

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rumput laut merupakan makroalga laut yang secara taksonomi diklasifikasikan ke dalam tiga divisi utama berdasarkan kandungan pigmen fotosintesisnya, yaitu *Chlorophyta* (alga hijau), *Phaeophyta* (alga coklat), dan *Rhodophyta* (alga merah). Rumput laut dianggap sebagai sumber berbagai senyawa bioaktif baru seperti fenol, flavonoid, tanin, phlobatanin, saponin, dan terpenoid (Sobuj et al., 2024). Rumput laut merupakan produsen primer yang penting dalam ekosistem laut. Rumput laut tidak hanya menyerap karbon dan nitrogen melalui fotosintesis dan menyimpan sejumlah besar nutrisi, tetapi juga menyediakan material dan energi bagi ekosistem laut lokal dan sekitarnya (Liu et al., 2024).

Alga hijau mengandung klorofil a yang memiliki nilai pangan dan gizi yaitu, kandungan kimia berupa karbohidrat, protein, vitamin, dan mineral (Azizah, 2006; Zakhariikhina et al., 2024). *C. racemosa* mengandung pigmen fotosintetik klorofil a dan β -karoten, xanthofil, lutein, dan polyphenol (Sanchez, 2004). *C. racemosa* mengandung asam lemak yang didominasi oleh asam palmitat, diikuti oleh asam oleat, dan asam linoleat (Taslim et al., 2024a). Purwaningsih et al., (2024), menyatakan bahwa alga mengandung Insoluble Dietary Fiber (IDF, serat makanan tak larut).

Faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan *Caulerpa* sp. dalam budidaya adalah kondisi lingkungan. Daya dukung lingkungan yang optimal untuk pertumbuhan rumput laut secara signifikan dipengaruhi oleh lokasi dan waktu penanaman, yang berkaitan erat dengan ketersediaan nutrisi (Ortiz et al., 2006 dan Taslim et al., 2024b). Pertumbuhan rumput laut secara keseluruhan bergantung pada ketersediaan nutrisi serta kondisi lingkungan yang ada selama proses budidaya.

Secara umum, rumput laut memiliki kandungan nutrisi yang cukup lengkap, mencakup air, protein, karbohidrat, lemak, serat kasar, dan abu. Selain itu, rumput laut juga mengandung enzim, asam nukleat, asam amino, serta berbagai vitamin seperti A, B, C, D, E, dan K, serta makro mineral termasuk zat besi, magnesium, dan natrium. Kandungan asam amino, vitamin, dan mineral pada rumput laut dilaporkan mencapai 10-20 kali lipat dibandingkan dengan tanaman darat (Holdt & Kraan, 2011), meskipun jenis rumput laut yang diteliti serta lama budidayanya tidak dijelaskan.

Alga coklat *Sargassum* sp. mengandung kandungan bahan kimia utama seperti sumber alginat dan mengandung protein, vitamin C, mineral seperti Ca, K, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, S, P, dan Mn, tanin, iodin, auxin dan fenol (Bachtiar et al., 2012). Oleh karena itu, komponen-komponen yang terkandung dalam *Sargassum* sp. menunjukkan potensi untuk digunakan dalam pembuatan MOL yang diperkaya dengan tambahan air kelapa, air cucian beras, molase, dan EM4 sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik cair.

Mikroorganisme lokal (MOL) merupakan mikroorganisme yang berasal dari lingkungan setempat dan telah beradaptasi dengan kondisi ekosistem laut. Selain itu, MOL merupakan sumber nutrisi penting yang dapat mendukung pertumbuhan *C. racemosa*. Pemanfaatan mikroorganisme lokal memiliki keunggulan dibandingkan dengan mikroorganisme introduksi, yaitu lebih mudah beradaptasi dengan kondisi lingkungan budidaya, memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap fluktuasi parameter lingkungan lokal, serta tidak mengganggu keseimbangan ekosistem alami karena merupakan bagian dari komunitas mikroba indigenous (asli setempat).

