

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kelapa dan Kelapa Kopyor

1. Biologi Kelapa

Kelapa (*Cocos nucifera* L.) merupakan tumbuhan monokotil dari famili Arecaceae dan menjadi satu-satunya spesies dalam genus *Cocos* (Ningrum, 2019; Salsabillah, 2024). Secara morfologi, kelapa adalah tanaman berumah satu (monoecious), yaitu tanaman yang memiliki bunga jantan dan bunga betina dalam satu tandan bunga (Amos & Sunday, 2019). Tandan bunga ini dapat tumbuh memanjang hingga mencapai 1–1,5 meter dengan 40–60 cabang bunga (*spikelet*). Pada tahap awal, tandan bunga tertutup oleh seludang keras (*spathe*) yang akan terbuka memanjang saat mulai berbunga pada umur 4–5 tahun (Amos & Sunday, 2019).

Kelapa memiliki sistem perakaran serabut yang tumbuh dari pangkal batang (*bole*), tersusun rapat dan menyebar luas (Arachchi *et al.*, 2000). Bentuk akar kelapa ini berperan penting dalam menopang batang yang tinggi dan memastikan suplai hara yang memadai untuk mendukung pertumbuhan vegetatif maupun generatif (Beveridge *et al.*, 2022).

Batang kelapa bersifat tunggal (*stipe*), tumbuh lurus, dan tidak bercabang. Namun, pada beberapa kondisi lingkungan seperti daerah pesisir batang dapat tumbuh sedikit melengkung mengikuti arah matahari (Mardiatmoko & Ariyanti, 2025). Batang kelapa memiliki permukaan silindris dengan bekas pelepah daun (*leaf scars*) yang tersusun vertikal, serta ujung batang membentuk mahkota daun di bagian atas, yang mendukung pertumbuhan daun

dan produksi buah (Sáenz *et al.*, 2006). Struktur batang ini tidak memiliki kambium sekunder, sehingga pertumbuhan diameter batang relatif terbatas dan didominasi oleh pertumbuhan primer dari meristem apikal (Gibson, 2012). Tinggi batang kelapa bervariasi, biasanya mencapai 20–40 meter pada pohon dewasa, dengan laju pertumbuhan sekitar 1–1,5 meter per tahun pada fase vegetatif awal (Gibson, 2012). Batang kelapa mengandung serat dan jaringan penguat yang memungkinkannya menahan beban buah, angin, dan tekanan lingkungan lainnya, sekaligus menjadi penopang vital bagi mahkota daun di puncak pohon (Gibson, 2012).

Daun kelapa merupakan daun majemuk menyirip (*pinnate*) yang tersusun spiral pada pucuk batang. Setiap daun terbagi menjadi tiga bagian utama, yaitu pelepah daun (*sheath*), tangkai daun pendek (*petiole*), dan helaian daun (*lamina*) yang terdiri atas ratusan anak daun (*leaflets*). Satu helaian daun kelapa dapat mencapai panjang sekitar 6 meter yang menjadikannya salah satu struktur daun terpanjang pada famili *Arecaceae* (Beveridge *et al.*, 2022). Jumlah anak daun dalam satu helaian mencapai sekitar 250 yang tersusun secara berpasangan pada sisi kanan dan kiri tulang daun (Beveridge *et al.*, 2022). Pelepah daun kelapa menempel kuat pada batang dan berfungsi sebagai struktur penopang utama untuk mempertahankan daun berukuran besar tersebut. Anak daun berbentuk lanset, kaku, dan sempit dengan ujung meruncing, sehingga mampu mengurangi tekanan angin bagi kelapa yang umumnya tumbuh pada wilayah pesisir dengan kecepatan angin tinggi (Foale, 2003). Selain itu, permukaan daun dilapisi kutikula tebal yang membantu

mengurangi transpires (Beadle, 1998). Daun kelapa memiliki masa hidup yang relatif panjang, biasanya 3–5 tahun, sebelum akhirnya mengering dan gugur secara alami (Foale, 2003).

