

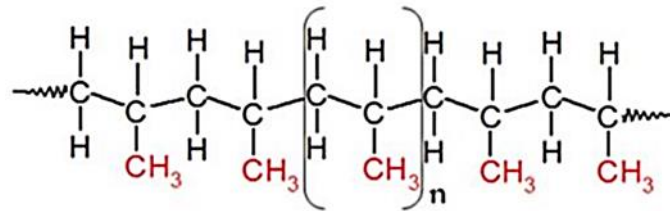
II. TINJAUAN PUSTAKA DAN HIPOTESIS

A. Polimer dan Masker

Polimer adalah makromolekul yang dibentuk dari sejumlah molekul-molekul kecil yang saling berikatan. Molekul-molekul kecil yang membentuk polimer ini disebut sebagai monomer, sedangkan reaksi yang terjadi disebut reaksi polimerisasi. Satu rantai polimer dapat tersusun atas ratusan, ribuan bahkan jutaan molekul monomer yang saling berikatan (Tunjungsari dkk., 2019).

Plastik merupakan polimer sintetik yang memiliki rantai panjang molekul polimer. Karakteristik plastik yang stabil dan dapat bertahan lama menyebabkan plastik sering digunakan dalam kehidupan manusia. Jenis plastik yang umum digunakan diantaranya *nylon*, *polyethylene* (PE), *polyethylene terephthalate* (PET), *polybutylene terephthalate* (PBT), *polypropylene* (PP), *polystyrene* (PS), *polyvinyl chloride* (PVC), dan *polyurethane* (PUR) (Sriningsih dan Shovitri, 2015).

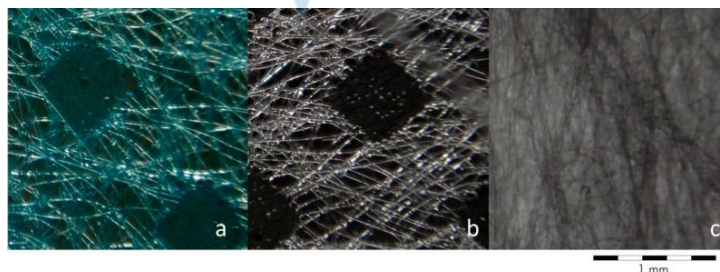
Masker medis tiga lapis merupakan salah satu contoh penggunaan polimer termoplastik yaitu *polypropylene*. *Polypropylene* dalam masker medis diproses dengan cara *spunbond* dan *melt blowing*. Bahan *polypropylene* memiliki karakteristik padat serta memiliki elastisitas yang rendah (Spennemann, 2021). Struktur polimer *polypropylene* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur *Polypropylene* (Maddah, 2016).

Masker merupakan alat pelindung diri yang digunakan untuk mencegah masuknya partikel melalui mulut dan hidung. Penggunaan masker dalam kehidupan sehari-hari umumnya untuk mengurangi paparan debu serta polusi udara, sedangkan dalam bidang kesehatan masker digunakan untuk mencegah kontaminasi virus atau penyakit. Jenis masker wajah yang banyak digunakan diantaranya yaitu masker medis tiga lapis (Theopilus dkk., 2020).

Masker medis tiga lapis terdiri dari beberapa komponen yaitu tali masker yang dikaitkan ke telinga, pinggiran masker, lapisan luar berupa *spunbond polypropylene fabric*, lapisan tengah berupa *melt-blown polypropylene fabric*, serta lapisan dalam berupa *spunbond polypropylene fabric*. Lapisan luar dan dalam memiliki sifat tahan air, sedangkan lapisan tengah tidak (Spennemann, 2021). Gambar struktur pada masker medis tiga lapis dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur Masker Medis Tiga Lapis (a) Lapisan Luar, (b) Lapisan Dalam, (c) Lapisan Tengah (Spennemann, 2021).

B. Biodegradasi dan Kolom *Winogradsky*

Biodegradasi adalah metode penguraian limbah oleh mikroorganisme yang dengan sistem enzim akan mengoksidasi senyawa organik dan menghasilkan karbondioksida, air, serta energi (Juliana dkk., 2022). Senyawa dalam bahan pencemar akan dimanfaatkan akan dimanfaatkan oleh mikroorganisme menjadi sumber nutrisi bagi pertumbuhannya. Biodegradasi plastik oleh aktivitas mikroorganisme tanah akan menyebabkan perubahan fisik plastik (Sari dkk., 2021).

