I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Sampah plastik merupakan jenis sampah yang memberikan dampak negatif bagi lingkungan karena bersifat *non-biodegradable* atau sulit terurai secara alami. Sampah plastik menempati urutan kedua jenis sampah terbesar di Indonesia yakni 18,73%. Kemudian diikuti oleh sampah kayu atau ranting 12,09%, kertas 11,59%, logam 3,02%, kain 2,58, kaca 2,49%, karet atau kulit 2,22% dan sisanya 7,42%. Hal serupa juga terjadi di Provinsi Lampung dimana jenis sampah terbesar kedua ialah sampah plastik sebesar 21,1% dari total timbulan sampah sebanyak 194.316,51 ton pada tahun 2023 (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024). Salah satu produk turunan plastik adalah *polystyrene foam* atau *styrofoam* yang terbuat dari monomer *styrene* yang dipolimerisasi suspensi pada suhu dan tekanan tertentu. Sampah *styrofoam* membutuhkan waktu sekitar 500 hingga 1 juta tahun untuk terurai di dalam tanah. Namun, *styrofoam* ini tidak terurai sempurna melainkan berubah menjadi mikroplastik yang dapat menimbulkan permasalahan lingkungan (Dinas LH Provinsi Jawa Barat, 2019).

Styrofoam merupakan kemasan makanan dan minuman yang sering digunakan saat ini dengan beberapa keunggulan seperti praktis, ringan, serta memiliki nilai ekonomis cukup rendah. Dibalik keunggulannya, *styrofoam* dapat memberi sejumlah dampak negatif bagi lingkungan, yaitu apabila dibakar akan menghasilkan senyawa dioksin yang bersifat karsinogen (Saleh *et al*., 2014). Dampak lain penggunaan *styrofoam* bagi lingkungan yakni pemanasan global yang disebabkan oleh senyawa *Cloro Fluoro Carbon* (CFC) yang dapat memberikan efek rumah kaca (Wirahadi, 2017). *Stryofoam* juga dapat menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan karena mengandung bahan kimia seperti *polystyrene* sebesar 90-95% dan gas n-butana sebesar 5-10% (Maryani *et al*., 2018). Bahan kimia ini dapat berpindah ke makanan sehingga menyebabkan kanker, gangguan penglihatan dan pendengaran, gangguan pada memori, serta gangguan pada sistem saraf (Saleh *et al*., 2014; Suhaila, 2019).

Alternatif kemasan makanan dan minuman yang dapat menggantikan *styrofoam* adalah biofoam (*biodegradable foam*). Biofoam terbuat dari bahan baku alami berupa pati yang dapat terdegradasi di dalam tanah (Hevira *et al*., 2021). Proses pembuatan biofoam menggunakan kemampuan pati untuk mengembang dengan panas dan tekanan. Salah satu bahan yang potensial untuk dimanfaatkan sebagai sumber pati adalah kulit singkong dengan kandungan pati yang tinggi serta ketersediannya yang melimpah. Menurut Mudaffar (2020), kulit singkong mengandung pati yang cukup tinggi sekitar 44-59%. Penelitian lain juga menyatakan kulit singkong mengandung pati sebanyak 23,2% (Fronza *et al*., 2022). Pati kulit singkong memiliki gugus fungsi hidroksil (–OH) yang terletak pada struktur amilosa dan amilopektinnya dengan kandungan amilosa sebanyak 18% sedangkan amilopektinnya sebesar 82% (Solekah *et al*., 2021). Hal tersebut mendukung penggunaan kulit singkong sebagai bahan baku biofoam.

Ketersediaan kulit singkong yang melimpah dipengaruhi oleh tingginya tingkat produksi singkong di Indonesia. Pada tahun 2015-2019, produksi singkong di Indonesia sebesar 19,3 juta ton yang berfokus pada tujuh provinsi dengan kontribusi produksi sebesar 86,83% diantaranya Provinsi Lampung, Jawa Tengah, Jawa Timur, Jawa Barat, Sumatera Utara, D.I. Yogyakarta dan Nusa Tenggara Timur (Suryani, 2020). Provinsi Lampung berhasil menduduki urutan pertama dengan rata-rata produksi singkong mencapai 5,96 juta ton pada tahun 2015-2019. Rata-rata luas panen Provinsi Lampung mencapai 198,54 ribu hektar dengan share luas panen mencapai 25,02% (Suryani, 2020). Pada tahun 2022, produksi singkong di Provinsi Lampung naik menjadi 6,7 juta ton dan kembali menempati peringkat satu nasional (Dinas TPTH Provinsi Lampung, 2023).

Produksi singkong yang tinggi membuat sejumlah masyarakat Lampung mendirikan berbagai usaha produktif seperti UMKM (Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah). UMKM ini mengolah singkong segar menjadi sajian yang lebih modern dan bervariasi diantaranya keripik singkong, singkong keju, combro, tape, gethuk, dan aneka cemilan lainnya. Namun demikian, usaha pengolahan singkong ini menghasilkan limbah kulit singkong yang biasanya hanya dibuang atau digunakan sebagai bahan tambahan pakan ternak sehingga pemanfaatannya belum optimal. Kulit singkong memiliki kadar air yang sangat tinggi sebesar 74,53%

sehingga cepat membusuk (Siswinarti *et al*., 2023). Pemanfaatan limbah kulit singkong sebagai bahan baku pembuatan biofoam menjadi solusi yang tepat dalam menghadapi permasalahan lingkungan karena dapat mengurangi jumlah limbah kulit singkong serta mencegah berbagai dampak yang ditimbulkan oleh *styrofoam*. Penggunaan kulit singkong sebagai bahan baku pembuatan biofoam tidak akan bersinggungan dengan ketahanan pangan. Selain itu, kulit singkong sebagai limbah pertanian dapat termanfaatkan dengan baik dan bernilai ekonomis.