2. Kelapa Kopyor

Kelapa kopyor merupakan salah satu varian alami dari kelapa (*Cocos nucifera* L.) yang memiliki keunikan pada bagian endosperma yang mengalami perubahan tekstur menjadi lunak, rapuh, tidak kompak, serta mudah terlepas dari endokarp pada saat buah matang (Maskromo *et al.*, 2014; **Gambar 2. 1**). Secara morfologi, buah kelapa kopyor dan buah kelapa normal tidak dapat dibedakan dari luar selama buah masih utuh. Perbedaan antara buah kelapa kopyor dan buah kelapa normal baru terlihat secara jelas ketika buah matang dan dibelah, terutama pada bagian endosperma padat (Dhelika *et al.*, 2019). Pada buah kelapa normal, endosperma yang awalnya berupa cairan berkembang menjadi padat, keras, putih, dan melekat kuat pada endokarp ketika buah matang (sekitar 11 bulan setelah polinasi). Namun, pada buah kelapa kopyor, endosperma mengalami gangguan pada perkembangan endospermanya sehingga tidak dapat memadat secara sempurna dan berubah menjadi lunak, rapuh, dan mudah terpisah dari endokarp (Yunindanova *et al.*, 2024). Kelainan pada endosperma padat kelapa kopyor disebabkan oleh salah satu faktor yaitu penurunan aktivitas enzim α -D-galaktosidase yang berperan dalam degradasi polisakarida galactomannan (Maulida *et al.*, 2020). Penurunan aktivitas enzim tersebut menghambat proses hidrolisis oligogalaktomanan secara normal, sehingga penyusunan dan pematatan

dinding sel endosperma tidak berlangsung sempurna. Akibatnya, jaringan endosperma pada kelapa kopyor berkembang dalam kondisi yang tidak kompak, bertekstur lunak, dan mudah terlepas dari endokarp (Sukendah, 2009).



Gambar 2. 1 Endosperma padat kelapa normal (kiri); endosperma padat kelapa kopyor (kanan).

3. Varietas Kelapa dan Kelapa Kopyor

Seperti halnya kelapa normal, petani di Indonesia juga membudidayakan dua jenis kelapa yaitu kelapa kopyor tipe dalam (*tall*) dan kelapa kopyor tipe genjah (*dwarf*) (Wicaksono *et al.*, 2021). Perbedaan antara kedua tipe tersebut dapat diamati dari aspek morfologi dan sifat pertumbuhannya (Mahayu & Taryono, 2019). Kelapa kopyor tipe dalam (*tall*) memiliki karakteristik fisik yang kuat dan kokoh, dengan batang besar dan lurus serta bagian pangkal yang membentuk *bole* (pembesaran batang di bagian dasar). Laju pertumbuhan batangnya relatif cepat, yakni lebih dari 1 meter per tahun, dan ditunjang oleh tangkai buah serta pelepah daun yang kuat, sehingga mampu

menopang buah berukuran besar (Santoso, 2014). Kelapa tipe dalam melakukan penyerbukan silang (*cross pollination*) mulai berbuah pada umur 4–6 tahun dan mencapai umur panen optimal pada 5–6 tahun (Santoso, 2014). Buah yang dihasilkan yaitu sekitar 40-60 buah / pohon / tahun (Madina, 2024).

Kelapa kopyor genjah (*dwarf*) menunjukkan karakter morfologis yang berbeda dengan kelapa kopyor tipe dalam. Batang kelapa kopyor tipe genjah relatif kecil dan tidak memiliki *bole* pada bagian pangkal batangnya serta memiliki pertumbuhan batang lebih lambat, sekitar 60 cm per tahun (Santoso, 2014). Kelapa kopyor genjah melakukan penyerbukan sendiri (*self pollinated*), sehingga stabilitas kemunculan buah kopyor lebih tinggi meskipun ditanam berdekatan dengan pohon kelapa normal (Santoso, 2014). Tanaman ini mulai berbuah pada umur 2–3,5 tahun dan dapat dipanen pada umur 3–4 tahun, dengan produktivitas 12–14 tandan per tahun serta 8–12 butir per tandan (Santoso, 2014). Buah yang dihasilkan lebih banyak yaitu berkisar 80 -100 buah / pohon / tahun (Madina, 2024).

Varietas kelapa diberi nama berdasarkan beberapa cara. Pada kelapa tipe dalam, pada umumnya nama varietas diberikan berdasarkan daerah asal kelapa tipe dalam tersebut dideskripsikan (Bourdeix *et al.*, 2005). Beberapa varietas unggul kelapa dalam yang telah diidentifikasi di antaranya yaitu Kelapa Dalam Lampanah, Kelapa Dalam Bone, Kelapa Dalam Bido, dan Kelapa Dalam Zabak. Nama -nama tersebut diberikan berdasarkan nama daerah asal tempat kelapa tersebut dideskripsikan. Kelapa dalam juga dapat diberi nama

berdasarkan ciri khususnya seperti Kelapa Puan Kalianda, merupakan kelapa kopyor yang berasal dari Kalianda, Lampung.

