalam perbaikan dan *up scaling* proses kultur jaringan, menghasilkan rata-rata 10,000 – 200,000 plantlet per tahun.

3. Kontribusi Pemuliaan Kelapa sawit

Perkembangan industri kelapa sawit Indonesia tidak terlepas dari peran bahan tanaman di dalamnya. Meski hanya berkontribusi 7-8% dari total biaya produksi, namun keberadaan bahan tanaman sangat menentukan berhasil atau tidaknya suatu perkebunan. Pemilihan bahan tanaman dengan kualitas unggul menjamin tingkat produksi yang stabil untuk masa ekonomi selama 25 tahun. Karakter unggul varietas kelapa sawit dapat dilihat dari mutu genetis (potensi hasil tinggi), mutu fisiologis (daya tumbuh), dan mutu morfologis (keseragaman dan higienitas benih). Hingga April 2015, Pemerintah Indonesia telah merilis 46 varietas kelapa sawit dengan berbagai karakter unggulan yang

menyertainya. Varietas-varietas ini berasal dari 11 produsen benih, yakni 10 produsen dalam negeri dan 1 produsen dari luar negeri. Perakitan varietas unggul kelapa sawit dilakukan melalui proses yang sangat panjang, tenaga ahli dari berbagai bidang ilmu, lokasi pengujian yang luas, serta biaya yang tidak sedikit.

Kegiatan perakitan ini memadukan antara teknologi, seni dan intuisi dalam proses persilangan, pengujian, seleksi, dan perbanyakan. Kegiatan perakitan varietas unggul ini dikenal sebagai aktivitas pemuliaan tanaman. Dalam proses pemuliaan kelapa sawit, setidaknya terdapat empat komponen yang menjadi persyaratan, yaitu:

- 1) material genetik dengan variasi sifat di dalamnya, yang dikenal sebagai populasi dasar;
- 2) tujuan pemuliaan, yakni *ideotype* tanaman dengan sifat/karakter yang diinginkan;
- 3) metode seleksi, cara menguji dan memilih individu/populasi untuk sifat yang diinginkan;
- 4) reproduksi, metode perbanyakan benih/bahan tanaman dari individu hasil seleksi.

4. Hasil-hasil Pemuliaan Tanaman di PPKS

Program pemuliaan kelapa sawit RRS dikembangkan di PPKS sejak 1973. Program ini diilhami oleh tulisan Comstock *et al.* (1949) yang mengenalkan metode seleksi untuk peningkatan rerata populasi, menjaga keragaman genetik, dan mengeksploitasi heterosis dari populasi. Aplikasi RRS pada kelapa sawit mempunyai tujuan utama untuk mendapatkan varietas yang memproduksi minyak tinggi.

Siklus pertama RRS di PPKS dilaksanakan pada 1973-1985 dengan melibatkan sebanyak 410 persilangan DxP/T antara 161 genitor dura dan 139 genitor tenera/pisifera. Populasi tenera/pisifera yang digunakan dalam program RRS siklus pertama terdiri atas 8 (delapan) populasi, yakni populasi Sungei Pancur, populasi Sungei Pancur/Bangun, populasi Dolok Sinumbah, populasi

Bah Jambi, populasi Yangambi, populasi Marihat, populasi La Mé, dan populasi Nifor, sementara dura yang digunakan seluruhnya berasal dari populasi Deli. Dari siklus pertama RRS dihasilkan 6 varietas kelapa sawit, yakni D x P Avros, D x P Bah Jambi, D x P Dolok Sinumbah, D x P Marihat, DxP La Me, dan D x P Yangambi yang dirilis pada tahun 1985, sementara dari program pemuliaan FIPS yang dilakukan oleh Puslitbun Medan telah dihasilkan 2 varietas kelapa sawit, yakni D x P Sungai Pancur 1 dan DxP Sungai Pancur 2. Pengujian RRS siklus kedua dimulai pada 1986 menggunakan tetua-tetua terbaik dari siklus pertama. Beberapa rekombinasi persilangan, baik dari group dura maupun group tenera/pisifera diuji di empat lokasi. Hasil pengujian siklus kedua menunjukkan produksi rata-rata pada umur 6-9 tahun sebesar 6,76 ton CPO/ha/tahun, lebih tinggi 13% dibandingkan hasil pada siklus pertama. Dibandingkan dengan siklus pertama, kenaikan nilai genetik RRS siklus kedua mencapai 7,3 % untuk tandan buah segar (TBS) dan 10,3 % untuk produksi minyak. Dari siklus kedua RRS telah dihasilkan 5 varietas unggul kelapa sawit, yakni DxP Simalungun dan DxP Langkat yang dirilis pada 2003, DxP PPKS 540 dan DxP PPKS 718 yang dirilis pada tahun 2007, serta DxP PPKS 239 yang dirilis pada tahun 2010. PPKS telah menyalurkan bahan tanaman kelapa sawit sejak 1971. Bila dihitung sejak awal penyaluran hingga tahun 2014, PPKS telah menyalurkan sebanyak 1,03 milyar butir kecambah, atau setara dengan areal kelapa sawit seluas 5 juta ha.

5. Manfaat Pemuliaan Tanaman Kelapa Sawit

Produktivitas CPO dapat ditingkatkan lebih lanjut 8-10 ton/ha yaitu dengan menggunakan germplasma unggul yang diperoleh via seleksi, program Pemuliaan Tanaman yang panjang dengan menggunakan seleksi, dan metode screening DNA atau teknologi transgenik. Sehingga tidak diragukan bahwa kombinasi program pemuliaan tanaman dengan manajemen yang lebih baik dan metode pengolahan yang lebih efisien dapat memberikan produktivitas lebih dari 20 ton/ha minyak pada masa mendatang.

Di Malaysia telah dikenal pasti beberapa pohon memiliki produktivitas tinggi yang dapat diperbanyak secara klon tanpa kehilangan produktivitas TBS.

Secara teoritis beberapa populasi dapat menghasilkan 60 ton/ha. Sehingga kelapa sawit mempunyai potensi besar tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan pasar minyak nabati tetapi juga berfungsi sebagai sumber industri non makanan berupa produk Oleokimia. Pemulia telah mengambil pendekatan strategi terintegrasi. Selama satu dekade terakhir telah mengidentifikasi beberapa pusat plasma nutfah di Afrika dan Amerika Selatan asal domestikasi jenis kelapa sawit, *Elaeis guineensis* dan *Elaeis oleifera*. Sejak tahun 2008 konsorsium dari 12 perusahaan Indonesia dan Malaysia telah melakukan eksplorasi ke Kamerun dan memperoleh 103 aksesori yang memiliki keanekaragaman genetik yang tinggi. Material genetik yang diperoleh tentu masih memerlukan waktu untuk dapat digunakan menghasilkan varietas komersial. Pengalaman pemuliaan Deli Dura sehingga mencapai kualitas seperti saat ini menunjukkan bahwa dibutuhkan eliminasi dari sifat-sifat genetik yang kurang menguntungkan dengan melakukan rekombinasi intra dan inter populasi.

Seleksi massa, negatif atau positif, dilakukan terhadap karakter-karakter yang oleh masing-masing breeder diperkirakan akan memberikan keuntungan di masa mendatang. Contoh; jenis *Elaeis oleifera* mempunyai kandungan lebih 65% oleat. Koleksi sering dievaluasi dan diteliti dengan menggunakan metode konvensional, molekular genetik maupun biokimia. Penggunaan molekular marker sangat penting dalam program pemuliaan tanaman yang berkesinambungan untuk menghasilkan kombinasi perubahan profil asam lemak dan produktivitas minyak yang tinggi. Strategi ke2 yang dilakukan adalah diversifikasi komposisi asam lemak bebas dengan melibatkan transformasi genetik (transgenik) untuk memodulasi jalur biosintesis yang relevan. Transgenik melibatkan penambahan gen baru atau menekan aktivitas gen yang terlibat dalam metabolisme asam lemak.

Strategi saat transformasi genetik melibatkan penggunaan RNA antisense dan mengatur gen thioesterase sehingga memungkinkan asam palmitat menjadi memanjang. Untuk memperoleh asam oleat tinggi untuk eksploitasi komersial cukup menggunakan promotor gen jaringan khusus, pendekatan

serupa dapat digunakan untuk memanipulasi komposisi asam minyak kernel kelapa sawit. Contoh; seleksi salah satu Plasto transgen dapat meningkatkan efisiensi ekspresi serta memfasilitasi bio-containment minyak sawit hasil transgenik. Transformasi melalui vektor *Agrobacterium* paling efisien juga sedang diselidiki. Inovasi lain adalah RNAi untuk menekan fungsi gen yang tidak diinginkan. Teknologi ini telah berhasil digunakan untuk menutup beberapa gen dalam metabolisme asam lemak. Upaya saat ini sedang berlangsung dalam beberapa kelompok untuk menghasilkan minyak sawit transgenik dengan oleat tinggi, tetapi hasil ini diprediksi dapat dinikmati secara massal pada tahun 2020-an.

Pada waktu bersamaan, pendekatan pemuliaan secara konvensional dan koleksi plasma nutfah terus ditingkatkan untuk menemukan variasi genetik baru dari pusat asal tanaman. Selain itu jalan lebih spekulatif adalah melalui penelitian genetika molekuler untuk meningkatkan produk asam lemak yang diinginkan. Selama beberapa dekade terakhir, pemulia-pemulia tanaman (*breeders*) telah menggunakan teknologi reproduksi dengan menggunakan DNA berbasis molekuler, kultur jaringan dan penerapan genomik dan proteomics.

6. Pengembangan Plasma Nutfah Kelapa Sawit

Plasma nutfah kelapa sawit yang dikumpulkan dari Angola, Afrika pada tahun 1991 menjadi sasaran studi potensi variabilitas genetik. Koleksi tersebut ditanam dalam bentuk famili penyerbukan terbuka sebagai uji coba di Stasiun Penelitian Kluang, Dewan Minyak Sawit Malaysia (MPOB), Johor, Malaysia, pada tahun 1994. Pohon kelapa sawit dura dari 52 famili dan pohon kelapa sawit tenera dari 44 famili MPOB-Angola dievaluasi untuk komponen hasil tandan dan kualitas tandannya. Hasil analisis mengungkapkan perbedaan yang sangat signifikan antara famili dura dan tenera untuk sebagian besar sifat, yang menunjukkan adanya variabilitas genetik yang tinggi, yang penting untuk program pemuliaan. Di antara dura, famili AGO 02.02 menunjukkan kinerja hasil terbaik, dengan tandan buah segar, hasil minyak, dan total produk ekonomi yang tinggi masing-masing sebesar 240,40; 29,46, dan 37,93 kg sawit.

Sedangkan untuk tenera, famili AGO 03.04 mencatat hasil TBS dan hasil minyak tertinggi masing-masing sebesar 249,25 dan 45,22 kg sawit per tahun. Selain itu, beberapa famili dengan ukuran buah besar atau menghasilkan berat buah rata-rata 14 – 17 g juga diidentifikasi. Baik dura maupun tenera dari AGO 01.01 mencatat minyak per tandan (O/B) tertinggi masing-masing sebesar 17,76% dan 28,65%. Temuan ini akan memfasilitasi pemilihan sawit dari plasma nutfah MPOB-Angola untuk program pemuliaan di masa mendatang.

Estimasi keragaman genetik dan penentuan hubungan antar koleksi merupakan strategi yang berguna untuk memastikan pengumpulan dan pemanfaatan plasma nutfah yang efisien. Material plasma nutfah kelapa sawit yang dikumpulkan dari Senegal dan Gambia yang dipelihara di Stasiun Kluang, Dewan Minyak Sawit Malaysia (*Malaysian Palm Oil Board* = MPOB), dikarakterisasi untuk keragaman genetik. Sebanyak 44 sifat agronomi material kelapa sawit ini menjadi sasaran statistik sederhana untuk mengevaluasi variabilitas genetik. Hasil profil variabilitas menunjukkan bahwa plasma nutfah kelapa sawit Senegal dan Gambia termasuk variabilitas rendah hingga tinggi untuk berbagai sifat. Sebagian besar sifat, terutama sifat hasil minyak dan komponen hasil, berkontribusi terhadap divergensi antara dan di dalam plasma nutfah, yang menunjukkan bahwa terdapat variasi yang luas pada material plasma nutfah yang diamati.

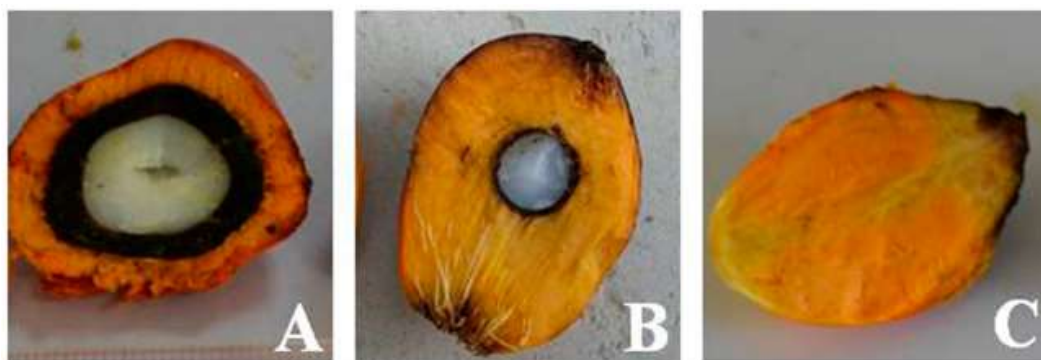
Kemudian dalam asumsi pemulia kelapa sawit, tipe kelapa sawit *virescens* tidak memiliki nilai ekonomi yang nyata. Oleh karena itu, *nigrescens* lebih dipertimbangkan. Namun, *virescens* memberikan isyarat visual bahwa buah sudah matang tanpa menunggu untuk terlepas. Pada tahun 2010, Balai Penelitian Kelapa Sawit Indonesia (BPKS) berhasil menanam populasi kelapa sawit Kamerun yang diserbuki terbuka. Populasi tersebut dikarakterisasi untuk frekuensi tipe *virescens*, serta komponen tandan, kuantitas dan kualitas minyak sawit mentah. Frekuensi *virescens* per aksesi cukup lebar, berkisar antara 3,33-65,71%, dan dipengaruhi oleh tipe induk, *nigrescens* atau *virescens*. Sebagian besar bentuk buah *virescens* diamati berupa dura, kecuali satu sampel, yang diamati berupa tenera. Persentase mesokarp terhadap buah dan Rasio Ekstraksi

Industri (REI) serupa dengan *dura nigrescens*, yaitu masing-masing 37,7% dan 9,5%. Kualitas minyaknya lebih baik daripada *nigrescens*, dan memiliki total karoten berkisar antara 155-1246 ppm. Asam lemak oleatnya lebih tinggi dari 50%, dan asam palmitatnya lebih rendah dari 40%. Karena kemudahan dalam menentukan buah matang, serta kualitas minyaknya yang lebih tinggi, kelapa sawit jenis *virescens* direkomendasikan untuk diintrogresikan dalam program pemuliaan.

Keragaman genetik dan seleksi dalam aksesi kelapa sawit *dura* alami yang dikumpulkan di Ghana untuk peningkatan produktivitas kelapa sawit. Basis genetik stok pemuliaan kelapa sawit dari Lembaga Penelitian Kelapa Sawit Ghana dianggap sempit setelah dua siklus seleksi. Oleh karena itu, 79 aksesi kelapa sawit *dura* alami yang dikumpulkan di Ghana dan dilestarikan di Lembaga Penelitian Kelapa Sawit dievaluasi di lapangan untuk 18 sifat agromorfologi. Hasil analisis mengungkapkan adanya perbedaan di antara 79 aksesi kelapa sawit *dura* untuk 14 sifat. Sifat yang paling dapat diwariskan adalah berat buah tunggal, indeks luas daun, berat tandan, luas daun total, dan tandan buah segar. Koefisien variasi genetik berkisar dari 3,30% untuk berat kering daun hingga 68,74% untuk berat tandan total yang menunjukkan kemungkinan pemilihan sifat yang diinginkan untuk perbaikan. Lima aksesi dengan hasil tandan buah segar tinggi ($TBS \geq 10,81$ t/ha) dengan karakteristik tandan yang dapat diwariskan baik dipilih untuk diperkenalkan pada stok pemuliaan. Faktanya, jumlah tandan, berat tandan rata-rata, dan mesokarp hingga buah lebih tinggi, secara absolut, daripada kontrol dan rata-rata percobaan yang diperoleh dalam penelitian. Meskipun, penambahan tinggi hampir sama dengan kontrol, keturunan pendek diharapkan di antara keturunan dari selfing atau persilangannya.

Kemudian kandungan minyak buah (FOC) merupakan salah satu sifat komersial terpenting pada kelapa sawit; namun, studi ekstensif tentang sifat-sifat terkait masih terbatas. Studi ini dilakukan untuk menganalisis hubungan antara FOC dan sifat-sifat terkait buah, serta untuk memprediksi plasma nutfah kelapa sawit untuk potensi perbaikan. Dalam studi ini, total 11 sifat, meliputi

jumlah tandan buah (FBN), berat buah rata-rata (AFW), rasio mesokarp-buah (M/F), rasio biji-buah (K/F), rasio kulit-buah (S/F), panjang buah rata-rata (AFL), lebar buah rata-rata (AFWD), tebal kulit rata-rata (AST), kandungan minyak mesokarp (MOC), kandungan minyak biji (KOC), dan FOC dianalisis pada 39 plasma nutfah yang dikumpulkan dari tujuh negara berbeda di Asia dan Afrika. Berbagai analisis statistik dilakukan untuk mengevaluasi hubungan antara FOC dan sifat-sifat terkait buah. Analisis korelasi menunjukkan bahwa FOC berkorelasi positif dan signifikan dengan M/F, MOC, dan KOC, sedangkan berkorelasi negatif dan signifikan dengan S/F dan AST. Demikian pula, analisis jalur menunjukkan bahwa M/F dan MOC memiliki efek langsung positif yang tinggi pada FOC, sedangkan S/F dan AST memiliki efek langsung dan tidak langsung negatif yang tinggi pada FOC. Lebih lanjut, analisis regresi menunjukkan korelasi signifikan antara FOC yang diprediksi dan yang diamati. Sebagai kesimpulan, FOC terutama ditentukan oleh M/F, MOC, S/F, dan AST, dan prediksi FOC dalam penelitian ini dapat diandalkan untuk evaluasi plasma nutfah. Selain itu, G39 (Tenera) dan G2 (Partenokarpi) memiliki FOC tertinggi dengan masing-masing 58,62% dan 57,68%, yang menunjukkan bahwa mereka mungkin menjadi kandidat potensial untuk perbaikan FOC (**Gambar 2**). Hasil ini dapat diterapkan pada program pemuliaan kelapa sawit.



Gambar 2. Bentuk buah kelapa sawit yang dipanen. (A) Dura (cangkang tebal). (B) Tenera (cangkang tipis). (C) Parthenocarp (tanpa embrio dan endosperma). (Shi et al., 2019).

BAB VI

SISTEM PERKEMBANGBIAKAN DALAM PEMULIAAN TANAMAN

Cara perkembangbiakan tanaman sangat penting bagi pemulia tanaman karena perkembangbiakan tanaman menentukan metode seleksi. Perkembangbiakan tanaman terbagi dua jenis yaitu:

1. **Perkembangbiakan Secara Vegetatif**

Perkembangbiakan secara vegetatif dilakukan tanpa melalui perkawinan. Pada perkembangbiakan vegetatif tidak terjadi pertemuan antara sel sperma dan sel telur. Jenis perbanyakan tanaman ini dapat dibagi dua kelompok, yaitu tanaman membiak vegetatif obligat (yang hanya memperbanyak diri secara aseksual karena organ seksualnya tidak berfungsi atau tidak lengkap), dan tanaman membiak vegetatif fakultatif (yang masih mampu melakukan perbanyakan secara seksual, tetapi sistem perbanyakan aseksual menjadi lebih baik karena alasan berikut: tanaman lebih mudah tumbuh dibandingkan dengan biji, misalnya biji nenas sulit tumbuh karena *self-incompability*. Perbanyakan vegetatif menghasilkan populasi yang seragam.

Perkembangbiakan secara vegetatif ada yang berlangsung secara alami dan karena bantuan manusia.

A. Perkembangbiakan Vegetatif Alami: yaitu terjadi individu baru tanpa adanya campur tangan manusia. Ada bermacam-macam cara perkembangbiakan vegetatif alami, antara lain:

- Tunas: dapat tumbuh melalui pangkal batang, akar, atau daun. Pohon tersebut tumbuh di dekat induknya.

- Umbi akar: berguna untuk menyimpan cadangan makanan, tidak berkuncup, tidak berdaun, tidak bermata tunas, dan tidak berbuku-buku. Tumbuhan yang perbanyak dengan umbi akar adalah bunga dahlia, wortel, dan ketela pohon.
 - Umbi batang: Kentang (*Solanum tuberosum*), talas, dan ubi jalar merupakan contoh tumbuhan yang berkembangbiak dengan umbi batang.
 - Umbi lapis: daun yang berlapis-lapis membentuk umbi, dan di tengahnya tumbuh tunas. Daun tersusun berdekatan dan tumbuh pada permukaan atas ruas. Umbi lapis dari tunas terluar akan tumbuh membentuk tunas baru (siung), contoh bawang merah (*Allium cepa*).
 - Spora: hanya dapat dilihat menggunakan mikroskop, tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Spora dibentuk di dalam kotak spora (sporangium).
 - Membelah diri: terjadi pada tumbuhan bersel satu, misalnya alga bersel satu *Chlorella*, *Chlamydomonas*.
 - Akar tinggal (Rhizoma): adalah batang yang tebal dan tumbuh mendatar di dalam tanah. Contoh: jahe, bunga tasbih, lengkuas, temulawak, dan kunyit. Rhizoma berfungsi sebagai cadangan makanan bagi tumbuhan.
 - Geragih (Stolon): batang yang menjalar di atas permukaan tanah. Tunas pada buku-buku batang yang menjalar di atas tanah tersebut dapat tumbuh menjadi tumbuhan baru.
- B. Perkembangbiakan Vegetatif Buatan: perkembangbiakan tumbuhan dengan vegetatif buatan diupayakan manusia untuk memperoleh jenis tumbuhan baru. Tumbuhan baru tersebut diharapkan memberikan hasil yang lebih baik. Perkembangbiakan vegetatif buatan, antara lain:
- Cangkok: Tumbuhan yang dapat dicangkok adalah tumbuhan dikotil. Di antaranya seperti mangga, jeruk, dan jambu, sawo, rambutan, dan lain-lain. Tujuannya adalah agar diperoleh tumbuhan baru yang cepat berbuah dan sifatnya sama dengan induknya.

- Setek: Teknik yang dilakukan dengan cara menanam bagian tumbuhan tanpa menunggu tumbuhnya akar baru. Setek adalah memperbanyak dengan potongan-potongan batang, yang ditanam, lalu tumbuh menjadi tanaman baru. Potongan-potongan tersebut harus mempunyai buku-buku. Ada dua macam setek, yaitu setek batang dan setek daun.
- Menempel (okulasi): Teknik menggabungkan bagian tubuh dua tanaman yang berbeda. Umumnya dua jenis tanaman yang digabungkan tersebut masing-masing mempunyai kelebihan. Okulasi dilakukan dengan cara menempelkan tunas tumbuhan ke tunas tumbuhan yang lain. Masing-masing tunas memiliki sifat unggul yang berbeda.
- Merunduk: contohnya tebu, apel, anyelir, alamanda, selada air, anggur, melati, dan lain-lain. Tumbuhannya harus mempunyai batang yang panjang dan lentur. Cabang tumbuhan yang akan dikembangkan, kemudian disentuhkan ke tanah.
- Mengenten (menyambung atau kopulasi): dilakukan dengan menyambung dua tanaman yang berbeda, tetapi masih satu jenis. Bagian ujung tanaman dipotong, kemudian disambung dengan tumbuhan lainnya.
- Kultur jaringan: perbanyak tanaman melalui teknik kultur jaringan.

Cara ini memberikan beberapa keuntungan antara lain: Sifat tanaman baru akan sama persis dengan sifat tanaman induk. Cepat menghasilkan buah. Disamping itu ada pula beberapa kerugian, antara lain: Tanaman yang berasal dari setek ataupun mencangkok umumnya mempunyai sistem perakaran yang kurang kuat. Perkembangbiakan secara vegetatif dapat menghasilkan sedikit keturunan. Bila tanaman hasil reproduksi vegetatif dipotong ranting-rantingnya maka dapat menyebabkan menurun pertumbuhannya.

2. Perkembangbiakan Secara Generatif

Reproduksi generatif adalah terjadinya individu baru yang didahului dengan peleburan dua sel gamet (gametogenesis). Gametogenesis dibedakan menjadi dua, yaitu:

- A. **Makrosporogenesis:** proses pembentukan gamet betina (n kromosom) dari sel induk megaspor ($2n$ kromosom): pembelahan meiosis sel induk megaspor ($2n$) menjadi 4 sel anak (n), 3 dari sel anak ini mengalami degenerasi sehingga tinggal 1 sel anak (n) yang berkembang menjadi bakal biji (ovule). Sel anak yang tersisa mengalami pembelahan mitosis 3x sehingga menjadi sel berinti 8. Delapan inti sel ini berkembang menjadi antipoda (3 inti), inti kandung lembaga sekunder (2 inti = $2n$), synergid (2 inti), dan sel telur (1 inti = n).
- B. **Mikrosporogenesis:** pembelahan meiosis sel induk mikrospor ($2n$) menjadi 4 sel anak (n) disebut tepung sari (pollen). Inti dari masing-masing sel tepung sari membelah 1x menghasilkan sel berinti 2 yaitu *inti generatif* (n) dan *inti vegetatif* (n). Inti generatif (n) membelah 1x lagi menjadi 2 inti generatif masing-masing n kromosom. Bila terjadi penyerbukan (tepung sari jatuh pada kepala putik) maka tepung sari akan berkecambah disebut *spermatozoid*. Bila terjadi pembuahan maka 1 inti generatif (n) membuahi sel telur (n) menjadi **zigote ($2n$)** dan 1 inti generatif lagi (n) akan membuahi inti kandung lembaga sekunder ($2n$) menjadi **endosperm ($3n$)**. Peristiwa pembuahan ini disebut *double fertilization*.

3. Jenis Penyerbukan pada Tanaman

Fertilisasi pada tumbuhan berbiji akan terjadi kalau didahului adanya proses penyerbukan.

A. Tanaman menyerbuk sendiri (autogami)

Penyerbukan sendiri adalah penyatuan sel telur dengan sel sperma yang berasal dari satu tanaman, dan jika $> 95\%$. Dengan penyerbukan ini dapat mempertahankan homozigositas tanaman yang sudah homozigot atau dapat memperoleh proporsi homozigot yang makin tinggi. Tujuan akhir pemuliaan tanaman menyerbuk sendiri umumnya untuk memperoleh

tanaman homozigot yang unggul berupa varietas galur murni. Penyerbukan sendiri terjadi karena sifat genetik dan susunan morfologi bunga. Sifat genetik yang dimaksud adalah kemampuan sel kelamin untuk dapat bergabung sendiri. Susunan morfologi bunga dapat menghalangi masuknya tepung sari tanaman lain ke sel telur. Beberapa mekanisme yang dapat menghalangi tepung sari lain, antara lain bunga tidak membuka, butir tepung sari luruh sebelum bunga membuka, benang sari dan putik ditutup oleh bagian bunga sesudah bunga membuka. putik memanjang segera setelah tepung sari masak. Contoh sorghum, sekam bagian terluar tetap tertutup sampai anthesis selesai. Kedelai, mahkota tetap tertutup sampai anthesis selesai. Tomat, tangkai putik tersembunyi dan dikelilingi benang sari. Contoh tanaman menyerbuk sendiri: cabai, kacang tanah, kapas, terung, lada, tembakau, gandum, jeruk, aprikot, kecipir, padi, kacang panjang, kacang kapri, kacang merah, kacang buncis.

B. Tanaman menyerbuk silang (alogami)

Penyerbukan silang adalah penyatuan sel sperma dengan sel telur dari tanaman yang berbeda, jika $> 95\%$. Penyerbukan silang terjadi karena terhalang tepung sari untuk dapat membuahi sel telur. Ciri bunga yang menyerbuk silang, antara lain:

- bunga mempunyai struktur tertentu, seperti bunga angrek.
- berbeda waktu masak tepung sari dan sel telur, seperti bunga alpukat.
- *self-incompatibility*, seperti bunga ubi jalar.
- adanya bunga monocius atau diocius, seperti jagung (monocius) bunga jantan di ujung batang dan bunga betina pada batang.

Contoh: apel, pisang, ceri, anggur, mangga, pepaya, asparagus, bit, kubis, wortel, seledri, sawi, bawang, bunga matahari, ketela pohon, ketela rambat, kakao, mentimun, oyong, melon, dan semangka.

Populasi alami tanaman menyerbuk silang, terdiri atas individu-individu yang secara genetik heterozigot untuk kebanyakan lokus. Secara genotipik berbeda dari satu individu ke individu lainnya, sehingga keragaman genetik

dalam populasi sangat besar. Penyerbukan silang secara alami dapat terjadi karena bantuan: angin (anemophily), serangga (entomophily), air (hydrophily), dan hewan (zoophily).

4. Struktur Bunga

Berdasarkan kelengkapan bagian-bagian bunga:

- A. Bunga lengkap (*complete*) dan bunga tidak lengkap (*incomplete*). Bunga complete mempunyai 4 bagian bunga yaitu kelopak (calyx), mahkota (corolla), benang sari (stamen), dan putik (pistil). Struktur bunga lengkap dapat dilihat Gambar di bawah ini. Bunga incomplete: tidak mempunyai 1 atau lebih dari 4 bagian bunga.
- B. Bunga sempurna dan tidak sempurna. Bunga sempurna adalah mempunyai putik dan benang sari dalam 1 bunga (hermaphrodite). Bunga tidak sempurna adalah hanya mempunyai putik atau benang sari dalam satu bunga. Bunga yang tidak mempunyai perhiasan (kelopak atau tajuk) disebut bunga telanjang.

5. Beberapa Tipe Seks pada Tanaman

Selain bunga hermaphrodit, dikenal juga bunga jantan (*masculus*) dan bunga betina (*femineus*). Bunga jantan mempunyai polen dan tidak membentuk putik. Akibat tidak mempunyai putik, bunga jantan tidak tumbuh menjadi buah. Sementara itu, bunga betina mempunyai putik, tetapi tidak membentuk polen. Bunga tersebut dapat tumbuh menjadi buah jika mengalami penyerbukan dengan polen dari bunga jantan. Bunga jantan dan bunga betina dapat terbentuk pada satu tanaman atau pada batang yang sama, misalnya *Cocos nucifera* L., dan *Zea mays* L.

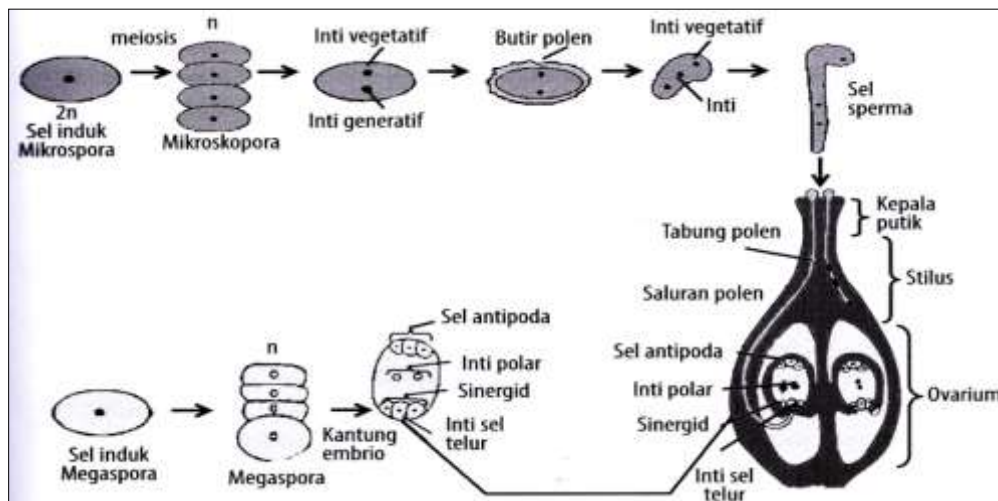
Sering kali pada satu tanaman terdapat bunga jantan atau bunga betina bersama-sama dengan bunga hermaphrodit. Dalam hal ini dapat dibedakan sebagai berikut:

- a. Jika pada satu tanaman terdapat bunga jantan dan bunga hermaphrodit maka tanaman tersebut disebut *andromonocious*.

- b. Jika bunga jantan dan bunga hermaprodit terdapat terpisah pada dua tanaman, artinya pada tanaman yang satu hanya terdapat bunga jantan dan pada tanaman yang kedua hanya terdapat bunga hermaprodit, maka tanaman itu disebut *androdiocious*.
- c. Jika pada satu tanaman terdapat bunga betina dan bunga hermaprodit maka tanaman itu disebut *gynomonocious*.
- d. Jika bunga betina dan bunga hermaprodit terdapat terpisah pada dua tanaman, artinya pada tanaman yang satu hanya terdapat bunga betina dan pada tanaman yang kedua hanya terdapat bunga hermaprodit, maka tanaman itu disebut *gynodiocious*.
- e. Jika tanaman terdapat ketiga tipe bunga (hermaprodit, jantan, dan betina) maka disebut *trimonocious*.

6. Proses Penyerbukan pada Tanaman

Penyerbukan adalah jatuhnya polen di kepala putik. kepala putik yang telah masak biasanya mengeluarkan lendir yang mengandung larutan gula dan zat-zat lain yang diperlukan untuk perkecambahan polen. Jika polen jatuh di atas kepala putik maka dalam keadaan normal ia akan menyerap cairan yang dihasilkan oleh putik, kemudian akan menggembung dan berkecambah. Pada saat itu, salah satu pori pada dinding luar polen akan pecah. Oleh karena butir polen terus-menerus menyerap cairan dari kepala putik, maka volumenya makin bertambah besar dan isi polen (protoplasma + 2 inti) yang terbungkus oleh selaput tipis dan lunak dapat keluar melalui pori yang telah pecah sebagai tabung polen (*pollen tube*). Sebelum berkecambah, tiap butir polen mengandung 2 inti (inti vegetatif dan inti generatif).



Gambar 3. Proses pembelahan sel induk mikrospora dan megaspora serta pembuahan tanaman.

Pada waktu mulai berkecambah, inti generatif (inti sperma) membelah diri sehingga dalam tabung polen terdapat 2 inti sperma (*sperm nucle*) dan 1 inti vegetatif (*tube nucleus*). Inti vegetatif mengatur pertumbuhan tabung polen, 2 inti sperma melakukan pembuahan di dalam bakal biji. Polen yang berkecambah di atas kepala putik akan tumbuh memanjang ke bawah dan masuk ke dalam saluran tangkai putik (*caralis stylinus*) menuju ke ruang bakal buah (ovarium) sampai ujungnya menyentuh kandung embrio (*saccus embrionalis*) (**Gambar 3**). Dengan demikian tabung polen harus lebih panjang daripada tangkai putik. Untuk mencapai ruang, bakal buah memerlukan 5 - 60 jam, kadang dapat mencapai 5 hari atau lebih.

7. Fertilisasi

Setelah dapat masuk ke dalam ruang bakal buah, bagian ujung tabung polen bergerak menuju ke arah salah satu bakal biji. Tabung polen dapat menyentuh *nucellus* melalui mikrofil, kemudian masuk ke dalam jaringan tersebut sampai ujung kandung embrio. Setelah menyelesaikan tugasnya, inti vegetatif mati bersama protoplasma yang berada dalam tabung polen. Sementara itu, kedua inti sperma telah masuk ke dalam kandung embrio untuk melakukan pembuahan. Salah satu inti sperma meleburkan diri dengan inti sel telur dan

menjadi satu zigot, sedangkan inti sperma yang kedua bergabung dengan 2 inti polar untuk kemudian membangun jaringan endosperm. Peleburan diri antara inti sperma dengan inti sel telur disebut fertilisasi. Peristiwa ini disebut pembuahan ganda karena di dalam kandung embrio terjadi dua macam pembuahan.

Tiap butir serbuk hanya dapat membuahi satu bakal biji. Dengan demikian, bakal buah yang berisi banyak bakal biji memerlukan banyak butir polen untuk pembuahan. Gagalnya pembuahan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu karena polen dan sel telur steril, atau polen tidak sesuai dengan sel telur (*incompatible*). Setelah terjadi pembuahan, bakal buah bersama dengan bagian-bagian lainnya akan tumbuh menjadi besar sambil mengalami perubahan bentuk, seperti: inti sel telur menjadi zigot, dua inti polar menjadi endosperm, inti bakal biji menjadi perisperm, selaput dalam dari biji menjadi kulit biji sebelah dalam (tegmen), selaput luar dari bakal biji menjadi kulit bakal biji sebelah luar (testa), bakal biji menjadi biji, daun buah menjadi kulit buah, dan bakal buah menjadi buah. Zigot tumbuh menjadi embrio yang tumbuh di dalam biji, yang terdiri dari radicula, caudalculus, dan plumula.

BAB VII

***SELF INCOMPATIBILITY* DAN MANDUL JANTAN PADA TANAMAN**

Kondisi tanaman yang memiliki *self-incompatibility* dan mandul jantan justru banyak dimanfaatkan pemulia terutama dalam perakitan dan produksi benih hibrida. Adanya *self-incompatibility* pada tanaman dapat membantu meningkatkan penyerbukan silang alami dan mengurangi waktu dan biaya tenaga kerja untuk melakukan emaskulasi.

1. *Self-Incompatibility* (SI)

Ketidakserasian sendiri adalah ketidakmampuan tanaman hermaphrodit (dan steril) berbiji untuk menghasilkan zigot meskipun telah terjadi penyerbukan sendiri. Lebih dari 316 species menunjukkan bahwa species *self-compatibility* (SC) mempunyai rata-rata fruit-set 72,5%, dan pada spesies-spesies SI hanya 2,1%. Penyebabnya adalah butir polen tidak menempel ke kepala putik, atau butir polen berkecambah pada stigma, atau tabung polen gagal mempenetrasi stigma. Semua masalah ini terjadi sebelum proses fertilisasi. *Self-incompatibility* (SI) tersebar pada spesies dari famili Leguminosae, Solanaceae, Cruciferae, Compositae, Graminae.

A. Tipe-tipe *Self-incompatibility* (SI):

Sterilitas ada 2 sistem:

- a. Ketakserasian sendiri gametofitik (*gametophytic self incompatibility*) (GSI): ketidakserasian polen ditentukan oleh genotipe mikrospora, homomorfik. Penghambatan dicirikan pada jaringan transmitting pada tangkai putik.
- b. Ketakserasian sendiri sporofitik (*sporophytic self incompatibility*) (SSI): ketidakserasian polen ditentukan oleh genotipe polen yang dihasilkan tetua, bisa homomorfik atau heteromorfik. Penghambatan terjadi pada stigma.

Mekanisme SI homomorfik ditunjukkan oleh adanya interaksi antara polen dan pistil selama polinasi dan adanya hambatan sebelum proses fertilisasi.

