

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Botani Tanaman Cabai Rawit

Tanaman cabai rawit merupakan tanaman *perennial* berumur pendek yang diklasifikasikan ke dalam famili *Solanaceae* dan genus *Capsicum*. Berdasarkan sistem morfologinya, cabai rawit memiliki sistem perakaran tunggang yang cukup dalam dengan akar-akar rambut lateral yang aktif menyerap air dan nutrisi pada lapisan topsoil (Astuti & Rahayu, 2018). Batangnya berkayu, tumbuh tegak, dan memiliki tipe percabangan dikotomis atau menggarpu yang membentuk tajuk kompak. Daun cabai rawit merupakan daun tunggal, bertangkai, berbentuk bulat telur, dengan ujung meruncing serta tepi daun yang rata (Fajri & Hidayat, 2020).

Proses fisiologis pembentukan buah diawali dari munculnya bunga tunggal atau berkelompok di bagian ketiak daun. Bunga cabai rawit berkelamin ganda (*hermaphrodit*) dengan mahkota bunga berwarna putih atau putih kehijauan. Keberhasilan penyerbukan sangat dipengaruhi oleh kecukupan suplai unsur fosfor dan kalium serta keberadaan zat pengatur tumbuh (ZPT) yang seimbang di dalam jaringan tanaman (Wati & Haryanto, 2019). Buah cabai rawit yang terbentuk memiliki plasenta sebagai tempat melekatnya biji, di mana sel-sel epidermis plasenta tersebut memproduksi senyawa alkaloid bernama kapsaisin (*capsaicin*) yang bertanggung jawab penuh terhadap sensasi rasa pedas yang khas.

Sistem pembungaan tanaman cabai rawit umumnya bertipe bunga tunggal atau muncul berkelompok dalam jumlah kecil pada bagian ketiak daun (*axillary*). Bunga cabai rawit tergolong bunga sempurna atau kelamin ganda (*hermaphrodit*) yang memiliki kelopak bunga, mahkota berwarna putih hingga putih kekuningan, benang sari, serta putik. Keberhasilan proses penyerbukan dan pembuahan pada bunga cabai rawit sangat ditentukan oleh kecukupan suplai unsur hara makro seperti fosfor dan kalium, serta ketersediaan zat pengatur tumbuh alami di dalam jaringan tanaman. Buah cabai rawit yang terbentuk berkembang dari bakal buah superior, memiliki rongga plasenta tempat melekatnya biji, serta mengandung senyawa aktif kapsaisin (*capsaicin*) yang memberikan sensasi rasa pedas khas. Variasi morfologi dan fisiologi botani ini menuntut adanya ketersediaan nutrisi

yang seimbang, baik melalui pemupukan anorganik maupun dukungan biostimulan organik cair seperti POC Jakaba, guna mencapai pertumbuhan vegetatif dan generatif yang optimal.

2.2 Ekofisiologi Budidaya Cabai Rawit di dalam *Polybag*

Secara ekologis, tanaman cabai rawit menghendaki intensitas penyinaran matahari penuh selama 10–12 jam per hari untuk mengoptimalkan proses fotosintesis. Pertumbuhan optimum tercapai pada kisaran suhu udara 24°C–30°C dengan kelembaban relatif sedang. Apabila ditanam dalam wadah *polybag*, dinamika mikroklimat pada zona perakaran menjadi sangat fluktuatif dibandingkan dengan penanaman langsung di lahan terbuka. Drainase dan porositas media tanam di dalam *polybag* memegang peranan vital, media yang terlalu jenuh air akibat drainase buruk akan memicu kondisi anoksia (kelangkaan oksigen) yang mempercepat pembusukan akar dan serangan patogen tular tanah (Santoso & Wijaya, 2020).

Keterbatasan ruang media tanam di dalam *polybag* berdiameter rata-rata 30–40 cm membatasi volume penjelajahan akar dalam mencari nutrisi. Ketika fase vegetatif aktif berganti menjadi fase generatif yang rakus hara, fenomena penurunan ketersediaan hara (*nutrient depletion*) terjadi secara drastis (Sukma & Dewanti, 2018). Oleh karena itu, strategi pemberian nutrisi dalam bentuk cair (kocoran) dinilai jauh lebih efektif karena hara yang terlarut dapat langsung berdifusi ke dalam larutan tanah dan diserap oleh bulu-bulu akar tanaman tanpa membutuhkan waktu pelarutan yang lama seperti pada pupuk granul.

