

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teoritis

2.1.1 Sejarah Kopi

Kopi merupakan salah satu tanaman perkebunan utama di Indonesia yang berasal dari Benua Afrika, khususnya Negara Ethiopia dengan catatan sejarah yang dapat dilacak kembali hingga abad ke-9. Pada masa itu, masyarakat suku di Ethiopia telah mengintegrasikan biji kopi kedalam pola makan sehari-hari, dimana biji kopi tersebut dikonsumsi sebagai bagian dari berbagai hidangan yang dikombinasikan dengan bahan makanan lainnya, seperti daging dan ikan, sehingga menjadi elemen penting dalam tradisi kuliner mereka.

Tanaman kopi kemudian mulai dikenal secara luas di dunia internasional pada abad ke-17, dengan titik awal penyebarannya di wilayah India. Dari sana, kopi menyebar ke Benua Eropa, dimana proses ini di dorong oleh pedagang yang berasal dari Indonesia yang memainkan peran penting dalam memperkenalkan komoditas tersebut ke wilayah Eropa. Di Indonesia, budidaya tanaman kopi dimulai sejak era 1700-an, dengan fokus utama di Pulau Jawa sebagai lokasi awal pengembangan. Setelah berakhirnya penanaman di Pulau Jawa terbukti, penyebaran tanaman ini meliputi wilayah lain, termasuk Pulau Sumatera dan Sulawesi, sehingga memperluas cakupan perkebunan kopi di Nusantara.

Jenis kopi yang pertama kali dikembangkan di Indonesia adalah kopi arabika yang menjadi pilihan awal karena karakteristiknya sesuai dengan kondisi lingkungan setempat. Namun, pada tahun 1869, terjadi penyakit karat daun yang parah di Sri Lanka yang disebabkan oleh patogen *Hemelia broadatrix*. Hal ini mendorong pemerintah kolonial Belanda untuk mencari alternatif jenis kopi yang lebih tahan terhadap penyakit tersebut. Hasilnya, mereka memperkenalkan jenis kopi liberika, yang memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap serangan karat daun. Meskipun demikian, kopi liberika menunjukkan produktivitas yang relatif rendah jika dibandingkan dengan kopi arabika, sehingga tidak sepenuhnya memenuhi harapan dalam hal hasil panen.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, pemerintahan Belanda kemudian mendatangkan jenis kopi baru, yaitu robusta, yang tidak hanya lebih tahan terhadap penyakit karat daun tetapi juga menawarkan tingkat produksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kopi liberika. Pada dekade 1920-an, sebagai langkah strategi untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas tanaman kopi, pemerintah mendirikan balai penelitian tanaman kopi di Pulau Jawa. Balai ini bertanggung jawab atas pengembangan dan penelitian intensif terhadap jenis kopi arabika dan robusta, dengan tujuan untuk meningkatkan varietas yang ada. Seiring berjalannya waktu dan kemajuan teknologi pertanian, jenis kopi robusta dan arabika asli telah mengalami proses penyulingan yang sistematis, yang menghasilkan berbagai hibrida atau *genotype* unggul baru. Perkembangan ini mencerminkan upaya berkelanjutan untuk menghasilkan varietas kopi yang lebih adaptif, produktif, dan tahan terhadap berbagai tantangan lingkungan, sebagaimana dijelaskan oleh (Panggabean, 2011) dalam kajiannya. Dengan demikian, evolusi tanaman kopi di Indonesia tidak hanya mencerminkan sejarah budidaya yang panjang, tetapi juga inovasi yang terus berkembang untuk mendukung keberlangsungan industri kopi nasional.

2.1.2 Kopi Arabika (*Coffea arabica*)

Kopi arabika dikenal karena kualitas cita rasa dari bijinya yang unggul dibandingkan jenis kopi lainnya. Kopi arabika berasal dari dataran tinggi Etiopia dan telah menjadi komoditas utama dalam perdagangan internasional. Dapat dikatakan bahwa kopi arabika telah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap perekonomian produsen negara-negara seperti Indonesia.

Klasifikasi tanaman kopi arabika (*Coffea arabica*.) adalah sebagai berikut :

Kigdom	: <i>Plantae</i>
Subkigdom	: <i>Tracheobionta</i>
Super Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Magnoliopsida</i>
Sub Kelas	: <i>Asteridae</i>
Ordo	: <i>Rubiales</i>
Famili	: <i>Rubiaceae</i>

Genus : *Coffea*
Spesies : *Coffea arabica* L

1. Akar

Tanaman kopi diklasifikasikan sebagai jenis semak belukar yang termasuk dalam kategori tanaman berkeping dua, atau yang dikenal dengan istilah dikotil. Pohon kopi diketahui memiliki sistem akar yang berbentuk tunggang, yang memberikan stabilitas kuat sehingga tanaman tidak mudah rebah meskipun menghadapi angin kencang atau kondisi tanah yang kurang stabil. Akar utama ini tumbuh vertikal ke bawah, membentuk struktur yang kokoh dan mendukung pertumbuhan keseluruhan tanaman. Selain itu, akar pohon kopi cenderung tumbuh secara dangkal, dengan lebih dari 90% dari total berat akar terdistribusi dalam lapisan tanah yang memiliki kedalaman sekitar 30 hingga 50 cm (Wibowo, 2021.). Hal ini memungkinkan tanaman untuk menyerap nutrisi dan udara dari permukaan tanah yang lebih mudah, namun juga membuatnya rentan terhadap kekeringan jika lapisan atas tanah mengalami pengeringan dengan cepat. Karakteristik akar yang diungkapkan ini memiliki makna penting dalam praktik budidaya, di mana petani perlu memperhatikan pengelolaan tanah untuk mencegah erosi atau kehilangan kelembaban. Misalnya, penggunaan mulsa atau sistem irigasi yang tepat dapat membantu menjaga kelembaban di zona akar utama, sehingga mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman yang optimal. Lebih lanjut, sistem akar tunggang yang stabil memungkinkan pohon kopi bertahan di lahan miring atau berbukit, asalkan drainase tanah baik untuk menghindari genangan udara yang dapat merusak akar.