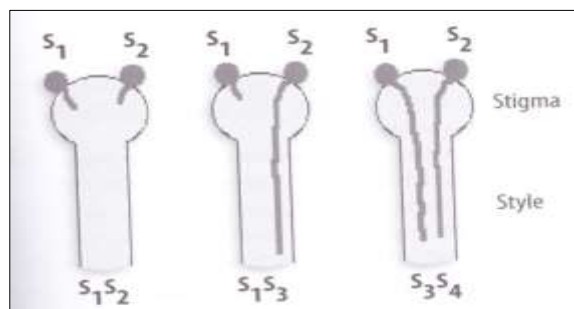
SI homomorfik secara genetik diatur oleh 1 atau 2 lokus dengan multialelik. Polen dari tanaman dengan alel yang sama akan ditolak.

SI heteromorfik disebabkan oleh perbedaan fenotipik struktur bunga. Umumnya tanaman SI heteromorfik adalah *heterostylic*, *distylic*, atau *tristylic*.

a) *Gametophytic Self Incompatibility (GSI):*

Pada sistem GSI, tabung polen akan gagal berkembang secara normal jika alel S dari polen dan pistil sama. Pada fase awal perkecambahan, perkembangan tabung polen terjadi secara normal, tetapi kemudian akan berhenti pada jarak tertentu pada tangkai putik. Pada tanaman *Nicotiana* sifat GSI diturunkan dengan prinsip kerja:

- 1) Alel-alel yang sama dikontrol oleh faktor yang diduga bekerja pada polen dan stigma.
- 2) Faktor-faktor tersebut bekerja secara mandiri pada stigma diploid dan pada butir polen haploid. Dengan demikian polen dari induk jantan diploid yang sama dapat memperlihatkan 2 tipe reaksi pada stigma tunggal (semi-serasi).
- 3) Ketika butir polen dan stigma membawa faktor yang sama maka akan terjadi ketakserasian sehingga terjadi peningkatan penyerbukan silang antara gamet-gamet yang membawa faktor yang berbeda. Tanaman disebut heterozigot untuk faktor ketakserasian (**Gambar 4**).
- 4) Faktor-faktor yang diduga diturunkan memiliki beberapa alel pada lokus yang sama, S lokus, dan alelnya dicirikan dengan S1, S2, S3, ... Sn.



Gambar 4. Perilaku alel S pada *Gametophytic self-incompatibility*

Prinsip percobaan sistem gametofitik mengikuti pola:

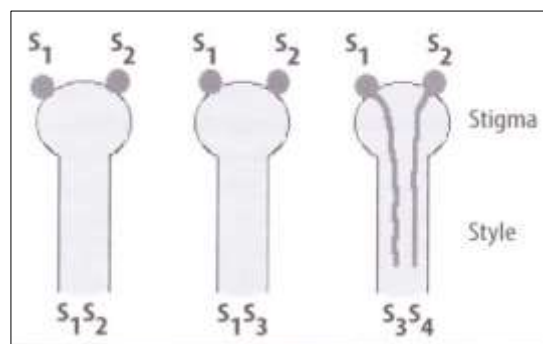
- a) menanam beberapa gen dari populasi atau spesies yang memperlihatkan SI.
- b) Membuat beberapa pasang persilangan dari bahan yang ada.
- c) pengujian terhadap pertumbuhan tabung polen dan atau pembentukan biji dari pasangan persilangan yang dilakukan.
- d) mengklasifikasikan tetua-tetua ke dalam kelompok ketakserasian.
- e) penetapan jumlah alel yang ada kembali pada lokus S dengan rumus: jumlah genotip S yang berbeda = $n(n-1)/2$, dimana n : jumlah alel pada sistem.
- f) menumbuhkan famili saudara kandung (sibling) dari satu atau lebih penyerbukan dan menentukan jumlah kelas serasi silang yang terjadi antar sibling dari persilangan tunggal.
 - 1) jika tetua mempunyai genotip yang berbeda pada keturunannya (offspring) akan muncul 4 kelas serasi silang: untuk tiap keturunan, 1/4 akan tak serasi, 1/2 semi-serasi, dan 1/4 serasi.
 - 2) jika tetua memberikan suatu alel S (semi-serasi), ada 2 kelas serasi silang di antara keturunannya.
 - 3) jika jumlah kelas yang muncul diantara famili keturunannya lebih banyak, hal tersebut dapat diasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lokus tak serasi yang berperan.

b) *Sporophytic Self-Incompatibility (SSI)*

Pada dasarnya perbedaan SSI dengan GSI adalah dalam kendali perilaku butir polen yang berasal dari anter sporofitik sehingga menyebabkan konsekuensi genetik sebagai berikut:

- 1) semua butir polen dari tetua jantan tunggal akan menunjukkan perilaku yang = yang diberikan tetua betina (semi tak serasi tidak akan terjadi).
- 2) kendali perilaku butir polen berasal dari anter diploid, dominansi biasanya akan terekspresikan. jika S1 dominan terhadap S2 pada tetua jantan S1S2, polen S2 akan mempunyai fenotipe S1.

- 3) Konsekuensinya homozigot terjadi untuk S lokus. jika $S_1 > S_2 > S_3$, persilangan S_1S_2 (jantan) X S_2S_3 akan serasi seperti polen yang ditunjukkan fenotipe S_1 , tetapi S_2 yang dibawa butir polen dapat membuahi S_2 yang dibawa sel telur untuk memberikan keturunan S_2S_2 homozigot (**Gambar 5**).



Gambar 5. Perilaku alel S pada ketidakserasian sendiri sporofitik

B. Gangguan Ketidakserasian

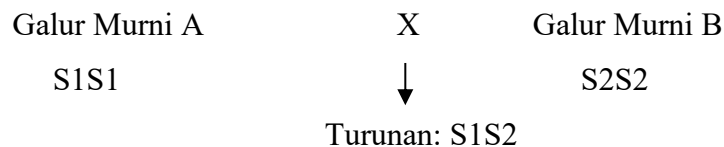
Keadaan yang menyebabkan sistem GSI gagal berfungsi dan dapat diwariskan pada keturunannya (serasi palsu). Keadaan tersebut meliputi:

- Penyerbukan tunas: sejumlah biji diperoleh dari hasil penyerbukan polen yang matang pada stigma yang belum matang. Gen S belum diekspresikan pada tangkai putik muda sehingga terjadi pertumbuhan tabung polen yang tak serasi.
- Irradiasi tangkai putik: radiasi sinar x pada tangkai putik setelah polinasi sendiri mencegah terjadinya SI.
- Pengaruh polen pembimbing: polen yang sesuai dengan tetua yang akan disilangkan, namun akan mati sehingga dilanjutkan pertumbuhannya oleh polen yang akan disilangkan.
- Suhu tinggi: suhu diatas 30-60°C dapat menghilangkan SI.
- Penghambat biologis: Penghambatan sintesis RNA seperti *actinomycin* D dan 6 *methylpurin* dan enzim penghambat seperti *puromycin* dan p-chloromercuribenzoat dapat membatasi SI.

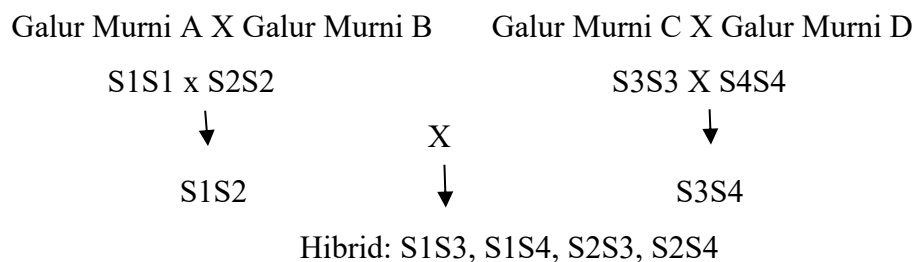
- f. Kultur *in vitro*: fertilisasi *in vitro* dapat mengganggu SI. Butir polen dapat berkecambah dengan kultur ovul.

C. Kegunaan *self-incompatibility* dalam Pemuliaan Tanaman

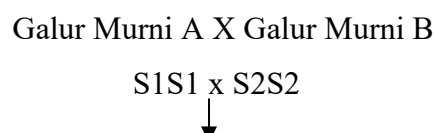
Self-incompatibility (SI) digunakan pemulia untuk merakit dan menghasilkan hibrida. Ciri sistem ini adalah bersifat dominan yang memungkinkan menghasilkan genotipe homozigot untuk alel S (S1S1, S2S2, dan lain-lain). Untuk sistem silang tunggal dibutuhkan 2 galur murni ketakserasian sendiri dan serasi silang yang masing-masing homozigot untuk alel S.

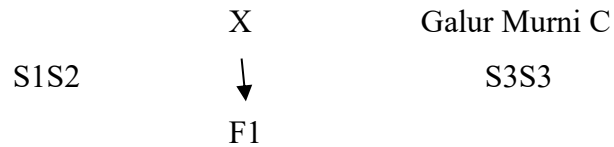


Sistem silang ganda dapat digunakan untuk meningkatkan rasio benih hibrida yang dihasilkan dari galur murni. Sistem silang ganda membutuhkan dua isogenik ketakserasian sendiri dan ketakserasian silang, masing-masing merupakan galur murni dan homozigotik untuk perbedaan ketakserasian alel S. Prosedurnya:



Sistem silang tiga membutuhkan tiga genotipe homozigot yang masing-masing galur murni dan perlu penambahan satu generasi. Prosedurnya:





SI dimanfaatkan untuk penyerbukan silang pada klon yang diperbanyak secara vegetatif. Dua klon SI (yang sekarang SS), dibentuk pada lahan yang berdekatan melalui perbanyakan vegetatif. Benih dihasilkan dari penyerbukan silang diantara kedua klon. Sistem ini digunakan dalam penyerbukan silang pada spesies yang memiliki GSI. SI tipe gemetofitik juga digunakan dalam pemuliaan hibrida.

2. MANDUL JANTAN PADA TANAMAN

Kemandulan sebagai ketidakmampuan tanaman membentuk biji karena kegagalan polen atau sel telur berfungsi secara normal. Ketidaknormalan perkembangbiakan dapat menyebabkan kemandulan. Misalnya benang sari atau tangkai putik cacat, atau polen mungkin rusak, atau sel telur gagal atau abortus. Mandul jantan adalah tidak adanya atau tidak berfungsinya polen. Kemandulan pada tumbuhan terjadi karena ketidakseimbangan nukleus atau sitoplasma akibat persilangan antar spesies yang berbeda. Keseimbangan akan pulih pada generasi berikutnya melalui mutasi dalam nukleus yang menghasilkan alel pemulih. Melalui pemuliaan tanaman telah berhasil dipindahkan sterilisasi antar spesies melalui persilangan interspesifik. Alel pemulih mungkin dapat dipindahkan atau mungkin tidak dapat dipindahkan dari spesies donor dalam persilangan antar spesies tersebut. Penyebab terjadinya mandul jantan:

- Benang sari tidak ada atau tidak tumbuh,
- Kegagalan memproduksi polen disebabkan oleh terganggunya beberapa fase pertumbuhan,
- Polen terbentuk namun gagal dalam proses pematangan karena adanya penyimpangan susunan kepala sari.

A. Tipe-tipe mandul jantan

1) Mandul Jantan Genik (MJG)

Mandul jantan genik terjadi pada tanaman menyerbuk sendiri maupun silang, yang dikendalikan oleh lokus tunggal dengan 2 alel (Ms, ms). Genotipe ms/ms umumnya mandul, Ms/ms dan Ms/Ms are fertil. Mandul jantan genik dapat muncul spontan atau diinduksi buatan dengan mutagen fisik atau kimia. Populasi tanaman MJG tidak dapat dihasilkan, tetapi gen-gen MJG dapat dibawa dalam frekuensi yang cukup tinggi pada tanaman menyerbuk sendiri jika benih dari tanaman MJG digunakan untuk menanam generasi selanjutnya. Benih yang dipanen dari tanaman male-sterile (msms) dapat diserbuki oleh tanaman male-fertile homozigot (MsMs) atau heterozigot (Msms). Jika penyerbukan terjadi oleh MsMs, semua keturunan akan heterozigot (Msms); tetapi jika penyerbukan terjadi oleh Msms, keturunannya akan bersegregasi 50% Msms: 50% msms. Jika tanaman male-sterile (msms) diserbuki oleh tanaman male-fertile (MsMs), semua tanaman F1 akan heterozigot dan male-fertile (Msms) (**Tabel 4**), tetapi generasi F2 akan bersegregasi 25% MsMs: 50% Msms: 25% msms. Proporsi tanaman male-fertile dan male-sterile pada generasi-generasi berikutnya dapat diperkirakan dari proporsi polen dengan gen Ms vs polen dengan gen ms.

Tabel 4. Keturunan yang dihasilkan dari berbagai kombinasi persilangan pada mandul jantan genik

No.	Persilangan	Keturunan yg dihasilkan
1	msms x MsMs	F1 (Msms) → fertil
2	MsMs x msms	Tidak ada F1 yg dihasilkan
3	msms x Msms	F1 (Msms) → fertil F1 (msms) → steril
4	Msms x msms	Tidak ada F1 yg dihasilkan

Pada F₂ 66,6% sel polen akan bergenotipe Ms dan 33,3% akan bergenotipe ms. Kawin acak gamet jantan dengan proporsi tersebut dengan sel telur ms akan menghasilkan populasi F₃ dengan proporsi 66% heterozigot: 33,3% homozigot resesif dan male-sterile. Tanaman male-fertile pada F₃ akan heterozigot, 50% polen akan membawa gen dominan dan 50% membawa gen resesif; dan proporsi ini akan dipelihara pada generasi-generasi berikutnya. Adanya mandul jantan genik ditemukan pada tomat, terung, paprika, brokoli, kubis, jenis kacang-kacangan, cucurbitaceae (mentimun, melon, dan semangka), kapas, barley, bunga matahari. Pada beberapa tanaman budidaya dikendalikan oleh gen resesif tunggal, yaitu ms₂, ms₃. Dalam pemuliaan tanaman, mandul jantan genik digunakan untuk memproduksi benih hibrida.

2) Mandul Jantan Sitoplasmik (MJS)

Mandul jantan sitoplasmik dikendalikan oleh adanya sitoplasma steril dan hanya dikendalikan oleh kegiatan sitoplasma. Mandul jantan ini tidak menyangkut faktor genetik, kecuali bila sesuatu gen mempunyai pengaruh pada perubahan kegiatan sitoplasma. Tanaman yang mempunyai sitoplasma tertentu akan dapat menyebabkan sterilitas bila disilangkan dengan tanaman lain yang normal. Keturunan hasil persilangan tersebut semuanya steril karena memiliki sitoplasma dari tetua betinanya. kebanyakan MJS disebabkan oleh hibridisasi antara spesies yang berbeda, antara sub-spesies, atau kadang-kadang antara varietas berbeda dari spesies sama. Mandul jantan sitoplasmik dikendalikan hanya oleh sitoplasma maternal sehingga sterilisasi ini ditemukan hanya pada keturunan dari tanaman yang mandul jantan saja. Dalam pemuliaan tanaman, MJS banyak digunakan untuk memproduksi benih tanaman hias atau tanaman yang bagian vegetatifnya bernilai ekonomi. Namun pada tanaman yang bijinya bernilai ekonomi, MJS tidak dapat dimanfaatkan pada tanaman yang bijinya bernilai ekonomi, karena keturunan yang dihasilkan akan mandul jantan.

3) Mandul Jantan Sitoplasmik-Genik (MJSG)

Kebanyakan sterilitas di alam adalah MJSG, yang dikendalikan oleh interaksi antara sitoplasma dan gen dalam inti. Pada kasus MJSG, terdapat 2 tipe sitoplasma yaitu: fertil normal (N) dan jantan steril (S), dan di inti terdapat gen Ms yang dominan terhadap ms. Sitoplasma diwariskan kepada keturunan hanya dari tetua betina. Gen Ms dominan terhadap sitoplasma steril (S). Berdasarkan tipe sitoplasma dan gen yang dimilikinya, tanaman dapat diklasifikasikan menurut **Tabel 5**.

Tabel 5. Klasifikasi tanaman berdasarkan tipe sitoplasma dan gen inti.

Inti	MsMs	Msms	msms
Sitoplasma			
N	Fertil	Fertil	Fertil
S	Fertil	Fertil	Steril

Pada galur bawang ditemukan 1 tanaman mandul, lalu diperbanyak dengan cara umbi lapisnya. tanaman bawang steril ini disilangkan dengan tanaman fertil, F1 semua steril, semua fertil, atau 1/2 fertil dan 1/2 steril. Hal ini sesuai dengan sterilitas yang dipulihkan oleh alel dominan yang terdapat pada 1 lokus gen pemulih.

B. Pengendalian Kimia

Mandul jantan dapat dibuat dengan diinduksi bahan kimia. Sterilisasi polen dengan bahan kimia akan berguna dalam menggantikan prosedur emaskulasi sebelum melakukan penyerbukan tangan pada program hibridisasi. Prosedur umum adalah penyemprotan pada daun sebelum pembungaan, yang menghambat produksi polen yang viabel, tetapi tidak melukai pistil, atau menurunkan hasil benih. Jika perlakuannya berhasil dan semua polen mati, penyerbukan sendiri tidak akan berlangsung pada tanaman yang diberi perlakuan, tetapi bunga akan membentuk benih secara bebas dari penyerbukan silang. Penelitian dalam penggunaan bahan

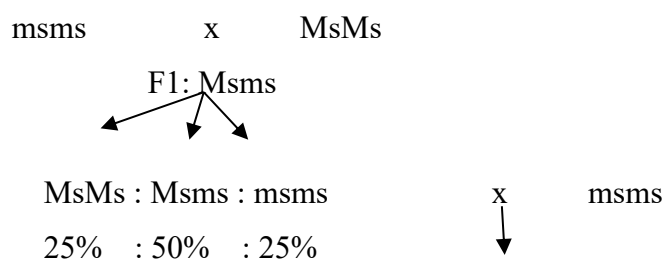
kimia untuk menekan perkembangan polen, telah dilakukan pada kapas, jagung, gandum, sorgum, dan tanaman sayuran. Masalah utama untuk mendapatkan sterilitas seluruh polen adalah: adanya variasi respon pada genotipe-genotipe tanaman yang berbeda, pengaruh lingkungan pada aksi bahan kimia, atau efek yang berbeda dari bahan kimia itu sendiri. Sifat bahan kimia antara lain dapat diabsorpsi dan ditranslokasikan ke jaringan meristem bunga pada waktu yang tepat dan pada dosis yang paling efektif. Senyawa kimia yang telah digunakan *Maleic hydrazide* dan F.W. 450, pada kedelai, kapas, dan tomat. Ethrel pada tanaman sereal dan mentimun.

C. Aplikasi Mandul Jantan pada Pemuliaa Tanaman

Sterilitas tepung sari digunakan untuk menghasilkan tanaman hibrida bagi spesies tanaman yang sulit disilangkan secara besar-besaran. Sterilitas ini secara ekonomis dapat dipertanggungjawabkan karena tidak banyak menggunakan waktu, tenaga, dan dana. Mandul jantan juga dimanfaatkan untuk sterilitas genetik dan penghasil sterilitas plasma sel.

a. Sebagai penghasil sterilitas genetik:

Gen pengendali sterilitas dalam keadaan homozigot resesif. Untuk memperoleh susunan gen ini perlu dicari melalui back-cross:

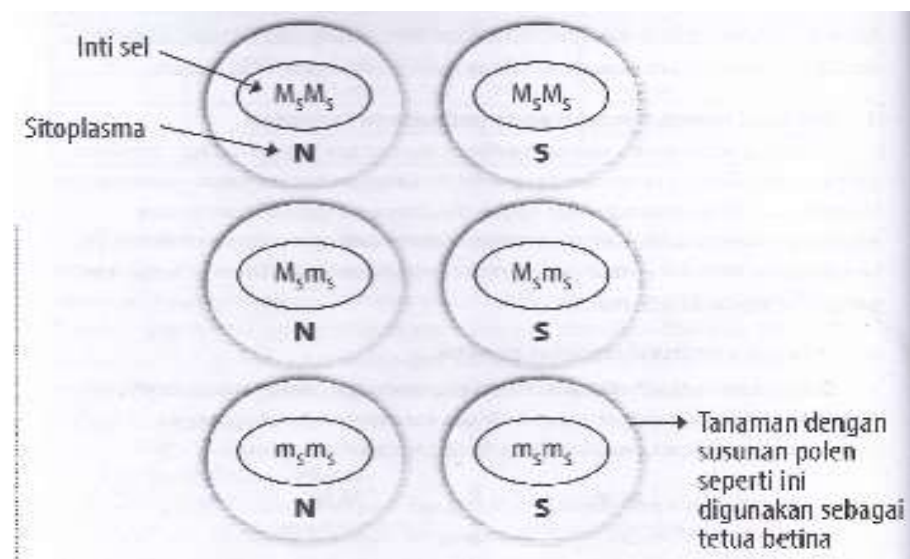


Daur silang balik selanjutnya

Dengan demikian, heterozigot Msms digunakan untuk mempertahankan gen polen steril. Agar potensi tanaman sebagai penghasil hibrida tidak berubah maka tanaman heterozigot tersebut harus dari genotipe yang sama.

b. Sebagai penghasil sterilitas sitoplasma

Sterilitas sitoplasma lebih luas digunakan untuk tujuan komersial karena jauh lebih mudah mempertahankan persediaan sterilitas polen, terutama untuk tanaman menyerbuk sendiri. Sterilitas ini memungkinkan terjadinya persilangan secara masal untuk memperoleh biji hibrida. Polen seperti ini tergantung dari interaksi antara gen dengan sitoplasma, yang kemungkinannya adalah sebagai berikut (**Gambar 6**):



Gambar 6. Sterilitas memungkinkan terjadi persilangan untuk memperoleh biji hibrida yang tergantung dari interaksi antara gen dengan sitoplasma.

Untuk menghasilkan tanaman steril, perlu menyilangkan tanaman steril sebagai betina dan tanaman fertil sebagai jantan, sebagai berikut:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{S msms} & \text{X} & \text{N msms} \\
 \text{(steril)} & & \text{(fertil)} \\
 & \downarrow & \\
 & \text{S msms} & \\
 & \text{(steril)} &
 \end{array}$$

Galur polen fertil dapat dipertahankan dengan penyerbukan sendiri atau melalui perkembangbiakan vegetatif. Dari persilangan di atas dihasilkan keturunan yang sama yaitu memiliki polen steril. Pada tanaman jagung, penggunaan polen steril amat efektif untuk menghasilkan biji hibrida, karena tanpa dilakukan pemotongan bunga

jantan lebih dulu. Masalahnya: bagaimana memperbaiki sterilitas polen karena tanaman yang mempunyai polen steril tidak mungkin menghasilkan biji dengan penyerbukan sendiri. Sterilitas sitoplasma digunakan pada tanaman jagung sehingga untuk mempertahankan polen steril digunakan persilangan antara tanaman yang normal sebagai jantan dan tanaman yang steril sebagai betina.

c. **Meningkatkan penyerbukan silang alami**

Mandul Jantan (MJ) dapat meningkatkan penyerbukan silang alami pada tanaman menyerbuk sendiri. Gen MJ memberikan mekanisme untuk meningkatkan penyerbukan silang pada tanaman yang secara alami menyerbuk sendiri. Dengan menggunakan gen MJ, kemampuan untuk mendapatkan kombinasi persilangan akan sangat meningkat, terutama untuk penyerbukan silang di antara generasi-generasi yang bersegregasi.

d. **Sebagai penghasil benih hibrida**

Pada persilangan untuk menghasilkan benih hibrida, tanaman A mempunyai polen steril sehingga polen sepenuhnya berasal dari tanaman B. Kedua tanaman ini dipilih sebagai tetua yang dapat menimbulkan heterosis pada F₁. Mandul Jantan digunakan untuk menghindari pekerjaan emaskulasi sebelum hibridisasi, dan untuk menghasilkan biji hibrida, terutama untuk tanaman yang dalam sekali persilangan hanya menghasilkan 1 atau sedikit biji.

BAB VIII

STRUKTUR DAN PERKEMBANGAN BUNGA KELAPA SAWIT

Dalam sistem perkembangbiakan tanaman kelapa sawit sangat penting memahami struktur bunga yang merupakan alat perkembangbiakannya secara generatif. Bagian tanaman yang bermanfaat di dalam sistem perkembangbiakan ini sebagai sarana penting bagi pemulia tanaman dalam pengembangan dan

menemukan bibit unggul tanaman kelapa sawit. Pada BAB ini akan dibahas struktur dan biologi bunga kelapa sawit, serta perkembangan bunga kelapa sawit.

1. Struktur Bunga Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan tanaman berumah satu (monoecious), artinya bunga jantan dan bunga betina terdapat dalam satu tanaman dan masing-masing terangkai dalam satu tandan. Rangkaian bunga jantan terpisah dengan bunga betina. Setiap rangkian bunga muncul dari pangkal pelepah daun. Sebelum bunga mekar dan masih diselubungi seludang, bunga dapat dibedakan antara bunga jantan dan bunga betina dengan melihat bentuknya. Tanaman kelapa sawit akan berbunga pada umur $\pm$ 14-18 bulan. Pada mulanya keluar bunga jantan kemudian secara bertahap akan muncul bunga betina. Terkadang terdapat bunga banci yaitu bunga jantan dan bunga betina ada pada satu rangkain. Tandan bunga betina dibungkus oleh seludang yang akan pecah 15–30 hari sebelum anthesis. Satu tandan bunga betina memiliki 100–200 spikelet dan setiap spikelet 15–20 bunga betina dan yang akan diserbuki tepung sari. Pada tandan tanaman dewasa dapat diperoleh 600–2000 buah tergantung pada besarnya tandan dan setiap pokok dapat menghasilkan 15–25 tandan/pokok/tahun.

Bunga jantan bentuknya lonjong memanjang dengan ujung kelopak agak meruncing dan garis tengah bunga lebih kecil. Letak bunga jantan yang satu dengan yang lainnya sangat rapat dan membentuk cabang bunga yang panjangnya antara 10–12 cm. Pada tanaman dewasa satu tandan mempunyai $\pm$ 200 cabang bunga. Setiap cabang bunga mengandung 700–1200 bunga jantan. Bunga jantan terdiri dari 6 helai benang sari dan 6 perhiasan bunga. Hari pertama kelopak terbuka dan mengeluarkan tepung sari dari ujung tandan bunga, pada hari kedua bagian tengah dan hari ketiga di bagian bawah tandan yang akan keluar serbuk sari. Serbuk sari berwarna kuning pucat dan berbau spesifik. Satu tandan bunga jantan dapat menghasilkan 25-50 gram tepung sari. Setiap bunga akan dibuahi dengan serbuk sari yang menghasilkan buah tersusun pada tandan. Untuk lebih jelas perbedaan bunga Jantan dan bunga

betina tanaman kelapa sawit dapat dilihat pada **Gambar 7**. **Gambar 8** menunjukkan perkembangan bunga betina yang berhasil melakukan penyerbukan, fertilisasi, hingga menghasilkan buah.



Gambar 7. Pandangan makroskopik inflorescence kelapa sawit: (A) inflorescence betina dewasa, (B) inflorescence jantan dewasa. Skala batang $\frac{1}{4}$ 10 cm.



Gambar 8. Bunga betina menjadi buah kelapa sawit

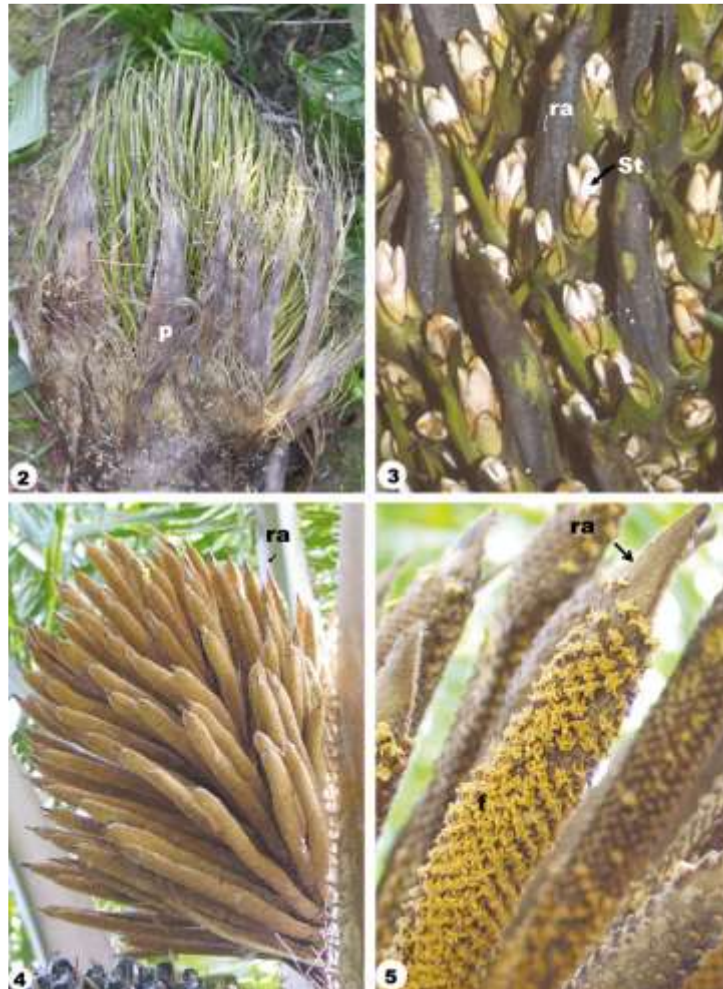
Bunga kelapa sawit selain kelompok bunga monocius, juga bunga tidak sempurna, dan bunga tidak lengkap, yang muncul dari ketiak daun, termasuk bunga majemuk yang merupakan kumpulan spikelet yang tersusun dalam

infloresen berbentuk spiral. Terbentuknya jumlah bunga betina dan bunga jantan dipengaruhi oleh sifat tanaman dan lingkungan, seperti penyinaran, pemupukan, dan perlakuan lainnya. Penyerbukan dilakukan dengan bantuan angin dan serangga. Bunga jantan maupun bunga betina biasanya terbuka selama dua hari. Bunga berkembang memerlukan waktu 2,5-3 tahun, muncul saat menjelang anthesis. Pada tanaman muda (2-4 tahun) anthesis biasanya terjadi pada ketiak daun nomor 20. Pada tanaman tua (> 12 tahun) terjadi pada daun lebih muda, yaitu sekitar daun nomor 15.

A. Bunga Betina

Berbentuk agak bundar (oval), ujung kelopak bunga agak rata dan diameter bunga lebih besar daripada dengan bunga jantan, tandan bunganya terbungkus dengan seludang bunga yang akan pecah pada 15-30 hari sebelum *receptive*. Masa *receptive* pada bunga betina ditandai dengan adanya bunga yang mekar dimulai dari spikelet dengan waktu 3-5 hari. Putik bunga berwarna krem dan akan mengandung cairan berlendir putih kekuningan setelah merekah. Bunga yang beraroma wangi semerbak artinya siap menerima tepung sari untuk penyerbukan. Waktu mekar bunga jantan dan bunga betina pada satu pohon kelapa sawit ini berbeda, kecil kemungkinan terjadi penyerbukan per pohon, melainkan lebih banyak pembuahan secara silang antar-pohon. Proses penyerbukan bunga secara alami dilakukan oleh angin dan serangga. Setiap tandan bunga mengandung 100-200 spikelet. Panjang tandan bunga betina dapat mencapai 30 cm. Infloresen jantan dan betina secara bersama-sama terbentuk dari *bract*. Bagian tengah infloresen betina, setiap spikelet dapat menghasilkan bunga 12-30 kuntum bunga betina. Kuntum bunga yang memiliki putik nantinya akan diserbuki oleh tepung sari dari bunga jantan. Bagian atas dan bawah infloresen, spikelet hanya menghasilkan kurang dari 12 bunga. Setiap *bract* mampu menghasilkan sebuah bunga *trifloral*. Spikelet pada bagian bawah infloresen akan mekar lebih dahulu daripada spikelet pada bagian atas. Bunga-bunga betina ini setelah anthesis akan

menjadi buah/brondolan (*loose fruit*). Kelompok bunga spikelet dapat merupakan urutan-urutan dari percabangan simpodial (yang memendek).



Gambar 9. No. 2–5. Makroskopik perbungaan kelapa sawit betina dan jantan dewasa. 2. Perbungaan betina pada bunga mekar setelah terbukanya peduncular bract dan profil. 3. Rincian rachillae betina yang membawa bunga berbintik pada saat matang dengan stigma terbuka

Mengetahui struktur bunga kelapa sawit jantan dan betina sangat diperlukan dalam budidaya kelapa sawit. Tujuannya adalah untuk memahami jenis kelamin bunga tersebut sehingga petani bisa membantu proses pembuahan bunga dengan benar (**Gambar 9**). Setiap pohon kelapa sawit umumnya dapat menumbuhkan 15-25 tandan bunga per tahun yang mampu menghasilkan 600-2000 buah kelapa sawit. Kelapa sawit asal

kultur jaringan masih menghasilkan bunga jantan dan bunga betina yang abnormal. Abnormalitas pada bunga betina yaitu penambahan satu lingkaran bunga dengan munculnya karpel berjumlah 3-7 mengelilingi karpel utama. Abnormalitas pada bunga jantan yaitu stamen pada lingkaran bunga ke-3 berubah menjadi struktur seperti karpel berjumlah 3-7. Abnormalitas pada buah merupakan perkembangan lanjut dari abnormalitas bunga.

B. Bunga Jantan

Bunga jantan kelapa sawit memiliki tangkai yang lebih panjang daripada bunga betina, bentuknya lonjong memanjang, ujung kelopak bunganya agak meruncing, diameternya lebih kecil daripada bunga betina. mekar mulai dari bagian dasar spikelet, terdiri dari 6 helai benang sari dan 6 perhiasan bunga. Bunga jantan yang sedang anthesis berbau adas sangat semerbak, pada mulanya yang keluar adalah bunga jantan kemudian secara bertahap akan muncul bunga betina. Infloresens jantan memiliki tangkai (*penduncle*) yang lebih panjang, terdiri dari spikelet yang berbentuk silinder seperti jari-jari tangan dan tidak berduri. Sebelum mekar, infloresens terbungkus oleh *triangular bract*. Perianth lapisan bagian luar bersifat keras dan lapisan bagian dalamnya bersifat lunak. Tandan bunganya terbungkus oleh seludang bunga, akan pecah menjelang waktu anthesis. Setiap tandan bunga memiliki 100-250 spikelet yang panjangnya sekitar 10-20 cm dan diameternya 1-1,5 cm. Masing-masing spikelet ini berisi 500-1500 kuntum bunga penghasil tepung sari. Bunga ini akan mekar dalam waktu 2-4 hari dimulai dari bagian bawah spikelet. Setiap bunganya mengandung jutaan tepung sari dan berbobot 40-60 gram. Bunga jantan yang sedang dalam masa anthesis akan mengeluarkan bau wangi yang semerbak. Selanjutnya tepung sari akan mati setelah berumur 3-4 hari dari masa anthesis.

Ada juga kelainan pada tanaman kelapa sawit yaitu:

- bunga banci (hermaprodit) (tandan bunga memiliki 2 jenis kelamin). Secara morfologi bunga Jantan tetapi pada Sebagian spikelet dijumpai bunga betina yang dapat membentuk buah kecil.
- Buah partenocarpi: kepala putik atau stigma yang tidak sempurna penyerbukannya sehingga buah yang terbentuk layu dan gugur.
- bunga andromorphic (andogynous),
- primordial bunga atau floral initiation, dan
- sex determination.
- Persentasi sangat kecil (< 1 bunga/pokok)

Sex diferensiasi terjadi 17-25 bulan sebelum anthesis (reseptif). Secara visual, tandan bunga jantan atau betina baru dapat diketahui setelah muncul dari ketiak pelepah daun (1-2 bulan sebelum anthesis atau 7-8 bulan sebelum matang). Setelah anthesis membutuhkan waktu 5 - 6 bulan (158 - 160 hari) matang panen. Pada tanaman muda, jumlah bunga jantan per pokok lebih sedikit daripada tandan bunga betina. Perbandingan ini akan berubah seiring dengan peningkatan umur. Perbandingan antara jumlah tandan bunga betina dengan jumlah tandan bunga jantan + tandan bunga betina + tandan bunga hermaprodit + tandan lainnya : sex-ratio (%). Angka sex-ratio penting untuk perhitungan bunga dalam estimasi produksi, polinasi bantuan dan pelepasan serangga penyerbuk.