Pada kelapa genjah, pemberian nama varietas dilakukan berdasarkan warna buah dan diikuti daerah asal seperti Kelapa Genjah Kuning Nias, yaitu kelapa yang bertipe genjah, memiliki buah berwarna kuning serta berasal dari Pulau Nias, Sumatera. Kelapa genjah juga bisa diberi nama dengan ciri khususnya seperti Kelapa Kopyor Cungap Merah (KCM), yaitu varietas kelapa kopyor yang memiliki buah berwarna hijau dan ketika muda kulit buah yang dikupas berwarna merah (Sisunandar, Kementerian Pertanian RI, 2022). Selain itu, KCM juga memiliki ciri kecambah dan sabut buah muda berwarna merah. Keunikan varietas ini terletak pada endosperma padat yang hampir sepenuhnya mengisi rongga tempurung, sehingga volume endosperma cair sangat sedikit dan menghasilkan tekstur daging buah yang lebih padat serta homogen dibandingkan varietas kopyor lainnya (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2021).

4. Manfaat Kelapa dan Kelapa Kopyor

Kelapa dikenal sebagai pohon kehidupan (*tree of life*) karena hampir seluruh bagiannya dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan pangan, papan, kesehatan, dan industri. Akar kelapa mengandung beragam metabolit bioaktif seperti senyawa fenolik, flavonoid, tanin, saponin, dan alkaloid, yang berperan penting dalam aktivitas antimikroba dan antioksidan (Ouadeh *et al.*, 2021). Kandungan fitokimia ini memiliki kemampuan menghambat pertumbuhan bakteri patogen seperti *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, dan

Klebsiella pneumoniae (Ouadeh *et al.*, 2021). Akar kelapa juga dapat dimanfaatkan untuk menurunkan demam, mengatasi diare, meningkatkan produksi urin sebagai efek diuretik, dan pengobatan penyakit kulit yang disebabkan oleh mikroorganisme oportunistik maupun stres oksidatif (Lima *et al.*, 2015; Ouadeh *et al.*, 2021).

Batang kelapa atau yang biasa dikenal dengan kayu glugu memiliki nilai guna tinggi sebagai bahan alternatif dalam industri konstruksi dan perkayuan. Kayu glugu termasuk ke dalam kelas kuat II dan kelas awet III dengan berat jenis rata-rata 0,74, sehingga cocok digunakan untuk struktur bangunan seperti rangka atap, kusen, lantai, serta furnitur (Indrosaptono *et al.*, 2014).

Daun kelapa memiliki nilai guna tinggi dan telah dimanfaatkan secara luas dalam kehidupan masyarakat tropis. Bagian daun seperti pelepah, janur muda, dan tulang daun dapat digunakan sebagai bahan konstruksi tradisional, material rumah tangga, pembungkus makanan, bahkan sebagai alat upacara (Hayesti *et al.*, 2024; Vimalraj *et al.*, 2024). Selain itu, daun kelapa juga dimanfaatkan dalam pembuatan kerajinan tangan, seperti keranjang, piring lidi, tikar, dan berbagai produk anyaman lain yang bernilai ekonomis (Martini *et al.*, 2020; Rahman & Budiwono, 2018).

Buah kelapa merupakan bagian yang paling banyak dimanfaatkan oleh manusia. Pada bagian sabut buah kelapa (mesokarp) yang memiliki lapisan berserat dapat digunakan sebagai bahan baku industri *coir* (Bawadi *et al.*, 2025). Serat ini dimanfaatkan untuk pembuatan tali, matras, geotekstil, media tanam (*cocopeat*), karpet, dan berbagai produk komposit ramah lingkungan