2. Cabang

Tanaman kopi menunjukkan variasi dalam struktur cabangnya, yang dapat dibedakan menjadi lima jenis utama. Setiap jenis cabang memiliki fungsi spesifik dalam pertumbuhan dan produksi tanaman, yang berkontribusi pada morfologi secara keseluruhan serta efisiensi dalam proses fotosintesis dan pembentukan buah. Adapun jenis cabang, yaitu cabang primer yang menjadi cabang utama yang pertama kali muncul dari batang utama, berperan sebagai kerangka dasar untuk pertumbuhan selanjutnya. Cabang sekunder merupakan cabang yang berkembang dari cabang primer untuk memberikan cabang tambahan yang memperluas area

penyebaran daun dan buah. Selanjutnya, cabang reproduktif khusus untuk proses reproduksi, dimana bunga dan buah kopi terbentuk, sehingga langsung terkait dengan hasil panen. Cabang balik ialah cabang yang tumbuh kembali ke arah batang utama atau cabang induk, cabang ini sering kali memberikan respon terhadap pemangkasan atau kerusakan, membantu dalam pemulihan struktur tanaman. Kemudian, cabang kipas yang menyebar secara lateral seperti kipas, meningkatkan luas permukaan untuk menangkap cahaya matahari dan mendukung pertumbuhan daun yang lebih lebat.

3. Daun

Daun pada pohon kopi menunjukkan kesamaan yang cukup erat dengan daun tanaman kakao atau coklat, terutama dalam bentuknya yang lonjong, warna hijau yang segar, serta pangkal daun yang meruncing, yang memberikan tampilan yang ramping dan aerodinamis. Selain itu, daun ini sering kali memiliki permukaan yang berliku dan mengkilat, tergantung pada spesies kopi yang dibudidayakan, seperti arabika yang cenderung lebih mengkilat dibandingkan robusta. Ukuran daun kopi bervariasi, dengan panjang berkisar antara 15 hingga 40 cm, lebar 7 hingga 30 cm, dan panjang tangkai daun sekitar 1 hingga 9 cm, yang memungkinkan daun untuk menyesuaikan diri dengan kondisi cahaya dan angin di lingkungan pertumbuhan. Daun kopi juga memiliki struktur vena yang khas, dengan 10 hingga 12 pasang urat yang terletak di pangkal daun, yang berakhir dengan ujung yang tumpul atau runcing, tergantung varietasnya. Tepi daun umumnya berkerut, dan urat-uratnya tidak teratur, sehingga menciptakan lekukan-lekukan pada permukaan daun yang meningkatkan area permukaan untuk proses fotosintesis dan pertukaran gas. Lekukan ini juga membantu daun menahan air hujan atau embun, mengurangi risiko penguapan berlebih di daerah tropis. Secara keseluruhan, morfologi daun ini berkontribusi pada efisiensi fotosintesis, di mana bentuk lonjong dan gelombang memaksimalkan penyerapan cahaya matahari, sementara warna hijau menunjukkan kandungan klorofil yang tinggi. Pola pertumbuhan daun pohon kopi menarik, karena daun-daunnya tumbuh secara saling berhadapan pada batang utama dan cabang-cabangnya, yang memfasilitasi distribusi cahaya yang merata dan mencegah bayangan antar daun. Hal ini penting dalam sistem budidaya, terutama pada perkebunan yang menggunakan naungan, karena memungkinkan tanaman

beradaptasi dengan intensitas cahaya yang bervariasi. Karakteristik ini mempengaruhi kesehatan tanaman, di mana daun yang dikonversi dan mengkilat lebih tahan terhadap serangan hama atau penyakit, serta mendukung produksi energi yang diperlukan untuk pembentukan buah. Dalam konteks akademik, pemahaman mendalam tentang morfologi daun kopi ini dapat membantu dalam penelitian agronomi, seperti pengembangan varietas tahan iklim atau optimasi teknik pemangkasan untuk meningkatkan produktivitas (Wardana Riki *et al.*, 2023). Dengan demikian, daun kopi tidak hanya berfungsi sebagai organ fotosintesis tetapi juga sebagai indikator kesehatan tanaman secara keseluruhan.

4. Bunga

Bunga pada pohon kopi umumnya memiliki ukuran yang relatif kecil, dengan pucuk yang berwarna putih dan mengeluarkan aroma harum yang menarik bagi serangga penyerbuk. Kelopak bunga ini biasanya berwarna hijau, memberikan kontras yang membantu dalam proses identifikasi dan perlindungan awal. Ketika bunga mencapai tahap kematangan, baik kelopak maupun mahkota akan terbuka secara bertahap, memungkinkan akses bagi agen penyerbuk seperti lebah atau angin, yang kemudian memfasilitasi pembuahan dan pembentukan buah. Proses ini merupakan bagian penting dari siklus reproduksi tanaman kopi, dimana penyerbukan yang berhasil akan menghasilkan buah yang berkembang dari ovarium bunga. Waktu yang diperlukan untuk transformasi dari bunga hingga buah yang matang biasanya berkisar antara 8 hingga 11 bulan, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis spesies kopi (misalnya arabika atau robusta) serta kondisi lingkungan seperti curah hujan, suhu udara, dan ketersediaan nutrisi tanah (Wardana Riki *et al.*, 2023). Pada spesies arabika, misalnya, periode ini cenderung lebih panjang karena kebutuhan adaptasi terhadap iklim yang lebih sejuk, sedangkan robusta mungkin lebih cepat matang di daerah tropis dengan intensitas cahaya yang tinggi. Faktor lingkungan seperti kelembaban yang optimal atau suhu ekstrem dapat memperpanjang atau memperpendek durasi ini, sehingga petani perlu menjaga kondisi lahan untuk memastikan hasil panen yang maksimal. Secara keseluruhan, pemahaman tentang morfologi dan siklus bunga ini penting untuk praktik budidaya yang efisien, karena mempengaruhi produktivitas dan kualitas buah kopi yang dihasilkan.