Produk turunan pati seperti biofoam umumnya memiliki struktur yang rapuh dan kaku, serta bersifat hidrofilik sehingga perlu ditambahkan zat pengisi atau *filler* untuk memperkuat strukturnya (Saleh *et al*., 2014). Menurut Coniwanti *et al*. (2018), penambahan serat dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanik pada produk biofoam. Serat berfungsi sebagai penguat yang menyebabkan kekuatan tarik dan kekakuan meningkat. Namun, hasil berbeda dilaporkan oleh Lubis *et al*., (2022) bahwa semakin banyak serat tandan kosong yang digunakan maka tingkat biodegradasi, nilai kuat tarik dan kuat tekan biofoam semakin rendah. Hal ini disebabkan oleh kelemahan utama selulosa dari serat alam yang bersifat hidrofilik sehingga mempengaruhi keefektifannya dalam penguatan polimer. Sifat hidrofilik ini menyebabkan penyerapan air yang tinggi, adhesi antar-muka matriks-serat yang buruk dan dispersi serat yang tidak merata (Habibie *et al*., 2021). Oleh karena itu, penulis menggunakan alternatif selulosa lain yakni *Carboxy Methil Cellulose* (CMC) sebagai produk turunan selulosa yang diharapkan mampu meningkatkan karakteristik biofoam yang dihasilkan.

Carboxy Methil Cellulose (CMC) digunakan sebagai pengental, penstabil, pengikat serta pembentuk tekstur halus yang dapat terdegradasi secara alami, bersifat non-toksik, larut dalam air, dan aman dikonsumsi (Putri *et al*., 2019). Penambahan CMC menyebabkan adanya interaksi molekuler antara ikatan hidroksil (OH) dari pati dengan gugus hidroksil (OH) dan karboksilat (COOH) dari CMC. Ikatan hidrogen antara molekul pati dan CMC mengalami peningkatan yang menyebabkan kekuatan material semakin kuat (Elean *et al*., 2018). Hal tersebut juga didukung oleh penelitian Ihsan dan Ratnawulan (2023) yang menyatakan bahwa penambahan CMC dapat meningkatkan nilai kuat tarik bioplastik. Selain itu, Sarlinda *et al*. (2022) membuat biofoam dari kombinasi pati kulit singkong

dengan serat kulit kopi hingga 15% menghasilkan nilai kuat tarik 2,70 N/mm^2 sedangkan penambahan serat kulit kopi sebesar 20% mengakibatkan nilai kuat tarik biofoam menurun. Penggunaan CMC sebagai zat pengisi hanya terbatas pada pembuatan bioplastik dan *edible film*. Dengan demikian, penelitian tentang penambahan CMC pada pembuatan biofoam berbasis tepung kulit singkong belum pernah dilakukan.

Berdasarkan uraian di atas perlu dilakukan penelitian tentang "Pengaruh Penambahan *Carboxy Methil Cellulose* (CMC) terhadap Karakteristik *Biodegradable Foam* Berbasis Tepung Kulit Singkong".

1.2 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan masalah, tujuan yang ingin dicapai penulis dalam penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi pengaruh penambahan *Carboxy Methil Cellulose* (CMC) terhadap karakteristik *biodegradable foam* berbahan baku tepung kulit singkong.
2. Menganalisis kualitas kemasan *biodegradable foam* yang dibandingkan dengan penelitian terdahulu dengan parameter ketebalan, daya serap air, kuat tarik dan tingkat biodegradasi.

1.3 Kerangka Pemikiran

Kemasan makanan dan minuman yang sering digunakan saat ini adalah *styrofoam*. *Styrofoam* sering digunakan oleh penjual makanan seperti nasi ayam geprek, nasi goreng, bubur ayam, mie goreng, ketoprak serta beberapa cemilan lainnya. *Styrofoam* dinilai sebagai kemasan yang praktis, mudah dibawa serta tahan terhadap panas maupun dingin. Akan tetapi, kemasan ini hanya sekali pakai dan langsung dibuang setelah digunakan. Hal tersebut mengakibatkan sampah *styrofoam* terus menumpuk dan sering berserakan di jalanan. Selain itu, *styrofoam* memiliki dampak yang cukup serius bagi lingkungan karena bersifat *non-biodegradable*, yaitu tidak dapat terurai secara alami di dalam tanah. Menurut Friend (2005), *styrofoam* atau *foamed polystyrene* tidak dapat terurai secara siginifikan terutama ketika dibuang di tempat pembuangan akhir sampah.

