

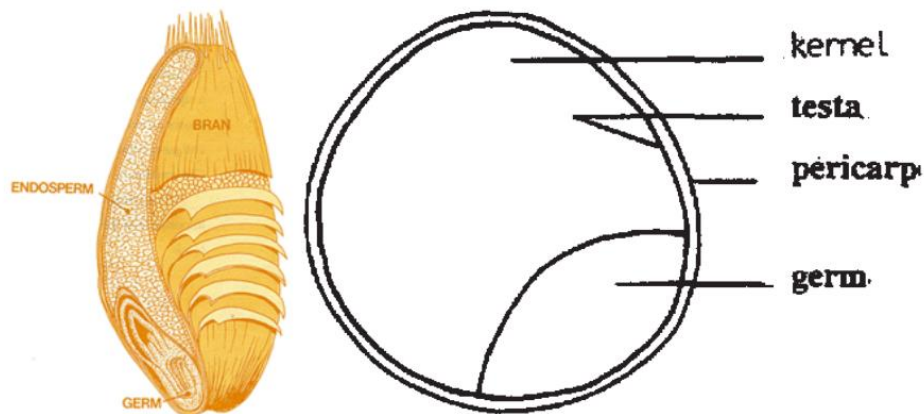
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Millet

Millet merupakan salah satu komoditas serealia minor berukuran kecil yang dapat dijadikan alternatif sumber karbohidrat untuk menunjang diversifikasi pangan. Millet dapat tumbuh dengan baik walaupun pada lahan yang bernutrisi rendah ataupun berbatu, dan kering (membutuhkan 25% curah hujan). Budidaya tanaman millet telah lama, namun pengembangannya kurang baik dibandingkan dengan padi dan jagung karena pemanfaatannya masih kurang baik untuk kebutuhan konsumsi maupun industri. Millet banyak dibudidayakan di berbagai Negara seperti di Benua Afrika dan beberapa Negara di Benua Asia. Di Negara maju millet dimanfaatkan sebagai bahan pangan yang memiliki gizi yang tinggi seperti makanan pokok, minuman berenergi dan kesehatan. Millet mengandung vitamin B, beta karoten, antioksidan, senyawa bioaktif, dan serat (Azrai et al., 2020). Millet merupakan salah satu jenis serealia yang biasa digunakan sebagai pakan burung. Tanaman millet tersebar di wilayah Indonesia seperti Jember, pulau buru, dan Sulawesi Selatan. Millet dapat dijadikan sebagai sumber pati dan dapat dikembangkan menjadi produk pangan (Herlina Marta et al., 2016).

Millet adalah sejenis biji-bijian kecil dari famili *Poaceae*. Tanaman millet tegak seperti rumput dengan tinggi berkisar 0,5-4 m dan diameter biji kurang dari 4 mm (Osman et al., 2020). Biji millet memiliki warna yang beragam diantaranya merah kecoklatan, coklat, kuning muda atau krem, putih, dan hitam. Secara umum, biji millet tersusun dari endosperm, germ (embrio), dan pericarp (bagian terluar). Endosperm merupakan komponen terbesar penyusun biji mencakup 75%, germ mencakup 17%, sedangkan pericarp mencakup 8% dari berat biji. Pada

permukaan pericarp terdapat lapisan cutin tipis dan pulen, dan di bawah pericarp terdapat lapisan tipis untuk penutup bakal benih serta adanya lapisan aleuron tunggal (Azrai et al., 2020). Struktur biji millet disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Struktur Biji Millet
(Sumber: Azrai et al., 2020)

Komponen struktural *pearl millet* mirip dengan sorgum dalam ukuran dan bentuk. *Pearl millet* memiliki ukuran panjang 3-4 mm dan lebar 2,25 mm, serta berwarna abu-abu kekuningan atau abu-abu, namun biasanya yang banyak ditemukan berwarna putih atau kuning. Biji millet putih disajikan pada gambar 2.



Gambar 2. Biji Millet Putih
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2021)

Millet memiliki kandungan nutrisi seperti protein dan karbohidrat yang mirip dengan beras. Millet mengandung 60-75% karbohidrat; 6-19% protein; 1,5-5% lemak; dan 15-20% serat kasar. Jenis gula bebas yang terkandung dalam biji millet yaitu glukosa, fruktosa, dan raffinosa. Kandungan pati pada biji millet berkisar antara 64-79% dengan kandungan amilosa berkisar 26-30% dan amilopektin 69-74%. Kandungan mineral dan serat pada biji millet lebih tinggi dibandingkan dengan beras dan gandum, selain itu millet mengandung kalsium yang tinggi (Azrai et al., 2020). Komposisi kimia dari berbagai jenis millet disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia berbagai Jenis Millet dan Serealia Lain

| Komoditas | Protein (g) | Serat (g) | Mineral (g) | Besi (mg) | Kalsium (mg) |
|------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|
| <i>Pearl millet</i> | 10,6 | 1,3 | 2,3 | 16,9 | 38,0 |
| <i>Finger millet</i> | 7,3 | 3,6 | 2,7 | 3,9 | 344,0 |
| <i>Foxtail millet</i> | 12,3 | 8,0 | 3,3 | 3,8 | 31,0 |
| <i>Proso millet</i> | 12,5 | 2,2 | 1,9 | 0,8 | 14,0 |
| <i>Javanese millet</i> | 11,2 | 10,1 | 4,4 | 15,2 | 11,0 |
| Beras | 6,8 | 0,2 | 0,6 | 0,7 | 10,0 |
| Gandum | 11,8 | 1,2 | 1,5 | 5,3 | 41,0 |

Sumber: (Azrai et al., 2020)

Millet dapat dijumpai dalam berbagai varietas seperti millet mutiara/*pearl millet* (*Pennisetum glaucum*), *finger millet* (*Eleusine coracana*), millet kodo (*Paspalum setaceum*), millet proso (*Penicum miliaceum*), *foxtail millet* (*Setaria italic*), *little millet* (*Panicum sumatrense*), dan *barnyard millet* (*Echinochloa utilis*) (Saleh et al., 2013). *Pearl millet* merupakan jenis millet yang banyak ditanam dari semua jenis millet. Millet jenis ini berasal dari Afrika dan India (Kajuna, 2001).

2.1.1 *Foxtail Millet (Setaria italic L.)*

Millet *foxtail* merupakan tanaman millet yang tertua dibudidayakan. Tanaman millet ini tumbuh di daerah semi-kering dan kebutuhan airnya rendah yang membutuhkan cuaca hangat. Millet ini memiliki sistem perakaran dangkal sehingga tidak dapat tumbuh dengan baik pada daerah kering. Millet *foxtail* merupakan rumput tahunan yang berbentuk ramping, tegak, berbatang daun dan memiliki tinggi berkisar 1 meter. Biji millet ini berbentuk cembung kecil dan warna beragam tergantung varietas, serta biji tersusun mengikuti panjang dan bentuk malai yang berbentuk seperti ekor kucing. Millet ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan, pakan ternak, dan pakan burung (Azrai et al., 2020). Tanaman millet *foxtail* disajikan pada gambar 3.



Gambar 3. Tanaman Millet *Foxtail*
(Sumber:Azrai et al., 2020)

2.1.2 *Pearl Millet (Pennisetum galucum L.)*

Pearl millet merupakan tanaman padang rumput musim panas yang memiliki batang tegak berkisar 1,5 meter. Tanaman ini memiliki daun panjang dengan tepian bergerigi halus. Tanaman ini tumbuh baik pada daerah yang

memiliki curah hujan rendah dan tanah berpasir. Tanaman ini memiliki anakan bebas serta perbungaan dengan malai yang padat dengan biji yang berukuran cukup kecil. Malai dengan biji yang telah matang berwarna kecokelatan dan terdapat bulu halus disekitarnya. *Pearl millet* disebut sebagai millet mutiara karena memiliki bentuk seperti mutiara. Millet mutiara biasa dimanfaatkan sebagai jerami, rumput, tanaman biji untuk pakan burung ataupun sebagai bahan pangan (Azrai et al., 2020). Tanaman *pearl millet* disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Tanaman *Pearl Millet*
(Sumber:Azrai et al., 2020)

2.1.3 *Proso Millet (Panicum miliaceum)*

Millet proso merupakan jenis tanaman serealialia yang dapat digunakan sebagai bahan pangan, pakan ternak, pakan burung, ataupun olahan makan pokok. Tanaman ini umumnya tumbuh pada cuaca semi kering dan membutuhkan waktu panen sekitar 60-75 hari dari pembibitan serta termasuk tanaman pendek musiman. Millet proso memiliki kebutuhan air terendah pada semua jenis serealialia, namun memiliki sistem perakaran dangkal sehingga tidak dapat tumbuh pada

daerah yang terlalu kering dan tanah berpasir kasar (Azrai et al., 2020). Tanaman millet proso disajikan pada gambar 5.



Gambar 5. Tanaman *Proso Millet*
(Sumber: Azrai et al., 2020)

2.1.4 *Finger Millet (Eleusine coracana)*

Finger millet merupakan jenis tanaman rumput tahunan dengan kisaran panen 50-60 hari setelah penyiangan yang tumbuh dalam kondisi kering-semi kering pada daerah beriklim lembab hampir di semua jenis tanah. Tanaman ini tumbuh dengan baik pada kondisi tanah yang tidak basah namun lembab di daerah dengan curah hujan sedang. Tanaman ini memiliki batang yang tinggi dan tegak dengan anakan bebas (Azrai et al., 2020). Tanaman finger millet disajikan pada gambar 6.



Gambar 6. Tanaman Finger Millet
(Sumber: Azrai et al., 2020)

2.1.5 *Javanese Millet (Echinochloa frumentacea)*

Japanese millet merupakan millet yang dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Tanaman ini diperkirakan berasal dari Jepang dan memiliki bentuk meyerupai rumput lumbung sehingga terkadang disebut gulma. Tanaman ini biasanya tumbuh pada musim hujan di daerah beriklim lembab atau sub-tropis dengan ketersediaan air yang cukup dan mampu memproduksi biji yang cukup matang dalam waktu 45 hari setelah penyemaian. Tanaman ini tumbuh pada tanah yang subur dan memiliki batang tegak hingga mencapai 2 meter dengan sistem morfologi malai yang terdiri dari 5-15 cabang dengan warna malai kecoklatan-ungu (Azrai et al., 2020). Tanaman Japanese millet disajikan pada gambar 7.