Sargassum sp. yang terdapat di perairan Indonesia merupakan habitat alami berbagai jenis mikroorganisme dekomposer lokal yang telah beradaptasi dengan kondisi perairan tropis dan teraklimatisasi dengan parameter lingkungan seperti suhu, salinitas, pH, dan ketersediaan nutrisi yang spesifik untuk perairan Indonesia. *Sargassum* sp. berpotensi sebagai pupuk organik yang sangat baik untuk budidaya rumput laut. Jenis rumput laut ini mengandung unsur makro nutrient seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang esensial bagi pertumbuhan tanaman. Mikroorganisme lokal yang berasal dari *Sargassum* sp. mengandung berbagai jenis dekomposer yang berperan dalam proses fermentasi, sehingga meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman budidaya. Proses fermentasi yang dibantu oleh MOL dapat menghasilkan hormon pemacu pertumbuhan seperti auksin, giberelin, dan sitokinin yang sangat penting untuk mendukung pertumbuhan rumput laut.

Namun, pemanfaatan mikroorganisme lokal yang berasal dari bahan *Sargassum* sp. dalam budidaya rumput laut masih belum banyak dimanfaatkan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dosis yang berbeda dari pupuk organik tersebut guna menentukan dosis optimal yang dapat meningkatkan pertumbuhan serta kualitas nutrisi N dan P pada *C. racemosa*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat dirumuskan masalah penelitian antara lain:

1. Bagaimana pengaruh dosis pemberian pupuk organik cair *Sargassum* sp. hasil fermentasi mikroorganisme lokal dalam mempengaruhi pertumbuhan *C. racemosa* ?
2. Bagaimana pengaruh dosis pemberian pupuk organik cair *Sargassum* sp. hasil fermentasi mikroorganisme lokal dalam mempengaruhi kualitas nutrisi *C. racemosa* ?
3. Bagaimana pengaruh dosis pemberian pupuk organik cair *Sargassum* sp. hasil fermentasi mikroorganisme lokal dalam mempengaruhi serapan N dan P *C. racemosa* ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisis pertumbuhan *C. racemosa* pada pemberian pupuk cair mikroorganisme lokal *Sargassum* sp.

2. Untuk menganalisis kualitas nutrisi *C. racemosa* pada pemberian pupuk cair mikroorganisme lokal *Sargassum* sp.
3. Untuk menganalisis serapan N dan P *C. racemosa* pada pemberian pupuk cair mikroorganisme lokal *Sargassum* sp.