Kemasan yang dapat menggantikan *styrofoam* adalah *biodegradable foam* (biofoam). Biofoam adalah alternatif kemasan yang aman dan ramah lingkungan dengan bahan baku yang memiliki biodegrabilitas tinggi, murah, kepadatan rendah, toksisitas rendah dan tahan air (Yudanto dan Pudjihastuti, 2020). Biofoam terbuat dari pati dengan penambahan selulosa sebagai penguat strukturnya. Salah satu limbah pertanian yang mengandung pati adalah kulit singkong. Tingginya tingkat produksi singkong di Provinsi Lampung membuat ketersediaan limbah kulit singkong semakin meningkat. Namun, limbah kulit singkong biasanya langsung dibuang begitu saja sehingga lama kelamaan akan membusuk dan mengganggu masyarakat sekitar. Oleh karena itu, penulis berpikir untuk memanfaatkan limbah kulit singkong ini sebagai bahan baku pembuatan biofoam yang ramah lingkungan.

Selulosa yang akan digunakan sebagai penguat struktur biofoam adalah *Carboxy Methil Cellulose* (CMC). Ikatan molekuler antara pati dan CMC semakin meningkat sehingga diharapkan kekuatan biofoam yang dihasilkan semakin kuat. Berbeda dengan serat alam yang bersifat hidrofilik, sifat mekanis yang rendah, suhu proses terbatas, serta gaya ikat matrik dan serat yang rendah (Sulardjaka *et al*., 2020). Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, penggunaan CMC sebagai selulosa pada biofoam belum pernah dilakukan sehingga mendorong penulis untuk melakukan penelitian tentang ini.

1.4 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penambahan *Carboxy Methil Cellulose* (CMC) dalam pembuatan *biodegradable foam* berbahan baku tepung kulit singkong akan meningkatkan karakteristik produk yang dihasilkan.
2. Penambahan *Carboxy Methil Cellulose* (CMC) yang terbaik dengan tepung kulit singkong akan menghasilkan karakteristik *biodegradable foam* yang lebih baik dari hasil penelitian biofoam terdahulu seperti ketebalan, daya serap air, kuat tarik dan tingkat biodegradasi.

1.5 Kontribusi Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat dan berkontribusi terhadap berbagai pihak antara lain:

1. Bagi penulis, melatih dan mengembangkan kemampuan dalam bidang penelitian serta menambah wawasan dan pengetahuan tentang pembuatan *biodegradable foam* berbasis tepung kulit singkong dengan penambahan *Carboxy Methil Cellulose* (CMC).
2. Bagi pembaca, memberikan informasi mengenai proses pembuatan *biodegradable foam* berbasis tepung kulit singkong dengan penambahan *Carboxy Methil Cellulose* (CMC).
3. Bagi Politeknik Negeri Lampung, sebagai sumber referensi dan pembelajaran mahasiswa/i mengenai *biodegradable foam* berbasis tepung kulit singkong dengan penambahan *Carboxy Methil Cellulose* (CMC).
4. Bagi masyarakat, mengurangi pencemaran lingkungan akibat kemasan *styrofoam* dengan memanfaatkan limbah pertanian berupa kulit singkong sebagai *biodegradable foam.*

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Biodegradable Foam* (Biofoam)

Biofoam adalah kemasan makanan dan minuman yang dapat menggantikan *styrofoam* yang terbuat dari bahan alam berupa pati dengan tambahan serat untuk memperkokoh strukturnya. Biofoam tidak hanya dapat terdegradasi secara alami, tetapi juga terbarukan sehingga bersifat ramah lingkungan. Biofoam akan mengalami perubahan struktur kimia akibat degradasi secara alami oleh mikroorganisme seperti bakteri, alga dan jamur. Mikroorganisme akan menghasilkan enzim yang dapat memutus rantai polimer dari biofoam (Obradovic *et al*., 2017). Proses pembuatan biofoam menggunakan sifat *swelling power* pati dengan bantuan panas dan tekanan sehingga biofoam dapat dibentuk sesuai kebutuhan dengan ukuran yang beragam. Penampakan biofoam disajikan dalam Gambar 1.

Gambar 1. *Biodegradable foam*
(Sumber : Saleh *et al*., 2014)

Menurut Rasdiana dan Refdi (2021), produksi biofoam berbahan baku pati terdiri dari dua tahapan utama yaitu gelatinisasi pati dan penguapan air yang menyebabkan retrogradasi. Retrogradasi pati merupakan proses bergabungnya kembali molekul pati setelah mengalami gelatinisasi selama pendinginan (Nadhira dan Cahyana, 2023). Berikut ini merupakan metode produksi biofoam dari berbagai jenis pati dan selulosa yang telah dirangkum oleh Rasdiana dan Refdi (2021).

1. *Thermopressing*

   Metode ini mirip dengan pembuatan wafer yang menggunakan alat *thermopress* untuk mencetak adonan pada suhu dan tekanan tertentu. Campuran bahan diaduk sampai merata dan kemudian dicetak dengan alat *thermopress*. Panas yang ditimbulkan menyebabkan air dalam adonan menguap dan mendorong proses pengembangan dari adonan pati ke pembentukan busa sesuai dengan bentuk cetakan yang digunakan.

2. *Baking process*

   Metode ini menggunakan teknik pencetakan dan pemanggangan untuk mengurangi jumlah air dalam campuran bahan. Campuran bahan diaduk menggunakan *mixer* hingga adonan menjadi homogen. Adonan dimasukkan ke dalam cetakan lalu dioven untuk proses pemanggangan. Di dalam oven terjadi proses pengeringan yang menyebabkan kadar air adonan terlepas sehingga gel akan membentuk lapisan yang stabil.

