

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Kapulaga (*Amomum cardamomum*)

Amomum cardamomum adalah tanaman rempah yang banyak dibudidayakan di Indonesia, terutama di pulau Jawa (Gambar 2.1). Kapulaga memiliki nilai ekonomi tinggi dan sering digunakan dalam masakan serta sebagai bahan obat tradisional. *Amomum cardamomum* adalah spesies tumbuhan yang termasuk dalam kingdom Plantae.



Gambar 2.1 Tanaman Kapulaga (*Amomum cardamomum*)

Sumber : dokumentasi pribadi

Tumbuhan ini tergolong dalam divisi Tracheophyta, yang mencakup semua tumbuhan berpembuluh. Secara lebih spesifik, *Amomum cardamomum* masuk ke dalam kelas Monokotil subkelas Angiospermae, yaitu tumbuhan berbunga yang menghasilkan biji tertutup. Spesies ini termasuk dalam ordo Zingiberales, diantaranya yang banyak dikenal adalah jahe dan kunyit. Famili dari *Amomum cardamomum* adalah Zingiberaceae, famili yang mencakup berbagai jenis tumbuhan rempah-rempah

Buah kapulaga sering digunakan sebagai rempah (bumbu) untuk masakan tertentu dan juga untuk campuran jamu. Jenis tanaman ini cukup banyak digunakan oleh masyarakat karena fungsi dari tanaman adalah sebagai obat - obatan seperti bahan aromatik, karminatif (mengurangi gas dalam perut atau mengurangi perut kembung), mengobati batuk, mulut berbau dan sebagainya. Secara tradisional, olahan dari buahnya, juga telah banyak digunakan sebagai obat terapi herbal untuk mencoba mengobati beberapa jenis penyakit, seperti: malaria, hepatitis, sakit lambung, implamasi, dan bahkan kanker (Cai *et al.*, 2021). Hasil penelitian memberikan efek penyembuhan, serta dapat menunjukkan bahwa kapulaga memiliki banyak manfaat dan sangat berpotensi dikembangkan sebagai obat herbal ke depan untuk kebutuhan di bidang kesehatan (Tarigan *et al.*, 2023).

2.1.2 Metode Perbanyakan Tanaman Kapulaga

Kapulaga dapat diperbanyak melalui dua metode utama, yaitu generatif (menggunakan biji) dan vegetatif (menggunakan stek atau rimpang). Perbanyakan dengan metode generatif menyebabkan terjadinya keanekaragaman genetik sehingga bibit yang diperoleh tidak seragam, selain itu metode ini membutuhkan waktu yang relatif lama, yaitu sekitar 2-3 tahun hingga tanaman menghasilkan buah. Pada metode generatif, biji dari buah matang perlu direndam dalam air hangat selama 24 jam sebelum disemai untuk meningkatkan laju perkecambahan. Meskipun perbanyakan secara generatif tidak terlalu rumit, metode vegetatif umumnya lebih disukai karena memungkinkan pertumbuhan lebih cepat dengan tingkat keberhasilan yang lebih tinggi (Tarigan *et al.*, 2023).

Bahan tanam utama untuk perbanyakan dengan metode vegetatif adalah rimpang atau stek anakan. Hal ini menunjukkan bahwa bobot rimpang memengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman (Qurrotun *et al.*, 2015). Hal ini karena rimpang menyediakan nutrisi penting selama pertumbuhan awal, yang sebagian besar tidak dapat dijamin oleh

perbanyak melalui biji. Selain itu, dinyatakan bahwa perkembangan rimpang yang optimal bergantung langsung pada tanaman induk yang sehat dan matang (Devy *et al.*, 2022). Pemilihan stek yang tepat juga merupakan aspek penting yang menentukan keberhasilan perbanyak vegetatif. Stek yang diambil dari tanaman induk berumur 10-12 bulan dengan setidaknya empat daun cocok untuk ditanam. Rimpang juga harus bebas dari penyakit, seperti layu bakteri dan busuk rimpang.