5. Buah

Buah kopi menunjukkan beberapa ciri khas yang membedakannya dari tanaman lainnya, dengan salah satu yang paling menonjol adalah bentuk biji yang agak lonjong serta garis tengah biji yang membentuk kurva seperti huruf S, yang memberikan identitas unik dalam morfologi. Secara umum, buah kopi terdiri dari tiga bagian utama, yaitu lapisan luar yang berfungsi sebagai cangkang (*exocarp*), lapisan daging (*mesocarp*) yang lebih tebal dan berisi nutrisi, serta lapisan kulit dalam (*endocarp*) yang tipis namun keras, yang melindungi biji dari kerusakan eksternal. Struktur ini memastikan perlindungan biji selama proses pertumbuhan dan pendinginan, dengan *endocarp* yang kuat berperan sebagai penghalang terhadap hama atau faktor lingkungan. Dalam hal biji, buah kopi biasanya menghasilkan dua biji, meskipun terkadang ditemukan variasi di mana buah tidak menghasilkan biji sama sekali atau hanya satu biji saja, yang dikenal sebagai *peaberry*. Dari segi morfologi, biji kopi umumnya berbentuk telur, dengan tekstur yang keras dan warna yang cenderung kotor, yang mencerminkan proses pemasakan alami dan kandungan senyawa seperti kafein serta antioksidan (Wardana Riki *et al.*, 2023). Ciri-ciri ini tidak hanya penting untuk mengidentifikasi spesies tetapi juga mempengaruhi proses pengolahan pascapanen, dimana tekstur keras biji memerlukan teknik pengupasan yang hati-hati untuk menjaga kualitas. Secara keseluruhan, morfologi buah kopi ini memberikan kontribusi pada nilai komersialnya, karena bentuk dan struktur biji mempengaruhi cita rasa akhir minuman kopi yang dihasilkan.

2.1.3 Syarat Tumbuh Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica*)

Tanaman kopi memiliki persyaratan tumbuh yang berbeda tergantung dengan jenis varietas yang dibudidayakan. Khusus untuk tanaman kopi arabika (*Coffea arabica*), terdapat syarat tumbuh yang harus diperhatikan untuk memastikan tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan optimal serta menghasilkan buah yang berkualitas. Adapun syarat tumbuh dari tanaman kopi arabika ialah sebagai berikut:

a. Kondisi Iklim

Tanaman kopi arabika memerlukan lingkungan dengan iklim yang tepat untuk mendukung pertumbuhannya mulai dari vegetatif hingga pembentukan buah. Ketinggian tempat yang idel untuk kopi arabika antara 1.000 hingga 2.000 meter diatas permukaan laut (mdpl). Dengan suhu yang diperlukan lebih rendah dan tekanan udara yang berbeda untuk proses fotosintesis yang efisien dan mencegah stress tanaman akibat panas yang dapat merusak buah dan juga daun. Curah hujan tahunan yang dibutuhkan adalah sekitar 1.250 hingga 2.500 mm/tahun, yang menyediakan kelembabab tanah yang cukup untuk penyerapan udara oleh akar, namun tidak berlebihan sehingga menghindari risiko penyimpanan yang dapat menyebabkan terjadinya akar. Selain itu, tanamaan kopi arabika dapat mengukur periode bulan kering sebanyak 1 hingga 3 bulan dalam setahun, dimana curah hujan bulanan kurang dari 60 milimeter, yang memberikan waktu istirahat bagi tanaman untuk mempersiapkan fase pembangunan dan pengukuran buah. Suhu udara rata-rata yang optimal adalah antara 15 hingga 25 derajat celcius. Suhu ini berfungsi untuk menjaga keseimbangan dari metabolisme tanaman dan mencegah gangguan seperti pembekuan atau penguapan berlebih (Saragi *et al.*, 2021).

b. Karakteristik tanah

Tingkat kesesuaian lahan bagi tanaman kopi arabika melibatkan fisik dan kimia yang harus dievaluasi secara menyeluruh agar tanaman dapat menyerap nutrisi dengan maksimal dan tahan terhadap erosi atau penyakit. Kemiringan tanah yang direkomendasikan adalah kurang dari 30%, yang membantu mencegah aliran udara permukaan yang berlebihan dan memudahkan penerapan teknik konservasi seperti terasing di daerah berbukit. Kedalaman tanah efektif harus melebihi 100 cm, memungkinkan sistem akar tunggang menjangkau lapisan tanah yang lebih dalam, sehingga tanaman dapat mengakses sumber udara dan nutrisi yang stabil selama musim kering. Tekstur tanah yang paling ideal bagi tanaman kopi adalah berlembung atau lempung (Susilo & Wicaksono, 2023), dengan struktur lapisan atas yang remah, yang meningkatkan porositas dan drainase, sehingga mengurangi akumulasi risiko udara yang dapat merusak akar.

Dari sisi sifat kimia, tanah harus memiliki kadar bahan organik yang tinggi, yaitu lebih dari 3,5 persen atau kadar karbon organik lebih dari 2 persen, yang

berfungsi sebagai sumber nutrisi alami dan mendukung aktivitas mikroorganisme tanah yang membantu dekomposisi bahan organik. Nisbah karbon terhadap nitrogen (C/N) antara 10 hingga 12 menunjukkan keseimbangan yang baik untuk proses mineralisasi, yang penting untuk ketersediaan nitrogen bagi pertumbuhan tanaman. Kapasitas pertukaran kation (KPK) harus lebih dari 15 miliekuivalen per 100 gram tanah, yang menunjukkan kemampuan tanah untuk menahan dan melepaskan ion-ion nutrisi seperti kalium dan magnesium. Kejenuhan basa yang lebih dari 35 persen menunjukkan tingkat kesuburan tanah yang memadai, sementara pH tanah berkisar antara 5,5 hingga 6,5 untuk mengoptimalkan penyerapan unsur hara tanpa risiko toksisitas atau defisiensi. Kadar unsur hara esensial seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg) harus cukup hingga tinggi, terutama pada lapisan tanah 0 hingga 30 sentimeter, untuk mendukung fase pertumbuhan aktif dan pembentukan buah (Saragi *et al.*, 2021). Persyaratan kimia ini penting untuk mencegah masalah seperti klorosis daun atau penurunan produktivitas, sehingga analisis tanah secara berkala menjadi praktik standar dalam pengelolaan perkebunan kopi. Secara keseluruhan, kombinasi antara kondisi iklim dan tanah yang sesuai tidak hanya menjamin kelangsungan budidaya kopi arabika tetapi juga berkontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan dan ekonomi pertanian.