3. *Microwave assisted moulding*

   Metode ini menghasilkan pelet pati dengan menggunakan prinsip bantuan panas dari gelombang mikro. Bahan utama pati ditambahkan zat aditif, kemudian diplastisasi hingga menghasilkan pati termoplastis. Kemudian, ukuran adonan diperkecil hingga berbentuk pelet pati. Selanjutnya, proses pengembangan dan pembentukan busa dari pelet pati dilakukan dalam microwave oven. Pengembangan tersebut memanfaatkan sifat *swelling power* pati untuk menyerap air dan memperbesar ukurannya saat dipanaskan.

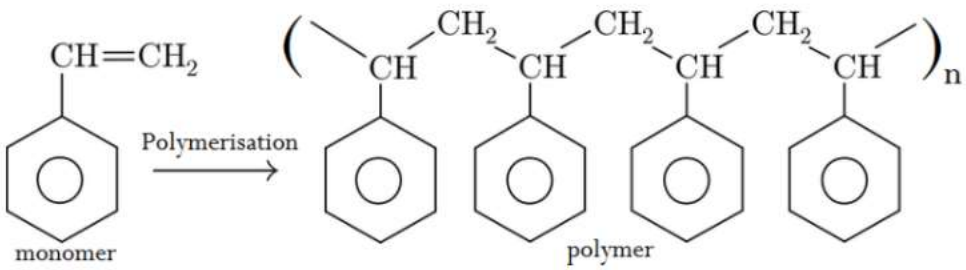
4. Ekstrusi

   Metode ini menggunakan beberapa prinsip dalam satu alat antara lain pencampuran, pemasakan, pengadukan, pemotongan, dan pembentukan. Campuran bahan dimasukkan ke dalam ekstruder secara manual. Selama proses pemasakan dan pemotongan, panas yang dihasilkan dari proses tersebut akan menyebabkan pati terurai dan area kristalin dari granula pati meleleh. Pada tahap akhir ekstruder dan cetakan, pati yang terdegradasi akan berbentuk cairan. Penurunan tekanan dan perubahan kelembaban uap menyebabkan cairan tersebut keluar dari cetakan dan mengembang.

Berdasarkan penjelasan diatas, metode pembuatan biofoam yang paling umum digunakan adalah *thermopressing* dan *baking process* karena dinilai lebih sederhana untuk dilakukan. Menurut Rasdiana dan Refdi (2021), pemilihan metode pembuatan biofoam tidak berpengaruh nyata terhadap karakteristik biofoam yang dihasilkan. Hal yang mempengaruhi karakteristik biofoam adalah perbedaan jenis pati, selulosa dan zat aditif yang digunakan. Salah satu contohnya adalah perbedaan karakteristik biofoam berbahan baku pati ubi jalar dengan pati kentang. Biofoam dari pati ubi jalar memiliki daya serap air lebih tinggi dari pati kentang tetapi nilai *biodegradability* pati ubi jalar sebesar 23,91% lebih tinggi dibanding pati kentang sebesar 21,42% (Isabella dan Hendrawati, 2022).

2.2 *Styrofoam*

Styrofoam atau *polystyrene foam* merupakan material berwarna putih yang termasuk kedalam jenis plastik *polystyrene* (PS). *Styrofoam* terbentuk atas butiran dengan kepadatan rendah, bobot jenis yang ringan, tahan terhadap panas, serta mempunyai titik leleh pada suhu 102°C - 106°C (Priyono dan Nadia, 2014). *Styrofoam* terbuat dari polimer sintetik dengan tambahan zat aditif untuk menghasilkan karakteristik yang diinginkan. Bahan-bahan penyusun *styrofoam* antara lain 90-95% *polystyrene*, 5-10% gas (n-butana atau n-pentana), *Chloro Fluoro Carbon* (CFC) sebagai zat pengembang, serta zat *plasticizer* dapat berupa *dioktil ptalat*, *butyl hidroksi toluene*, atau *n-butyl stearate* (Sarlinda *et al*., 2022). Reaksi pembentukan polimer *polystyrene* pada *styrofoam* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Reaksi pembentukan *polystyrene* (*styrofoam*)
(Sumber : Sarlinda *et al*., 2022)