Pertumbuhan yang lebih baik juga dapat dicapai melalui teknik penanaman yang baik. Menurut Deviani *et al.*, (2020) penanaman dilakukan pada awal musim hujan karena ketersediaan air yang terjamin. Tanah harus gembur dan memiliki aerasi yang baik untuk menghindari genangan air. Kedalaman tanam yang disarankan adalah sekitar 2-3 cm untuk memungkinkan pertumbuhan tunas. Jarak tanam terbaik adalah 1,5 m x 2 m. Sistem tanam campuran juga dapat diterapkan dengan menanam tiga stek per lubang tanam pada luasan 14 m².

Perbanyak vegetatif untuk penelitian ini dilakukan menggunakan bibit kapulaga dengan tujuan menghasilkan bibit yang sehat dan berkualitas. Penggunaan larutan dengan hormon perangsang tumbuh dan teknik penanaman yang tepat akan meningkatkan tingkat keberhasilan pertumbuhan bibit kapulaga. Hal ini didukung oleh Abdurahim *et al.*, (2022). Pertanian Press yang merekomendasikan penggunaan hormon perangsang tumbuh dan teknik penanaman yang tepat untuk meningkatkan tingkat keberhasilan pertumbuhan bibit kapulaga. Kapulaga sensitif terhadap kekeringan; oleh karena itu, pemilihan lokasi yang tepat dengan kelembaban yang cukup dan terlindungi dari sinar matahari berlebih sangat penting, terutama di daerah dataran tinggi dengan curah hujan tinggi yang mendukung pertumbuhan ideal.

2.1.3 Kandungan Senyawa Bioaktif dari Tanaman Kapulaga

Tanaman kapulaga mengandung berbagai senyawa bioaktif yang memberikan dampak positif bagi sistem imunitas tubuh. Senyawa bioaktif

seperti flavonoid yang terkandung dalam kapulaga diketahui memiliki peran penting dalam meningkatkan sistem kekebalan tubuh, bertindak sebagai antioksidan, yang mendukung fungsi optimal sel-sel imun tubuh seperti limfosit dan makrofag (Cai *et al.*, 2021). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa tumbuhan kapulaga memiliki senyawa dengan kandungan senyawa alkaloid, flavonoid, terpenoid dan tanin (Komala & Maulana, 2020). Alkaloid merusak bakteri dengan meracuni protoplasma, menembus dinding sel, dan mengendapkan protein. Flavonoid berperan sebagai antioksidan, anti-inflamasi, antidiabetik, dan antimikroba, serta membantu menjaga kesehatan jantung dan memiliki potensi antikanker (Irfan & Haryoto, 2022). Terpenoid bereaksi dengan porin pada membran sel bakteri, merusak porin, mengurangi permeabilitas, dan menghambat pertumbuhan bakteri. Tanin membentuk ikatan dengan protein, yang dapat menyebabkan denaturasi enzim, mengganggu metabolisme bakteri, dan berpotensi membunuhnya.

Dalam bioaktivitas antioksidan terdapat senyawa fenolik. Senyawa fenolik dalam kapulaga berperan sebagai antioksidan, meningkatkan aktivitas enzim antioksidan dan menghambat enzim prooksidan untuk mengurangi produksi *Reactive Oxygen Spesies* (ROS). Fenolik juga memulung radikal bebas seperti *2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazy* (DPPH) melalui donasi elektron, mendukung sifat antioksidannya. Bioaktivitas senyawa ini penting dalam aplikasi farmakologis, dan ekstraksinya dipengaruhi oleh faktor seperti rasio dan jenis pelarut serta waktu. Fenolik adalah bagian dari fitokimia kapulaga, bersama dengan flavonoid dan terpenoid, yang berkontribusi pada aktivitas antioksidan tanaman (Juliana *et al.*, 2022)

2.1.4 Kandungan Larutan Stimulan

Dalam pelaksanaan perbanyakan dengan menggunakan stek tanaman kapulaga, diketahui terdapat cara penambahan larutan stimulan untuk membantu merangsang pertumbuhan tanaman kapulaga (Rostami &