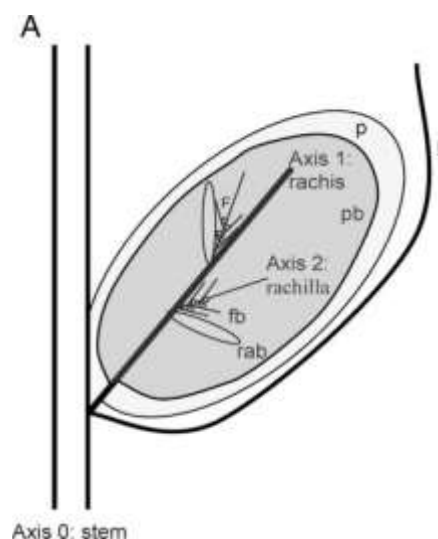
4. Perkembangan Perbungaan Kelapa Sawit

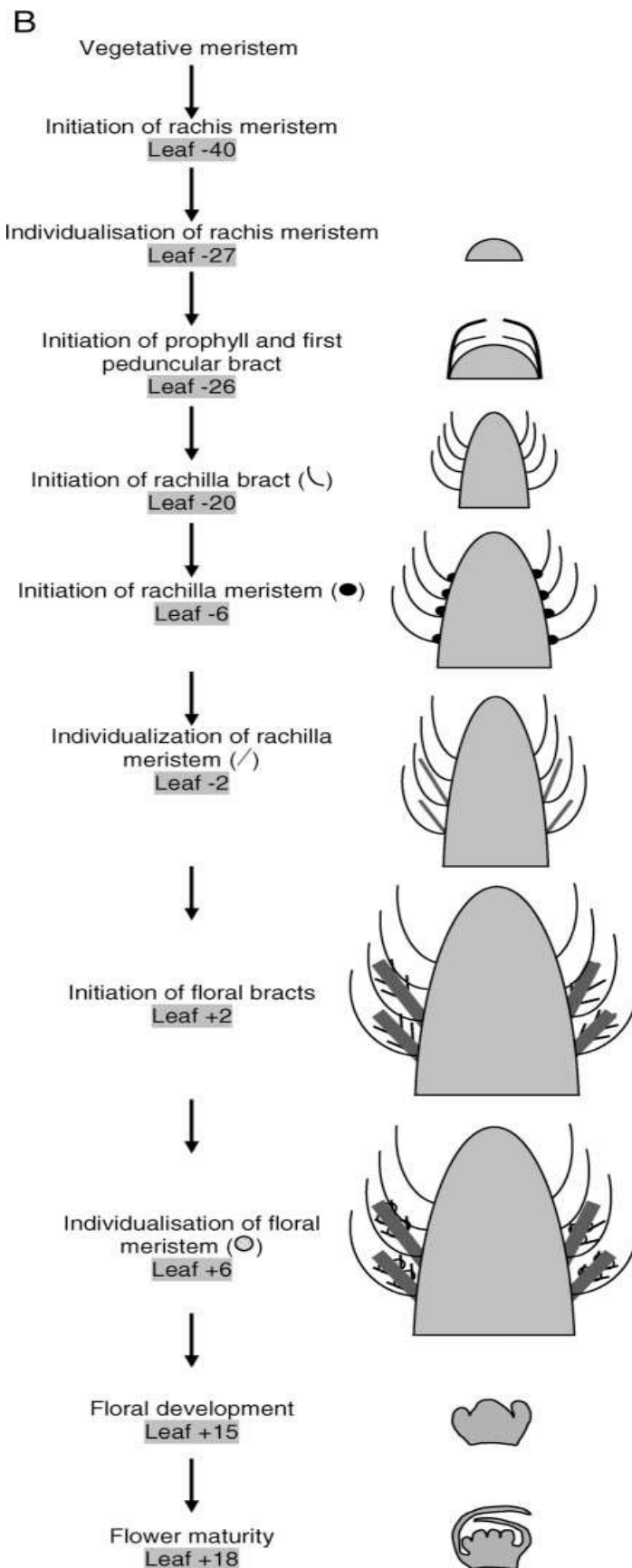
Tentang keragaman struktural dan kemungkinan fungsi gen kotak MADS dalam penentuan struktur bunga di kelapa sawit Afrika (*Elaeis guineensis*). Gen kotak MADS memainkan peran dominan dalam model ABC yang ditetapkan untuk menjelaskan bagaimana identitas organ bunga ditentukan dalam model spesies dikotil seperti *Arabidopsis thaliana* dan *Antirrhinum majus*. Dalam monokotil, meskipun tampaknya terdapat konservasi umum yang luas dari fungsi gen ABC, model itu sendiri perlu diadaptasi dalam beberapa kasus, terutama untuk spesies tertentu yang menghasilkan bunga dengan kelopak dan kelopak dengan penampilan serupa. Untuk saat ini, gen

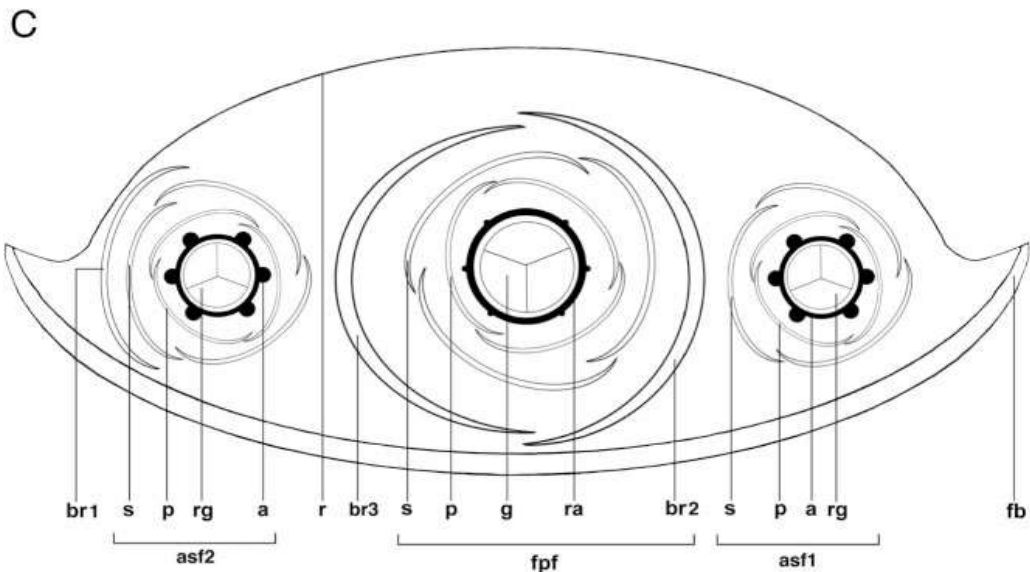
ABC masih belum dipelajari dalam sejumlah kunci monokotil, jadi hanya sebagian gambar yang tersedia untuk Liliopsida secara keseluruhan.

Gen kotak MADS mungkin terletak di bagian utama dari banyak peristiwa evolusi utama pada tumbuhan melalui peran mendasar yang dimainkan dalam regulasi perkembangan reproduksi pada umumnya dan struktur bunga pada khususnya. Data tentang struktur, ekspresi dan analisis fungsional dari gen kotak MADS kelapa sawit membantu mengisi celah dalam pengetahuan yang ada dan akan memungkinkan keluarga sawit untuk dibandingkan dan dikontraskan dengan kelompok lain yang secara tradisional mendapat perhatian lebih di bidang ini. Diharapkan di tahun-tahun mendatang, informasi baru akan dikumpulkan dari anggota Arecaceae lainnya. Ini akan membantu dalam jangka panjang untuk memberikan wawasan tentang proses pengaturan yang mendasari keragaman struktural yang kaya terlihat dalam keluarga tersebut.

Spesies dari famili palem (Arecaceae) sangat beragam dalam perbungaan dan morfologi bunganya, yang menjadikannya kelompok yang sangat menarik untuk studi perkembangan reproduksi dan evolusinya. Dengan menggunakan mikroskop electron, cahaya dan pemindaian, perbungaan dan perkembangan bunga pada kelapa sawit Afrika *Elaeis guineensis* dari inisiasi meristem perbungaan hingga kematangan bunga dapat dideskripsikan (**Gambar 10**).







Gambar 10. Ciri-ciri perkembangan reproduksi pada kelapa sawit. (A) Struktur dan organisasi poros perbungaan kelapa sawit. Sumbu unit perbungaan (sumbu 1) berada pada sumbu daun. Singkatan: F, flower; fb, bract bunga; L, daun; p, profil; pb, peduncular bract; rab, rachilla bract. (B) Kronologi tahapan utama perbungaan dan perkembangan bunga di kelapa sawit. Perhatikan bahwa ini adalah skema umum yang berlaku untuk perbungaan dari kedua jenis kelamin. (C) Diagram yang menunjukkan struktur tiga serangkai bunga dari perbungaan betina (setelah Beirnaert, 1935; Van Heel et al., 1987; Adam et al., 2011).

Pada kelapa sawit dewasa, perbungaan berkembang selama 2-3 tahun dan ditandai dengan tahapan individu di mana diferensiasi mungkin relatif lambat, seperti dalam kasus perkembangan meristem perbungaan awal, atau cepat, seperti dalam kasus organogenesis bunga. Perbungaan betina mengandung tiga serangkai bunga yang terdiri dari bunga berbiji tunggal yang diapit oleh dua bunga berserat yang gagal, sedangkan perbungaan jantan berisi bunga berserat fungsional tunggal. Hal ini menunjukkan kemungkinan pergerakan evolusioner dari bentuk perbungaan hermafrodit leluhur yang mengandung triad bunga yang berfungsi penuh ke situasi dioecy temporal yang diamati saat ini. Bunga jenis liar dibandingkan dengan bunga yang memiliki kelainan homeotik epigenetik, yang dikenal sebagai mantel, yang melibatkan perubahan identitas organ di androecium yang subur dan steril.

Kelapa sawit Afrika (*Elaeis guineensis*) adalah spesies monoecious dari subfamili sawit Arecoideae. Ini mungkin dikualifikasikan sebagai 'dioecious sementara' karena menghasilkan perbungaan jantan dan betina yang secara fungsional berkelamin tunggal dalam siklus bergantian pada tanaman yang sama, menghasilkan mode reproduksi alogami. 'Rasio jenis kelamin' tegakan kelapa sawit dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan. Secara khusus, peningkatan produksi perbungaan jantan sebagai respons terhadap tekanan air telah didokumentasikan dengan baik. Tentang dasar genetik dari penentuan jenis kelamin di kelapa sawit, maupun mekanisme yang mengatur proses ini.

Karakter morfologi dari tiga varian polen kelapa sawit telah berhasil diamati. Ketiga varian polen kelapa sawit tersebut tidak memiliki perbedaan dan menunjukkan bentuk serbuk sari berbentuk segitiga dengan tepi membulat. *Aperture polen* diamati sebagai tricolpate dengan kolpus yang terhubung. Ornamen eksin menunjukkan bahwa ketiga varian tersebut memiliki ornamen psilate (halus) di sisi depan dan sisi perifer, sedangkan di sisi belakang memiliki ornamen mikroretikulat (pori-pori kecil). Ketiga varian protein polen kelapa sawit menunjukkan karakteristik yang sama. Berat molekul protein berkisar antara 10 KDa hingga 100 KDa.

BAB IX

SISTEM PENYERBUKAN PADA TANAMAN KELAPA SAWIT

1. Kastrasi pada Tanaman Kelapa Sawit

Kastrasi adalah kegiatan pembuangan bunga dan buah pasir untuk merangsang pertumbuhan vegetatif serta untuk mencegah infeksi hama dan penyakit. Kastrasi dilakukan ketika tanaman mulai berbunga untuk pertama kalinya sampai tanaman berumur 33 bulan. Kastrasi dilakukan dengan interval satu bulan sekali.

Kastrasi harus dilaksanakan jika lebih dari 50% tanaman kelapa sawit telah mengeluarkan bunga (jantan dan atau betina), jika terlambat maka ada bunga betina yang akan menjadi buah sehingga pupuk yang diberikan digunakan tanaman untuk buah, padahal buah yang dihasilkan masih belum layak dijual. Kastrasi merupakan pekerjaan penting sebelum tanaman beralih dari tanaman belum menghasilkan ke tanaman menghasilkan. Pada saat tersebut, bunga-bunga itu masih belum sempurna membentuk buah sampai tanaman berumur sekitar 23 bulan, sehingga tidak ekonomis untuk diolah. Oleh karena itu, semua bunga maupun buah yang keluar sampai dengan umur 23 bulan perlu dibuang atau dikastrasi. Adapun alat yang digunakan untuk kastrasi adalah dodos dengan lebar mata 8 cm dan arit kecil. Pelaksanaan kastrasi terakhir dilakukan 6 (enam) bulan sebelum tanaman memasuki masa panen. Ada beberapa tujuan kastrasi dilakukan di perkebunan kelapa sawit, yaitu:

- 1) Mengalihkan nutrisi untuk produksi buah yang tidak ekonomis ke pertumbuhan vegetatif, sehingga pada saat tanaman sudah menghasilkan, fisik tanaman sudah kokoh dan kuat;
- 2) Memperkuat pokok sawit, karena pokok sawit yang telah dikastrasi cenderung lebih kuat dan seragam dalam pertumbuhannya;
- 3) Mengalihkan hasil fotosintesis dari pertumbuhan generatif ke vegetatif sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif dan keseragaman tanaman;

- 4) Menjaga sanitasi tanaman, sehingga tanaman menjadi lebih bersih, dengan demikian bisa menghambat atau mengurangi kemungkinan perkembangan hama dan penyakit seperti Tirathaba, Marasmius, tikus dan sebagainya;
- 5) Menghasilkan pertumbuhan tajuk yang lebih cepat;
- 6) Mempermudah proses penyerbukan bunga, karena bagian mahkota bunga lebih bersih;
- 7) Menjaga sanitasi tanaman, sehingga tanaman menjadi lebih bersih, dengan demikian bisa menghambat atau mengurangi kemungkinan perkembangan hama dan penyakit seperti Tirathaba, Marasmius, tikus dan sebagainya;
- 8) Buah yang dihasilkan tanaman menjadi lebih besar, berbobot dan seragam beratnya;
- 9) Memaksimalkan fase vegetatif pada tanaman sehingga tanaman menjadi kokoh pada fase generatif.

Cara melaksanakan kastrasi di perkebunan kelapa sawit, yaitu:

- 1) Kastrasi dilaksanakan setiap 2 (dua) bulan sekali hingga tanaman sawit mencapai umur 23 bulan, sebab jika terlambat maka ada bunga betina yang akan menjadi buah sehingga pupuk yang diberikan akan digunakan oleh tanaman kepada buah, padahal buah yang dihasilkan masih belum produktif dan belum layak untuk dijual.
- 2) Alat yang digunakan untuk proses kastrasi adalah chisel atau Irhotools, yaitu dodos dengan lebar mata 8 cm yang di ujungnya terdapat pengait kecil. Bunga yang sudah dipotong dengan dodos ini kemudian ditarik dengan kait kecilnya.
- 3) Kastrasi dilaksanakan mulai saat tanaman berbunga (14 – 18) bulan sampai 26-30 bulan atau bila jumlah bunga hasil monitoring pada suatu blok sudah mencapai 50%.
- 4) Semua bunga jantan dan betina sampai ketinggian 30 cm di atas tanah dibuang, pelepah jangan terpotong. Bunga yang masih kecil dipatahkan dengan mata pengait, sedangkan bunga yang sudah besar dengan alat dodos. Bunga-bunga tersebut dikumpulkan ke jalan pikul dan kalau sudah kering dibakar.

- 5) Semua cabang kering dipotong mepet ke pangkal batang dengan alat dodos.
- 6) Tandan bunga yang dikastrasi tidak boleh diletakkan di piringan tetapi diserakkan di gawangan untuk menghindari kerusakan pelepah. Alat yang digunakan yaitu dodos kecil. Faktor lain penyebab tidak dilakukan kastrasi dan sanitasi yaitu keterbatasannya jumlah tenaga yang tersedia untuk melakukan kegiatan ini.
- 7) Dalam melakukan kastrasi harus dijaga agar pelepah daun jangan sampai terluka atau terpotong. Tandan bunga yang dipotong kemudian dikumpulkan ke dalam karung goni, kemudian dipendam dalam tanah.
- 8) Untuk perhitungan kebutuhan tenaga kerja, kegiatan ini menggunakan rasio 1 - 2 orang per hektar, akan tetapi rasio ini dapat berubah sesuai dengan kondisi tanaman yang ada dilahan.

2. Penyerbukan Alami (dengan bantuan angin dan serangga)

Kelapa sawit diserbuki secara silang, dimana serbuk sari yang kering sebagian besar terbawa angin setidaknya sejauh 30 m. Selain itu, bunga jantan beraroma adas manis yang dikunjungi oleh serangga, terutama lebah. Penyerbukan dengan bantuan polinator diberikan di perkebunan modern untuk meningkatkan hasil. Produksi kelapa sawit sangat dipengaruhi oleh keberhasilan penyerbukan, diperlukan bantuan polinator, yang paling efisien dan efektif adalah dengan menggunakan serangga *Elaeidobius kamerunicus*. Kumbang ini kehidupannya bergantung pada bunga jantan kelapa sawit. Pada saat *E. kamerunicus* berada di bunga jantan dan merayap pada spikelet, butiran polen yang melekat pada tubuhnya akan jatuh pada stigma disaat *E. kamerunicus* mengunjungi bunga betina untuk mengambil nektar. Adanya kumbang ini pada perkebunan sawit dapat memberikan keuntungan bagi produktivitas kelapa sawit, diantaranya: dapat meningkatkan produksi minyak dan nilai fruit set. Nilai fruit set yang baik pada kelapa sawit adalah di atas 75%. Nilai ini dapat dicapai dengan adanya populasi kumbang *E. kamerunicus* minimum sekitar 20.000 ekor per hektar.

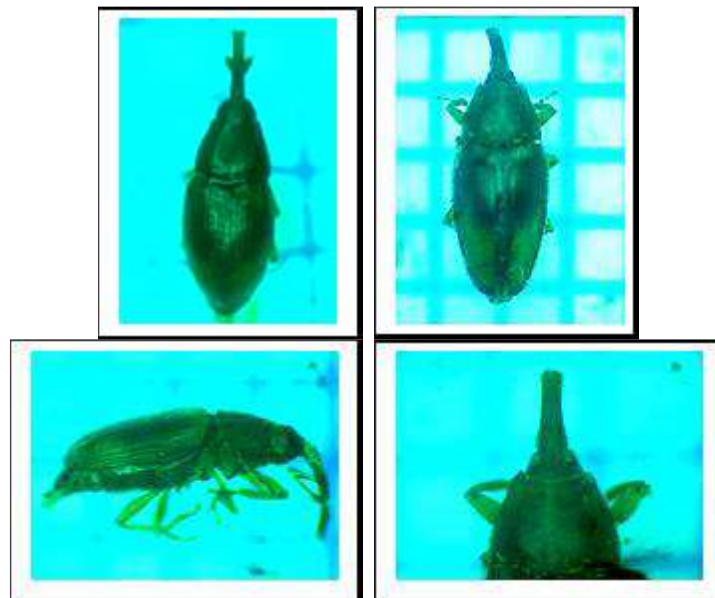
Elaeidobius kamerunicus diintroduksi dari Malaysia ke Indonesia tahun 1982. Serangga penyerbuk ini kemudian menyebar dan berperan penting dalam proses penyerbukan pada tanaman kelapa sawit di seluruh Indonesia. Sebelum kumbang ini diintroduksi, penyerbukan kelapa sawit dilakukan dengan bantuan manusia (*assisted pollination*) yang memerlukan biaya operasional tinggi; Namun setelah diintroduksi ke Indonesia *E. kamerunicus* telah menggantikan penyerbukan buatan yang dilakukan oleh manusia. Serangga pollinator ini memiliki keistimewaan:

- Dapat meningkatkan produksi sekitar 15% karena meningkatnya persentase buah jadi pada tandan sehingga berat tandan bertambah 15-20%, atau tandan buah lebih besar. Dengan makin banyaknya buah yang jadi maka persentase inti (kernel) yang dihasilkan meningkat,
- Dapat meningkatkan rendeman inti sampai 30%, dan dapat menghemat biaya terutama dalam tenaga kerja untuk penyerbukan, pada daerah kurang tenaga kerja,
- Dapat dipindahkan dari berbagai fase perkembangan hidupnya seperti telur, larva, pupa dan imago ke daerah-daerah yang masih memiliki populasi *E. kamerunicus* rendah.

Penyerbukan dengan serangga, dapat juga menjadi penyerbukan buatan: Serangga penyerbuk *Elaeidobius kamerunicus* yang tertarik pada bau bunga jantan. Serangga dilepas pada saat bunga betina sedang represif. Kelemahan dengan cara ini adalah buah sulit rontok dan tandan buah harus dibelah dua dalam pemrosesan.

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) sangat penting dalam perekonomian Amerika Tengah dan Selatan. Tanaman menderita penyakit jamur yang merusak yang dikenal sebagai "pembusukan mematikan". Negara produsen di Afrika, Asia dan Amerika tropis telah mengembangkan program pemuliaan yang mengupayakan toleransi penyakit ini dengan tanaman. Hibrida *Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera* (OxG) resisten, tetapi menunjukkan masalah fisiologis yang mempengaruhi produktivitas komersial. Penyerbukan alami pada hibrida ini rendah dan penyerbukan manual membutuhkan biaya tenaga

kerja yang tinggi. Ordo Coleoptera adalah penyerbuk alami yang paling banyak dan beragam, dan genus *Elaeidobius* memiliki efisiensi dan spesifisitas yang tinggi untuk spesies kelapa sawit (**Gambar 11**). *Elaeidobius kamerunicus*, *Elaeidobius subvittatus* dan *Mystrops costaricensis* adalah serangga yang paling sering dikaitkan dengan perbungaan kelapa sawit. Dinamika populasi serangga berubah sesuai spesies palem dan kondisi cuaca.



Gambar 11. *Morphology of pollinator beetle, E. kamerunicus* (A) Female and (B) male (Meléndez and Ponce, 2016).

Elaeidobius kamerunicus pertama kali juga diperkenalkan ke Malaysia dari Kamerun sebagai penyerbuk kelapa sawit pada tahun 1981. Sejak itu, penyerbukan kelapa sawit telah meningkat dan kebutuhan untuk penyerbukan yang dibantu telah berkurang. Perkembangan set buah dan produksi buah juga mengalami peningkatan yang signifikan, hingga dilaporkan adanya penurunan yang dimulai pada akhir 1980-an. Jumlah kumbang yang berkumpul di setiap spikelet kemudian dihitung. Rata-rata jumlah *E. kamerunicus* per hektar (ha) yang hidup di kebun sawit umur 4 dan 6 tahun berturut-turut adalah 21.086 dan 25.712. Jumlah curah hujan dan jumlah perbungaan dan spikelet jantan ditemukan berkorelasi positif dengan populasi *E. kamerunicus*. Jumlah

perbungaan jantan menunjukkan korelasi yang kuat dengan populasi *E. kamerunicus*. Begitu juga produksi kelapa sawit di Indonesia. Peran *Elaeidobius kamerunicus* di perkebunan sawit belakangan ini dipertanyakan terkait dengan penurunan produktivitas sawit. Populasi *E. kamerunicus* di wilayah perkebunan kelapa sawit PTP Nusantara VIII Cisalak Baru, Rangkasbitung-Banten, cukup banyak dan berfluktuasi. Rata-rata populasi *E. kamerunicus* di kebun sawit bulan Mei, September dan November adalah 15.168, 6.139, dan 37.575 serangga / ha di perkebunan umur 13 tahun, dan 11.205, 7.534, dan 49.209 serangga / ha di perkebunan sawit umur 5 tahun. Populasi tertinggi terjadi pada bulan November. Fluktuasi tersebut tampaknya dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti curah hujan, keberadaan tikus sebagai musuh alami, dan jumlah spikelet.

Sistem penyerbukan kelapa sawit dapat juga dipahami dari penyerbukan dua spesies kelapa sawit ini, *Elaeis guineensis* Jacquin dan *Elaeis oleifera* Corte's (Arecales: Arecaceae), bergantung pada hubungan mutualistik dengan serangga, yang menggunakan perbungaan jantan sebagai tempat perindukan, dan mengunjungi perbungaan betina yang terpikat oleh bau yang dipancarkan. Meskipun aktivitas mengunjungi perbungaan oleh serangga ini sangat penting untuk penyerbukan alami yang memadai dari tanaman inang, aktivitas mereka tidak terdokumentasi dengan baik. Aktivitas dari dua kumbang penyerbuk khusus (Coleoptera: Curculionidae) pada perbungaan dari masing-masing kelapa sawit: *Elaeidobius kamerunicus* Faust mengkhususkan diri pada *E. guineensis*, dan *Grasidius hybridus* O'Brien dan Beserra mengkhususkan diri pada *E. oleifera* di perkebunan kelapa sawit Ekuator, dekat hutan Amazon. *E. kamerunicus* dan *G. hybridus* ditemukan sebagai penyerbuk *E. guineensis* dan *E. oleifera*. Kedua spesies tersebut memiliki pola aktivitas diel yang berbeda: *E. kamerunicus* aktif pada pagi hari dan *G. hybridus* pada waktu singkat pada waktu senja. Untuk kedua spesies palem, kunjungan serangga serempak pada perbungaan jantan dan betina. Kumbang penyerbuk Afrika *Elaeidobious kamerunicus* diperkenalkan dari Afrika ke wilayah perkebunan kelapa sawit di Asia dan Pasifik pada awal 1980-an.

Penyerbukan dengan bantuan serangga ini dapat meningkatkan hasil panen secara signifikan. Oleh karena itu, pengenalan tersebut memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kelangsungan ekonomi kelapa sawit di seluruh wilayah. Namun baru-baru ini ada kekhawatiran serius yang diungkapkan tentang basis genetik sempit dari populasi kumbang penggerek, serta efek merugikan dari parasitisme kumbang oleh nematoda.

Kelimpahan populasi *E. kamerunicus* yang tercatat di Ladang Lekir di Perak, Malaysia lebih dari cukup untuk menyerbuki perbungaan betina. Populasi *E. kamerunicus* meningkat seiring bertambahnya usia pohon kelapa sawit karena lebih banyak spikelet jantan kelapa sawit yang ada di lokasi ini. Meskipun jelas bahwa musim hujan menguntungkan bagi *E. kamerunicus*, curah hujan jarang tercatat lebih dari 400 mm per tahun. Ini berarti bahwa efek negatif dari curah hujan yang tinggi terhadap populasi *E. kamerunicus* tidak dapat diamati. Lebih jauh lagi, jumlah perbungaan jantan memainkan peran utama dalam kehidupan *E. kamerunicus*, karena mereka berfungsi sebagai sumber makanan dan tempat berkembang biak. Namun, jumlah perbungaan jantan dan spikelet ditentukan oleh berbagai faktor iklim.

Serangga mengunjungi bunga tidak hanya untuk mencari nektar atau serbuk sari, tetapi juga untuk mencari inang atau mangsa, dan mencari habitat yang cocok untuk tempat berkembang biak. Pada bunga kelapa sawit, telah didokumentasikan bahwa tidak semua serangga pengunjung bunga merupakan penyerbuk, tetapi beberapa serangga dikenal sebagai predator, parasitoid, atau saprofit, yang dapat mempengaruhi kelimpahan dan persistensi kumbang penyerbuk kelapa sawit, *Elaeidobius kamerunicus*.

Penelitian ekologi dilakukan di perkebunan kelapa sawit dengan umur pohon yang berbeda di Kalimantan Tengah. Hasilnya ditemukan bahwa umur pohon dan jenis bunga kelapa sawit tidak mempengaruhi kelimpahan dan kekayaan spesies serangga pengunjung bunga, tetapi secara signifikan mempengaruhi komposisi spesiesnya. Ada hubungan positif yang signifikan antara kelimpahan *E. kamerunicus* dan lalat *Scaptodrosophila sp*, yang menunjukkan bahwa spesies ini memiliki kovariasi pada bunga kelapa sawit.

Temuan ini menunjukkan bahwa memahami kovariasi antara *E. kamerunicus* dan *Scaptodrosophila sp* dapat membantu mengembangkan strategi konservasi untuk *E. kamerunicus* untuk mendukung produksi kelapa sawit yang berkelanjutan.

A. Interaksi Infloresensi Kelapa Sawit dengan Kumbang

Terlepas dari potensinya untuk saling menguntungkan, selalu terdapat kendala dan konflik dalam interaksi antara tanaman dan penyerbuk. Interaksi tanaman dan penyerbuk menjelaskan perlunya mempelajari evolusi bagian seksual tanaman, pemuliaan dan aliran gen, kompatibilitas dan stabilitas spesies, morfologi dan fisiologi tanaman yang dapat ditinjau secara khusus di berbagai bidang. Dengan demikian, interaksi antara kelapa sawit dan kumbang sangat penting mengingat aktivitas kumbang terhadap perbungaan jantan dan betina. Interaksi antara bunga kelapa sawit dan penyerbuk diketahui sebagai faktor utama dalam menentukan efisiensi produksinya. Penting untuk mempelajari hubungan spesifik antara kunjungan kumbang dan antesis perbungaan yang memastikan proses reproduksi. Namun, aktivitas kumbang dan rasio jenis kelamin perbungaan sangat dipengaruhi oleh dua variabel lingkungan penting seperti suhu dan curah hujan yang bergantung pada pengamatan regional.

B. Biologi kelapa sawit dan morfologi perbungaannya

Elaeis guineensis adalah tanaman monoecius dari famili palmae (Arecaceae) yang menghasilkan perbungaan biseksual (jantan/betina) yang muncul secara bergantian dalam siklus waktu yang berbeda. Perbungaan terdiri dari bulir majemuk yang muncul pada pohon kelapa sawit muda berusia 27 bulan dan jenis kelaminnya dapat dikenali 14 bulan setelah inisiasi perbungaan. Viabilitas serbuk sari dan penerimaan stigma masing-masing bertahan sekitar 5–6 hari dan 3–4 hari di lapangan. Bunga jantan pada spikelet mulai berkembang di pangkalnya dan menghasilkan 20–25 g serbuk sari per perbungaan dalam 2–4 hari. Di sisi lain, perbungaan betina terdiri dari sekitar 200 spikelet yang tersusun secara spiral dengan 10–30 bunga yang bertunas pada setiap spikelet.

Bunga-bunga mekar pada waktu-waktu tertentu dalam sehari selama hampir seminggu, dan kepala putik tetap reseptif dalam 36–48 jam. Struktur perbungaan kelapa sawit terdiri dari rakis majemuk yang terdiri dari 100–300 rakila untuk perbungaan jantan dan 150 rakila untuk perbungaan betina. Perbungaan tertutup rapat dengan prophyl dan braktea tangkai bunga selama sekitar 6 minggu sebelum bunga matang. Namun, morfologi rakila pada perbungaan betina dan jantan berbeda dan mudah dibedakan.

Perkembangan reproduksi kelapa sawit sangat besar dalam strukturnya; namun, mereka dihasilkan dalam siklus berulang dengan konstruksi yang sama dan perubahan progresif dalam setiap sumbu. Rata-rata, satu pohon kelapa sawit menghasilkan 102,5 perbungaan jantan dan 72 perbungaan betina setiap tahunnya. Setiap spikelet betina menghasilkan 4–14 bunga yang tersusun secara spiral di seluruh rachis. Ada sekitar 900 bunga betina dalam satu perbungaan di mana sekitar 150–250 mengalami dehiscence setiap hari selama antesis. Perbungaan kelapa sawit dimulai dengan pemisahan braktea tangkai di bagian tengah perbungaan betina. Tahap pra-antesis terdiri dari tiga tahap perkembangan. Selama pra-antesis I, braktea mulai robek dari bagian tengah, tetapi kuncup bunga belum terlihat. Ini diikuti oleh pra-antesis II ketika braktea robek 30% panjangnya dan memperlihatkan rachila, tetapi bunga-bunga dikelilingi oleh braktea. Khususnya, pra-antesis III adalah tahap ketika prophyl hancur dan braktea robek 50% hingga 70%. Akibatnya, antesis dimulai dengan sesil lobus stigma dan tetap reseptif selama 24 jam. Menurut pemeriksaan rinci pada interaksi serbuk sari dan putik kelapa sawit, reseptivitas bunga terjadi dengan retaknya lobus stigma dan emisi sejumlah kecil eksudat. Pembukaan bunga betina terjadi pada hari ketiga antesis dan bunga jantan pada hari keempat untuk setiap perbungaan. Umumnya, bunga betina berkembang antara pukul 8:00 hingga 9:30 pagi dan bunga jantan antara pukul 9:00 hingga 10:00 pagi. Perkecambahan serbuk sari hanya terjadi setelah 2 jam dari penyerbukan. Namun, waktu dapat sedikit berubah di berbagai negara. Khususnya, lobus stigma bersifat reseptif, dan permukaan luarnya ditutupi dengan zat berlendir dan berbau, aroma seperti adas manis untuk menarik penyerbuk dan

penerimaan serbuk sari; Oleh karena itu, diperlukan pemisahan bracts tangkai dari inflorescence. Namun, bunga yang tidak dibuahi dilaporkan karena perbungaan betina yang tertutup yang menyangkal penyerbuk akses ke bunga reseptif. Hal ini sebagai salah satu faktor pembatas untuk hasil kelapa sawit dalam beberapa tahun terakhir. Penyerbukan kelapa sawit terjadi terutama dengan anthophilous (serangga atau hewan lain) di mana *Elaeidobius kamerunicus* telah diakui sebagai penyerbuk serangga yang paling efektif di perkebunan kelapa sawit. Selain itu, ada perubahan yang terjadi selama tahap antesis seperti pemanasan (termogenesis), pelepasan aroma, dan lain-lain, untuk menarik *Elaeidobius kamerunicus*. Akibatnya, antesis terjadi secara akropetal untuk perbungaan betina dan jantan. Umumnya, informasi yang terkait dengan penyerbukan kelapa sawit dan biologi pembungaan sangat terbatas untuk mengklarifikasi alasan penyerbukan dan pembentukan buah yang efisien.

C. Efisiensi penyerbukan *Elaeidobius kamerunicus*

Elaeidobius kamerunicus terutama diuntungkan oleh perbungaan jantan; namun, kumbang ini tertipu oleh aroma serupa yang dikeluarkan oleh bunga jantan dan betina, yang menyebabkan penyerbukan di mana serbuk sari secara tidak sengaja berpindah dari bunga jantan ke bunga betina. *Elaeidobius kamerunicus* menyelesaikan siklus hidupnya dalam lima tahap, yaitu fase telur (Lo), fase neonatus, larva 1 (L1), fase larva L1 2, fase larva L2 3 (L3), fase nimfa (N), dan fase nimfa-dewasa (A) secara berurutan. Rata-rata harapan hidup kumbang betina dan jantan masing-masing sekitar 31.226,47 dan 27.962,99 hari. Oleh karena itu, bagi produsen kelapa sawit industri, kumbang secara signifikan menentukan hasil minyak sawit. Dengan jumlah kumbang yang cukup, 30–60% bunga berkembang menjadi buah dan 60–70% berat tandan buah segar masing-masing. Secara relatif, daya dukung serbuk sari dan viabilitas serbuk sari *Elaeidobius kamerunicus* jantan dan betina telah diteliti di empat lokasi berbeda di stasiun penelitian MPOB di Perlis, Perak, dan dua stasiun di Pahang dengan dua jenis minyak mineral dan gambut yang berbeda,

dan hasilnya menunjukkan bahwa kumbang jantan memiliki daya dukung serbuk sari yang lebih tinggi, baik pada kondisi tanah mineral maupun gambut di Malaysia dan India. Di sana, viabilitas serbuk sari dianggap tidak signifikan pada kedua jenis kelamin dan jenis tanah.

Daya dukung serbuk sari penyerbuk alami juga menurun karena jumlah *Elaeidobius kamerunicus* yang lebih sedikit menyebabkan kegagalan penyerbukan. Meskipun setelah beberapa dekade introduksi *Elaeidobius kamerunicus* yang berhasil di perkebunan kelapa sawit, terdapat catatan penyerbukan yang buruk dari Sarawak dan Semenanjung Malaysia. Akibatnya, penyerbukan berbantuan telah dipraktikkan di beberapa wilayah lereng Andes barat Ekuador sejak 2003 dan di Semenanjung Malaysia untuk tujuan pemuliaan dan produksi benih. Hal ini dilakukan dengan memindahkan serbuk sari yang telah dikumpulkan sebelumnya dan dicampur dengan bedak ke dalam perbungaan betina yang reseptif. Dalam metode ini, kesiapan perbungaan betina untuk penyerbukan diperiksa oleh penglihatan manusia berdasarkan pengalaman mereka di perkebunan. Selain itu, transmisi serbuk sari dilakukan oleh pekerja yang akan memanjat pohon dan mengembuskan campuran serbuk sari yang merupakan tugas yang melelahkan dan memakan waktu.

Demikian pula, *Elaeidobius kamerunicus*, yang merupakan tanaman asli Afrika Barat, diperkenalkan ke Asia Tenggara selama rentang waktu 40 tahun untuk meningkatkan penyerbukan dan pembentukan buah kelapa sawit. Meskipun demikian, populasi dan aktivitas penyerbuk alami di perkebunan kelapa sawit telah berkurang yang sebagian mempengaruhi produksi. Demikian pula, penurunan hasil kelapa sawit yang disebabkan oleh penyerbukan yang tidak efisien telah dilaporkan di beberapa bagian Malaysia. Penyerbukan kelapa sawit dilakukan setelah pembukaan pertama bunga betina (biasanya bunga kelapa sawit terbuka dari bawah ke atas pada inflorescence). Faktanya, ada tiga penyerbuk alami yang diakui paling efektif untuk perkebunan kelapa sawit yaitu *Elaeidobius kamerunicus*, *Elaeidobius subvittus* dan *Mystrops costaricensis*. Selain itu, efisiensi penyerbukan *Elaeidobius kamerunicus* di perkebunan kelapa sawit di Hainan, Cina juga diteliti untuk

memeriksa aktivitas *Elaeidobius kameronicus* pada inflorescences kelapa sawit. *Elaeidobius kameronicus* tertarik oleh aroma seperti adas manis yang dikeluarkan dari perbungaan jantan dan betina yang menyebabkan *Elaeidobius kameronicus* mengonsumsi nektar dalam jumlah banyak dari kedua perbungaan dan secara bersamaan memindahkan serbuk sari. Populasi kumbang ini berkembang biak dengan cepat di dalam perbungaan jantan dan betina pada hari kedua dan ketiga antesis. Lebih lanjut, aktivitas mereka diklasifikasikan menjadi tiga mode: tidak aktif, aktivitas sedang, dan waktu puncak yang diamati masing-masing pada pukul 07.00–08.00, 11.00–12.00, dan 17.30–18.00. Akibatnya, efektivitas kumbang penyerbuk pada waktu tertentu dalam sehari sangat membantu dalam merancang metode baru penyerbukan berbantuan karena membantu mengidentifikasi waktu spesifik untuk penyerbukan berbantuan.

D. Faktor yang mempengaruhi penyerbukan kelapa sawit

Dalam industri kelapa sawit, target optimal untuk mendapatkan hasil tertinggi sangat ditentukan oleh penyerbukan yang efisien oleh serangga. Oleh karena itu, sebagian besar perkebunan kelapa sawit di seluruh dunia telah memperoleh manfaat yang sangat besar dengan introduksi *E. kameronicus*. Namun, jumlah kumbang penggerek bervariasi antar wilayah dan waktu dalam setahun berdasarkan faktor intrinsik dan ekstrinsik tertentu. Keberhasilan pembentukan buah kelapa sawit bergantung pada *E. kameronicus*. Awalnya, kumbang penggerek *E. kameronicus* mengunjungi perbungaan jantan dan, tertarik pada perbungaan betina, membawa serbuk sari ke bunga betina yang reseptif selama antesis dan kemudian terjadi pembuahan. Namun, terdapat beberapa karakteristik pada bunga, seperti warnanya (krem dan kehijauan) yang lebih menarik bagi kumbang karena indra warnanya yang buruk. Khususnya, jumlah buah yang sedikit dilaporkan pada tahun 1998 di Malaysia Timur. Rendahnya jumlah buah ini disebabkan oleh kondisi iklim yang tidak menguntungkan seperti curah hujan dengan kelembapan tinggi dan parasit seperti nematoda yang mempengaruhi kinerja kumbang dan proses

penyerbukan. Oleh karena itu, mereka mengusulkan impor spesies baru penyerbuk *E. kamerunicus* atau serangga penyerbuk efektif lainnya yang juga memerlukan investigasi awal mengenai efektivitas dan kelayakannya. Sebuah penelitian terbaru di Malaysia menyelidiki sejumlah faktor yang mempengaruhi daya tarik *E. kamerunicus* yaitu bahan tanam kelapa sawit, curah hujan, jumlah perbungaan jantan, dan jumlah spikelet. Mereka menyimpulkan bahwa jumlah perbungaan jantan dan spikelet serta klon kelapa sawit merupakan atribut utama untuk menarik jumlah *E. kamerunicus* yang lebih tinggi. Dengan demikian, jumlah spikelet per tandan meningkat pada kelapa sawit umur 6 tahun dibandingkan pada kelapa sawit umur 4 tahun. Selain itu, musim hujan dianggap memiliki efek positif pada aktivitas *E. kamerunicus* dengan curah hujan yang kurang dari 400 mm per tahun di Semenanjung Malaysia. Namun, ada parameter lain seperti kandungan estragol, pengelolaan tanah dan perkebunan yang dapat mempengaruhi kelimpahan *E. kamerunicus*. Oleh karena itu, di Malaysia, kurangnya jumlah perbungaan jantan dan kekurangan serbuk sari dilaporkan menjadi faktor pembatas penyerbukan yang penting. Hal ini mendorong perlunya mempertimbangkan keseimbangan antara perbungaan jantan dan betina untuk menciptakan kondisi yang mendukung peningkatan populasi dan aktivitas *E. kamerunicus*. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah *E. kamerunicus* berkorelasi linier dengan curah hujan dan jumlah perbungaan jantan di perkebunan kelapa sawit.

3. Penyerbukan Buatan (dengan bantuan manusia):

Bunga jantan dan betina pada tanaman kelapa sawit letaknya terpisah dan masaknya tidak bersamaan sehingga penyerbukan alami kurang intensif. Faktor lain yang menyebabkan perlunya penyerbukan buatan adalah karena jumlah bunga jantan kurang, kelembaban yang tinggi atau musim hujan yang panjang. Untuk mengoptimalkan jumlah tandan yang berbuah, dilakukan penyerbukan buatan oleh manusia atau oleh serangga. Penyerbukan buatan dilakukan setelah kegiatan kastrasi dihentikan.