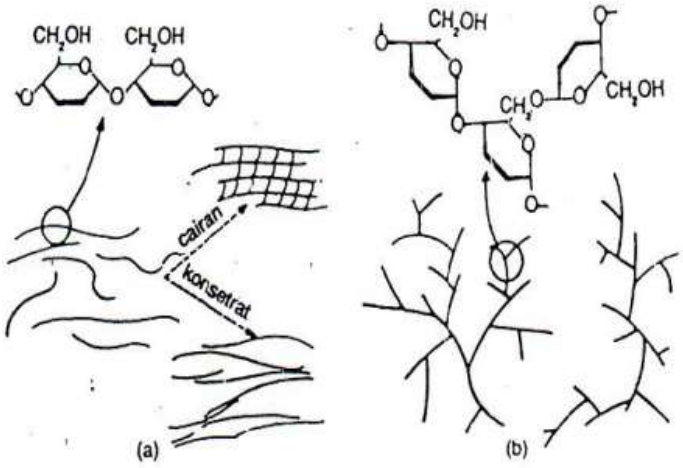
Styrofoam banyak digunakan sebagai kemasan makanan dan minuman karena mempunyai bobot yang sangat ringan, kaku dan harganya yang ekonomis. Akan tetapi, bahan penyusun *styrofoam* dapat memberikan sejumlah dampak negatif bagi kesehatan. *Styrene* dari *styrofoam* dapat mengakibatkan iritasi kulit dan mata tingkat rendah, gangguan pernafasan, dan menimbulkan kanker apabila sering digunakan. Selain itu, zat-zat penyusun *styrofoam* dapat bermigrasi ke makanan yang membuat makanan tersebut menjadi beracun. Hal tersebut akan mengakibatkan terjadinya gangguan pada sistem reproduksi dan endokrin. Oleh karena itu, penggunaan *styrofoam* sebagai kemasan makanan dan minuman harus dibatasi karena bersifat karsinogenik dan beracun bila digunakan secara terus-menerus (Mukminah, 2019).

2.3 Pati

Pati merupakan komponen utama di dalam banyak tanaman, terutama serealia, umbi-umbian maupun buah-buahan. Sumber alami pati antara lain singkong, jagung, labu, kentang, ubi jalar, pisang, beras, sagu, ganyong, dan sorgum. Ukuran, bentuk, struktur dan komposisi kimia pati sangat berbeda-beda dan dipengaruhi oleh sumber patinya. Pati telah digunakan sejak lama pada berbagai industri termasuk industri pangan, kimia, farmasi, kertas, tekstil dan kosmetik. Pati diaplikasikan dalam pangan sebagai sumber nutrisi dan faktor penentu sifat produk. Satu jenis pati tidak dapat digunakan untuk semua jenis pengolahan ketika masih dalam bentuk alaminya. Keterbatasan aplikasi pati di industri disebabkan oleh beberapa faktor antara lain adalah penurunan viskositas pada kondisi pH rendah, suhu tinggi atau perlakuan mekanis, tekstur yang panjang dan retrogradasi yang mengakibatkan terjadinya sineresis (Rahman, 2022).

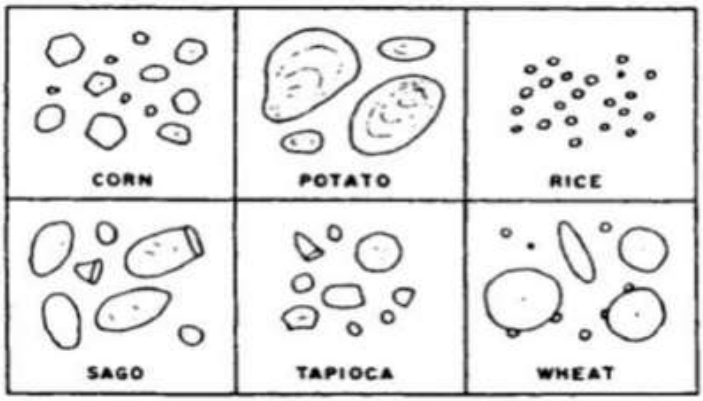
Pati tersusun atas dua komponen utama, yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan homopolimer linier dengan ikatan α-1,4-glikosidik sedangkan amilopektin yaitu polimer yang memiliki percabangan dengan ikatan α-1,4-glikosidik pada rantai linier dan α-1,6-glikosidik pada rantai bercabang. Molekul amilosa dan amilopektin dalam pati membentuk susunan yang terorganisasi dalam bentuk granula (Putri dan Zubaidah, 2017). Koswara (2009) menyatakan bahwa granula pati memiliki sifat memantulkan cahaya terpolarisasi sehingga tampak

seperti kristal hitam putih dibawah mikroskop. Sifat tersebut disebut dengan *birefringent*. Sifat *birefringent* ini akan menghilang saat granula mulai pecah.



Gambar 3. Struktur amilosa (a) dan amilopektin (b)
(Sumber : Nisah, 2017)

Bentuk dan ukuran granula pati bervariasi yang tergantung dari sumbernya. Granula pati mempunyai bentuk bervariasi yakni bulat, oval, lentikular, dan poligonal dengan diameter mulai dari 2 hingga 100 µm yang sifatnya spesifik spesies. Granula pati serealia umumnya lebih kecil dibandingkan pati umbi-umbian dan kacang-kacangan. Granula tapioka mmiliki ukuran sekitar 5 sampai 40 µm dengan bentuk yang bermacam-macam seperti bulat dan oval. Variasi ini dipengaruhi oleh masa pertumbuhan musiman dan varietas yang berbeda (Rahman, 2022). Adapun beberapa bentuk granula pati beberapa jenis komoditas menurut Kurniawati (2006) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 4. Bentuk granula beberapa jenis pati
(Sumber : Kurniawati, 2006)

