

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Biomaterial

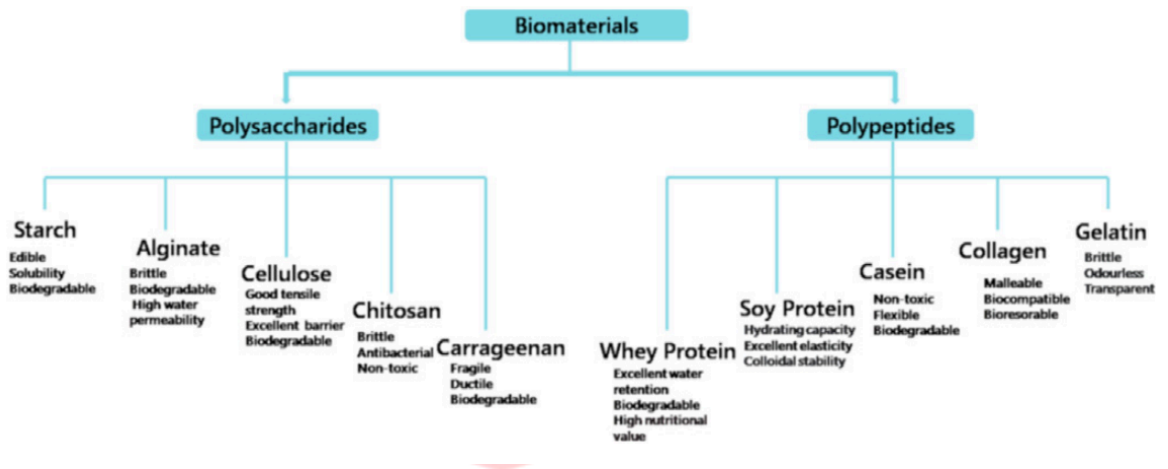
Biomaterial memiliki berbagai definisi menyesuaikan dengan pendekatan penggunaannya. Dalam buku *Definitions of Biomaterials for the Twenty-First Century*, biomaterial dalam bidang medis didefinisikan sebagai suatu bahan yang dirancang untuk mengambil bentuk yang dapat mengarahkan jalannya prosedur terapeutik atau diagnostik melalui interaksi dengan sistem kehidupan. Dalam konteks kehutanan atau pertanian, biomaterial didefinisikan sebagai segala bahan organik ramah lingkungan yang diekstraksi dari ekosistem. Bahan-bahan tersebut antara lain kayu, jamur, buah, getah, bahkan alga dalam ekosistem (Zhang & Williams, 2019). Dalam bidang non-biologis, istilah biomaterial merepresentasikan adanya kandungan bahan organik atau biomassa yang dapat terurai secara hayati pada produk yang diaplikasikan.

Menurut Arjuhan *et al.* (2019), biomaterial dikategorikan menjadi empat menurut komposisi dan fungsinya, yakni logam, keramik, komposit, dan polimer. Biomaterial dapat diaplikasikan dalam berbagai industri seperti industri medis, otomotif, makanan dan minuman, konstruksi dan arsitektur, serta industri lingkungan.

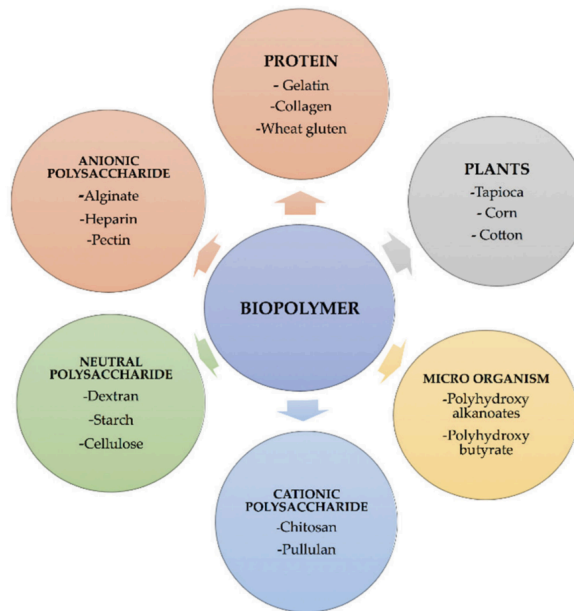
#### 2.2 Biopolimer

Biopolimer merupakan zat organik yang ditemukan dalam sumber alami. Istilah biopolimer berasal dari kata Yunani, yakni bio dan polimer yang berarti alam dan organisme. Biopolimer memiliki sifat biokompatibel dan biodegradable yang membuat material ini dapat digunakan dalam berbagai produk. Beberapa contoh nyata seperti *edible film*, bahan pengangkut obat, dan implan medis. Biopolimer diklasifikasikan menjadi dua menurut sumbernya, yaitu polimer natural dan polimer sintetik.