Azhdarpoor, 2019). Dengan begitu, penelitian ini menggunakan penambahan penggunaan larutan stimulan agar mempercepat proses pertumbuhan tanaman kapulaga. Larutan stimulan yang digunakan terdapat komposisi yang berbeda untuk menguji keefektifitas pengaruh nya. Larutan stimulan diantaranya dapat berupa;

2.1.4.1 *Benzyl Amino Purine* (BAP)

Benzyl Amino Purine (BAP) adalah hormon pertumbuhan dari kelompok sitokinin yang merangsang pembelahan sel, mendorong pertumbuhan tunas, dan meningkatkan ketahanan terhadap stres lingkungan. Aplikasi BAP dapat meningkatkan jumlah tunas dengan menghambat dominansi apikal dan mempercepat regenerasi jaringan, terutama dalam kultur jaringan (Rout *et al.*, 2020). Selain itu, BAP membantu tanaman mengatasi stres lingkungan, meningkatkan ketahanan terhadap kekeringan, hama, dan penyakit. Efektivitas BAP dipengaruhi oleh dosis, jenis tanaman, dan kondisi lingkungan. Mekanisme kerja BAP dalam pembentukan tunas dengan memacu sintesis protein sehingga mendorong pembelahan pada sel-sel meristem yang menyebabkan terbentuknya tunas baru (Erawati *et al.*, 2020).

2.1.4.2 *Naphthalene Acetic Acid* (NAA)

Naphthalene Acetic Acid (NAA) adalah hormon pertumbuhan tanaman dari kelompok auksin yang penting dalam mendukung proses fisiologis, terutama pada fase awal pertumbuhan. Hormon NAA merangsang pembentukan akar baru, yang krusial bagi tanaman muda untuk menyerap air dan nutrisi secara efisien. Selain itu NAA juga meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kondisi lingkungan yang kurang ideal, serta membantu mempercepat pertumbuhan tanaman muda untuk menyerap air dan nutrisi lebih efisien, sehingga meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil pertanian (George *et al.*, 2019).

2.1.4.3 Thiamin (Vitamin B1)

Thiamin (Vitamin B1): Thiamin adalah zat dapat memacu pertumbuhan dan perkembangan jaringan tanaman yang bekerja sebagai metabolisme tanaman, saat proses anabolisme yaitu pada proses fotosintesis untuk merangsang pertumbuhan akar (Nirmala *et al.*, 2024). Thiamin juga berperan dalam sintesis asam amino dan neurotransmitter. Dalam tanaman, thiamin berperan dalam proses fotosintesis dan respirasi.

2.1.4.4 Niacin (Vitamin B3)

Niacin (Vitamin B3) mengandung niasinamida yang sangat dibutuhkan oleh berbagai sel jaringan tanaman atau tumbuhan. Karena salah satu fungsi vitamin B3 adalah menghasilkan NAD (*Nicotinamide Adenine Dinucleotide*) atau yang lebih dikenal dengan substrat enzim, maka dari itu substrat enzim tersebut dapat memodifikasi protein yang berguna untuk semua tanaman (Saleh *et al.*, 2022).

2.1.4.5 Piridoksin (Vitamin B6)

Piridoksin (Vitamin B6) berperan penting dalam reaksi biokimia, khususnya dalam metabolisme asam amino (Amalia *et al.*, 2013). Piridoksin dengan asam nikotinat dan biotin mampu memacu proses perkecambahan.