karena sifatnya yang kuat, elastis, dan tahan terhadap penguraian mikroba (Bawadi *et al.*, 2025; Gafur & Muklis, 2022). Tempurung kelapa (*endokarp*) sering dimanfaatkan sebagai bahan bakar, arang tempurung, serta bahan baku untuk produksi karbon aktif berkualitas tinggi (Foale, 2003). Tempurung juga dapat dimanfaatkan dalam pembuatan peralatan rumah tangga, aksesoris, ukiran, serta elemen dekoratif interior karena sifatnya yang kuat, tahan lama, dan mudah dipoles (Arfadiani, 2015; Riyandirga *et al.*, 2024). Daging buah kelapa (endosperma padat) merupakan bagian yang paling banyak digunakan dalam sektor pangan (Ramya & Pattan, 2019). Daging kelapa segar diolah menjadi santan, kelapa parut, tepung kelapa, dan minyak kelapa yang digunakan secara luas dalam industri rumah tangga maupun industri makanan berskala besar (Subagio, 2011). Air kelapa (endosperma cair) biasanya dimanfaatkan sebagai minuman penyegar alami (Sumule *at al.*, 2025). Air kelapa mengandung antioksidan, antibakteri, serta potensi terapeutik, khususnya sebagai agen rehidrasi dan pendukung metabolisme cairan tubuh (DebMandal & Mandal, 2011).

Minyak kelapa (VCO) yang diproduksi dari daging buah (endosperma padat) memiliki kandungan asam lemak rantai tengah (terutama asam laurat) berfungsi sebagai anti mikroba, anti inflamasi, dan mendukung kesehatan kardiovaskular (Shintia & Desy, 2025). Kandungan asam ferulat dan p-coumaric pada minyak kelapa dapat menurunkan pembentukan radikal bebas pada tubuh (Sinaga *et al.*, 2024). VCO digunakan secara luas dalam bahan kosmetik seperti krim, lotion, masker, lip balm, dan sabun karena dapat

membantu melindungi kulit dari radikal bebas, meningkatkan kelembapan, dan mendukung regenerasi sel (Doloksaribu & Suryano, 2022; Aini *et al.*, 2021).

Seperti halnya kelapa normal, seluruh bagian kelapa kopyor juga banyak untuk kepentingan sosial dan ekonomi, mulai dari akar, batang, daun, bunga maupun buahnya. Buah kelapa kopyor berbeda dengan buah kelapa normal karena endosperma padat maupun cairnya berbeda dengan kelapa normal. Endosperm padat kelapa kopyor memiliki kandungan lemak dan protein lebih tinggi dibandingkan kelapa normal (Faramitha *et al.*, 2024). Kandungan lemak tersebut didominasi oleh asam lemak rantai tengah seperti asam laurat dan asam kaprat, yang berfungsi sebagai sumber energi cepat, antimikroba, serta antioksidan alami yang berperan penting dalam menjaga kesehatan tubuh (Hasan *et al.*, 2013). Kandungan ini menjadikan daging buah kelapa kopyor memiliki nilai gizi yang lebih tinggi sekaligus memberikan cita rasa yang lebih gurih dan tekstur yang lebih lembut, sehingga banyak dimanfaatkan sebagai bahan utama produk pangan premium seperti es kopyor, puding, dan minuman tropis (Faramitha *et al.*, 2024).

Selain digunakan dalam bentuk segar, endosperma kelapa kopyor juga menjadi sumber minyak kelapa murni (VCO) berkualitas tinggi (Hasan *et al.*, 2013). Penelitian menunjukkan bahwa minyak yang dihasilkan dari kelapa kopyor memiliki aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan minyak kelapa biasa, ditandai dengan meningkatnya aktivitas enzim *superoxide*

dismutase (SOD) yang berfungsi melindungi sel dari kerusakan akibat stres oksidatif (Hasan *et al.*, 2013).

5. Budidaya Kelapa dan Kelapa Kopyor

Budidaya kelapa umumnya dilakukan secara tradisional dengan cara menanam buah kelapa secara langsung di lahan dengan jarak tanam konvensional, serta pemeliharaan dasar seperti penyiraman, penyiangan, dan pemberian pupuk organik sederhana (Bahrun *et al.*, 2024). Pendekatan ini mudah diterapkan pada berbagai kondisi lahan, namun produktivitasnya cenderung fluktuatif karena tidak didukung pengelolaan nutrisi dan struktur lahan yang lebih terukur (Bahrun *et al.*, 2024).

Metode budidaya yang lebih intensif kemudian dikembangkan melalui pengaturan jarak tanam yang lebih sistematis, pengolahan tanah dan lubang tanam yang dirancang secara khusus, serta pemberian pupuk dengan dosis terukur sesuai kebutuhan tanaman (Bahrun *et al.*, 2024). Sistem ini meningkatkan efisiensi ruang, mempermudah pemeliharaan, dan meningkatkan potensi pertumbuhan bibit pada fase awal. Meskipun hasilnya umumnya lebih stabil dibandingkan metode tradisional, keberhasilannya tetap dipengaruhi faktor lingkungan seperti kualitas tanah dan ketersediaan air (Bahrun *et al.*, 2024).