1.4 Manfaat Penelitian

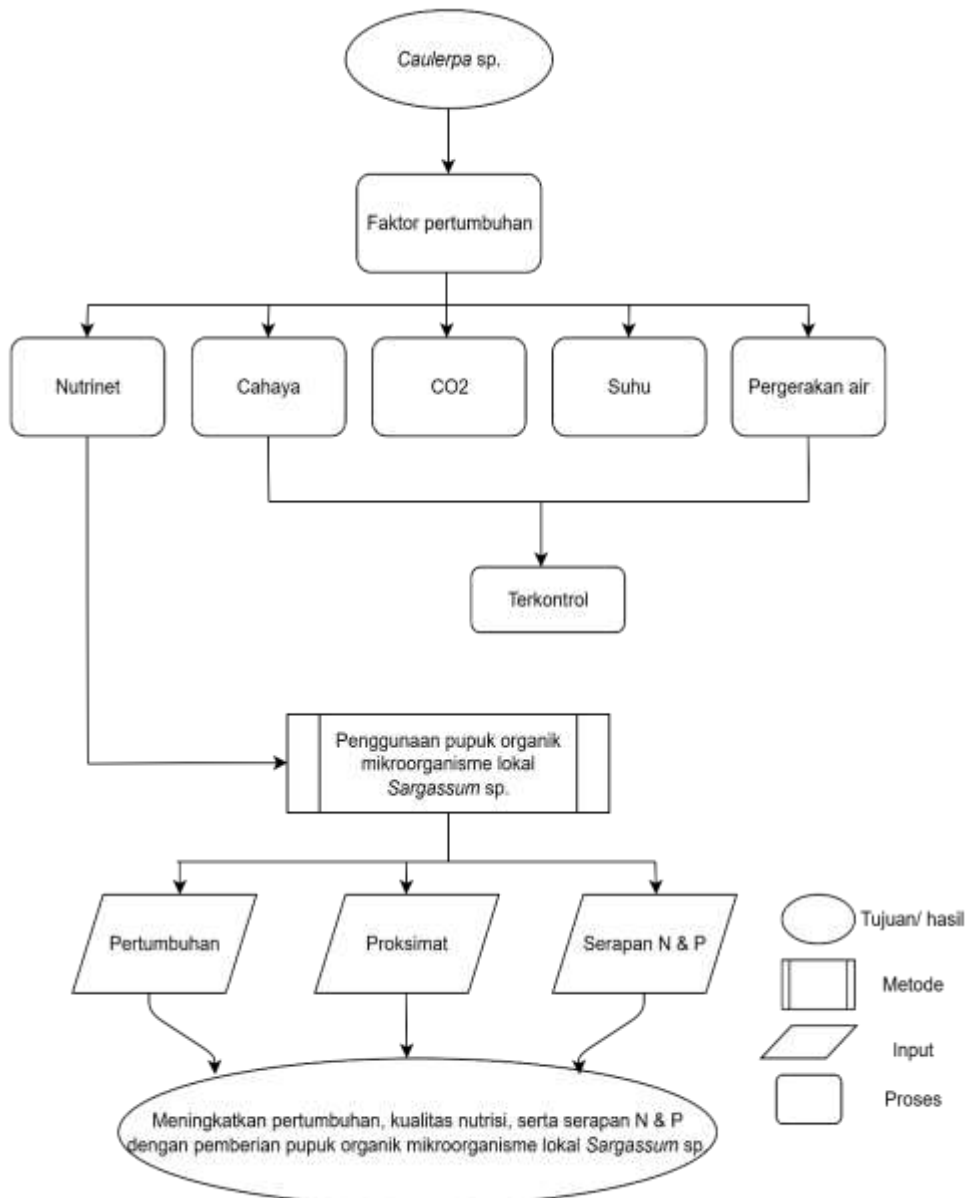
Hasil penelitian ini diharapkan menjadi salah satu bahan informasi mengenai peran mikroorganisme lokal *Sargassum* sp. terhadap pertumbuhan, kualitas nutrisi, serta serapan N dan P *C. racemosa* pada dosis yang optimal.

1.5 Hipotesis

1. Semakin tinggi dosis pemberian pupuk cair mikroorganisme lokal *Sargassum* sp. pertumbuhan semakin bagus.
2. Semakin tinggi dosis pemberian pupuk cair mikroorganisme lokal *Sargassum* sp. kualitas nutrisi semakin bagus.
3. Semakin tinggi dosis pemberian pupuk cair mikroorganisme lokal *Sargassum* sp. serapan N dan P semakin bagus.

1.6 Kerangka Pikir

Secara keseluruhan, kerangka pikir dalam penelitian ini digambarkan melalui alur dan skema Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Kerangka pikir

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Klasifikasi dan Ciri Morfologi *Caulerpa racemosa*

Klasifikasi anggur laut *Caulerpa racemosa* menurut (Guiry et al., 2024), adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Phylum : Chlorophyta