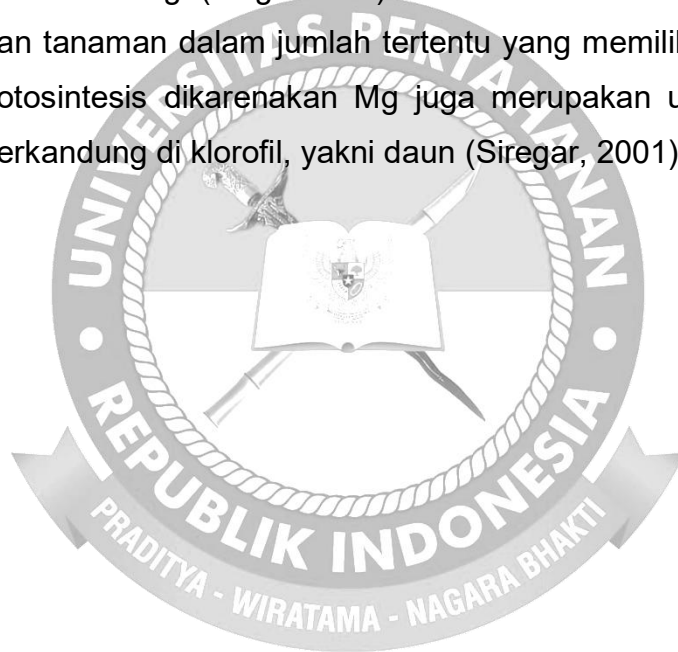
2.1.4.6 Vitamin E

Vitamin E pada tumbuhan diketahui memiliki peran sebagai pelindung tilakoid dari cekaman oksidatif, struktur penting dalam kloroplas tempat berlangsungnya fotosintesis, dari kerusakan akibat stres oksidatif. Selain itu, vitamin E juga berfungsi sebagai antioksidan yang memperkuat sistem pertahanan fotosintesis, menjaga kelancaran proses penting ini bagi tumbuhan (Aprilisa *et al.*, 2017).

2.1.4.7 Unsur Hara (Fe ,Mg)

Unsur hara Fe (Besi) merupakan unsur hara yang sangat penting bagi tanaman untuk membantu sintesis klorofil, memegang peranan penting dalam transfer energi, bagian dari beberapa enzim dan protein serta berfungsi dalam respirasi dan metabolisme tanaman dalam fiksasi nitrogen (Yolanda *et al.*, 2020).

Unsur hara Mg (Magnesium) termasuk unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah tertentu yang memiliki kaitan dengan proses fotosintesis dikarenakan Mg juga merupakan unsur hara yang banyak terkandung di klorofil, yakni daun (Siregar, 2001).



2.1.5 Analisis Klorofil Spektrofotometer

Klorofil adalah indikator utama dari kemampuan fotosintesis tanaman. Mengukur kadar klorofil membuat peneliti dapat menilai kesehatan dan vigor tanaman, serta efisiensi fotosintesis yang terjadi (Cai *et al.*, 2021). Analisis klorofil menggunakan spektrofotometer UV-Vis adalah metode yang umum digunakan untuk mengukur konsentrasi klorofil dalam sampel daun dengan cara menentukan absorbansi cahaya pada panjang gelombang tertentu. Klorofil adalah pigmen penting dalam proses fotosintesis yang memberikan warna hijau pada tanaman. Metode ini melibatkan ekstraksi klorofil dari jaringan daun menggunakan pelarut (seperti aseton atau metanol) dan pengukuran absorbansi ekstrak menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang yang spesifik.

2.1.6 Analisis Ekspresi Gen dengan *quantitative Reversed Transcription Polymerase Chain Reaction* (qRT-PCR)

Quantitative Reversed Transcription Polymerase Chain Reaction (qRT-PCR) merupakan teknik yang sangat ampuh untuk mendeteksi jumlah mRNA yang rendah dalam sel tanaman. Pengukuran qRT-PCR tersebut relatif terhadap kontrol ekspresi seperti gen-gen housekeeping. Keandalan teknik qRT-PCR bergantung pada pemilihan kontrol internal yang disebut pula gen referensi. Teknik qRT-PCR menggabungkan reaksi transkripsi balik (*reverse transcription*) untuk mengubah RNA menjadi DNA komplementer (cDNA) dengan reaksi PCR kuantitatif untuk mengukur jumlah cDNA tersebut secara *real-time* (Arief *et al.*, 2015).