Budidaya tanaman cabai rawit menggunakan wadah terbatas berupa *polybag* di pekarangan rumah merupakan salah satu bentuk adaptasi nyata teknologi pertanian perkotaan (*urban farming*) guna mengantisipasi penyempitan lahan pertanian produktif. Secara ekofisiologis, tanaman cabai rawit menghendaki kondisi lingkungan tumbuh dengan intensitas penyinaran matahari penuh, suhu udara berkisar antara 24°C hingga 30°C, serta tingkat kelembaban udara yang moderat untuk mendukung aktivitas fisiologisnya. Namun, penanaman di dalam wadah *polybag* menimbulkan batasan fisik yang signifikan terhadap ruang gerak dan volume penjelajahan sistem perakaran tanaman. Keterbatasan volume media

tanam ini menyebabkan cadangan unsur hara esensial di dalam media cepat mengalami penipisan (nutrient depletion) seiring dengan laju pertumbuhan vegetatif tanaman yang semakin meningkat.

Dinamika mikroklimat pada media tanam polybag juga cenderung lebih fluktuatif dibandingkan dengan penanaman langsung di atas lahan terbuka (open field). Frekuensi penyiraman harian yang tinggi sering kali memicu terjadinya pencucian hara (leaching) ke luar melalui lubang drainase bagian bawah polybag, sehingga ion-ion hara penting terbawa aliran air dan meninggalkan media dalam kondisi miskin hara. Selain itu, sirkulasi oksigen pada zona perakaran sangat bergantung pada tingkat porositas media; media yang terlalu padat atau jenuh air akan memicu kondisi anoksia yang menghambat respirasi akar dan memicu kerentanan terhadap serangan patogen tular tanah. Oleh karena itu, penerapan strategi pemupukan susulan berbentuk cair, seperti pengaplikasian Pupuk Organik Cair (POC) Jakaba, menjadi solusi teknis yang sangat efektif untuk menjamin ketersediaan hara siap serap secara kontinu tanpa merusak struktur fisik media tanam di dalam polybag.

2.3 Potensi dan Mekanisme Kerja POC Jakaba

Jamur Keberuntungan Abadi (Jakaba) merupakan istilah populer untuk koloni makro fungi uniseluler dan multiseluler kompleks yang berkembang biak pada media cair hasil ekstraksi karbohidrat sederhana, seperti air leri atau cucian beras (Irawan & Kusuma, 2023). Struktur fisik Jakaba menyerupai karang berwarna coklat tua pada bagian bawah dan hijau kekuningan pada bagian atasnya. Secara mikrobiologis, Jakaba bertindak sebagai *ecological niche* atau rumah bagi mikroorganisme fungsional non-patogen, termasuk bakteri pelarut fosfat (BPF), bakteri penambat asimbiotik, dan beberapa *genus Trichoderma* sp. yang berperan sebagai agens hayati pengendali penyakit tanaman (Rahmawati, 2021).

Mekanisme kerja POC Jakaba dalam merangsang pertumbuhan tanaman bertumpu pada dua jalur utama, yaitu jalur nutrisi langsung dan jalur hormonal. Melalui proses fermentasi jangka panjang, makromolekul organik didegradasi menjadi senyawa anorganik sederhana sehingga menghasilkan asam-asam organik

bebas yang mampu melepaskan ikatan fosfat (P) dan kalium (K) yang terperangkap pada kompleks koloid media tanah (Gunawan & Lestari, 2022). Jalur kedua adalah produksi fitohormon endogen. Konsorsium mikroba pada Jakaba mampu menyintesis hormon auksin (IAA), giberelin, dan sitokinin dalam konsentrasi yang aman bagi fisiologi tanaman (Kristiana, 2021). Keberadaan hormon auksin merangsang pemanjangan sel pada meristem apikal batang dan memacu inisiasi akar lateral baru, sehingga meningkatkan kapasitas serap air tanaman. Di sisi lain, akumulasi giberelin dan sitokinin mendorong diferensiasi jaringan primordia bunga, mencegah absisi (kerontokan) bunga, serta mempercepat translokasi fotosilat menuju organ buah (Mardiana & Sitorus, 2022).