Secara mikroskopik, campuran molekul dalam granula pati memiliki struktur linier dan bercabang. Molekul tersebut membentuk lapisan-lapisan tipis berbentuk cincin atau lamella. Lamella terpusat di sekitar titik awal yang disebut hilus atau hilum. Letak hilum ada yang di tengah dan di tepi dalam granula pati. Granula pati dari golongan tanaman Graminae seperti beras, jagung, dan gandum memiliki hilum yang terletak di tengah. Sedangkan hilum pada granula pati kentang dan sagu terletak di tepi (Rahman, 2022). Adapun karakteristik granula pati beberapa tanaman disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik granula pati beberapa tanaman

Jenis Pati	Ukuran Granula (µm)	Bentuk Granula
Padi	3 – 8	Polygonal
Gandum	20 – 35	Lentikular atau bulat
Jagung	15	Polyhedral atau bulat
Sorgum	25	Bulat
Rye	28	Lentikular atau bulat
Barley	20 – 25	Bulat atau elips

Sumber : Ahmad (2009)

2.4 Tepung

Tepung dan pati merupakan dua produk yang berbeda ditinjau dari cara pembuatan, pemanfaatan, serta sifat fisikokimianya. Pati merupakan penyusun utama tepung yang mengandung amilosa dan amilopektin. Selain amilosa dan amilopektin, pati juga mengandung komponen lain dalam jumlah sedikit antara lain lipid (sekitar 1%), protein, fosfor dan mineral. Sedangkan pada pembuatan tepung, seluruh komponen yang terkandung di dalam bahan pangan dipertahankan eksistensinya kecuali air sehingga komponen yang terkandung dalam tepung tidak hanya pati, tetapi bercampur dengan protein, serat dan komponen lain. Berbeda dengan prinsip pembuatan pati yang hanya mengekstrak kandungan patinya saja, sehingga inulin dan oligosakarida yang larut air dapat terbuang bersama air selama proses pembuatan pati (Rahman, 2022).

Perbedaan utama antara tepung dan pati terletak pada proses pengolahannya. Tepung merupakan salah satu jenis bahan yang diolah dengan cara penggilingan atau penepungan. Selama proses penggilingan, ukuran bahan diperkecil dengan cara dihancurkan melalui penekanan dengan gaya mekanis dari alat penggiling. Sedangkan pada pengolahan pati dilakukan proses ekstraksi dengan cara pemerasan dan sedimentasi untuk memisahkan patinya. Pembuatan pati dari singkong dilakukan dengan beberapa tahap diantaranya pengupasan kulitnya, pencucian dengan air mengalir, pemarutan, pemerasan (ekstraksi), pengendapan suspensi pati serta pengeringan dengan oven. Rendemen yang dihasilkan dari proses pembuatan pati tersebut sebesar 18,744% (Mustafa, 2015)

Proses pembuatan pati singkong berbeda dengan pembuatan tepung kulit singkong karena kandungan asam sianida dalam kulit singkong lebih tinggi dari umbinya. Tepung kulit singkong dibuat mnggunakan metode fermentasi. Kulit singkong dibersihkan dengan air mengalir lalu direbus sampai seluruh bagian kulitnya terendam air dan ditambahkan garam dapur 5%. Tahap selanjutnya adalah memfermentasi kulit singkong selama 72 jam menggunakan ragi tapai. Proses ini bertujuan untuk mengurangi kadar asam sianida pada kulit singkong. Setelah itu, kulit singkong dikeringkan dengan oven dan digiling hingga menjadi tepung (Sari dan Astili, 2020). Pembuatan tepung kulit singkong melalui fermentasi juga dilakukan oleh Ayuningtyas *et al*. (2016) menggunakan kapang *Monascus purpureus* dalam bentuk angkak. Hasil uji kandungan asam sianida dalam tepung tersebut bernilai negatif.

2.5 Kulit Singkong

Kulit singkong merupakan hasil samping atau limbah yang dihasilkan dari industri pengolahan tapioka. Setiap kilogram singkong mempunyai kulit sebesar 15 – 20% dari umbinya (Suryati *et al*., 2016). Kulit singkong diperoleh dari tanaman singkong atau ubi kayu yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat luas. Warna dari kulit luar singkong ialah coklat sedangkan kulit bagian dalamnya berwarna putih hingga merah muda. Bentuk dan warna kulit singkong bagian luar maupun dalam dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 5. Kulit singkong
(Sumber : https://trubus.id, 2022)

Kulit singkong mengandung karbohidrat sebesar 72,49% - 85,99% sehingga sering dijadikan sebagai bahan tambahan pakan ternak (Indriyati *et al*., 2022). Selain itu, kulit singkong juga mengandung tannin, enzim peroksida, glukosa, kalsium oksalat, serat dan HCN (Akbar *et al*., 2013). Berikut ini merupakan komponen kimia dalam 100 gram kulit singkong.