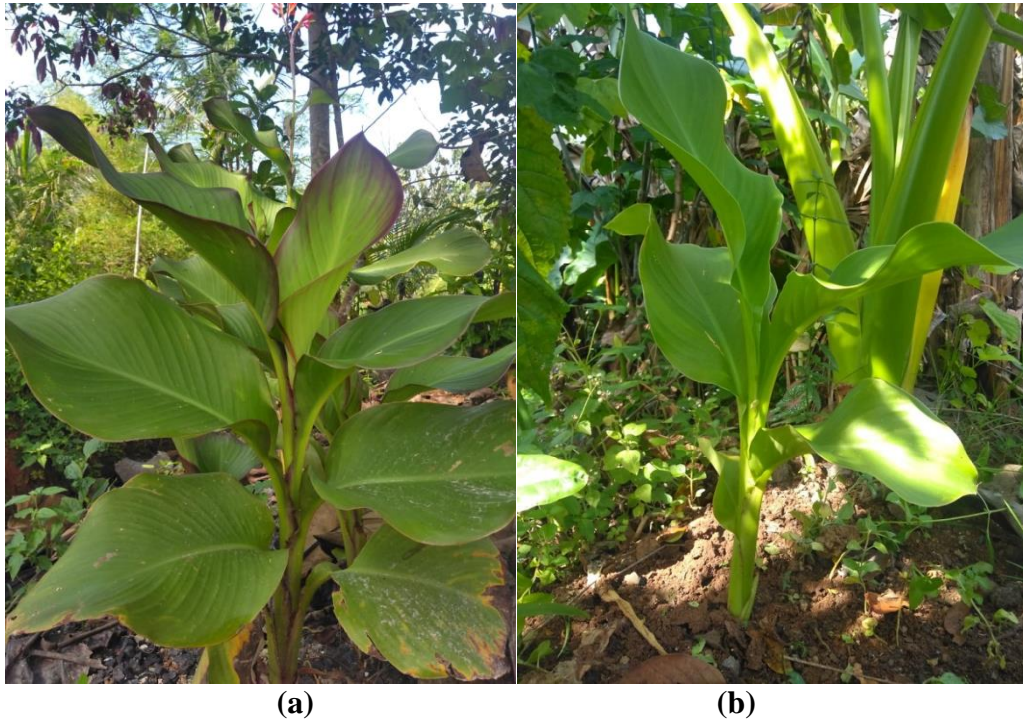


Gambar 7. Tanaman *Japanese Millet*
(Sumber: Azrai et al., 2020)

2.2 Ganyong

Tanaman ganyong (*Canna edulis kerr*) merupakan sumber karbohidrat lokal yang mudah dibudidayakan sehingga berpotensi untuk dikembangkan (Murdianto & Pranoto, 2018). Ganyong berasal dari Amerika selatan, namun di Indonesia ganyong dapat ditemukan di Pulau Jawa, Bali, Jambi, dan Lampung. Ganyong memiliki nama lokal seperti di Jawa ganyong biasa disebut laos jambe, lumbong, nyindro, senitra, laos mekah, buah asbeh, midro; di Sumatera ganyong biasa disebut ubi pikul; sedangkan di Madura ganyong disebut banyar atau manyor. Ganyong merupakan tanaman herba berbentuk rumpun dari famili *Cannaceae* genus *Canna* yang memiliki batang, daun, dan kelopak bunga sedikit berlilin (Suhartini & Hadiatmi, 2016). Tanaman ganyong dapat tumbuh tegak dan tinggi berkisar 0,9-3 m. Bagian tanaman ganyong yang digunakan sebagai bahan pangan yakni umbinya. Umbi ganyong memiliki bentuk bervariasi dengan panjang mencapai 60 cm, dikelilingi sisik yang berwarna ungu kecokelatan, dan akar serabut yang tebal. Varietas ganyong yang dibudidayakan di Indonesia yakni

ganyong merah dan ganyong putih (Richana & Sunarti, 2004). Tanaman ganyong disajikan pada gambar 8.



Gambar 8. Tanaman ganyong merah (a) dan Putih (b)
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2021)

Tanaman ganyong merah secara umum memiliki daun yang lebih lebar dibandingkan ganyong putih. Tinggi tanaman ganyong merah dan putih tidak terdapat sedikit perbedaan yakni ganyong merah lebih tinggi dibandingkan ganyong putih. Jumlah daun dan tangkai daun, serta anakan pada ganyong merah dan ganyong putih hampir sama (Suhartini & Hadiatmi, 2016). Menurut Sastrapraja et al. (1977) dalam Suhartini & Hadiatmi (2016), proses pemanenan umbi ganyong tidak bergantung pada umur berbunga, namun berdasarkan umur tanam. Ganyong sudah cukup tua untuk direbus dan dikukus pada umur tanaman 8-10 bulan. Panen dilakukan setelah tanaman ganyong berumur lebih dari satu tahun untuk mendapatkan kadar pati yang optimum. Ganyong merah memiliki daun berwarna hijau kemerahan dan pinggiran ungu, tangkai dan pelepah

berwarna merah-ungu, bunga berwarna merah, sisik umbi kecokelatan-ungu, serta memiliki daun yang lebih panjang dan lebar. Ganyong putih memiliki sisik umbi berwarna kecokelatan, daun berwarna hijau terang, tangkai dan pelepah daun hijau, serta warna bunga kuning dan orange.

Umbi ganyong memiliki banyak manfaat. Umbi ganyong biasanya diolah menjadi tepung dan pati, sedangkan umbi yang masih muda biasa direbus ataupun dimakan sebagai sayuran. Kandungan pati yang tinggi pada umbi ganyong dapat dimanfaatkan di industri sebagai bahan baku sirup glukosa dan alkohol. Umbi ganyong mengandung fosfor, besi, dan kalsium yang tinggi sehingga sangat baik untuk pertumbuhan anak-anak. Selain itu, umbi ganyong dapat dijadikan sebagai obat tradisional yang dipercaya dapat mengatasi penyakit antipiretik, diuretik, hipertensi, radang saluran kencing, serta panas dalam. Pati ganyong juga memiliki daya cerna yang tinggi sehingga dapat dijadikan alternatif untuk menyembuhkan penyakit maag (Suhartini & Hadiatmi, 2016). Umbi ganyong disajikan pada gambar 9.



(a) (b)
Gambar 9. Umbi Ganyong Merah (a) dan Putih (b)
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2021)

Kandungan karbohidrat yang tinggi pada ganyong dapat menjadikan sumber energi untuk tubuh. Ganyong dapat diolah menjadi tepung maupun pati

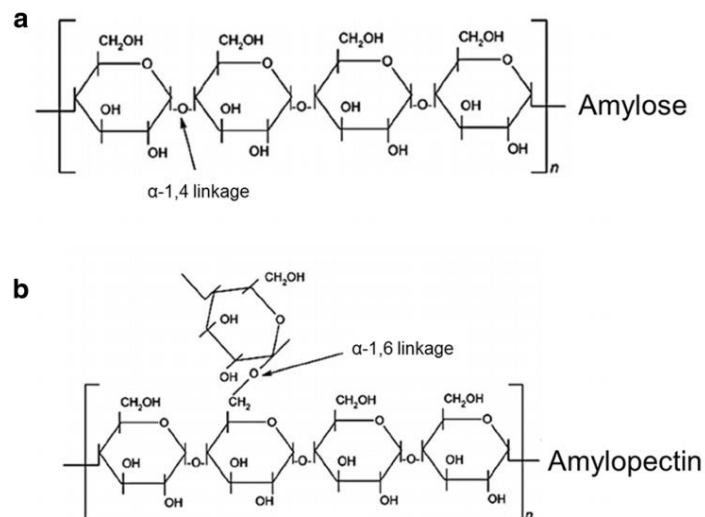
karena memiliki sifat fungsional dan komposisi kimia yang potensial sehingga dapat digunakan untuk diversifikasi pangan. Ganyong dapat disubstitusikan pada mie, namun perlu penambahan komponen lain karena memiliki kadar amilosa yang relative rendah (Herawati et al., 2017). Kandungan pati pada ganyong lebih mudah dicerna dibandingkan dengan pati lainnya dan terdapat sekitar 70-80% dari berat keringnya (Zhang & Wang, 2013). Sedangkan menurut Suhartini & Hadiatmi (2016), umbi ganyong memiliki kandungan pati sebanyak 12-33%. Pati ganyong memiliki kandungan amilosa 21,14-24,44% dan amilopektin 75,56-78,86% sehingga berpotensi sebagai bahan baku *edible* film (Santoso et al., 2011). Pati ganyong memiliki struktur kristalin tipe B, kandungan amilosa tinggi, serta mudah membentuk gel dan retrogradasi (Parwiyanti et al., 2019).

2.3 Pati

Pati merupakan polimer yang terdapat di alam, terbarukan, serta *biodegradable* dan diproduksi tanaman sebagai cadangan energi (Suwarda & Maarif, 2013). Pati dihasilkan dari tanaman yang memiliki kandungan karbohidrat tinggi seperti beras, pisang, jagung, sagu, gandum, singkong, dan kentang. Pati tersebut diproduksi tanaman sebagai cadangan makanan yang disimpan dalam akar, batang, maupun buah (H. Wang et al., 2018).