Pelaksanaan penyerbukan oleh bantuan manusia adalah sebagai berikut: Dalam penyerbukan secara buatan, pohon ibu yang digunakan adalah tipe Dura atau Deli dura terpilih dan pohon bapak adalah tipe Pisifera yang terdapat di Marihat research Station. Penyerbukan buatan diawali dengan penyediaan serbuk sari: beberapa saat sebelum bunga matang, bunga jantan dari pohon bapak terpilih dibungkus dengan kantung plastik transparan. Setelah bunga jantan matang, lalu dipotong dan dibawa ke laboratorium untuk dipisahkan dari tandan, lalu diangin-anginkan. Serbuk sari ini dimasukkan ke dalam tube dengan mencampurkan 0,25 gram serbuk sari dengan 1 gram talk. Tube yang telah berisi serbuk sari dimasukkan ke dalam botol kemudian divakumkan. Sambil menunggu saat penggunaannya botol serbuk sari harus disimpan di dalam freezer. Pada pohon ibu terpilih, tandan bunga betina ditutup dengan kantung plastik transparan dan diberi label. Amati bunga sampai mencapai tingkat matang reseptif (36-48 jam). Ciri-ciri bunga betina yang telah matang adalah warna kepala putik menjadi kemerah-merahan dan telah terbuka dan berlendir. Setelah bunga betina reseptif, serbuki dengan serbuk sari yang telah disiapkan. Satu tube campuran serbuk sari (0,25 gram serbuk sari + 1 gram talk) cukup untuk menyerbuki 1 tandan bunga betina. Bunga betina yang telah diserbuki diberi label dan ditutup dengan plastik transparan. Empat hari kemudian penutup dibuka dan tandan bunga betina dibiarkan untuk pertumbuhan lebih lanjut. Setelah 6 bulan, tandan buah umumnya telah masak. Panen buah dan benih dilakukan bila pada satu tandan telah terdapat paling sedikit satu buah telah lepas dari tandannya.

BAB X

KARAKTER KUALITATIF DAN HUKUM MENDEL

1. Percobaan Mendel

A. Persiapan bahan tanaman dan persilangan

Mendel mengumpulkan berbagai genotipe kacang dan menanamnya, terutama kacang kapri (*Pisum sativum*). Biji (benihnya) mudah didapat, mudah ditanam, tanaman setahun (annual), mempunyai bunga sempurna yang bersifat menyerbuk sendiri, bunga relatif besar sehingga mudah untuk dilakukan penyerbukan silang buatan antar bunga atau tanaman yang berbeda. Tanaman ini mempunyai karakter yang mudah diamati, yaitu ciri-ciri yang dapat dibedakan dengan nyata. Karakter tersebut adalah sebagai berikut:

1. Perbedaan bentuk biji matang: bundar dan keriput.
2. Perbedaan warna albumen biji: kuning dan hijau.
3. Perbedaan warna bunga: merah dan putih.
4. Perbedaan warna polong sebelum matang: kuning dan hijau.
5. Perbedaan bentuk polong matang: licin dan keriput.
6. Perbedaan posisi bunga: aksial dan terminal
7. Perbedaan tinggi tanaman: tinggi dan pendek.

Semua karakter tersebut dapat dilihat lebih jelas perbedaan warna dan bentuknya pada **Tabel 6**.

B. Penanaman benih hasil persilangan dan pengamatan

Bahan tanaman tersebut ditanam selama 2 tahun berturut-turut. Setiap genotipe ditanam terpisah dari genotipe lain untuk mencegah terjadinya persilangan antar genotipe. Genotipe-genotipe dimurnikan dengan cara membuang tanaman atau biji yang mempunyai ciri berbeda dari tetuanya. Tahapan ini penting dilakukan untuk menghasilkan bahan tanaman yang secara genetik seragam (homozigot). Persilangan dilakukan secara manual antara kacang kapri yang mempunyai ciri berbeda. Benih hasil persilangan disimpan secara terpisah berdasarkan pasangan tetuanya.

Mendel menanam benih hasil persilangan (F1). F1 diamati ciri-ciri, dibandingkan dengan tetua-tetuanya. Antara F1 dibiarkan menyerbuk sendiri atau disilangkan, dan menghasilkan F2, F3, F4, F5,...F7. Berdasarkan karakter yang muncul pada F2, Mendel menyusun teorinya. Untuk tujuan pengujian, Mendel juga melakukan persilangan antara F1 dengan tetua (resesif) (*Test Cross*).

Tabel 6. Tujuh Karakter Kacang Kapri yang menjadi Objek Penelitian Mendel

Karakter	Dominan	Resesif
Bentuk biji matang	 bundar	 keriput
Warna albumen biji	 kuning	 hijau
Warna bunga	 merah	 putih
Warna polong sebelum matang	 hijau	 kuning
Bentuk polong matang	 licin	 keriput
Posisi bunga	 aksial	 terminal
Tinggi tanaman	 tinggi	 pendek

C. Perumusan hipotesis dengan pendekatan matematis

Keberhasilan Mendel terletak pada ketajamannya mengamati perbandingan karakter yang muncul dan menyusun suatu hubungan matematis (teori peluang & statistika), Mendel tahu pentingnya jumlah pengamatan yang besar. Banyak peneliti mencatat kejadian pada

percobaannya seperti yang dilakukan Mendel, tetapi tidak dapat jelaskan alasan munculnya kejadian tersebut. Untuk menguji apakah hukum yang dihasilkan percobaan dari tanaman kapri juga berlaku pada spesies lain? Mendel menguji pada spesies lain: *Phaseolus vulgaris*, *P. nanus*, *P. multiflorus*. Pada percobaan buncis, untuk karakter panjang batang, warna polong, bentuk polong, Mendel memperoleh data yang menunjang teorinya. Pada percobaan *P. nanus* dan *P. multiflorus* terdapat data-data yang tidak menunjang hipotesis tersebut, tetapi Mendel tetap pada teorinya. Sekarang diketahui bahwa karakter yang tidak sesuai dengan teori Mendel mungkin karena interaksi antar gen atau interaksi genetik dengan lingkungan. Mendel selain membahas data untuk setiap karakter, juga menyusun hipotesis berdasarkan data yang merupakan kombinasi dari 2 karakter dan 3 karakter. Pengamatan monohibrid disebut Hukum I, dan pengamatan dihibrid disebut Hukum II.

2. Percobaan Monohibrid

Untuk ke7 karakter yang diamati, pada semua tanaman F1 hanya karakter dari salah satu tetuanya yang muncul, sedangkan dari tetua lainnya sama sekali tidak muncul. Contoh, polong berwarna hijau dikawinkan dengan polong berwarna kuning maka semua F1 memiliki polong berwarna hijau (**Tabel 7**).

Tabel 7. Data Persilangan dan hasil F1 Percobaan Mendel pada Kacang Kapri

Karakter	Persilangan	Tanaman F1
Bentuk biji	Bundar x Keriput	100% Bundar
Warna albumen	Kuning x Hijau	100% Kuning
Warna bunga	Merah x Putih	100% Merah
Bentuk polong	Gembung x Berkerut	100% Gembung
Warna polong	Hijau x Kuning	100% Hijau
Kedudukan bunga	Aksial x Terminal	100% Aksial
Tinggi tanaman	Tinggi x Pendek	100% Tinggi

Pada generasi F2 semua karakter yang dimiliki oleh kedua tetua awal muncul kembali, yaitu baik tanaman yang mempunyai warna polong hijau maupun warna polong kuning; memiliki bentuk biji bundar maupun keriput.

Jadi ciri yang tidak tampak pada generasi F1 muncul kembali pada generasi F2, ciri tersebut tertutupi (resesif) oleh ciri dari tetua lain (dominan). Dari percobaan Mendel untuk seluruh karakter yang diamati pada F2 terdapat perbandingan yang mendekati 3:1 antara jumlah individu tanaman dengan ciri dominan dengan resesif (**Tabel 8**).

Tabel 8. Data F2 Hasil Persilangan Monohibrid Mendel pada Kacang Kapri

Karakter perbandingan	Penyebaran Karakter		Perbandingan
	(1)	(2)	
Bentuk biji	5.474 Bundar	1.850 Keriput	2,99 : 1
Warna albumin	6.022 Kuning	2.001 Hijau	3,01 : 1
Warna bunga	705 Merah	224 Putih	3,15 : 1
Bentuk polong	882 Gembung	299 Berkerut	2,95 : 1
Warna polong	428 Hijau	152 Kuning	2,85 : 1
Kedudukan bunga	451 Aksial	207 Terminal	3,14 : 1
Tinggi tanaman	787 Tinggi	277 Pendek	2,84 : 1

Hubungan antara ciri-ciri pada suatu karakter tidak selalu dominan resesif. Terdapat kasus bahwa ciri yang muncul pada tanaman F1 ternyata bukan merupakan ciri dari salah satu tetuanya, melainkan campuran dari kedua tetuanya. Kasus seperti ini disebut hubungan **kodominan**. Pada kasus ini tidak terdapat alel dominan dan resesif, kedua alel berinteraksi dan akan bereksresi menghasilkan fenotipe baru yang berbeda dari kedua tetuanya. Perbandingan fenotipe F2 sama dengan perbandingan genotipenya yaitu 1:2:1. contohnya bunga *Snapdragon*. Dalam keadaan homozigot, terdapat dua warna, yaitu merah tua (RR) dan putih (rr). Pada F1, kedua alel R dan r berinteraksi menghasilkan warna bunga merah muda. Pada F2, ratio fenotipe merah tua (RR) : merah muda (Rr) : putih (rr) = 1 : 2 : 1.

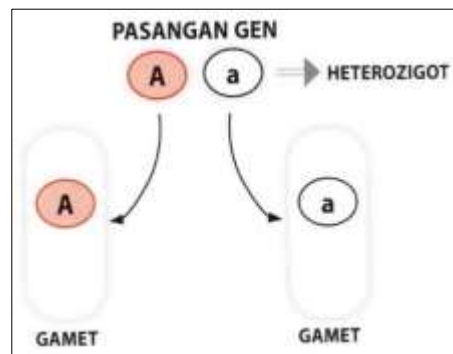
3. Hukum Mendel I

Munculnya kembali semua karakter pada F2, yang pada generasi F1 menghilang, persoalan yang tidak dapat dijelaskan oleh pendapat yang berlaku pada waktu itu, yaitu teori pewarisan pencampuran (*blending inheritance*). Mendel mengemukakan bahwa pada setiap tanaman terdapat dua faktor untuk

masing-masing karakter yang dibawanya, 1 faktor berasal dari tetua jantan dan faktor lainnya dari tetua betina. Kedua faktor tersebut dapat bergabung 1 dengan yang lain melalui proses perkawinan. Dalam penggabungan tersebut setiap faktor tetap utuh mempertahankan identitasnya sehingga kedua-duanya dapat berpisah kembali secara utuh, pada saat pembentukan gamet. Mendel melambangkan faktor-faktor tersebut dengan 1 huruf, A adalah faktor dominan, a adalah faktor resesif. Dalam bagan persilangan, AA adalah tetua dominan, aa adalah tetua resesif. Kedua faktor yang terdapat dalam 1 individu akan berpisah dalam proses pembentukan gamet dan bersatu kembali melalui perkawinan membentuk 1 zigot. Keragaman dalam galur murni disebabkan oleh keragaman lingkungan. Penjelasan Mendel, contoh klasik model atau hipotesis yang dibuat berdasarkan observasi yang kemudian sesuai dengan hasil pengujian pada percobaan-percobaan lebih lanjut. Kesimpulan Mendel:

4. Terdapat penentu pewarisan yang kodratnya terpisah atau pertikulat (sekarang, penentu pewarisan adalah gen).
5. Setiap tanaman kacang kapri dewasa mempunyai sepasang alel dalam setiap selnya untuk setiap karakter yang diamati.
6. Pada waktu pembentukan gamet, setiap alel dari sepasang alel-alel akan berpisah (bersegregasi) sama rata ke dalam sel-sel gamet.
7. Akibat dari kejadian tersebut, setiap gamet membawa hanya 1 anggota dari setiap pasang alel.
8. Penggabungan gamet-gamet dari tiap tetua untuk membentuk zigot terjadi secara acak, tanpa ditentukan oleh alel yang dibawanya.

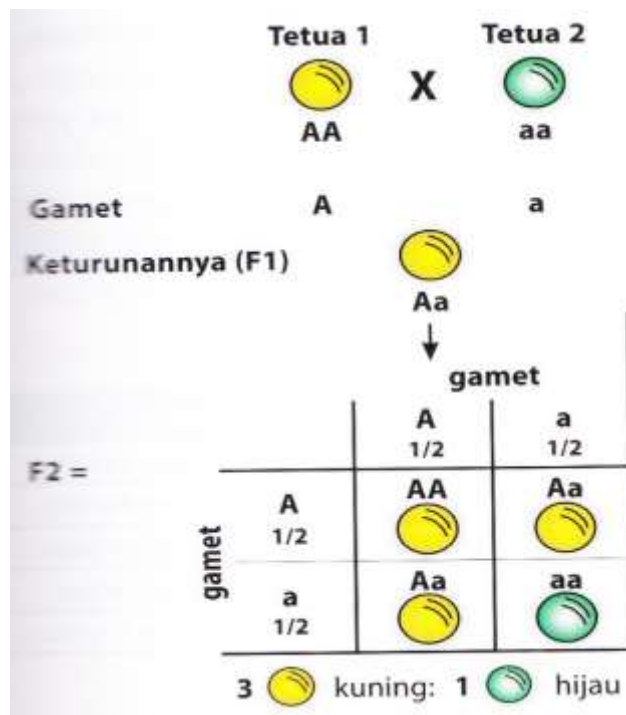
Hukum Mendel I: "Pada waktu pembentukan gamet, alel-alel dari pasangan alel berpisah atau bersegregasi 1 terhadap lainnya ke dalam gamet-gamet sehingga $\frac{1}{2}$ gamet membawa salah 1 alel dan $\frac{1}{2}$ gamet lainnya membawa 1 alel lainnya" (**Gambar 12**).



Gambar 12. Pembentukan gamet

4. Penggabungan Gamet Secara Acak

Perbandingan 3 : 1 untuk tanaman dominan dengan tanaman resesif pada populasi F2 merupakan hasil proses penggabungan gamet secara acak. Artinya adalah bahwa setiap gamet jantan yang dihasilkan oleh F1 akan mempunyai kesempatan yang sama dalam mengawini gamet-gamet betina dari individu-individu dari F1. Misalnya, melalui proses segregasi kedua faktor dari 1 individu akan berpisah terbawa ke dalam gamet. Untuk individu yang kombinasi faktornya Aa akan dihasilkan gamet A dan gamet a. Hal ini akan berlangsung baik pada gamet jantan dan betina. Dengan demikian, akan diperoleh gamet berfaktor A dan gamet berfaktor a dengan jumlah yang sama, baik pada gamet jantan maupun gamet betina. Melalui proses penggabungan gamet secara acak akan diperoleh kombinasi faktor AA, Aa, aa dalam perbandingan yang sama.



Gambar 13. Hasil percobaan monohibrid generasi F1 memunculkan karakter dominan, dan F2 memunculkan karakter dominan dan resesif dgn ratio 3:1

Perbandingan yang sama diperoleh karena berdasarkan kaidah peluang dalam proses penggabungan secara acak maka frekuensi gabungan akan sama dengan hasil penggandaan frekuensi faktor yang digabungkan. Oleh karena setiap gamet mempunyai frekuensi yang sama, $\frac{1}{2}A : \frac{1}{2}a$, maka faktor gabungan AA, Aa, dan aa masing-masing akan mempunyai frekuensi $\frac{1}{4}$. Karena A dominan terhadap a maka pada F2 antara dominan (AA, Aa) dengan resesif (aa) akan diperoleh perbandingan $\frac{3}{4} : \frac{1}{4}$. Bila penggabungan tidak terjadi secara acak tidak akan diperoleh perbandingan 3 : 1 (**Gambar 13**).

5. Percobaan Hibrid

Tanaman biji bundar, warna kuning (dominan) dikawinkan dengan tanaman biji keriput, warna hijau (resesif). Benih F1 ditanam, hasil F1 semua fenotipe biji bundar, warna kuning. Tanaman F1 selfing, diperoleh benih F2, lalu ditanam, menghasilkan tanaman F2 sebanyak 556, yang dapat dikelompokkan

berdasarkan fenotipe, yaitu bundar kuning: keriput kuning : bundar hijau : keriput hijau. Dengan ratio: 9:3:3:1 (**Tabel 9, Gambar 14**).

Tabel 9. Jumlah Tanaman F2 (hasil Persilangan Dihibrid) Percobaan Mendel yang terbagi 4 Kelompok Fenotipe.

Kelompok	Banyaknya	Fenotipe
I	315	Bundar dan Kuning
II	101	Keriput dan Kuning
III	108	Bundar dan Hijau
IV	32	Keriput dan Hijau
Jumlah	556	

Dari data tersebut dapat dibuat pengelompokan lain berdasarkan bentuk biji atau warna saja sehingga diperoleh hasil pada **Tabel 10**. Atas dasar perbandingan, percobaan dihibrid bisa diuraikan menjadi dua percobaan monohibrid karena masing-masing karakter terdapat perbandingan 3:1 untuk ciri dominan berbanding ciri resesif. Kedua karakter yang diamati bersegregasi dengan bebas, yang ditunjukkan oleh perbandingan fenotipe yang sama, yaitu 3:1 pada setiap kasus. Genotipe tanaman F2 ditetapkan dengan memperhatikan proses segregasi untuk setiap karakter. Misalnya biji bundar kuning (dominan) akan mempunyai 4 kemungkinan genotipe, yaitu AABB, AABb, AaBa, aaBb. Demikian juga dengan fenotipe-fenotipe lainnya. Kelompok fenotipe dan frekuensinya serta kelompok genotipe dan frekuensinya disajikan pada **Tabel 11 dan Gambar 15**.

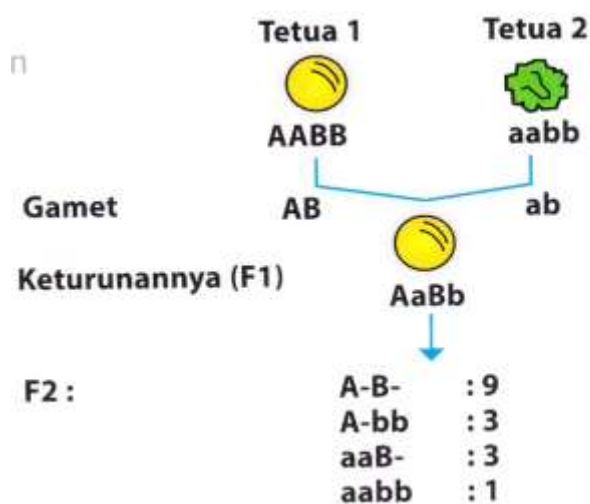
Tabel 10. Jumlah Tanaman F2 (hasil Persilangan Dihibrid) Percobaan Mendel yang dikelompokkan berdasarkan bentuk biji atau warna

Berdasarkan Bentuk	Berdasarkan Warna
Bundar 423 (3/4)	Kuning 416 (3/4)
Keriput 133 (1/4)	Hijau 140 (1/4)
556	556

Tabel 11. Frekuensi Fenotipe & Genotipe Tanaman kacang Kapri Hasil Persilangan Dihibrid Mendel.

Kelompok Fenotipe	Frekuensi Fenotipe	Genotipe	Banyaknya	Frekuensi Genotipe
-------------------	--------------------	----------	-----------	--------------------

I. (A-B-) Bundar Kuning	9/16	AABB	38	1/16
		AaBB	60	2/16
		AABb	65	2/16
		AaBb	138	4/16
II. (aaB-) Ketiput Kuning	3/16	aaBB	28	1/16
		aaBb	68	2/16
III. (A-bb) Bundar Hijau	3/16	Aabb	35	1/16
		Aabb	67	2/16
IV. (aabb) Keriput Hijau	1/16	Aabb	30	1/16



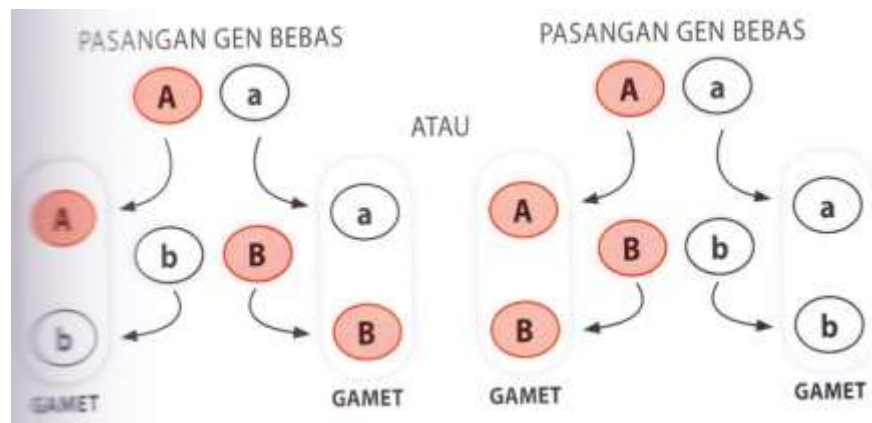
Gambar 14. Ilustrasi Percobaan Dhibrid



Gambar 15. Bujur sangkar Punnet untuk Menjelaskan Perbandingan Genotipe F2

6. Hukum Mendel II

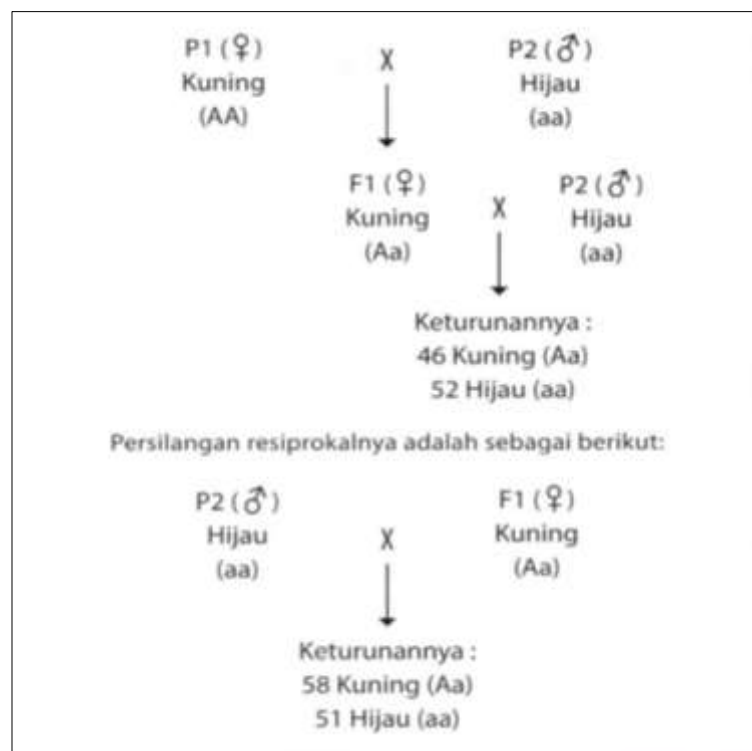
“Pada waktu pembentukan gamet setiap pasang alel dalam satu lokus bersegregasi bebas dari pasangan alel lokus lainnya, dan akan berpasangan secara bebas dengan alel-alel dari lokus lainnya”. Proses perpaduan bebas dari alel-alel dalam pembentukan gamet akan diperoleh gamet-gamet, dengan perbandingan yang sama ini melalui proses penggabungan gamet secara acak dalam perkawinan, akan diperoleh perbandingan fenotipe F2 seperti yang diperoleh Mendel: 9/16:3/16:3/16:1/16 (**Gambar 16**).



Gambar 16. Ilustrasi Hukum Mendel II

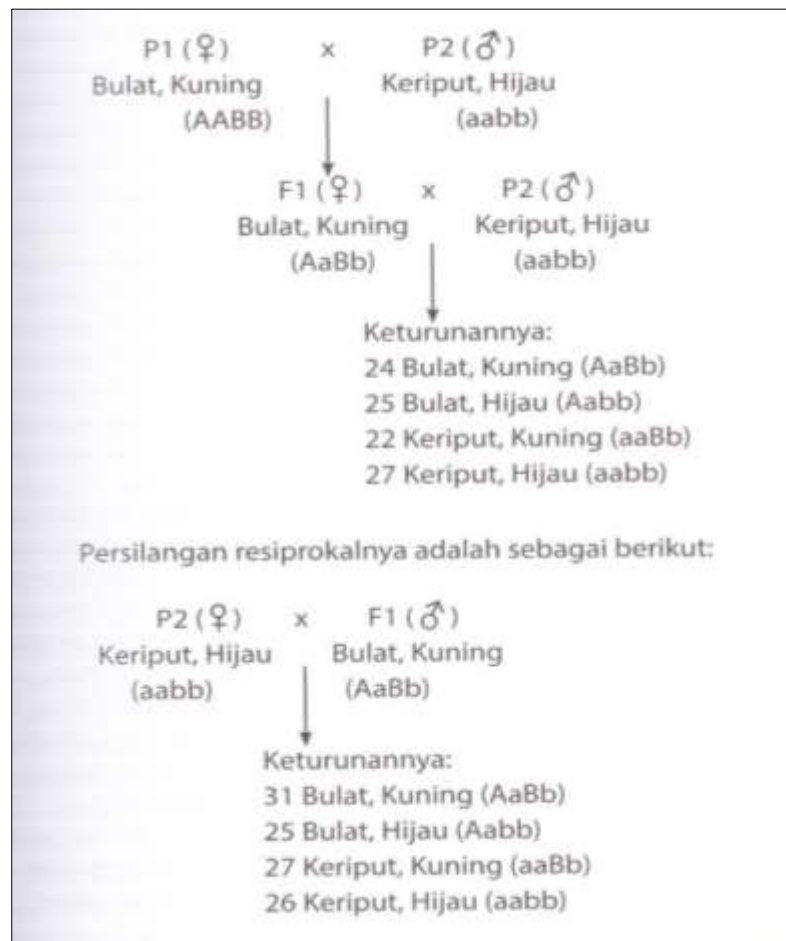
7. Uji Silang (*Test Cross*)

Apabila teori bebas itu benar maka gamet-gamet yang dihasilkan oleh individu F1 harus mempunyai frekuensi yang sama. Tanaman F1 dengan genotipe Aa akan mempunyai gamet A dan a dengan perbandingan 1:1. Tanaman F1 dengan genotipe AaBb akan mempunyai gamet AB, Ab, aB, ab dengan perbandingan 1:1:1:1.



Gambar 17. Persilangan F1 monohibrid dengan tetua resesif (test cross)

Untuk menguji kebenaran teori, F1 disilangkan dengan tanaman homozigot resesif untuk karakter-karakter tersebut (*Test Cross*), maka frekuensi fenotipe dari turunannya akan menggambarkan frekuensi gamet F1. Ini terjadi karena homozigot resesif hanya menghasilkan 1 jenis gamet dengan alel-alel resesif. Mendel melakukan persilangan tanaman F1 (hasil persilangan antara tetua polong kuning dengan tetua polong hijau) dengan tetua resesif (polong hijau) sebagai berikut: F1 sebagai tetua betina, dan F1 sebagai tetua jantan. Dari kedua jenis persilangan ini, diperoleh turunan yang berbagi ke dalam 2 jenis fenotipe, dengan perbandingan yang hampir sama, yaitu 1:1 (**bagan Gambar 17**). Mendel juga melakukan persilangan tanaman F1 dihibrid (hasil persilangan antara tetua biji bulat kuning dengan tetua biji keriput hijau) dengan tetua resesif sebagai berikut: F1 sebagai tetua betina dan F1 sebagai tetua jantan. Dari kedua jenis persilangan ini, diperoleh turunan yang terbagi ke dalam 4 jenis fenotipe, dengan ratio yang hampir sama, yaitu 1:1:1:1 (**bagan Gambar 18**).



Gambar 18. Persilangan F1 dihibrid dengan tetua resesif

Kedua percobaan di atas menunjukkan bahwa jenis genotipe yang dihasilkan tidak dipengaruhi oleh jenis seks apakah karakter-karakter tersebut dibawa melalui ovule (♀) atau melalui polen (♂). Empat jenis fenotipe yang terdapat pada F2, muncul dengan perbandingan 1:1:1:1. Hasil *test cross* menunjukkan kebenaran hipotesis Mendel mengenai perpaduan bebas alel-alel dari berbagai lokus dalam pembentukan gamet.

BAB XI

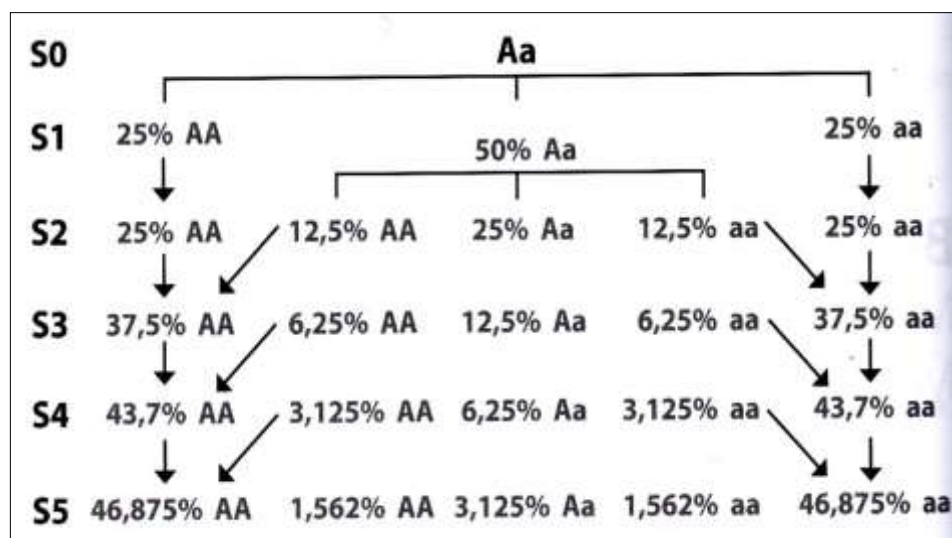
METODE PEMULIAAN TANAMAN MENYERBUK SENDIRI

1. Konsep Metode Menyerbuk Sendiri

Tanaman menyerbuk sendiri banyak diusahakan petani untuk meningkatkan produksi dan mutunya secara terus-menerus dilakukan melalui seleksi (pemuliaan) dan cara bercocok tanam. Melalui kegiatan pemuliaan tanaman, sasaran yang hendak dicapai adalah sifat unggul dan populasi homozigot. Dengan demikian varietas yang dibentuk adalah varietas galur murni. Ciri khusus varietas tanaman menyerbuk sendiri yang dikembangkan melalui benih (biji) adalah susunan genetiknya homozigot, kecuali varietas hibrida. Untuk memperoleh tanaman homozigot dari populasi bersegregasi, hasil persilangan buatan, peranan seleksi sangat penting. Seleksi perlu metode tertentu agar perbaikan sifat yang diinginkan dapat efektif.

2. Dasar Genetik Tanaman Menyerbuk Sendiri

Bentuk populasi tanaman menyerbuk sendiri adalah homogen homozigot untuk galur murni, dan heterogen homozigot untuk landrace atau varietas multilini. Kedua bentuk populasi ini dalam keadaan homozigot.



Gambar 19. Sebaran homozigot dan heterozigot bila satu tanaman yang heterozigot pada satu lokus (Aa) diserbuki sendiri sampai 5 generasi.

Asumsi ini dibuat karena:

- pasangan gen-gen homozigot akan senantiasa homozigot bila diserbuk sendiri.
- pasangan gen-gen heterozigot akan bersegregasi menghasilkan genotipe homozigot dan heterozigot dgn perbandingan yang sama bila diserbuk sendiri (**Gambar 19**).

Penyerbukan sendiri, yang menyebabkan terjadinya tangkar dalam mengakibatkan peningkatan homozigositas dari generasi ke generasi. Penyerbuk sendiri pada tanaman menyerbuk sendiri tidak menyebabkan tekanan tangkar dalam (*inbreeding depression*). Genotipe yang heterozigot akan berkurang separuhnya tiap generasi atau setelah beberapa generasi penyerbukan sendiri persentase lokus heterozigot akan semakin kecil. Persentase homozigot dapat diduga dengan menggunakan rumus:

$$Z = [(2^n - 1)/2^n]^m \times 100\%.$$

Keterangan:

Z = persentase homozigot

n = jumlah generasi segregasi (generasi F2 adalah generasi segregasi pertama atau n = 1)

m = jumlah pasangan gen heterozigot.

Contoh 1:

Pada tanaman X dengan 1 pasang gen heterozigot pada F1, berapa persentase homozigot pada F7? Penyelesaian: $Z = [(2^6 - 1)/2^6]^1 \times 100\% = 98,44\%$ (catt: generasi F7 adalah generasi segregasi ke-6. Jadi pada F7 kasus di atas, persentase homozigotnya = 98,44% (homozigot dominan + homozigot resesif). Apabila diuraikan untuk semua kemungkinan genotipe maka akan mengikuti rumus binomial: $(a+b)^m$, dimana a = 1 dan b = $(2^n - 1)$; n = jumlah generasi segregasi, m = jumlah pasang gen heterozigot. Misalnya ada 3 pasang gen yang berbeda lokus,

P1 : AABBCC X P2: aabbcc,
F1 : AaBbCc

Hasil penyerbukan sendiri dari F1 akan menghasilkan genotipe-genotipe dengan kemungkinan:

1. Semua lokus homozigot: AABBCC dan aabbcc.
2. Dua lokus homozigot dan satu lokus heterozigot: AaBBCC, AABbCC, AABBCc, Aabbcc, aaBbcc, aabbCc, AaBBcc, AABbcc, dst.
3. Satu lokus homozigot dan dua lokus heterozigot: AABbCc, AaBBCC, AaBbCC, aaBbCc, AabbCc, AaBbcc, dst.
4. Semua lokus heterozigot: AaBbCc.

Persentase individu dalam populasi dengan genotipe sesuai dengan kemungkinan di atas dapat dihitung dengan rumus binomial:

$$(a + b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$$

Dimana a^3 adalah jumlah individu heterozigot pada ketiga lokus, $3a^2b$ adalah jumlah individu heterozigot pada dua lokus dan homozigot pada satu lokus, $3ab^2$ adalah jumlah individu heterozigot pada satu lokus dan homozigot pada dua lokus, dan b^3 adalah jumlah individu homozigot pada ketiga lokus.

Contoh 2:

Pada tanaman X dengan 3 pasang gen heterozigot pada F1. Berapa persentase individu dengan genotipe: semua lokus heterozigot, satu lokus homozigot dan dua lokus heterozigot, dua lokus homozigot dan satu lokus heterozigot, semua lokus homozigot pada F7?

Penyelesaian: jumlah generasi segregasi pada F7 adalah 6 sehingga: $b = 2^n - 1 = 2^6 - 1 = 63$; dan $a = 1$, maka jumlah individu $= (a + b)^m = (1 + 63)^3 = 26.2144$.

3. Jenis Seleksi dalam Metode Menyerbuk Sendiri

A. Seleksi Massa

Seleksi massa merupakan metode yang dapat memperbaiki sifat dari populasi yang diseleksi dengan tetap mempertahankan ciri populasi. Karakter yang menjadi target seleksi merupakan karakter kualitatif atau mempunyai heritabilitas tinggi (warna, ketahanan terhadap hama dan penyakit). Seleksi massa dilakukan pada populasi homozigot heterogen,

berupa *landrace* atau varietas yang tercampur. Jika seleksi dilakukan langsung terhadap karakter yang diinginkan, maka disebut seleksi massa langsung. Jika seleksi dilakukan terhadap karakter yang berhubungan dengan secara genetik dengan karakter yang diinginkan (biasanya karakter produksi) disebut seleksi massa tidak langsung.

a. Kegunaan seleksi massa

Seleksi massa bertujuan mengurangi keragaman genetik dari suatu populasi dan meningkatkan frekuensi gen yang diinginkan. Kegunaannya adalah dapat memperbaiki populasi *landrace*, memurnikan varietas galur murni untuk mempertahankan identitas varietas, dan mendapatkan varietas yang memiliki ketahanan horizontal dan adaptasi luas pada lingkungan baru.

b. Kelemahan seleksi massa

- Seleksi berdasarkan fenotipe sehingga keberhasilannya sangat tergantung dari nilai heritabilitas.
- Untuk seleksi massa tidak langsung, korelasi antara karakter seleksi dengan karakter tujuan harus tinggi.
- Seleksi massa hanya efektif untuk sifat-sifat yang dikendalikan oleh gen-gen aditif.
- Tanaman homozigot dominan dan heterozigot mempunyai fenotipe yang sama, sehingga sulit dibedakan. Jadi, seleksi harus dilanjutkan pada generasi berikutnya.

c. Prosedur seleksi massa

Saat musim tanam pertama, tanaman ditanam pada jarak tanam renggang sehingga memudahkan seleksi. Tanaman dipilih berdasarkan penampilan tiap individu. Saat musim tanam kedua, benih-benih yang berasal dari satu tanaman ditanam pada baris yang sama untuk memastikan tidak ada segregasi sehingga diperoleh sejumlah baris. Benih yang dipanen dari beberapa baris mempunyai karakter yang sama dan sesuai keinginan, kemudian dicampur. Saat musim tanam ke3-6, dilakukan pengujian-

pengujian, terbatas atau multilokasi, untuk mempelajari daya hasil dan daya adaptasi. Kontrol digunakan varietas lokal, asal, atau keduanya.

B. Seleksi Galur Murni

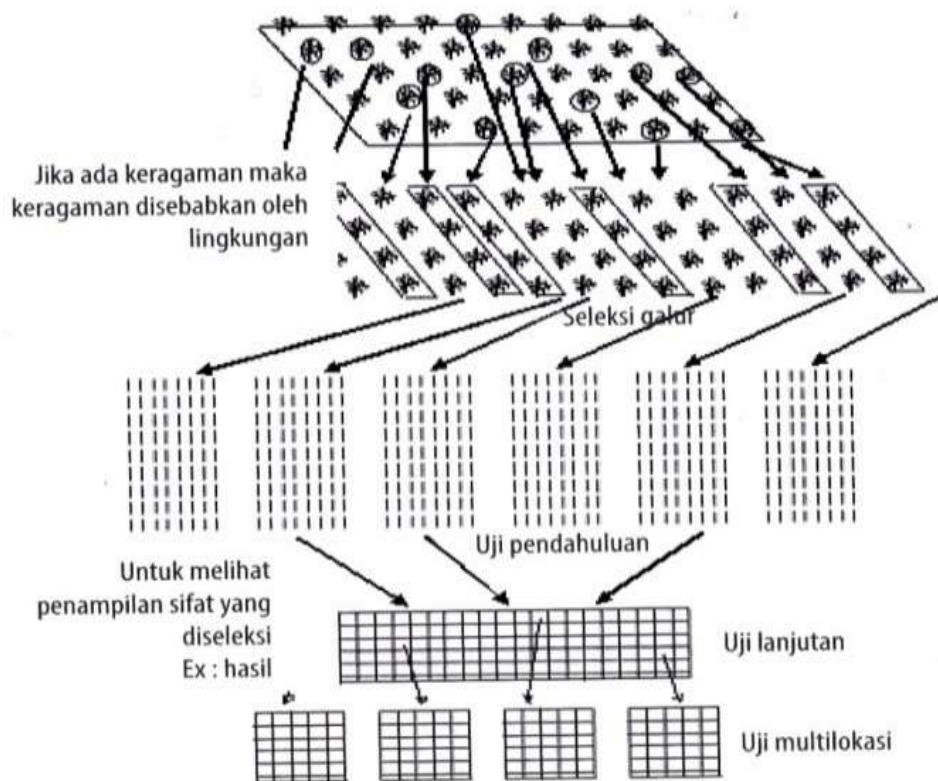
Seleksi galur murni adalah seleksi tanaman tunggal dari populasi homozigot heterogen. Genotipe baru tidak akan tercipta dengan menyeleksi populasi homozigot homogen. berdasarkan paada teori: bahwa keragaman dalam suatu populasi heterozigot disebabkan oleh keragaman genetik dan lingkungan. Sedangkan keragaman dalam galur murni disebabkan oleh keragaman lingkungan. seleksi ini ditujukan pada populasi sebelum hibridisasi, tetapi dapat juga untuk populasi bersegregasi (seleksi pedigree). Seleksi galur murni memberi kesempatan bagi famili/galur (barisan) untuk memperlihatkan struktur tertentu, apakah sudah homozigot atau masih heterozigot.

a. Prosedur seleksi galur murni

Saat musim tanam pertama, ditanam populasi campuran dalam plot atau barisan dengan jarak tanam renggang. Populasi campuran dapat berupa: populasi introduksi, landrace, atau keturunan tanaman bersegregasi (persilangan *top-cross* atau *multi-cross*). Masing-masing individu diamati karakter-karakter yang menonjol. Individu-individu yang punya karakter baik dan berbeda dari yang lain, dipisahkan. Jumlah individu yang terseleksi antara 200-1000. Masing-masing individu dipanen benihnya dan tetap terpisah (tidak digabung).