Subphylum : Chlorophytina

Class : Ulvophyceae

Order : Bryopsidales

Family : Caulerpaceae

Genus : Caulerpa

Species: *Caulerpa racemosa*

Yudasmara (2014), menjelaskan bahwa makroalga jenis *C. racemosa* memiliki thallus berwarna hijau seperti tanaman rumput, terdiri dari banyak cabang tegak yang tingginya 2,5-6,0 cm. Batang pokok berukuran antara 16-22 cm. Terdapat bulatan-bulatan seperti anggur pada puncak cabang, panjang setiap puncak cabang sekitar 2,5-10,0 cm. Selain berwarna hijau, ciri khas *C. racemosa* diantaranya mempunyai thallus dengan stolon berukuran ≤ 5 cm, perakarannya (*holdfast*) relative besar dan meruncing seperti paku dengan panjang ramuli mencapai 8 cm. Ramuli merupakan organ cabang atau percabangan dari stolon sebagai organ utama, substansinya agak lunak dan terkesan kosong (gembos). Ramuli ini berdiameter antara 2-5 mm.



Gambar 2. Rumput Laut (*Caulerpa racemosa*)

Sumber: Dokumentasi pribadi

2.2 Komposisi Nutrient *Caulerpa racemosa*

Rumput laut *C. racemosa* memiliki kandungan nutrisi yang sangat beragam dan bermanfaat, menjadikannya sebagai sumber pangan alternatif yang potensial. (Chakraborty et al., 2008), menunjukkan bahwa spesies ini mengandung karbohidrat sebesar $33,42 \pm 1,34\%$, protein kasar $20,27 \pm 0,14\%$, lipid kasar $4,20 \pm 0,32\%$, abu $28,25 \pm 0,27$, dan nilai kalori $2544,67 \pm 7,04 \text{ cal g}^{-1}$. Variasi kandungan nutrisi ini dapat berbeda tergantung pada lokasi geografis, musim, dan kondisi lingkungan. Studi yang dilakukan di Bangladesh oleh peneliti lain menunjukkan kandungan karbohidrat yang lebih tinggi mencapai $48,97 \pm 1,22$, protein $19,72 \pm 0,77$, dan lipid kasar $7,65 \pm 1,19$ (Thirumaran et al., 2009).

Kandungan mikronutrientnya kaya dan beragam, meliputi vitamin A, C, E, dan kompleks B, serta mineral penting seperti kalsium, magnesium, kalium, natrium, besi, dan seng. Matanjun et al., (2008), melaporkan bahwa *C. racemosa* mengandung berbagai jenis karotenoid yang memiliki aktivitas antioksidan tinggi, antara lain fukosatanin, lutein, astaxanthin, kantaxanthin, zeaxanthin, β -karoten, dan β -cryptoxanthin. Kandungan karotenoid ini tidak hanya memberikan warna khas pada alga tetapi juga berperan penting sebagai senyawa bioaktif dengan berbagai manfaat kesehatan. Asam amino menunjukkan dominasi glutamat, aspartat, dan alanin, sedangkan lipid didominasi oleh asam palmitat, asam oleat, dan asam linoleat yang merupakan asam lemak esensial.

Senyawa bioaktif lainnya yang terdapat dalam *C. racemosa* meliputi alkaloid, flavonoid, tannin, dan saponin yang memberikan aktivitas farmakologis seperti antioksidan, antimikroba, dan anti-inflamasi. Kandungan abu yang tertinggi mencapai 28,25% menunjukkan kekayaan mineral dan garam anorganik yang terkandung dalam jaringan alga ini.

2.3 Mikroorganisme Lokal

Mikroorganisme lokal (MOL) merupakan larutan hasil fermentasi yang diperoleh dari berbagai sumber daya lokal, mengandung unsur hara makro dan mikro yang penting untuk pertumbuhan tanaman. Menurut (Purwasasmita, 2009), MOL kaya akan bakteri dengan potensi sebagai perombak bahan organik, perangsang pertumbuhan, serta sebagai agen pengendalian hama dan penyakit tanaman. Selain itu, MOL juga berfungsi sebagai pupuk hayati dan pestisida organik, khususnya sebagai fungisida. MOL berkembang dari pemahaman bahwa mikroorganisme lokal yang beradaptasi dengan lingkungan memiliki kemampuan yang optimal dalam mendukung pertumbuhan tanaman di kondisi tersebut.