Menurut Baranwal *et al.* (2022), polimer natural merupakan polimer yang diekstraksi dari tanaman, hewan, mikroorganisme, atau limbah pertanian. Polimer natural diklasifikasikan menjadi dua berdasarkan strukturnya, yakni polisakarida dan polipeptida (Philip *et al.*, 2021). Polisakarida adalah karbohidrat yang tersusun dari banyak monosakarida yang terikat melalui ikatan glikosidik. Biopolimer ini dapat diekstraksi dari padi, jagung, gandum, sorghum, ubi, singkong, kentang, pisang, tapioka, kapas, dan barley (Baranwal *et al.*, 2022). Bentuk polimer tanaman dapat berupa alginat, selulosa, atau pati (Philip *et al.*, 2021). Selain dari tanaman, alginat dan selulosa dapat diperoleh dari mikroorganisme seperti ganggang, jamur, dan ragi. Sedangkan biopolimer hewani diekstraksi dari sapi, krang, lobster, atau udang dalam bentuk glikogen dan kitin (Baranwal *et al.*, 2022).



Gambar 2.1 Klasifikasi Biomaterial Menurut Jenis  
(Sumber: Philip *et al.*, 2021)



Gambar 2.2 Klasifikasi Biopolimer Alami Terbarukan Menurut Sumber  
(Sumber: Baranwal *et al.*, 2022)

### 2.3 Selulosa

Selulosa merupakan salah satu jenis polimer kategori karbohidrat yang memiliki struktur menyerupai pati. Menurut Rojas (2016), polimer ini merupakan jenis polimer paling melimpah di biosfer, dengan angka produksi dan dekomposisi secara global sekitar  $\sim 1.5 \times 10^{12}$  ton per tahun. Selulosa juga merupakan bahan terbarukan dan bahan baku *biodegradable* yang memiliki potensi besar sebagai material berbagai produk industri dalam mengatasi masalah penguraian sampah serta pencemaran lingkungan. Selulosa dapat dimodifikasi melalui berbagai metode fisik atau kimia untuk menyesuaikan dengan aplikasi pada produk. Beberapa aplikasi dari selulosa antara lain seperti bahan pengisi, bahan bangunan, pelapis, laminasi, kertas, tekstil, film optik, media serapan dan sebagainya (Rojas, 2016).

Selulosa umumnya ditemukan pada tanaman, hewan, alga, jamur, dan mineral. Sumber utama dari selulosa merupakan serat tumbuhan yang berfungsi sebagai elemen penataan dalam dinding sel tumbuhan. Selulosa pada tanaman biasanya disertai dengan hemiselulosa, lignin, dan sejumlah ekstraktif lain, sehingga

kemurnian selulosa tanaman tidak terlalu tinggi. Beberapa jamur dan ganggang juga bisa menghasilkan selulosa, seperti *Valonia ventricosa* dan *Chaetomorpha melagonicum*. Selain itu, bakteri seperti *gluconacetobacter*, *agrobacterium*, *pseudomonas*, *rhizobium*, dan *sarcina* dapat mensintesis selulosa dari glukosa dan berbagai sumber karbon.

### 2.3.1 Selulosa Bakteri

Selulosa bakteri merupakan sejenis polisakarida hasil dari metabolisme bakteri. Berdasarkan Gregory *et al.* (2021), selulosa bakteri dapat diproduksi oleh berbagai bakteri penghasil asam asetat seperti *acetobacter*, *gluconobacter*, *gluconacetobacter*, dan *komagataeibacter*. Umumnya bakteri ini ditemukan pada makanan fermentasi seperti cuka, nata de coco, kombucha, bahkan buah yang membusuk. Bakteri paling umum digunakan dalam pembuatan selulosa bakteri adalah *komagataeibacter* yang dapat memetabolisme kan berbagai sumber karbon serta nitrogen. Species *gluconacetobacter* dan *komagataeibacter* diketahui menghasilkan matriks ekstraseluler lembab seperti gel yang berfungsi untuk melindungi bakteri dari kekeringan dan kerusakan akibat sinar UV. Gel inilah yang disebut sebagai selulosa bakteri.



Gambar 2.3 Produksi Selulosa Bakteri

(Sumber: ce-hub.org, 2022)

### 2.3.2 Properti dan Struktur

Umumnya, selulosa merupakan homopolimer yang terdiri dari glukosa yang terhubung melalui ikatan glikosidik  $\beta$ -1,-4. Selulosa bakteri memiliki struktur kimia yang sama dengan selulosa tanaman  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Namun serat selulosa bakteri berukuran nano, 100 kali lebih tipis dibanding selulosa tanaman, dan memiliki jaringan tiga dimensi. Hal ini membuat interaksi antara komponen dan sekitarnya lebih kuat dari segi kekuatan mekanik, derajat polimerisasi, dan kekuatan tarik (Gregory *et al.*, 2016). Selulosa bakteri memiliki konsistensi agar-agar yang terbuat dari mikrofibril yang terhubung secara acak.