Pati merupakan karbohidrat pada tumbuhan yang disimpan dalam kloroplas (penyimpanan sementara) dan dalam amiloplas untuk penyimpanan jangka panjang. Pati dalam tumbuhan digunakan sebagai sumber energi untuk melakukan metabolisme (fotosintesis) (Perez & Agama-Acevedo, 2017). Pati merupakan biopolimer karbohidrat yang tidak larut dalam air dingin dan berbentuk butiran halus dengan diameter berkisar antara 1-100 μm tergantung

jenis patinya atau asal tanaman. Pati tersusun dari amilosa dan amilopektin. Amilosa memiliki struktur rantai linear atau lurus dengan ikatan (α)-1,4-glukopiranosil. Amilosa merupakan komponen utama daerah amorfus granula pati. Sedangkan polimer amilopektin memiliki struktur rantai pendek bercabang dan terbentuk dari ikatan (α)-1,4-glukopiranosil serta membentuk cabang pada ikatan (α)-1,6-glukopiranosil. Amilopektin merupakan komponen utama pada daerah kristalin granula pati (Castanha et al., 2016). Struktur amilosa dan amilopektin disajikan pada gambar 10.



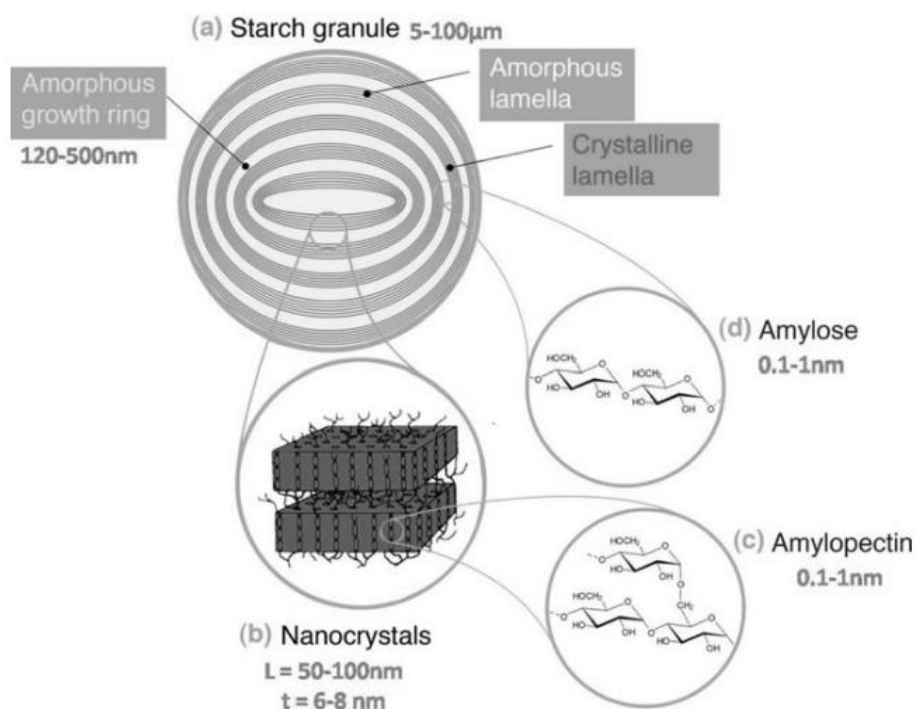
Gambar 10. Struktur Amilosa (a) dan Amilopektin (b)
(Sumber: Balet et al., 2019)

Pati memiliki karakteristik berwarna putih, tidak berasa, dan tidak berbau (Vilpoux et al., 2018). Granula pati tidak larut dalam air dingin namun akan menyerap (absorpsi) air dan perlahan-lahan mengalami pembengkakan. Pembengkakan granula pati tersebut bersifat *reversible* sehingga apabila pati dikeringkan akan mengkerut kembali. Apabila pati dilarutkan dalam air mendidih, maka granula pati akan membengkak maksimum hingga pecah sehingga menghasilkan pasta yang disebut dengan proses gelatinisasi (Sugiyono, 2004).

Kandungan amilosa dan amilopektin dapat mempengaruhi karakter fisikokimia pati yang dihasilkan. Amilosa memiliki rantai yang relatif lurus sehingga dapat membentuk film dan struktur yang kuat serta akan berwarna biru apabila diberi pewarna iodine. Amilopektin memiliki struktur rantai bercabang sehingga film dan struktur gel lunak serta menghasilkan warna kemerahan apabila diberi pewarna iodine (Herawati, 2013). Amilosa merupakan semi kristalin yang larut dalam air panas, sedangkan amilopektin tidak larut dalam air panas (Rajisha et al., 2014). Amilosa dalam larutan encer akan cenderung bergabung dengan molekul lain sehingga afinitasnya menurun dan kemudian membentuk endapan dan menyebabkan terjadinya retrogradasi. Sedangkan amilopektin sangat tahan terhadap pembentukan gel dan sifat ikatannya terhadap air sehingga retrogradasi berjalan dengan lambat (Sugiyono, 2004).

Granula pati alami memiliki struktur semi-kristal. Amilosa merupakan komponen utama dari wilayah amorf dan amilopektin merupakan komponen kristalin. Umumnya, kadar amilosa pati berkisar antara 25-30% dan amilopektin 70-75%. *Amylomaize* merupakan pati yang memiliki kadar amilosa sangat tinggi berkisar 50-70%, sedangkan *waxy maize* memiliki kadar amilosa yang sangat rendah yaitu 1% dan kadar amilopektin 98-99%. Setiap jenis pati memiliki rasio amilosa dan amilopektin yang berbeda tergantung sumber botaninya. Karakteristik pati dapat dipengaruhi oleh sumber botani, bentuk dan ukuran granula pati, rasio amilosa dan amilopektin, kandungan non pati, struktur kristalin dan amorf (Perez & Agama-Acevedo, 2017). Ukuran dan bentuk granula pati bervariasi tergantung dari sumber botani. Granula pati memiliki ukuran berkisar antara 1-100 μm . Granula pati dari sereal memiliki bentuk polyhedral dan segitiga, sedangkan

granula pati umbi-umbian memiliki bentuk bulat dan oval (Vilpoux et al., 2018). Struktur granula pati terdiri atas bagian amorf dan kristalin. Struktur granula pati disajikan pada gambar 11.



Gambar 11. Struktur Granula Pati
(Sumber: LeCorre et al., 2011)

Metode ekstraksi pati terbagi dua, yakni dengan penggilingan basah (*wet milling*) dan penggilingan kering (*dry milling*). Metode kering merupakan proses ekstraksi dimana bahan pangan sumber pati digiling menjadi tepung dan dilakukan perendaman dengan pelarut yang kemudian disaring dan diendapkan. Metode penggilingan basah merupakan proses penggilingan bahan pangan sumber pati dalam air atau dengan penambahan larutan untuk mencegah reaksi oksidasi seperti asam sitrat dan natrium bisulfit. Biji-bijian memiliki struktur jaringan yang keras sehingga perlu proses perendaman selama 8-10 jam untuk melunakan jaringan sehingga pati mudah keluar. Bubur hasil penggilingan disaring dengan ukuran 50, 100, ataupun 200 mesh. Filtrat yang dihasilkan diendapkan dan dilakukan proses

pencucian pati untuk menghiangkan komponen lain selain pati. Pati basah dikeringkan dalam oven dengan suhu 40-45°C selama 24 jam (Perez & Agama-Acevedo, 2017).

2.3.1 Pati Millet

Millet putih jenis millet mutiara (*Pennisetum glaucum*) mengandung pati sebesar 71,6% (Herlina Marta et al., 2016). *Pearl millet* mengandung kadar pati yang lebih rendah serta protein dan lemak yang lebih tinggi dari sorgum. *Pearl millet* mengandung pati sebanyak 56-65% dari biji millet dengan kadar amilosa 20-22% (Nambiar et al., 2011). Millet mutiara/*pearl millet* mengandung 63,2% pati; 13,6% protein; 7,8% lemak; 2,8% serat; dan 2,1% abu. Millet mutiara mengandung pati resisten yang sangat tinggi, serat pangan yang larut maupun tidak larut, mineral, dan antioksidan. Millet *foxtail* memiliki kandungan protein lisin yang tinggi sehingga berpotensi menjadi pangan fungsional (Saleh et al., 2013). Berdasarkan penelitian pendahuluan biji millet putih memiliki kandungan pati berkisar 45% (%bb).

Millet secara umum memiliki kandungan pati sebesar 52-68,2%; amilosa 6-38,6%; lemak 0,16-2,9%; protein 0,2-4,3%; dan abu 0,02-1,4% (Zhu, 2014). Rendemen pati millet yang dihasilkan dari penelitian ini yakni sebanyak 45% dari berat keringnya. Pati millet mutiara mengandung kadar air 11%; amilosa 13,6-18,1%; protein 0,32-0,75%; lemak 0,27-0,46%; dan kadar abu 0,22-0,41% (K. S. Sandhu & Siroha, 2017). Menurut Mahajan et al. (2021), pati millet mengandung 20-30% amilosa dan 70-80% amilopektin. Berdasarkan hasil penelitian pati millet yang diamati memiliki kandungan amilosa sebanyak 27,961%.

Pati millet memiliki bentuk bulat (*spherical*) dan *polygonal* dengan ukuran 0,8-24 μm . Semua jenis pati millet memiliki kristalinitas tipe A dan kristalinitas relatif antara 27-30%. Daya kembang dan kelarutan pati millet pada suhu berkisar antara 50-90°C. Pati millet proso memiliki *freeze thaw stability* lebih rendah dibandingkan dengan pati jagung dan sebagian gel pati kering menyerap kembali air secara cepat untuk memulihkan bentuk aslinya. Sedangkan pati millet mutiara lebih stabil dibandingkan dengan pati jagung dan gandum. *Freeze thaw stability* pati dipengaruhi oleh kondisi thermal, struktur molekul, kadar amilosa dan amilopektin, serta kadar air. Kadar amilosa yang rendah dan pendeknya rantai amilopektin menyebabkan *freeze thaw stability* pati alami lebih baik (Zhu, 2014).