Komposisi MOL sangat beragam dan mengandung berbagai mikroorganisme menguntungkan seperti bakteri pelarut fosfat (*Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp.), bakteri penambah nitrogen (*Azotobacter* spp., *Rhizobium* spp.), fungi mikoriza, dan actinomycetes. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa plant growth-promoting mikroorganisme (PGPMs) memiliki peran penting dalam symbiosis tanaman-mikroorganisme untuk ketahanan kekeringan dalam pertanian dan meningkatkan

pertumbuhan tanaman, kesehatan, serta produktivitas di berbagai kondisi lingkungan. *Sargassum* sp. sebagai sumber mikroorganisme lokal yang digunakan dalam penelitian ini diidentifikasi memiliki kandungan nitrogen dan fosfor yang tinggi, sehingga berkontribusi positif terhadap pertumbuhan rumput laut *C. racemosa* yang dibudidayakan.

MOL juga mengandung hormon tumbuh seperti giberelin, sitokinin, dan auksin yang berperan penting dalam meningkatkan pertumbuhan (Trisna, 2013). Giberelin berfungsi merangsang perpanjangan sel dan perkecambahan, sitokinin mendorong pembelahan sel dan diferensiasi, sedangkan auksin mengatur pertumbuhan akar dan dominasi apikal. Mekanisme kerja MOL meliputi peningkatan ketersediaan nutrisi melalui pelarutan dan mobilisasi unsur hara yang tidak tersedia, stimulasi pertumbuhan melalui produksi hormon, perbaikan struktur tanah atau media tumbuh melalui produksi eksopolisakarida, serta bioproteksi melalui kompetisi dan antibiosis melawan patogen. Studi pada tahun 2024 menunjukkan bahwa tingkat fitohormon dalam tanah dan jaringan tanaman dipengaruhi oleh bakteri tanah spesifik, yang menyebabkan efek langsung pada pertumbuhan tanaman, perkembangan, dan toleransi stres, mendukung efektivitas aplikasi MOL dalam budidaya organisme akuatik seperti alga laut.

2.4 Klasifikasi dan Ciri Morfologi *Sargassum* sp.

Menurut (Trono, 1997) dan (Anggadiredja et al., 2011), *Sargassum* termasuk dalam kelompok alga coklat (Phaeophyceae) dengan klasifikasi sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Phylum : Phaeophyta

Class : Phaeophyceae

Order : Fucales

Family : Sargassaceae

Genus : *Sargassum*

Species: *Sargassum* sp.

Sargassum merupakan salah satu genus alga coklat dengan thallus relative kompleks dibandingkan kelompok alga lainnya. Struktur morfologinya terdiri atas 3 bagian utama:

1. Holdfast (tangkai pelekot)

Struktur basal menyerupai cakram atau serabut yang berfungsi melekatkan thallus pada substrat keras seperti batuan, karang mati, atau dasar perairan. Holdfast hanya berperan sebagai perekat, bukan sebagai organ penyerap nutrisi.

2. Stipe (batang semu)

Bagian silindris memanjang yang menghubungkan holdfast dengan frond. Stipe bersifat fleksibel dan berfungsi menopang cabang serta helaian daun.

3. Frond atau Blade (daun semu)

Helaian pipih yang muncul dari stipe, merupakan organ utama fotosintesis. Bentuk frond bervariasi, ada yang bulat telur, memanjang, atau menjari tergantung spesies.

4. Pneumatocyst (kantong udara)

Struktur berbentuk gelembung berisi gas yang terdapat di pangkal frond. Pneumatocyst berfungsi memberikan daya apung agar thallus dapat tegak dan memperoleh intensitas cahaya matahari optimal untuk fotosintesis.



Gambar 3. Rumput laut (*Sargassum* sp.)

