

PATI TERMODIFIKASI DARI UMBI-UMBIAN LOKAL

Dan Aplikasinya Untuk Produk Pangan

Tentang Penulis

Dedin Finatsiyatull Rosida lahir di Pasuruan Jawa Timur pada tahun 1970. Penulis menyelesaikan studi tingkat sarjana di Jurusan Teknologi Pertanian Universitas Jember (UNEJ) pada tahun 1993. Kemudian pada tahun 1997 penulis melanjutkan studi magister di jurusan Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga (UNAIR) dan dapat menyelesaikan pada tahun 1997. Pada Tahun 2009 penulis dapat menyelesaikan studi Program Doktor di Jurusan Ilmu Pangan Institut Pertanian Bogor (IPB).

Karier pekerjaan sebagai dosen di jurusan Teknologi Pangan UPN "Veteran" Jawa Timur mulai tahun 1994. Penulis mengampu beberapa mata kuliah seperti Kimia Pangan, Analisa Pangan, Biokimia Pangan Makanan Fungsional, dan Pengembangan Produk Pangan . Penulis banyak melakukan penelitian dan pengabdian pada masyarakat. Penulis juga aktif menulis buku dan publikasi di berbagai Jurnal Nasional dan Internasional dengan banyak perhatian pada fenomena reaksi kimia dalam bahan dan produk pangan serta manfaat pangan fungsional dari bahan lokal Indonesia.

Buku Ajar

PATI TERMODIFIKASI DARI UMBI-UMBIAN LOKAL

Dan Aplikasinya Untuk Produk Pangan



Dedin Finatsiyatull Rosida

BUKU AJAR
MODIFIKASI PATI DARI
UMBI-UMBIAN LOKAL
DAN APLIKASINYA UNTUK PRODUK
PANGAN

Dedin Finatsiyatull Rosida



2021

**PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA
KATALOG DALAM TERBITAN (KDT)**

**Buku Ajar Modifikasi Pati dari Umbi-Umbian Lokal dan
Aplikasinya untuk Produk Pangan**

Penulis

Dedin Finatsiyatull Rosida

Desain Cover

Azizi Nur Maysaroh

Layout

Yulia Kunthi

Mohammad Soeroso, BE

Copyright © 2021 PMN Surabaya

Diterbitkan & Dicitak Oleh

CV. Putra Media Nusantara (PMN), Surabaya 2021

Jl. Griya Kebraon Tengah XVII Blok FI - 10, Surabaya

Telp/WA : 085645678944

E-mail : penerbitpmn@gmail.com

Anggota IKAPI no.125/JTI/2010

ISBN : 978-623-6611-51-7

Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang

Ketentuan Pidana Pasal 112 - 119

Undang-undang Nomor 28 Tahun 2014

Tentang Hak Cipta.

**Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin
tertulis dari penerbit**

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah yang sudah diberikan sehingga kami sehingga bisa menyelesaikan buku ajar yang berjudul “*Modifikasi Pati dari Umbi-Umbian Lokal dan Aplikasinya untuk Produk Pangan*”. Tujuan dari penulisan buku ini untuk membantu mahasiswa dalam memahami tentang reaksi modifikasi pati dan implementasinya untuk produk pangan.

Buku ajar ini mencoba membantu mahasiswa dalam memahami tentang reaksi modifikasi pati. Selain itu beberapa konsep tentang beberapa metode modifikasi pati dan manfaatnya juga dibahas dalam buku ini. Buku ajar ini juga menerangkan tentang implementasi pati termodifikasi pada aneka produk pangan serta efek penggunaannya.

Buku ajar ini lebih ditujukan kepada mahasiswa Teknologi Pangan yang sedang mengambil mata kuliah Kimia Pangan. Oleh karena itu capaian pembelajaran, beberapa contoh dan latihan yang ada pada buku ajar ini sebagian besar ditujukan untuk mahasiswa.

Akhirnya penulis tak lupa mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun buku ajar ini. Mengingat ketidaksempurnaan buku ajar ini, penulis juga akan berterima kasih atas berbagai masukan dan kritikan demi kesempurnaan buku ajar ini di masa datang.

Surabaya, November 2021

Tim Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
1. KARBOHIDRAT SEBAGAI SUMBER PANGAN	1
A. Zat Gizi Makanan	3
B. Status Gizi	4
C. Diversifikasi Pangan Lokal	6
D. Sumber Karbohidrat	7
E. Peran Karbohidrat untuk Tubuh	9
F. Jalur Reaksi	12
G. Penyakit Yang Disebabkan oleh Kelainan pada Metabolisme Karbohidrat	15
H. Metabolisme Karbohidrat di dalam Tubuh Manusia	23
RANGKUMAN	26
2. PATI DAN SUMBER PATI	29
A. Komponen Utama Penyusun Pati	32
B. Bentuk dan Ukuran Granula Pati	37
C. Peran Pati dalam Industri	40
D. Gelatinisasi Pati	42
E. Pati Termodifikasi	45
F. Sumber Pati	49
RANGKUMAN	61

3. SIFAT DAN KARAKTERISTIK PATI	71
A. Sifat Fisika Kimiawi Pati	71
B. Karakteristik Pati	78
RANGKUMAN	81
4. MODIFIKASI PATI SECARA FISIK	85
A. Tujuan Modifikasi Pati	87
B. Metode Modifikasi Pati	89
RANGKUMAN	103
5. MODIFIKASI PATI SECARA KIMIA	109
A. Modifikasi Pati Secara Kimia	109
B. Modifikasi Pati dengan Oksidasi	117
C. Modifikasi Pati dengan Metode <i>Cross-linking</i>	121
D. Modifikasi Pati Secara Eterifikasi	136
RANGKUMAN	137
6. MODIFIKASI PATI SECARA MIKROBIOLOGI / FERMENTASI	141
A. <i>Lactobacillus plantarum</i>	143
B. Pengaruh Fermentasi terhadap Tepung Termodifikasi	145
C. Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan Bakteri Asam Laktat	150
RANGKUMAN	152
7. MODIFIKASI PATI SECARA ENZIMATIS	157
A. Penguraian Pati dengan Enzim α -Amylase	166
B. Hidrolisis Pati	169
C. Maltodekstrin	175

D. Maltodekstrin dari Umbi Kimpul dan Talas	183
RANGKUMAN	196
 8. PENGGUNAAN TEPUNG DAN PATI	
TERMODIFIKASI PADA BEBERAPA PRODUK	
PANGAN	201
A. Tepung MOCAF	203
B. Mie Kimpul menggunakan Tepung Kimpul Termodifikasi BAL	203
C. <i>Cookies Kimpul</i> dengan Tepung Termodifikasi <i>Autoclaving Cooling</i>	209
D. <i>Cookies</i> dengan Tepung Kimpul Termodifikasi dengan BAL	214
E. Biskuit dengan Penggunaan Tepung Komposit Tepung Kimpul Termodifikasi, Tepung Jagung, dengan Tepung Kedelai	216
F. Penggunaan Maltodekstrin Kimpul pada Minuman Serbuk Jeruk Limau dan Mengkudu	222
G. Penggunaan Maltodekstrin Talas pada Minuman Serbuk Daun Alur	227
H. Penggunaan Pati Pregelatinisasi dan Maltodekstrin Kimpul pada Tablet Sirih	230
I. Flakes dari Tepung Jagung dan Bonggol Pisang Mas (<i>Musa acuminata Colla</i>) Termodifikasi	234
J. Maltodekstrin dari Pati Uwi Putih (<i>Dioscorea</i> <i>alata</i>) sebagai Enkapsulan Bubuk Cabai Rawit (<i>Capsicum frutescens L.</i>)	238
K. Pati Kimpul Termodifikasi pada <i>Meat Analog</i>	241
RANGKUMAN	246

1.

KARBOHIDRAT SEBAGAI SUMBER PANGAN

Capaian Pembelajaran :

1. Mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan gambaran tentang kondisi, kendala, potensi dan peluang bidang pangan di Indonesia;
2. Mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan pentingnya diversifikasi pangan berbasis pangan lokal;
3. Mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan gambaran tentang karbohidrat dan jenis-jenisnya serta sumber-sumbernya;

Manusia memerlukan bahan pangan untuk melangsungkan kehidupannya. Sehebat apapun makhluk, dia tidak akan mampu hidup apabila tidak mendapatkan makanan dalam jangka waktu tertentu. Begitu pentingnya pangan sehingga pangan menjadi suatu kebutuhan dasar hidup dan menjadi hak asasi setiap individu. Semua pemerintahan yang baik di dunia akan berusaha menjamin ketersediaan pangan bagi masyarakatnya. Seringkali isu pangan menjadi salah satu isu strategis yang mewarnai dinamika perkembangan ekonomi dan politik setiap bangsa. Hal tersebut sebenarnya tidaklah berlebihan, karena pangan adalah salah satu kebutuhan dasar utama setiap individu untuk mempertahankan kehidupannya. Tanpa pangan setiap mahluk akan mengalami kematian.

Sebenarnya ada beberapa alasan mengapa pembangunan pangan menjadi sangat penting untuk diperhatikan oleh pemerintah. Alasan pertama adalah karena pangan merupakan kebutuhan dasar utama dan bagian dari hak asasi setiap individu manusia. Sehingga Pemerintah wajib untuk menjamin ketersediaan pangan bagi rakyatnya. Alasan kedua, karena pangan yang bermutu, aman dan cukup merupakan prasyarat utama untuk mewujudkan kualitas kesehatan masyarakat yang penting bagi pembangunan SDM.

Alasan ketiga, karena pangan adalah salah satu komoditas perdagangan utama, sehingga ketersediaan pangan wajib terjangkau oleh daya beli masyarakat dan berperan penting dalam membangun perekonomian lokal antar daerah. Alasan keempat, apabila pemenuhan kebutuhan pangan penduduk terpenuhi dari produksi dalam negeri maka akan berdampak pada peningkatan ekonomi masyarakat, terbukanya kesempatan kerja, kesempatan usaha, meningkatnya pendapatan, devisa dan kesejahteraan bagi seluruh masyarakat di Indonesia.

Secara definisi pangan adalah segala apapun yang dapat dimakan dan minum serta bermanfaat bagi kelangsungan hidup setiap individu manusia, yang bersumber dari nabati atau hewani. Produk pangan bisa berasal dari produk pertanian, perkebunan, perikanan, peternakan atau pun kehutanan. Baik berupa produk olahan industri maupun masih berupa komoditas alamiahnya. Selama bahan tersebut bisa dijadikan sebagai sumber nutrisi maka sudah cukup di kategorikan sebagai bahan pangan.