Menurut Philip *et al.* (2021), Menurut Philip *et al.* (2021), penelitian terkini mengungkapkan bahwa selulosa yang dihasilkan oleh bakteri yang berbeda memiliki morfologi, struktur, sifat, dan aplikasi yang berbeda. Hal ini terjadi akibat adanya berbagai faktor seperti (a) faktor lingkungan (pH, kadar oksigen), (b) pengadukan media pertumbuhan bakteri, (c) waktu budidaya, (d) dan kondisi media budidaya (sumber karbon, nitrogen, dan nutrisi untuk pertumbuhan bakteri). Berdasarkan Laavanya, Shirkole, dan Balasubramanian (2020), selulosa menunjukkan adanya penurunan sifat mekanik setelah dimurnikan. Maka diperlukan bahan kimia tambahan seperti gliserol atau kitosan untuk meningkatkan kualitas jaringan selulosa. Proses pengeringan juga dapat meningkatkan sifat mekanik. Selulosa bakteri bersifat hidrofilik sehingga memiliki kapasitas retensi air yang tinggi. Maka permukaan selulosa yang telah dikeringkan dapat diberikan bahan tambahan seperti lilin atau asam asetat untuk mengatasi sifat hidrofilik (Laavanya, Shirkole, dan Balasubramanian, 2020).

Tidak seperti selulosa tanaman, selulosa hasil sintesis bakteri memiliki tingkat kemurnian paling tinggi dimana selulosa bakteri tidak mengandung lignin, pektin, hemiselulosa atau produk biogenik seperti selulosa tanaman. Maka selulosa bakteri memiliki tingkat polimerisasi yang tinggi serta mudah terurai dibandingkan dengan selulosa tanaman (Philip *et al.*, 2021).

### 2.3.3 Metode Budidaya Statis

Menurut Wang, Tavakoli, dan Tang (2019), terdapat beberapa metode yang dapat dilakukan untuk menghasilkan selulosa bakteri, salah satunya metode kultur statis. Dibandingkan dengan metode lain, metode budidaya statis merupakan metode kultur yang cukup simpel sehingga seringkali digunakan oleh peneliti untuk mensintesis selulosa bakteri. Pada metode ini, sebuah wadah berisikan media kaya akan gula (termasuk glukosa atau sukrosa; tetapi fruktosa, laktosa dan maltosa tidak mendukung produksi selulosa bakteri) difermentasi selama 5-20 hari pada suhu 28-30 °C dan  $4 < \text{pH} < 7$ . Berdasarkan Gregory *et al.* (2021), selulosa yang dihasilkan dengan metode ini berupa lembaran hidrogel yang kental seperti membran. Warna membran yang siap dipanen biasanya berwarna kekuningan seperti pada Gambar 2.3. Membran akan terbentuk pada permukaan antara gas dan cairan, sehingga bentuk membran akan berkaitan erat dengan bentuk wadah yang digunakan selama proses kultur. Ketebalan membran akan meningkat mengikuti durasi kultur. Semakin lama budidaya dilakukan, maka semakin tebal membran yang akan dipanen (Wang, Tavakoli, dan Tang, 2019).

Meski banyak diadopsi secara luas dalam produksi selulosa bakteri, metode budidaya statis memiliki berbagai keterbatasan. Yang pertama, diperlukan waktu budidaya yang cukup panjang dan produktivitas yang cukup rendah. Durasi yang dibutuhkan untuk menghasilkan selapis membran selulosa bakteri sekitar 5-20 hari, dan lebih menyesuaikan dengan ketebalan yang dibutuhkan. Selain itu, kondisi yang tidak merata pada proses budidaya seperti distribusi nutrisi, oksigen, dan populasi bakteri yang dapat mempengaruhi produksi ketebalan membran secara tidak merata (Parte *et al.*, 2020).

### 2.3.4 Metode Modifikasi

Selulosa bakteri dapat dimodifikasi untuk menyesuaikan fitur dan kinerjanya melalui beberapa metode. Berdasarkan Gregory *et al.* (2021),

modifikasi selulosa bakteri dapat dilakukan melalui metode *in situ* atau *ex situ*. Proses *in situ* merupakan metode modifikasi yang dilakukan pada saat proses fermentasi berlangsung dengan penambahan bahan atau mengubah sumber karbon pada media, sehingga menghasilkan selulosa bakteri dengan ciri-ciri kima, fisik, mekanik, atau morfologi yang berbeda.

Sebaliknya, metode *ex situ* dilakukan pada membran yang telah dimurnikan. Modifikasi dicapai melalui penyerapan fisik zat. Namun rendahnya ikatan molekul dan zat yang kuat membuat senyawa yang terserap rentan hilang terhadap pencucian seiring dengan waktu (Gregory *et al.*, 2021).