Saat musim tanam kedua, benih yang berasal dari satu individu ditanam pada barisan atau petak kecil. Barisan tanaman superior dan seragam dipanen untuk diteruskan pada musim berikutnya. Barisan yang tidak sesuai dengan kriteria seleksi tidak diteruskan. Benih dari masing-masing individu dalam barisan digabung. Saat musim tanam ke-3, benih yang berasal dari satu barisan ditanam pada petak yang lebih besar. Jika memungkinkan ditanam dengan menggunakan ulangan. Dapat juga ditanam sebagai pengujian daya hasil pendahuluan

apabila persediaan benih mencukupi, dengan menyertakan varietas pembandingan. Saat musim tanam 4-7, dilakukan uji daya hasil lanjutan dan uji multilokasi. Prosedur seleksi galur murni seperti **Gambar 20**.



Gambar 20. Prosedur seleksi galur murni untuk tanaman

C. Seleksi Silsilah (*Pedigree*)

Seleksi silsilah adalah salah satu seleksi pada populasi bersegregasi. Tujuan metode seleksi silsilah adalah untuk mendapatkan varietas baru dengan mengkombinasikan gen-gen yang diinginkan yang ditemukan pada dua genotipe atau lebih. Kelebihan seleksi ini adalah:

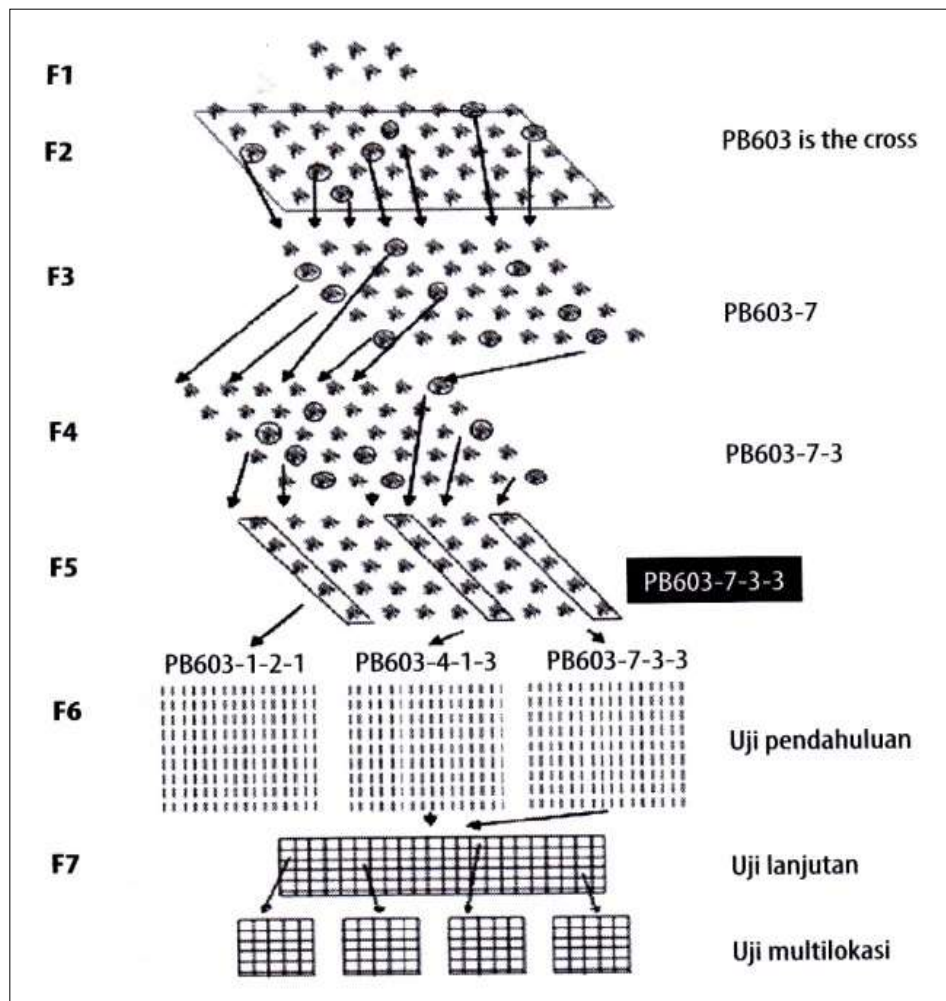
- 1) Hanya keturunan dari tanaman unggul yang dilanjutkan pada generasi berikutnya. Ada pemusatan gen-gen pada galur-galur unggul.
- 2) Tanaman tidak terlalu banyak karena tiap generasi dilakukan seleksi sehingga memudahkan melakukan seleksi.

- 3) Menghemat lahan karena jumlah tanaman tiap generasi semakin sedikit.
- 4) Silsilah dari galur dapat diketahui.

Kekurangan seleksi ini: bahwa tiap generasi persilangan harus dilakukan pencatatan mengenai karakter morfologi tanaman, ketahanan terhadap hama penyakit, umur berbunga, dan umur panen. Jadi metode ini memerlukan banyak catatan dan pekerjaan. Kemudian kemungkinan ada genotipe baik yang terbuang pada saat masih bersegregasi akibat seleksi.

Tahapan Seleksi Pedigree:

Seluruh benih yang berasal dari individu F₂ (tanaman F₃) ditanam dalam baris. Pada generasi F₃ dapat diketahui terjadinya segregasi apabila tanaman F₂ yang dipilih ternyata heterozigot. Untuk dapat mengetahui adanya segregasi diperlukan cukup tanaman agar terlihat keragamannya, ditanam lebih dari 30 tanaman tiap baris.



Gambar 21. Prosedur seleksi pedigree untuk tanaman menyerbuk sendiri

Tanaman yang dipilih adalah tanaman terbaik pada barisan yang tanamannya lebih seragam. Jumlah tanaman yang dipilih sebaiknya tidak lebih banyak daripada jumlah famili (keturunan dari satu tanaman). Faktor yang dapat mempengaruhi efektivitas seleksi individu pada generasi F2 dan F3: Jarak tanam, lingkungan mikro, dan interaksi genotipe dengan musim. Prosedur seleksi Pedigree dapat dilihat pada **Gambar 21**.

D. Seleksi Bulk

Metode bulk merupakan metode untuk membentuk dr populasi bersegregasi via *selfing* selama bbp generasi tanpa seleksi. Metode ini

memerlukan lebih sedikit pekerjaan dibandingkan dengan metode pedigree.

Prinsip metode bulk adalah:

- 1) Metode seleksi paling sederhana setelah seleksi massa.
- 2) Tidak dilakukan seleksi pada generasi awal.
- 3) Pada generasi awal tanaman ditanam rapat dan dipanen secara gabungan.
- 4) Memanfaatkan tekanan seleksi alam pada generasi awal.
- 5) Seleksi baru dilakukan setelah tercapai tingkat homozigositas tinggi (F5 atau F6).
- 6) Sesuai untuk karakter dengan heritabilitas rendah hingga sedang.

Kelebihan metode seleksi bulk:

- 1) Relatif murah dan sederhana untuk memelihara populasi bersegregasi.
- 2) Generasi F1 sampai F4 pekerjaan tidak terlalu berat karena pada generasi tersebut tidak dilakukan seleksi.
- 3) Ekonomis untuk tanaman berumur pendek dan dapat ditanam pada jarak tanam sempit, sehingga mengurangi luas lahan percobaan.
- 4) Tanaman yang baik tidak terbuang karena tidak dilakukan seleksi pada generasi awal.
- 5) Beberapa generasi dapat dilakukan pada tahun yang sama.
- 6) Seleksi alam pada generasi awal dapat meningkatkan frekuensi gen-gen baik

Kelemahan metode seleksi bulk:

- 1) Silsilah galur tidak tercatat sejak awal.
- 2) Seleksi alam pada generasi awal dapat menghilangkan genotipe-genotipe baik.
- 3) Tanaman pada satu generasi belum tentu terwakili pada generasi selanjutnya.
- 4) Jumlah tanaman pada generasi lanjut sangat banyak sehingga menyulitkan dalam seleksi dan memerlukan lahan sangat luas.

Tahap seleksi bulk:

- 1) Melakukan persilangan antara dua tetua galur murni (homozigot).

- 2) Seluruh benih yang dihasilkan dari F1 ditanam sebagai F2 dengan jarak tanam yang rapat.
- 3) Tanaman F2 dipanen, benihnya dicampur (bulk) untuk dilanjutkan pada generasi F3. Hal yang sama dilakukan sampai F5, dengan tujuan memperoleh proporsi homozigot cukup besar.
- 4) Generasi F5 ditanam dengan jarak tanam lebar. Pada generasi ini dimulai seleksi secara individual. Genotipe tanaman sudah lebih homozigot. Individu tanaman terseleksi ditanam dalam baris. Generasi F6 dilakukan seleksi famili (baris) terbaik.
- 5) Pada generasi F7, benih yang berasal dari satu barisan ditanam pada petak yang lebih besar dengan jarak tanam rapat, jika memungkinkan dengan ulangan-ulangan. Dapat juga ditanam sebagai pengujian daya hasil pendahuluan apabila persediaan benih mencukupi dengan menyertakan varietas pembandingan.
- 6) Pada generasi F8 dilakukan uji daya hasil dengan menyertakan varietas pembandingan.
- 7) Pada generasi F9 dilakukan uji multilokasi.
- 8) Pelepasan varietas dan perbanyak benih untuk disebar.

BAB XII

METODE PEMULIAAN TANAMAN MENYERBUK SILANG

Prosedur pemuliaan tanaman menyerbuk silang umumnya bertujuan untuk memperoleh populasi yang terdiri dari tanaman heterozigot. Varietas yang dibentuk pada tanaman menyerbuk silang secara umum adalah varietas hibrida dan bersari bebas.

1. Dasar Genetik Menyerbuk Silang

Oleh karena mudah melakukan penyerbukan silang, maka dalam satu varietas terdiri dari tanaman heterozigot dan masing-masing tanaman dapat tidak sama genotipenya (heterogen), kecuali varietas hibrida. Namun secara fenotipe nampaknya sama, sehingga populasi itu memperlihatkan ciri varietas tertentu. Keragaman genetik dapat dipertahankan dari generasi ke generasi karena adanya kawin acak sehingga baik frekuensi gen maupun genotipe dapat tetap sama pada generasi turunannya. Menurut hukum Hardy-Weinberg : "frekuensi gen dan genotipe akan konstan dari generasi ke generasi pada suatu populasi kawin acak apabila tidak terjadi seleksi, mutasi, dan migrasi.

Program pemuliaan pada tanaman menyerbuk silang adalah sebagai upaya seleksi terhadap populasi dengan tujuan untuk menciptakan populasi dengan frekuensi gen yang baru dan unik. Program ini sangat tergantung dari populasi asal (harus memiliki keragaman dan gen yang diinginkan) dan metode seleksi. Seleksi diarahkan untuk memperbesar gen yang diinginkan.

2. Pembentukan Populasi Dasar

Langkah awal program pemuliaan tanaman menyerbuk silang adalah tersedianya populasi dasar (genotipe lokal atau dibentuk oleh pemulia). Populasi dasar yang sudah ada perlu diperbaiki oleh pemulia melalui sistem persilangan tertentu agar menjadi lebih efektif. Tujuan pembentukan populasi ini adalah untuk meningkatkan keragaman karakter yang mempunyai arti ekonomi dan mempertahankan keseragaman karakter lain. Pembentukan populasi dasar tergantung pada macam tanaman dan metode seleksi yang

digunakan. Setelah melakukan persilangan, hanya dibutuhkan satu generasi kawin acak untuk kombinasi-kombinasi baru. Peningkatan keragaman genetik pada populasi dasar ditentukan oleh genotipe penyusun, karakter perkawinan setiap individu anggota populasi dasar. Lima sistem persilangan yang dikenal pada tanaman menyerbuk silang:

- 1) Kawin acak (*random mating*): dapat mempengaruhi frekuensi gen, keragaman populasi, dan korelasi genetik antar kerabat dekat. Kecil pengaruhnya terhadap homozigositas tanaman.
- 2) Kawin antar tanaman yang secara genetik sejenis (*genetic assortative mating*): *inbreeding*, akan meningkatkan peluang diturunkannya gamet sama dari kedua tetuanya, cenderung menurunkan persentase heterozigositas dalam populasi. Sistem ini cocok untuk menghasilkan galur homozigotik.
- 3) Kawin antar tanaman yang secara fenotipe sejenis (*Phenotypic assortative mating*). Apabila tidak ada peristiwa dominan maka perkawinan hanya terjadi pada tipe ekstrim. Misalnya AA x AA dan aa x aa. Sistem ini cocok untuk mengembangkan tipe ekstrim.
4. Kawin antar tanaman yang secara genetik tidak sejenis (*genetic disassortative mating*). *Outbreeding* atau antar spesies, tujuannya meningkatkan keragaman genetik kaitannya dengan sumber bahan pemuliaan, dan untuk memperoleh populasi dengan stabilitas maksimum.
5. Kawin antar tanaman yang secara fenotipe tidak sejenis (*phenotypic dissassortative mating*). bertujuan menghilangkan atau mengurangi kelemahan tanaman atau populasi bahan seleksi. Dengan memilih tetua yang fenotipenya berbeda, dimungkinkan untuk mengatasi kelemahan salah satu tetua. Cenderung untuk mempertahankan heterozigositas dalam populasi, tetapi mengurangi keragaman populasi apabila nilai tipe ekstrim mendekati rata-rata populasi. Sistem ini cenderung mengurangi korelasi genetik antar kerabat.

3. Jenis Seleksi dalam Metode Tanaman Menyerbuk Silang

Seleksi mempunyai tujuan: pemilihan genotipe untuk dijadikan tetua pada pembentukan populasi dasar dan pemilihan individu tanaman atau galur untuk peningkatan karakter populasi atau penciptaan varietas baru. Meskipun intensitas seleksi dapat meningkatkan kemajuan, tetapi pada tingkat terlalu tinggi dapat menghasilkan tanaman-tanaman mempunyai kesamaan genotipe sehingga meningkatkan jumlah gen homozigot pada keturunannya, sehingga dapat menyebabkan tekanan tangkar dalam.

Seleksi pada dasarnya merupakan penerapan teori genetika kuantitatif dan genetika populasi terhadap peramalan dan penampilan perilaku populasi. Seleksi dapat berlangsung: secara alami atau secara buatan: seleksi stabilitas, seleksi pemecahan dan seleksi terarah. Seleksi stabilitas ditujukan untuk memantapkan populasi keturunan untuk karakter yang diinginkan. Seleksi pemecahan bertujuan untuk memilih tipe ekstrim yang dikehendaki. Seleksi terarah lebih banyak digunakan terutama untuk memperoleh tanaman dengan karakter tertentu. Terdapat beberapa prosedur seleksi terarah dalam usaha peningkatan tanaman penyerbuk silang. Perbedaan ini terletak pada 4 hal berikut:

- 1) Dasar seleksi pada populasi asal. Seleksi dapat berdasarkan atas fenotipe individu tanaman atau perbedaan genotipe melalui uji keturunan.
- 2) Pengendalian persilangan pada generasi awal. Dapat dibedakan atas diketahui atau tidak diketahui tetuanya.
- 3) Tipe aksi gen (gene action). Seleksi dapat ditekankan untuk daya gabung umum, daya gabung khusus, atau kedua-duanya.
- 4) Tipe varietas yang akan diciptakan dari hasil seleksi. Apabila dilakukan seleksi galur maka sasarannya terutama untuk menciptakan varietas hibrida atau varietas sintetis.

A. Seleksi Massa

Seleksi tetap didasarkan pada individu tanaman dan penilaian dilakukan berdasarkan fenotipe. Sebagai bahan seleksi adalah populasi

kawin acak yang tidak memperhatikan asal gamet jantan. Kelebihan seleksi ini adalah mudah dilaksanakan, murah, dapat dilakukan pada populasi besar, dan dapat menekan terjadinya tangkar dalam. Kelemahannya adalah memerlukan tempat penanaman yang terpisah dari populasi lain, dan kemajuan seleksinya termasuk rendah. Dengan seleksi massa diharapkan diperoleh populasi keturunan dengan frekuensi gen yang dikehendaki lebih besar. Oleh karena itu, efisiensi seleksi tergantung dari kecermatan menilai fenotipe agar mencerminkan nilai genotipe. Penilaian akan lebih mudah dilakukan, bila yang dituju adalah karakter kualitatif karena penampakan fenotipe juga merupakan nilai genotipe. Dengan demikian, seleksi massa efektif untuk tujuan peningkatan karakter kualitatif, seperti warna buah, tinggi tanaman, ukuran tandan, letak tandan, kemasakan dan kandungan minyak, serta protein. Sebaliknya menjadi kurang efektif untuk karakter kuantitatif yang dikendalikan dengan banyak gen. Seleksi massa cocok untuk karakter dengan heritabilitas rendah. Untuk meningkatkan efisiensi seleksi massa, misalnya untuk produksi tanaman jagung, teknik yang dapat digunakan :

- a. Seleksi hanya pada karakter penting.
- b. Petak seleksi dibatasi $1/6 - 1/2$ ha dan pemeliharaan seseragam mungkin.
- c. Petak seleksi dibagi menjadi sub plot yang hanya berisi ± 4 baris dan masing-masing baris hanya 10 tanaman: seleksi sebesar 10% sehingga tiap sub plot dipilih 4 tanaman terbaik. Pembagian petak untuk memperkecil keragaman lingkungan mikro pada produksi individu tanaman sehingga meningkatkan heritabilitas.

B. Seleksi Tongkol ke Baris (*ear to row selection*)

Metode ini dikenal sebagai seleksi saudara tiri (*half sibs*) karena tanaman yang diseleksi hanya diketahui induk betinanya. Seleksi ini merupakan modifikasi seleksi massa, dengan tujuan untuk meningkatkan efektivitasnya. Pada metode seleksi ini penilaian dilakukan pada

penampakan keturunan. Metode ini efektif untuk karakter yang heritabilitasnya tinggi. Seleksi ini bisa dimodifikasi dengan penekanan pada penggunaan ulangan (penanaman di beberapa lokasi dalam 1 tahun) dan uji keturunan, untuk meningkatkan kecermatan seleksi. Seleksi tongkol ke baris yang dimodifikasi dapat meningkatkan respons seleksi dibandingkan dengan seleksi massa.

Prosedur *ear to row selection* :

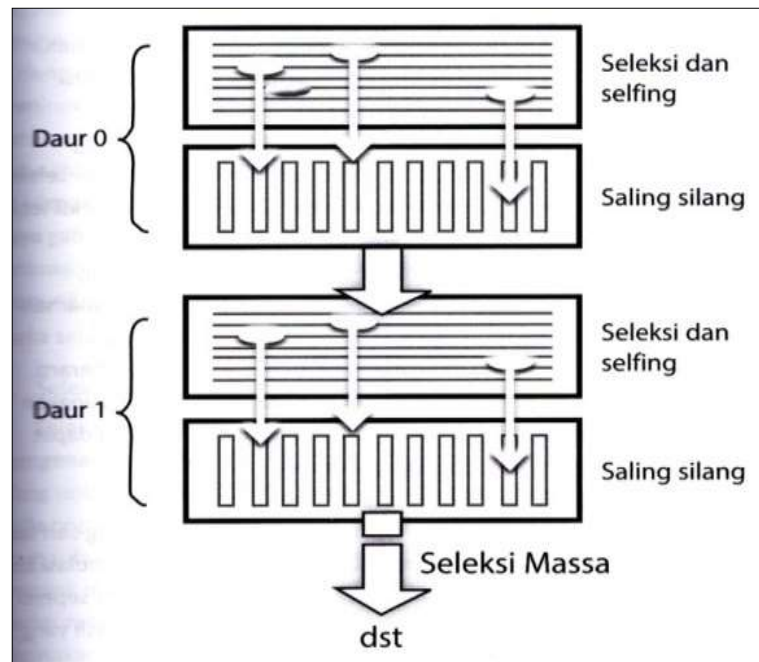
- a. Pada generasi asal yang beragam diseleksi secara individual berdasarkan fenotipe. Biji dipisahkan, dipilih sampai 200 tanaman.
- b. Sebagian biji dari masing-masing tanaman terseleksi ditanam dalam 1 baris, misalnya dengan panjang 5 m. Jumlah barisan = tanaman terseleksi. Petak percobaan harus terpisah dari tanaman lain yang sejenis.
- c. Pengamatan dilakukan pada individu tanaman dan barisan. Seleksi didasarkan tanaman terbaik dari barisan terbaik.
- d. Sisa biji (pada poin b) dari tanaman yang menghasilkan barisan terbaik, dapat ditanam pada tahun ke-2 dan seleksi dilakukan terhadap tanaman terbaik.

C. Seleksi Daur Ulang (*recurrent selection*)

a. Seleksi daur ulang fenotipe

Seleksi didasarkan pada fenotipe individu, tidak menggunakan uji keturunan. Pada setiap daur seleksi bertujuan untuk mengidentifikasi tanaman superior secara individu dan agar terjadi kawin acak antara tanaman terseleksi. Biji dari tanaman terseleksi dengan proporsi dan daya hidup sama, digunakan untuk membentuk populasi baru. Perlu diketahui tetua jantan dan betinanya karena seleksi dilakukan untuk gamet jantan dan betina. Metode ini bermanfaat untuk karakter dengan heritabilitas tinggi, seperti kadar minyak dan protein. Masing-masing tanaman terseleksi dilakukan kawin sendiri. Tanaman terseleksi ditanam dalam baris, kemudian dilakukan saling-silang (*intercross*).

Kedua tahap ini membentuk satu siklus. Keturunan dari siklus pertama dilakukan seleksi dan kawin sendiri kembali. Dengan adanya proses kawin acak ini, program seleksi daur ulang dapat digunakan sebagai sumber galur untuk menciptakan varietas hibrida atau varietas bersari bebas. Seleksi daur ulang dapat dilihat pada **Gambar 22.** di bawah ini.



Gambar 22. Skema seleksi daur ulang

b. Seleksi Daur Ulang untuk Daya Gabung Umum (DGU)

Seleksi ini bertujuan untuk menilai DGU tanaman yang dipilih dari populasi dasar. Penilaian ini diarahkan pada potensi genotipe tanaman terpilih, bukan fenotipenya. Dengan demikian, diharapkan dapat meningkatkan program seleksi untuk karakter heritabilitasnya rendah. Adanya uji keturunan, pekerjaan seleksi lebih rumit, membutuhkan fasilitas, dan waktu lebih banyak.

Daur pertama dimulai dengan:

- 1) penyeleksian pada populasi dasar,
- 2) tanaman terseleksi dilakukan kawin sendiri (So). Keturunan dari kawin sendiri ini (S1).

- 3) galur S1 disilangkan dengan tanaman penguji (tester), (galur S1 sebagai tanaman betina). Keturunan dari persilangan ini digunakan untuk mengevaluasi daya gabung masing-masing galur S1 dan akan dapat diketahui galur-galur yang dianggap superior.
- 4) Sisa biji galur-galur S1 yang dinilai superior dipergunakan untuk membentuk populasi kawin acak dan dijauhkan dari sumber tepung sari lain. Dapat dilakukan silang diallel antar galur-galur S1. Populasi ini sebagai bahan seleksi untuk daur berikutnya, yang prosesnya sama dengan diatas.
- 5) dapat dilaksanakan beberapa daur sehingga hasil yang dicapai mendekati atau sesuai dengan harapan pemulia.
- 6) dapat diarahkan untuk menciptakan varietas sintetis bagi tanaman menyerbuk silang atau sebagai perbaikan populasi yang akan dijadikan bahan pemuliaan untuk penciptaan varietas hibrida.

Sebagai populasi *tester* adalah populasi heterozigot dan heterogen sbt:

- 1) Varietas bersari bebas yang tidak ada hubungannya dengan tanaman yang diuji: pengujian silang puncak (*top cross*).
- 2) Varietas bersari bebas asal galur S1.
- 3) Populasi tanaman dengan produksi rendah dan dipilih dari varietas bersari bebas asal galur S1.
- 4) Keturunan dari suatu silang ganda.

c. Seleksi daur ulang untuk daya gabung khusus (DGK)

Prosedur seleksinya sama dengan DGU. Perbedaannya terletak pada testernya, yang pada DGK menggunakan galur murni atau keturunan persilangan 2 galur murni. Ciri program ini adalah terjadinya peningkatan produksi tanaman keturunan dari populasi dengan penguji. Ini adalah hasil evaluasi DGK atau untuk memperoleh suatu populasi yang lebih baik sebagai bahan seleksi galur-galur murni dengan DGK yang tinggi. Diharapkan lebih efektif dibandingkan seleksi daur ulang DGU.

d. Seleksi Daur Ulang untuk Resiprok

Seleksi ini berdasarkan uji keturunan untuk mengevaluasi galur mengenai kemampuan DGU dan DGK. Seleksi daur ulang untuk DGU memanfaatkan adanya ragam adatif pada populasi. Seleksi daur ulang untuk DGK memanfaatkan ragam dominan. Seleksi daur ulang resiprok menyeleksi sekaligus untuk DGU dan DGK. Metode ini sering digunakan pada tanaman kelapa sawit. Kelapa sawit Tenera merupakan persilangan antara Dura dengan Psifera. Seleksi dilakukan pada populasi Dura dan Psifera sekaligus. Program seleksi daur ulang resiprok menggunakan 2 populasi heterogen dan heterozigot, yang masing-masing digunakan baik sebagai populasi bahan seleksi maupun penguji. Misalnya digunakan populasi A dan B. Apabila populasi A dijadikan bahan seleksi, maka populasi B sebagai penguji. Sebaliknya bila B sebagai bahan seleksi, maka A sebagai penguji. Proses seleksi ini untuk kedua populasi ini berjalan bersamaan.

Ciri program ini adalah pada mulanya kedua populasi penguji bertindak untuk uji keturunan bagi DGU. Namun, setelah seleksi berlangsung, terjadi pergeseran secara bertingkat bahwa kedua populasi tersebut diperuntukkan menguji kombinasi gen dalam arti DGKnya. Sasaran akhir adalah persilangan dua populasi untuk memperoleh penampilan hibrida secara maksimal.

BAB XIII

PEMBUATAN BENIH DAN PENGEMBANGAN

HIBRIDA KELAPA SAWIT

1. Proses Pembuatan Benih Kelapa Sawit

Pembuatan benih kelapa sawit bertujuan agar pohon kelapa sawit tumbuh baik dan panen memuaskan. Beberapa langkah dalam proses pembuatan benih kelapa sawit:

- a. Bunga betina dari pohon induk dura deli dibersihkan dan disemprot dengan insektisida, kemudian dibungkus dengan kantong khusus yang tahan air, kemudian di ikat pada bagian pangkal. Bertujuan agar serangga penyerbuk tidak dapat masuk kedalam sehingga buah yang dihasilkan nanti adalah murni hasil persilangan.
- b. Bunga jantan pada tanaman induk pisifera dibungkus dengan kantong khusus, setelah mekar, dipotong untuk diambil serbuk sarinya. Serbuk sari tersebut kemudian di simpan. Jika ingin digunakan maka diuji di laboratorium untuk mengetes apakah masih hidup.
- c. Bunga betina yang sudah mekar, diserbuki dengan alat khusus yang biasa digunakan dalam proses penyerbukan.
- d. Buah hasil persilangan yang dihasilkan, diolah untuk proses pengecambahan. Buah dikupas untuk memperoleh benih yang terlepas dari sabutnya. Pengupasan buah kelapa sawit dapat menggunakan mesin pengupas.
- e. Benih direndam dalam ember berisi air bersih selama $\pm$ 1 minggu, setiap hari air harus diganti dengan air yang baru.
- f. Setelah benih direndam, benih diangkat dan dikering anginkan di tempat teduh selama 24 jam dengan menghamparkannya setebal satu lapis biji. Kadar air dalam biji harus diusahakan tetap 17%,
- g. Kemudian benih disimpan di dalam kantong plastik berukuran panjang 65 cm yang dapat memuat 500 - 700 benih. Kantong plastik ditutup rapat-rapat dengan melipat ujungnya dan merekatnya. Simpan kantong-kantong

plastik tsb dalam peti berukuran 30 cm x 20 cm x 10 cm, kemudian letakkan dalam ruang pengecambahan yang suhu 39 °C.

- h. Benih diperiksa 3 hari sekali (2x / minggu) dengan membuka kantong plastiknya dan semprot dengan air dengan menggunakan hand mist sprayer agar kelembaban sesuai dengan yang diperlukan yaitu 21- 22% untuk benih Dura dan 28-30% untuk Tenera. Contoh benih dapat diambil untuk diperiksa kelembabannya. Bila telah ada benih yang berkecambah, segera semai pada persemaian perkecambahan.
- i. Setelah melewati masa 80 hari, keluarkan kantong dari peti di ruang pengecambahan dan letakkan di tempat yang dingin. Kandungan air harus diusahakan tetap seperti semula. Dalam beberapa hari benih akan mengeluarkan tunas kecambah. Selama 15-20 hari kemudian sebagian besar benih telah berkecambah dan siap dipindahkan ke persemaian perkecambahan (*pre-nursery or nursery*). Benih yang tidak berkecambah dalam waktu tsb sebaiknya tidak digunakan untuk bibit.

2. Cara lain membuat benih kelapa sawit

- a. Untuk memilih kecambah sawit:

Kalau jenis tenera: pilih yang berbiji kecil dan tempurung tipis, tetapi kalau jenis dura: pilih yang berbiji besar dan tempurung tebal. Pilih mata tunas putih bersih, tidak cacat dan panjang akar 2 cm, bentuk biji lonjong seperti buah melinjo. Tempurung berwarna hitam pekat, bersih dari sabut dan jamur. Mata tunas hanya satu setiap biji. Bentuk tunas bagus, tidak bengkok. Tunas dan akar masih segar, tudung akar masih utuh.

- b. Untuk memilih bibit kecil (*baby*).

Pilih bentuk tajuk bagus, bongkot (bagian batang paling bawah) besar, gemuk pendek, jangan pilih yang tinggi langsing. Daun dan batang hijau segar, usia 3 bulan minimal sudah memiliki 4 pelepah daun yang terbuka. Jangan pilih yang pelepah daunnya menutup atau tidak membuka. Akar kokoh, tidak goyah, daun tidak cacat karena penyakit layu atau karena dimakan ulat.

- c. Untuk memilih bibit besar siap tanam.

Bibit sawit umumnya ditanam ketika sudah berumur 1 tahun, terhitung sejak mulai dipindahkan ke polibag besar dari usia *baby* (3 bulan). Namun bila akan ditanam di lahan yang basah atau banyak hama tikus, maka biasanya yang ditanam adalah yang berumur 2 tahun. Bibit umur 2 tahun terlebih dahulu dipotong semua pelepah daun hingga tinggal setengah. Ciri bibit besar yang bagus sama dengan ciri bibit *baby*, ada sulur pada ujung pelepah daun yang bagian atas. Jangan pilih bibit besar yang tumbuh besar jauh melebihi kawan-kawannya, karena biasanya bibit itu adalah jantan. Kalau pun mau di tanam untuk membantu penyerbukan nantinya, tanamlah 1 pohon untuk setiap 51 pohon. Biasanya, bibit besar yang ditempatkan dibagian pinggiran pembibitan, akan tumbuh tidak setinggi kawannya yang lebih ke tengah.

- d. Bila pucuk kelapa sawit terserang penggerek hama, semprot saja dengan air garam. Jangan biarkan lama-lama, karena pertumbuhan pucuk tanaman bisa sangat terganggu.
- e. Untuk menormalkan sawit jagur/buah jarum.

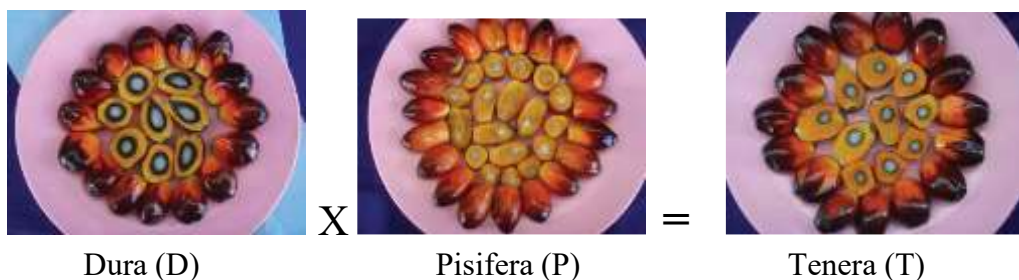
Pohon sawit yang hanya berbuah kecil dan didominasi duri saja, jangan ditebang atau diganti baru, karena dapat dinormalkan dengan cara: memanen buahnya dan potong pelepah sesuai jadwal kawannya yang berbuah normal. Setiap panen, kumpulkan sampah atau daun sawit yang kering disekeliling pangkal batangnya, lalu dibakar. Ukur besar tumpukan sampah hingga tidak menyebabkan kematian karena api terlalu besar. Usahakan agar daun terbawah sampai layu sedikit. Lakukan setiap panen, sampai buah jadi normal. Biasanya $\pm$ 6 bulan - setahun. Cara ini umum dilakukan para petani sawit rakyat di Sumut, dan tingkat keberhasilannya biasanya di atas 90%.

3. Pengembangan Hibrida Kelapa Sawit

A. Pemanfaatan Karakteristik Kelapa Sawit untuk Benih Unggul

Penampakan unggul tanaman sawit di lapang sangat bergantung pada seleksi bibit yang bagus dan normal di pembibitan. Bibit yang bagus,

sehat dan normal akan sangat bergantung pada benih unggul yang berbentuk kecambah. Kecambah yang digunakan sebagai bahan bibit selain harus baik, sehat dan normal juga harus legitim artinya ada kejelasan tentang induk yang digunakan sebagai tetua. Induk yang jelas artinya induk yang digunakan sebagai bahan persilangan mempunyai identitas, asal, dan *family lineage* (garis keturunan) yang terdokumentasi serta terekam dengan baik. Sehingga persilangan antara induk dura (D) sebagai tetua betina dan pisifera (P) sebagai tetua jantan menghasilkan hibrida tenera (D x P) yang legitim. Pada persilangan yang legitim ini (**Gambar 23**) terlihat bahwa induk dura yang mempunyai buah dengan cangkang tebal dan induk pisifera yang mempunyai buah dengan cangkang sangat tipis jika dilakukan persilangan akan dihasilkan hibrida tenera (D x P) yang mempunyai mesocarp tebal dengan cangkang yang relatif tipis. Tanaman dura yang digunakan sebagai induk betina mempunyai ciri pada buah seperti mesocarp tanpa serat dan mengandung minyak (O/B) yaitu rasio antara minyak dan tandan buah sekitar 12-18%. Buah sawit dura menempel di spekilet yang mengerombol di tandan dengan jumlah rata-rata per tandan antara 200-3000 buah bergantung pada umur tanaman, kondisi tanaman, dan varietas. Pada saat panen awal yaitu tanaman berumur sekitar 4-5 tahun setelah tanam, jumlah buah per tandan sekitar 200-300 buah. Sekitar 3-4 tahun setelah panen atau saat tanaman berumur 7-9 tahun setelah tanam maka jumlah buah per tandan meningkat menjadi 400-1000 buah. Pengamatan di lapang menunjukkan bahwa ukuran buah bervariasi, yaitu berbobot sekitar 3-30 g per buah serta 2-5 cm berdasarkan diameter buah.



Gambar 23. Persilangan antara dura (D) sebagai induk betina dengan pisifera (P) sebagai induk jantan menghasilkan projeni tenera atau dikenal dengan hibrida (DxP)

Tanaman kelapa sawit dikenal dengan tanaman berumah dua yang berarti bahwa dalam satu tanaman yang sama terdapat bunga betina dan bunga jantan. Baik tanaman dura maupun pisifera mempunyai bunga betina dan bunga jantan dalam setiap satu tanaman. Namun perlu diketahui bahwa bunga betina (tandan buah) tanaman pisifera biasanya atau sering kali bersifat steril sehingga sering terjadi aborsi (keguguran) pada buah tandan. Sebaliknya, pada tanaman dura bunga betina secara umum bersifat fertil. Oleh karena itu, buah dengan bantuan cangkang sering menjadi penanda atau *marker* apakah dura, tenera atau pisifera. Buah juga dipakai sebagai indikator sifat partenokarpi, yaitu perkembangan buah tetapi tidak ditemukan kernel atau inti.

Penanaman sawit tipe pisifera di lapang bertujuan untuk digunakan sebagai induk jantan nantinya yang dipanen adalah bunga jantan sebagai sumber tepung sari (*pollen*). Jika pada kondisi fertil, putik pada bunga betina dari tanaman pisifera ini mengalami peleburan dengan sel sperma tepung sari sehingga menghasilkan buah yang mengandung banyak serat dengan kandungan minyak sedikit dan kernel bercangkang sangat tipis atau hampir tidak terlihat. Untuk meyakinkan bahwa tanaman sawit tsb adalah pisifera maka dilakukan uji potong buah melintang sehingga terlihat apakah bercangkang tipis dan atau mempunyai kernel yang sangat kecil. Warna kulit buah pada dura dan pisifera bervariasi terutama saat masak, yaitu orange, merah muda-tua, ungu kehitaman. Buah pisifera dari jenis Nigeria biasanya ada dua macam yaitu saat muda berwarna hijau lalu saat matang akan berubah menjadi orange atau jingga yang disebut buah viresen. Satu lagi buah Nigeria yang saat muda berwarna hitam lalu menjelang panen berwarna hitam kemerahan yang disebut buah nigresen. Warna buah yang

berasal dari jenis Ghana, Ekona, dan Yangambi cenderung hitam, merah muda-tua, atau ungu kehitaman.