2.1.4. Varietas Kopi Arabika

Dua jenis kopi utama diproduksi dan diperdagangkan di seluruh dunia ialah arabika dan robusta. Arabika, menyumbang sekitar 60 persen dari produksi kopi global, adalah kopi berkualitas lebih tinggi dan bernilai lebih tinggi (*Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations*, 2022). Dikenal sebagai varietas dengan kualitas superior, kopi arabika yang merupakan kultivar dari spesies *Coffea arabica* memiliki karakteristik rasa yang jauh lebih kompleks dan aromatik, dilengkapi dengan keasaman yang menonjol dan kadar kafein yang lebih ringan dibandingkan robusta. Kopi ini tumbuh paling optimal di kawasan dataran tinggi dan menghasilkan biji dengan ukuran lebih kecil. Dari kelompok ini lahir banyak turunan populer seperti bourbon, typica, dan gayo, termasuk pula varietas hibrida seperti ruiru 11 yang dikembangkan untuk meningkatkan baik kualitas rasa maupun ketahanan terhadap penyakit.

Salah satu varietas yang telah dikembangkan oleh Pusat penelitian kopi dan kakao adalah komasti. Komasti merupakan varietas campuran 6 genotipe terpilih yaitu Com 8, Com 29, Com 34, Com 79, Com 99 dan Com 130. Dengan pertumbuhan batang yang sedikit ramping dengan percabangan yang tidak terlalu melebar. Varietas ini ialah varietas yang tahan terhadap penyakit karat daun (*H. vastatrix*), rentan serangan *nematoda R. similis* maupun *P. coffeae*. Hal ini membuat komasti menjadi varietas unggul dengan potensi produksi rata-rata 1.816ton/ha (Hidayat *et al.*, 2011).

Komasti (singkatan dari Komposit Arabika Andung Sari Tiga) merupakan varietas kopi arabika unggulan yang dikembangkan oleh Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Menurut Hulupi (2013), komasti merupakan varietas yang tahan penyakit karat daun dengan sistem ketahanan yang menyerupai ketahanan horizontal, tersusun oleh beberapa sumber gen ketahanan sehingga akan bersifat awet dan tidak mudah terpatahkan oleh ras fisiologi baru. Varietas ini memiliki tipe pertumbuhan katai (*dwarf*) dengan tajuk yang kompak dan kokoh. Daun mudanya berwarna hijau kecokelatan, sementara buah yang sudah masak akan berwarna merah tua secara serempak. Komasti memiliki potensi produksi maksimal hingga 2,1 ton kopi biji per hektar setiap tahunnya. Selain produktif, varietas ini juga dikenal memiliki profil citarasa yang baik (skala 6 hingga 7,6) dan berpotensi untuk dikembangkan sebagai produk kopi spesialti.

2.2 Perkecambahan Kopi Arabika

Perkecambahan benih merupakan proses perkembangan awal dari struktur utama embrio yang ditandai dengan munculnya bagian-bagian penting embrio yang menembus lapisan pelindung biji atau kulit tanduk. Proses ini menunjukkan tahapan dimana biji mulai menunjukkan tanda-tanda kehidupan dengan keluarnya tunas atau akar yang merupakan tanda bahwa embrio telah aktif dan siap untuk berkembang menjadi tanaman yang sehat. Berkecambah dapat diartikan sebagai fase dimana struktur-struktur vital dari embrio muncul dan tumbuh secara nyata serta menampilkan kemampuan adaptasi dan pertumbuhan yang optimal sehingga dapat berkembang menjadi tanaman normal apabila mendapat kondisi lingkungan yang mendukung, seperti ketersediaan udara, suhu yang sesuai, dan nutrisi yang memadai (Irma, 2022).

Secara morfologi, perkecambahan benih kopi melibatkan perubahan fisik yang signifikan dari embrio yang tersimpan di dalam benih menjadi kecambah yang siap tumbuh. Embrio yang awalnya dalam keadaan terlindungi oleh lapisan kulit tanduk, mulai mengalami pembengkakan dan aktivasi saat terpapar oleh kondisi lingkungan yang sesuai, seperti kelembaban dan suhu optimal. Proses ini ditandai dengan munculnya struktur-struktur baru, seperti radikula yang menembus kulit biji untuk menjangkau tanah, diikuti oleh hipokotil yang berkembang menjadi batang muda dan kotiledon yang muncul sebagai daun pertama. Perubahan bentuk ini mencerminkan tanaman muda untuk menyerap nutrisi dan udara dari lingkungan. Dalam morfologi, perubahan seperti ini penting untuk diamati karena memberikan indikator visual tentang kesehatan benih dan potensi pertumbuhan bibit di lapangan.

Dari sudut fisiologi, perkecambahan benih kopi menandai awal dimulainya aktivitas metabolisme dan pertumbuhan yang vital bagi kelangsungan hidup tanaman. Proses ini dimulai dengan imbibisi udara oleh benih, yang memicu rehidrasi embrio dan aktivasi enzim-enzim seperti amilase untuk memecah pati menjadi gula sederhana sebagai sumber energi. Metabolisme seluler meningkat, termasuk respirasi dan sintesis protein, yang mendukung pembentukan jaringan baru. Pertumbuhan penting ditandai dengan munculnya struktur-struktur fisiologis melalui kulit biji, seperti pemanjangan akar dan batang, yang memungkinkan bibit beradaptasi dengan lingkungan eksternal. Faktor fisiologis seperti kadar hormon auksin dan giberelin berperan dalam mengatur laju pertumbuhan, sementara kondisi stress seperti kekeringan dapat menghambat proses ini. Pemahaman fisiologi tanah dan suhu, agar perkecambahan berjalan efisien dan menghasilkan bibit yang kuat. Secara biokimia, perkecambahan benih kopi melibatkan serangkaian reaksi kompleks yang mencakup perubahan lintasan oksidatif dan biosintesis, yang mengubah komposisi internal benih untuk mendukung pertumbuhan. Proses oksidatif melibatkan peningkatan aktivitas enzim antioksidan untuk melindungi sel dari kerusakan radikal bebas selama rehidrasi, sementara biosintesis mencakup produksi molekul baru seperti asam nukleat, protein, dan lipid yang diperlukan untuk pembentukan jaringan. Perjalanan biokimia ini dimulai dengan aktivasi gen yang mengkode enzim, yang dipicu oleh sinyal lingkungan seperti cahaya dan suhu. Perubahan ini tidak hanya menyediakan energi tetapi juga membangun fondasi

untuk metabolisme fotosintesis pada kecambah. Dalam penelitian biokimia, analisis ini membantu mengidentifikasi biomarker viabilitas benih, seperti kadar ATP atau aktivitas enzim peroksidase, yang dapat digunakan untuk meningkatkan teknik penyimpanan dan priming benih (Sobari *et al.*, 2017)