## 2.4 SCOPY

SCOPY (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast*) adalah salah satu jenis selulosa bakteri berupa biofilm selulosa tiga dimensi yang dihasilkan oleh simbiosis antara bakteri dan ragi (Laavanya, Shirkole, dan Balasubramanian, 2020). Umumnya SCOPY digunakan dalam proses fermentasi, berbentuk biofilm di atas permukaan cairan fermentasi. Menurut Laavanya, Shirkole, dan Balasubramanian (2020), SCOPY terdiri dari berbagai jenis bakteri dan ragi, di antara lain *gluconobacter*, *acetobacter*, *zygosaccharomyces*, *saccharomyces*, dan *schizosaccharomyces*. Jenis mikroba yang terdapat dalam biofilm juga dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis teh, sumber substrat yang digunakan untuk fermentasi, dan iklim budidaya. Mikroba yang ada dalam biofilm juga terdapat dalam cairan atau teh kombucha (Laavanya, Shirkole, dan Balasubramanian, 2020). Menurut Crum dan Alex (2016), terdapat sejumlah faktor yang mempengaruhi hasil biofilm yang berbeda. Yang pertama, jenis teh yang digunakan dalam proses fermentasi kombucha. Teh dengan warna yang lebih gelap akan menghasilkan warna biofilm yang lebih gelap. Kadar dan kualitas gula juga dapat mempengaruhi ketebalan serta perubahan warna biofilm.

Biofilm yang diproduksi oleh bakteri memiliki berbagai peran dalam proses fermentasi kombucha. Biofilm berfungsi untuk melindungi bakteri pada media dari kondisi yang tidak diinginkan seperti radiasi ultraviolet, tekanan yang tinggi, atau tantangan lingkungan lain. Biofilm juga menjadi pelapis yang menjaga

lingkungan aerobik yang penting dalam proses fermentasi. Di luar proses fermentasi, biofilm dapat dimanfaatkan dalam produksi berbagai produk, seperti kulit rekayasa (Laavanya, Shirkole, dan Balasubramanian, 2020).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wen (2022), terdapat beberapa langkah dalam pembuatan SCOBY serta persiapan SCOBY menjadi biomaterial:

1. Mencampurkan *starter* kombucha, SCOBY, dan teh manis dalam wadah yang telah disterilkan yang ditutup menggunakan kain.
2. Meletakkan wadah di tempat kering, bersuhu ruangan, dan terhindar dari sinar matahari selama 1-4 minggu atau hingga SCOBY mencapai ketebalan yang diinginkan.
3. Biofilm yang telah terbentuk disterilkan dan keringkan menggunakan metode yang ditentukan. Setelah pengeringan, biomaterial dapat digunakan dalam produksi.



Gambar 2.4 Skema Proses Pembuatan Material dari SCOBY

(Sumber: Wen, 2022)

## 2.5 Kemasan

Kemasan merupakan sebuah bahan atau wadah yang berfungsi untuk melindungi, membungkus, dan mendistribusikan sebuah produk. Fungsi utama kemasan adalah untuk menjaga dan memperlambat penurunan kualitas produk, memudahkan penyimpanan, serta membuat distribusi dan pemasaran lebih efisien.



(Ghaani *et al.*, 2016). Ningtyas (2021) mendefinisikan pengemasan sebagai suatu sistem dimana produk disiapkan untuk transportasi, distribusi, penyimpanan, penjualan, dan penggunaan. Kemasan sebagai pembungkus berfungsi untuk melindungi produk terhadap resiko kontaminasi, gangguan fisik (getaran, guncangan, gesekan), serta mencegah dan mengurangi kerusakan pada produk.

Umumnya kemasan diklasifikan berdasarkan fungsi, bentuk, frekuensi pemakaian, struktur sistem kemas, sifat perlindungan terhadap lingkungan, dan tingkat kesiapan (Ningtyas, 2021). Berdasarkan frekuensi pemakaian, kemasan dibagi menjadi 3 jenis:

1. Kemasan sekali pakai (*disposable*), kemasan yang langsung dibuang setelah pemakaian pertama. Beberapa aplikasinya seperti pembungkus keripik, pembungkus permen, karton susu, kaleng soda.
2. Kemasan yang dapat digunakan berulang kali (*multi trip*), kemasan yang dimanfaatkan kembali untuk mengemas seperti botol kaca untuk minuman. Penggunaan berulang memiliki kaitan erat dengan risiko kontaminasi, sehingga kebersihan kemasan harus dijaga dengan baik.
3. Kemasan yang tidak dibuang (*semi disposable*), kemasan yang dirancang untuk digunakan lebih dari sekali untuk penggunaan jangka pendek. Beberapa aplikasinya seperti wadah makanan plastik, botol minum plastik, kantong belanja kain.