2.5 Komposisi *Sargassum* sp.

Sargassum sp. merupakan alga coklat dari famili *Sargassaceae* yang banyak ditemukan di perairan tropis dan subtropik, termasuk perairan Indonesia. Sebagai bahan baku pembuatan MOL, *Sargassum* memiliki kandungan nutrisi yang sangat baik untuk mendukung fermentasi mikroorganisme. Davis et al., (2003), melaporkan bahwa *Sargassum* mengandung makronutrien berupa nitrogen (N) 1,5-3,5%, fosfor (P) 0,2-0,8%, kalium (K) 2,5-8,0%, karbohidrat 35-65%, dan protein 8-15%. Kandungan nitrogen dan fosfor yang tinggi menjadikan *Sargassum* sebagai substrat yang ideal untuk pertumbuhan mikroorganisme dalam proses fermentasi MOL.

Kandungan mikronutrientnya meliputi magnesium, kalsium, mangan, seng, vit.B kompleks, vit. C, serta element seperti boron, molybdenum, dan kobalt yang berperan sebagai kofaktor enzim mikroorganisme. (Khan et al., 2009), menjelaskan bahwa *Sargassum* mengandung berbagai senyawa bioaktif yang mendukung fermentasi antara lain alginate sebagai polisakarida sumber karbon untuk mikroorganisme, fucoidan berupa sulfated polysaccharide dengan aktivitas biologis tinggi, phlorotannin sebagai senyawa antioksidan yang melindungi mikroorganisme dari stress oksidatif, dan laminarin berupa β -glucan yang mudah difermentasi.

Senyawa-senyawa ini tidak hanya menyediakan nutrisi bagi mikroorganisme tetapi juga meningkatkan stabilitas dan efektivitas MOL yang dihasilkan.

Sargassum juga mengandung hormon pertumbuhan tanaman alami seperti sitokinin dalam bentuk zeatin dan derivatnya, auksin terutama asam indol asetat (IAA), serta giberelin dalam konsentrasi rendah namun bioaktif. Arioli et al., (2015), menyatakan bahwa keberadaan hormon alami ini memberikan kontribusi signifikan terhadap efektivitas MOL dalam merangsang pertumbuhan tanaman atau organisme yang dibudidayakan. Sebagai substrat fermentasi, *Sargassum* menyediakan sumber karbon untuk pertumbuhan dan metabolisme mikroorganisme, sumber nitrogen dalam bentuk protein dan asam amino, mineral esensial sebagai kofaktor enzim mikroorganisme, serta growth factors berupa vitamin dan senyawa organik kompleks. Penelitian Mutakhir pada Oktober 2024, mengungkapkan bahwa produksi hormon pemacu pertumbuhan tanaman yang tersebar luas di antara bakteri laut dan dampaknya terhadap pertumbuhan diatom laut menunjukkan potensi besar aplikasi MOL berbahan dasar *Sargassum* dalam budidaya alga laut seperti *C. racemosa*.

Optimasi penggunaan *Sargassum* dalam pembuatan MOL memerlukan perhatian pada beberapa parameter, antara lain pemotongan bahan menjadi ukuran 1-2 cm untuk mempercepat dekomposisi, rasio C/N optimal 25-30:1, pH fermentasi 6,4-7,5, suhu fermentasi 28-32°C, dan waktu fermentasi 14-21 hari untuk menghasilkan MOL dengan kualitas terbaik.

2.6 Effective Microorganisms 4 (EM4) sebagai Aktivator Fermentasi

Effective Mikroorganisms 4 (EM4) merupakan mikroorganisme menguntungkan yang dikembangkan berdasarkan teknologi fermentasi campuran (mixed fermentation technology) (Boga et al., 2014). EM4 terdiri dari kultur campuran mikroorganisme fermentasi, fotosintetik, dan fiksasi nitrogen yang bekerja secara sinergis dalam kondisi anaerobik fakultatif untuk mengoptimalkan proses biokonversi bahan organik (Olle & Williams, 2013). Konsep dasar EM4 mengacu pada prinsip mikrobiologi terapan dimana kombinasi mikroorganisme dengan fungsi metabolisme yang berbeda dapat menciptakan efek sinergis yang lebih besar dibandingkan penggunaan isolat tunggal (Hiddink et al., 2010).