Menurut Peraturan Pemerintah RI nomor 28 tahun 2004, “Pangan adalah segala sesuatu yang berasal dari sumber hayati dan air, baik yang diolah maupun yang tidak diolah, yang diperuntukkan sebagai makanan atau minuman bagi konsumsi manusia, termasuk bahan tambahan pangan, bahan baku pangan, dan bahan lain yang digunakan dalam proses penyiapan, pengolahan, dan atau pembuatan makanan atau minuman”.

Membangun ketahanan pangan yang kuat adalah tantangan utama bagi pemerintah Indonesia. Pemerintah harus mampu membangun kedaulatan pangan yaitu dengan mencukupi kebutuhan pangan rakyat yang terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk yang tinggi, sekitar 1,1 persen per tahun atau 2,5 juta orang. Tingginya laju pertumbuhan penduduk memunculkan masalah baru, yaitu berkurangnya lahan-lahan produktif yang dapat digunakan untuk memproduksi komoditas pangan. Lahan produktif yang beralih fungsi menjadi area pemukiman berdampak kepada

berkurangnya lahan-lahan pertanian, sehingga produksi komoditas pangan pun akan semakin berkurang. Produksi pangan yang masih belum mampu memenuhi jumlah kebutuhan pangan di masyarakat seringkali menjadi alasan pemerintah untuk melakukan impor pangan dari luar negeri. Padahal ketergantungan pada impor yang terus menerus bisa mengakibatkan devisa negara menjadi tergerus.

Di lain pihak kita menghadapi kendala perubahan iklim yang sering tidak menentu. Hal tersebut bisa menjadi potensi ancaman bagi kestabilan produksi pangan di Indonesia, karena produk pangan yang notabene-nya bersumber dari produk hayati sangat bergantung kepada keadaan iklim dilingkungannya.

Sebenarnya Indonesia memiliki potensi besar untuk mewujudkan swasembada pangan guna mencapai ketahanan pangan. Ketersediaan tanah di Indonesia cukup luas dan subur, dan tersebar di berbagai pelosok negeri. Banyak daerah di Indonesia yang bisa dijadikan sentra-sentra produk pangan, misalnya sentra produksi padi, jagung, umbi-umbian, sagu dan tanaman pangan lainnya. Secara geografis, Indonesia berada di wilayah tropis yang memiliki curah hujan yang tinggi dan cocok bagi berbagai varietas tanaman. Itu adalah salah satu kekuatan atau modal utama dalam membangun swasembada pangan.

A. Zat Gizi Makanan

Makanan merupakan salah satu kebutuhan pokok yang dibutuhkan tubuh setiap hari dalam jumlah tertentu sebagai sumber energi dan zat gizi. Kekurangan atau kelebihan dalam jangka waktu yang lama akan menyebabkan gangguan kesehatan.

Zat gizi adalah suatu bahan berupa ikatan kimia yang diperlukan oleh tubuh untuk menghasilkan energi, membangun dan memelihara jaringan, serta mengatur proses-proses kehidupan. Disamping untuk kesehatan, status gizi seringkali dikaitkan dengan potensi ekonomi seseorang, karena gizi berkaitan dengan perkembangan otak, kemampuan belajar, dan produktivitas kerja.

Berdasarkan jumlah yang dibutuhkan oleh tubuh, zat gizi terbagi menjadi dua, yaitu zat gizi makro dan zat gizi mikro. Zat gizi makro adalah zat gizi yang dibutuhkan dalam jumlah besar dengan satuan gram. Zat gizi yang termasuk kelompok zat gizi makro adalah karbohidrat, lemak, dan protein, namun karena sebagian besar makanan terdiri atas karbohidrat, maka karbohidratlah yang merupakan sumber utama energi bagi tubuh manusia. Sedang zat gizi mikro adalah zat gizi yang dibutuhkan oleh tubuh dalam jumlah kecil atau sedikit tetapi ada dalam makanan. Zat gizi yang termasuk kelompok zat gizi mikro adalah mineral dan vitamin. Zat gizi mikro menggunakan satuan mg (miligram) untuk sebagian besar mineral dan vitamin.

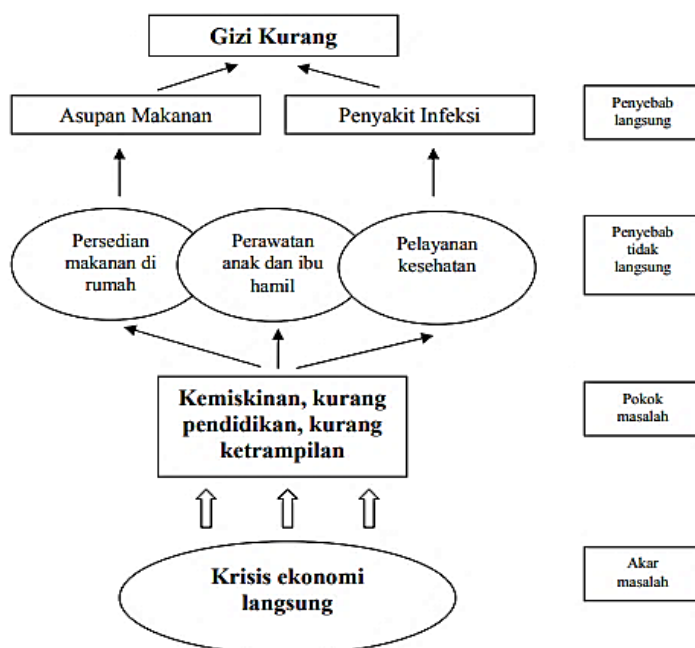
Standar kecukupan makan atau *Recommended Dietary Allowance* (RDA) adalah ukuran untuk mengukur tingkat konsumsi makanan. Untuk Indonesia, Angka Kecukupan Gizi (AKG) yang digunakan saat ini secara nasional adalah hasil Widyakarya Nasional Pangan dan Gizi tahun 2004 (Supriasa, 2002). Rata rata AKG penduduk Indonesia untuk kebutuhan energi adalah sekitar 2.170 kilokalori (kkal) dan 48 gram protein.

Masyarakat individu di sarankan untuk mengkonsumsi bahan pangan secara bervariasi dan imbang supaya dapat memenuhi standar AKG juga mengandung berbagai variasi bahan makanan. Pola makan seimbang dan beragam dapat mengacu kepada menu 4 Sehat 5 Sempurna dan Pedoman Umum Gizi Seimbang (PUGS). Pola menu 4 Sehat 5 Sempurna adalah pola menu seimbang yang bila disusun dengan baik akan mengandung semua zat gizi yang dibutuhkan oleh tubuh, yaitu mengandung karbohidrat, protein, mineral dan vitamin yang diperlukan oleh tubuh.

B. Status Gizi

Status gizi masyarakat dapat dijadikan salah satu indikator kesejahteraan dan kesehatan masyarakat. Pembangunan kedaulatan pangan adalah salah satu pilar utama dalam pembangunan Sumber Daya

Manusia yang berkualitas. Meningkatkan kualitas dan produktivitas sumber daya manusia merupakan bagian tak terpisahkan dari pembangunan nasional jangka panjang. Sehingga upaya pemenuhan pangan harus diupayakan secara adil dan merata untuk seluruh lapisan masyarakat. Rakyat sehat maka negara menjadi kuat. Keadaan gizi yang baik merupakan syarat utama kesehatan dan berdampak terhadap kualitas sumber daya manusia. Keadaan Malnutrisi atau Gizi kurang dapat ditentukan berdasarkan indikator antropometrik dari berat badan menurut tinggi atau panjang tubuh (BW / TB) dengan z-skor BB / TB < -3 SD dan ada tidaknya odema sebagaimana standar dari WHO (Organisasi Kesehatan Dunia).



Gambar 1.1 Skema Faktor Penyebab Gizi Kurang
(Sumber: Persagi, 1999.)

Faktor penyebab malnutrisi (Kurang Gizi) dapat dikelompokkan menjadi 2 penyebab yaitu penyebab langsung dan tidak langsung. Penyebab langsung malnutrisi meliputi kurangnya kuantitas dan kualitas makanan yang dikonsumsi dan karena menderita suatu

penyakit infeksi, sedangkan penyebab tidak langsung malnutrisi adalah ketersediaan makanan di dalam rumah tangga, kemiskinan, pola asuh yang kurang tepat, dan pendidikan yang rendah. Faktor konsumsi makanan merupakan penyebab langsung dari kejadian malnutrisi pada bayi. Hal ini disebabkan karena konsumsi makanan yang tidak memenuhi jumlah dan komposisi nutrisi yang memenuhi persyaratan gizi seimbang yang beragam, sesuai kebutuhan, bersih dan aman sehingga akan berdampak langsung pada pertumbuhan dan perkembangan bayi. Faktor penyakit infeksi terkait dengan tingginya insiden penyakit, terutama diare, cacingan dan penyakit pernapasan akut (ISPA). Faktor kemiskinan sering disebut sebagai akar dari malnutrisi, yang mana faktor tersebut erat kaitannya dengan daya beli makanan dalam rumah tangga sehingga berdampak pada pemenuhan nutrisi.

C. Diversifikasi Pangan Lokal

Untuk menciptakan ketahanan pangan yang tangguh, perlu melakukan diversifikasi pangan berbasis lokal. Di masa lalu, pemerintah kita berfokus pada beras sebagai makanan utama bagi rakyat. Padahal Indonesia sebenarnya memiliki banyak kekayaan hayati, yang bisa dijadikan sumber makanan. Ketergantungan masyarakat pada hanya satu sumber makanan dapat menyebabkan krisis pangan. Masyarakat kita sangat bergantung pada beras. Belum makan nasi maka dianggap belum makan. Jika ketersediaan beras di negara kita sedikit, maka bisa menyebabkan terjadinya kelaparan. Padahal sebenarnya banyak sumber makanan lain di Indonesia selain beras yang juga memiliki nilai gizi tinggi.