Kemasan juga dapat diklasifikasikan menurut jenis dan karakteristik material, yakni; kemasan kertas dan karton, kemasan kaca, kemasan logam, dan kemasan plastik.

### **2.5.1 Kemasan Sekali Pakai**

Kemasan sekali pakai merupakan kemasan yang langsung dibuang setelah pemakaian pertama. Kemasan ini dirancang untuk mengemas produk setelah sekali pemakaian atau dalam waktu yang singkat. Kemasan ini dapat digunakan untuk mengemas makanan maupun produk lainnya. Tujuan utama kemasan sekali pakai adalah untuk memberikan kemudahan, meningkatkan kepraktisan dan kenyamanan pengguna. Beberapa kelebihan kemasan sekali

pakai yakni dapat langsung digunakan tanpa pencucian terlebih dahulu, meminimalisir kontaminasi, ringan dan mudah dibuang.

### **2.5.2 Kemasan Kertas atau Karton**

Kemasan kertas merupakan kemasan terbuat dari bahan dasar kertas. Kemasan ini banyak digunakan karena sifatnya yang ramah lingkungan, dapat didaur ulang, dan sampah yang dihasilkan umumnya mudah terurai. Kemasan kertas bersifat kaku sehingga mudah untuk dibentuk dan diproduksi. Namun, terdapat beberapa kekurangan kemasan kertas, yakni mudah robek, ketahanan air dan minyak yang rendah, serta tidak dapat dipanaskan (Ningtyas, 2021).

Kemasan kertas banyak digunakan dalam pengemasan makanan kering ataupun produk. Karena sifatnya yang lemah terhadap air, kemasan kertas umumnya diberikan *coating* tambahan. Contohnya kertas litho yang diberikan *coating* polietilen (PE) yang biasa digunakan untuk membungkus nasi (Ningtyas, 2021).

Namun tidak semua kertas aman untuk digunakan untuk mengemas makanan atau berkontak langsung dengan makanan. Kemasan yang aman untuk mengemas makanan atau *food grade* adalah kertas yang bersertifikat FDA. Kemasan ini terbuat dari *pulp* murni, yang merupakan *pulp* pertama dalam pembuatan kertas, bukan kertas daur ulang.

Proses pembuatan dan perlakuan tambahan sangat mempengaruhi hasil dari kemasan akhir yang diperoleh. Umumnya kemasan kertas dapat berupa fleksibel atau kaku. Contoh kemasan yang fleksibel seperti kertas kraft, kertas tahan lemak, kertas lilin (*waxed paper*), *wrapper paper*, dan sebagainya. Sedangkan kemasan kertas kaku dapat berupa kotak karton atau *cup* air.

### **2.5.3 Produksi Kemasan Kertas**

Proses pembuatan kemasan kertas serupa dengan proses pembuatan kertas. Berdasarkan [packingnews.blogspot.com](http://packingnews.blogspot.com), bahan baku yang digunakan berupa selulosa kayu yang diberikan perlakuan kimia, dihancurkan, dipucatkan, dan

dibentuk menjadi lapisan sebelum dikeringkan. Berdasarkan Paperone.com, terdapat beberapa tahapan dalam pembuatan kertas:

1. *Debarking and Chipping*: mengupas kulit kayu dan pemotongan kayu hingga menjadi potongan kecil.
2. *Chemical and Mechanical Pulping*: proses menghilangkan lignin untuk menghasilkan pulp.
3. *Cleaning*: pulp dimasak di suhu 170°C disaring, dan dikeringkan sebelum dicetak menjadi kertas.
4. *Head Box*: pulp dipompa dalam mesin pembuat kertas. Mesin pertama yakni *head box*, dimana pulp disemprotkan melalui celah horizontal di atas jaring kawat yang bergerak untuk meniriskan air.
5. *Wire Section*: serat mulai disebarkan membentuk lembaran tipis.
6. *Press Section*: serat dimasukkan ke dalam alat press yang bergerak dengan kecepatan hampir 90km/jam untuk menghilangkan kandungan air hingga 50%.
7. *Drying*: lembaran serat kemudian dikeringkan di atas 100°C melalui serangkaian silinder besi hingga lembaran kering sepenuhnya.
8. *Converting*: permukaan lembaran kertas dilapisi dengan bahan kimia untuk meningkatkan sifat kertas sebelum dililit menjadi gulungan selebar 8,5 meter.
9. *Finishing and Packaging*: gulungan kertas dipotong menjadi kecil dan dibungkus dalam kemasan.