Beberapa karakter tanaman sawit pisifera unggul untuk dijadikan sebagai induk adalah:

- a) tanaman sehat tidak ada gejala serangan penyakit maupun defisiensi unsur hara,
- b) tidak ada gejala spot kuning akibat genetik,
- c) banyak menghasilkan tandan buah atau jarang mengeluarkan bunga jantan, dan
- d) pertambahan tinggi batang lambat atau tanaman pendek. Ada beberapa cara untuk merangsang tanaman sawit pisifera menghasilkan bunga jantan, yaitu (a) perebahan pelepah mulai dari pelepah bawah hingga pelepah ke sembilan (**Gambar 24**), (b) pemotongan pelepah hingga menyerupai bentuk berlian atau *diamond* (**Gambar 25**), (c) penyemprotan dengan ethrel atau paclobutrazol, dan (d) penanaman di area yang beriklim kering atau curah hujan rendah. Teknik penciptaan cekaman lingkungan atau *stress* pada tanaman sawit pisifera akan merangsang munculnya bunga jantan saat 1-2 tahun setelah perlakuan.



Gambar 24. Induksi bunga jantan (♂) pisifera secara perebahan pelepah

Perlakuan perebahan pelepah dari bawah hingga pelepah ke 9 untuk menciptakan cekaman pada tanaman bisa dilanjutkan jika sudah 1 tahun setelah perlakuan belum muncul bunga jantan. Hal ini juga berlaku untuk pemangkasan pelepah seperti bentuk “*Diamond*”. Jadi jika dalam 1 tahun setelah perlakuan masih belum muncul bunga jantan maka pemangkasan pelepah dilanjutkan hingga tanaman pisifera menghasilkan bunga jantan. Selanjutnya, penyemprotan pelepah dengan ethrel pada konsentrasi 1% dan 1,5% mampu menginisiasi bunga jantan tanaman pisifera saat 1-2 tahun setelah perlakuan. Kebutuhan volume larutan ethrel yang diperlukan untuk menyemprot pelepah setiap tanaman adalah sekitar 600-800 ml.



Gambar 25. Induksi bunga jantan pada tanaman pisifera secara pruning.

Hibrida tenera adalah hasil persilangan antara dura dan pisifera sehingga dinamakan hibrida D x P. Buah sawit tenera terdiri atas dua bagian utama yaitu mesokarp dengan kernel yang bercangkang tipis (lebih tipis dari cangkang dura). Bagian mesokarp merupakan bagian buah yang banyak menghasilkan minyak yang disebut dengan *crude palm oil* (CPO). Bagian lain dari buah yang menghasilkan minyak adalah kernel atau inti yang dinamakan minyak inti (*kernel palm oil* = KPO). Di sekeliling cangkang terdapat serat yang diduga merupakan modifikasi dari cangkang. Seperti diketahui bahwa cangkang buah dura tebal dan tidak berserat sedangkan buah pisifera tidak bercangkang tapi banyak serat. Persilangan antara dura dan pisifera menghasilkan tenera. Biji hasil persilangan antara dura dan pisifera mempunyai cangkang tebal yang bersifat seperti induk betinanya namun embrionya merupakan tenera. Jika biji hasil persilangan dura dan pisifera dikecambahkan maka bibitnya adalah tenera. Seleksi induk yang

unggul akan menghasilkan tanaman yang unggul dengan identitas yang jelas atau legitim. Sebaliknya, bibit sawit yang berasal dari kecambah asalan atau tidak legitim berarti informasi tentang induk yang dijadikan tetua tidak jelas. Apalagi bibit asalan ini berasal dari biji yang diambil dari buah berondolan yang dipanen dari perkebunan dengan bahan tanaman tenera. Jika terjadi persilangan sendiri antar tenera (T x T) maka akan terjadi segregasi (pemisahan) dan menghasilkan bahan tanaman dura (D), tenera (T) dan pisifera (P) dengan perbandingan masing-masing 25% D: 50% T: 25% P. Dengan kondisi seperti ini, maka produksi sawit yang diakibatkan oleh penanaman bahan tanaman tersebut akan menghasilkan produksi tandan buah segar (TBS) maupun kadar minyak rendah.

B. Eksplorasi SDG untuk Perbaikan Karakter Dura dan Pisifera

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) merupakan tanaman asli Afrika Barat yang telah menyebar luas ke 27 negara di dunia. Ada tiga negara terbesar yang menanam kelapa sawit yaitu Indonesia, Malaysia, dan Nigeria dengan masing-masing luas arealnya 8.965.000 ha, 4.800.000 ha dan 2.500.000 ha. Menurut Verheye (2010) negara di Afrika yang mempunyai koleksi kelapa sawit adalah Nigeria, Pantai Gading (Ivery Coast), Ghana, Cameroon dengan curah hujan 1200 mm dan ketinggian tempat sekitar 400 m dari permukaan laut (dpl). Penyebaran tanaman kelapa sawit di beberapa negara mempunyai variasi sifat yang besar. Perkembangan kelapa sawit di Indonesia dan Malaysia sejak 1930 mempunyai arti yang cukup besar dalam mendukung kemajuan pemuliaan tanaman kelapa sawit di kedua negara tsb, seperti PPKS (Pusat Penelitian Kelapa Sawit) atau *Indonesia Oil Palm Research Institute* (IOPRI) dan Malaysia Palm Oil Board (MPOB). Tanaman kelapa sawit tsb telah mengalami beberapa kali seleksi untuk perbaikan sifat melalui sistem pemuliaan konvensional maupun aplikasi biomolekuler.

Salah satu kunci keberhasilan yang menonjol untuk peningkatan produksi tanaman adalah perbaikan sifat atau karakter yang diinginkan

melalui pemuliaan tanaman. Pemuliaan tanaman akan berkembang pesat jika terus menerus ada peningkatan variasi SDG sehingga seleksi sifat yang diinginkan dapat berjalan efektif. Sudah dikenal umum bahwa arti ilmu pemuliaan tanaman adalah gabungan antara ilmu dan seni untuk perbaikan sifat genetik tanaman agar mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan. Kepentingan ilmu dan seni untuk pemuliaan tanaman kelapa sawit relatif berubah sesuai dengan perubahan waktu dan kebutuhan. Seperti telah diketahui bahwa awalnya minyak kelapa sawit lebih banyak dikonsumsi baik berupa minyak goreng maupun sabun. Namun, untuk saat ini, minyak kelapa sawit lebih difokuskan untuk kebutuhan bahan bakar hayati (*biofuel*). Dengan adanya permintaan minyak kelapa sawit untuk bahan bakar yang meningkat setiap tahun maka pemulia tanaman kelapa sawit cenderung lebih memfokuskan perbaikan genetik tanaman kelapa sawit yang berpotensi menghasilkan minyak tinggi dan jumlah tandan yang banyak serta rata-rata bobot per tandan yang tinggi pula. Minyak kelapa sawit secara umum adalah CPO yang disebut minyak kasar kelapa sawit (*crude palm oil*) dan KPO yang disebut minyak kernel atau *kernel palm oil*. CPO berasal dari ekstraksi bagian mesokarp buah yang diproses mulai dari pengangkutan tandan buah ke perebusan hingga pengepresan dan kemudian pemisahan inti serta janjangan kosong. Saat awal tandan buah segar akan terbagi menjadi beberapa bagian seperti: janjangan kosong, air, inti sawit, dan mesokarp. Mesokarp terdiri atas serat atau fiber dan minyak sawit kasar. Inti sawit terdiri atas minyak inti dan cangkang inti. Berdasarkan pengalaman di lapang (Mill), misalnya dari 100 kg bobot tandan buah segar (TBS) akan hilang melalui evaporasi air = 10 kg, buah sawit (berondolan) = 67 kg, dan janjangan kosong = 23 kg. Buah sawit yang 67 kg ini akan dibagi ke bagian CPO = 28 kg, serat = 9 kg, inti (nut) = 11 kg, air = 19 kg. Kemudian nut yang 11 kg tersebut akan dibagi lagi menjadi inti kernel = 4 kg, cangkang = 6 kg dan kelembaban = 1 kg. Kandungan CPO pada buah sawit berbeda-beda tergantung pada sifat genetik tanaman dan lingkungan. Tanaman sawit “asalan” secara umum menghasilkan CPO rendah berkisar

antara 12-18% dibandingkan dengan yang berasal dari persilangan dua induk terpilih yang bisa mencapai 36% CPO.

Pada tanah mineral, kandungan CPO cenderung lebih tinggi dari pada tanah gambut. Begitu juga kandungan CPO akan cenderung tinggi pada musim kemarau dari pada musim hujan. Faktor lain yang perlu mendapat perhatian adalah sistem pengelolaan tanaman di lapang seperti perawatan dan pembangunan infrastruktur (jalan kebun). Faktor ini bisa berpengaruh terhadap produksi hingga 60-70% sedangkan genetik sekitar 30-40%. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun faktor genetik tanaman sudah bagus namun sistem pengelolaan kurang bagus maka produksi TBS dan minyak CPO akan rendah. Saat ini perbaikan sifat-sifat genetik tanaman sawit untuk meningkatkan variasi genetik sedang dilakukan oleh beberapa perusahaan besar kelapa sawit terutama perusahaan yang menghasilkan kecambah kelapa sawit atau bibit. Variasi genetik sangat bermanfaat untuk meningkatkan efisiensi seleksi induk yang unggul atau *elite*. Jika variasi genetik sempit atau rendah maka perbaikan sifat tanaman kelapa sawit berlangsung sangat lambat dan seleksi sifat yang diinginkan akan sulit dilakukan.

Ada beberapa peneliti kelapa sawit yang sudah melaksanakan kajian terhadap variasi genetik tanaman sawit, yang membuktikan bahwa penggunaan analisis *cluster* bisa mengelompokkan perbedaan genetik tanaman kelapa sawit di Malaysia (*Malaysian Palm Oil Board* = MPOB) dan Nigeria (Nifor). Dengan menggunakan 9 penanda *simple sequence repeats* (SSR), ternyata ada variasi genetik yang cukup tinggi antara materi tanaman berasal dari Nigeria dan dari Malaysia. Mereka menyimpulkan bahwa dengan adanya perbedaan variasi genetik yang cukup tinggi maka ada peluang untuk melakukan persilangan antar materi yang berasal dari Nigeria dan Malaysia. Di tiga perusahaan benih sawit Thailand, penggunaan 96 penanda SSR telah berhasil membuktikan adanya variasi genetik pada materi deli dura dan Avros pisifera. Hal ini berarti bahwa ketiga perusahaan tsb masih mempunyai peluang merancang program pemuliaan tanaman

untuk mendapatkan benih unggul hibrida. Peneliti lain menunjukkan bahwa dengan menggunakan 17 penanda mikrosatelit pada sembilan persilangan DxP *Elaeis guineensis* dari berbagai perusahaan komersial di Malaysia, Perancis, Colombia, Costa Rica, maka dihasilkan dua grup berdasarkan kemiripan genetik. Mereka membuktikan bahwa grup 1 dari Perancis dan Colombia mempunyai kemiripan genetik -76% lalu grup 2 dari Malaysia, Costa Rica, Perancis dan Colombia mempunyai kemiripan genetik -66%. Selanjutnya, di antara 3 populasi tanaman sawit yang diteliti, populasi 1 menunjukkan heritabilitas arti luas yang tinggi untuk jumlah tandan, bobot rata-rata tandan dan bobot tandan buah segar yang masing-masing nilai estimasi heritabilitas adalah 78, 88.6, and 70.7%. Kondisi ini menggambarkan bahwa adanya variasi dan diversitas genetik yang cukup besar sehingga sangat bermanfaat untuk seleksi. Namun perlu diingat bahwa penduga nilai heritabilitas arti luas yang besar tidak selalu bermanfaat untuk seleksi karena tidak adanya variasi aditif. Variasi genetik mempunyai komponen variasi seperti aditif, dominan, dan interaksi aditif dominan. Komponen variasi aditif tersebut digunakan untuk menghitung nilai penduga heritabilitas arti sempit dan heritabilitas arti sempit ini merupakan penduga sifat pewarisan yang diturunkan dari tetua ke turunannya.

4. Varietas Sintetis

Varietas sintetis adalah varietas yang dihasilkan oleh kombinasi galur atau tanaman terseleksi dan dilanjutkan persilangan acak secara normal. Genotipe pembentuknya dapat berupa galur murni, klon, populasi hasil seleksi massa atau populasi lain. Perbedaannya dengan varietas bersari bebas lainnya adalah genotipe-genotipe pembentuk varietas sintetis telah diuji kemampuan daya gabungannya. Tujuan pengujian genotipe disini untuk memperoleh genotipe yang mempunyai kemampuan baik apabila dikombinasikan dalam bentuk varietas sintetis. Kemampuan daya gabung yang tinggi diharapkan dapat menghasilkan produksi tinggi pada keturunannya.

Keuntungan varietas sintetis:

1. Benih varietas ini dapat diusahakan petani sendiri untuk generasi selanjutnya.
2. Keragaman yang lebih besar dalam varietas sintetis memungkinkan lebih tahan menghadapi tekanan lingkungan dibandingkan dengan varietas hibrida.
3. Biasanya lebih unggul dibandingkan dengan varietas bersari bebas lain karena varietas sintetis merupakan kombinasi galur terpilih dan teruji.

Pengembangan dan peningkatannya dapat diusahakan melalui seleksi daur ulang beberapa daur. Varietas ini juga dapat digunakan sebagai sumber penghasil galur-galur murni baru. Galur-galur tetua pembentuk varietas sintetis diarahkan secara genetik mempunyai andil yang sama pada kawin acak dalam populasi varietas. Pembentukan populasi pertama diberi istilah syn 0 (galur-galur tetua). Generasi ke-1 disebut syn 1 adalah kombinasi keturunan F1. Generasi ke-2 disebut syn 2 adalah generasi kawin acak, dan seterusnya ...syn 3syn 4...Varietas sintetis yang dipergunakan secara komersial adalah generasi syn 2 dst. Generasi syn 0 dibentuk melalui kombinasi biji-biji galur dengan proporsi sama, atau klon-klon dengan perbandingan yang sama dan ditanam secara acak, atau kombinasi dialel dari semua galur. Populasi menghasilkan biji untuk generasi syn 1 dan seterusnya syn 2. Pada generasi awal (syn 1 dan syn 2), tanaman ditumbuhkan pada area yang terpisah dari lainnya, kemudian semua bijinya dipungut untuk biji generasi berikutnya. Untuk mempertahankan suatu varietas sintetis, dapat ditempuh melalui hal-hal berikut:

- a. Pembaharuan populasi dengan galur-galur dasar, yang kemudian melepaskan generasi syn 2 dan syn 3.
- b. Pemeriksaan biji populasi generasi berikut: melalui pengujian di tempat terisolir untuk mengetahui apakah ada perubahan kemampuan produksi varietas baru.

Untuk meramalkan naik-turunnya produksi setiap generasi varietas sintetis dapat digunakan persamaan:

$$Y_t = Y_0 + \frac{F_0 - F_t}{F_0 - F_i}(Y_1 - Y_0)$$

Keterangan:

Y_t = produks generasi syn t

Y_0 = produksi generasi syn 0

Y_1 = produksi generasi syn 1

F_i = koefisien silang-dalam pada generasi i

F_0 = koefisien silang-dalam pada generasi syn 0

F_t = koefisien silang-dalam pada generasi ayn t

Persamaan ini berdasarkan pada pertimbangan bahwa produksi suatu varietas sintetis tergantung dari potensi genetik galur-galur dan derajat silang-dalam yang terjadi.

4. Varietas Komposit

Varietas komposit: campuran berbagai macam bahan pemuliaan yang telah diketahui potensi produksi, umur, ketahanan, atau karakter lainnya. Pembentukan varietas ini mirip dengan varietas sintesis, hanya bahan pembentuknya lebih beraneka ragam. Dalam pembentukannya, biji dari berbagai galur dan atau hibrida dicampur menjadi satu dan ditanam beberapa generasi agar penyerbukan silang terjadi denagn baik. Setelah 4 - 5 generasi seleksi dapat dilakukan, yakni setelah terjadi banyak kombinasi-kombinasi baru. Seleksi ini dilakukan untuk peningkatan karakter populasi tersebut, yang disebabkan peningkatan frekuensi gen yang dikehendaki. Karena terdiri dari campuran galur, varietas bersari bebas dan hibrida, maka melalui kawin acak akan terjadi banyak kombinasi-kombinasi baru. Jadi varietas ini dapat bertindak sebagai *gene pool* yang amat bermanfaat bagi program pemuliaan tanaman menyerbuk silang. Varietas ini merupakan penyimpanan plasma nutfah yang memang diperlukan bagi program peningkatan karakter suatu varietas menyerbuk silang.

BAB XIV

PEMULIAAN TANAMAN KELAPA SAWIT MELALUI METODE PERSILANGAN

1. Klasifikasi Kelapa Sawit

Divisi	: Embryophyta siphonagama
Kelas	: Angiospermae
Ordo	: Monocotyledonae
Famili	: Arecaceae (Palmae)
Subfamili	: Cocoideae
Genus	: Elaeis
Spesies	: 1. <i>Elaeis guineensis</i> Jacq. 2. <i>Elaeis oleifera</i> (H.B.K.) Cortes 3. <i>Elaeis odora</i>

Tanaman kelapa sawit berasal dari Afrika dan Amerika Selatan (Brazil), yang tumbuh liar di sepanjang tepi sungai. Kelapa sawit yang termasuk dalam subfamily Cocoideae merupakan tanaman asli Amerika Selatan, termasuk spesies *E. oleifera* dan *E. odora*. Walaupun demikian, salah satu subfamily Cocoideae adalah tanaman asli Afrika. Kelapa sawit Afrika diklasifikasikan oleh Jacquin (1763) sebagai *Elaeis guineensis* dengan jumlah kromosom $n = 16$ atau $2n = 32$. Spesies kelapa sawit Amerika Selatan mula-mula dinamakan sebagai *Elaeis melanococca*, tetapi diganti oleh Bailey (1940) menjadi *Corozo oleifera*. Atas pertimbangan bahwa spesies ini dapat disilangkan dengan *E. guineensis*, Wessis-Boer (1965) menggolongkannya sebagai genus *Elaeis* dan namanya diganti menjadi *E. oleifera*. Spesies yang ketiga pada genus *Elaeis*, yaitu *E. odora* (dulu dikenal dengan *Barcell odora*). Spesies ini berbeda dengan kedua spesies lainnya karena mempunyai infloresen biseksual (bunga betina pada dasar spikelet yang terbawah dan bunga jantan di atas), uniknya hal ini kadang ditemukan pada *E. guineensis* dan *E. oleifera* (dikenal sebagai gejala abnormal).

Kelapa sawit Afrika telah berhasil didomestikasikan di Afrika Barat sekitar abad ke-16 dan ke-17 atau jauh pada periode sebelumnya. Perkembangan

industry kelapa sawit telah dipaparkan secara jelas oleh Hartley (1988). Ekspor minyak dan inti sawit dari Afrika dimulai pada abad ke-19. Pada masa itu, sumber minyak hanya berasal dari tanaman kelapa sawit yang tumbuh liar ini akhirnya berkembang menjadi perkebunan rakyat. Perkebunan besar yang pertama di Sumatera dan Malaysia pada awal abad ke-19, kemudian diikuti oleh Congo Belgia (sekarang Zaire) dan megara-negara Afrika Barat lainnya pada tahun 1920-an.

Kelapa sawit pertama kali diintroduksi ke Indonesia oleh pemerintah kolonial Belanda pada tahun 1848 di kebun Raya Bogor (*s'lands Plantentuin Butenzorg*). Pada tahun 1938, di Sumatera diperkirakan sudah ada 90.000 ha perkebunan kelapa sawit. Pada saat ini, perkebunan kelapa sawit telah berkembang lebih jauh sejalan kebutuhan dunia akan minyak nabati dan produk industri *oleochemical*. Produk kelapa sawit merupakan komponen penting dalam perdagangan minyak nabati dunia.

2. Metode Pemuliaan pada Tanaman Kelapa Sawit

Dalam keberhasilan pelaksanaan aktivitas pemuliaan tanaman kelapa sawit, salah satu faktor penentu adalah metode seleksi dan bahan tanaman kelapa sawit sebagai bahan induk bibit. Perkembangan industri kelapa sawit Indonesia yang menakjubkan selama 20 tahun terakhir tidak terlepas dari peran bahan tanaman di dalamnya. Meski hanya berkontribusi 7%-8% dari total biaya produksi, namun keberadaan bahan tanaman sangat menentukan berhasil atau tidaknya suatu perkebunan. Pemilihan bahan tanaman dengan kualitas unggul menjamin tingkat produksi yang stabil untuk masa ekonomi selama 25 tahun. Karakter unggul varietas kelapa sawit dapat dilihat dari mutu genetis (potensi hasil tinggi), mutu fisiologis (daya tumbuh), dan mutu morfologis (keseragaman dan higienitas benih).

Pemerintah Indonesia telah merilis 37 varietas kelapa sawit dengan berbagai karakter unggulan yang menyertainya. Varietas-varietas ini berasal dari 9 produsen benih (8 produsen dalam negeri, 1 produsen dari luar negeri), yang umumnya berlokasi di wilayah Sumatera. Dengan kapasitas produksi sekitar 225 juta benih per tahun, dan pilihan yang semakin beragam, sebenarnya tidak ada alasan bagi pekebun untuk tidak menggunakan benih yang telah

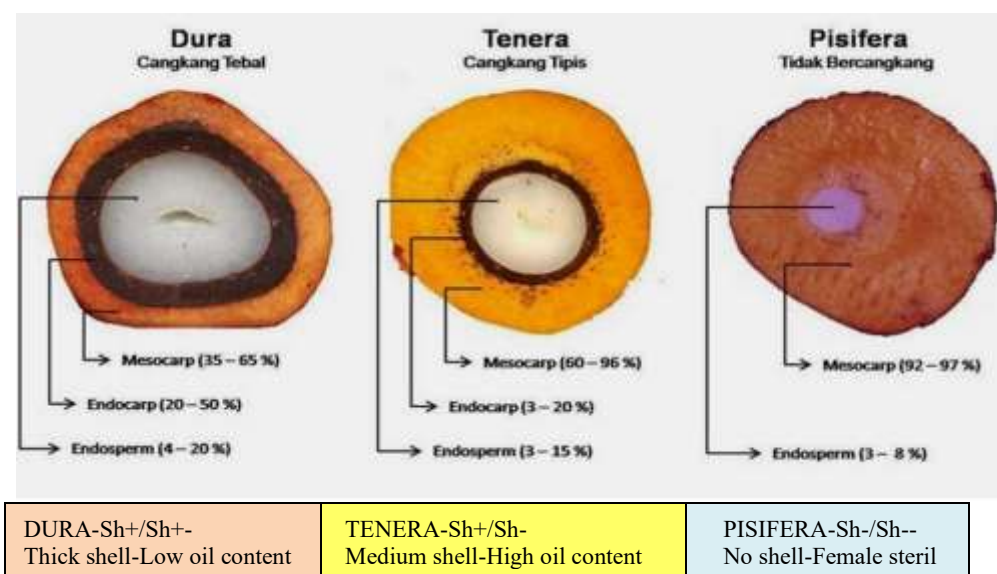
bersertifikasi secara resmi. Namun demikian, kesulitan dalam distribusi dan akses untuk mendapatkan benih unggul masih sering terjadi khususnya di remote area, seperti area pengembangan di Kalimantan, Sulawesi, dan Papua. Upaya dari produsen benih melalui sistem waralaba bibit diharapkan mampu untuk mengurangi kesenjangan akses dalam mendapat benih kelapa sawit unggul.

Seleksi awal pada populasi dasar dilakukan dengan memilih individu terbaik berdasarkan karakter produksi minyak yang tinggi. Pemilihan individu berproduksi minyak tinggi dilakukan berdasarkan karakter komponen hasil yang mudah diidentifikasi secara morfologi dan cepat dalam analisis laboratorium, seperti karakter presentase mesokarp pada buah. Karakter ini memiliki tingkat heritabilitas yang tinggi, selalu diwariskan dari tetua kepada turunannya. Individu-individu terpilih tersebut selanjutnya saling disilangkan untuk mengeksplorasi sifat-sifat terbaik mengikuti strategi seleksi yang telah ditetapkan.

Umumnya dalam metode seleksi tanaman kelapa sawit, digunakan dua jenis metode seleksi yaitu metode seleksi berulang timbal balik (*Recurrent Resiprocal Selection = RRS*) dan metode seleksi keluarga/individu (FIPS). Seleksi berulang timbal balik (RRS) diadopsi oleh NIFOR, IHRO-CIRAD dan mitranya di Afrika atau Asia Tenggara, Iopri di Indonesia, Felda di Malaysia, sedangkan metode FIPS banyak digunakan di Malaysia (MPOB) dan mitranya dan Papua (OPRS), Pamol, Unipalm di Afrika. Seleksi RRS bertujuan untuk mengeksplorasi heterosis yang ada antara persilangan yang dilakukan antara asal tertentu dan kendala akibat depresi perkawinan sedarah. IFHO mengadopsinya sejak tahun 1958. Bahan tersebut dibagi menjadi dua kelompok heterotik A dan B berdasarkan sifat yang saling melengkapi. Metode seleksi FIPS memanfaatkan bentuk bahan tanam $D \times P$, dari tertua terpilih berdasarkan nilai fenotipik dan kemampuan penggabungan umum dan keluarga tanaman tersebut.

Digunakan metode pemuliaan seleksi berulang timbal balik (*Recurrent Resiprocal Selection = RRS*) dengan mengadakan uji turunan (*Progeny test*)

pada kombinasi-kombinasi persilangan yang dilakukan. Metode seleksi RRS yang di adopsi dari *Institute de Researches Pour les Huiles et Oleageneux* (IRHO) pada prinsipnya adalah memperbaiki secara serentak daya gabung (*Combining ability*) dari Dura (cangkang tebal tetapi rendemen minyak sedikit) X Pisifera (rendemen minyak banyak tetapi tidak memiliki cangkang). Jenis Dura yang alel homozigot dominan (sh^+sh^+) X dengan Pisifera yang alel homozigot resesif (sh^-sh^-) sehingga dihasilkan Tenera dengan alel heterozigot (sh^+sh^-) atau $D \times P = T$ (**Gambar 26**). Hibrida yang dihasilkan kemudian ditanam di pengujian progeni (*comparative trial/progeny trial*) untuk mengevaluasi daya gabungnya dan pada akhirnya akan diperoleh kombinasi hibrida terbaik. Sistem pemuliaan ini yang paling cocok diterapkan pada kelapa sawit karena rendahnya kemampuan pewarisan sifat tanaman induk terhadap keturunannya.



Gambar 26. Karakteristik yang dimiliki Dura, Pisifera, dan Tenera

3. Tujuan Pemuliaan Kelapa Sawit

Pada awalnya tujuan pemuliaan kelapa sawit hanya untuk merakit bahan tanam yang dapat memproduksi minyak yang tinggi, tetapi saat ini tujuan pemuliaan kelapa sawit menjadi berkembang, yaitu untuk menghasilkan bahan tanam dengan kualitas minyak yang tinggi, tahan terhadap penyakit busuk pangkal batang (BPB), pertumbuhan meninggi lambat, respon baik terhadap

pemupukan, tandan besar, komposisi buah dan minyak tinggi, dan daya adaptasi luas, dll.

Varietas unggul kelapa sawit yang telah dihasilkan oleh PPKS antara lain: Rispa, Lame, Marihat, Bah Jambi, SP-2, SP-1, Simalungun, Langkat, dan Yangambi. Dalam upaya mengoptimalkan tujuan pemuliaan kelapa sawit di Indonesia, PPKS mengintroduksi populasi bahan tanam dari luar seperti Dura Deli *ex* IRHO, Tenera/Pisifera Lame, Yangambi, Nifor, Yacoubue, Dami, dan Colombia.

Penggunaan metode pemuliaan RRS dimulai sejak tahun 1973 siklus I dan dilanjutkan ke siklus ke-2 tahun 1986 menghasilkan varietas Langkat, Simalungun, PPKS 540, dan PPKS 718, saat ini sedang berlangsung untuk siklus ke-3. Pada siklus ke-3 terdapat 25 *mating design* dan 485 persilangan (D x T/P) yang dilakukan dengan 27 D x D dan 33 T x T/P. Persilangan yang dilakukan dalam pemuliaan kelapa sawit antara lain: D x D, T x T/P, dan D x T/P (**Tabel 12**). Persilangan D x D atau selfing Dura akan menghasilkan 100% Dura, persilangan ini digunakan untuk menyeleksi pohon induk betina dan ditanam dalam bentuk rancangan petak berbaris. Pada persilangan T x T akan dihasilkan 50% Tenera, 25% Dura, dan 25% Pisifera (12,5 %fertil dan 12,5 % infertil) sedangkan pada persilangan T x P akan dihasilkan 50% Tenera dan 50% Pisifera ditanam dalam bentuk rancangan petak berbaris. Pada persilangan D x P atau yang biasa disebut hibrid akan menghasilkan 100% Tenera, sedangkan persilangan D x T menghasilkan 50% Dura dan 50% Tenera. Kebun D x P dan D x T digunakan untuk tujuan percobaan dalam menghasilkan varietas-varietas unggul sesuai tujuan pemuliaan dalam bentuk Rancangan Acak Kelompok (RAK).

Tabel 12. Jenis persilangan tanaman kelapa sawit

Persilangan	Hasil Persilangan (%)		
	Dura	Tenera	Pisifera
D x D	100	0	0
D x T	50	50	0
D x P	0	100	0
T x T	25	50	25
T x P	0	50	50

P x P	0	0	100
-------	---	---	-----

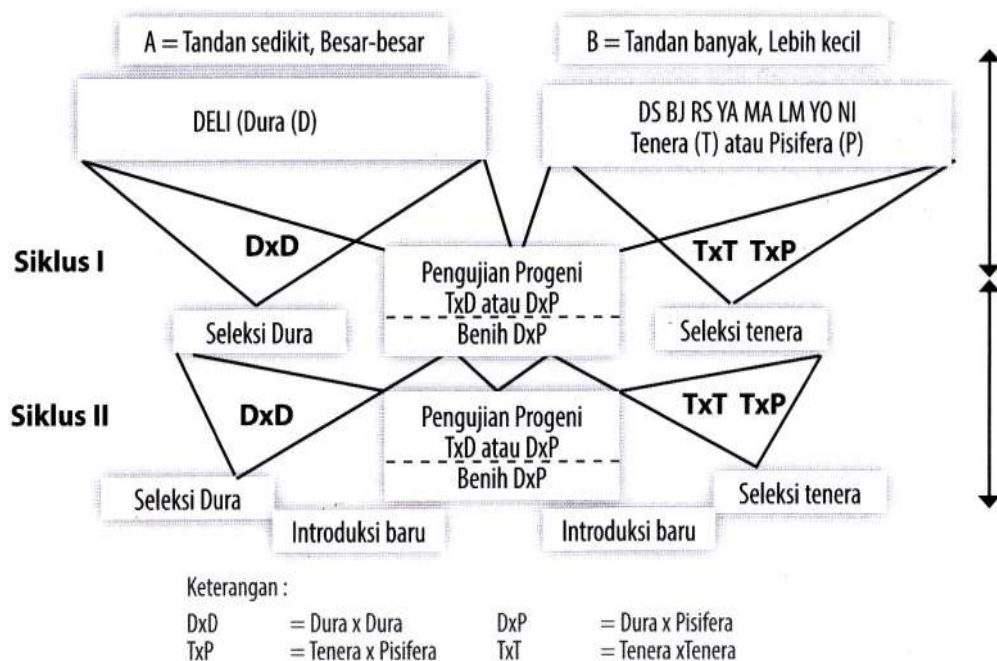
Pemuliaan kelapa sawit bertujuan: untuk meningkatkan produktivitas dan rendemen minyak (CPO), untuk mendapatkan pohon yang pertumbuhan meningginya lambat, toleran terhadap penyakit, responsif terhadap pemupukan, tandan lebih berat, komposisi buah dan minyak lebih baik, tangkai tandan buah (stalk) lebih pendek sehingga panen lebih mudah, dan adaptasi baik.

Sebelum tetapkan arah penelitian, terlebih dahulu dikaji sebaik-baiknya: - tujuan yang akan dicapai, karakter bagaimana yang diinginkan, apakah karakter itu diwariskan. Diperlukan 8-10 tahun untuk dapat memastikan suatu persilangan yang digunakan baik. Pengamatan perlu dilakukan: di pembibitan (1 tahun) untuk melihat pertumbuhannya (3 bulan sekali), pada masa sebelum menghasilkan dan awal pembungaan dan sex-ratio (6 bulan sekali), dan setelah menghasilkan: produksi/pokok dan analisis tandan: setiap minggu selama 4-5 tahun. Karakter yang digunakan untuk membedakan tetua dan turunannya: ketebalan cangkang (dikendalikan gen tunggal). Kelapa sawit memiliki genotipe: homozigot akan bercangkang tebal, homozigot resesif bercangkang tipis, dan heterozigot bercangkang diantara keduanya. Dura memiliki representasi genotipe bercangkang tebal, Pisifera bercangkang tipis. Jika $D \times P = T$ (bercangkang diantara keduanya): $D \times D = 100\%$ Dura, $D \times P = 100\%$ Tenera, $D \times T = 50\%$ Dura + 50% Tenera, $T \times P = 50\%$ Tenera + 50% Pisifera, $T \times T = 25\%$ D + 50% T + 25% P.

Metode pemuliaan kelapa sawit yaitu *Recurrent Reciprocal Selection* (seleksi berulang timbal balik) (RRS). Metode ini dapat mengetahui: daya gabung khusus dan daya gabung umum. Prinsip metode RRS adalah memperbaiki secara serentak daya gabung dari 2 group individu A dan B yang dicirikan dengan: Group A (Dura) (menghasilkan tandan sedikit tetapi ukuran buah besar). Group B (Tenera dan Pisifera) (menghasilkan banyak tandan tetapi ukuran relatif kecil). Group A x B = hibrida diuji pada pengujian progeni.

Jika populasi A dijadikan bahan seleksi, populasi B sebagai penguji, sebaliknya.

Proses seleksi untuk kedua populasi ini berjalan bersamaan. Pengujian dilakukan agar dapat mengklasifikasikan famili (persilangan/lini) dan mendapatkan hibrida terbaik. Tetua yang memberikan hasil terbaik dikawinkan sendiri dan dikawin silangkan dengan pasangan yang dipilih dari group yang sama untuk memperoleh populasi baru yang telah diperbaiki (**Gambar 27**).



Gambar 27. Skema RRS kelapa sawit yang diterapkan di Balit Marihat

4. Persilangan Buatan

Dalam persilangan buatan, langkah awal yang dilakukan adalah:

a. Pemilihan pohon induk:

Pemilihan tergantung pada tujuan pemuliaan. Penting tahu karakter pohon induk dan pewarisannya. Bahan tanaman yang digunakan adalah Tenera (hasil persilangan Deli Dura terpilih dari kebun induk X Pisifera hasil pengujian). Masa PD II bahan tanaman adalah D x D, tahun 1948 - 1970 bahan tanaman adalah D x D, D x T / T x D dan D x P. Setelah hasil pengujian DxP, DxT/TxD diketahui dan telah ditelusuri pokok ibu (Dura)

yang digunakan maka dilakukan pemilihan pokok induk pada kebun induk D x D dari mana pokok tersebut berada. Persilangan (kawin) sendiri D x D yang terpilih dicek: produksinya secara individu, hasil analisis tandannya yang dilakukan 6-10 kali/pokok, karakter pertumbuhannya, kepekaan terhadap penyakit, dan kemurniannya atau legitimasinya. Pemilihan dilakukan berdasarkan kriteria yang ditentukan sebagai berikut:

- Produksi tandan: x (rata-rata persilangan),
- Persentase buah/tandan: x-s (SD),
- Persentase daging buah/buah: x (62-65),
- Persentase minyak/daging buah: x,
- Persentase minyak/tandan: x-1,55

Kriteria Marihat: produksi/pokok Dura yang terpilih diambil harus > 200 kg/pokok/tahun. Pada kebun induk Dura: tiap persilangan ditanam 75 - 135 pokok. Jumlah pokok yang terpilih tergantung keragamannya, biasanya 25 - 70 pokok. Pokok induk Dura ini akan dipakai untuk produksi biji dan pemuliaan tanaman lebih lanjut.

Kriteria di Malaysia: Dura diperlukan % daging buah/buah 62%, cangkang/buah 30%, minyak/daging buah kering 75%, inti/buah 4-8%. Pisifera yang diuji berasal dari kebun seleksi TxT atau TXP, jika hasil pengamatan Tenera baik. Pengujian dengan Dura, untuk melihat daya gabungannya. Agar dapat diketahui daya gabungannya, maka tiap Dura, Tenera, atau Pisifera minimal harus dikawinkan dengan 3 kombinasi sehingga faktor kebetulan dapat diperkecil. Pisifera yang baik adalah yang memiliki daya gabung yang baik dengan berbagai Dura. Polen dari Pisifera terpilih dipakai untuk produksi bahan tanaman dan pemuliaan lanjutan.

b. Pembungkusan bunga

Tandan bunga terlebih dulu dibersihkan; buang seludang dan membersihkan tangkai tandan (stalk). Pelepah daun dibengkokkan sedikit ke bawah (ditekan). Kadang-kadang sebagian spikelet bunga yang berada di bagian bawah dibuang agar kantong pembungkus dapat lebih mudah

disarungkan. Semprot dengan insektisida. Pembungkus bunga diberi jendela plastik, sarungkan, diikat di bagian bawah tangkai tandan setelah sebelumnya dibalut dengan kapas yang dibubuhi insektisida tepung. Setelah dibungkus, bagian luar juga disemprot insektisida untuk mengusir. Kanvas pembungkus berukuran 60 cm x 60 cm. Pembungkusan dilakukan oleh polinator 10 - 15 hari sebelum bunga anthesis. Setelah 7 hari, tandan bunga yang telah dibungkus harus diperiksa.

c. Penyerbukan

1) Persiapan polen:

Polen dipanen dari pokok tetua jantan Pisifera yg sudah ditentukan. Sebelum anthesis, inflorescensia harus dibungkus dengan pembungkus yang dibagian bawahnya ada kantong plastik tempat penyaluran polen. Setelah 10-15 hari pembungkusan, bunga akan anthesis (60 - 70%). Tandan bunga jantan dipotong, dikeringkan pada ruang berAC di laboratorium. Beberapa jam, bungkus diguncang agar polen turun ke kantong plastik yang ada di bagian bawah. Polen disimpan dalam freezer (-18 °C) beberapa bulan. Uji viabilitasnya sebelum digunakan. Polen yang digunakan adalah memiliki daya tumbuh 60%. Polen dimasukkan ke dalam botol plastik. Tiap botol berisi 0,25 g polen + 2,5 - 3 g talcum (bedak). Di bawa kelapangan untuk diserbukkan. Bunga sedang reseptive ditandai dengan adanya kepala putik dari bunga yang mekar pada spikelet berwarna putih-krem, dan mengeluarkan cairan. penyerbukan dilakukan bila 60% dari bunga sudah reseptive, karena dalam 1 - 2 hari bunga akan anthesis.

2) Cara menyerbuk;

Bagian luar pembungkus disemprot dengan insektisida oleh polinator, agar serangga tidak masuk yang mungkin pada tubuhnya melekat polen asing. Jendela plastik dilap dengan alkohol, dilobangi, lalu ujung semprot dimasukkan melalui lobang. Setelah polen disemprotkan dari kedua sisi jendela, lubang ditutup dengan plester.