Jamur Keberuntungan Abadi (Jakaba) merupakan salah satu inovasi bioteknologi lokal berupa koloni makro fungi kompleks yang berhasil diisolasi melalui proses fermentasi substrat kaya karbohidrat, khususnya limbah cair air cucian beras. Secara visual, struktur fisik koloni Jakaba menyerupai lembaran karang dengan tekstur unik berwarna coklat tua hingga kehijauan. Secara mikrobiologis, matriks Jakaba bertindak sebagai rumah atau ecological niche bagi berbagai konsorsium mikroorganisme fungsional non patogen, termasuk bakteri penambat nitrogen, bakteri pelarut fosfat, serta kelompok mikroba pemacu pertumbuhan tanaman (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria / PGPR). Keberadaan konsorsium mikroba ini menjadikan POC Jakaba memiliki efikasi yang sangat tinggi sebagai pupuk hayati dan biostimulan organik multiguna.

Mekanisme kerja POC Jakaba dalam menstimulasi pertumbuhan tanaman berlangsung melalui dua jalur utama, yakni jalur penyediaan nutrisi langsung dan jalur regulasi hormonal. Melalui aktivitas enzimatis mikroba di dalam cairan fermentasi, senyawa organik kompleks didegradasi menjadi ion-ion hara anorganik sederhana serta menghasilkan asam-asam organik bebas yang mampu melepaskan fiksasi unsur fosfor dan kalium terikat pada kompleks koloid tanah. Di samping itu, konsorsium mikroba Jakaba aktif memproduksi fitohormon endogen seperti auksin, giberelin, dan sitokinin dalam konsentrasi yang aman bagi fisiologi tanaman. Hormon-hormon tersebut bekerja secara sinergis untuk memacu pembelahan dan pemanjangan sel meristem, memperluas sistem

perakaran, serta meningkatkan efisiensi translokasi asimilat menuju organ vegetatif dan generatif tanaman cabai rawit.

2.4 Karakteristik Kimiawi dan Nutrisi Air Cucian Beras (Leri) sebagai Substrat Fermentasi

Air cucian beras atau air leri merupakan limbah domestik cair yang diperoleh dari proses pembersihan bulir beras sebelum dimasak. Meskipun sering dibuang, cairan ini mengandung berbagai senyawa organik dan anorganik yang larut selama proses pengikisan mekanis lapisan aleuron bulir beras. Irawan & Kusuma (2023) menyatakan bahwa air leri kaya akan karbohidrat (terutama pati dan gula pereduksi), protein, asam amino bebas, serta vitamin b-kompleks seperti *tiamin*, *riboflavin*, dan *niasin*. Senyawa-senyawa ini berfungsi sebagai substrat karbon dan nitrogen organik yang sangat ideal bagi pertumbuhan, metabolisme, serta multiplikasi koloni mikroorganisme, khususnya makro fungi seperti Jamur Keberuntungan Abadi (Jakaba).

Selain komponen makronutrien organik, air cucian beras juga membawa sejumlah unsur mineral esensial dalam bentuk terlarut. Komponen mineral tersebut meliputi Fosfor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg), Sulfur (S), dan Besi (Fe) yang berasal dari lapisan luar endosperma beras (Badami & Hasanah, 2021). Keberadaan mineral-mineral ini di dalam substrat awal memberikan keuntungan ganda dalam pembuatan POC Jakaba. Melalui proses fermentasi, mineral yang awalnya terikat dalam senyawa kompleks akan didegradasi oleh enzim ekstraseluler mikroba menjadi ion-ion bebas yang siap diserap oleh tanaman melalui stomata daun maupun bulu akar saat diaplikasikan (Siregar & Harahap, 2023). Pemanfaatan air cucian beras sebagai media propagasi Jakaba tidak hanya menyelesaikan permasalahan limbah domestik perkotaan, tetapi juga menghasilkan produk pupuk organik cair bernutrisi lengkap yang sangat sesuai untuk mendukung produktivitas budidaya cabai rawit secara berkelanjutan.