Indonesia adalah negara dengan populasi yang besar. Setiap tahun populasi Indonesia bertambah. Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan populasi, kebutuhan akan makanan juga meningkat. Sayangnya peningkatan populasi dan ketersediaan makanan tidak selalu berjalan seiring. Ada banyak hal yang menyebabkan suatu daerah terancam oleh krisis pangan seperti pengurangan petani, ter-

batasnya sumber makanan, terbatasnya lahan, hingga ketahanan pangan yang cocok untuk konsumsi publik. Oleh karena itu perlu adanya diversifikasi pangan berbasis lokal. Langkah utama yang diambil adalah mempromosikan produksi dan konsumsi pangan lokal melalui pengembangan berbagai program di tingkat akar rumput dengan mempromosikan penggunaan pekarangan dengan menggunakan sistem pertanian terintegrasi, baik rumah tangga, kelompok, dan area yang kemudian dikenal sebagai program Kawasan Rumah Pangan Lestari (KRPL).

Beberapa faktor yang menjadi penghambat diversifikasi pangan lokal adalah persepsi masyarakat yang menganggap rasa beras lebih enak dibandingkan sumber pangan lainnya dan mudah untuk diolah, konsep makan yang salah yaitu merasa belum makan kalau belum makan nasi, persepsi di masyarakat yang menganggap ketersediaan beras sebagai komoditas unggulan lebih melimpah dibanding komoditas pangan lainnya, dan harga beras yang dianggap lebih murah. Faktor penghambat lainnya adalah karena pendapatan masyarakat yang masih rendah, kurangnya teknologi pengolahan dan promosi pangan non beras, kebijakan pemerintah tentang pangan yang masih tumpang tindih, serta kebijakan impor yang sangat intensif pada gandum dan promosi produk mi instan. Keberhasilan kebijakan diversifikasi pangan dinilai sangat penting tidak hanya untuk meningkatkan kualitas sumberdaya manusia, tetapi juga berdampak positif pada ketahanan pangan, pendapatan petani dan agroindustri pangan serta menghemat devisa.

D. Sumber Karbohidrat

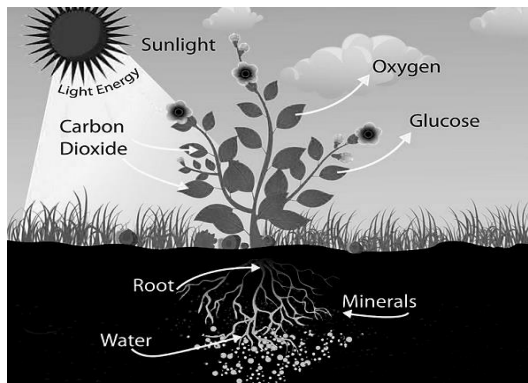
Sebagian besar makanan yang kita makan adalah karbohidrat. Contoh dari berbagai jenis makanan yang mengandung karbohidrat diantaranya adalah nasi, jagung, sagu, kentang, gandum, roti-roti-an, dan masih banyak makanan lainnya. Makanan yang mengandung karbohidrat tersebut selanjutnya akan di proses di sistem pencernaan manusia, kemudian di uraikan menjadi bentuk yang paling

sederhana berupa glukosa oleh enzim-enzim pencernaan. Glukosa selanjutnya dimetabolisme dan digunakan oleh sel-sel untuk menghasilkan energi bagi kehidupan (ATP). Selain sebagai sumber energi, glukosa juga berguna untuk keperluan fisiologis lainnya yang diperlukan oleh tubuh, agar tubuh dapat berfungsi secara normal.

Karbohidrat berasal dari kata karbo yang berarti unsur karbon (C) dan hidrat yang berarti unsur air (H_2O), tetapi bukan berarti atom karbon mengikat air, melainkan itu hanya pendekatan rumus molekul. Kenyataannya, atom karbon mengikat atom H dan molekul OH, bukan mengikat air (H_2O).

Senyawa karbohidrat terbentuk dari molekul karbon, hidrogen dan oksigen. Rumus umumnya adalah $C_x(H_2O)_n$. Secara struktur, karbohidrat memiliki 4 gugus, yaitu gugus hidrogen (-H), gugus hidroksil (-OH), gugus keton ($C=O$) dan gugus aldehida (-CHO). Karbohidrat juga didefinisikan sebagai polihidroksi-aldehid atau polihidroksi-keton. Karbohidrat adalah hidrat dari karbon atau sakarida yang dalam bahasa Yunani disebut sakcharon yang berarti gula. Dengan pengertian tersebut, maka semua hasil pertanian yang kandungan utamanya karbohidrat dapat dijadikan sebagai bahan pangan pokok.

Energi yang terkandung dalam karbohidrat itu pada dasarnya berasal dari energi matahari. Karbohidrat dalam hal ini glukosa, dibentuk dari karbon dioksida dan air dengan bantuan sinar matahari dan klorofil dalam daun. Selanjutnya glukosa yang terjadi diubah menjadi amilum dan disimpan pada bagian lain, misalnya pada buah atau umbi.



Gambar 1.2 Ilustrasi Proses Pembentukan Glukosa pada Tanaman.

Tanaman sumber karbohidrat utama di Indonesia yang dikenal dan sudah berkembang adalah padi, jagung, ubi kayu, ubi jalar, sagu dan kentang. Sumber lain yang juga sudah dikenal tetapi pemanfaatannya belum berkembang antara lain adalah sorgum, jewawut, jali, uwi, suweg, kimpul, gadung, garut, ganyong, sukun, pisang muda, talas, dan masih banyak lagi. Potensi komoditas ini untuk menggantikan atau substitusi beras dan terigu dapat diketahui berdasarkan data kesetaraan kandungan karbohidrat atau kalorinya.



Gambar 1.3 Berbagai Makanan Sumber Karbohidrat

E. Peran Karbohidrat untuk Tubuh

Karbohidrat memegang peranan vital sebagai sumber energi yang diperlukan oleh tubuh untuk melakukan berbagai aktivitas. Cada-

ngan kelebihan karbohidrat akan di simpan dalam glikogen otot. Glikogen otot adalah substrat yang dominan digunakan sebagai penghasil utama energi bagi tubuh manusia.

Untuk mengoptimalisasi kadar glikogen otot, porsi diet makanan haruslah tinggi karbohidrat (Williams dan Rollo 2015). Tubuh yang relatif besar tentunya akan lebih optimal dan meningkat apabila diberikan diet makanan tinggi karbohidrat untuk menunjang performa kita dalam melakukan berbagai aktivitas fisik. Ketika asupan makanan yang rendah karbohidrat dikonsumsi, maka cadangan karbohidrat di dalam tubuh akan menurun secara drastis karena digunakan untuk memenuhi kebutuhan ATP yang diperlukan saat melakukan aktivitas fisik yang memerlukan energi tinggi. Selain sebagai sumber energi, glukosa juga diperlukan bagi sel-sel tubuh untuk memenuhi kebutuhan fisiologis lainnya, supaya tubuh bisa bekerja secara normal. Diantaranya adalah: Glukosa digunakan untuk menghasilkan ribosa, yang berperan penting sebagai bahan untuk sintesis nukleotida, yang merupakan bahan pembentuk *ribonucleic acid* (RNA) maupun *deoxyribonucleic acid* (DNA) serta sebagai sumber *Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate* (NADPH). RNA dan DNA merupakan komponen penting untuk sintesis protein, sedangkan NADPH berperan penting untuk sintesis asam lemak. Di jaringan otak, glukosa adalah sumber energi utama bagi otak. Glukosa juga merupakan bahan baku untuk sintesis senyawa alfa ketoglutarat, yang dihasilkan melalui jalur siklus asam sitrat. Alfa ketoglutarat ini sangat penting untuk proses eliminasi racun amoniak (NH_3) yang bersifat racun bagi sel saraf. Selain itu, glukosa juga berperan penting sebagai bahan dasar untuk pembentukan neurotransmitter yang penting untuk komunikasi antar sel saraf. Selain itu juga glukosa diperlukan oleh sel darah merah untuk membentuk senyawa biphosphoglisarat. Biphosphoglisarat berperan penting untuk proses disosiasi atau pelepasan oksigen dari hemoglobin dalam proses transportasi oksigen di jaringan. Sel darah merah juga memerlukan glukosa sebagai sumber NADPH, yang penting untuk

mereduksi glutathion teroksidasi (G-S-S-G) menjadi glutathion tereduksi (G-SH), yang sangat berperan dalam melindungi sel darah merah dari serangan radikal bebas maupun *Reactive Oxygen Species* (ROS).

1) Sumber energi

Karbohidrat memiliki fungsi utama sebagai sumber energi. Selain dari karbohidrat, energi juga bisa dihasilkan dari lemak dan protein. Meskipun demikian, energi yang dihasilkan dari karbohidrat, terutama dalam bentuk glukosa, merupakan sumber energi yang bisa cepat digunakan tubuh, sedangkan energi yang didapatkan dari lemak dan protein harus mengalami konversi terlebih dahulu menjadi glukosa. Satu gram karbohidrat menyediakan 4 kilokalori.

2) Pemberi rasa manis

Karbohidrat, khususnya mono- dan disakarida, memberikan rasa manis pada makanan. Tingkat kemanisan karbohidrat bervariasi. Untuk membandingkan tingkat kemanisan beragam jenis gula, biasanya digunakan sukrosa yang merupakan gula yang biasa kita konsumsi sehari-hari. Dibandingkan dengan sukrosa, fruktosa memiliki tingkat kemanisan 1,7 kalinya, dan merupakan jenis gula dengan tingkat kemanisan tertinggi.

3) Pengatur metabolisme lemak

Energi adalah mutlak diperlukan tubuh setiap saat karena setiap saat tubuh mengalami pergerakan dan membutuhkan energi. Dalam kondisi kekurangan gula, energi akan didapatkan dari hasil oksidasi lemak yang tidak sempurna sehingga akan terbentuk bahan-bahan keton. Hal ini akan menimbulkan ketosis yang merugikan tubuh.

4) Menghemat fungsi protein

Energi merupakan kebutuhan utama bagi tubuh sehingga harus selalu tersedia. Di samping digantikan oleh lemak, dalam kondisi kekurangan karbohidrat, protein akan dirombak untuk menghasilkan energi. Sementara itu, protein memiliki fungsi khusus yang

tidak bisa digantikan oleh zat gizi lain, yaitu sebagai zat pembangun untuk memperbaiki dan menggantikan sel-sel tubuh yang rusak. Dengan demikian, jika persediaan protein yang ada digunakan untuk menghasilkan energi, maka fungsi utamanya sebagai pembangun akan menjadi terhambat. Sebaliknya, jika karbohidrat makanan tercukupi, maka protein akan digunakan sebagai zat pembangun.