Pati millet alami memiliki kelemahan yakni tidak tahan terhadap proses pemanasan dan pengadukan (Herlina Marta et al., 2016). Penelitian pati millet telah dilakukan sebelumnya untuk membandingkan antara sifat fungsional dan amilografi pati millet alami, termodifikasi HMT, serta termodifikasi *annealing* yang disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Sifat Fungsional dan Amilografi Pati Millet Alami, Termodifikasi HMT, serta Termodifikasi *Annealing*

| Karakteristik Pati | Alami | HMT | <i>Annealing</i> |
|----------------------------------|--------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Swelling vollume</i> | 10,21 | 7,96 \pm 0,36 ^a | 7,14 \pm 0,64 ^b |
| Kelarutan | 5,63 | 12,17 \pm 0,00 ^a | 13,53 \pm 0,00 ^b |
| Kapasitas Penyerapan Air | 1,15 | 1,91 \pm 0,22 ^a | 1,81 \pm 0,25 ^a |
| <i>Freeze Thaw Stability</i> | 45,55 | 34,02 \pm 0,03 ^a | 31,56 \pm 0,02 ^a |
| Derajat putih | 77,48 | 69,07 \pm 0,01 ^a | 79,51 \pm 0,00 ^b |
| Kekuatan Gel | 2,51 | 1,72 \pm 0,29 ^a | 2,71 \pm 0,22 ^b |
| Suhu Awal Gelatinisasi (°C) | 77,31 | 81,45 \pm 2,40 ^a | 78,26 \pm 0,34 ^a |
| Viskositas Puncak (cP) | 3403,00 | 979,83 \pm 143,31 ^a | 3260,33 \pm 169,19 ^b |
| Viskositas Pasta Panas (cP) | 1362,50 | 294,83 \pm 98,81 ^a | 1210,33 \pm 60,25 ^b |
| Viskositas <i>Breakdown</i> (cP) | 2040,50 | 685,00 \pm 204,69 ^a | 2050,00 \pm 121,28 ^b |
| Viskositas Pasta Dingin (cP) | 4762,00 | 651,33 \pm 158,81 ^a | 3954,00 \pm 139,27 ^b |
| Viskositas <i>Setback</i> (cP) | 3399,50 | 365,50 \pm 60,50 ^a | 2744,00 \pm 198,45 ^b |

(Sumber: Marta et al., 2016)

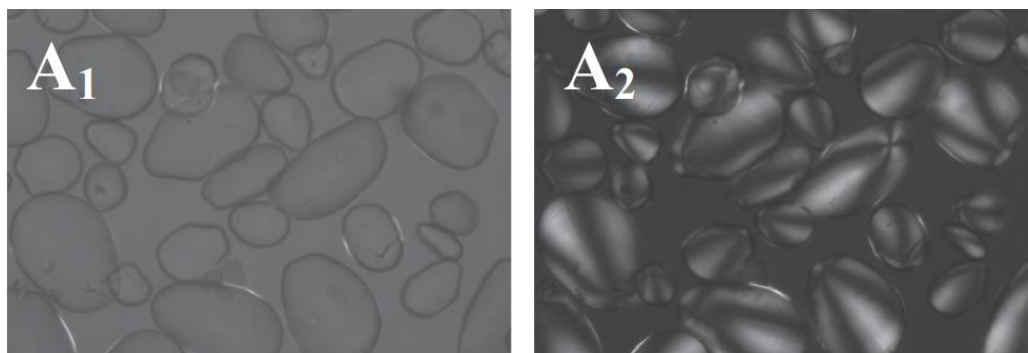
Pati millet memiliki kandungan air sebesar 9,01% db. Semakin tinggi kadar air maka pati akan semakin cepat rusak (berjamur dan bau apek). Kadar air tersebut sangat mempengaruhi kualitas pati. Pati millet memiliki kadar amilosa yang tinggi yaitu 36,3%. Tingginya kandungan amilosa pada pati millet menyebabkan mudahnya pati mengalami retrogradasi. Pati yang memiliki kadar amilosa yang tinggi cocok untuk dijadikan bahan pangan yakni sohun. Proses modifikasi pati millet dengan HMT menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah amilosa. Peningkatan kadar amilosa tersebut diakibatkan oleh interaksi rantai pati (amilosa-amilopektin) dengan area amorphus granula. Pati termodifikasi HMT memiliki struktur yang kompak sehingga gelatinisasi terbatas dan lebih tahan terhadap proses pemanasan (Widyastuti et al., 2021).

Pati millet alami memiliki daya kembang 14,1-17,9 g/g dan kelarutan 10,4-16,2% (Sandhu & Siroha, 2017). Proses HMT menyebabkan penurunan daya kembang dan kelarutan pati millet. Penurunan daya kembang (*swelling volume*) disebabkan karena perubahan struktur pati dan pembentukan ikatan hidrogen antara air yang berada diluar granula dengan molekul pati (amilosa/amilopektin) semakin sulit sehingga kemampuan granula pati membengkak menjadi terbatas. Sedangkan, penurunan kelarutan tersebut disebabkan oleh meningkatnya ikatan rantai amilosa-amilosa dan amilopektin-amilopektin, serta terurainya *double helix* dalam susunan kristalin granula (Herlina Marta et al., 2016; Widyastuti et al., 2021).

2.3.2 Pati Ganyong

Umbi ganyong merupakan sumber karbohidrat lokal yang mengandung kadar pati berkisar 13% (*wet basis*) dan 70-80g/100g umbi kering atau 70-80%

(*dry basis*) (Murdianto & Pranoto, 2018). Menurut Damayanti et al. (2007) pati ganyong merah dan putih berumur 8-9 bulan mengandung pati sebesar 11,2 - 12,2% (%bb), sedangkan berdasarkan penelitian pendahuluan ganyong merah memiliki kandungan pati berkisar 11% (%bb). Umbi ganyong dapat diolah menjadi tepung maupun pati. Pati ganyong dapat diolah menjadi produk pangan diantaranya kukis, cendol, bihun dan sohun (Parwiyanti et al., 2016). Pati ganyong memiliki bentuk *elliptical*, *oval*, *spherical*, dan *polygonal* dengan ukuran granula antara 20-280 μm , serta sebagian besar berukuran 50-100 μm (Zhang et al., 2010). Bentuk granula pati ganyong disajikan pada gambar 12.



Gambar 12. Granula Pati Gayong
(Sumber: Zhang et al., 2010)

Pati ganyong memiliki kandungan non-pati yakni kadar air sebesar 10,08%; abu 0,24%; lemak 0,24%; dan gula reduksi sebanyak 84,19 mg/100 g. Pati ganyong memiliki kadar amilosa 35,99%; kelarutan dalam air 9,81%; dan gel yang keras (Algar et al., 2019). Berdasarkan hasil penelitian, pati ganyong merah memiliki kandungan amilosa sebanyak 37,576%. Pati ganyong tidak mengandung gluten, kristalinitas tipe B, kadar amilosa tinggi, viskositas tinggi, mudah membentuk gel, serta mudah mengalami retrogradasi (Parwiyanti et al., 2016). Penelitian mengenai pati ganyong telah dilakukan sebelumnya baik dengan modifikasi ozon maupun HMT. Pati ganyong dengan perlakuan modifikasi ozon

mengalami peningkatan kadar karboksil, indeks warna putih, kelarutan, dan penyerapan air, serta terjadi penurunan *swelling power* dan penyerapan minyak (Murdianto & Pranoto, 2018). Pati ganyong dengan perlakuan modifikasi HMT mengalami penurunan *swelling volume* dan kelarutan, kapasitas penyerapan air dan minyak, merubah kristalinitas dari tipe B menjadi tipe A, serta meningkatkan sineresis (Zhang et al., 2010).

2.4 Sifat Fisikokimia dan Fungsional Pati

Sifat fisikokimia dipengaruhi ukuran granula pati yang sangat penting dalam aplikasi pengolahan produk. Ukuran granula pati mempengaruhi kandungan dan sifat fungsionalnya meliputi kristalinitas, komposisi amilosa, amilopektin, lemak, dan fosfor, serta mempengaruhi pembentukan pasta (Nadia et al., 2013). Amilosa dan amilopektin tersusun dalam suatu cincin berkisar 16 buah yang terdiri dari lapisan amorf dan kristalin dalam granula pati. Amilosa terletak tidak pada satu tempat tetapi tergantung jenis pati sehingga disebut fraksi gerak. Amilosa umumnya terletak antara molekul amilopektin diantara daerah amorf dan kristal. Amilopektin akan membentuk lapisan yang transparan apabila dipanaskan dalam air dan membentuk larutan dengan viskositas tinggi, membentuk lapisan seperti untaian tali, serta cenderung tidak mengalami retrogradasi dan tidak membentuk gel kecuali pada konsentrasi tinggi (Herawati, 2011).

Proses pencernaan pati salah satunya dipengaruhi oleh ukuran granula, apabila ukuran granula semakin besar menunjukkan daya cerna yang rendah. Pati sereal menunjukkan struktur tipe A, umbi-umbian, buah-buahan, dan pati jagung tinggi amilosa menunjukkan struktur tipe B, serta tepung kacang-kacangan memiliki struktur tipe C yang dapat dibedakan dengan *X-Ray Diffraction*. Struktur

tipe A umumnya lebih mudah dicerna dibandingkan tipe B. Pati yang memiliki kristalinitas tinggi juga memiliki daya cerna yang rendah (Bi et al., 2017). Sifat fungsional pati yang diukur pada penelitian ini meliputi *swelling volume* dan kelarutan, kapasitas penyerapan air (KPA), kapasitas penyerapan minyak, warna, tekstur, serta *freeze thaw stability* (FTS).

Swelling volume dan kelarutan merupakan sifat yang penting dalam proses pengolahan. Apabila pati dipanaskan pada jumlah air berlebih granula pati akan menyerap air dan mengembang serta sebagian besar komponen amilosa larut dan keluar dari granula. Peningkatan suhu menyebabkan granula semakin membengkak dan akhirnya pecah. *Swelling volume* dan kelarutan dipengaruhi oleh struktur molekul amilosa dan amilopektin, asosiasi fisik komponen kimia pada granula, serta adanya kompleks lipid-amilosa dan gugus fosfor (Zhu, 2014). *Swelling volume* adalah kemampuan pati untuk mengembang apabila dipanaskan pada suhu dan waktu tertentu. *Swelling volume* merupakan rasio atau perbandingan antara volume pasta dan berat kering pati. Sedangkan kelarutan merupakan jumlah pati yang larut dalam supernatan yang dapat diukur dengan mengeringkan dan menimbang supernatan (Collado et al., 2001). Penyerapan air akan semakin meningkat apabila kandungan amilopektin semakin banyak karena daerah amorf akan semakin luas. Semakin tinggi daya serap air maka *swelling volume* akan meningkat karena *swelling volume* dipengaruhi oleh daya serap air (Haryanti et al., 2014).