2.5 Peran Konsorsium Mikroba Fungsional dan PGPR dalam POC Jakaba

Jamur Keberuntungan Abadi (Jakaba) secara biologis bukanlah organisme tunggal, melainkan sebuah struktur matrik ekologi (ecological niche) tempat hidupnya konsorsium mikroorganisme fungsional non-patogen. Rahmawati (2021) mengidentifikasi bahwa di dalam koloni Jakaba terdapat simbiosis mutualisme antara *genus* fungi makro dengan kelompok bakteri pemacu pertumbuhan tanaman atau *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (PGPR). Bakteri fungsional yang berasosiasi dengan Jakaba umumnya terdiri dari bakteri penambat Nitrogen (N_2) asimbiotik dan Bakteri Pelarut Fosfat (BPF). Bakteri penambat nitrogen mampu menangkap nitrogen bebas dari udara bebas dan mengubahnya menjadi amonium atau nitrat yang terlarut di dalam cairan POC.

Di samping itu, keberadaan Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) dan fungi *Trichoderma* sp. di dalam konsorsium Jakaba memegang peranan krusial dalam biokimia tanah media tanam. Menurut Nugroho & Purnomo (2018), BPF menyintesis asam-asam organik bermassa molekul rendah (seperti asam sitrat, laktat, dan oksalat) yang mampu mengelat kation Al dan Fe pada tanah masam, sehingga hara Fosfat (P) yang terikat dapat terlepas dan menjadi tersedia (*available*) bagi tanaman. Sementara itu, *Trichoderma* sp. bertindak sebagai agens hayati pencegah penyakit tular tanah (*soil borne diseases*) dengan cara melisis dinding sel fungi patogen seperti *Fusarium oxysporum* yang kerap menyerang perakaran cabai rawit di lingkungan *polybag* yang lembap (Rahmawati, 2021).

2.6 Dinamika Ketersediaan Unsur Hara Makro dan Mikro pada Sistem Budidaya Wadah (Polybag)

Sistem budidaya pertanian perkotaan (urban farming) menggunakan wadah terbatas seperti polybag menghadirkan dinamika ekologis yang sangat spesifik dan berbeda secara signifikan dibandingkan dengan budidaya di atas lahan terbuka (open field). Ruang perakaran yang terbatas menimbulkan konsekuensi langsung terhadap kapasitas tukar kation dan ketersediaan total ruang eksplorasi bagi akar tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).

Dalam ekosistem polybag, volume media tanam yang relatif kecil menyebabkan cadangan unsur hara esensial cepat mengalami penipisan (nutrient depletion) seiring dengan percepatan fase pertumbuhan vegetatif tanaman.

Fenomena ini menuntut adanya pengelolaan hara yang presisi dan berkesinambungan guna mencegah terjadinya cekaman defisiensi hara makro primer seperti Nitrogen, Fosfor, dan Kalium.

Penurunan ketersediaan hara di dalam wadah terjadi secara eksponensial sejalan dengan bertambahnya umur fisiologis tanaman, di mana kebutuhan unsur hara mengalami lonjakan drastis ketika memasuki fase transisi menuju pembungaan dan pembuahan. Lestari & Wardhana (2020) mengonfirmasi bahwa tanpa adanya penambahan nutrisi eksternal yang teratur, media tanam dalam polybag akan kehilangan lebih dari separuh kapasitas kesuburannya dalam kurun waktu kurang dari dua bulan setelah tanam.

Proses pencucian hara (leaching) akibat frekuensi penyiraman harian yang tinggi menjadi faktor utama lenyapnya ion-ion hara esensial bermuatan negatif maupun positif dari zona perakaran. Ion-ion seperti NO_3^- , H_2PO_4^- , dan K^+ dengan mudah terbawa aliran air drainase keluar melalui lubang bawah polybag, meninggalkan media dalam kondisi miskin hara. Akumulasi garam-garam mineral sisa pemupukan kimia yang tidak terserap juga sering kali memicu peningkatan konduktivitas listrik (Electrical Conductivity) yang merugikan keseimbangan osmotik akar. Kondisi ini dapat menyebabkan plasmolisis pada sel-sel bulu akar, menghambat penyerapan air, dan memicu stres fisiologis kronis pada tanaman cabai rawit.