5) Sumber energi utama bagi otak dan susunan syaraf pusat

Glukosa merupakan satu-satunya sumber energi yang bisa digunakan dalam menjalankan fungsi kerja otak dan susunan syaraf pusat. Untuk itu, ketersediaan glukosa mutlak diperlukan untuk menjalankan fungsi kerja organ tersebut. Demikian juga sebaliknya, kekurangan glukosa akan menyebabkan kerusakan otak ataupun kelainan syaraf yang tidak dapat diperbaiki.

6) Membantu pengeluaran feses

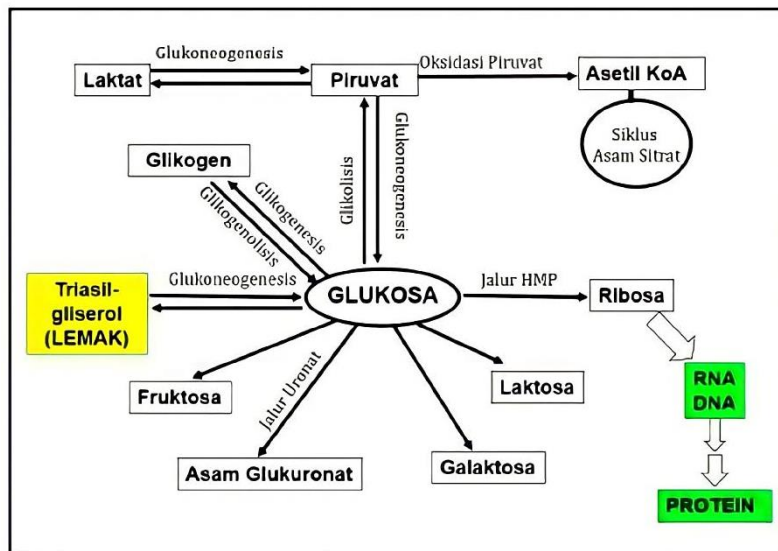
Karbohidrat tertentu, yaitu selulosa dalam serat makanan, dapat mengatur gerak peristaltik usus. Di samping itu, karbohidrat hemiselulosa dan pektin mampu menyerap banyak air dalam usus besar sehingga memberi bentuk pada feses yang akan dikeluarkan. Dengan demikian karbohidrat berperan dalam mencegah terjadinya konstipasi (susah buang air besar).

F. Jalur Reaksi

Pada metabolisme karbohidrat terdapat berbagai jalur reaksi antara lain yaitu jalur glikolisis, oksidasi piruvat, dan siklus asam sitrat. Ketiga jalur metabolisme ini merupakan jalur reaksi oksidasi glukosa yang berperan penting sebagai jalur penghasil energi. Hasil pencernaan makanan berupa glukosa akan diserap dan masuk dalam darah. Selanjutnya glukosa akan didistribusikan ke seluruh tubuh, terutama ke otak, serta hati, otot, sel darah merah, ginjal, jaringan lemak dan ke jaringan lainnya. Tubuh sangat membutuhkan glukosa terutama untuk menghasilkan energi. Tubuh manusia

juga bisa menghasilkan glukosa dari senyawa non karbohidrat, antara lain dari lemak (gliserol) serta laktat, melalui jalur reaksi glukoneogenesis. Glukoneogenesis merupakan upaya tubuh untuk meningkatkan kadar glukosa dalam darah. Sebagian besar proses glukoneogenesis terjadi di hati sehingga bila terjadi penyakit hati yang berat, dapat terjadi gangguan proses glukoneogenesis yang mengakibatkan penurunan kadar glukosa darah. Sebagian glukosa yang masuk ke dalam hati dan otot skeletal akan diubah menjadi glikogen, melalui proses glikogenesis. Glikogen merupakan simpanan karbohidrat di hati dan otot skeletal yang berperan sebagai cadangan energi saat tidak ada asupan makanan. Apabila diperlukan, maka glikogen akan dipecah melalui proses glikogenolisis, untuk menghasilkan glukosa sebagai sumber energi. Glukosa di hati sebagian juga diubah menjadi asam glukuronat melalui jalur uronat. Asam glukuronat ini berperan penting untuk proses konjugasi bilirubin. Bilirubin yang terkonjugasi menyebabkan bilirubin menjadi larut dalam air, sehingga dapat diekskresikan ke dalam usus melalui saluran empedu. Di jaringan lemak, glukosa dapat diubah menjadi lemak berupa triasilgliserol. Melalui jalur glikolisis akan menghasilkan dihidroksiaseton fosfat, yang selanjutnya diubah oleh enzim gliserol-3-fosfat dehidrogenase menjadi gliserol-3-fosfat, yang merupakan bahan baku sintesis triasilgliserol. Triasilgliserol merupakan cadangan energi yang disimpan dalam jaringan lemak. Oleh karena itu kelebihan makan makanan yang mengandung karbohidrat juga bisa memicu kegemukan, akibat timbunan di jaringan lemak. Glukosa bisa diubah menjadi fruktosa, melalui reaksi yang menghasilkan sorbitol terlebih dahulu, yang dikatalisis oleh enzim sorbitol dehidrogenase. Jalur reaksi ini terutama meningkat pada kondisi penyakit tertentu, yaitu diabetes mellitus. Peningkatan sorbitol mendasari timbulnya berbagai komplikasi pada penyakit diabetes mellitus. Glukosa juga dibutuhkan untuk sintesa laktosa. Jalur reaksi ini sangat penting untuk wanita yang sedang menyusui. Sebaliknya, galaktosa yang berasal dari pencernaan laktosa bisa diubah menjadi glukosa di

hati. Jalur metabolisme karbohidrat yang telah dituliskan di atas dirangkum dan dijelaskan pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Jalur-Jalur Metabolisme Karbohidrat.

Glukosa dapat mengalami berbagai jalur reaksi seperti glikolisis, oksidasi piruvat, siklus asam sitrat, jalur Hexose Monophosphat pathway (HMP), jalur uronat, glikogenesis, glikogenolisis, maupun sintesis fruktosa, galaktosa dan laktosa. Reaksi pembentukan glukosa dari gliserol dan asam laktat disebut gluconeogenesis. Glukosa juga sebagai penghasil ribosa untuk sintesis DNA dan RNA yang penting untuk sintesis protein) Dengan memperhatikan Gambar 1.4 terlihat bahwa jalur metabolisme karbohidrat sangat berhubungan erat dengan metabolisme lemak dan protein. Maka metabolisme karbohidrat, protein dan lemak merupakan proses yang terintegrasi secara holistik. Kondisi fisiologis maupun patologis pada dasarnya merupakan resultante dari ketiga metabolisme tersebut. Namun pada buku ini membahas salah satu dari ketiga metabolisme, yaitu metabolisme karbohidrat.

G. Penyakit yang Disebabkan oleh Kelainan Pada Metabolisme Karbohidrat

Regulasi jalur metabolisme karbohidrat terutama diperankan oleh hormon insulin. Ada beberapa penyakit yang berhubungan dengan kelainan metabolisme karbohidrat. Penyakit metabolik yang paling banyak dijumpai di Indonesia terkait dengan kelainan metabolisme karbohidrat adalah diabetes mellitus. Diabetes mellitus adalah kelainan metabolisme karbohidrat yang ditandai peningkatan kadar glukosa dalam darah atau hiperglikemia. Hiperglikemia disebabkan glukosa dalam darah tidak dapat digunakan oleh tubuh dengan baik akibat defisiensi insulin maupun resistensi insulin. Disregulasi insulin menyebabkan abnormalitas dalam pengendalian jalur-jalur reaksi di dalam proses metabolisme karbohidrat. Penderita diabetes mellitus mempunyai risiko untuk menderita berbagai komplikasi yang spesifik akibat perjalanan penyakit ini, antara lain retinopati, gagal ginjal, neuropati, aterosklerosis, gangren, dan penyakit arteri koronaria. Pemeriksaan laboratorium bagi penderita diabetes mellitus sangat diperlukan untuk menegakkan diagnosis serta memonitor terapi dan mencegah komplikasi dengan memonitor kadar glukosa darah. Penting juga untuk dilakukan pengaturan pola makan yang tepat bagi penderita diabetes mellitus dalam upaya mengontrol kadar glukosa darah.

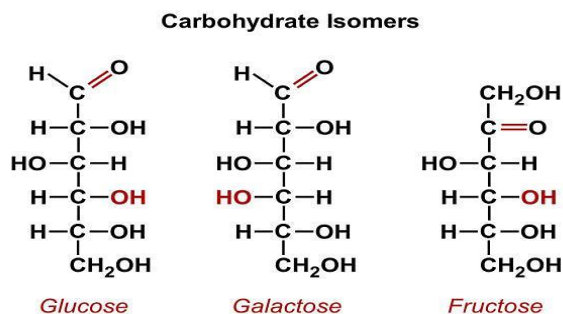
➤ Jenis Karbohidrat

Karbohidrat adalah nutrisi makanan yang terdiri dari atom karbon, hidrogen, dan oksigen dengan rasio $C_nH_{2n}O_n$. Karbohidrat terbagi ke dalam tiga kelompok utama, yaitu: monosakarida, disakarida, dan polisakarida. Karena struktur kimia molekul yang lebih sederhana, karbohidrat sederhana lebih mudah dicerna oleh tubuh sehingga membuat kadar gula dalam darah meningkat dengan cepat. Hal ini tentu saja kurang cocok bagi penderita penyakit diabetes mellitus.

Contoh dari makanan yang mengandung Karbohidrat sederhana diantaranya adalah nasi putih, makanan manis, roti tawar, donat,

biskuit. Karbohidrat sederhana mengandung komposisi karbohidrat yang mudah dicerna dan diserap dengan cepat di usus, sehingga membuat tubuh merasa lebih cepat lapar dan akhirnya tubuh akan menumpuk kalori dan lemak. Karbohidrat dalam makanan adalah nutrisi yang dapat memasok energi dengan cepat untuk dijadikan bahan bakar bagi tubuh, terutama ketika tubuh merasa lapar. Makanan yang merupakan sumber karbohidrat diantaranya adalah termasuk biji-bijian, umbi-umbian, sayuran, dan buah-buahan.