Uji daya perkecambahan pada benih kopi dilakukan untuk menilai kualitas dan kuantitas benih sebelum digunakan dalam penanaman, yang merupakan langkah penting dalam pengelolaan benih untuk memastikan keberhasilan budidaya. Tujuan utama adalah menentukan persentase benih yang mampu berkecambah dalam kondisi standar, seperti substrat yang lembab dan suhu terkendali, sehingga petani dapat memprediksi tingkat keberhasilan tanam dan menghindari kerugian akibat benih berkualitas rendah. Proses uji ini melibatkan pengukuran parameter seperti kecepatan berkecambah, persentase benih yang berhasil berkecambah, panjang hipokotil, dan kekuatan tumbuh yang memberikan data kuantitatif tentang viabilitas benih.

2.2.1 Daya Kecambah

Daya kecambah kopi merupakan kemampuan benih untuk berkecambah meskipun dalam kondisi lingkungan yang tidak mendukung, untuk menghasilkan bibit yang sehat. Untuk mengatasi hal tersebut, berbagai upaya dapat dilakukan melalui metode mekanik dan kimiawi, yang bertujuan untuk merangsang aktivitas embrio dan mempercepat proses perkecambahan. Selain itu, pemanfaatan bahan organik seperti zat pengatur tumbuh alami dan penggunaan media tanam yang sesuai juga terbukti efektif dalam mendukung daya kecambah. Salah satu cara mekanik yang umum digunakan untuk meningkatkan daya perkecambahan benih kopi adalah dengan mengupas kulit biji secara hati-hati. Proses ini melibatkan penghilangan lapisan kulit tanduk yang keras, yang biasanya membungkus embrio dan mencegah penyerapan udara atau oksigen yang diperlukan untuk aktivasi metabolisme. Dengan mengupas kulit, embrio dapat terpapar langsung pada lingkungan eksternal, sehingga memicu imbibisi udara dan dimulainya proses biokimia internal. Metode ini efektif untuk benih kopi, namun memerlukan keterampilan agar tidak merusak embrio di dalamnya. Dalam praktiknya, pengupasan dilakukan menggunakan alat sederhana seperti pisau atau mesin pengupas, dan benih yang telah dihaluskan harus segera ditanam untuk menghindari

pengeringan atau kontaminasi. Pendekatan mekanik ini sering dikombinasikan dengan teknik lain untuk meningkatkan tingkat keberhasilan, dan hasilnya dapat diamati melalui peningkatan laju perkecambahan hingga 20-30% dibandingkan benih yang tidak diolah.

Cara kimiawi melibatkan perendaman benih kopi dalam lingkungan kimia tertentu, yang bertujuan untuk mengencerkan kulit biji atau merangsang aktivitas enzim di dalam embrio. Larutan umum digunakan termasuk asam sulfat encer atau bahan kimia seperti kalium nitrat, yang membantu menguraikan penghalang fisik dan kimiawi yang menyebabkan pemecahan daya kecambah. Proses perendaman biasanya dilakukan selama beberapa jam hingga hari, tergantung konsentrasi larutan, diikuti dengan pencucian benih untuk menghilangkan residu kimia. Metode ini efektif untuk benih dengan pemecahan daya kecambah fisiologis, di mana hormon atau inhibitor internal mencegah perkecambahan. Namun penggunaan bahan kimia harus dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari kerusakan embrio atau dampak negatif pada lingkungan, seperti pencemaran tanah. Dalam penelitian agronomi, metode kimiawi telah terbukti meningkatkan viabilitas benih kopi, sehingga menjadi pilihan bagi petani yang ingin mempercepat siklus budidaya (Nugroho & Salamah, 2015). Selain metode mekanik dan kimiawi, pemanfaatan bahan organik juga dapat membantu proses perkecambahan benih kopi dengan cara yang lebih alami dan ramah lingkungan. Salah satu pendekatannya ialah perendaman dengan air panas yang berfungsi sebagai sterilisasi alami yang efektif untuk membunuh pathogen, jamur, atau bakteri yang menempel pada permukaan benih kopi. Kemudian, perendaman dengan menggunakan air kelapa yang dapat dikatakan zat pengatur tumbuh (ZPT) alami.

2.2.2 Air kelapa

Air kelapa merupakan cairan alami yang diekstrak dari buah kelapa, yang kaya akan berbagai unsur nutrisi dan hormon pertumbuhan alami. Komposisi ini membuatnya berguna dalam aplikasi pertanian, seperti untuk merangsang pertumbuhan tanaman atau meningkatkan viabilitas benih. Berdasarkan penelitian Rosniawaty *et al.*, (2020), air kelapa mengandung sejumlah nutrisi makro dan mikro yang penting, serta hormon pertumbuhan yang berperan sebagai zat mengatur pertumbuhan. Menurut Rosniawaty *et al.*, (2020), komposisi utamanya

meliputi nitrogen (N) sebesar 0,018%, fosfor (P) 13,85%, kalium (K) 0,12%, natrium (Na) 0,002%, kalsium (Ca) 0,006%, magnesium (Mg) 0,005%, dan karbon organik (C organik) 4,52%. Setiap unsur ini memiliki peran spesifik dalam fisiologi tanaman, yang dapat meningkatkan efisiensi budidaya ketika digunakan sebagai bahan organik. Kandungan unsur hara ini menjadikan air kelapa sebagai alternatif organik yang efektif untuk priming benih atau pupuk cair, karena menyediakan nutrisi seimbang tanpa risiko kontaminasi kimia.