Prinsip praktik biodegradasi terbagi menjadi tiga yaitu biostimulasi, bioaugmentasi, serta gabungan biostimulasi dan bioaugmentasi. Biostimulasi dilakukan dengan penambahan seperti unsur hara atau oksigen guna meningkatkan aktivitas mikroorganisme. Bioaugmentasi merupakan prinsip biodegradasi dilakukan dengan cara menambahkan bakteri eksogen. Gabungan biostimulasi dan bioaugmentasi akan meningkatkan jumlah dan jenis mikroorganisme serta menyediakan nutrisi akan membantu meningkatkan degradasi kontaminan oleh mikroorganisme (Sumiardi, 2022).

Biodegradasi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yakni faktor nutrisi, faktor lingkungan, dan faktor mikroorganisme. Faktor nutrisi yaitu faktor ketersediaan nutrisi bagi pertumbuhan mikroorganisme. Faktor lingkungan yaitu faktor kondisi lingkungan seperti suhu, pH, redoks potensial, serta ketersediaan donor elektron. Faktor mikroorganisme yaitu keberadaan dan kepadatan populasi mikroorganisme pendegradasi polutan (Sumiardi., 2022).

Kolom *Winogradsky* adalah kolom yang dibuat berisi tanah atau sedimen yang digunakan sebagai metode pengayaan kultur ekologi mikroorganisme. Metode kolom *Winogradsky* akan menciptakan lingkungan yang menekan konsorsium mikroorganisme untuk membentuk biofilm. Pembentukan biofilm tersebut dapat menunjukkan terdapat pertumbuhan bakteri yang berperan dalam proses biodegradasi (Ainiyah dan Shovitri, 2014).

Kolom *Winogradsky* berisi tanah sekitar tumpukan sampah sebagai sumber mikroorganisme dan *Mineral Salt Medium* (MSM). *Mineral Salt Medium* merupakan medium yang minim sumber karbon. Sumber karbon yang digunakan dalam kolom *Winogradsky* umumnya berupa limbah yang akan didegradasi misalnya plastik (Ainiyah dan Shovitri, 2014). Prinsip biodegradasi dengan kolom *Winogradsky* yaitu mikroba akan menghasilkan enzim yang dapat memecah polimer plastik menjadi oligomer dan monomer penyusunnya, kemudian monomer plastik akan diserap mikroba sebagai sumber karbon dan energi (Badriyah dan Shovitri., 2015).

C. Bakteri Pendegradasi Masker

Bakteri adalah salah satu jenis mikroorganisme yang jumlahnya paling banyak dibandingkan makhluk hidup lain. Bakteri memiliki ciri bersel satu, tidak memiliki membran inti, tidak memiliki klorofil, dan berukuran 0,12 mikron hingga ratusan mikron. Bentuk bakteri diantaranya basil, kokus, spirillum, kokobasil, dan vibrio (Rini dan Rohmah, 2020). Terdapat empat fase

pertumbuhan bakteri yaitu fase lag, fase eksponensial, fase stasioner, dan fase kematian.

1. Fase Lag

Fase lag adalah fase awal ketika bakteri beradaptasi dengan kondisi lingkungan baru. Kemampuan adaptasi bakteri pada fase lag dipengaruhi oleh komposisi media, jumlah sel pada inokulum awal, kondisi pH, suhu, serta sifat fisiologi bakteri. Fase lag umumnya berlangsung selama beberapa menit hingga beberapa jam (Risna dkk., 2019).

2. Fase Eksponensial

Fase eksponensial adalah fase pertumbuhan bakteri ketika periode pertumbuhan terjadi sangat cepat. Pertumbuhan bakteri pada fase eksponensial dipengaruhi oleh suhu, kondisi pH, nutrisi dalam media, serta sifat genetik mikroba. Fase eksponensial merupakan fase yang diperlukan mikroba untuk pembelahan sel (Risna dkk., 2019).

3. Fase Stasioner

Fase stasioner yaitu fase ketika semua sel berhenti membelah diri atau ketika sel hidup dan sel mati berada pada keseimbangan (Saraswati dkk., 2021). Awal fase stasioner berada pada titik ketika laju pertumbuhan mulai menurun (Risna dkk., 2019). Penurunan pertumbuhan disebabkan oleh nutrisi dalam media serta cadangan energi telah menipis (Mardalena, 2016).