Untuk mengatasi kendala pencucian dan keterbatasan volume media, aplikasi pupuk susulan dalam bentuk cair terbukti sangat handal. Fiki & Mawardi (2025) menegaskan bahwa nutrisi berbentuk cair memiliki mobilitas tinggi dan dapat langsung diserap oleh sistem perakaran tanpa memerlukan waktu pelarutan fisik yang panjang. Dinamika mikroklimat media polybag yang fluktuatif juga menuntut ketersediaan unsur hara mikro sekunder seperti Magnesium, Kalsium, Besi, dan Mangan secara seimbang.

Keberadaan unsur-unsur mikro ini sangat esensial dalam menjaga stabilitas struktur klorofil serta mengaktifkan berbagai sistem enzim oksidoreduktase di dalam jaringan daun cabai rawit. Penggunaan pupuk organik cair berbasis limbah fermentasi lokal menawarkan keunggulan komparatif dalam mempertahankan ketersediaan hara sekaligus memperbaiki sifat biologi media

tanam. Asam-asam organik di dalam larutan nutrisi cair mampu mengoptimalkan kapasitas buffer media sehingga fluktuasi pH tanah dapat ditekan seminimal mungkin.

Interaksi antara matriks organik cair dan partikel liat-humus di dalam polybag membentuk kompleks organo-mineral yang mampu menahan laju pencucian hara secara efektif. Hal ini memastikan bahwa ion-ion hara tetap berada di dalam zona perakaran aktif dalam jangka waktu yang lebih lama meskipun frekuensi penyiraman dilakukan secara rutin setiap hari. Dengan demikian, pemahaman mendalam mengenai dinamika hara makro dan mikro dalam sistem polybag menjadi landasan fundamental dalam merancang strategi pemupukan yang efisien. Integrasi pupuk organik cair yang kaya unsur hara siap serap diproyeksikan mampu menjamin kecukupan nutrisi sepanjang siklus hidup cabai rawit.

2.7 Peran Biostimulan Organik dalam Meningkatkan Metabolisme Tanaman Solanaceae

Perkembangan ilmu agronomi modern menempatkan biostimulan organik sebagai salah satu komponen strategis dalam sistem pertanian berkelanjutan untuk memacu pertumbuhan dan produktivitas tanaman hortikultura dari famili Solanaceae. Berbeda dengan pupuk konvensional yang semata-mata bertindak sebagai pemasok unsur hara, biostimulan bekerja secara aktif merangsang proses metabolisme endogen tanaman.

Kajian mendalam yang dilakukan oleh Fadilah et al. (2024) menunjukkan bahwa aplikasi biostimulan organik cair mampu memicu efisiensi penyerapan hara melalui aktivasi pompa proton pada membran plasma sel akar. Hal ini mengakibatkan peningkatan permeabilitas akar terhadap ion-ion esensial yang sangat dibutuhkan selama fase pertumbuhan vegetatif yang cepat. Pada tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.), keberadaan senyawa bioaktif di dalam biostimulan terbukti mampu menstimulasi aktivitas enzim nitrat reduktase. Enzim ini memegang peranan katalitik krusial dalam mereduksi ion nitrat menjadi nitrit dan amonium, yang kemudian disintesis lebih lanjut menjadi asam amino dan protein struktural.

Peningkatan efisiensi fotosintesis bersih (net photosynthesis) pada daun cabai rawit sangat erat kaitannya dengan suplai magnesium dan besi fungsional yang terkandung dalam biostimulan organik. Unsur-unsur tersebut bertindak sebagai kofaktor esensial dalam pembentukan molekul klorofil a dan b serta menjaga stabilitas struktur kloroplas. Stimulasi metabolik ini berdampak langsung pada perluasan indeks luas daun (leaf area index) serta peningkatan ketebalan jaringan mesofil daun, sebagaimana dilaporkan oleh Pratama & Saputra (2024). Daun yang berkembang secara optimal mampu memaksimalkan intersepsi cahaya matahari untuk dikonversi menjadi energi kimia asimilat.