#### **2.5.4 Kemasan Plastik**

Kemasan plastik merupakan kemasan yang paling banyak digunakan dalam sektor pengemasan. Sekitar 40% produksi plastik digunakan untuk sektor pengemasan. Menurut Ningtyas (2021), 80% kemasan di Indonesia merupakan kemasan jenis plastik. Menurut Rusnianti *et al.* (2023), kemasan plastik dinilai lebih praktis dan tersedia dalam berbagai jenis yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan, baik untuk mengemas makanan atau minuman, serta produk perlengkapan rumah tangga. Plastik memiliki sifat

elastisitas dan fleksibilitas yang baik, dan harga yang relatif murah (Kharisma, 2022). Keunggulan lain dari plastik yakni tidak mudah pecah, bersifat tembus pandang, mudah dicetak dan diwarnai, serta memiliki berbagai jenis pilihan dari bahan dasar plastik. Dalam buku *The Plastics Factsheet 2* (2019), kemasan jenis plastik dapat berupa polimer polietilen densitas tinggi (HDPE), polietilen densitas rendah (LDPE), polietilen tereftalat (PET), polistirena (PS), polipropilena (PP), atau polistiren yang diperluas (EPS).

Meskipun kemasan plastik mempunyai banyak kelebihan, namun plastik memiliki kelemahan. Terdapat jenis plastik tertentu (seperti PE atau PP) yang tidak tahan bila terpapar panas dan dapat melepaskan migran yang berbahaya. Pembakaran plastik menghasilkan polutan seperti mikroplastik, bisofenol, dan ftalat yang dapat mengganggu perkembangan saraf, endokrin, dan fungsi reproduksi pada manusia (Cosier, 2022). Selain itu plastik merupakan bahan yang sulit terurai sehingga dapat mencemari lingkungan.

### **2.5.5 Produk Kemasan Plastik**

Berdasarkan buku "*Plastic Product Material and Process Selection Handbook*", plastik terbuat dari biji plastik berbentuk pelet, bubuk, granula, atau cair menjadi produk yang dibutuhkan melalui beberapa tahapan umum sebagai berikut:

1. *Mixing and Melting*. Pelet plastik dilelehkan hingga menjadi lelehan homogen dalam sebuah pencampur ulir plastik atau pencampur kompon. Peleburan terjadi akibat panas yang dikonduksikan dari dinding mesin dan gesekan plastik dengan mesin.
2. *Melt Transport and Shaping*. Dalam memproses plastik, diperlukan beberapa peralatan untuk membentuk plastik. Lelehan plastik biasanya bergerak ke dalam cetakkan di bawah panas dan tekanan untuk menjaga kondisi plastik yang meleleh. Dalam proses cetakan injeksi, tekanan memaksa lelehan plastik untuk masuk ke dalam cetakan yang menentukan bentuk produk dalam tiga dimensi. Dalam pencetakan ekstruder, plastik dicetak dalam bentuk silinder sederhana hingga bentuk silinder kompleks.

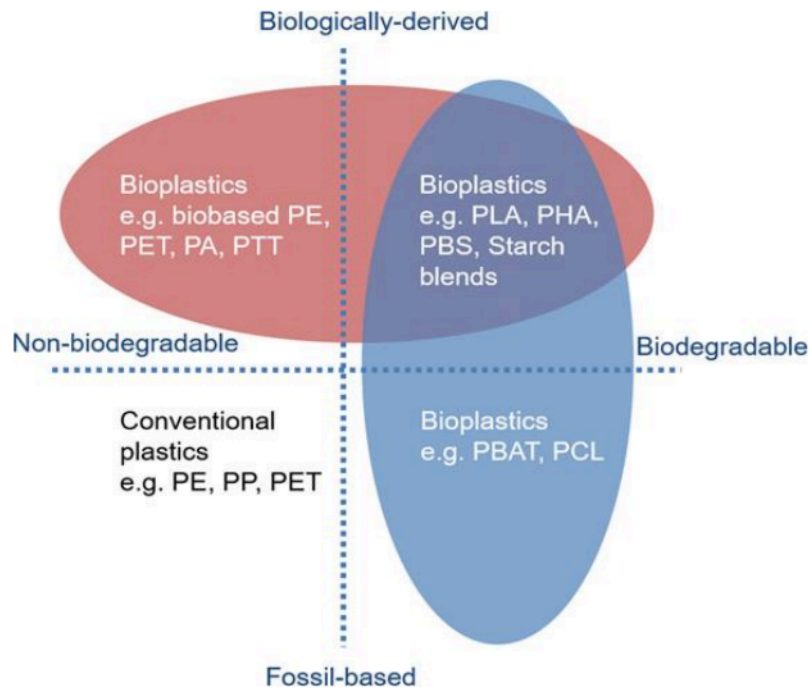
3. *Drawing, blowing, and forming*. Adapun proses yang meregangkan lelehan plastik untuk menghasilkan bentuk lain melalui proses pembentukan tiup, *thermoforming*, pembentukkan putar, dan *foaming*.
4. *Finishing*. Tahap terakhir dalam proses memproduksi produk yang umumnya tidak memerlukan operasi sekunder. Namun, terdapat material atau produk plastik yang memerlukan pelakuan panas, sintering, pelapisan, perakitan, ataupun dekorasi.