4. Fase Kematian

Fase kematian merupakan fase ketika jumlah laju kematian sel bakteri lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah laju pertumbuhan sel bakteri (Risna dkk., 2019). Kematian sel bakteri terjadi karena jumlah nutrisi yang sudah sangat berkurang dan kondisi lingkungan yang kurang mendukung akibat hasil metabolisme mikroba (Saraswati, 2021).

Terdapat beberapa jenis bakteri yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi plastik yaitu *Pseudomonas* sp., *Ochrobactrum* sp., *Rhodococcus* sp., *Bacillus* sp., dan *Ideonella sakaiensis*.

1. *Pseudomonas* sp.

Pseudomonas sp. merupakan bakteri Gram negatif, berbentuk batang, tidak membentuk spora, memiliki flagela, dan bersifat aerob obligat tetapi dapat hidup secara anaerobik di lingkungan dengan kandungan nitrat. *Pseudomonas* sp. menghasilkan enzim yang mampu mendegradasi plastik yaitu serine, hidrolase, esterase, dan lipase. *Pseudomonas* sp. terbukti dapat mendegradasi plastik hitam, plastik putih, dan plastik transparan masing-masing dengan rata-rata degradasi sebesar 2,7%, 3,3%, dan 4,5% (Sriningsih dan Shovitri, 2015).

2. *Ochrobactrum* sp.

Ochrobactrum sp. merupakan bakteri Gram negatif dan memiliki flagela. *Ochrobactrum* sp. dapat menghasilkan enzim katalase yang dapat memetabolisme hidrogen peroksida menjadi oksigen dan air. *Ochrobactrum* sp. juga dapat menghasilkan exo-enzim yang dapat

mendegradasi plastik. Hasil penelitian menunjukkan *Ochrobactrum* sp. memiliki kemampuan degradasi plastik *high density polyethylene* (HDPE) sebesar 20% (Riandi dkk., 2017).

3. *Rhodococcus* sp.

Rhodococcus sp. merupakan bakteri Gram positif, memiliki bentuk koloni bulat, elevasi cembung, dan bentuk sel bulat. *Rhodococcus* sp. dapat menghasilkan enzim yang dapat mendegradasi polimer sintetis yaitu nitrilase, nitrile hidratase, dan amidase. Sampel kain akrilik mengalami degradasi yang ditunjukkan dengan penurunan berat awal yaitu 0,3414 g menjadi 0,3339 g selama 4 bulan masa inkubasi (Anggini, 2017).

4. *Bacillus* sp.

Bacillus sp. merupakan bakteri Gram positif, memiliki bentuk batang, dapat membentuk endospora dan bersifat anaerobik fakultatif. *Bacillus* sp. memiliki kemampuan degradasi plastik secara aerobik dan anaerobik menggunakan enzim ekstraseluler dan intraseluler depolimerase (Erlambang dkk., 2019). Penelitian Fadlilah dan Shovitri (2014), menunjukkan kemampuan *Bacillus* sp. mendegradasi plastik putih dan hitam dengan persen degradabilitas sebesar 1,9% dan 2,3% selama 4 bulan masa inkubasi.

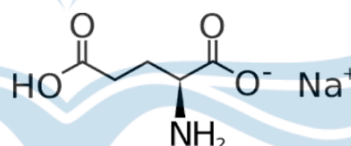
5. *Ideonella sakaiensis*

Ideonella sakaiensis merupakan bakteri Gram negatif, memiliki bentuk koloni bulat dengan diameter 0,5 – 1 mm, berbentuk batang, dan memiliki flagela. *Ideonella sakaiensis* dapat menghasilkan senyawa

organik dan enzim. Salah satu enzim yang dihasilkan *Ideonella sakaiensis* adalah *Polyethylene Terephthalate* (PET) hidrolase yang dapat memecah polimer PET (Erlambang dkk., 2019).

D. Monosodium Glutamat (MSG)

Monosodium Glutamat (MSG) adalah garam natrium yang berikatan dengan dengan asam amino berupa asam glutamat. Asam glutamat merupakan asam amino non-esensial pembentuk protein. MSG memiliki bentuk kristal putih dan umum digunakan sebagai penyedap rasa. MSG diketahui dapat dijadikan bahan penyubur pertumbuhan bakteri karena mampu meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme (Indrayanti dan Akma, 2018). Gambar struktur umum Monosodium Glutamat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Monosodium Glutamat (Prihanto, 2017).