Pada tingkat budidaya modern dan berkelanjutan, banyak penelitian menunjukkan bahwa kombinasi manajemen nutrisi terintegrasi dan sistem tumpang sari (*intercropping*) memberikan hasil yang lebih baik. Sebagai contoh, studi di India dengan pendekatan *Integrated Nutrient Management*

(INM) bersamaan dengan Intercropping pada kebun kelapa terbukti meningkatkan hasil panen, memperbaiki kesuburan dan sifat fisik kimia tanah, serta mendukung keberlangsungan agroekosistem (Rani *et al.*, 2024).

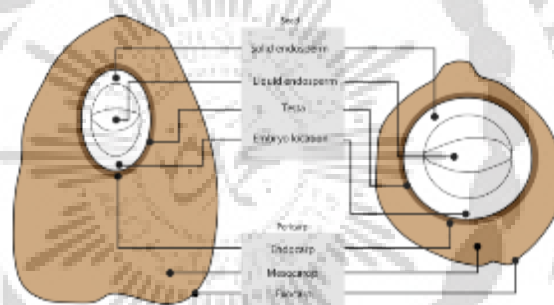
Budidaya kelapa kopyor sedikit berbeda dengan budidaya kelapa normal. Sebagian petani kelapa kopyor membudidayakan kelapa tersebut dengan menggunakan bibit kelapa kopyor alami, yaitu bibit kelapa yang berasal dari buah kelapa normal yang berasal dari satu tandan dimana pada tandan tersebut ditemukan buah kelapa kopyor. Meskipun demikian, metode ini mudah dilakukan oleh petani, namun memiliki persentase kemunculan buah kopyor yang relatif rendah, yaitu berkisar antara 10% hingga 30% per tandan, tergantung pada faktor genetik pohon induk dan kondisi lingkungan tumbuhnya (Maulida *et al.*, 2020).

Teknik budidaya yang lebih modern dilakukan dengan menggunakan benih yang dihasilkan dari teknik kultur embrio (*embryo culture*). Benih tersebut diperoleh dengan cara embrio kelapa kopyor diisolasi dan ditanam secara *in vitro* dan dipelihara sampai diperoleh benih siap tanam. Budidaya dengan menggunakan benih tersebut mampu menghasilkan buah kopyor hingga lebih dari 95%.

Meskipun teknik budidaya tersebut sangat menjanjikan, namun metode ini memiliki kelemahan, yaitu membutuhkan keterampilan khusus dalam kultur jaringan serta dengan biaya yang lebih mahal dibandingkan metode konvensional (Sisunandar, 2014).

B. Struktur dan Anatomi Buah Kelapa dan Kelapa Kopyor

Buah kelapa termasuk ke dalam tipe buah batu (drupa) yang secara struktural tersusun atas tiga lapisan utama, yaitu eksokarp, mesokarp, dan endokarp (Lima *et al.*, 2015, **Gambar 2.2**). Di dalam endokarp terdapat struktur biji yang terdiri atas testa (kulit biji tipis berwarna cokelat), endosperma cair dan padat, serta embrio yang terletak pada salah satu dari tiga pori (mata buah) di bagian basal, yang menjadi titik tumbuh kecambah (Foale, 2003).



Gambar 2. 2 Struktur buah kelapa saat mencapai umur dewasa (**Beveridge, 2022**)

Eksokarp merupakan lapisan terluar yang tipis dan halus dengan ketebalan sekitar 0.1 mm, umumnya berwarna hijau hingga kuning kecokelatan saat matang tergantung varietasnya. Lapisan ini tersusun atas jaringan epidermis dengan lapisan kutikula yang berfungsi sebagai pelindung terhadap kehilangan air serta gangguan dari lingkungan luar, seperti serangan patogen dan kerusakan mekanik (Foale, 2003).