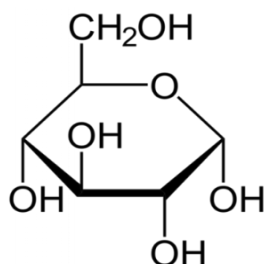
1) Monosakarida



Gambar 1.5 Struktur Molekul Isomer Karbohidrat

Monosakarida (C₆H₁₂O₆), merupakan gula yang paling sederhana dan terdiri dari molekul tunggal. Monosakarida tidak dapat dihidrolisis menjadi bentuk yang lebih sederhana. (Nugraheni, 2015). Tata nama monosakarida tergantung dari gugus fungsional serta letak gugus hidroksil penyusunnya. Monosakarida yang mengandung satu gugus aldehida disebut “aldosa” (contoh glukosa), sedangkan monosakarida yang mengandung gugus keton disebut “ketosa” (contoh fruktosa). Berdasarkan jumlah atom karbon yang menyusunnya, monosakarida dapat dibagi lagi menjadi triosa (3 karbon), tetrosa (4 karbon), pentosa (5 karbon), heksosa (6 karbon), dan heptosa (7 karbon). Di antara semua jenis monosakarida tersebut, heksosa yang memiliki 6 karbon merupakan monosakarida yang paling banyak ditemukan dan besar peranannya dalam sistem pencernaan tubuh, terdiri dari glukosa, fruktosa, dan galaktosa.

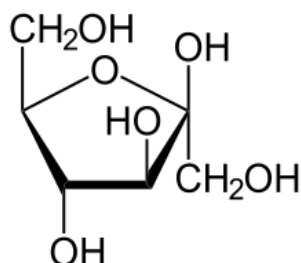
➤ **Glukosa**



Gambar 1.6 Struktur Molekul Glukosa

Glukosa merupakan bentuk monomer karbohidrat yang paling sederhana. Disebut juga sebagai “dekstrosa atau gula anggur”, banyak terdapat dalam buah-buahan, jagung manis, sirup jagung, dan madu. Glukosa merupakan produk utama dari hidrolisis karbohidrat kompleks dalam sistem pencernaan, dan merupakan bentuk gula yang biasanya ada dalam peredaran darah. Dalam sel, glukosa dioksidasi untuk menghasilkan energi. Glukosa dalam makanan merupakan bentuk gula yang paling mudah dimanfaatkan tubuh karena tidak memerlukan perombakan.

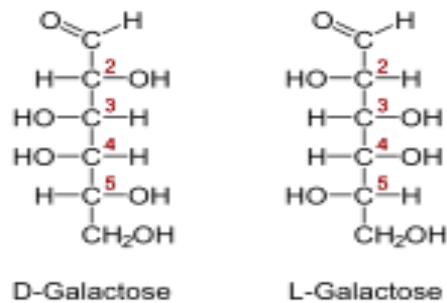
➤ **Fruktosa**



Gambar 1.7 Struktur molekul Fruktosa

Disebut dengan istilah levulosa atau gula buah. Fruktosa dapat juga ditemukan di dalam makanan yang menjadi sumber sukrosa maupun glukosa, yaitu madu dan buah-buahan. Fruktosa merupakan gula yang paling manis dibandingkan dengan jenis-jenis gula sederhana lainnya. Coba Anda perhatikan, dalam kadar yang sama, mana yang lebih manis cairan dari anggur manis ataukah larutan gula?

➤ **Galaktosa**



Gambar 1.8 Struktur Molekul Galaktosa

Galaktosa merupakan gula yang tidak ditemukan dalam bentuk bebas di alam, tetapi harus dihidrolisis terlebih dahulu dari disakarida laktosa (gula dalam susu).

Galaktosa adalah senyawa karbohidrat dari kelompok monosakarida, termasuk juga golongan heksosa karena memiliki 6 atom karbon C di dalam molekulnya. Galaktosa merupakan salah satu monomer pembentuk laktosa. Yaitu sejenis senyawa yang ada pada susu. Galaktosa memiliki nilai glikemik indeks yang lebih rendah dibandingkan dengan sukrosa sehingga lebih lambat di cerna oleh tubuh. Galaktosa dianggap lebih cocok untuk di konsumsi oleh pasien penderita penyakit diabetes mellitus.

2) Oligosakarida

Oligosakarida adalah polimer dari monosakarida, dapat terbentuk dari 2 sampai 10 monosakarida yang umumnya dapat larut dengan air. Disakarida adalah Oligosakarida yang terdiri dari dua molekul monosakarida, trisakarida terdiri dari tiga molekul, sedangkan tetrasakarida adalah oligosakarida yang terdiri dari empat molekul monosakarida.

Ikatan yang menyatukan dua molekul monosakarida berupa ikatan glikosidik. Ikatan ini terbentuk antara gugus hidroksil dari atom C no 1 (disebut juga karbon anomerik) pada monosakarida pertama dengan gugus hidroksil pada atom C (umumnya pada atom C

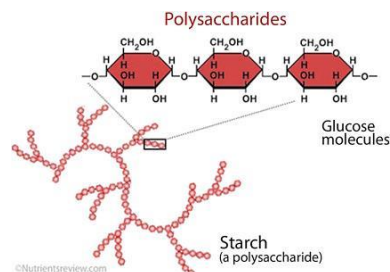
nomor 4) pada monosakarida berikutnya, dengan melepaskan 1 mol air.

Sebelumnya kita sudah menyatakan bahwa disakarida terdiri dari 2 macam monosakarida. Berikut adalah contoh dari disakarida adalah:

- 1) Maltosa (terdiri dari glukosa dan glukosa).
- 2) Sukrosa (terdiri dari glukosa dan fruktosa).
- 3) Laktosa (terdiri dari glukosa dan galaktosa).

Salah satu sifat umum dari molekul disakarida adalah sifat reduksi yang ditentukan dengan ada atau tidaknya gugus hidroksil (OH) bebas yang reaktif. Gugus hidroksil yang reaktif pada aldosa (seperti glukosa) terletak pada karbon nomor satu (anomerik), sedangkan pada ketosa (seperti fruktosa), gugus hidroksil yang reaktif terletak pada karbon nomor dua.

3) Polisakarida



Gambar 1.9 Struktur Polisakarida

Polisakarida adalah suatu polimer baru yang terbentuk dari serangkaian monosakarida yang saling berikatan dengan ikatan glikosidik rantai panjang. Polisakarida dalam bahan makanan ada yang berfungsi sebagai penguat tekstur (selulosa, hemiselulosa, pektin, lignin), dan sebagai sumber energi (pati, dekstrin, glikogen, fruktan). Polisakarida penguat tekstur merupakan molekul yang umumnya sulit dicerna oleh tubuh, biasanya berperan sebagai makanan fungsional berupa serat makanan (*dietary fiber*) yang dapat menstimulasi enzim-enzim pencernaan. Serat ini di anggap

memiliki peran penting di dalam menjaga kesehatan pencernaan tubuh.

➤ Pati

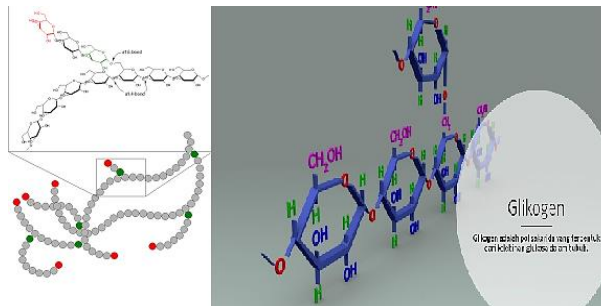
Pati merupakan polisakarida utama yang terdapat pada tanaman, terutama pada tanaman pangan utama, seperti sereal (padi, gandum) dan umbi-umbian (singkong, ubi jalar, kentang).



Gambar 1.10 Tepung Pisang Kaya dengan Pati Resisten

Pati terdapat dalam dua bentuk, yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan polimer monosakarida dengan rantai lurus dan berikatan α -(1,4)-D-glukosa, sedangkan amilopektin memiliki ikatan rantai cabang dengan ikatan α -(1,6)-D-glukosa. Kedua bentuk pati tersebut terdapat pada semua produk sereal, umbi-umbian, dan kacang-kacangan dengan kontribusi amilosa 15-20% dan amilopektin 80-85%.

➤ Glikogen

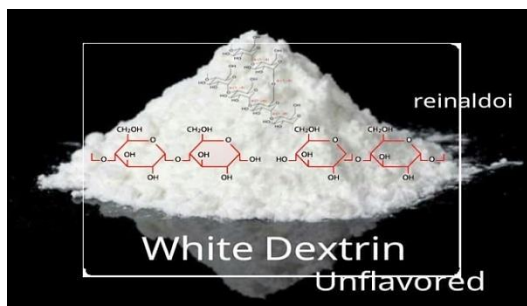


Gambar 1.11 Struktur Molekul Glikogen

Glikogen adalah bentuk simpanan karbohidrat utama pada jaringan hewan. Glikogen adalah cadangan makanan bagi hewan. Apabila terjadi kekurangan asupan karbohidrat maka, glikogen akan di metabolisme menjadi energi yang diperlukan oleh tubuh. Glikogen umumnya terdapat pada jaringan otot dan organ hati. Glikogen merupakan polimer monosakarida dengan ikatan rantai cabang. Kandungan glukosa dalam glikogen merupakan sumber makanan yang kaya energi.

➤ Dekstrin

Dekstrin merupakan produk pati yang dimodifikasi melalui proses hidrolisis asam, panas maupun katalis enzim menjadi maltosa dan akhirnya menjadi glukosa. Rumus umumnya sama dengan pati. Hanya saja dekstrin memiliki ukuran yang lebih kecil dan kurang kompleks dibandingkan pati.



Gambar 1.12 Struktur Molekul dan Tepung Dekstrin

Dekstrin bersifat lebih mudah larut dalam air dingin, berwarna putih sampai kekuningan, berupa serbuk amorf dan lebih manis dari pati biasa. Dekstrin banyak digunakan dalam industri pangan maupun non pangan. Dekstrin bersifat adhesive dan memiliki kemampuan membentuk lapisan sehingga dapat digunakan sebagai penyelaput permen, coklat atau kacang untuk mencegah terjadinya migrasi minyak. Dekstrin juga dapat dimanfaatkan sebagai filler, pembawa *flavour*, dan sebagai pengganti lemak dan gelatin. Dekstrin juga bisa digunakan sebagai bahan baku pembuatan lem.

➤ Selulosa

Selulosa atau disebut juga serat merupakan komponen utama dinding sel pada tanaman. Seperti halnya pati, selulosa merupakan homopolisakarida glukosa, tetapi dengan ikatan glikosidik β -(1,4)-D-glukosa.