Kapasitas penyerapan air merupakan kemampuan pati dalam menyerap air dan mempertahankannya dalam sistem pangan. Pengikatan dan penyerapan air adalah salah satu sifat fungsional yang dimiliki protein. Jumlah air yang tersedia

untuk proses gelatinisasi pati selama pemasakan ditentukan oleh kapasitas penyerapan air. Pembentukan gel tidak akan optimum apabila jumlah air yang diserap kurang (Aini et al., 2016).

Warna atau derajat putih merupakan salah satu penilaian mutu suatu bahan pangan, khususnya bahan pangan berbentuk tepung. Derajat putih merupakan daya pemantulan cahaya yang mengenai permukaan benda tersebut dibandingkan dengan standar. Pati memiliki warna yang berbeda-beda tergantung sumber pati. Proses modifikasi juga dapat menyebabkan perubahan warna pada pati. Proses modifikasi ozon menghasilkan pati yang berwarna lebih terang dibandingkan dengan pati alaminya (Murdianto & Pranoto, 2018; Pandiselvam, Manikantan, et al., 2019). Proses modifikasi pati dengan pemanasan menyebabkan perubahan warna pati menjadi lebih gelap (Cahyana et al., 2019).

Tekstur merupakan salah satu atribut mutu yang penting dalam menilai kualitas bahan pangan serta faktor penting untuk penerimaan konsumen. Analisis tekstur pada bahan pangan dapat dilakukan dengan *Texture Profile Analysis* (TPA). Pengukuran tekstur dengan TPA menggunakan metode *imitative*, yakni meniru gerakan yang terjadi dalam mulut manusia seperti menggigit. TPA merupakan pengukur tekstur menggunakan tes kompresi uniaksial dua siklus (Liu et al., 2019). Pengukuran tekstur pada gel pati yang diamati meliputi *hardness* (kekerasan), *adhesiveness*, *springiness*, *cohesiveness*, *chewiness*, *gumminess*, dan *resilience*. *Hardness* dan *cohesiveness* merupakan parameter yang memiliki peran penting dalam menentukan integritas gel (Mahajan et al., 2022).

Freeze-thaw stability merupakan kemampuan gel pati untuk mempertahankan bentuknya dan tidak mengalami sineresis apabila disimpan pada

suhu dingin dan suhu ruang. Pengujian *freeze-thaw stability* dilakukan untuk melihat apakah pati yang dihasilkan dapat disimpan dalam suhu beku (-15°C) sehingga aplikasinya memungkinkan untuk digunakan dalam produk yang harus disimpan pada suhu yang sangat rendah. Sineresis merupakan persentase jumlah air yang terpisah setelah pasta pati diberi perlakuan penyimpanan beku. Presentase tersebut menyatakan stabilitas beku cair (*freeze-thaw stability*) pasta pati. Sineresis terjadi akibat molekul-molekul amilosa berikatan kembali satu sama lain sehingga mengalami retrogradasi (Haryanti et al., 2014).

Retrogradasi menyebabkan ikatan yang kuat antar amilosa sehingga semakin banyak air yang terpisah dari gel pati ketika gel pati diletakkan pada suhu ruang. Keluarnya air dalam jumlah besar selama proses retrogradasi menyebabkan sineresis yang tinggi dan menunjukkan bahwa pati tersebut tidak stabil terhadap suhu penyimpanan beku (Haryanti et al., 2014). *Freeze thaw stability* pati dipengaruhi oleh kondisi thermal, struktur molekul, kadar amilosa dan amilopektin, serta kadar air. Kadar amilosa yang rendah dan pendeknya rantai amilopektin menyebabkan *freeze thaw stability* pati alami lebih baik. Retrogradasi terjadi ketika pati tergelatinisasi mengalami pendinginan sehingga molekul amilosa dan amilopektin berinteraksi dengan air kemudian mengkristal kembali menjadi susunan yang lebih teratur. Retrogradasi dipengaruhi oleh kadar air, kondisi dan waktu penyimpanan, kadar amilosa, struktur molekul amilopektin, serta adanya komponen non-pati seperti lipid (Zhu, 2014).

2.5 Sifat Amilografi Pati

Gelatinisasi merupakan sifat fisikokimia pati ketika dipanaskan dalam air berlebih. Profil gelatinisasi pati selama pemanasan dipengaruhi oleh suhu dan

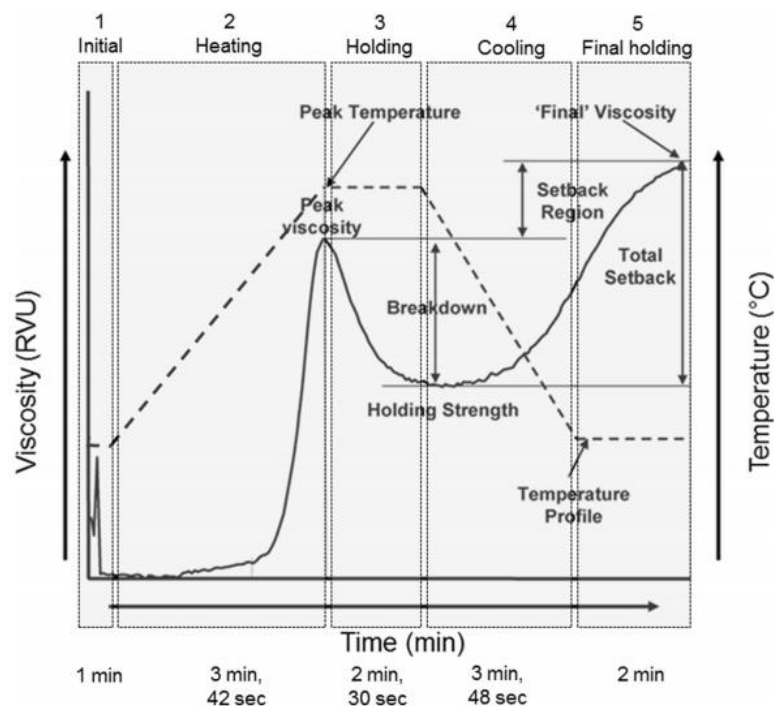
kadar air. Selama pemanasan, amilosa terlarut menuju fase kontinu sehingga mempengaruhi tekstur, viskositas, retensi air, dan daya cerna pati. Karakteristik gel dipengaruhi oleh rasio amilosa dan amilopektin, jenis pati, dan struktur molekul (Perez & Agama-Acevedo, 2017). Selama gelatinisasi, granula pati menyerap air dan mengembang dan kemudian pecah (Balet et al., 2019).

Sifat amilografi pati merupakan pengukuran viskositas pati dengan konsentrasi tertentu dengan proses pemanasan, pendinginan, dan pengadukan. Profil gelatinisasi dapat dianalisis dengan menggunakan *Rapid Visco Analyzer* (RVA). *Rapid Visco Analyzer* (RVA) merupakan viskometer yang dilengkapi pemanas dan pendingin untuk mengukur viskositas sampel pada pengadukan terkontrol. Selama proses pengukuran dengan RVA terjadi pemanasan dan pengadukan sehingga menyebabkan granula pati/tepung membengkak dan membentuk gel serta terjadi gelatinisasi (Balet et al., 2019).

Menurut Immaningsih (2012), dalam pengukuran RVA terdapat 4 fase. Fase pertama kurva yakni viskositas yang terukur rendah karena suhu masih berada di bawah suhu gelatinisasi pati. Fase kedua kurva yaitu pada saat granula pati mulai membengkak dan viskositas meningkat akibat peningkatan suhu secara perlahan sampai mencapai suhu gelatinisasi pati. Peningkatan suhu dan viskositas tersebut disebut dengan suhu puncak dan viskositas puncak (*peak viscosity*) dimana terjadi peningkatan viskositas secara cepat karena sebagian besar granula pati membengkak. Fase ketiga yaitu pecahnya granula pati dan keluarnya amilosa ke cairan sehingga viskositas menurun karena suhu tetap meningkat dan pengadukan terus dilakukan (*holding*). Fase keempat yaitu pembentukan gel dan

peningkatan kembali viskositas hingga mencapai viskositas akhir karena terjadi proses pendinginan sehingga molekul-molekul pati berasosiasi kembali (*setback*).

Menurut Balet et al. (2019), pengukuran dengan RVA terjadi dalam 5 tahap yakni: (1) penambahan air pada sampel pati/tepung; (2) pemanasan; (3) *holding* pada suhu maksimum; (4) pendinginan; (5) *holding* tahap akhir. Pengukuran profil gelatinisasi dengan menggunakan RVA menunjukkan adanya interaksi antara kompleks air dan pati yang dipengaruhi oleh suhu dan waktu. Pada profil RVA standar (RVA STD 1) terdiri dari: suhu awal diatur 50°C; waktu *holding* selama 1 menit pada suhu 50°C; pemanasan hingga suhu 95°C selama 3 menit 42 detik; *holding* pada suhu 95°C selama 2 menit 30 detik; pendinginan hingga 50°C selama 3 menit 48 detik; dan terakhir *holding* pada suhu 50°C selama 2 menit. Parameter profil gelatinisasi pati disajikan pada gambar 13.