### 2.5.5 Bioplastik

Bioplastik merupakan jenis plastik yang terbuat dari sumber alami atau terbarukan. Menurut Shah *et al.* (2021), sumber terbarukan untuk membuat bioplastik berasal dari tanaman atau mikroorganismenya seperti tepung kentang, tepung jagung, singkong, *cyanobacteria*, dan *bacillus sp.* Berbeda dengan plastik berbasis minyak bumi, bioplastik bertujuan untuk membantu mengatasi masalah lingkungan sampah plastik. Nyatanya, ada beberapa jenis bioplastik yang tetap berkontribusi secara signifikan terhadap pemanasan global, polusi, dan penggunaan lahan secara berlebihan (Atiwesh *et al.*, 2021).

Menurut Shah *et al.* (2021), bioplastik diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yakni:

1. *Biodegradable* dan berbasis bio
2. *Biodegradable* dan berbasis fosil
3. *Non-biodegradable* dan berbahan dasar minyak bumi.



Gambar 2.5 Klasifikasi Bioplastik

(Sumber: Shah *et al.*, 2021)

Salah satu bioplastik yang dapat terurai yaitu bioplastik terbuat dari selulosa. Selulosa merupakan polimer alami yang dapat digunakan sebagai bahan utama pembuatan bioplastik. Namun ditemukan beberapa kekurangan pada bioplastik berbahan selulosa. Menurut Shah *et al.* (2021), bioplastik ini bersifat hidrofilik sehingga tidak tahan terhadap kelembaban serta memiliki struktur kristalin tinggi yang membuat kemasan yang dihasilkan menjadi rapuh dengan fleksibilitas dan kekuatan tarik yang buruk. Maka, diperlukan zat aditif yang dapat menjadi diteliti untuk mengatasi kekurangan tersebut.

## 2.6 Plasticizer

*Plasticizer* merupakan zat aditif yang membantu meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan suatu material. Menurut Godwin (2017), *plasticizer* adalah bahan tambahan yang apabila ditambahkan pada bahan lain akan membuat bahan tersebut lebih lunak atau lembut. *Plasticizer* banyak digunakan untuk memproduksi produk seperti plastik, film, dan filamen untuk berbagai industri.

Namun, pada umumnya penggunaan *plasticizer* mengacu pada bahan yang digunakan dalam produksi plastik (Godwin, 2017). Dalam pembuatan kemasan, *plasticizer* merupakan bahan pengemulsi yang membantu mengurangi keretakan. Menurut Putra *et al.* (2017), penambahan *plasticizer* dapat mengatasi kerapuhan dan elastisitas karena *plasticizer* memperbesar ruang kosong diantara ikatan molekul yang melemahkan ikatan hidrogen pada rantai polimer.

Dalam pembuatan bioplastik, *plasticizer* berbahan alami banyak diteliti dalam mengembangkan bahan berbasis *biodegradable*. Menurut Viera *et al.* (2011), jenis *plasticizer* poliol terbukti efektif untuk digunakan dalam polimer bersifat hidrofilik. Beberapa jenis *plasticizer* poliol seperti gliserol, etilen glikol, trietilen glikol, tetraetilen glikol, polietilen glikol, propilen glikol, sorbitol, manitol, dan xylitol (Viera *et al.*, 2011). Tentunya perbedaan *plasticizer* akan mempengaruhi sifat akhir produk. Menurut Viera *et al.* (2011), pemilihan *plasticizer* harus didasarkan pada kompatibilitas antar komponen; karakteristik pemrosesan; sifat termal, listrik, dan mekanik yang diinginkan; ketahanan terhadap air, bahan kimia, dan radiasi matahari; toksisitas dan biaya.

### **2.6.1 Gliserol**

Gliserol adalah salah satu jenis *plasticizer* organik yang banyak digunakan sebagai zat aditif ke dalam pembuatan bioplastik. Gliserol berfungsi untuk meningkatkan fleksibilitas material. Gliserol termasuk alkohol terhidrik yang tidak berwarna, tidak berbau, berbentuk sirup cair, terasa manis, memiliki titik leleh pada suhu 17,8°C, titik didih pada suhu 290°C, dan bisa larut di air dan etanol. Menurut Coniwanti *et al.* (2014), gliserol lebih mudah tercampur dalam larutan *film* dibandingkan sorbitol karena bersifat hidrofilik. Gliserol juga merupakan bahan organik dengan berat molekul yang rendah sehingga dapat meningkatkan fleksibilitas dan mengurangi kekakuan material.