Sebagai molekul yang tidak dapat dicerna tubuh dan tidak larut air, selulosa termasuk ke dalam kelompok serat pangan dan bukan merupakan pangan sumber energi.



Gambar 1.13 Gambar Molekul Selulosa

Makanan yang mengandung serat di antaranya adalah biji-bijian, kacang-kacangan, tanaman akar, dan tanaman kubis. Selulosa dapat digunakan untuk membuat kertas, film, bahan peledak dan plastik, selain memiliki banyak kegunaan industri lain. Kertas di

buku yang Anda baca berisi selulosa, seperti beberapa jenis pakaian yang Anda pakai. Untuk manusia, selulosa ini juga merupakan sumber utama serat dalam makanan kita.

H. Metabolisme Karbohidrat Di Dalam Tubuh Manusia

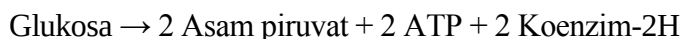
Di dalam sistem pencernaan manusia karbohidrat makanan akan diubah menjadi monomer sederhana dalam bentuk glukosa (sekitar 80%), lainnya dalam bentuk fruktosa dan galaktosa. Untuk mengubah karbohidrat ke dalam bentuk glukosa diperlukan bantuan enzim amilase.

Fruktosa dan galaktosa setelah diserap akan segera diubah menjadi glukosa, hanya sedikit yang tetap dalam bentuk fruktosa dan galaktosa. Glukosa inilah yang nantinya akan di metabolisme oleh sel manusia untuk menghasilkan energi kehidupan berupa ATP.

Konversi glukosa menjadi ATP dalam sel dalam sel dapat terjadi melalui 3 proses, yaitu **glikolisis**, **siklus Krebs**, dan **fosforilasi oksidasi**. Jika kadar glukosa darah terlalu tinggi, sebagian akan dibawa ke hati untuk disimpan sebagai glikogen, sebaliknya jika kadar glukosa darah terlalu rendah, glikogen hati akan terurai kembali menjadi glukosa untuk dilepas ke dalam darah.

➤ Glikolisis

Glikolisis berlangsung pada sitoplasma. Dalam lingkungan aerob, reaksi yang terjadi adalah:

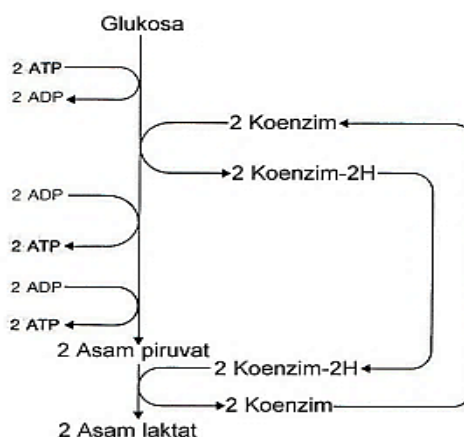


ATP : Adenosine triphosphate

Koenzim-2H : Ikatan senyawa koenzim dengan 2 atom H

Transfer energi dari glukosa di sini berlangsung dari glukosa ke ATP dan koenzim-2H. Koenzim-2H merupakan reaktan utama bagi fosforilasi oksidasi.

Dalam lingkungan anaerob, pemecahan glukosa menghasilkan:

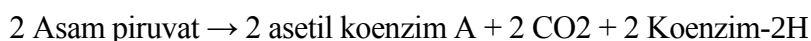


Gambar 1.14 Proses Glikolisis

➤ TCA (Siklus Asam Sitrat) atau Siklus Krebs

Siklus Asam Sitrat merupakan pusat bagi seluruh aktivitas metabolisme tubuh yang berlangsung di dalam matriks mitokondria. Siklus ini tidak hanya digunakan untuk memproses karbohidrat namun juga digunakan untuk memproses molekul lain seperti protein dan lemak. Reaksi ini selain penting untuk pembentukan energi juga penting untuk biosintesis, sebab dapat menyediakan kerangka karbon untuk berbagai senyawa penting dalam sel.

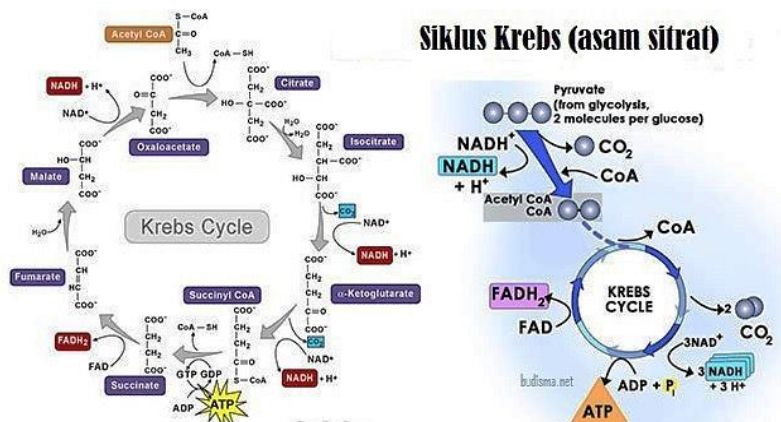
Asam piruvat yang dihasilkan oleh glikolisis pada lingkungan aerob mengalami pemecahan lebih lanjut:



Asetil koenzim A ini merupakan input bagi siklus Krebs.

Gambar 1-15 menunjukkan bahwa, sebelum memasuki Siklus Asam Sitrat (*Citric Acid Cycle*) molekul piruvat akan teroksidasi terlebih dahulu menjadi Acetyl-CoA dan CO₂. Dalam proses tersebut juga dihasilkan produk samping berupa NADH yang memi-

liki nilai energi ekuivalen dengan 3xATP. Molekul Acetyl CoA yang terbentuk kemudian masuk kedalam Siklus Asam Sitrat. Inti dari proses yang terjadi pada siklus ini adalah untuk mengubah 2 atom karbon yang terikat didalam molekul Acetyl-CoA menjadi 2 molekul karbon dioksida (CO_2), membebaskan koenzim A, serta memindahkan energi yang dihasilkan pada siklus ini ke dalam senyawa NADH, FADH_2 dan GTP. Dalam siklus Krebs dihasilkan 1 molekul ATP. Sementara energy bebas yang terkandung di dalam senyawa NADH dan FADH_2 kemudian mengalami proses lebih lanjut dalam Rantai Transpor Elektron untuk membentuk ATP dan air (H_2O). Siklus Kreb menghasilkan energi dalam bentuk ATP dan koenzim 2H .

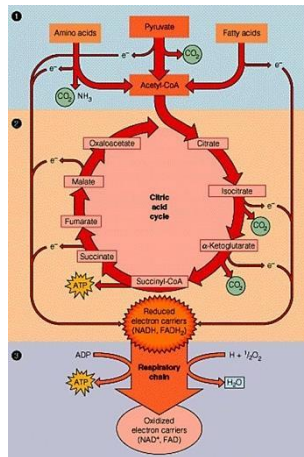


Gambar 1.15 Siklus Krebs

➤ Fosforilasi Oksidasi

Fosforilasi oksidasi merupakan sumber utama penghasil ATP, berlangsung dalam mitokondria. Input fosforilasi oksidasi (koenzim- 2H) diperoleh dari output glikolisis dan siklus Kreb.

Fosforilasi oksidatif atau disebut juga rantai respirasi adalah suatu lintasan metabolisme dengan penggunaan energi yang dilepaskan oleh oksidasi nutrisi untuk menghasilkan ATP, dan mereduksi gas oksigen menjadi air.

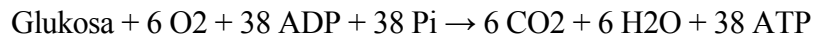


Rantai respirasi

Fosforilasi oksidatif: proses di mana ATP dibentuk dari hasil transfer elektron dari NADH/FADH_2 ke O_2 melalui rangkaian pembawa elektron

Gambar 1.16 Fosforilasi Oksidasi

Secara keseluruhan, sebagai hasil akhir dari pemecahan 1 mol glukosa diperoleh:



ADP : Adenosine Diphosphat

Pi : Inorganic phosphate

RANGKUMAN

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya hayati khususnya dalam bidang pangan lokal yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbohidrat untuk memenuhi kebutuhan hidup masyarakatnya sehari-hari. Karbohidrat sebagai sumber pangan dapat diperoleh dari tanaman padi, jagung, ubi kayu, ubi jalar, sagu, kentang, sorgum, jewawut, jali, uwi, suweg, kimpul, gadung, garut, ganyong, sukun, pisang muda, talas, dan masih banyak lagi. Jenis karbohidrat diantaranya yaitu monosakarida, oligosakarida, polisakarida, pati, glikogen, dekstrin, dan selulosa.

Karbohidrat berperan untuk tubuh sebagai sumber energi, pemberi rasa manis, pengatur metabolisme lemak, menghemat fungsi protein, sumber energi utama bagi otak dan susunan syaraf pusat

dan membantu pengeluaran feses. Metabolisme karbohidrat di dalam tubuh manusia terjadi melalui 3 proses yaitu glikolisis, siklus kreb dan fosforilasi oksidasi. Penyakit yang disebabkan oleh kelainan pada metabolisme karbohidrat yang paling banyak dijumpai di Indonesia adalah diabetes mellitus. Penderita diabetes mellitus mempunyai risiko komplikasi penyakit antara lain retinopati, gagal ginjal, neuropati, aterosklerosis, gangren, dan penyakit arteri koronaria.

Pertanyaan

- 1) Bagaimana kondisi dan potensi bidang pangan di Indonesia?
- 2) Mengapa penting dilakukan diversifikasi pangan berbasis pangan lokal?
- 3) Apa peran karbohidrat sebagai sumber pangan pada tubuh?
- 4) Sebutkan jenis-jenis karbohidrat dan sumber-sumber karbohidrat.
- 5) Jelaskan mengenai metabolisme karbohidrat di dalam tubuh.

PUSTAKA

- Damat, T., A., dkk. (2018). *Teknologi Pati termodifikasi dan Manfaatnya bagi Kesehatan*. UMM Press. Malang.
- Firani, N., K. (2017). *Metabolisme Karbohidrat: Tinjauan Biokimia dan Patologis*. UB Media Press. Malang.
- Kusharto, C., M., Hardinsyah. (2012). *Pemikiran Guru Besar IPB-Merevolusi Revolusi Hijau: Ketahanan dan Kemandirian Pangan*. IPB Press. Bogor.
- Persagi. (1999). *Visi dan Misi Gizi Dalam Mencapai Indonesia Sehat Tahun 2010*. Jakarta
- Rohman, A. (2013). *Analisis Komponen Makanan*. Graha Ilmu. Yogyakarta.