Selain unsur hara, air kelapa juga mengandung hormon tumbuh alami yang berfungsi sebagai zat mengatur pertumbuhan tanaman. Menurut Rosniawaty *et al.*, (2020), hormon yang teridentifikasi meliputi asam indol asetat (IAA) sebesar 0,0039%, dimana IAA adalah hormon auksin utama yang merangsang pembentukan akar dan diferensiasi sel. Dalam pertanian, IAA dari air kelapa dapat membantu meningkatkan perkembangan sistem akar pada bibit, sehingga tanaman lebih stabil dan efisien dalam penyerapan udara. Kandungan asam giberelat (GA3) 0,0018% yang berperan dalam meningkatkan daya kecambah dan merangsang pemanjangan batang. Kandungan ini efektif untuk mempercepat pertumbuhan vegetatif, terutama pada tahap awal pertumbuhan, yang bermanfaat untuk produksi bibit yang berkualitas. Sitokinin 0,0017% membantu dalam pembelahan sel dan mencegah penuaan daun. Hormon ini juga dapat mendukung pertumbuhan lateral dan ketahanan tanaman terhadap stres, sehingga meningkatkan produktivitas dalam kondisi lingkungan yang menantang. Kinetin 0,0053% yang berfungsi untuk merangsang sintesis protein dan memperpanjang umur sel. Dalam air kelapa, kinetin membantu memperbaiki viabilitas benih dan merangsang pertumbuhan bibit yang lebih kuat. Dan zeatin 0,0019% yang berkontribusi untuk adaptasi tanaman terhadap perubahan lingkungan, seperti suhu atau kelembaban. Hormon-hormon ini bekerja secara sinergis untuk merangsang proses fisiologis tanaman, seperti perkecambahan dan pemanjangan. Serta Hormon-hormon ini menjadikan air kelapa sebagai bioaktivator alami, yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi budidaya tanpa bahan sintetis.

Air kelapa dari buah tua memiliki unsur hara yang serupa dengan buah muda, namun kadarnya sedikit lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh proses metabolisme yang melambat seiring matangnya, dimana sebagian nutrisi digunakan untuk

pengembangan daging buah atau mengalami penguapan. Misalnya, kadar fosfor dan kalium pada kelapa tua mungkin berkurang karena redistribusi nutrisi ke bagian buah lain. Sementara itu, hormon tumbuh seperti IAA dan GA3 juga cenderung lebih rendah pada kelapa tua, karena aktivitas biosintesis hormon menurun setelah fase pertumbuhan aktif. Perbedaan ini penting untuk dipertimbangkan dalam penerapan pertanian; air kelapa muda lebih direkomendasikan untuk priming benih karena kandungan yang lebih tinggi, sedangkan kelapa tua masih dapat digunakan sebagai suplemen nutrisi meskipun efektivitasnya berkurang (Rosniawaty *et al.*, 2020).

Air kelapa 100% sudah dapat meningkatkan daya kecambah kopi, terbukti dalam penelitian Turnip (2014) yang menyatakan bahwa perendaman biji kopi menggunakan air kelapa selama 24 jam menghasilkan persentase kecepatan tumbuh dan persentase perkecambahan yang tinggi.

2.2.3 Air Panas

Perendaman benih kopi dalam air panas merupakan teknik pra-penyemaian yang umum digunakan dalam budidaya tanaman untuk meningkatkan viabilitas dan keberhasilan perkecambahan. Metode ini melibatkan perendaman benih dalam air dengan suhu tertentu (biasanya 50-60°C) selama waktu singkat, yang bertujuan untuk mempersiapkan benih sebelum ditanam. Air panas berfungsi sebagai agen sterilisasi alami yang efektif untuk membunuh patogen seperti jamur, bakteri, atau hama yang mungkin menempel pada permukaan benih. Suhu panas merusak membran sel mikroorganisme, sehingga mengurangi risiko infeksi selama penyemaian. Misalnya, perendaman dapat menghilangkan spora jamur seperti fusarium atau bakteri yang menyebabkan terjangkitnya benih. Manfaat ini sangat berguna di daerah tropis dengan kelembaban tinggi, di mana benih kopi rentan terhadap kontaminasi. Dengan mengurangi patogen, teknik ini meningkatkan persentase benih yang berhasil berkecambah dan menghasilkan bibit sehat, yang pada gilirannya mengurangi kebutuhan pestisida dalam tahap awal pertumbuhan.

Penelitian Pratiwi Aritonang *et al.*, 2024, menyatakan bahwa suhu air panas berpengaruh nyata terhadap panjang akar hal ini dikarenakan suhu air panas menyebabkan kulit benih mengalami pelunakan. Penyerapan air panas memicu aktivasi enzim yang kemudian beredar ke dalam endosperma, memulai proses

dekomposisi cadangan makanan. Secara spesifik, enzim amilase bertugas memecah pati menjadi glukosa, sementara enzim lipase mengubah lemak menjadi asam lemak dan gliserol. Selanjutnya, enzim protease berfungsi mengurai protein menjadi asam amino. Semua senyawa sederhana ini kemudian ditransfer menuju embrio untuk menunjang pertumbuhan. Selain itu, aktivitas enzim protease juga menghasilkan asam amino, yang penting dalam pembentukan protein baru, salah satunya adalah α -amilase. Peningkatan konsentrasi α -amilase akan mengakselerasi proses hidrolisis amilum menjadi gula sederhana. Pembentukan α -amilase ini juga dipengaruhi oleh giberelin yang terdapat pada embrio, pada fase awal perkecambahan, asam giberelin diaktifkan untuk memulai sintesis α -amilase.

Durasi perendaman selama 30 menit pada suhu 60°C dipilih karena rentang waktu tersebut dinilai cukup untuk memberikan efek termal yang diperlukan tanpa menimbulkan kerusakan termal pada jaringan embrio. Dalam penelitian Pratiwi Arintonang *et al* (2024) yang menguji kombinasi suhu perendaman 40°C, 50°C, dan 60°C dengan lama perendaman 20, 40, 60, dan 80 menit pada benih kopi arabika, dan menemukan bahwa suhu 60°C berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman dan panjang akar bibit kopi arabika. Hal ini menunjukkan bahwa suhu 60°C mampu mengaktifkan respons fisiologis yang mendukung pertumbuhan awal benih.