Mesokarp atau sabut kelapa merupakan lapisan tebal dan berserat yang terletak di bawah eksokarp. Jaringan ini tersusun atas serat-serat sklerenkim

serta parenkim berdinding tebal yang kaya lignin, dengan ketebalan sekitar 1–5 cm (Beveridge *et al.*, 2022). Pada bagian tertentu, sklerenkim berkembang membentuk serat-serat besar yang tersusun bersama komponen vaskular sehingga membentuk berkas fibrovascular (FV), yaitu kombinasi antara serat pendukung dan elemen pengangkut (*vascular bundles*) (Madina, 2024). Susunan jaringan ini menghasilkan kekuatan mekanik tinggi yang berfungsi sebagai bantalan pelindung terhadap benturan dan tekanan fisik saat buah jatuh atau terbawa air (Beveridge *et al.*, 2022; Foale, 2003).

Endokarp atau tempurung merupakan lapisan terdalam buah kelapa, yaitu struktur keras dan sangat berlignin dengan ketebalan sekitar 3–6 mm. Lapisan ini tersusun atas sel-sel sklerenkim (sklereid dan serat) serta sisa elemen pengangkut yang membentuk komposit padat (Schmier *et al.*, 2020). Pada skala mikro, sel-sel sklereid tersusun dalam anyaman rapat berukuran 10–100 µm, sedangkan pada skala nanometer dinding selnya terdiri atas fibril selulosa yang terbenam dalam matriks lignin dan hemiselulosa (Schmier *et al.*, 2020). Di dalam endokarp terdapat biji kelapa yang diselubungi oleh testa tipis berwarna coklat. Ruang internal biji diisi oleh jaringan endosperma yang terbagi dalam dua bentuk yaitu, endosperma cair (air kelapa) dan endosperma padat (daging kelapa) (Foale, 2003).

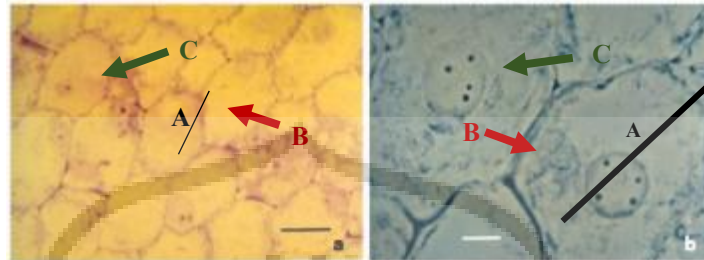
Penelitian tentang struktur anatomi eksokarp dan mesokarp (sabut) dan endocarp (tempurung) pada kelapa kopyor belum banyak dilakukan. Meskipun demikian struktur anatomi ketiganya pada kelapa kopyor diduga mirip seperti pada kelapa normal. Menurut Madina (2024), sabut kelapa

kopyor memiliki susunan jaringan dasar yang sama dengan kelapa normal, terdiri atas lapisan epidermis, hipodermis, kolenkim, jaringan fibrovaskular (FV), serta jaringan pengisi (parenkim). Namun demikian, secara anatomi, jaringan parenkim sabut kelapa kopyor mulai mengalami perubahan bentuk dengan bentuk mulai melengkung ketika buah berusia 7 bulan setelah pembuahan, sedangkan pada sabut kelapa normal hal tersebut terjadi ketika buah berusia 10 bulan. Sabut kelapa kopyor juga memiliki jumlah jaringan FV yang lebih banyak tetapi berukuran lebih kecil (rata-rata berukuran luas 0.08 mm^2 dibandingkan dengan sabut pada kelapa normal yang berukuran rata-rata $0,10 \text{ mm}^2$ (Madina, 2024). Pada penelitian tersebut, Madina (2024) menggunakan kelapa kopyor varietas KCM dan kelapa normal varietas Cungap Merah (CM). Varietas yang sama digunakan dalam penelitian ini.

C. Histologi dan Perkembangan Endosperma Kelapa dan Kelapa Kopyor

Endosperma padat tersusun atas jaringan parenkim yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan, terutama dalam bentuk polisakarida seperti manan dan galaktomanan (Sukamto, 2016). Pada kelapa normal, endosperma padat terbentuk melalui proses diferensiasi sel yang teratur, ditandai dengan pembentukan dinding sel yang lengkap, saling berikatan kuat, serta tersusun rapat membentuk jaringan yang kompak (Sukamto, 2016). Dinding sel endosperma tersebut kaya akan komponen hemiselulosa, khususnya manan dan galaktomanan, yang berperan penting dalam proses pepadatan jaringan. Sel-sel endosperma berkembang dengan ukuran relatif seragam dan memiliki struktur dinding yang jelas, sehingga menghasilkan

tekstur daging buah yang keras, padat, dan melekat kuat pada endokarp (Sukamto, 2016).