### **2.6.2 Sorbitol**

Sorbitol termasuk dalam kelompok gula alkohol yang dapat ditemukan secara alami di beberapa buah-buahan dan disintesis dari glukosa dengan

biaya yang rendah. Sorbitol berbentuk bubuk kristal berwarna putih, memiliki titik leleh 97°C, stabilitas pH yang baik dalam pengolahan makanan (Tienfenbacher, 2017). Sorbitol tidak beracun sehingga digunakan pada beberapa jenis produk yang berhubungan dengan makanan, salah satunya bahan pengemas (Tian *et al.*, 2017). Menurut Menurut Torres *et al.* (2021), molekul sorbitol yang memiliki resistensi terhadap air sehingga lebih tahan terhadap air yang membuat interaksi molekul yang lebih kuat. Sorbitol membuat material jadi lebih berkilau, menurunkan transmisi uap air, dan meningkatkan dukungan mekanik (Torres *et al.*, 2021).

## **2.7 Proses Persiapan Biomaterial SCOPY oleh Penelitian Terdahulu**

Untuk mempersiapkan SCOPY menjadi biomaterial, hidrogel SCOPY harus dimurnikan terlebih dahulu untuk menghilangkan komponen yang tidak diinginkan serta menghentikan pertumbuhan jaringan. Hidrogel yang telah dimurnikan kemudian dimodifikasi dengan penambahan zat aditif.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Apriliani *et al.* (2019), berikut merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan untuk memurnikan dan memodifikasi hidrogel SCOPY:

1. Hidrogel SCOPY dicuci dan direndam dalam air bersih selama 3 hari, dimana air rendaman diganti setiap hari.
2. Hidrogel SCOPY yang sudah direndam dicuci sekali lagi dengan air mengalir.
3. Hidrogel SCOPY direbus dengan air dengan tujuan mengurangi tingkat keasamannya.
4. Hidrogel dimurnikan dengan direbus di larutan NaOH 1% kemudian dicuci dengan air pH netral.
5. Hidrogel dipotong kecil-kecil dan ditambah air, kemudian diblender sampai terbentuk pasta atau *slurry* dan didiamkan selama 1 hari.
6. Zat aditif CMC dilarutkan sebanyak 1.5%, per sampel, dengan aquades di atas *hotplate* pada suhu 80°C.



7. Kemudian ditambahkan zat *plasticizer* (3%, 5%, dan 7%) dan *slurry* (12,5%), dihomogenkan.
8. Dilakukan *degassing* atau pembuangan udara pada setiap sampel selama 5 menit.
9. Setelah itu, sampel ditambahkan aquades hingga mencapai 600 ml.
10. Sampel diaduk kemudian dibuang udaranya, lalu dicetak dengan metode *casting* di loyang sebanyak 150 ml.
11. Sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 1 hari.
12. Sampel yang telah kering siap untuk diuji coba.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Sun *et al.* (2018), berikut tahapan yang dilakukan untuk menyiapkan sampel biomaterial SCOBY:

1. Hidrogel SCOBY dicuci menggunakan air suling atau aquades.
2. Hidrogel direndam dalam larutan NaOH 0.1 M dan dipanaskan pada suhu 90°C selama 1 jam untuk menghilangkan biomassa yang tidak diinginkan.
3. Hidrogel dicuci kembali menggunakan air suling hingga pH = tujuh
4. Proses modifikasi hidrogel dilakukan dengan metode *ex situ*, dimana membran didehidrasi hingga dalam kondisi semi kering.
5. Hidrogel direndam dalam larutan zat *plasticizer* (1%, 1,5%, dan 2%) selama 24 jam.
6. Setelah direndam, hidrogel dikeringkan secara alami di atas piring plastik.
7. Lembaran hidrogel yang sudah kering siap untuk diuji coba.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Indrarti *et al.* (2016), berikut tahapan yang dilakukan untuk menyiapkan biomaterial SCOBY:

1. Hidrogel SCOBY dicuci menggunakan air mengalir hingga pH menjadi netral.
2. Hidrogel direbus dengan NaOH 1% selama 1 jam untuk menghilangkan senyawa yang tidak diinginkan.
3. Hidrogel dicuci kembali dengan air untuk menghilangkan sisa larutan alkali hingga pH menjadi tujuh.

4. Hidrogel dipotong menjadi kubus dan diblender menjadi *slurry* selama 1 jam, kemudian disimpan dalam lemari es.
5. *Slurry* dicampurkan dengan zat *plasticizer* (30%) dalam bentuk larutan.
6. Campuran diaduk dan dilakukan *degassing* atau pembuangan udara untuk menghilangkan gelembung.
7. Campuran dituangkan ke atas nampan dan dikeringkan di oven pada suhu 45°C selama satu malam.
8. Kemudian pengeringan dilanjutkan di suhu ruang hingga film yang terbentuk mulai terlepas dari nampan.
9. Sampel yang sudah kering siap untuk diuji coba.