2.3. Teori Efektivitas

Efektivitas merupakan unsur pokok untuk mencapai tujuan dan sasaran yang telah ditentukan di dalam setiap organisasi, kegiatan, ataupun program. Disebut efektif apabila tercapai tujuan ataupun sasaran seperti yang telah ditentukan (Pereira *et al.*, 2025). Dalam bahasa yang lebih sederhana, efektivitas adalah ukuran seberapa berhasil suatu tindakan atau perlakuan mencapai hasil yang ingin dituju. Jika seseorang menanam benih kopi dan ingin agar benih tersebut cepat berkecambah, lalu ia memberikan perlakuan tertentu maka perlakuan itu dianggap efektif apabila hasilnya (kecepatan tumbuh, persentase tumbuh, panjang hipokotil, dan vigor) benar-benar meningkat secara nyata dibandingkan tanpa perlakuan. Pengertian efektivitas umumnya berkaitan dengan suatu ukuran kemampuan untuk mencapai sasaran atau tujuan tertentu. Efektivitas merupakan hubungan antara hasil yang dicapai dengan tujuan atau sasaran yang diharapkan. Semakin besar kontribusi

hasil terhadap harapan atau tujuan dari suatu kegiatan, semakin efektif kegiatan tersebut efektivitas berfokus pada *outcome* atau hasil yang terjadi.

Tingkatan efektivitas dapat diukur dengan cara membuat perbandingan antara hasil yang telah ditentukan dengan hasil yang telah dicapai. Apabila suatu usaha atau hasil yang telah dilakukan tidaklah tepat, maka tidak tercapainya suatu tujuan dan sasaran yang telah diharapkan, dan proses tersebut dapat dikatakan tidak efektif (Pereira *et al.*, 2025). Agar efektivitas suatu perlakuan dapat dinilai secara objektif dan ilmiah, diperlukan indikator-indikator yang terukur. Terdapat lima indikator efektivitas, yaitu pemahaman, ketepatan sasaran, ketepatan waktu, tercapainya tujuan, dan perubahan nyata yang dihasilkan (Byregowda *et al.*, 2025).

2.4. Penelitian Terdahulu

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No.	Judul	Variabel	Parameter	Hasil
1.	Pengaruh bahan dan lama perendaman terhadap pemecahan dormansi benih kopi (<i>Coffea Arabica</i> L) (Rosalyne <i>et al.</i> , 2021)	Bahan perendaman menggunakan Giberelin dan Sitokinin dan juga lama waktu perendaman	Umur kecambah, tinggi kecambah, panjang akar, dan berat akar	Giberelin lebih efektif dalam mempercepat waktu perkecambahan benih kopi. Sementara sitokinin lebih efektif dalam meningkatkan pertumbuhan vegetatif kecambah (tinggi, panjang, dan berat akar).

No.	Judul	Variabel	Parameter	Hasil
2.	Pengaruh lama perendaman dalam air kelapa tua terhadap perkecambahan benih kopi arabika (<i>Coffea Arabica</i>) setelah skarifikasi kimia (Ria Sari & Kartika, 2019)	Perendaman air kelapa tua dengan lama waktu perendaman yang berbeda	Daya berkecambah, kecepatan berkecambah, indeks vigor, tinggi bibit, diameter bibit dan Panjang akar	Perendaman benih kopi arabika dalam air kelapa tua selama 12 jam setelah skarifikasi kimia memberikan hasil terbaik dan berbeda nyata pada parameter pertumbuhan dan perkecambahan yang diamati.
3.	Pengaruh berbagai cara pemecahan dormansi benih kopi arabika (<i>Coffea Arabica</i>) terhadap perkecambahan (Nurhaliza <i>et al.</i> , 2023)	Pengupasan kulit benih, perendaman air panas, air kelapa, H ₂ SO ₄ , M-Bio dengan lama waktu perendaman yang berbeda	Persentase kecambah, Persentase kecepatan tumbuh benih, panjang hipokotil, bobot kering kecambah, uji kekuatan tumbuh, kadar benih, temperatur, dan	Perendaman menggunakan air kelapa berpengaruh 53% terhadap persentase kecambah dan berpengaruh 88% terhadap kekuatan tumbuh.

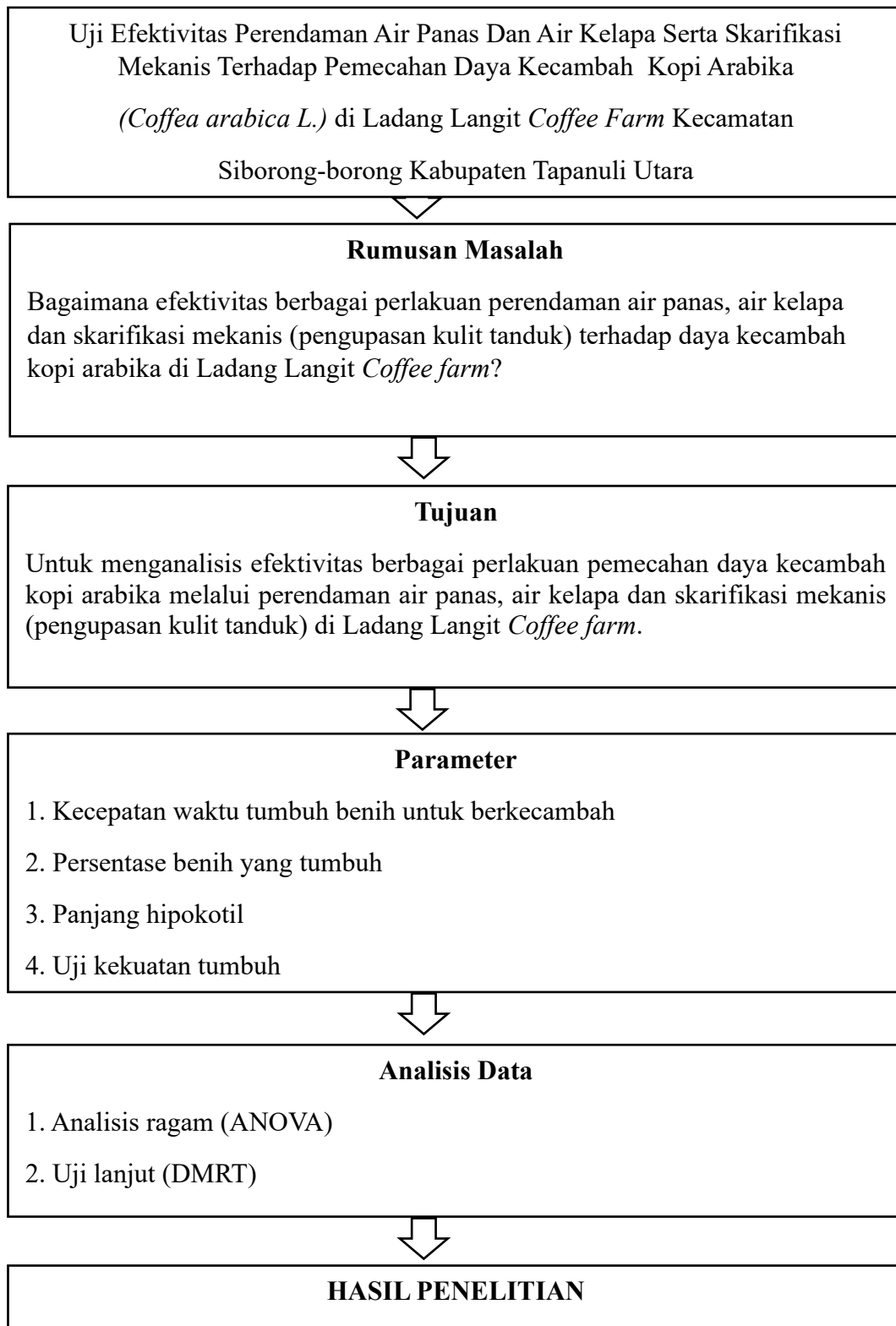
No.	Judul	Variabel	Parameter	Hasil
			kelembaban udara	
4.	Viabilitas benih kopi arabika (<i>Coffea Arabica L</i>) terhadap lama perendaman air kelapa pada media tanam yang berbeda setelah skarifikasi mekanis (Nurihandayani <i>et al.</i> , 2025)	Lama perendaman dan media tanam yang berbeda	Viabilitas yang mencakup Daya Berkecambah, Kecepatan Tumbuh, dan Indeks Vigor	Media tanam merupakan faktor yang jauh lebih penting (berpengaruh sangat nyata) dalam menentukan viabilitas dan pertumbuhan benih kopi arabika dibandingkan lama perendaman air kelapa muda (tidak berpengaruh nyata) setelah skarifikasi mekanis.
5.	Effect of dormancy treatment on germination of Arabica Coffee (<i>Coffea Arabica L</i>) (Sitanggang <i>et al.</i> , 2022)	Skarifikasi mekanik, Perendaman menggunakan KNO ₃ , Sitokinin, dan menggunakan air	Potensi tumbuh, daya kecambah, indeks vigor, kecepatan tumbuh, dan persentase	Perlakuan Pengupasan Kulit Tanduk terbukti menjadi metode pematangan