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu (Tabel 2.1) menunjukkan hormon pertumbuhan dan nutrisi berperan penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Kombinasi NAA dan BAP mampu merangsang pembentukan tunas dan mempercepat regenerasi vegetatif pada berbagai spesies tanaman (Sartika *et al.*, 2015) , unsur hara makro maupun mikro seperti K, Mg, dan Fe memiliki kontribusi dalam menjaga stabilitas metabolisme.

Selain itu, penelitian molekuler melalui analisis ekspresi gen telah memberikan gambaran mengenai mekanisme respons tanaman terhadap perlakuan atau kondisi lingkungan tertentu. Studi pada varietas padi IR64 (Fendiyanto *et al.*, 2021) menunjukkan bahwa gen-gen yang terkait dengan metabolisme sekunder dan mekanisme pertahanan dapat meningkatkan ekspresinya sebagai respons terhadap stres atau perlakuan tertentu. Hal ini menegaskan adanya keterkaitan antara perlakuan fisiologis dengan perubahan pada tingkat genetik. Dengan berlandaskan kajian tersebut, penelitian ini diarahkan untuk mempelajari bagaimana larutan stimulan dapat memengaruhi pertumbuhan kapulaga (*Amomum cardamomum*), pada aspek morfologi dan fisiologi maupun pada tingkat ekspresi gen FNS yang berhubungan langsung dengan biosintesis flavonoid sebagai senyawa bioaktif penting.

Tabel 2. 1 Hasil Penelitian terdahulu pada Uji Stimulan dan Ekspresi Gen pada tanaman

No	Penulis	Judul	Tujuan	Hasil
1	Sartika <i>et al.</i> , 2015	Efek NAA dan BAP terhadap Pembentukan Tunas, Daun, dan Tinggi Tunas Stek Mikro <i>Nepenthes ampullaria</i> Jack.	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui interaksi antara NAA dan BAP serta untuk mendapatkan kombinasi terbaik dalam memacu pertumbuhan stek mikro <i>Nepenthes ampullaria</i> .	Hasil Studi nya menunjukkan bahwa kombinasi hormon NAA dan BAP berpengaruh signifikan pada pertumbuhan mikrostek tanaman ini. Konsentrasi optimal untuk pertumbuhan keseluruhan adalah NAA 0 μ M dan BAP 18 μ M, sementara produksi daun tertinggi terjadi pada NAA 0 μ M dan BAP 27 μ M, dengan rata-rata 12,33 daun setelah 12 bulan.
2	Debitama <i>et al.</i> , 2022	Pengaruh Hormon Auksin sebagai Zat Pengatur Tumbuh pada Beberapa Jenis Tumbuhan Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae	Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh hormon auksin sebagai zat pengatur tumbuh pada beberapa jenis tumbuhan monocotyledoneae dan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa hormon auksin secara signifikan mempengaruhi pertumbuhan tanaman monocotyledoneae dan dicotyledoneae yang dianalisis