Selain metabolisme karbon dan nitrogen, biostimulan organik juga berperan aktif dalam memicu jalur biosintesis fitohormon endogen seperti auksin, giberelin, dan sitokinin. Keseimbangan hormon ini mengatur pembelahan sel meristematik di pucuk dan akar, sehingga arsitektur tanaman menjadi lebih kokoh dan seimbang. Respon fisiologis terhadap biostimulan juga mencakup peningkatan ketahanan metabolik tanaman terhadap cekaman lingkungan abiotik, seperti suhu tinggi dan kekeringan mikro di dalam polybag. Senyawa antioksidan alami yang diinduksi oleh biostimulan membantu menetralkan radikal bebas reaktif oksigen (ROS) di dalam sel tanaman.

Efisiensi penggunaan air (Water Use Efficiency) pada cabai rawit turut mengalami peningkatan berkat pengaturan bukaan stomata yang lebih adaptif. Mekanisme ini mencegah terjadinya transpirasi berlebihan sekaligus menjaga turgor sel jaringan tanaman tetap stabil sepanjang hari. Penerapan biostimulan organik secara periodik terbukti mampu mempercepat laju translokasi hasil fotosintesis dari sumber (source) daun menuju organ sink, yakni bunga dan buah. Hal ini berkontribusi nyata terhadap peningkatan jumlah buah dan akumulasi bobot total per tanaman pada akhir masa panen. Secara keseluruhan, peran biostimulan organik dalam meningkatkan metabolisme tanaman Solanaceae menegaskan bahwa pendekatan bioteknologi ramah lingkungan mampu memberikan hasil agronomis yang optimal tanpa menimbulkan residu kimia berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan konsumen.

2.8 Karakteristik Biologi Molekuler dan Taksonomi Konsorsium Mikroba Jakaba (Jamur Keberuntungan Abadi)

Jamur Keberuntungan Abadi (Jakaba) telah menarik perhatian luas sebagai salah satu inovasi bioteknologi lokal paling fenomenal dalam bidang pertanian organik di Indonesia. Secara mikrobiologis, entitas ini bukan merupakan spesies fungi tunggal, melainkan sebuah struktur matriks ekologi kompleks yang menaungi konsorsium mikroorganisme fungsional non-patogen. Eksplorasi mendalam terhadap esensi mikrobiologis Jakaba terus berkembang pesat dalam dekade terakhir guna mengungkap rahasia di balik efektivitasnya sebagai pupuk hayati multiguna. Irwandhi et al. (2025) menjelaskan bahwa koloni Jakaba membentuk struktur makroskopis menyerupai karang dengan tekstur unik yang berfungsi sebagai ecological niche bagi berbagai mikroba menguntungkan.

Analisis biologi molekuler berbasis sekuensing gen penyandi Internal Transcribed Spacer (ITS) menunjukkan bahwa matriks Jakaba didominasi oleh konsorsium fungi unggulan serta bakteri fungsional dari berbagai genera penambat hara. Interaksi sinergis di dalam konsorsium ini menciptakan ekosistem mikro yang sangat stabil dan adaptif terhadap berbagai kondisi media. Kehadiran mikroorganisme penambat nitrogen non-simbiotik di dalam koloni Jakaba memungkinkan terjadinya konversi gas nitrogen bebas di udara menjadi bentuk amonium yang terlarut dalam cairan fermentasi. Proses biokimia ini memasok sumber nitrogen alami yang sangat dibutuhkan dalam pembentukan jaringan vegetatif tanaman cabai rawit. Selain penambat nitrogen, konsorsium mikroba Jakaba juga kaya akan populasi bakteri pelarut fosfat dan mikroba selulolitik yang aktif mendegradasi senyawa organik kompleks. Aktivitas enzimatis ekstraseluler dari mikroba tersebut menghasilkan berbagai metabolit sekunder yang sangat bermanfaat bagi kesuburan tanah.