Penelitian Haryanto (2019) menunjukkan kemampuan MSG dalam meningkatkan aktivitas degradasi plastik. Pemberian MSG sebanyak 2 g dan isolat isolat *Pseudomonas aeruginosa* sebanyak 2 mL memiliki persentase degradasi sebesar 3,312 %. Hasil tersebut menunjukkan persentase degradasi lebih tinggi dibandingkan tanpa penambahan MSG yaitu sebesar 0,692%

E. *Effective Microorganism 4 (EM 4)*

Effective microorganism (EM 4) adalah campuran beberapa jenis mikroorganisme hidup pada medium berupa cairan berwarna kecoklatan dengan aroma asam. Mikroorganisme dalam EM 4 terdiri atas bakteri fotosintetik, bakteri asam laktat, ragi, *actinomyces*, dan jamur peragian. EM 4 dapat digunakan untuk mempercepat degradasi karena terdiri atas 90% *Lactobacillus* sp. Jenis mikroba tersebut menghasilkan asam laktat yang dapat mempercepat perombakan polimer (Irawan dan Suswanto, 2016). Penelitian Filayani (2020), menunjukkan kemampuan bakteri asam laktat memiliki kemampuan degradasi plastik yang ditunjukkan oleh persentase kehilangan berat plastik sebesar sebesar 19,47%.

F. Parameter Uji

1. Suhu dan Derajat Keasaman (pH)

Faktor yang dapat mempengaruhi proses degradasi diantaranya suhu dan derajat keasaman (pH). Faktor tersebut berpengaruh terhadap pertumbuhan bakteri serta aktivitas enzim. Pertumbuhan bakteri pendegradasi plastik dapat tumbuh secara optimal pada suhu 20° - 40°C (Octavianda dkk., 2016). Suhu yang meningkat akan meningkatkan degradasi karena energi kinetik pada molekul substrat dan enzim meningkat. Suhu yang terlalu tinggi akan menyebabkan denaturasi enzim, sedangkan suhu yang terlalu rendah akan menghambat kerja enzim. Hal

tersebut akan menyebabkan proses degradasi tidak berjalan dengan baik (Supriyatna dkk., 2015).

Derajat keasaman (pH) dapat mempengaruhi proses degradasi karena enzim pengurai tertentu hanya aktif pada pH tertentu. Proses degradasi yang optimal dapat terjadi jika pH sesuai dengan aktivitas enzim (Syamsi dkk., 2019). Kondisi pH juga mempengaruhi pertumbuhan bakteri, karena beberapa bakteri tumbuh pada kondisi pH rendah (asam) dan pH tinggi (basa) (Octavianda dkk., 2016).

2. Berat Masker

Mekanisme biodegradasi dimulai dengan oksidasi karbon pada rantai polimer yang menghasilkan gugus fungsional berat molekul rendah. Gugus fungsional tersebut menyebabkan perubahan sifat polimer hidrokarbon menjadi hidrofilik. Permukaan polimer akan menyerap air dan memudahkan mikroorganisme melakukan proses degradasi. Bakteri yang menempel pada permukaan plastik akan melakukan kolonisasi dan membentuk biofilm. Bakteri memecah polimer kompleks bahan menjadi lebih sederhana dengan bantuan enzim, kemudian menggunakannya sebagai sumber karbon dan energi (Octavianda dkk., 2016).

Bahan yang terurai dan digunakan mikroba sebagai sumber energi berpengaruh terhadap berat bahan tersebut. Kehilangan berat kering bahan dapat digunakan sebagai salah satu parameter biodegradasi (Ainiyah dan Shovitri, 2014). Selisih penurunan antara berat kering awal bahan dengan

berat kering bahan setelah inkubasi menunjukkan terjadinya proses biodegradasi polimer (Badriyah dan Shovitri, 2015).

3. Morfologi Permukaan Masker

Proses degradasi akan mempengaruhi morfologi permukaan polimer suatu bahan. Penampakan morfologi permukaan dapat dilihat dengan analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil degradasi selama waktu tertentu akan membentuk rongga pada permukaan bahan (Safaat, 2020).

G. Hipotesis

1. Jenis bakteri yang dapat mendegradasi masker limbah masker medis tiga lapis dalam kolom *Winogradsky* yaitu *Pseudomonas* sp., *Ochrobactrum* sp., *Rhodococcus* sp., *Bacillus* sp., dan *Ideonella sakaiensis*.
2. Bakteri dapat mendegradasi limbah masker medis tiga lapis dalam kolom *Winogradsky*.
3. Penambahan *Effective Microorganism 4* (EM4) merupakan perlakuan terbaik dalam degradasi limbah masker medis tiga lapis pada kolom *Winogradsky*.