Gambar 2. 3 Sel parenkim pada endosperma kelapa hasil in vitro. Sel parenkim (A). Dinding sel parenkim (B). Inti sel (C) (Sukamto, 2017).

Perkembangan endosperma sangat dipengaruhi oleh faktor umur buah setelah penyerbukan, di samping pengaruh genetik dari tanaman itu sendiri (Angeles *et al.*, 2018; Wicaksono *et al.*, 2021). kelapa mencakup dua fase utama, yaitu fase endosperma cair (air kelapa) dan fase endosperma padat (daging buah) (Ohler & Magat, 2016). Pada tahap awal yaitu sekitar 1-3 bulan, inti endosperma membelah secara bebas dan cepat tanpa diikuti dengan pembentukan dinding sel sehingga membentuk jaringan bersifat sinkhital (multinukleat) yang dikenal sebagai endosperma cair (Foale, 2003).

Pada umur 3-4 bulan, endosperma padat kelapa normal mulai terbentuk ketika inti-inti hasil pembelahan bebas tersebut mulai dikelilingi oleh pembentukan dinding sel (*cellularization*) dibagian perifer (Wicaksono *et al.*, 2021). Endosperma padat yang terbentuk pertama kali berupa selapis jaringan sangat tipis yang menempel pada testa dan endokarp (Wicaksono *et al.*, 2021). Pada tahap ini sel parenkim mulai terbentuk berukuran kecil yang kemudian

mengalami ekspansi dan penimbunan cadangan metabolit (Ohler & Magat, 2016). Pada kelapa kopyor, meskipun lapisan-lapisan awal endosperma padat mulai terbentuk, jaringan tersebut tidak berkembang secara stabil. Lapisan-lapisan endosperma yang semestinya menyatu dan memadat justru menjadi mudah terlepas satu sama lain, menunjukkan adanya gangguan dalam proses diferensiasi dan penyusunan jaringan selama tahap pertumbuhan ini (Wicaksono et al., 2021).

Pada umur 5–6 bulan setelah penyerbukan, perkembangan endosperma pada kelapa normal menjadi semakin jelas. Pada tahap ini terjadi peningkatan signifikan dalam pembentukan senyawa-senyawa cadangan, terutama polisakarida struktural seperti galaktomanan dan manan. Akumulasi senyawa tersebut menyebabkan perubahan fisik endosperma, dari yang semula cair menjadi lebih kental dan berbentuk seperti gel. Proses ini merupakan tahapan penting menuju terbentuknya endosperma padat yang kompak dan bertekstur keras pada saat buah matang (Angeles *et al.*, 2018). Sebaliknya, pada kelapa kopyor yang berumur 5–6 bulan, perkembangan endosperma menunjukkan pola yang berbeda. Pada fase ini, endosperma yang terbentuk masih berupa campuran antara jaringan yang menyerupai endosperma normal dengan bagian-bagian yang telah mengalami kelainan struktur, di mana jaringan tersebut mulai terlepas dan tidak menyatu secara sempurna. Hal ini menunjukkan bahwa proses akumulasi dan pepadatan polisakarida tidak berlangsung secara optimal, sehingga struktur endosperma menjadi tidak homogen (Wicaksono *et al.*, 2021).

Ketika buah mencapai umur lebih dari 7 bulan, perbedaan antara kelapa normal dan kelapa kopyor tampak semakin nyata. Pada kelapa normal, massa endosperma menjadi semakin tebal, padat, dan kompak, menempel kuat pada endokarp, serta membentuk jaringan daging buah yang utuh dan kokoh. Penebalan dan pepadatan ini merupakan hasil dari proses diferensiasi sel yang berlanjut serta akumulasi cadangan makanan dalam bentuk polisakarida kompleks (Wicaksono *et al.*, 2021). Sebaliknya, pada kelapa kopyor, pembentukan endosperma padat pada fase ini mengalami gangguan yang semakin jelas. Jaringan endosperma berkembang dalam kondisi yang tidak beraturan, bertekstur lunak, rapuh, dan tidak menempel kuat pada endokarp. Endosperma cenderung terlepas dari tempurung dan tampak menggumpal atau terurai, yang menjadi ciri khas utama buah kelapa kopyor ketika dibelah pada saat matang (Wicaksono *et al.*, 2021).