Penelitian oleh Ramadita et al. (2024) mengonfirmasi bahwa matriks mikrobial Jakaba secara aktif memproduksi fitohormon alami, meliputi auksin (IAA), giberelin (GA_3), dan sitokinin, dalam kisaran konsentrasi yang sangat aman dan fisiologis bagi pertumbuhan tanaman hortikultura semusim. Hormon-hormon alami hasil metabolisme mikroba ini bekerja secara sinergis untuk memacu pemanjangan sel pada jaringan meristem apikal batang serta merangsang

inisiasi pertumbuhan akar lateral baru. Perluasan sistem perakaran ini secara langsung meningkatkan kapasitas penyerapan air dan unsur hara dari media polybag. Karakteristik taksonomi konsorsium Jakaba yang kaya akan keanekaragaman hayati fungsional menjadikannya agen biostimulan yang superior dibandingkan pupuk organik cair konvensional. Stabilitas koloni mikroba di dalam cairan fermentasi memastikan efektivitas aplikasi lapangan tetap terjaga dalam jangka panjang.

Aspek bioteknologi molekuler dari Jakaba membuka peluang besar dalam standarisasi produksi pupuk organik cair berbasis limbah domestik yang murah, mandiri, dan ramah lingkungan. Pemanfaatan air cucian beras sebagai substrat utama terbukti sangat mendukung multiplikasi biomassa mikroba secara optimal. Pemahaman komprehensif mengenai karakteristik biologi molekuler dan taksonomi konsorsium Jakaba memberikan landasan ilmiah yang kuat bagi para peneliti dan praktisi pertanian dalam mengoptimalkan pemanfaatan makro fungi lokal guna mendorong produktivitas tanaman cabai rawit secara berkelanjutan.

2.9 Mekanisme Pelarutan Fosfat dan Pengendalian Patogen Tular Tanah oleh POC Jakaba

Sebagian besar tanah mineral masam di wilayah tropis, termasuk jenis Ultisol yang mendominasi kawasan pertanian lokal, menghadapi kendala kimiawi serius berupa fiksasi unsur Fosfor (P) oleh kation Aluminium (Al^{3+}) dan Besi (Fe^{3+}). Kondisi ini menyebabkan hara Fosfor terikat kuat dalam bentuk kompleks yang tidak dapat diserap oleh sistem perakaran tanaman. Pupuk Organik Cair (POC) Jakaba hadir membawa solusi biokimiawi yang efektif melalui pelepasan asam-asam organik bermassa molekul rendah hasil metabolisme mikroba. Gunawan & Lestari (2022) menjelaskan bahwa asam organik seperti asam sitrat, oksalat, malat, dan laktat bertindak sebagai agen pengkelat (chelating agents) yang sangat kuat di dalam media tanam.

Mekanisme pengkelatan ini bekerja dengan cara mengikat ion-ion logam Al^{3+} dan Fe^{3+} melalui pembentukan ikatan koordinasi yang stabil, sehingga ikatan antara fosfat dan logam berat tersebut terputus. Akibatnya, unsur

Fosfor terlepas ke dalam larutan tanah menjadi ion ortofosfat bebas yang siap diserap oleh bulu akar cabai rawit. Selain pelarutan fosfat secara kimiawi, konsorsium mikroba dalam POC Jakaba juga menjalankan fungsi protektif yang sangat penting melalui mekanisme biokontrol terhadap patogen tular tanah (soil-borne pathogens). Kehadiran mikroba antagonis di dalam cairan fermentasi mampu menekan pertumbuhan mikroorganisme merugikan secara biologis.

Rahmawati (2021) melaporkan bahwa isolat jamur dan bakteri fungsional dalam matriks Jakaba memiliki kemampuan untuk berkompetisi secara ketat dalam memperebutkan ruang tumbuh dan sumber nutrisi di zona perakaran, sehingga menekan populasi jamur patogen penyebab penyakit layu.

Diperkuat oleh temuan Ibnu sina & Sari (2025), kehadiran genus *Trichoderma* sp. di dalam konsorsium Jakaba terbukti mampu menghasilkan enzim kitinase dan glukanase yang dapat melisiskan dinding sel fungi patogen berbahaya seperti *Fusarium oxysporum* dan *Ralstonia solanacearum*. Mekanisme lisis sel patogen ini memberikan perlindungan preventif yang sangat efektif bagi tanaman cabai rawit yang dibudidayakan di dalam polybag, dimana lingkungan media yang lembap sangat rentan terhadap perkembangbiakan jamur penyebab busuk akar. Aktivitas biokontrol ganda tersebut menjadikan POC Jakaba bukan hanya sekadar pupuk penyuplai nutrisi, tetapi juga berfungsi sebagai agen proteksi tanaman yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Hal ini mengurangi ketergantungan petani terhadap fungisida sintetik berbahaya.