Gambar 13. Parameter Profil Gelatinisasi *Rapid Visco Analyzer* (RVA)
(Sumber: Balet et al., 2019)

Menurut Cahyana et al. (2019), viskositas diukur dengan profil suhu yakni: *holding* 50°C selama 1 menit; pemanasan dari 50-95°C selama 3,7 menit; *holding* pada suhu 95°C selama 2,5 menit; dan pendinginan hingga 50°C selama 3,8 menit. Suhu dipertahankan 50°C selama 2 menit dengan pengadukan konstan pada 160 rpm dan 10 detik pertama 960 rpm untuk membuyarkan pati. Total waktu run yaitu selama 13 menit. Sifat amilografi diamati meliputi parameter suhu awal gelatinisasi (*pasting point*), viskositas puncak (*peak viscosity*), *hold viscosity*, viskositas akhir (*final viscosity*), *breakdown*, dan *setback*. Viskositas *breakdown* merupakan selisih antara *hold viscosity* dan viskositas puncak. Sedangkan *setback* merupakan selisih antara *hold viscosity* dan viskositas akhir. Hasil pengukuran viskositas dilaporkan dalam cP.

Suhu awal gelatinisasi atau *pasting temperature* (PT) merupakan suhu ketika mulai terbentuknya viskositas yang menandakan bahwa pati tersebut mulai menyerap air. Viskositas puncak menunjukkan viskositas pada puncak gelatinisasi atau viskositas tertinggi sebelum granula pati pecah. Pati yang memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi akan mengalami pembengkakan pati yang tinggi sehingga memiliki viskositas pati pasta yang tinggi. Pembengkakan granula pati yang berlebihan menyebabkan granula pati tidak mampu menahan tekanan sehingga terjadi peluruhan amilosa dari dalam granula (Fetriyuna et al., 2016).

Viskositas pasta panas dan viskositas *breakdown* saling berhubungan. *Breakdown* merupakan selisih antara viskositas puncak dan viskositas pasta panas. Umumnya penurunan viskositas pasta panas diikuti dengan peningkatan *breakdown*, namun pada kondisi tertentu tidak selalu seperti itu. Apabila terjadi penurunan secara proporsional viskositas pasta panas dan viskositas puncak maka

breakdown akan cenderung tetap (Fetriyuna et al., 2016). Viskositas *breakdown* berhubungan dengan kestabilan pasta pati selama pemanasan dan pengadukan. Semakin rendah *breakdown* maka pasta yang terbentuk akan semakin stabil terhadap pemanasan dan pengadukan (Beta & Corke, 2001; Herlina Marta et al., 2016).

Viskositas pasta dingin atau viskositas akhir (*final viscosity*) adalah viskositas pada saat suhu dipertahankan 5°C. Viskositas *setback* merupakan ukuran rekristalisasi pati tergelatinisasi selama pendinginan (Beta & Corke, 2001). *Setback* atau perubahan viskositas selama pendinginan adalah selisih antara viskositas pasta dingin dan viskositas pasta panas. *Setback* yang semakin tinggi menunjukkan kecenderungan untuk membentuk gel (meningkatkan viskositas) selama pendinginan yang semakin tinggi. Nilai *setback* yang tinggi menandakan kecenderungan terjadinya retrogradasi (Fetriyuna et al., 2016).

Tipe kurva amilografi diklasifikasikan sebagai berikut (Collado et al., 2001; Mandasari et al., 2015):

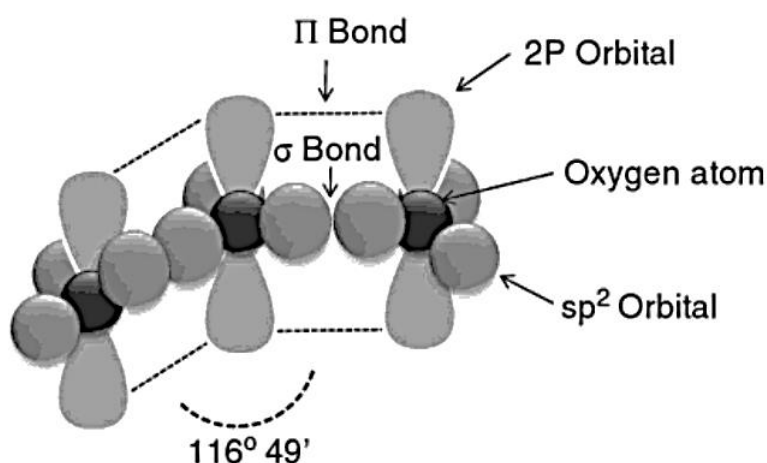
- 1) Tipe A menunjukkan pengembangan granula yang tinggi dan diikuti penurunan viskositas dengan cepat selama pemanasan. Pati yang termasuk tipe A yaitu pati kentang, tapioka, dan *waxy cereal*.
- 2) Tipe B menunjukkan pengembangan granula yang lebih rendah dari tipe A dan bersifat moderat/sedang selama pemanasan. Pati yang termasuk tipe B yaitu pati sereal.
- 3) Tipe C menunjukkan pengembangan granula yang terbatas dan tidak menunjukkan viskositas puncak serta relative bersifat konstan selama

pemanasan. Pati yang termasuk tipe C yaitu pati legume/polong-polongan dan pati modifikasi.

- 4) Tipe D menunjukkan pengembangan granula yang sangat terbatas. Pati yang termasuk tipe D yaitu pati yang memiliki kadar amilosa lebih dari 55%.

2.6 Ozon (O_3)

Ozon merupakan oksidan yang banyak digunakan karena ozon selalu menghasilkan oksigen ketika bereaksi dengan unsur lain sehingga dianggap ramah lingkungan. Ozon dapat diaplikasikan dalam bentuk cair maupun gas. Ozon dalam bentuk gas memiliki efektifitas yang lebih tinggi dibandingkan dalam bentuk larutan karena memiliki umur simpan yang lebih lama. Stabilitas ozon dalam bentuk cair dipengaruhi oleh kemurnian larutan, kemurnian rendah mempercepat penurunan ozon (Handarini et al., 2020). Ozon (O_3) adalah oksigen triatomik yang terbentuk akibat penggabungan antara radikal bebas oksigen dengan molekul oksigen (Prabha et al., 2015). Struktur ozon disajikan pada gambar 14.



Gambar 14. Struktur Ozon
(Sumber: O'Donnell et al., 2012)

Ozon merupakan oksidator kuat yang memiliki 3 atom O dengan rumus molekul O_3 . Ozon merupakan bentuk oksigen tidak stabil dan berasal dari bahasa Yunani yakni “ozein” yang artinya berbau. Ozon memiliki sifat radikal yakni mudah bereaksi dengan senyawa disekitarnya. Ozon dimanfaatkan untuk pengolahan air minum dan air limbah, sterilisasi bahan pangan mentah, serta untuk sterilisasi peralatan. Ozon dapat digunakan sebagai desinfektan yang dapat membunuh mikroorganisme lebih cepat dan memiliki tingkat oksidatif lebih kuat dibandingkan khlorin. Teknologi ozon sangat ramah lingkungan dan sering disebut kimia hijau masa depan karena sebelum atau setelah beraksi dengan unsur lain selalu menghasilkan oksigen (Syafarudin & Novia, 2013).

2.6.1 Karakteristik Ozon

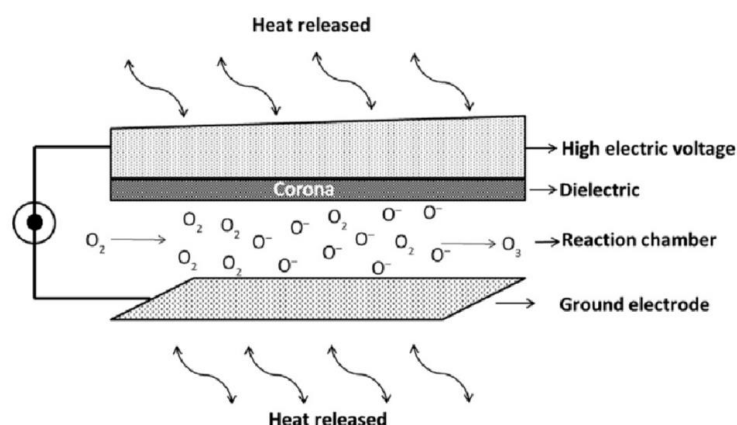
Ozon merupakan gas berbau tajam yang berwarna biru pada suhu ruang apabila dihasilkan dari udara kering dan tidak berwarna apabila dihasilkan dari oksigen murni. Bau ozon terdeteksi pada konsentrasi 0,01-0,05 ppm (Prabha et al., 2015). Ozon dapat terkondensasi menjadi cairan berwarna biru tua pada suhu $-112^{\circ}C$ (O'Donnell et al., 2012). Ozon merupakan gas yang tidak beracun, namun paparan dalam konsentrasi 0,1-1 ppm dapat menyebabkan sakit kepala, mimisan, iritasi mata, tenggorokan kering, dan iritasi sistem pernapasan (Priyanka et al., 2014).

Ozon merupakan radikal bebas dengan potensial oksidasi sebesar 2,07 V. Ozon memiliki titik didih sebesar $-111,9 \pm 0,3^{\circ}C$; titik leleh sebesar $-192 \pm 0,4^{\circ}C$; suhu kristis $-12,1^{\circ}C$; dan tekanan kritis 54,6 atm; serta memiliki densitas tinggi sebesar 2,14 g/L dibanding dengan udara sebesar 1,28 g/L pada suhu $0^{\circ}C$ (Handarini et al., 2020). Ozon memiliki sifat tidak stabil pada suhu ruang karena

mudah terurai, namun memiliki *half-life* relatif baik dalam bentuk gas (Pandiselvam, et al., 2019).

2.6.2 Pembentukan Ozon dengan Ozonizer LUSO

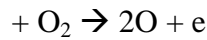
Produksi ozon dapat dilakukan dengan metode *corona discharge* yakni mengalirkan oksigen (O_2) pada sumber energi listrik bertegangan tinggi, metode fitokimia yakni dengan radiasi ultraviolet, serta metode kimia yakni mengkonversi oksigen menjadi ozon (Brodowska et al., 2018). Pada metode *corona discharge*, udara kering atau oksigen, maupun campuran dari keduanya dilewatkan pada celah 2 elektroda (tegangan tinggi dan rendah). Proses pembentukan ozon dengan metode corona discharge disajikan pada gambar 15.