Supriasa, dkk. (2002). *Penilaian Status Gizi*. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta

Wikipedia. <https://id.wikipedia.org/wiki/Karbohidrat>. Diakses pada tanggal 22 Agustus 2019.

William, C., dan Rollo, I. (2015). *Carbohydrate Nutrition and Team Sport Performance*. *Sports Med.* 45(1):13. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0399-3>

2. PATI DAN SUMBER PATI

Capaian Pembelajaran :

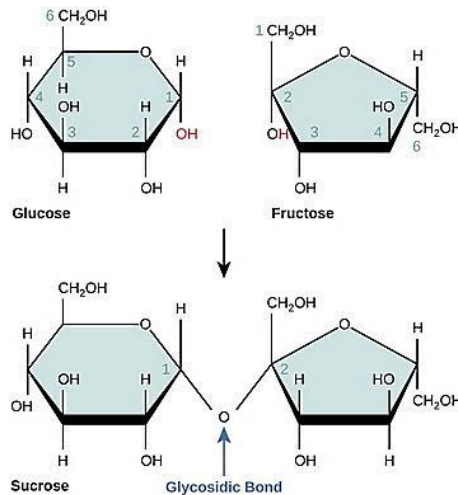
1. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan gambaran tentang definisi pati dan strukturnya dan komponen utama penyusun pati;
2. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan sumber-sumber pati;

Pati termasuk karbohidrat jenis polisakarida. Polisakarida ini banyak terdapat di alam yang sebagian besar terdapat di dalam tumbuhan. Pada tumbuhan, pati merupakan simpanan karbohidrat yang dihasilkan dari proses fotosintesis. Pati atau amilum bersifat tidak larut dalam air pada suhu kamar, berwujud bubuk putih, tidak berasa dan tidak berbau.

Pati adalah salah satu jenis karbohidrat yang ketersediaannya melimpah di alam. Secara alami pati tersimpan hampir pada semua bagian jaringan tanaman seperti di daun, akar, batang, buah dan biji. Pati pada daun merupakan hasil akumulasi dari fiksasi karbon menjadi senyawa hidrokarbon selama proses fotosintesis, yang selanjutnya digunakan untuk pembentukan sukrosa dan ditransportasikan ke berbagai bagian tanaman lainnya. Pati di daun memiliki peran penting untuk kepentingan berbagai aktivitas di sel-sel stomata. Pati di simpan di berbagai bagian tanaman sebagai cadangan energi selama proses dormansi dan perkecambahan. Pembentukan pati paling banyak terjadi selama fase pertumbuhan dan perkembangan jaringan, di simpan di bagian buah atau biji. Fase per-tunasan atau germinasi biji dan umbi, atau saat pematangan buah akan terjadi degradasi pati dalam jaringan untuk digunakan sebagai sumber karbon dan energi.

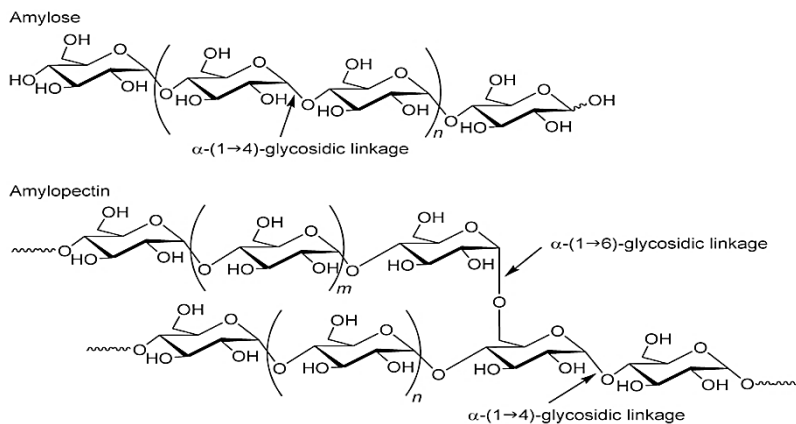
Pati secara alami terdapat di dalam senyawa-senyawa organik di alam yang tersebar luas seperti di dalam biji-bijian, akar, dan batang yang disimpan sebagai energi selama dormansi dan perkecambahan. Ketika tanaman menghasilkan molekul-molekul pati, tanaman akan menyimpannya di dalam lapisan-lapisan di sekitar pusat hilum membentuk suatu granula yang kompak (Smith, 1982).

Struktur polisakarida pati tersusun dari monomer-monomer glukosa yang terikat dengan ikatan glikosida. Ikatan glikosida adalah Ikatan yang menghubungkan dua monosakarida dengan cara kondensasi gugus hidroksil pada atom karbon nomor 1 dengan gugus hidroksil dari salah satu atom karbon nomor 2, 4, dan 6 pada monosakarida yang lain membentuk disakarida.



Gambar 2.1 Contoh ikatan Glikosidik pada Disakarida

Pati merupakan campuran dari amilosa dan amilopektin yang tersusun di dalam granula pati. Amilosa merupakan polimer linier yang mengandung 500-2000 unit glukosa yang terikat oleh ikatan α -(1,4) sedangkan amilopektin selain mengandung ikatan α -(1,4) juga mengandung ikatan α -(1,6) sebagai titik percabangannya. Molekul amilosa dan amilopektin dapat dilihat pada Gambar 2.2. (Swinkels, 1985).



Gambar 2.2 Struktur molekul amilosa dan amilopektin (Swinkels, 1985).

Pati tersusun dari dua macam polimer polisakarida, yaitu amilosa dan amilopektin dalam komposisi yang berbeda-beda. Amilosa memberikan sifat keras (pera), sedangkan amilopektin menyebabkan sifat lengket. Tepung yang baik dihasilkan dari bahan yang memiliki kandungan pati yang tinggi.

Molekul pati mempunyai kemampuan menyerap air yang sangat besar karena memiliki banyak gugus hidroksil. Pati terdiri dari dua fraksi, yaitu amilosa dan amilopektin. Rasio amilosa dan amilopektin juga dapat mempengaruhi kadar air produk. Hal ini disebabkan karena amilosa memiliki sifat mudah menyerap air dan mudah melepaskan, sedangkan amilopektin memiliki sifat susah untuk mengikat air tetapi jika sudah terikat dapat mempertahankan air tersebut. Semakin tinggi konsentrasi pati yang ditambahkan, semakin banyak pula gugus hidroksil dan amilopektin dalam bahan sehingga semakin besar kemampuan pati menyerap air dan semakin banyak air yang terikat.

Pati alami biasanya mengandung amilopektin lebih banyak daripada amilosa. Perbandingan amilosa dan amilopektin pada pati dapat mempengaruhi sifat pati. Rasio antara amilosa dan amilopektin berpengaruh terhadap sifat kelarutan dan derajat gelatinisasi

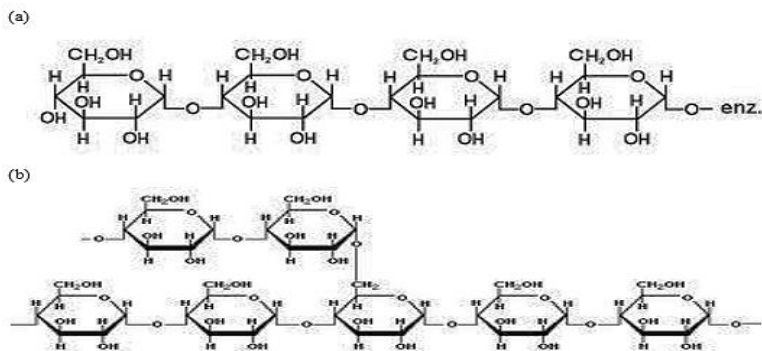
pati. Semakin rendah amilosa yang terkandung dalam pati, maka pati akan semakin kental, begitu pula sebaliknya. Kandungan amilopektin yang tinggi menyebabkan tekstur sumber pati lebih lunak dengan rasa yang enak. Berdasarkan kandungan amilosa dan amilopektin, pati digolongkan menjadi tiga tipe, yaitu *high-amilose maize starch*, *waxy maize starch*, dan *normal starch*. Menurut Kearsley (1995) pati normal mengandung amilosa berkisar antara 17-21% sedangkan amilopektin berkisar antara 79-83%. Untuk pati tipe *waxy-maize* memiliki kandungan amilopektin yang melebihi 99% hingga 100% sedangkan pati tipe *high-amilose* memiliki kandungan amilosa yang lebih tinggi sekitar 70%.

A. Komponen Utama Penyusun Pati

Amilosa dan amilopektin merupakan komponen utama dari pati yang berperan sebagai rangka struktur pati. Bahkan besarnya rasio kedua komponen penyusunan tersebut akan menentukan pada sifat dan karakteristik patinya. Kedua molekul tersebut tersusun oleh beberapa unit glukosa yang saling berikatan. Amilosa merupakan molekul linier polisakarida dengan ikatan α -1,4 dengan derajat polimerasi (DP) beberapa ratus unit glukosa, sedangkan amilopektin mempunyai struktur amilosa pada rantai lurus dan juga memiliki konfigurasi bercabang yang terdapat pada setiap 20-25 residu glukosa dengan ikatan α -1,6 (Whistler & Daniel 1984).

Amilosa memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan hidrogen atau mengalami retrogradasi. Semakin banyak amilosa pada pati akan membatasi pengembangan granula dan mempertahankan integritas granula. Semakin tinggi kadar amilosa maka semakin kuat ikatan intramolekulnya. Viskositas pasta amilosa memiliki hubungan linear dengan konsentrasi. Pada selang konsentrasi amilosa 0-0.6%, peningkatan konsentrasi amilosa akan meningkatkan viskositasnya. Sifat amilosa yang penting jika dibandingkan dengan amilopektin adalah amilosa lebih mudah keluar dari granula dan memiliki kemampuan untuk mudah berasosiasi dengan sesamanya.