Tabel 2. Komponen kimia 100 gram kulit singkong

No	Nama Komponen	Kadar
1	Protein	1,2 g
2	Fosfor	40 mg
3	Kalori	146 kal
4	Vitamin C	33 mg
5	Karbohidrat	34 g
6	Besi	0,7 mg
7	Air	62,5 g
8	Vitamin B1	0,06 mg

Sumber : Suryati *et al*., (2016)

Kulit singkong mengandung asam sianida (HCN) 3-5 kali lebih besar dibanding umbinya, padahal dosis letal dari HCN pada manusia sekitar 60-90 mg (Sari dan Astili, 2018). Asam sianida pada kulit singkong bersifat racun dan non-fungsional sehingga perlu direduksi sebelum dilakukan pengolahan. Kandungan asam sianida yang terlalu tinggi dapat menyebabkan keracunan dan menimbulkan beberapa efek kesehatan. Menurut Sandi *et al.* (2013) kandungan HCN dalam kulit

singkong segar hasil limbah pengolahan pati sebesar 109 mg/kg. Hasil penelitian Hermanto dan Fitriani (2018) menyatakan kulit singkong mengandung 231 mg/kg asam sianida (HCN). Selain itu, Sari dan Astili (2018) juga melaporkan hasil pengujian HCN pada beberapa jenis kulit singkong yang disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan HCN beberapa kulit singkong

Jenis Singkong	Kadar HCN (mg/kg)
Singkong Adira	618,2
Singkong Malaysia	562,9
Singkong Roti	472,8
Singkong Kalimantan	357,6

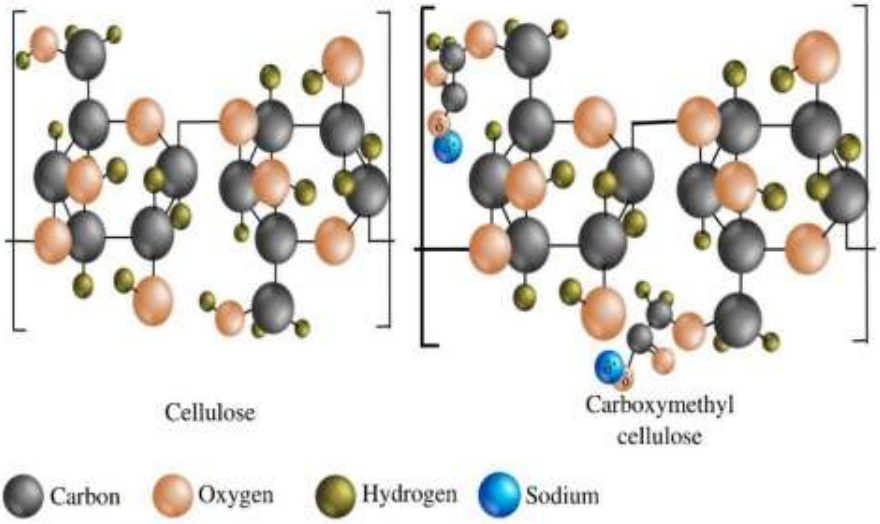
Sumber : Sari dan Astili (2018)

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengurangi kandungan HCN dalam kulit singkong. Gairtua (2018) menggunakan metode pengeringan dan perendaman dengan abu pada kulit singkong. Perlakuan perendaman dengan penambahan abu sebesar 10% selama 48 jam menunjukkan penurunan HCN tertinggi, yaitu sebesar 92,97% atau 103,57 ppm. Hasil berbeda dilaporkan oleh Simbolon *et al*. (2016) dengan metode amoniasi fermentasi (amofer) yang mampu menurunkan kadar HCN hingga 0,34 ppm. Selain itu, fermentasi kulit singkong menggunakan ragi tapai dan gula pasir selama dua hari berhasil menurunkan asam sianida hingga 9,20 mg/kg (Hermanto dan Fitriani, 2018).

2.6 *Carboxy Methil Cellulose* (CMC)

Carboxy Methil Cellulose (CMC) atau karboksimetil selulosa merupakan salah satu produk turunan selulosa yang sangat potensial. CMC telah banyak digunakan diberbagai bidang, seperti industri makanan, kertas, tekstil, farmasi, biomedis, pengolahan air limbah, produksi energi, penyimpanan produksi energi dan sebagainya. CMC pertama kali disintesis pada tahun 1918. Namun, produksi secara komersil bahan polimer ini diperkirakan terjadi pada awal tahun 1920-an di Jerman. Produksi CMC bergantung pada tanaman berbasis kayu karena awalnya sebagian besar selulosa diekstraksi dari kayu dan bahan nabati lainnya yang mengandung serat selulosa alami dengan persentase tinggi (Rahman *et al*., 2021).

CMC merupakan senyawa anionik yang larut dalam air dengan rantai lurus polisakarida glukosa anhidrat yang dihubungkan dengan ikatan β-1,4-glikosidik. Perbedaan utama antara CMC dan selulosa hanyalah terletak pada beberapa gugus karboksimetil anionic (-CH_2COOH) dalam struktur CMC yang menggantikan atom hidrogen dari beberapa gugus hidroksil dalam selulosa murni (Rahman *et al*., 2021). Perbedaan struktur antara CMC dengan selulosa dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 6. Perbedaan struktur selulosa dan CMC
(Sumber : Rahman *et al*., 2021)

Beberapa parameter seperti pH, viskositas, gugus fungsi, kemurnian, dan nilai derajat substitusi (DS) dapat digunakan untuk menentukan kualitas CMC yang diperoleh. Viskositas dan kemurnian tinggi CMC merupakan parameter penting karena CMC digunakan di berbagai industri sebagai pengemulsi atau pengental, khsususnya di industri makanan dan pengeboran minyak (Pitaloka *et al*., 2015). Viskositas larutan CMC berkaitan dengan kemampuan CMC untuk mengikat air. Kemampuan CMC mengikat air ditunjukkan dari derajat subsitusinya. Derajat substitusi (DS) menjadi faktor penting kelarutan CMC dalam air. Derajat substitusi CMC yaitu jumlah rata-rata gugus hidroksil dalam struktur selulosa yang disubsitusi oleh gugus lain. Derajat subsititusi yang lebih tinggi menunjukkan semakin baik kualitas CMC, yang berarti bahwa CMC lebih larut dalam air (Silsia *et al*., 2018). Adapun karakteristik CMC dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik CMC komersial dan standar FAO