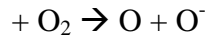
Gambar 15. Pembentukan Ozon dengan Metode Corona Discharge
(Sumber: Priyanka et al., 2014)

Menurut Syafarudin & Novia (2013), ozon dapat terbentuk melalui proses penyerapan cahaya maupun proses tumbukan. Pembentukan ozon melalui proses tumbukan terjadi apabila melewati gas oksigen (O_2) pada daerah yang memiliki tekanan tinggi. Atom dan molekul O_2 akan terlepas dari ikatannya menjadi ion-ion oksigen (O^*) yang disebut dengan ionisasi. Pembuatan ozon dengan proses tumbukan diawali dengan pembentukan oksigen radikal bebas dengan reaksi sebagai berikut.

Disosiasi



Pengikatan Disosiatif



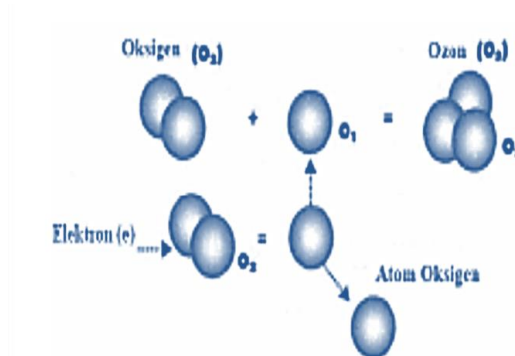
Ionisasi Disosiatif



Radikal oksigen tersebut kemudian bereaksi dengan oksigen menghasilkan ozon.



Dimana M adalah N_2 atau O_2 . Proses pembentukan gas ozon melalui tumbukan disajikan pada gambar 16.



Gambar 16. Proses Pembentukan Ozon Melalui Tumbukan
(Sumber: Syafarudin & Novia, 2013)

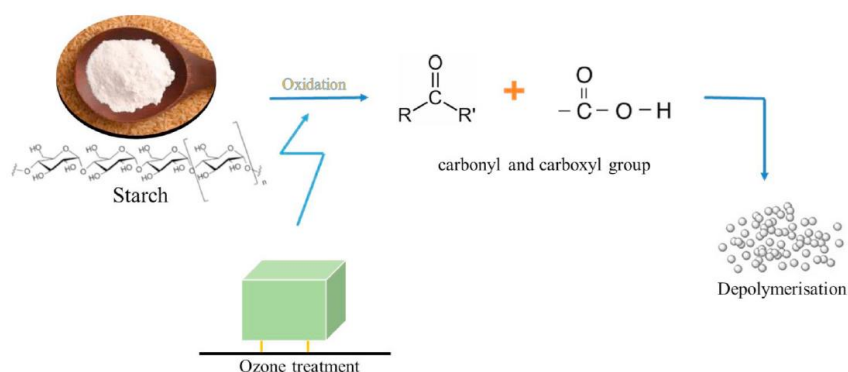
2.7 Pati Modifikasi

Pati modifikasi merupakan pengolahan pati sehingga mendapatkan pati dengan karakteristik yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan. Modifikasi pati dapat merubah *freeze thaw stability*, viskositas pasta, suhu gelatinisasi, stabilitas pengadukan, *swelling power*, kelarutan, perubahan *polimorphysm*, dan kekuatan gel (Maniglia et al., 2020). Modifikasi pati dapat dilakukan dengan cara kimia, fisik, maupun enzimatis. Metode modifikasi yang berbeda akan menghasilkan

sifat pati yang berbeda pula. Modifikasi dengan cara oksidasi dapat menghasilkan pati yang lebih jernih, viskositas dan kekuatan regangan yang lebih rendah (Koswara, 2009). Modifikasi secara fisik dapat menyebabkan perubahan struktur granula pati, sifat pasta dan gel, serta daya cerna (Bemiller & Huber, 2015).

2.7.1 Modifikasi Pati dengan Ozon

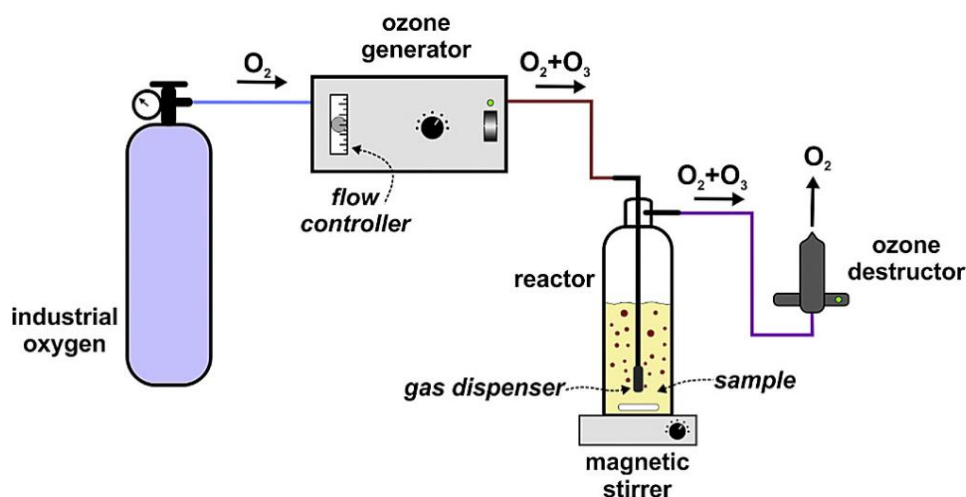
Ozon adalah salah satu metode modifikasi pati dengan cara oksidasi. Oksidasi merupakan metode modifikasi pati secara kimia yang umum digunakan. Oksidasi dapat mengubah kelompok hidroksil dalam polimer pati menjadi karboksil dan karbonil, serta molekul pati mengalami depolimerisasi oleh ikatan glikosidik. Pati teroksidasi memiliki karakteristik yang lebih baik dalam kelarutan, viskositas, retrogradasi, dan lain-lain. Oksidasi menggunakan senyawa kimia seperti hydrogen peroksida, sodium hipoklorit, dan sodium periodat dapat menghasilkan senyawa beracun. Oksidasi menggunakan ozon dapat menjadi solusi karena ramah lingkungan sehingga dapat diaplikasikan dalam industri pangan (Pandiselvam, Manikantan, et al., 2019). Mekanisme oksidasi molekul pati dengan ozon disajikan pada gambar 17.



Gambar 17. Mekanisme Oksidasi Molekul Pati dengan Ozon
(Sumber: Sivaranjani et al., 2021)

Modifikasi dengan menggunakan gas ozon sangat efisien karena dapat bereaksi dengan molekul pati bahkan dalam suhu ruang dan tanpa adanya katalis, serta tidak memerlukan kondisi yang spesifik untuk bereaksi (Pandiselvam, et al., 2019). Ozon (O_3) merupakan oksidator kuat yang ramah lingkungan karena mudah terdekomposisi menjadi oksigen. Ozon dapat diaplikasikan pada bahan pangan dalam fase gas maupun larutan. Ozon aman digunakan dalam pengolahan pangan karena sudah berstatus GRAS (*generally recognized as safe*) (Maniglia et al., 2020).

Proses ozonasi dalam penelitian ini menggunakan *ozonizer* LUSO model OZ-5G dengan metode *corona discharge*. Ozonizer LUSO model OZ-5G memiliki panjang 35 cm, lebar 25 cm, dan tinggi 55 cm. Alat ini dilengkapi dengan panel-panel pada bagian depan dan serta saluran input dan output pada bagian samping. Generator ozon ini berfungsi untuk mengubah gas oksigen menjadi ozon pada tegangan yang cukup tinggi. Prinsip kerja generator ozon ini adalah aliran oksigen dari tabung menuju generator, kemudian oksigen tersebut dihentikan oleh alian listrik tegangan tinggi sehingga terjadi molekul oksigen mengalami ionisasi dan terbentuk ozon. Ozon yang terbentuk tersebut dialirkan pada tabung *stainless steel* yang berisi sampel (Jamil, 2019). Skema proses ozonasi secara umum disajikan pada gambar 18.



Gambar 18. Skema Proses Ozonasi
(Sumber: Castanha et al., 2016)

Proses ozonasi dapat menyebabkan perubahan sifat fungsional maupun amilografi pati. Ozon akan mengoksidasi gugus hidroksil (OH) pada atom C-2, C-3, dan C-6 molekul pati menjadi gugus karbonil dan selanjutnya menjadi karboksil. Oksidasi tersebut juga menyebabkan depolimerisasi pati dan pemotongan ikatan alfa 1-4 glikosidik. Sebagian besar gugus karboksil pada molekul pati menghasilkan pasta pati yang memiliki tingkat retrogradasi yang rendah (K. Handarini et al., 2020). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Murdianto & Pranoto (2018), pati ganyong dengan modifikasi ozon menghasilkan pati ganyong dengan gugus karboksil (COOH) yang tinggi. Gugus karboksil terbentuk akibat oksidasi yang menyebabkan gugus hidroksil (OH) pada atom C nomor 2, 3, dan 6 berubah menjadi gugus karbonil, kemudian menjadi gugus karboksil. Modifikasi ozon pada pati ganyong juga dapat meningkatkan indeks warna putih dan kelarutan, serta terjadi penurunan *swelling power* dan kapasitas penyerapan minyak.