Sinergi antara pelepasan hara terikat dan penekanan patogen akar menciptakan zona perakaran (rhizosphere) yang sehat dan kondusif bagi perkembangan optimal sistem perakaran cabai rawit, yang pada gilirannya mendongkrak ketahanan fisik tanaman. Dengan demikian, pemanfaatan POC Jakaba memberikan kontribusi ganda yang sangat signifikan dalam mengatasi masalah kesuburan tanah masam sekaligus melindungi tanaman dari ancaman serangan penyakit tular tanah sepanjang siklus budidaya.

2.10 Interaksi antara Dosis POC Jakaba dan Pertumbuhan Vegetatif-Generatif Cabai Rawit

Respon fisiologis tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) terhadap aplikasi Pupuk Organik Cair Jakaba sangat ditentukan oleh ketepatan dosis

konsentrasi yang diberikan ke dalam media polybag. Evaluasi kuantitatif terhadap berbagai tingkat konsentrasi diperlukan untuk menemukan titik efisiensi agronomis yang paling optimal bagi pertumbuhan tanaman. Penelitian mengenai efikasi dosis POC Jakaba menunjukkan bahwa pemberian konsentrasi yang proporsional mampu memicu peningkatan signifikan pada seluruh parameter pertumbuhan vegetatif, termasuk tinggi tanaman, diameter batang, dan akumulasi jumlah helai daun sempurna (Risman, 2022).

Fiki & Mawardi (2025) menegaskan bahwa kisaran konsentrasi aplikasi antara 30 hingga 40 ml per liter air merupakan batas optimal yang mampu menyediakan pasokan hara seimbang sekaligus memicu aktivitas fitohormon endogen tanpa menimbulkan efek toksisitas osmotik pada jaringan akar. Pada fase vegetatif aktif, suplai hara Nitrogen dan Kalium dari POC Jakaba pada dosis optimal mempercepat pembelahan sel meristematik di pucuk tanaman sehingga pembentukan cabang-cabang produktif primer dan sekunder menjadi lebih serempak dan kokoh.

Memasuki fase generatif, interaksi dosis POC Jakaba berperan krusial dalam mempercepat umur inisiasi pembungaan serta menekan angka kerontokan bunga (flower abscission). Kecukupan unsur Fosfor dan kalsium yang terlarut memastikan terbentuknya primordia bunga yang berkualitas tinggi. Pemberian dosis yang tepat juga terbukti mampu meningkatkan jumlah buah kumulatif serta memperbesar ukuran dan bobot buah total per tanaman pada setiap periode pemetikan panen, memaksimalkan produktivitas agronomis dalam sistem wadah terbatas. Kendati demikian, pemberian larutan POC Jakaba di luar batas ambang optimum (optimum threshold) dapat memicu dampak negatif berupa kejenuhan hara atau peningkatan salinitas media polybag, yang justru menghambat penyerapan air oleh bulu akar (Lestari & Wardhana, 2020).

Oleh karena itu, standarisasi dosis aplikasi POC Jakaba menjadi landasan teknis yang sangat krusial bagi para praktisi pertanian perkotaan guna menjamin tercapainya efisiensi biaya pemupukan dan maksimalisasi hasil panen cabai rawit secara berkelanjutan. Analisis regresi dan uji beda nyata dari berbagai riset terdahulu secara konsisten menunjukkan pola kurva kuadratik pada respon pertumbuhan tanaman terhadap peningkatan dosis POC, di mana titik puncak

produktivitas tercapai pada taraf konsentrasi tertentu sebelum mengalami mendatar atau menurun. Dengan memahami secara komprehensif interaksi antara dosis POC Jakaba dan respon pertumbuhan vegetatif-generatif, rekomendasi pemupukan organik ini dapat diaplikasikan secara tepat guna untuk mendukung keberhasilan budidaya cabai rawit skala komersial maupun rumah tangga.