Label aluminium yang bertuliskan: nomor pokok, nomor serbuk, nomor Pisifera, tanggal bungkus/serbuk dan nama pollinator diikatkan pada karet dan pengikat. Setelah 3 hari, hasil penyerbukan diperiksa, apakah memerlukan penyerbukan ulang. Setelah 15 hari, bungkus dibuka. Label aluminium dicucukan di antara spikelet setelah di bagian bawah dibengkokkan. Kegagalan dapat terjadi karena luka yang terjadi pada tangkai tandan (stalk) waktu pembungkusan, polen yang dipakai daya tumbuhnya rendah, gangguan hama. Kegagalan dapat mencapai 10% lebih. Sekitar 5 - 6 bulan setelah antesis, tandan sudah matang, ditandai 1 - 2 buah luar terlepas. Tandan matang dipotong, dimasukkan ke dalam karung goni, dan diberi surat pengantar pengiriman untuk diproses lebih lanjut.

3) Mempersiapkan biji

Tanda yang telah dipanen dibawa ke laboratorium. Pisahkan spikelet. Spikelet dengan buah yang masih melekat dimasukkan ke dalam peti fermentasi yg terbuat dari kayu berukuran 0,60 m x 0,20 m x 1,00 m selama 3 hari dan sedikit dibasahi agar buah terangsang cepat lepas dr spikelet. Buah yang telah terlepas dari spikelet, dimasukkan ke dalam peti (berukuran 0,50 m x 0,20 m x 0,50 m) fermentasi kedua agar buah sedikit membusuk untuk mempermudah pelepasan daging buah pada proses selanjutnya. Fermentasi berlangsung 3 hari. Setelah itu buah dimasukkan ke dalam mesin pengupas daging buah. Di bagian atas dipasang pipa air yang meneteskan air sewaktu drum berputar guna menghanyutkan daging buah yang terkupas, biji kecil sampah, pasir, dan kotoran lainnya. Biji kemudian dikering-anginkan beberapa jam kemudian dibersihkan dari serabut yang masih melekat sambil menyortir yang pecah, kecil, dan abnormal. Biji yang bersih dihitung, diberi label, direndam selama 3 menit dalam larutan Dithane, dikering-anginkan, guna mencegah pertumbuhan cendawan pada kulit biji. Biji

dimasukkan ke dalam kantong plastik atau kantong kain. Simpan minimal 1 bulan sebelum dikecambahkan.

4) Perkecambahan

Periksa kadar air biji, jika kurang dari 18%, naikkan dengan cara merendam beberapa hari. Biasanya biji berkadar air 13-15%. Biji terlebih dahulu dipindahkan pada kantong plastik yang sengaja diberi lubang beserta labelnya dan direndam dalam bak air. Setelah perendaman, biji dicelupkan ke dalam larutan Dithane 0,1 - 0,2% selama 3 menit dan dikering-anginkan selama 1 hari. Biji dikering-anginkan pada ruangan pengeringan dan diletakkan pada kotak beralaskan kawat khas. Kemudian biji dimasukkan ke dalam kantong plastik yang masing-masing berisi 400 - 500 biji beserta labelnya masing-masing, lalu diikat dengan karet pada ujungnya. Kantong biji dimasukkan ke dalam ruangan pemanas (germinator) yang diletakkan pada rak-rak. Germinator : ruangan kecil yang dipanaskan secara elektrik yang temperaturnya dikontrol secara otomatis 39-40⁰C. Setiap minggu kantong plastik diperiksa dan diguncang. Biji yang kelihatran terlalu kering disiram dengan menyemprotkan air. Biji berada dalam ruangan ini selama 40 - 60 hari. Biji dikeluarkan dan direndam dalam bak perendaman selama 3 hari untuk menaikkan kadar air dari 18% menjadi 23%. Kemudian biji dikering-anginkan selama sehari, dan kembali dimasukkan ke kantong plastik dan diletakkan pada rak-rak di dalam ruangan perkecambahan yang bersuhu 26-28⁰C. Setelah 12 - 15 hari, biji mulai berkecambah. Setelah 4 - 5 minggu, persentase kecambah akan mencapai 70-85% dan ada mencapai 90%. Biji yang tidak tumbuh pada minggu ke-6 diperiksa viabilitasnya. Jika masih baik dapat dipanaskan kembali selama 20 hari.

5. Penentuan Pohon Induk

Pemuliaan kelapa sawit menghasilkan pohon induk terpilih yang akan digunakan sebagai bahan persilangan. Dalam menentukan pohon induk yang baik, harus memperhatikan:

- a. pertumbuhan meninggi lambat dan tidak doyong < 80 cm,
- b. sudut antara pelepah dan batang tidak sempit jadi tidak menyulitkan dalam pemanenan tandan,
- c. tahan terhadap gangguan hama dan penyakit, saat ini sedang diusahakan untuk merakit bahan tanam kelapa sawit yang tahan terhadap jamur *Ganoderma boninense* Pat,

Seleksi pohon induk dilakukan dalam menentukan pohon induk yang baik, harus memperhatikan:

- 1) tidak mempunyai penyakit bawaan dari tetuanya,
- 2) sifat kemampuan daya gabung umumnya baik,
- 3) mempunyai jumlah tandan baik dan di atas rata – rata persilangan,
- 4) susunan tandan, buah, dan analisa minyak yang baik.

Untuk menghasilkan bahan tanam D x P (Tenera) yang berkualitas maka dilakukan pemuliaan terhadap Dura sebagai pohon ibu (tetau betina) dan Pisifera sebagai pohon bapak (tetau jantan).

a) Pemuliaan Dura

Dura merupakan jenis kelapa sawit yang digunakan dalam program pemuliaan sebagai pohon induk betina. Ciri-ciri kelapa sawit Dura yaitu: persentase mesokarp terhadap buah 30 – 35 % pada Deli Dura persentasenya dapat mencapai 65%, memiliki ketebalan cangkang 2 – 8 mm dan tidak terdapat serat melingkar di sekelilingnya, biasanya memiliki inti yang besar, dan kadar minyak terhadap tandan rendah yaitu sekitar 17 – 18%.

b) Pemuliaan Pisifera

Pisifera merupakan jenis kelapa sawit yang digunakan sebagai pohon induk jantan atau pohon bapak, dengan ciri – ciri: buah tidak bercangkang, inti kecil dan dilingkari serat, kadar mesokarp per buah dan kadar minyak

tinggi, dan merupakan betina steril karena sebagian besar tandannya mengalami aborsi. Pisifera terbaik dari kebun seleksi diambil tepung sarinya kemudian digunakan untuk menyerbuki bunga betina Dura. Origin Pisifera atau Tenera yang biasa digunakan sebagai induk jantan yaitu: Dosin (DS), Bah Jambi (BJ), Sungai Pancur (SP), Marihat (MA) yang berasal dari Cameroon, SP 540 T (Yangambi /YA), Lame / LM (Ivory Coast), Nifor (NI), YACOBUEET dan DAMI.

c) Pemuliaan Tenera

Tenera adalah jenis kelapa sawit hasil persilangan Dura x Pisifera yang mempunyai cangkang yang tipis dan daging buah (mesokarp) yang tebal sehingga kandungan minyaknya tinggi. Persilangan D x P yang dipilih untuk bahan tanam adalah persilangan yang terbaik secara ekonomis yaitu: yang produksi minyak dan inti per hektar tinggi, sifat perkembangan yang cepat, tahan terhadap penyakit, lebar tajuk dan populasi pokok per hektar yang tinggi, serta memiliki komposisi minyak yang tinggi.

Jenis varietas yang telah dilepas adalah:

- PPKS telah melepas banyak varietas kelapa sawit, diantaranya: Sungai Pancur (SP 1), Sungai Pancur (SP 2), Bah Jambi (BJ), Yangambi (YA), Marihat (MA), Langkat, dan Simalungun (SM).
- D x P Sungai Pancur 1 dilepas dgn SK Menteri Pertanian RI No 384/Kpts/TP. 204/4/1984 memiliki karakteristik: pertumbuhan lambat, produksi dan kandungan minyak tinggi, dan tidak dianjurkan ditanam di daerah curam, D x P Sungai Pancur 2 memiliki produksi dan kadar minyak yang tinggi.
- D x P Bah Jambi (BJ) No 313/Kpts/TP.240/4/ 1985 memiliki produksi tinggi pada umur muda, minyak per tandan sangat baik, pertumbuhan jagur, dan dianjurkan ditanam pada lahan datar.
- D x P Yangambi (YA) dgn SK Menteri No. 317/Kpts/TP.240/4/1985 memiliki produksi tandan tinggi, jumlah tandan banyak, ukuran tandan relatif kecil, kandungan minyak per tandan tinggi, cocok ditanam di berbagai daerah.

- Marihat (MA) dgn SK Menteri No. 314/Kpts/ TP.240/4/1985 memiliki Produksi dan kandungan minyak tinggi, mesokarp tebal, ditanam di daerah berlereng.
- D x P Langkat dengan SK Menteri No. 136/Kpts/TP.240/4/2003 memiliki pertumbuhan relatif jagur, produksi dan kandungan minyak tinggi, cocok ditanam di berbagai areal baik yang datar dan curam.
- D x P Simalungun (SM) dgn SK Menteri No. 137/ Kpts/TP.240/4/2003, memiliki pertumbuhan relatif jagur, produksi dan kandungan minyak tinggi, cocok ditanam di berbagai areal.

6. Penentuan Benih kelapa sawit asli:

Peredaran benih kelapa sawit ilegal di masyarakat cukup banyak diperdagangkan bebas, yakni benih kelapa sawit yang tidak memenuhi aspek legalitas, karena selain diproduksi oleh lembaga/ perorangan yang tidak diakui oleh pemerintah dan tidak memenuhi syarat- syarat serta tatacara pelepasan varietas, juga tidak melalui proses sertifikasi.

Benih Kelapa Sawit Asli

- a. Berasal dari varietas unggul DxP yang telah dilepas secara resmi oleh Menteri Pertanian.
- b. Diproduksi di kebun benih khusus yang sudah disertifikasi dengan cara menyilangkan pohon ibu induk Dura (D) dengan menyilangkan pohon bapak Pisifera (P) yang telah teruji keunggulannya.
- c. Dapat disertifikasi karena kemurnian genetik terjamin dan perkecambahan benih dilakukan dengan rapi dan sistematis sehingga asal usulnya dapat ditelusuri ke pohon induk.

Benih Kelapa Sawit Ilegal

- a. Berasal dari buah atau kecambah yang dikumpulkan di bawah pohon- pohon kelapa sawit yang terdapat di kebun produksi Tenera (T) atau pohon Dura (D) yang disilangkan.

- b. Perkecambahan dilakukan secara alami dan asal usul pohonnya tidak jelas dan tidak tercatat.
- c. Tidak dapat disertifikasi karena asal usulnya tidak jelas dan proses pengecambahannya tidak mengikuti standar yang berlaku.

Dampak Kerugian Menggunakan Benih Kelapa Sawit Ilegal:

- a. Pengguna benih ilegal akan menghasilkan kontaminasi dura sehingga akan mengurangi produksi TBS dan CPO.
- b. Pengguna benih ilegal akan mengurangi kesempatan untuk memperoleh pendapatan yang optimal dan biaya yang dikeluarkan sia-sia. Para pekebun akan sulit untuk mengembalikan pinjaman kredit karena produksi yang dihasilkan rendah.
- c. Akan timbul ekses konflik antara PKS dan kebun pemasok TBS.
- d. Pelanggaran Undang Undang Nomor 12 tahun 1992 tentang Sistem Budidaya Tanaman dan Undang Undang Nomor 29 tahun 2000 tentang Perlindungan Varietas Tanaman.
- e. Produktivitas rendah, tingkat produksi TBS hanya 50% rendemen CPO maksimal 18%
- f. Merusak mesin pengolah rendemen CPO.
- g. Mengambil pangsa pasar.
- h. Penurunan citra produsen benih resmi.
- i. Penurunan tingkat produksi CPO secara nasional.
- j. Sumberdaya alam, SDM dan modal tidak termanfaatkan secara optimal

Untuk mendapatkan Benih Kelapa Sawit Yang Baik dan Benar:

- a. Kecambah kelapa sawit dapat dipesan ke sumber benih kelapa sawit resmi (ditetapkan oleh pemerintah) dengan membawa Surat Persetujuan Penyaluran Benih Kelapa Sawit (SP2B-KS) yang diterbitkan oleh Ditjen Perkebunan/Dinas Perkebunan Provinsi/Kabupaten/Kota.

- b. Benih dalam polybag dapat dibeli dari penangkar benih resmi (memiliki Tanda Registrasi Usaha Perbenihan/TRUP) dan disertifikasi oleh UPTD Perbenihan Tanaman Perkebunan setempat.

7. Penilaian dan Penetapan Calon Kebun Sumber Benih

Sumber benih juga diharapkan lebih mendekatkan diri kepada konsumen dengan jalan menggalakkan program waralaba serta ikut bertanggung jawab bagi penyediaan bahan tanaman berkualitas untuk pekebun di wilayah yang berdekatan dengan kebun produksi benihnya. Produksi benih unggul melalui rangkaian proses yang saling berhubungan. Produksi benih unggul dimulai dari pembangunan kebun benih sumber sampai dengan benih tersebut dihasilkan. Untuk menghasilkan benih unggul bermutu dan berkualitas sesuai standar yang berlaku maka perlu dilakukan penetapan dan evaluasi kebun Benih Sumber. Penetapan kebun Benih Sumber dilaksanakan oleh instansi yang berwenang.

Sesuai Permentan 50/Permentan/KB.020/9/2015 tentang Produksi, Sertifikasi, Peredaran dan Pengawasan Benih Tanaman Perkebunan, pasal 11, bahwa kebun induk tanaman tahunan dan pohon induk terpilih dinilai kelayakannya oleh Tim akan ditindaklanjuti dengan penetapan sebagai kebun sumber benih melalui Keputusan Direktur Jenderal Perkebunan atas nama Menteri Pertanian. Dalam pelaksanaan penilaian penetapan kebun sumber benih kelapa sawit mengacu pada Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 321/Kpts/KB.020/10/2015 tanggal 30 Oktober 2015 tentang Pedoman Produksi, Sertifikasi, Peredaran dan Pengawasan Benih Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq), dengan permohonan ditujukan kepada Direktur Jenderal Perkebunan.

A. Penetapan kebun induk dan pohon induk untuk memproduksi benih kelapa sawit dilakukan melalui tahapan:

- a) Penetapan Tim,
- b) Penilaian kelayakan.

Penilaian kelayakan kebun tersebut dilakukan melalui tahapan: Pemeriksaan dokumen, pemeriksaan teknis atau lapangan, pembuatan laporan hasil pemeriksaan

- c) Penetapan kebun induk dan pohon induk.
- B. Tim dalam melakukan penilaian kebun induk dan pohon induk kelapa sawit dimaksud terdiri dari:
- Direktorat Jenderal Perkebunan yang menangani fungsi perbenihan;
 - Pemulia Tanaman dari Pusat/Balai Penelitian komoditi terkait.

Berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 11/Kpts/OT.050/2/2016 tanggal 29 Februari 2016 Tentang Tim Penilai Kebun Sumber Benih Tanaman Perkebunan, untuk komoditi kelapa sawit yang ditunjuk dalam keanggotaan Tim adalah pemulia tanaman kelapa sawit berasal dari Pusat Penelitian Kelapa Sawit.

- Pengawas Benih Tanaman (PBT) yang berkedudukan di Direktorat Jenderal Perkebunan, PBT yang berkedudukan di Balai Besar Perbenihan dan Proteksi Tanaman Perkebunan (BBPPTP) sesuai wilayah kerja, dan/atau PBT yang berkedudukan di UPTD Provinsi yang menyelenggarakan tugas dan fungsi pengawasan dan sertifikasai benih.

Selain anggota tim sebagaimana dimaksud di atas, tim dapat ditambahkan unsur dari Pejabat Dinas Perkebunan Provinsi dimana kebun tersebut berkedudukan dalam hal ini adalah Dinas Perkebunan Provinsi Riau dan/atau pejabat Dinas Perkebunan Provinsi Kabupaten Rokan Hulu.

- C. Dokumen yang dipersyaratkan dalam penilaian penetapan kebun induk dan pohon induk kelapa sawit adalah: surat permohonan, izin prinsip pembangunan kebun induk kelapa sawit, rekaman pembangunan kebun induk termasuk asal usul benih, SK pelepasan varietas, nota perjanjian kerjasama pembangunan kebun induk kelapa sawit antara pemilik varietas dengan perusahaan yang akan membangun kebun induk kelapa sawit, (jika kebun dibangun berdsarkan kerjasama), dokumen hak atas tanah, SDM yang dimiliki, peta per tanaman, rekaman pemeliharaan kebun.

Pemeriksaan teknis lapangan dilakukan terhadap kondisi kebun induk, pohon induk dura, pohon induk pisifera, teknis pemuliaan, reproduksi, pemrosesan benih, dan layanan purna jual.

BAB XV

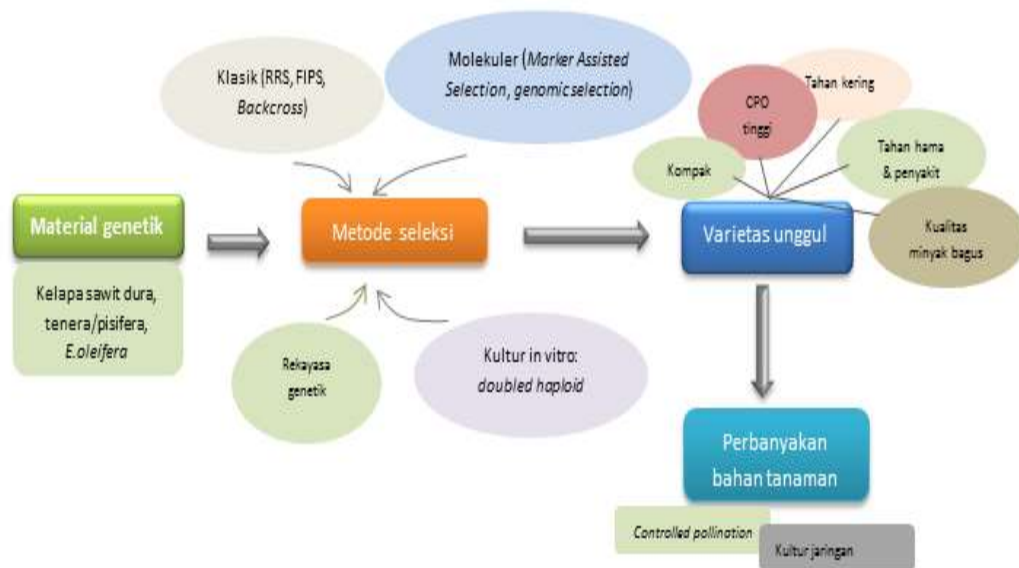
MERAKIT VARITAS UNGGUL TANAMAN KELAPA SAWIT

Perkembangan industri kelapa sawit Indonesia yang menakjubkan selama 20 tahun terakhir tidak terlepas dari peran bahan tanaman di dalamnya. Meski hanya berkontribusi 7-8% dari total biaya produksi, namun keberadaan bahan tanaman sangat menentukan berhasil atau tidaknya suatu perkebunan. Pemilihan bahan tanaman dengan kualitas unggul menjamin tingkat produksi yang stabil untuk masa ekonomi selama 25 tahun. Karakter unggul varietas kelapa sawit dapat dilihat dari mutu genetis (potensi hasil tinggi), mutu fisiologis (daya tumbuh), dan mutu morfologis (keseragaman dan higienitas benih).

Pemerintah Indonesia telah banyak merilis varietas kelapa sawit dengan berbagai karakter unggulan yang menyertainya. Varietas-varietas ini berasal dari produsen benih dalam negeri dan produsen luar negeri, yang umumnya berlokasi di wilayah Sumatera. Dengan kapasitas produksi ± 225 juta benih/tahun, dan pilihan yang semakin beragam, sebenarnya tidak ada alasan bagi pekebun untuk tidak menggunakan benih yang telah bersertifikasi secara resmi. Namun, kesulitan dalam distribusi dan akses untuk mendapatkan benih unggul masih sering terjadi khususnya di *remote area*, seperti area pengembangan di Kalimantan, Sulawesi, dan Papua. Upaya dari produsen benih melalui sistem waralaba bibit diharapkan mampu untuk mengurangi kesenjangan akses dalam mendapat benih kelapa sawit unggul. Bagaimana sebuah varietas unggul kelapa sawit dirakit? Perakitan varietas unggul kelapa sawit dilakukan melalui proses sangat panjang, tenaga ahli dari berbagai bidang ilmu, lokasi pengujian yang luas, dan biaya yang tidak sedikit. Kegiatan perakitan: memadukan antara teknologi, seni dan intuisi dalam proses persilangan, pengujian, seleksi, dan perbanyakan. Kegiatan perakitan varietas unggul dikenal sebagai aktivitas pemuliaan tanaman. Proses pemuliaan kelapa sawit, setidaknya ada 4 komponen menjadi persyaratan:

1. Material genetik dengan variasi sifat di dalamnya, dikenal sebagai populasi dasar;
2. Tujuan pemuliaan, yakni *ideotype* tanaman dengan karakter yang diinginkan;

3. Metode seleksi, cara menguji dan memilih individu/populasi untuk sifat yang diinginkan;
4. Reproduksi, metode perbanyakkan benih/bahan tanaman dari individu hasil seleksi.



Gambar 28. Skematis tahapan kegiatan pemuliaan tanaman kelapa sawit

1. Materi Genetik

Material genetik (Plasma nutfah): kunci utama dalam pengembangan program pemuliaan kelapa sawit. Saat ini, plasma nutfah kelapa sawit tersebar di areal komersial perkebunan kelapa sawit dan pusat-pusat riset kelapa sawit: Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), PT. Socfindo, PT London Sumatra Indonesia, PT Dami Mas Sejahtera (SMART Tbk.), PT Tunggal Yunus Estate (Asian Agri Group), PT Bina Sawit Makmur (PT Sampoerna Agro Tbk), dan PT Tania Selatan Group, serta beberapa calon produsen benih kelapa sawit. Plasma nutfah kelapa sawit terbagi dua yaitu sub heterotic group, dura dan pisifera (**Gambar 28**).

Empat benih kelapa sawit jenis dura yg diintroduksi oleh kolonial Belanda pada tahun 1848 di Kebun Raya Bogor, kemudian dikembangkan di daerah

Deli, Sumut menjadi populasi dasar hampir seluruh program pemuliaan kelapa sawit di dunia. Populasi ini dikenal sebagai dura Deli, yang memiliki karakter cangkang yang tebal, bobot tandan yang besar, dan jumlah tandan yang sedikit. Penemuan sifat ketebalan cangkang pada kelapa sawit pada 1941, yang berkorelasi dengan tingkat produksi minyak menjadi tonggak dasar untuk pelibatan populasi tenera/pisifera dalam program pemuliaan kelapa sawit. Populasi tenera/pisifera yang digunakan dalam pemuliaan kelapa sawit di Indonesia umumnya diintroduksi dari Afrika (Zaire, Kamerun, Nigeria, dan Pantai Gading). Populasi ini memiliki karakter cangkang yang tipis untuk tenera, non cangkang pada pisifera, bobot tandan yang rendah, dan jumlah tandan yang banyak. Kedua populasi, dura dan tenera/pisifera, memiliki sifat-sifat yang saling komplemen yang dibutuhkan dalam perakitan varietas unggul.

2. Tujuan Pemuliaan

Produksi minyak yang tinggi masih menjadi fokus utama dalam program pemuliaan kelapa sawit. Fokus lainnya adalah merakit varietas yang memiliki sifat ketahanan/toleransi terhadap penyakit, khususnya *Ganoderma*. Seiring dengan tuntutan konsumen yang menaruh perhatian kepada faktor kualitas minyak, tujuan pemuliaan juga diarahkan untuk merakit varietas dengan kandungan β -karoten dan asam lemak tak jenuh yang tinggi, dan tambahan komponen minor lainnya seperti tocopherol dan tocotrienol. Karakter-karakter yang memudahkan untuk panen, seperti tanaman dengan laju pertumbuhan meninggi yang lambat, tangkai tandan yang panjang, buah yang tidak mudah memberondol, dan perbedaan warna buah yang jelas antara tandan mentah dan tandan matang juga mulai menjadi perhatian para pemulia kelapa sawit.

3. Metode Seleksi

a. Metode klasik

Seleksi awal pada populasi dasar dilakukan dengan memilih individu terbaik berdasarkan karakter produksi minyak yang tinggi. Pemilihan individu berproduksi minyak tinggi dilakukan berdasarkan karakter

komponen hasil yang mudah diidentifikasi secara morfologi dan cepat dalam analisis laboratorium, seperti karakter persentase mesokarp pada buah. Karakter ini memiliki tingkat heritabilitas yang tinggi, selalu diwariskan dari tetua kepada turunannya. Individu-individu terpilih tersebut selanjutnya saling disilangkan untuk mengeksploitasi sifat-sifat terbaik mengikuti strategi seleksi yang telah ditetapkan. Dikenal dua strategi seleksi yang digunakan secara luas, yakni *reciprocal recurrent selection* (RRS), dan *family/individuals palm selection* (FIPS). RRS bertujuan untuk mengeksploitasi heterosis pada persilangan antara orijin-orijin tertentu. Material genetik pada strategi RRS dibagi menjadi dua grup heterotik, A dan B, yang memiliki sifat-sifat komplementer (melengkapi) di antara keduanya. Metode RRS memiliki keterbatasan dengan adanya *inbreeding depression* di masing-masing group (A dan B) sebagai akibat proses silang dalam (*selfing*) yang berulang kali.

Strategi FIPS bertujuan untuk menseleksi tetua berdasarkan nilai fenotipik dan daya gabung umumnya. Bila ada satu individu terpilih, maka individu lain yang masih dalam satu famili juga dapat dipilih. Di dalam setiap strategi pemuliaan, terdapat proses pengujian di lapang untuk mengetahui daya hasil dari persilangan antar tetua. Pengujian dilakukan dengan menanam hasil persilangan berdasarkan desain percobaan tertentu di berbagai lokasi. Pengujian dilakukan minimal 7 tahun, untuk mengetahui keragaan pertumbuhan saat masa belum menghasilkan (sekitar 3 tahun) dan keragaan produksi (tanaman menghasilkan, TM) selama 4 tahun. Pada masa pengujian ini, berbagai paramater seleksi diamati: hasil dan komponen hasil, toleransi terhadap penyakit, dan kualitas minyak yang dihasilkan. Persilangan terbaik dengan produksi minyak yang tinggi selanjutnya dipilih untuk diperbanyak. Perbanyak benih dari persilangan terbaik dilakukan melalui persilangan terkontrol (*controlled pollination*) dari kedua tetua, dan melalui teknik kultur jaringan.

b. Metode Molekuler

Metode yang lagi dikembangkan untuk mendukung pemuliaan kelapa sawit. Metode ini diarahkan untuk mencari marka molekuler di level DNA yang berasosiasi dengan karakter-karakter unggulan, sehingga kegiatan seleksi dapat dilakukan lebih awal, dan dapat mereduksi siklus seleksi. Penggunaan marka molekuler untuk membantu kegiatan seleksi dikenal sebagai *marker assisted selection (MAS)*. Untuk tanaman kelapa sawit, penelitian tentang metode ini lagi berjalan, perlu waktu penerapan. Pendekatan yang menjadi terobosan besar dalam pemuliaan tanaman : pembentukan populasi doubled haploid yang diperoleh dari hasil penumbuhan tepung sari (pollen) pada media kultur jaringan yang dikombinasikan dengan perlakuan hormon. Ide pembentukan populasi doubled haploid berdasar pada teori bahwa sifat heterosis pada F1 akan dapat dieksploitasi secara penuh bila tetua-tetua dari F1 tsb dalam kondisi homozigot. Meski beberapa permasalahan dalam vigor tanaman akan ditemui, seperti pertumbuhan yang kurang dan albino pada daun sebagai dampak dari berkumpulnya gen-gen yang resesif, namun teknologi ini memberikan harapan bagi pemulia untuk dapat merakit varietas dengan tingkat produksi mendekati potensial genetiknya. Teknologi alternatif lainnya adalah melalui proses rekayasa genetik.

Metode molekuler dapat mengubah susunan genetik pada tanaman yang berdampak kepada berubahnya jalur biosintesis untuk karakter yang diinginkan. Salah satunya melalui proses transformasi yakni penyisipan potongan DNA asing, yang telah diketahui efek genetiknya, yang disisipkan ke dalam rangkaian DNA dari populasi pemuliaan. Metode ini telah diterapkan pada komoditas jagung dan kedelai, khususnya untuk sifat ketahanan terhadap hama. Untuk kelapa sawit, penelitian tentang transformasi genetik telah diinisiasi oleh lembaga riset luar negeri, masih perlu waktu untuk memperoleh hasil yang stabil.

Salah satu kendala budidaya kelapa sawit adalah rendahnya produktivitas dengan rata-rata nasional 4 ton minyak/ha/tahun jauh dari potensinya yang dapat mencapai 18,5 ton minyak/ha/tahun. Pemuliaan

kelapa sawit secara konvensional sangat lambat dan perlu waktu panjang. Diperlukan 10-12 tahun hanya untuk menyelesaikan satu siklus pemuliaan. Aplikasi teknologi genomika melalui pemuliaan berbantuan marka dan rekayasa genetika mempercepat siklus pemuliaan, mengurangi luas lahan untuk uji daya hasil, dan mempercepat pelepasan varietas unggul kelapa sawit. Perbanyakkan individu tanaman unggul terpilih dengan teknik kultur *in vitro* menjamin penggunaan bibit yang seragam di lapang. Teknologi rekayasa genetika potensial digunakan untuk perbaikan bahan tanaman kelapa sawit dengan kualitas dan gizi minyak tinggi serta produk kelapa sawit yang dapat digunakan sebagai bioplastik. Resekuensing tiga genotipe kelapa sawit Indonesia menghasilkan jutaan variasi genom sebagai sumberdaya pemuliaan bernilai tinggi untuk percepatan program pemuliaan kelapa sawit nasional. Teknologi genomika dan rekayasa genetika sangat potensial diaplikasikan di Indonesia mendukung program perbaikan produktivitas dan mutu minyak kelapa sawit nasional.

Analisis marker molekuler dapat menunjukkan bahwa partisi varians dalam program pemuliaan ini lebih tinggi di antara kelapa sawit dalam setiap keturunan daripada di antara dua kelompok kelapa sawit.

4. Perbanyakkan Bahan Tanaman

a. *Controlled pollination*

Setelah proses seleksi yang menghasilkan galur-galur terbaik, dilanjutkan dengan proses perbanyakkan bahan tanaman. Proses ini melibatkan tetua dura dan tetua pisifera dari persilangan yang terpilih, melalui *controlled pollination*. Bunga betina dari tetua dura diisolasi sebelum anthesis dengan menggunakan kantung kertas khusus polinasi. Selanjutnya, tepung sari dari tetua pisifera diserbukkan ke bunga betina saat masa anthesis. Sekitar 145-150 hari setelah penyerbukan, tandan sudah dapat dipanen untuk memperoleh benih kelapa sawit hasil reproduksi. Dalam proses reproduksi ini, pengawasan yang ketat harus dilakukan di semua lini untuk menjamin

bahwa benih yang dihasilkan adalah murni hasil persilangan dura (D) dan pisifera (P) terpilih.

b. Tissue Culture

Kultur jaringan mempunyai dua kontribusi penting dalam pemuliaan sawit yaitu untuk pembiakan massal secara vegetatif dan untuk regenerasi jaringan yang telah ditransform oleh gen pengendali sifat tertentu dalam proses rekayasa genetika. Keberhasilan penerapan teknologi ini telah dilaporkan sejak pertengahan 1970-an. Saat ini sekitar 20-an laboratorium kultur jaringan di seluruh dunia berpacu dalam perbaikan dan up scaling proses kultur jaringan, menghasilkan rata-rata 10,000 – 200,000 plantlet per tahun. Teknik ini menggunakan pupus (daun muda) dari individu-individu hasil seleksi sebagai sumber ortet. Potongan pupus ditumbuhkan dalam rangkaian media padat atau cair, yang mengandung zat tumbuh. Perlu waktu cukup lama, ± 18 bulan hingga diperoleh plantlet kelapa sawit. Keunggulannya: bibit kelapa sawit yang dihasilkan memiliki pertumbuhan seragam dan tingkat produktivitas yang lebih tinggi.

5. Pelepasan Varietas

Dalam perbanyakan bahan tanaman, setiap bahan tanaman kelapa sawit yang akan dilempar ke pasaran perlu izin resmi dari pemerintah. Oleh karena itu, setiap lembaga harus mengajukan proposal pelepasan varietas sebelum benih yang dihasilkan dijual ke publik. Pemerintah melalui Tim Penilai dan Pelepas Varietas akan menguji, menilai, dan memberi rekomendasi kelayakan varietas yang diajukan. Pelepasan varietas mencakup verifikasi pengujian keturunan di lapangan, kesiapan produksi benih, dan proses pemaparan oleh pengusul di depan sidang pelepasan varietas.

6. Manfaat Pemuliaan Kelapa Sawit

Produktivitas CPO dapat ditingkatkan lebih lanjut sebanyak 8-10 ton/ha: dengan menggunakan germplasma unggul yang diperoleh melalui seleksi dan program pemuliaan tanaman yang panjang dengan menggunakan seleksi, metode screening DNA atau teknologi transgenik. Sehingga tidak diragukan

bahwa kombinasi program pemuliaan tanaman dengan manajemen yang lebih baik dan metode pengolahan yang lebih efisien dapat memberikan produktivitas lebih dari 20 ton/ha minyak pada masa mendatang. Di Malaysia telah dikenal pasti beberapa pohon memiliki produktivitas tinggi yang dapat diperbanyak secara klon tanpa kehilangan produktivitas TBS. Secara teoritis beberapa populasi dapat menghasilkan 60 ton/ha. Sehingga kelapa sawit memiliki potensi besar tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan pasar minyak nabati tetapi juga berfungsi sebagai sumber industri non makanan berupa produk Oleokimia. Pemulia telah mengambil pendekatan strategi terintegrasi. Selama satu dekade terakhir telah mengidentifikasi beberapa pusat plasma nutfah di Afrika dan Amerika Selatan asal domestikasi jenis kelapa sawit, *Elaeis guineensis* dan *Elaeis oleifera*.

Sejak tahun 2008 konsorsium dari 12 perusahaan Indonesia dan Malaysia telah melakukan eksplorasi ke Kamerun dan memperoleh 103 aksesi yang memiliki keragaman genetik yang tinggi. Material genetik yang diperoleh tentu masih memerlukan waktu untuk dapat digunakan menghasilkan varietas komersial. Pengalaman pemuliaan Deli Dura sehingga mencapai kualitas seperti saat ini menunjukkan bahwa dibutuhkan eliminasi dari sifat-sifat genetik yang kurang menguntungkan dengan melakukan rekombinasi intra dan inter populasi. Seleksi massa, negatif maupun positif, dilakukan terhadap karakter-karakter yang oleh masing-masing breeder diperkirakan akan memberikan keuntungan di masa mendatang. Sebagai contoh salah satu jenis *Elaeis oleifera* mempunyai kandungan lebih 65% oleat. Koleksi ini dan lainnya sering dievaluasi dan diteliti dengan menggunakan metode konvensional, molekular genetik maupun menggunakan biokimia. Penggunaan molecular marker sangat penting dalam program pemuliaan tanaman yang berkesinambungan untuk menghasilkan kombinasi perubahan profil asam lemak dan produktivitas minyak yang tinggi. Strategi kedua yang dilakukan adalah diversifikasi komposisi asam lemak bebas dengan melibatkan transformasi genetik (transgenik) untuk memodulasi jalur biosintesis yang relevan.

Teknologi (transgenik) melibatkan penambahan gen baru atau menekan aktivitas gen yang terlibat dalam metabolisme asam lemak. Strategi saat transformasi genetik melibatkan penggunaan RNA antisense dan mengatur gen thioesterase sehingga memungkinkan asam palmitat menjadi memanjang. Untuk memperoleh asam oleat tinggi untuk eksploitasi komersial cukup menggunakan promotor gen jaringan khusus, pendekatan serupa dapat digunakan untuk memanipulasi komposisi asam minyak kernel kelapa sawit. Sebagai contoh, pemilihan salah satu *Plasto* transgen dapat meningkatkan efisiensi ekspresi serta memfasilitasi bio-containment minyak sawit tanaman hasil transgenik. Transformasi melalui vektor *Agrobacterium* paling efisien juga sedang diselidiki.

Inovasi lain adalah RNAi untuk menekan fungsi gen yang tidak diinginkan. Teknologi ini telah berhasil digunakan untuk menutup beberapa gen dalam metabolisme asam lemak. Upaya saat ini sedang berlangsung dalam beberapa kelompok untuk menghasilkan minyak sawit transgenik dengan oleat tinggi, tetapi hasil ini diprediksi dapat dinikmati secara massal pada tahun 2020 an. Pada waktu bersamaan, pendekatan pemuliaan secara konvensional dan koleksi plasma nutfah terus ditingkatkan untuk menemukan variasi genetik baru dari pusat-pusat asal tanaman. Selain itu jalan lebih spekulatif adalah melalui penelitian genetika molekuler untuk meningkatkan produk asam lemak yang diinginkan. Selama beberapa dekade terakhir, Pemulia tanaman (*breeders*) telah menggunakan teknologi reproduksi dengan menggunakan DNA berbasis molekuler, kultur jaringan dan penerapan genomik dan proteomics.

Kemajuan dalam bioteknologi tanaman, khususnya biologi molekuler akan memberikan peluang untuk mengatasi dan memecahkan masalah pada pemuliaan tanaman. Dalam pemuliaan molekuler dapat mengatasi kendala yang terkesan sulit untuk menyeleksi sifat-sifat jenis unggul dalam populasi, karena kerumitan sifat genetik yang berinteraksi dengan faktor lingkungan. Dengan kemajuan iptek dibidang biologi molekuler telah memberikan peluang untuk mengatasi keterbatasan dalam pemuliaan tanaman secara konvensional, sehingga dalam pemuliaan dapat diketahui dan dilakukan, antara lain: 1)

Identifikasi dan penentuan letak gen 2) Pemindahan gen tak terbatas 3) Peningkatan pemahaman proses genetik dan fisiologi tanaman. 4) Perbaikan diagnosis penyakit dengan metode molekuler. 5) Pengaturan produksi protein pada tanaman sereal dan kacang-kacangan untuk meningkatkan gizi. 6) Memudahkan dalam menghasilkan dan menyeleksi tanaman tahan hama, penyakit dan cekaman lingkungan. 7) Memudahkan dalam menghasilkan dan menyeleksi tanaman tahan hama, penyakit dan cekaman lingkungan. 8) Memungkinkan dilakukannya transformasi, konstruksi dan ekspresi genetik melalui teknologi DNA. Dengan biologi molekuler juga digunakan untuk mengembangkan rekayasa genetika yang dapat menciptakan tanaman transgenik secara kloning (*moleculair cloning*). Beberapa contoh tanaman transgenik yang sudah berhasil diciptakan : 1) Tanaman transgenik toleran salin 2) Tanaman transgenik tahan kekeringan 3) Tanaman transgenik resisten hama dan lain-lain. Perakitan tanaman transgenik tahan hama merupakan teknologi alternatif yang dapat dipakai dalam pengendalian hama. Meskipun terdapat kontroversi tentang tanaman transgenik tahan hama, area tanaman transgenik tahan hama secara global terus meningkat. Perakitan tanaman transgenik merupakan kegiatan yang memerlukan dana besar, tenaga peneliti berkualitas, serta fasilitas yang mahal sehingga selayaknya kegiatan ini diprogramkan dengan sebaik-baiknya. Secara teknis, perakitan tanaman transgenik memerlukan kerja sama beberapa peneliti dengan disiplin ilmu yang berbeda, antara lain entomologi, kultur jaringan, biologi molekuler, dan pemuliaan tanaman.