Komposisi mikrobiologi EM4 mencakup empat kelompok utama mikroorganisme. Bakteri asam laktat (*Lactobacillus plantarum*, *L. cesei*, *L. fermentum*) yang berperan dalam produksi asam organik, penurunan pH, dan penghambatan mikroorganisme patogen melalui mekanisme competitive exclusion (Hu & Ganzle, 2018). Bakteri fotosintetik (*Rhodospseudomonas palustris*, *Rhodobacter sphaeroides*) yang mampu melakukan fotosintesis anoksigenik dan menghasilkan senyawa bioaktif seperti asam amino, vitamin B kompleks, dan coenzyme Q10 (Madigan et al., 2019). Ragi fermentatif (*Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*) yang bertanggung jawab dalam fermentasi alkohol, produksi enzim ekstraseluler, dan sintesis vitamin B kompleks (Walker, 2021). Actinomycetes (*Streptomyces albus*, *S. griseus*) yang menghasilkan enzim lignolitik

dan selulolitik untuk dekomposisi komponen struktural kompleks dalam substrat organik (Barka et al., 2016).

Mekanisme kerja EM4 dalam fermentasi MOL *Sargassum* melibatkan beberapa proses biokimia yang kompleks. Proses hidrolisis enzimatis terjadi ketika enzim yang diproduksi oleh actinomycetes dan ragi memecah polimer kompleks seperti alginat, selulosa, dan protein dalam *Sargassum* menjadi monomer yang lebih sederhana (Zhang et al., 2020). Fermentasi asam laktat berlangsung dimana bakteri asam laktat mengkonversi gula sederhana menjadi asam laktat, asam asetat, dan metabolit organik lainnya yang berfungsi sebagai pengawet alami dan sumber energi bagi mikroorganisme lain (Reis et al., 2012). Sintesis hormon pertumbuhan terjadi melalui produksi fitohormon seperti asam indol asetat (IAA), giberelin, dan sitokinin oleh bakteri fotosintetik dan ragi yang berperan dalam stimulasi pertumbuhan tanaman (Spaepen & Vanderleyden, 2011).

Aplikasi EM4 dalam pembuatan MOL memberikan beberapa keuntungan signifikan. EM4 mempercepat waktu fermentasi dari 21-30 hari menjadi 14-21 hari melalui peningkatan aktivitas enzimatis dan optimalisasi kondisi fermentasi (Javaid, 2009). Stabilitas pH dipertahankan melalui produksi asam organik yang terkontrol, mencegah pertumbuhan mikroorganisme pembusuk dan patogen (Olle & Williams, 2013). Peningkatan kandungan nutrisi terjadi karena biokonversi senyawa kompleks menjadi bentuk yang lebih bioavailable, serta sintesis vitamin dan asam amino esensial oleh mikroorganisme dalam EM4 (Higa & Parr, 1994). Produksi metabolit bioaktif meningkat, termasuk enzim, hormon pertumbuhan, dan senyawa antimikroba yang memberikan efek stimulasi pada organisme (Javaid, 2009).

Dosis optimal EM4 dalam pembuatan MOL berkisar antara 1-5% (v/v) dari volume total substrat fermentasi (Susanto, 2002). Konsentrasi yang terlalu rendah (<1%) tidak memberikan efek aktivasi yang signifikan, sedangkan konsentrasi yang terlalu tinggi (<5%) dapat menyebabkan kompetisi antar mikroorganisme dan menurunkan efisiensi fermentasi (Olle & Williams, 2013). Parameter kualitas MOL yang dipengaruhi oleh penambahan EM4 meliputi pH optimal (3,5-4,5), kandungan nitrogen total (<0,5%), kandungan fosfor (<0,3%), rasio C/N (15-25), dan populasi mikroorganisme total (<10⁷ CFU/ml) (Susanto, 2002 & Javaid, 2009).