No.	Judul	Variabel	Parameter	Hasil
		kelapa dengan lama waktu perendaman yang berbeda	kecambah normal, dan persentase benih mati	dormansi yang paling efektif untuk benih kopi arabika, menghasilkan nilai tertinggi pada semua parameter viabilitas.
6.	Respon perkecambahan benih kopi arabika (<i>Coffea Arabica L</i>) terhadap perendaman dalam berbagai konsentrasi vitamin B1 (Rakhmi Indriana & Azahra, 2025.)	Perbedaan konsentrasi perendaman vitamin B1	Daya kecambah, kecepatan kecambah, tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, dan bobot kering bibit	Perendaman benih kopi arabika dengan larutan Vitamin B1 efektif dalam memecahkan dormansi fisiologis dan meningkatkan viabilitas benih dengan konsentrasi 75 ppm
7.	Pengaruh suhu dan lama perendaman benih yang berbeda terhadap pemecahan dormansi benih	Perbedaan suhu air panas dan waktu perendaman	Umur berkecamabah, daya kecambah, tinggi tanaman, panjang akar,	Perlakuan perendaman air panas dengan suhu 60°C menunjukkan bahwa tinggi

No.	Judul	Variabel	Parameter	Hasil
	kopi arabika (<i>Coffea Arabica L.</i>) (Pratiwi Aritonang <i>et al.</i> , 2024.)		jumlah daun, tanaman dan dan nilai panjang akar penundaan yang terbaik perkecambahan	
8.	Pematahan dan dormansi dan perkecambahan kopi arabika (<i>Coffea arabica L.</i>) dengan Asam Sulfat (H ₂ SO ₄) dan Giberelin (GA ₃) (Lestari & Linda, 2016)	Perbedaan konsentrasi asam sulfat dan Giberelin	Daya kecambah, kecepatan kecambah, waktu kecambah, tinggi kecambah, panjang akar, dan bobot kering kecambah	Kombinasi perlakuan asam sulfat dengan giberelin pada konsentrasi 80 ppm adalah perlakuan paling efektif untuk pemecahan daya kecambah, kecepatan kecambah dan panjang akar yang baik.
9.	Pemberian berbagai suhu dan konsentrasi ekstrak bawang merah terhadap pematahan dormansi benih kopi arabika (<i>Coffea arabica L.</i>) (Adelina, 2021.)	Perbedaan konsentrasi ekstrak bawang merah dan suhu perendaman	Potensi tumbuh, daya kecambah, indeks vigor, kecepatan tumbuh, persentase kecambah normal, dan persentase benih mati	Perlakuan yang paling efektif dalam pemecahan daya kecambah ialah perendaman ekstrak bawang merah dengan konsentrasi

No.	Judul	Variabel	Parameter	Hasil
				50% pada suhu 40°C
10.	Pengaruh perendaman air kelapa terhadap daya tumbuh benih kopi arabika varietas USDA 762 (Ayu Amanda., 2020)	Perendaman air kelapa dengan lama waktu yang berbeda	Potensi tumbuh maksimum, daya kecambah, kecepatan kecambah, tinggi bibit, dan jumlah daun	Perlakuan yang paling efektif ialah dengan perendaman air kelapa selama 24 jam.

2.5. Kerangka Pikir



Gambar 1 Kerangka pikir

2.6. Hipotesis

Identifikasi masalah yang telah disampaikan serta data pendukung dan hasil observasi awal di lokasi, menjadi dasar dalam penyusunan hipotesis sebagai bentuk kesimpulan sementara. Hipotesis pada pengkajian ini adalah diduga adanya efektivitas dari berbagai perlakuan perendaman air panas, air kelapa dan mekanis (pengupasan kulit tanduk) terhadap daya kecambah kopi arabika di Ladang Langit *Coffee farm*.