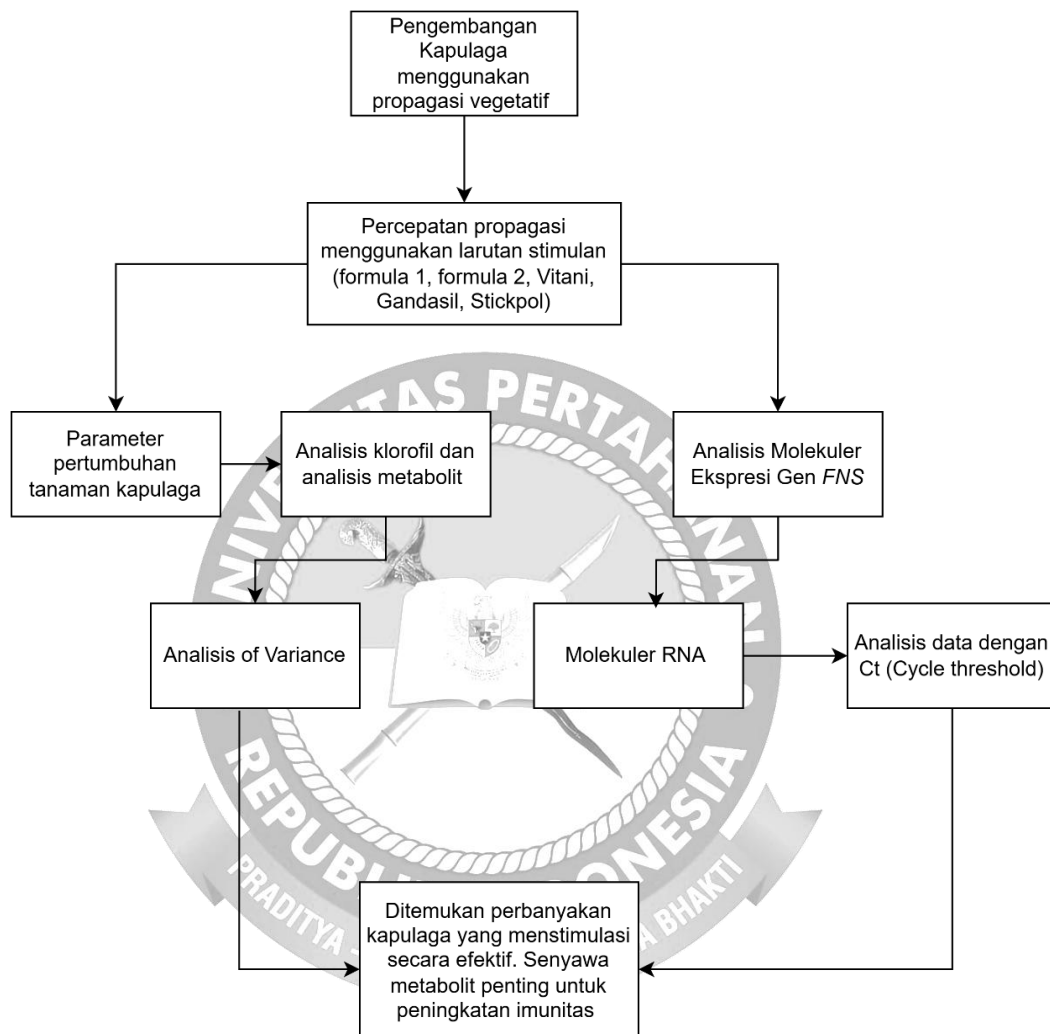
			dicotyledoneae	
3	Setyo <i>et al.</i> , 2015	Pengaruh Pemberian Auksin (NAA) dengan Sitokinin (BAP, Kinetin dan 2ip) terhadap Daya Proliferasi Tanaman Kantong Semar (<i>Nepenthes mirabilis</i>) Secara In Vitro	Penelitian ini bertujuan menyelidiki dampak zat pengatur pertumbuhan pada inisiasi akar, pucuk, daun, dan kandi pada tanaman <i>Nepenthes mirabilis</i> untuk meningkatkan pemahaman tentang perkembangan tanaman kantong semar	Kombinasi NAA dan sitokinin tidak secara signifikan mempengaruhi jumlah daun di <i>Nepenthes mirabilis</i> , baik diterapkan secara individual atau dalam kombinasi. Kombinasi NAA dan sitokinin tidak secara signifikan mempengaruhi jumlah tunas di <i>Nepenthes mirabilis</i> . Namun, penerapan NAA saja pada 1 ppm menghasilkan jumlah tunas tertinggi, dengan 5,2 tunas per eksplan yang diamati pada 10 hari.
4	Mardiana & Manurung, 2020)	Hubungan Hara K - Mg dan pengaruhnya terhadap kadar hara daun bibit kelapa sawit (<i>Elaeis guineensis</i> jacq).	Penelitian ini menyelidiki efek antagonis antara kalium (K) dan magnesium (Mg) pada pertumbuhan bibit kelapa sawit (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq), menentukan dosis	Penerapan pupuk Mg tidak menunjukkan efek signifikan pada parameter pertumbuhan seperti tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat kering akar serta pucuk selama pengamatan awal (1 MSA hingga 16 MSA). Namun, pada pengamatan 20 MSA, aplikasi Mg mulai menunjukkan efek signifikan, yang