BAB XVI

TEKNIK BUDIDAYA TANAMAN KELAPA SAWIT

1. Studi Kesesuaian Lahan

Pada saat ini, Perkebunan kelapa sawit telah berkembang lebih jauh sejalan dengan kebutuhan manusia akan minyak nabati dan produk industri oleochemical. Para pekebun berusaha mengembangkan industri sawit tidak hanya menggunakan varietas varietas unggul yang berhasil dirakit para pemulia, tetapi juga berusaha untuk memperluas area Perkebunan kelapa sawit untuk dapat dikelola dan menghasilkan produktivitas yang tinggi. Sebelum suatu lahan dibuka untuk suatu perkebunan terlebih dahulu dilakukan studi kesesuaian lahan (tanah dan iklim). Berdasarkan syarat-syarat lingkungan tumbuh tanaman kelapa sawit (Tabel 13). Tingkat kesesuaian atau kelas tanah menentukan tingkat penerapan teknik budidaya, biaya produksi, dan proyeksi hasil (Tabel 14).

Tabel 13. Kesesuaian iklim untuk kelapa sawit

Uraian	Norma	Keterangan
Suhu kisaran; rata-rata optimum	18 – 32°C; 24 – 28 °C	Tumbuh baik dengan selang suhu tsb. Di atas atau di bawah selang suhu tsb, produktivitas akan lebih rendah karena rendahnya proses asimilasi, gagalnya perkembangan bunga dan pematangan buah.
Kelembaban relatif (RH)	> 75%	Kelembaban udara yang rendah memperlambat pertumbuhan dan pembentukan bunga, sedang pada kelembaban yang tinggi, tanaman rawan terhadap serangan penyakit.
Rata-rata curah hujan tahunan (dengan penyebaran merata)	2000 – 2500 mm	Data curah hujan bulanan dan jumlah hari hujan sangat penting karena berhubungan dengan sifat tanaman yang berbuah sepanjang tahun. Fluktuasi curah hujan secara langsung berkorelasi erat dengan fluktuasi hasil dari bulan ke bulan.
Intensitas cahaya	5 – 7 jam/hari	Kawasan dengan curah hujan yang terlalu tinggi, akan mengurangi intensitas cahaya, sehingga

		produktivitas kelapa sawit akan rendah.
--	--	---

Tabel 14. Kriteria lahan untuk budidaya kelapa sawit menurut kelasnya (berdasarkan sifat fisik tanah dan iklim)

Iklim & sifat fisik tanah	Kriteria Lahan			
	Baik (kelas I)	Sedang (kelas II)	Kurang baik (kelas III)	Tidak baik (kelas IV)
Tinggi (m dpl)	25 – 200	200 – 300	300 – 400	< 25; > 400
Topografi	Datar – berombak	Bergelombang	Berbukit	curam
Lereng (%)	0 – 15	16 – 25	25 – 36	> 36
Solum (cm)	> 80	80	60 -80	< 60
Dalam air (cm)	> 80	60 – 80	50 – 60	40 – 50
Tekstur	Lempung + Liat	Lempung + pasir	Pasir + lempung + liat	Pasir
Organik (cm)	5 – 10	5 – 10	5 -10	< 5
Bantuan	Dalam	Dalam	Dalam	Menghambat pertumbuhan akar
Erosi	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Sedikit
Drainasi	Baik	Baik	Agak Baik	Agak baik
Banjir	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Sedikit
Pasang surut	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Sedikit

2. Penyediaan Bahan Tanaman

Kriteria bibit yang baik meliputi:

- kualitas: germinated seed (GS) atau kecambah bersertifikat yang dikeluarkan lembaga yang dipilih pemerintah yaitu: Pusat Penelitian mariat, BPP Medan dan PT Spcfindo Indonesia karena menyediakan bibit siap salur yang superior. Hati-hati terhadap penjualan bibit yang tidak jelas asal-usulnya atau bersertifikat palsu atau bibit sapuan dari kebun produksi.
- Kuantitas: pemesanan bibit harus dilakukan 1 tahun dari penanaman karena mengantisipasi permintaan yang banyak dari semua kebun. Produsen bibit bersertifikat menerima pemesanan dalam partai besar, biasanya dalam jumlah ratusan ribu untuk areal yang luas. Bagi perkebunan rakyat permintaan sebaiknya secara berkelompok atau melalui koperasi.

Varietas hibrida hasil perbanyakan secara generatif. Dura x Pisifera atau Tenera. Sejak tahun 1990 telah mulai diuji lapangan 16 klon sebagai varietas

hasil perbanyakan secara vegetatif (melalui kultur jaringan). Saat ini terdapat 26 pesilangan D x P alternatif bibit hasil pengembangan teknologi pembibitan yang memiliki potensi untuk dikembangkan secara komersial. Pengembangan varietas unggul baik secara generatif maupun secara vegetatif telah mulai digunakan teknik bioteknologi (kultur jaringan). Produsen bibit lainnya: Sinarmas Group, Asian Agri Group, Sampoerna Group, dll.

3. Pembibitan

Seleksi lokasi pembibitan:

Beberapa persyaratan yang sebaiknya dimiliki oleh calon lahan antara lain: dekat dengan sumber air dan bebas dari banjir, datar sampai agak bergelombang, dekat dengan areal untuk penanaman dan mudah dijangkau, tanahnya cukup top soil, subur, dan gembur, letaknya berdekatan dengan sumber tenaga kerja, perencanaan luas bibitan disesuaikan dengan rencana penanaman, saluran air.

a. Pembibitan Pre Nursery:

Petakan bedengan persemaian/pembibitan pendahuluan berukuran 8 m x 11,2 m, dalam satu satuan naungan terdapat 4 – 6 petakan. Setiap petakan memuat 1000 bibit (kecambah). Kecambah ditanam dalam kantong plastik berukuran 14 cm x 22 cm dengan tebal 0,1 mm. sebelum dilubangi dengan diameter 0,5 cm sebanyak 12 lubang. Tanah yang digunakan sebagai media tanam adalah tanah berasal dari lapisan atas (*top soil*). Tanah tersebut terlebih dahulu disaring dengan saringan kurang lebih 1 cm. Satu hari sebelum waktu penanaman, kantong plastik yang telah berisi tanah disiram agar pada waktu penanaman dapat dipadatkan.

Pemeliharaan: meliputi penyiraman, pemupukan, pengendalian hama dan penyakit, penjarangan naungan. Penyiraman dilakukan dua kali dalam satu hari jika tidak hujan. Pemupukan dengan menggunakan urea atau pupuk majemuk dengan dosis 2 g/liter air. Setelah bibit berumur 2,5 – 3 bulan naungan perlu dihilangkan, agar bibit dapat beradaptasi. Demikian pula

seleksi di persemaian pendahuluan dimulai saat tanaman berumur 2,5 – 3 bulan.

b. Pembibitan main Nursery

Pekerjaan yang perlu dipersiapkan di pembibitan utama adalah penyediaan air untuk penyiraman, pemasangan pipa saluran air 2 – 3 bulan sebelum bibit dipindahkan ke pembibitan utama. Jarak tanam di pembibitan utama 85 cm x 85 cm x 85 cm, sistem segitiga sama sisi. Kantong plastik yang digunakan berukuran 40 cm x 50 cm dengan tebal 0,2 mm, dibuat lubang perforasi berdiameter 0,5 cm dengan jarak 5 cm x 10 cm. Tanah yang digunakan berasal dari lapisan tanah atas.

c. Persiapan penanaman dan menanam:

- Ukuran dan mutu *polybag*: *polybag* yang digunakan berwarna hitam, dengan ukuran 50 cm x 40 cm dengan ketebalan 0,2 mm. Mutu plastik untuk *polybag* harus yang baik, sehingga sampai dengan 12 bulan di lapangan *polybag* masih cukup kuat, tidak pecah untuk menahan perlakuan-perlakuan selama pemindahan bibit ke lapangan.
- Membuat lubang *polybag*: untuk setiap *polybag* terdapat 36 lubang dengan diameter 0,3 cm. Lubang tersusun dibuat sebagai berikut: setiap *polybag* terdiri dari 3 baris lubang yang perbaris dari 6 lubang. Jarak antar lubang 10 cm dan paling bawah di ambil 5 cm dari tepi bawah sehingga bila *polybag* dibuka dan isi tanah, lubang terbawah menjadi lubang didasar *polybag*. Jarak lubang dengan barisan 5 cm. lubang pertama dan terakhir 5 cm dari tepi plastik.
- Penanaman dalam kantong plastik caranya dengan membuat lubang tanam sebesar kantong plastik di persemaian pendahuluan dengan menggunakan alat ponjo. Kantong plastik kecil diiris dengan silet pada kedua belah sisinya, dijaga agar bulatan tanah tidak pecah. Bibit beserta tanah yang dimasukkan ke dalam lubang yang telah dibuat dan ditempatkan pada posisi yang baik.

d. Pemeliharaan:

- Penyiraman, penyiangan, pemupukan, pengendalian hama dan penyakit serta seleksi bibit. Penyiraman dilakukan 2x sehari (pagi dan sore) jika curah hujan kurang dari 10 mm. penyiangan dilakukan terhadap gulma di dalam kantong plastik dan di petakan pembibitan.
- Pada saat penyiangan sekaligus dilakukan penggemburan tanah. Rotasi penyiangan dilakukan 2 minggu sekali. Pemupukan bibit dipembibitan utama dilakukan 2 minggu setelah pemindahan dari persemaian pendahuluan. Pemberian pupuk selang 2 minggu, caranya pupuk ditaburkan secara merata di atas permukaan tanah dalam kantong plastik. Pupuk jangan sampai mengenai leher batang bibit. Rekomendasi pemupukan di pembibitan utama disajikan pada **Tabel 15**.

Tabel 15. Rekomendasi pemupukan dan pembibitan utama kelapa sawit

Umur (minggu)	Dosis (gram/pohon)				
	Urea (N)	Rp (P)	MOP (K)	Kleserite (Mg)	Total Campuran
18, 20	1,82	1,36	1,36	0,46	5,0
22, 24, 28	3,64	2,73	2,73	0,90	10,0
30, 32, 34, 36	5,45	4,09	4,09	1,37	15,0
38, 40, 42, 44	7,27	5,45	5,45	1,83	20,0
46, 48	10,91	8,17	8,17	2,75	30,0

4. Perhitungan Kebutuhan Bahan Tanaman

Kerapatan tanaman di lapangan untuk 1 ha = 136 pohon/ha. Sulaman 10% sehingga jumlah bibit diperlukan 150 pohon/ha. Jumlah bibit afkir di main nursery sekitar 20% (serangan hama/penyakit, tumbuh kurang baik dan rusak dalam pengangkutan). Seleksi awal pre nursery diperkirakan 15%. Dalam 1 ha main nursery menghasilkan bibit 16.400 bibit. Jumlah ini diperkirakan cukup untuk 100 ha penanaman di lapangan. Pengelolaan pembibitan secara berkelompok lebih menghemat lahan dan biaya pemeliharaan daripada dilakukan sendiri-sendiri per petani.

- **Seleksi bibit:** Untuk mendapatkan bibit yang baik dan mengurangi biaya pemeliharaan di pembibitan utama. Bibit yang diafkir adalah bibit yang

tumbuh tegak dan kaku, sudut pelepah dengan batang kecil, pelepah muda lebih pendek dari pelepah tua, bibit tumbuh lemah, terserang penyakit dengan intensitas berat, bentuk anak daun tidak sempurna. Seleksi bibit dilakukan pada umur 4 – 8 bulan dan pada saat dipindahkan ke lapangan.

- **Persiapan areal dan penanaman**

Kegiatan terdiri dari: merintis dan mengukur, pembukaan areal, pemberantasan alang-alang, penanaman penutup tanah, pengajiran, pembuatan petakan, pembuatan lubang tanam. Bersamaan dengan kegiatan tersebut, biasanya dilakukan pembuatan jalan dan sarana penunjang lainnya.

- a. Merintis dan mengukur: Kegiatan survei di lapangan untuk mengetahui: bentuk areal, batas-batas areal, topografi tanah, jenis vegetasi dan keadaan lapangan lainnya sebagai pedoman perencanaan kegiatan selanjutnya dalam bentuk peta yang lebih terinci daripada peta dasarnya.
- b. Pembukaan Areal: Kegiatan awal dalam pembukaan areal adalah tebas-babat semak belukar dan pepohonan yang berdiameter < 5 cm, bertujuan untuk membersihkan areal sehingga tahap kegiatan selanjutnya dapat dilakukan dengan lebih mudah. Penebangan pepohonan dengan gergaji mesin (chain-saw), gergaji tangan dan kapak. Pemotongan batang dan perancahan dahan dan ranting. Perumpukan dahan dan ranting yang telah kering. Pembongkaran tunggul pohon jika perlu dan mungkin. Metode tanpa bakar: perumpukan dan pembongkaran tunggul secara mekanisasi (alat-alat berat dozer dan excavator).
- c. Pemberantasan alang-alang: Areal yang terbuka merangsang pertumbuhan alang-alang yang cepat, sehingga perlu pengendalian alang-alang sedini mungkin. Secara kimiawi dengan menggunakan bajak dan garu, atau herbisida seperti Dowpon-M dan roundup.
- d. Penanaman penutup tanah: Untuk mencegah erosi permukaan dan pertumbuhan alang-alang diperlukan penutup tanah. Pada keadaan

demikian perlu dilakukan penanaman tanaman penutup tanah (LCC). Penanaman penutup tanah (benih dengan dosis 14 kg/ha): 4 kg *Pureria javanica*, 6 kg *Calopogonium mucunoides*, 4 kg *Centrosema pubescent*. Penanaman dilakukan dengan menggunakan sistem larikan: dengan mencangkul dangkal sedalam mata garu(5-10cm), benih ditabur dalam larikan tsb, kemudian ditimbun kembali. Tanaman penutup tanah dipelihara dengan cara pemupukan dan pemurnian tanaman penutup tanah dengan cara membersihkan dari gulma yang dilakukan secara manual. Pemurnian dilakukan secara intensif terutama pada saat tanaman penutup tanah belum menutup sempurna.

- e. Pengajiran: Untuk mendapatkan pertanaman yang teratur, sebelum penanaman bibit di lapangan dilakukan pengajiran. Hal ini berguna dalam menentukan di mana bibit akan ditanam serta di mana bibit akan ditanam serta di mana jalan dan sarana lainnya akan dibuat. Kerapatan tanamannya menggunakan sistem tanam segi tiga sama sisi. Jika jarak tanam 9,0 x 9,0 x 9,0 m maka jarak antar baris adalah 7,79 m dan kerapatan tanamnya/ha adalah 143 tanaman/ha.
- f. Pembuatan petakan: Pada areal yang merupakan tebing-tebing yang cukup terjal, untuk mengurangi erosi, dibuat sistem teras: teras individu dan teras bersambung. Teras individu berbentuk tapal kuda dengan panjang 4 m dan lebar 3 m dengan ujung berbentuk setengah lingkaran. Teras bersambung umumnya dibuat dengan mengikuti garis kontur dengan jarak antar kontur sekitar 2 m. Teras individu merupakan petakan di mana bibit akan ditanam. Petakan dibuat dengan jalan mencangkul (menggali tanah sebelah atas ajir dan ditimbunkan ke bagian bawahnya, sehingga dapat terbentuk tanah yang datar.
- g. Pembuatan lubang tanam: Lubang tanam dibuat pada ajir-ajir. Lubang tanam berukuran 60 cm x 60 cm x 60 cm pada segitiga atas dan 40 cm x 40 cm x 40 cm pada bagian dasarnya kedalaman 60 cm.

h. Penanaman bibit: Seminggu sebelum tanam dilakukan pemutusan akar-akar bibit yang keluar dari kantung plastik. Dasar kantung plastik dan salah satu pinggirannya ditoreh dengan pisau atau silet. Dimasukkan bersama-sama ke dalam lubang tanam. Setelah berada di lubang tanam, kantung plastik dilepaskan secara hati-hati dan dikeluarkan dari lubang tanam. Penimbunan secara bertahap, sub soil kemudian top soil. Tanah di sekitar bibit dipadatkan dengan cara menginjak-injak dengan hati-hati. Leher akar diusahakan tepat berada pada permukaan tanah. Pada saat penanaman dilakukan pemupukan dengan pupuk *Rock Phosphate* (RP) sebanyak 500 g/lubang tanam. Setengah bagian dimasukkan ke dasar lubang dan sisanya dicampur dengan top soil.

- **Pemeliharaan**

Sensus pokok, penyulaman, pemupukan, pengendalian hama/penyakit, pengendalian gulma, kastrasi, penunasan, pemanfaatan limbah.

5. Strategi pemupukan

Beberapa strategi pemupukan yang perlu dilakukan yaitu: tepat jenis (memilih kombinasi jenis pupuk berdasarkan komposisi unsur hara utama dan tambahan, memilih berdasarkan sifat kelarutan dan sifat tanahnya), tepat waktu dan frekuensi (ditentukan oleh iklim/CH, sifat fisik tanah, logistik pupuk, adanya sifat sinergis dan antagonis antar unsur hara), tepat cara (ditentukan berdasarkan jenis pupuk, umur tanaman, jenis tanah), dan tepat dosis (pada TBM vs TM; diagnosis visual dan secara kimia, yakni analisis tanah, analisis daun). Pemanfaatan limbah sebagai penyedia hara. Penetapan dosis pada TBM berdasarkan analisis tanah dan umur tanaman (untuk meningkatkan pertumbuhan vegetatif). Pada TM berdasarkan analisis daun (untuk produksi buah) jenis pupuk tunggal, majemuk, slow releases; organik (terutama limbah) dan anorganik. Cara melalui tanah (tebar, larikan), melalui daun, ketiak pelepah, akar (infus). Penentuan waktu dan frekuensi menurut iklim (curah hujan), tanah, pengadaan pupuk, sifat sinergis dan antagonis antar unsur hara.

Cara pemupukan:

- b. Penyebaran secara merata pada lingkaran luar dan dalam batang.
- c. Penempatan pupuk pada jalur lingkaran.
- d. Penempatan pupuk pada larikan (lubang memanjang) mengelilingi pokok dan pupuk ditanamkan dalam larikan yang ditimbun lagi dengan tanah.
- e. Pemupukan melalui daun.
- f. Pemupukan melalui ketiak pelepah (pupuk Borate, pada daun ke-9 – ke-17).
- g. Pemupukan melalui infus akar (unsur mikro).
- h. Faktor Biotik: hama, penyakit, dan gulma

Hama yang umumnya menyerang tanaman kelapa sawit adalah serangga (kumbang malam, kutu daun, belalang dan ulat api) pada tahap pembibitan. Untuk menanggulangi hama ini adalah dengan menggunakan insektisida dengan sangat hati-hati karena bibit peka terhadap bahan-bahan kimia. Selain serangga, juga jenis hama mamalia seperti landak, gajah, babi dan tikus pada tanaman muda dan pohon dewasa. Untuk menanggulangi jenis hama mamalia ini adalah dengan menggunakan pestisida, mekanis, biologis (burung hantu untuk tikus). Berbagai jenis hama tersebut dapat dengan cepat tersebar dari suatu areal kebun ke areal lainnya. Keadaan yang demikian menghendaki adanya upaya pengendalian hama secara berkelompok dari petani-petani sehamparan.

Beberapa jenis penyakit yang menyerang tanaman kelapa sawit diantaranya Anthracnose (yang menunjukkan gejala daun membusuk, berwarna kelabu dan sangat rapuh), Helminthosporium (gejalanya bercak pada daun), Phytophthora (gejala daun berwarna kecoklatan), dll ditanggulangi dengan cara menggunakan fungisida pada umumnya.

Gulma yang biasa diatasi pada tanaman kelapa sawit umumnya adalah alang-alang dan pakis-pakisan. Jenis alang-alang seperti cynodon, cyperus dan beberapa jenis rumput-rumputan (berdaun sempit) dan jenis gulma Mikania micrantha, Eupatorium odoratum, Boreraria alata (berdaun lebar), serta jenis paku-pakuan, secara manual dapat ditanggulangi dengan cara membabat dan kored, serta secara kimia dengan herbisida. Jenis herbisida

yang digunakan disesuaikan dengan kelompok spesies pada areal yang sangat luas.

- i. Kastrasi: adalah membuang bunga pada tanaman kelapa sawit. Keuntungannya pada tanaman kelapa sawit antara lain: untuk merangsang pertumbuhan vegetatif dan menghemat penggunaan unsur hara dan air, untuk menyeragamkan pembungaan, dan untuk menciptakan kondisi tanaman yang bersih sehingga dapat mengurangi serangan penyakit busuk buah. Kastrasi masih dilakukan sampai sekitar 6 bulan sebelum panen pertama.
- i. Penyulaman: Beberapa gejala visual tanaman yang tumbuh tidak normal di lapangan dan perlu disulam antara lain: pertumbuhan pelepah daun berputar (*twisted frond*), tanaman memperlihatkan gejala bercak orange (*orange spotting*), helaian daun melengkung berputar ke bawah, sebagian daunnya membusuk, susunan anak daun pada pelepah sempit memanjang (*narrow leaves*), susunan anak daun sangat rapat seperti sirip ikan, pohon kerdil atau kurus akibat terserang penyakit, tanaman bertunas atau bercabang (*viviparous*), anak daun keriting kusut (*wrinkled*).
- k. Penunasan: dilakukan dengan tujuan: sanitasi tanaman untuk mencegah serangan cendawan *Marasmius sp.* tikus dan tumbuhnya pakis, untuk menghindari tersangkutnya brondolan, untuk memudahkan pengamatan terhadap buah matang, untuk memperlancar proses penyerbukan alami, untuk merangsang pembungan dan perkembangan buah, dan untuk memudahkan pelaksanaan panen.

6. Panen

Pemanenan kelapa sawit, memotong tandan buah masak, memungut brondolan serta mengangkut buah dan brondolan ke tempat pengangkutan hasil (TPH). Buah dan brondolan yang terkumpul di TPH diangkut ke pabrik untuk diolah.

a. Persiapan Panen

- persiapan kondisi areal, yaitu mutasi TBM ke TM, perbaikan jalan dan jembatan, pemangkasan daun dan buah pasir, pembersihan piringan,

pasar tikus dan rintis malang/tengah; satu pasar/jalan tikus/pikul selebar 1 m searah dengan arah barisan tanaman utara-selatan untuk setiap 2 barisan tanaman, pemasangan titian panen, pembuatan TPH (3 m x 5 m untuk areal 2 ha), pembuatan tangga-tangga dan tapak kuda untuk areal berbukit.

- Penyediaan tenaga kerja: kebutuhan tenaga panen harus mengacu pada kebutuhan tenagapada saat panen puncak.
 - Peralatan kerja berbeda berdasarkan tinggi tanaman: alat potong TBS (dodos kecil dan besar, pisau dan bambu egrek, batu asah, kapak), alat bongkar muat (gancu, tojok), alat angkut TBS ke TPH (angkong, keranjang, goni, pikulan).
- b. Organisasi panen: Jumlah tenaga potong buah per mandoran 20-25 orang. Jumlah mandoran per afdeling 1000 ha, maksimal 3 mandoran. Mandor panen menentukan hanca setiap pemanen (jika sistem hanca tetap). Sistem penghancaan panen ada 3: hanca giring murni, hanca giring tetap per mandoran, hanca tetap.
 - c. Kriteria panen: suatu areal dapat dipanen jika 60% dari seluruh pokok yang hidup dalam areal sudah mencapai matang panen, sebagian buah sudah membrondol secara alamiah, dan bobot tanda rata-rata sudah mencapai 3 kg.
 - d. Kriteria mutu buah dan potong buah: kualitas potong buah dan kualitas buah adalah kualitas pekerjaan panen, pengawasan, pemeriksaan hasil panen. Buah dikatakan masak jika terdapat dua brondolan yang lepas per kg TBS.
 - e. Kerapatan panen: perkiraan jumlah pohon yang dapat dipanen dari seluruh pohon yang ada dalam blok, dihitung secara acak dari sejumlah pohon tertentu dalam blok tsb. Pekerjaan tsb disebut taksasi produksi. Pohon yang dapat dipanen, dengan kriteria 2 brondolan per kg tandan buah sudah jatuh ke tanah, diamati untuk semua pohon contoh. Taksasi produksi adalah penyediaan TK dan angkutan buah.

- f. Rotasi panen: selang waktu antara satu panen dan panen berikutnya dalam satu kapel panen tertentu. Kapel adalah luasan areal yang dipanen dalam sekali panen oleh beberapa pemanen. Setiap afdeling biasanya dibagi menjadi beberapa kapel yang panen, yang jumlahnya sesuai dengan jumlah hari panen dalam satu rotasi panen. Contoh rotasi 3/7 adalah 3 kapel, masing-masing dipanen seminggu sekali.
- g. Sistem panen: ada dua sistem panen yang dipakai yaitu sistem giring penuh dan sistem hanca tetap. Artinya gawangan ruang yang berada di antara dua baris tanaman dan hanca adalah luasan areal yang dipanen oleh seorang pemanen dalam sekali panen. Pada sistem hanca tetap, pemanenan diberi hanca dengan luasan tertentu, dan tidak berpindah-pindah untuk panen berikutnya. Pelaksanaan panen dan pengumpulan hasil: lazimnya pemikul buah adalah pemanen yang memotong tandan buah. Untuk memudahkan potong buah pelepah daun di bawah buah dipotong terlebih dahulu (songgo satu atau songgo dua). Semua brondolan dikumpulkan. Buah dan brondolan diangkut ke TPH, selanjutnya buah dan brondolan diangkut ke pabrik untuk diolah.
- h. Premi panen: diberikan kepada pemanen yang memperoleh panen melebihi target yang harus dipanen oleh seorang pemanen. Tujuannya untuk meningkatkan mutu hasil panen dan pendapatan karyawan sesuai dengan jumlah dan mutu hasil yang diperoleh.
- i. Pengawasan hasil: yang perlu diperhatikan: terdapatnya tandan matang yang tidak dipanen, terpotongnya tandan mentah, pemungutan brondolan, terdapatnya TBS panen dengan tangkai panjang, tandan busuk atau tandan kosong agar tidak dikirim ke pabrik, panen sedikit mungkin terkontaminasi tanah, pemotongan dan pengaturan daun, dan koordinasi yang baik dengan petugas transpor TBS.
- j. Pengolahan hasil: buah menjadi CPO (*crude palm oil*) atau minyak sawit dan PKO (*palm kernel oil*) atau minyak inti sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- Acquaah, G. 2012. *Principles of Plant Genetics and Breeding (2nd ed.)*. John Wiley & Sons, Ltd. Oxford, Publication.
- Adam H., Myriam Collin, Leifi Nodichao, Fre'de'rique Richaud, Thierry Beule', David Cros, Alphonse Omore', Bruno Nouy, and James W. Tregear. 2011. Environmental regulation of sex determination in oil palm: current knowledge and insights from other species. *Annals of Botany*, 108: 1529–1537, doi:10.1093/aob/mcr151.
- Adam H., Stefan Jouannic, Jacques Escoute, Yves Duval, Jean-Luc Verdeil, and James W. Tregear. 2005. Reproductive Developmental Complexity in The African Oil Palm (*Elaeis guineensis*, Arecaceae). *American Journal Of Botany*, 92(11): 1836–1852.
- Adam H., Myriam Collin, Fre'de'rique Richaud, Thierry Beule', David Cros, Alphonse Omore', Leifi Nodichao, Bruno Nouy and James W. Tregear. 2011. Environmental regulation of sex determination in oil palm: current knowledge and insights from other species. *Annals of Botany* 108: 1529–1537.
- Allard RW. 1960. *Principles of Plant Breeding*. John Willey & Sons Inc. New York, London, Sydney.
- Allou D, B Adon, and A Sangare. 2008. Molecular variability from two selection of BRT10 population in an inbreeding program of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Côte d'Ivoire. *African Journal of Biotechnology*, 7(20): 3550-3553.
- Amirhusin B. 2004. Perakitan Tanaman Transgenik Tahan Hama. *Jurnal Litbang Pertanian*, 23(1): 1-7.
- Ashari S. 1998. *Pengantar Biologi Reproduksi Tanaman*. Penerbit Rineka Cipta, Jakarta.
- Auffray T., Brigitte Fre'rot, Roberto Poveda, Claude Louise, and Laurence Beaudoin-Ollivier. 2017. Diel Patterns of Activity for Insect Pollinators of Two Oil Palm Species (Arecaceae: Arecaceae). *Journal of Insect Science*. 17(2): 45; 1–6.
- Caudwell, R.W., Hunt, D., Reid, A., Mensah B.A, Chinchilla, C. 2003. Insect pollination of oil palm - a comparison of the long term viability and sustainability of *Elaeidobious kamerunicus* in Papua New Guinea, Indonesia, Costa Rica, and Ghana. *ASD Oil Palm Papers (Costa Rica)*, 25: 1-16.

- Crowder, L.V. 1981. *Pemuliaan Tanaman*. Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta.
- Darkwah D.O., Blay E., Amoatey H., Sapey E., Bakoumé C., Agyei-Dwarko D. 2020. Genetic diversity and selection within natural dura oil palm accessions collected in Ghana for oil palm productivity improvement, *Biodiversitas*, 21(8): 3534-3538
- Durand-Gasselin T., Amblard P., Franqueville H., Breton F., Louise C., Jacquemard J. C., Syaputr I., Cochard B., Nouy B. 2021. Breeding for sustainable palm oil. Paper presented at the International Seminar on Breeding for Sustainability in Oil Palm, held on 18 November 2011 in Kuala Lumpur, Malaysia. Jointly organised by the International Society for Oil Palm Breeders (ISOPB) and Malaysian Palm Oil Board (MPOB). P. 178 – 193
- Elisa, 2004, Pembungaan dan Produksi Buah I, <http://www.elisa.ugm.ac.id> (diakses tanggal 21 januari 2009, pukul 14.30 WIB).
- Engelmann F. 1991. *In vitro* conservation of tropical plant germplasm - a review. *Euphytica*, 57: 227-243.
- Fatihah N.A.L., Muhamad Fahmi, M.H., Luqman, H.A., Syarifah Nadiah, S.M.D., Teo, T.M., Izfa Riza, H. & Idris, A.B. 2019. Effects of Rainfall, Number of Male Inflorescences and Spikelets on the Population Abundance of *Elaeiodobius kamerunicus* (Coleoptera: Curculionidae). *Sains Malaysiana* 48(1): 15–21.
- GAPKI. 2014. Industri minyak sawit Indonesia menuju 100 tahun NKRI: Membangun kemandirian ekonomi, energi dan pangan secara berkelanjutan. p. 265.
- Hayati A, R. Wickneswari · I. Maizura · N. Rajanaidu. 2014. Genetic diversity of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) germplasm collections from Africa: implications for improvement and conservation of genetic resources. *Theor Appl Genet*, 108:1274–1284.
- Hetharie H, GA Wattimena, M Thenawidjaya S, H Aswidinnoor, N Toruan-Mathius dan G Ginting. 2007. Karakterisasi Morfologi Bunga dan Buah Abnormal Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) Hasil Kultur Jaringan. *Bul. Agron.* 35(1): 50 – 57.
- Jardine K.J., Bruno O. Gimenez, Alessandro C. Araújo, Roberto L. Cunha, Juliana Feitosa Felizzola, Luani R. Piva, Jeffrey Q. Chambers and Niro Higuchi. 2016. Diurnal Pattern of Leaf, Flower and Fruit Specific Ambient Volatiles

- above an Oil Palm Plantation in Pará State, Brazil. *J. Braz. Chem. Soc.*, 27 (8): 1484-1492.
- Kahono S, P Lupiyaningdyah, Erniwati, dan H Nugroho. 2012. Potensi dan Pemanfaatan Serangga Penyerbuk Untuk Meningkatkan Produksi Kelapa Sawit di Perkebunan Kelapa Sawit Desa Api-Api, Kecamatan Waru, Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. *Zoo Indonesia*, 21(2): 23-34.
- Komisi Sumber Daya Genetik untuk Pangan dan Pertanian. 2012. Rancang Tindak Global Kedua Untuk Sumber Daya Genetik Tanaman untuk Pangan dan Pertanian. Viale delle Terme di Caracalla, Rome, Italy. FAO, p. 90-141.
- Lubis, R.A., Akiyat, and B. Nouy. 1991. Synthetic comparison of yield evolution in North Sumatra of the Marihat RCEC first cycle DxP crosses.
- Martin JJJ., Yarra R., Wei L., and Cao H. 2022. Pembibitan Kelapa Sawit di Era Modern: Tantangan dan Peluang. *Plants*, 11(11): 1395. doi: 10.3390/plants11111395.
- Meléndez M.R., and W. P. Ponce. 2016. Pollination in the oil palms *Elaeis guineensis*, *E. oleifera* and their hybrids (OxG), in tropical America. *Pesq. Agropec. Trop., Goiânia*, 46(1):102-110.
- Myint K.A., Yaakub Z., Rafii M.Y., Oladosu Y., Samad M.Y.A., Ramlee S.I., Mustaffa S., Arolu F., Abdullah N., Marjuni M., and Amiruddin M.D. 2021. Genetic Diversity Assessment of MPOB-Senegal Oil Palm Germplasm Using Microsatellite Markers. *Hindawi BioMed Research International*, Volume 2021, Article ID 6620645, 14 pages, <https://doi.org/10.1155/2021/6620645>
- Norziha A., Z. Zamri, Y. Zulkifli, A.M. Fadila, M. Marhalil. 2024. Selection criteria of MPOB-Angola germplasm collection for yield improvement of the oil palm. *Oil Crop Science*, 9: 20– 28, <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2023.12.003>
- Nuraida D. 2012. Pemuliaan Tanaman Cepat dan Tepat Melalui Pendekatan Marka Molekuler. *El-Hayah*, 2(2): 97-103.
- Pahan I. 2006. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit*. Jakarta: Penebar Swadaya
- Pamin, K. 1998. A hundred and fifty years of oil palm development in Indonesia: From the Bogor Botanical Garden to the Industry. Proceedings 1998 International Oil Palm Conference: Commodity of the past, today and the future. P. 3-25.
- Priambodo R., A. B. Witarto, A. Bowolaksono, A. Salamah, Setiorini, and D. Triyono. Morphology and protein molecular weight analysis from three

- variant of oil palm pollen; Dura, Pisifera, and Tenera. AIP Conference Proceedings 1862, 030116 (2017); <https://doi.org/10.1063/1.4991220>
Published Online: 10 July 2017.
- Rizali A, Rahardjo BT, Karindah S, Wahyuningtyas FR, Nurindah, Sahari B, Clough Y. 2019. Communities of oil palm flower-visiting insects: investigating the covariation of *Elaeidobius kamerunicus* and other dominant species. PeerJ 7:e7464 <http://doi.org/10.7717/peerj.7464>.
- Saleh H., Li-Hammed M.A, Kushairi A., Rajanaidu N., Mohd Sukri H., Che Wan Ngah Z., Jalani, B.S. 2018. Evaluation of Oil Palm Germplasm from Senegal and Gambia Using Chemometric Techniques. *MJoSHT*, 1 (1): 10-20, <https://www.researchgate.net/publication/350858447>
- Shi P., Wang Y., and Zhang D. 2019. Analysis on Fruit Oil Content and Evaluation on Germplasm in Oil Palm. *HORTSCIENCE* 54(8):1275–1279. 2019. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14044-19>
- Siregar, H.A., Yenni, Y., Setiowati, R.D., Supena, N., Suprianto, E., & Purba, A.R. (2020). Cameroon virescens oil palm (*Elaeis guineensis*) from IOPRI's germplasm. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 42(2), 283–294. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v0i0.2239>
- Siswanto and D Soetopo. 2019. Population of oil palm pollinator insect (*Elaeidobius kamerunicus* Faust.) at PTP Nusantara VIII Cisalak Baru, Rangkasbitung-Banten. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 418 (2020) 012045, doi:10.1088/1755-1315/418/1/012045
- Sumarno dan N Zuraida. 2008. Pengelolaan Plasma Nutfah Tanaman Terintegrasi dengan Program Pemuliaan. *Buletin Plasma Nutfah*, 14(2): 57 – 67.
- Sudarmi. 2013. Peranan Biologi Molekuler pada Pemuliaan Tanaman. *Magistra*, 84(25): 75-80.
- Sunarko. 2009. *Budidaya dan Pengelolaan Kebun Kelapa Sawit dengan Sistem Kemitraan*. Agromedia Pustaka, Jakarta.
- Syukur, M., Sujiprihati, S., & Yuniarti, R. 2015 (revisi). *Teknik Pemuliaan Tanaman*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Tasma IM, dan S Arumsari. 2013. Analisis Diversitas Genetik Aksesori Kelapa Sawit Kamerun Berdasarkan Marka SSR. *Jurnal Littri*, 19(4): 194 – 202.
- Tasma IM. 2016. Pemanfaatan Teknologi Genomika dan Transformasi Genetik untuk Meningkatkan Produktivitas Kelapa Sawit. *Perspektif*, 15(1): 50 -72.

Welsh, J.R. 1991. Dasar-dasar Genetika dan Pemuliaan Tanaman. Alih bahasa J.P. Moge. Penerbit Erlangga, Jakarta.

Verheye, W. (2010). Growth and Production of Oil Palm. In: Verheye, W. (ed.), *Land Use, Land Cover and Soil Sciences*. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), UNESCO-EOLSS Publishers, Oxford, UK.
<http://www.eolss.net>

Yousefi M., Rafie A.S.M., Aziz S.A., Azrad S., Razak A.A. 2020. Introduction of current pollination techniques and factors affecting pollination effectiveness by *Elaeidobius kamerunicus* in oil palm plantations on regional and global scale: A review. *South African Journal of Botany*, 132: 171-179, <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.04.017>

<http://agrohort.ipb.ac.id/index.php/id/tentang-kami/bagian/genetika-dan-pemuliaan-tanaman>

<http://biosejati.wordpress.com/tag/pemuliaan-tanaman/>

http://id.wikipedia.org/wiki/Pemuliaan_tanaman

<https://byjus.com/biology/plant-breeding/>

<http://gurungeblog.com/2009/01/08/pemuliaan-tanaman-dan-hewan-serta-revolusi-biru/>

http://id.wikipedia.org/wiki/Pemuliaan_tanaman.

<http://bloggerukri.blogspot.co.id/2012/10/peran-pemuliaan-kelapa-sawit-1.html>

RIWAYAT PENULIS

Rama Riana Sitinjak lahir di Perdagangan pada tanggal 15 Mei 1966, menyelesaikan Pendidikan Sarjana Biologi di Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan (IKIP) Medan pada tahun 1990 dengan beasiswa Tunjangan Ikatan Dinas (TID). Gelar Master of Sains diperoleh di Institut Teknologi Bandung (ITB) Bandung dengan Beasiswa Program Pasca Sarjana (BPPS) DIKTI tahun 1999. Kemudian pada tahun 2005 meraih gelar Doktor di Universitas Padjadjaran (UNPAD) Bandung dengan beasiswa BPPS DIKTI. Pada tahun 1991 ditempatkan sebagai tenaga pengajar Pegawai Negeri Sipil (PNS) dari TID oleh DIKTI di Kopertis Wilayah I Medan DPK pada IKIP Gunungsitoli-Nias. Tahun 2006 sebagai dosen DPK pada Universitas Prima Indonesia (UNPRI) Medan dan ditugaskan oleh UNPRI di Fakultas Agro Teknologi, Program Studi Agroteknologi. Kemudian Desember 2024 memperoleh Jabatan Akademik Guru Besar dengan kepakaran Ilmu Fisiologi Tumbuhan.

ISBN 978-623-8299-41-6 (PDF)