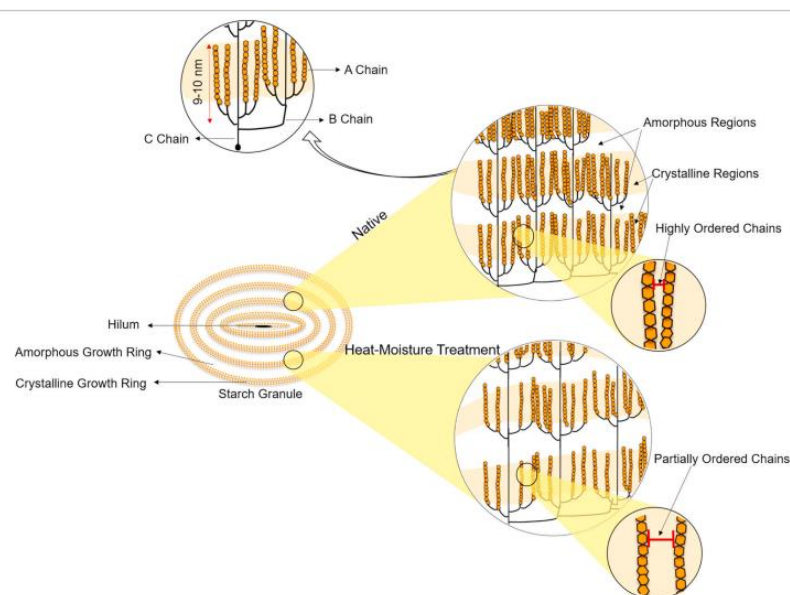
2.7.2 Modifikasi Pati dengan *Heat Moisture Treatment* (HMT)

Heat moisture treatment (HMT) merupakan salah satu metode modifikasi pati secara fisik. Modifikasi pati dengan metode fisik menghasilkan produk aman dikonsumsi karena tidak menggunakan bahan kimia, serta lebih murah dan mudah. Modifikasi pati secara fisik dapat merubah karakteristik pati seperti struktur granula dan kelarutan. Modifikasi fisik dapat dilakukan dengan panas, tekanan, maupun radiasi. Terdapat 2 jenis modifikasi fisik yakni thermal meliputi pregelatinisasi, *heat moisture*, *annealing*, dan radiasi *microwave*, serta non-thermal meliputi *ultra highpressure treatments*, *cold plasma*, *pulsed electric field*, *high-pressure homogenization*, pembekuan (*freezing*), dan *thawing*. Metode *heat moisture treatment* merupakan salah satu modifikasi secara fisik yang sering digunakan.

Heat Moisture Treatment (HMT) merupakan teknik modifikasi pati secara fisik pada kadar air rendah dan suhu diatas suhu gelatinisasi pati dalam jangka waktu tertentu (Guarás et al., 2017). *Heat moisture treatment* (HMT) merupakan modifikasi pati secara fisik yang dapat meningkatkan sifat fungsional pati alami dan dianggap lebih aman karena tidak menggunakan bahan kimia. Modifikasi pati HMT dilakukan dengan kadar air 10-35% dan suhu yang tinggi yakni 90-120°C pada waktu tertentu. HMT dipengaruhi oleh kadar air, suhu dan waktu pemanasan, serta jenis pati yang digunakan. Proses HMT dapat mengganggu struktur helik dan kristalin, namun diasosiasi kembali, serta membentuk susunan heliks ganda didaerah amorf. Pembentukan kembali struktur pati HMT menyebabkan perubahan dalam pembengkakan granula, kristalinitas, amilosa

leaching, gelatinisasi, retrogradasi, stabilitas termal, dan perubahan sifat pasta (K. S. Sandhu et al., 2020).

Suhu yang tinggi dan kelembaban yang rendah dapat meningkatkan mobilitas rantai pati dan struktur heliks sehingga mengakibatkan perubahan struktur pada daerah kristalin maupun daerah amorf (Bemiller & Huber, 2015). Energi yang diserap granula selama pemanasan pada suhu yang lebih rendah dari suhu gelatinisasinya tidak hanya membuka lipatan heliks ganda amilopektin, namun juga memfasilitasi pembentukan dan pengaturan ikatan-ikatan baru antar molekul. Mobilitas titik percabangan amilopektin meningkat sehingga meningkatkan interaksi di bagian kristalit karena modifikasi berlangsung pada fase amorfis pati berada pada kondisi *rubbery* yang bersifat fluida (Syamsir et al., 2012). Struktur granula pati alami dan setelah HMT disajikan pada gambar 19.



Gambar 19. Struktur Granula Pati Alami dan Termodifikasi HMT
(Sumber: Schafranski et al., 2021)

Proses modifikasi pati dengan cara *heat moisture treatment* (HMT) dapat meningkatkan suhu gelatinisasi sehingga daya tahan pati terhadap panas, perlakuan mekanis, dan pH asam. Proses HMT dilakukan pada kadar air terbatas

(<35%) dan pada suhu tinggi yakni diatas suhu transisi glas namun masih dibawah suhu gelatinisasi dalam periode waktu tertentu. Proses tersebut mengakibatkan perubahan konformasi molekul pati menghasilkan struktur kristalin yang lebih resisten terhadap proses gelatinisasi. Jenis pati yang digunakan sebagai bahan baku dan proses pengolahannya sangat mempengaruhi sifat fisikokimia maupun fungsional pati. Faktor yang mempengaruhi aspek jenis bahan baku antara lain sumber pati, kadar amilosa, dan tipe kristalisasi. Sedangkan faktor yang mempengaruhi aspek pengolahan antara lain suhu, kadar air, pH, dan lama waktu proses (Putra et al., 2016).

2.8 Aplikasi Pati Modifikasi

Pati termodifikasi merupakan pati yang telah mengalami modifikasi secara kimia, fisik, maupun enzimatik sehingga menghasilkan karakteristik pati yang diinginkan. Pati termodifikasi dapat diaplikasikan dalam bidang pangan seperti pada pembuatan krim salad, *mayonaise*, saus kenyal, jeli marmale, produk konfeksioneri (permen, coklat, dan lainnya), roti, *lemon curd*, pengganti gum arab dan lain-lain. Pati juga dapat diaplikasikan pada bidang non-pangan seperti industri kertas (*paper coating, surface sizing*), tekstil (*sizing, finishing, printing thickening, laundry finishing*), bahan bangunan (*wall boards, acoustic tiles, additive wood pulp, isolasi*), serta dapat digunakan sebagai bahan pencampur pada pelarut insektisida dan fungisida, bahan pencampur sabun detergen dan sabun batangan (Koswara, 2009).

Pati modifikasi dapat diaplikasikan pada industri pangan seperti produk roti, makanan ringan, maupun pangan fungsional. Pati modifikasi dapat digunakan sebagai pengganti lemak (*fat replacer*), pembentuk tekstur, serta dapat menjadi

media enkapsulasi *flavor* (Abbas et al., 2010). Pati modifikasi dengan cara oksidasi umumnya digunakan sebagai bahan pada pabrik kertas bermutu tinggi (Koswara, 2009). Pati modifikasi HMT dapat digunakan dalam industri makanan seperti mie, adonan roti dan kue, campuran isian pie, ataupun pengental. Pati termodifikasi HMT juga dapat berpotensi digunakan sebagai bahan termoplastik dan resin (Bemiller & Huber, 2015).

Pati termodifikasi dapat digunakan pada formulasi produk pangan sesuai karakteristik yang diinginkan. Pati termodifikasi pragelatinisasi memiliki sifat larut dalam air dingin dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengisi pada produk sup instan, pudding instan, saus, roti, serta makanan beku. Pati termodifikasi hidrolisis asam memiliki viskositas rendah, retrogradasi tinggi, dan gel yang kuat sehingga dapat dimanfaatkan pada produk gum, permen, serta formulasi pangan cair. Pati eter dapat digunakan sebagai penstabil pada produk sup, pudding, dan makanan beku. Pati ester dapat digunakan sebagai penstabil, bahan pengisi, dan penjernih, serta dapat digunakan pada produk permen dan sebagai emulsi. Pati teroksidasi dapat digunakan sebagai penstabil, perekat, penjernih serta dapat ditambahkan pada formulasi pangan, gum, dan permen (Herawati, 2011).

Pati dapat diaplikasikan pada bidang farmasi sebagai eksipien meliputi bahan pengisi, pengikat, disintergan, dan lubrikan. Eksipien merupakan bahan yang ditambahkan kedalam formulasi sediaan farmasi selain zat aktif. Eksipien harus memiliki sifat tidak toksik, inert, stabil fisik dan kimia (tersendiri ataupun dikombinasikan dengan zat aktif), serta harga relatif murah. Pati dapat dimanfaatkan dalam produksi tablet karena memiliki sifat inert, murah, serta dapat digunakan sebagai pengisi, pengikat, desintegran, dan glidan. Pati digunakan

sebagai eksipien karena dapat bercampur tetapi memiliki sifat inert dengan sebagian besar bahan obat. Pati alami kurang baik digunakan sebagai eksipien dalam tablet karena memiliki daya alir dan kompaktilitas yang kurang baik, serta mengandung amilosa yang tinggi sehingga bersifat kering, daya lekat rendah, dan cenderung menyerap air lebih banyak (Sakinah & Kurniawansyah, 2013).

Pati dapat diaplikasikan sebagai bahan pembuatan plastik *biodegradable* (bioplastik). Bioplastik adalah plastik yang terbuat dari biopolimer dengan penambahan *plasticizer* yang dapat terurai oleh mikroorganisme pengurai. Pati yang memiliki kadar amilosa yang tinggi dapat menghasilkan plastik *biodegradable* yang memiliki sifat yang kuat dan lentur karena struktur amilosa dapat membentuk ikatan hidrogen antar molekul glukosa penyusunnya. Ikatan hidrogen tersebut dapat membentuk jaringan tiga dimensi yang dapat memerangkap air selama pemanasan sehingga dapat menghasilkan sifat gel yang kuat (Nisah, 2018).

Pati yang memiliki struktur nano banyak dimanfaatkan di industri karena memiliki daya serap, kemampuan sebagai bahan pelapis (*nano encapsulation*), *nano emulsifier*, maupun *nano stabilizer* yang lebih baik (Herawati, 2013). Pati nanokristal dapat diaplikasikan sebagai penguat atau pengisi polimer sintesis/plastik, bahan tambahan pangan, komposit *biodegradable*, pembawa atau *carrier* obat, pembawa bahan aktif pangan, serta dapat digunakan dalam industri kertas, sebagai *surface sizing*, *coating* atau perekat *biodegradable* (Winarti et al., 2011). Pati nanopartikel dapat digunakan sebagai nanokomposit, emulsi *pickering*, komponen bioaktif pada makanan dan *nanocarrier* obat (Sun, 2018).