			optimal, dan menganalisis korelasi antara kadar K dan Mg di tanah serta dampaknya pada pertumbuhan. Hasilnya penting untuk meningkatkan praktik pemupukan dan produktivitas kelapa sawit.	mengindikasikan adanya respon yang tertunda.
5	Andriani & Habibah, 2019	Penambahan konsentrasi Fe EDTA pada nutrisi AB Mix terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman pakchoy (<i>Brassica rapa</i> L.) sistem hidroponik <i>nutrien film technique</i> (NFT)	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan Fe EDTA pada nutrisi AB Mix terhadap pertumbuhan dan total bobot segar tanaman pakchoy (<i>Brassica rapa</i> L.) dengan System Hidroponik NFT	Penelitian menunjukkan bahwa penambahan Fe EDTA pada nutrisi hidroponik untuk tanaman pakchoy optimal pada konsentrasi 7 ppm, dengan rata-rata jumlah daun 11,6 helai dan bobot segar 76,5 gram. Pemberian Fe yang tepat meningkatkan pertumbuhan, sedangkan konsentrasi terlalu tinggi (9 ppm) dapat mengurangi pertumbuhan. Dengan demikian, Fe EDTA 7 ppm secara

				signifikan meningkatkan pertumbuhan dan produksi pakchoy dalam sistem hidroponik NFT.
6	Fendiyanto <i>et al.</i> , 2021	Analisis Ekspresi Gen <i>Superoksida Dismutase</i> (OsSOD) menggunakan qRT-PCR, karakter morfofisiologisnya, dan analisis jalur pada varietas padi IR64 di bawah stres aluminium.	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ekspresi gen FeSOD, MnSOD, dan CuZnSOD pada varietas padi IR64 sebagai informasi untuk seleksi dan perbaikan genetik padi guna mengatasi keamanan pangan nasional.	Hasil menunjukkan bahwa ekspresi FeSOD dan CuZnSOD meningkat signifikan, sementara MnSOD tidak berubah, menandakan respons yang lebih baik terhadap stres Al. Analisis dilakukan dengan qRT-PCR menggunakan primer spesifik, dan peningkatan ekspresi CuZnSOD serta FeSOD berkorelasi positif dengan kandungan klorofil dan panjang akar, menunjukkan mengurangi efek stres Al.

2.3 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir yang diberikan mengikuti sejumlah langkah dalam upaya untuk mempercepat pertumbuhan, perbanyakkan dan menstimulasi produksi senyawa metabolit sekunder dari tanaman kapulaga menggunakan larutan stimulan. Berdasarkan hal ini, penelitian menganalisis parameter pertumbuhan untuk kondisi pertumbuhan yang optimal. Selain itu, dilakukan analisis klorofil dan metabolit dalam upaya untuk memahami pengaruh larutan stimulan terhadap proses fotosintesis dan produksi metabolit. Selanjutnya, analisis molekuler seperti ekspresi gen untuk identifikasi gen *FNS* pada tanaman kapulaga. Penerapan teknik ANOVA (*Analysis of Variance*) untuk mempelajari data yang diperoleh melalui berbagai perlakuan, sehingga dapat menyimpulkan perlakuan terbaik yang telah memberikan dampak positif tertinggi terhadap pertumbuhan tanaman kapulaga. Analisis *Cycle threshold* (Ct) dilakukan untuk membandingkan tingkat ekspresi gen target secara relatif antara sampel yang berbeda. Singkatnya, kerangka berpikir ini menunjukkan pendekatan terstruktur untuk mengembangkan metode perbanyakkan vegetatif tanaman kapulaga yang efektif (Gambar 2. 2).



Gambar 2.2 Kerangka berpikir pada penelitian potensi kapulaga dalam menghasilkan senyawa metabolit untuk kesehatan TNI.