No	Parameter	CMC Komersial	Standar FAO
1	Derajat Substitusi	0,84	0,2 – 1,5
2	Kadar Air	10,57	≤ 12
3	pH	8,79	6,0 – 8,5
4	Viskositas (Cps)	7.545,67	≥ 25
5	Kemurnian (%)	99,63	≥ 99,5
6	WHC (g/g)	9,83	-
7	OHC (g/g)	1,42	-
8	*Lightness*	83,61	-

Sumber : Ferdiansyah *et al*. (2016)

2.7 Penelitian Terdahulu

Kajian yang menjadi acuan penulis dalam pembuatan *biodegradable foam* berbasis tepung kulit singkong dengan penambahan CMC adalah penelitian-penelitian terdahulu yang disesuaikan dengan referensi yang didapat. Penelitian terdahulu tentang pembuatan biofoam dan aplikasi CMC serta hasil penelitiannya disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Penelitian terdahulu pembuatan biofoam dan aplikasi CMC

No	Nama Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Febrina Sarlinda, Amrul Hasan, Zeni Ulma (2022)	Pengaruh Penambahan Serat Kulit Kopi dan Polivinil Alcohol (PVA) Terhadap Karakteristik *Biodegradable Foam* dari Pati Kulit Singkong	Karakteristik biofoam terbaik diperoleh dengan penambahan 15% serat dan 15% PVA, yaitu daya serap air sebesar 28,87%, kuat tarik sebesar 2,70 N/mm2 dan tingkat biodegradasi selama 30 hari sebesar 93,66%.
2	Melysa Putri, Dwi Kemala Putri, Alvernia	Pengaruh Penambahan	Biofoam dengan nilai kadar air paling rendah

No	Nama Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
	Putri (2021)	Gliserin dan Polivinil Alkohol Terhadap Karakteristik Biofoam dari Kulit Singkong dan Daun Angsana	adalah sampel yang mengandung 20 ml gliserin dan 20 ml PVA. Kemampuan daya serap air paling baik adalah sampel dengan 30 ml gliserin dan 10 ml PVA.
3	Aulya Akmala, Edy Supriyo (2020)	Optimasi Konsentrasi Selulosa pada Pembuatan Biodegradable Foam dari Selulosa dan Tepung Singkong	Kondisi operasi pembuatan biofoam berpengaruh terhadap visual biofoam. Kondisi operasi optimum pembuatan biofoam yaitu pada temperatur 70ºC selama 90 menit.
4	Pamilia Coniwanti, Roosdiana Mu'in, Hendra Wijaya Saputra, M. Andre R.A., Robiansyah (2018)	Pengaruh Konsentrasi Naoh Serta Rasio Serat Daun Nanas dan Ampas Tebu pada Pembuatan Biofoam	Biofoam terbaik diperoleh dari sampel dengan konsentrasi NaOH 5% serta rasio berat campuran serat daun nanas dan ampas tebu sebesar 75:25, nilai kuat tarik 16,35606 Kg/cm2, kuat tekan 3,709524 Kg/cm2 , daya serap air 15,60%, kadar air 6,90%, dan sifat biodegradasi 4,49%.
5	Erna Rusliana Muhammad Saleh, Muhammad Assagaf,	Penentuan Kodisi Proses Terbaik Pembuatan	Kondisi proses terbaik adalah adonan yang diproses sebanyak 50

No	Nama Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
	Indah Rosdianawati, Endang Warsiki, Nur Wulandari (2014)	Biofoam dari Limbah Pertanian Lokal Maluku Utara	gram. Adonan yang terlalu banyak akan meningkatkan tekanan di dalam cetakan terlalu besar sehingga biofoam akan mengembang secara maksimal dan retak.
6	M. Bayu Ihsan, Ratnawulan (2023)	The Effect of Carboxymethyl Cellulose (CMC) Addition on the Quality of Biodegradable Plastic from Corn Cob	Penambahan konsentrasi CMC pada campuran pati tongkol berpengaruh terhadap peningkatan nilai kuat tarik. Nilai kuat tarik tertinggi diperoleh pada penambahan konsentrasi CMC 60% w/w pati yaitu sebesar 6,50 MPa. *Biodegradable plastic* dari pati tongkol jagung hampir terurai sempurna setelah hari ke 8.
7	Erni Puryati Ningsih, Dahlena Ariyani, Sunardi (2019)	Pengaruh Penambahan Carboxymethyl Cellulose Terhadap Karakteristik Bioplastik Dari Pati Ubi Nagara (*Ipomoea batatas L.)*	Penambahan CMC berpengaruh terhadap nilai kuat tarik bioplastik. Penambahan konsentrasi CMC optimum adalah sebesar 9% CMC (b/b) dengan nilai kuat tarik tertinggi sebesar 0,5281 N/mm^2.