Seperti pada umumnya polimer linear, amilosa mampu membentuk film dan serat (fibers) dengan kekuatan mekanik yang tinggi sehingga memungkinkan untuk dipergunakan sebagai pelapis makanan yang transparan sekaligus dapat dimakan. Struktur cabang pada amilopektin merupakan salah satu hasil mekanisme enzim yang memecah rantai linier yang panjang. Hasil pecahan berupa rantai-rantai pendek dengan 25 unit glukosa yang kemudian bergabung membentuk struktur yang berantai banyak. Derajat polimerasi amilopektin sangat bervariasi. Bila dibandingkan dengan amilosa yang hanya memiliki derajat polimerisasi sebesar 500-2.000 unit glukosa yang berarti berat molekul amilopektin ± 107 Dalton. Amilopektin merupakan komponen pati yang membentuk kristalinitas granula pati. Viskositas pasta amilopektin akan meningkat apabila konsentrasinya dinaikkan (03%). Akan tetapi hubungan ini tidak linier sehingga diperkirakan terjadi interaksi atau pengikatan secara acak diantara molekul-molekul cabang (Ulyarti 1997).



Gambar 2.3 Struktur Kimia amilosa (a) dan amilopektin (b)

Amilosa merupakan rantai lurus yang terdiri dari molekul-molekul glukosa yang berikatan α -(1,4)-D-glukosa. Panjang polimer dipengaruhi oleh sumber pati dan akan mempengaruhi berat molekul amilosa. Pada umumnya amilosa dari umbi-umbian mempunyai berat molekul yang lebih besar dibandingkan dengan berat molekul

amilosa sereal, dengan rantai polimer lebih panjang daripada rantai polimer amilosa sereal.

Amilosa memiliki kemampuan membentuk kristal karena struktur rantai polimernya yang sederhana. Strukturnya yang sederhana ini dapat membentuk interaksi molekular yang kuat. Interaksi ini terjadi pada gugus hidroksil molekul amilosa. Pembentukan ikatan hidrogen ini lebih mudah terjadi pada amilosa daripada amilopektin.

Kandungan amilosa sangat berperan pada saat proses gelatinisasi, retrogradasi dan lebih menentukan karakteristik pasta pati. Karena amilosa memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan hidrogen atau mengalami retrogradasi. Semakin banyak amilosa pada pati akan membatasi pengembangan granula dan mempertahankan integritas granula. Semakin tinggi kandungan amilosa maka semakin kuat ikatan intramolekulnya.

Amilosa mempunyai struktur yang lurus dan rapat sehingga mudah menyerap air dan mudah untuk melepaskannya kembali. Pada saat proses pengeringan berlangsung bahan yang memiliki kadar amilosa lebih tinggi akan lebih mudah melepaskan air yang terdapat dalam bahan dan mengakibatkan kadar air mie kering turun.

Amilopektin merupakan polimer gula sederhana, bercabang dan struktur terbuka. Amilopektin pada dasarnya mirip amilosa, namun memiliki ikatan (1,6) glikosidik pada titik percabangannya. Amilopektin bersifat lebih rapuh (amorphous) dibanding amilosa yang struktur kristalnya cukup dominan (BeMiller dan Whistler 1996). Struktur kimia amilopektin pada dasarnya sama seperti amilosa terdiri atas rantai pendek α -(1,4)-D-glikosidik. Perbedaannya adalah amilopektin memiliki tingkat percabangan yang tinggi dan memiliki bobot molekul yang lebih besar dengan adanya ikatan α -1,6-D-glikosidik dimana setiap cabang mengandung 20-25 unit glukosa. Derajat polimerisasi amilopektin juga lebih tinggi dibandingkan amilosa, yaitu antara 105 sampai 3×10^6 unit glukosa.

Menurut Flach (1993) amilopektin mempunyai ukuran yang lebih besar daripada amilosa karena bentuknya lebih rapat dan padat, tetapi mempunyai kekentalan yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa struktur amilopektin lebih kompak bila terdapat dalam larutan.

Kadar amilopektin yang terlalu tinggi akan menyebabkan adonan mie yang dibuat bersifat terlalu lengket. Hal ini disebabkan amilopektin sulit mengalami retrogradasi untuk mempertahankan struktur mie (Tam *et al*, 2004). Amilopektin yang tinggi membutuhkan waktu yang lama untuk beretrogradasi dibandingkan dengan amilosa dan kristal amilopektin kurang stabil dibandingkan dengan kristal amilosa. Selain itu, kelengketan pada permukaan mie juga disebabkan karena molekul amilopektin membentuk daerah amorf atau kurang kompak sehingga lebih mudah ditembus air, enzim, dan bahan kimia.

Perbedaan rasio amilosa dan amilopektin dalam pati berpengaruh terhadap sifat fisik dan kimia pati. Pati dengan kandungan amilosa tinggi, memiliki kemampuan menyerap air dan mengembang lebih besar karena amilosa memiliki kemampuan membentuk ikatan hidrogen yang lebih besar dari pada amilopektin. Selain itu, pati dengan kandungan amilosa tinggi bersifat kurang rekat dan kering, sedangkan pati yang mengandung amilopektin yang tinggi bersifat rekat dan basah.

Kedua fraksi amilosa dan amilopektin ini akan mempengaruhi proses gelatinisasi pada pati sebagai komponen utama pembuatan mie. Molekul pati mempunyai beberapa gugus hidrofilik yang dapat menyerap air. Bagian yang bersifat amorf dapat menyerap air dingin hingga 30%. Sedangkan apabila pati dipanaskan hal ini dapat meningkatkan daya serap air pati hingga 60%. Penyerapan air ini akan menyebabkan pecahnya ikatan hidrogen penyusun pati yang bersifat amorf. Pada awalnya perubahan volume dan penyerapan air masih bersifat *reversible*. Namun demikian, pada suhu tertentu, pecahnya bagian amorf ini akan diikuti dengan pecahnya

granula. Suhu dimana granula pati pecah ini akan disebut suhu gelatinisasi. Apabila suhu gelatinisasi sudah tercapai maka proses perubahannya tidak *reversible* (Fennema, 1996). Secara fisik, perubahan selama terjadinya proses gelatinisasi ini dapat dilihat secara kasat mata. Mula-mula suspensi pati yang keruh akan mulai menjadi jernih pada suhu tertentu yang disebut suhu gelatinisasi.

Kandungan amilosa berpengaruh sangat kuat terhadap karakteristik produk. Charles *et al* (2005) melaporkan bahwa semakin tinggi kadar amilosa maka viskositas maksimum pati akan semakin tinggi sehingga semakin mudah produk mengalami retrogradasi. Pati dengan kandungan amilosa yang tinggi sangat cocok untuk pembuatan *starch noodle*. Kadar amilopektin juga berpengaruh pada karakteristik produk. Adanya kemampuan pembentukan gel dari sifat pati melalui proses gelatinasinya dan bentukan daya lengket yang kuat dari tingginya kadar amilopektin merupakan potensi dalam pembentukan sifat kekenyalan.

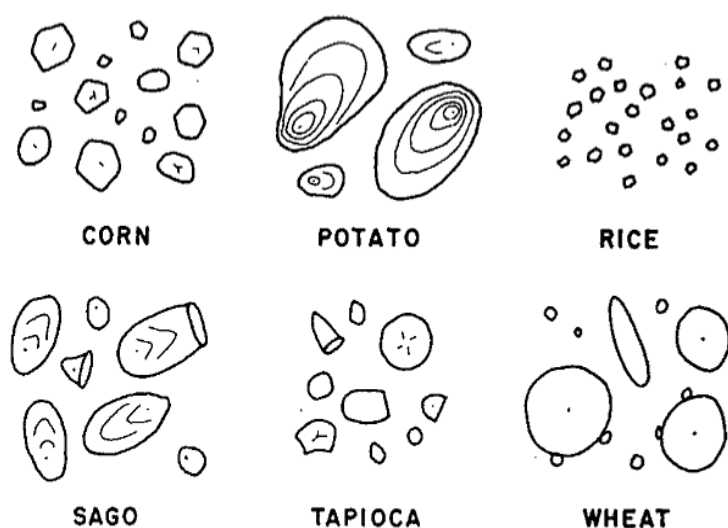
Menurut Swinkels (1985) jika granula pati dipanaskan dan akan tercapai pada suhu dimana pada saat itu akan terjadi hilangnya sifat polarisasi cahaya pada hilum, mengembangnya granula pati yang bersifat tidak dapat kembali disebut dengan gelatinisasi. Menurut Olku dan Rha (1978) di dalam Pomeranz (1991) gelatinisasi granula pati mencakup hal-hal sebagai berikut:

- 1) Hidrasi dan mengembangnya beberapa kali dari ukuran semula,
- 2) Hilangnya sifat *birefringence*,
- 3) Peningkatan kejernihan pasta,
- 4) Peningkatan dalam konsistensi dan pencapaian puncak secara cepat dan jelas,
- 5) Ketidaklarutan molekul-molekul linier dan pendifusian dari granula yang pecah,
- 6) Retrogradasi dari campuran sampai membentuk gel.

Suhu gelatinisasi untuk pati asli merupakan kisaran suhu, semakin besar kisaran suhunya sangat dipengaruhi oleh ikatan granula yang bervariasi sesuai dengan jenis pati. Kisaran suhu gelatinisasi pati jagung 70-89°C, kentang 57-87°C, gandum 50-86°C, tapioka 68-92°C, *Corn waxy* 68-90°C (Smith, 1982; Swinkels, 1985).

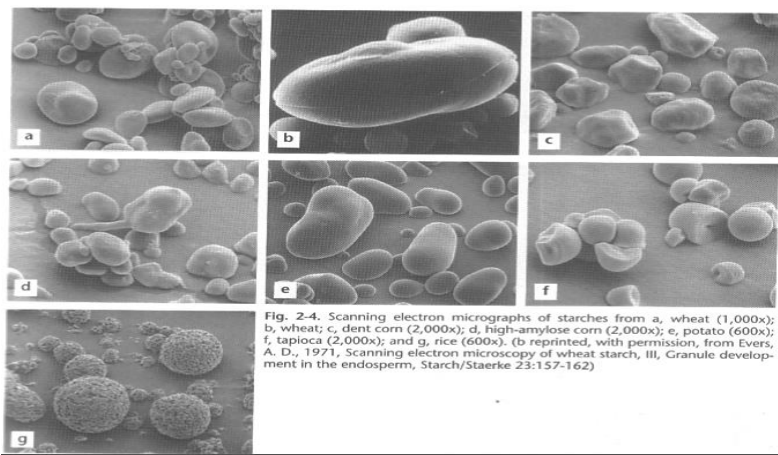
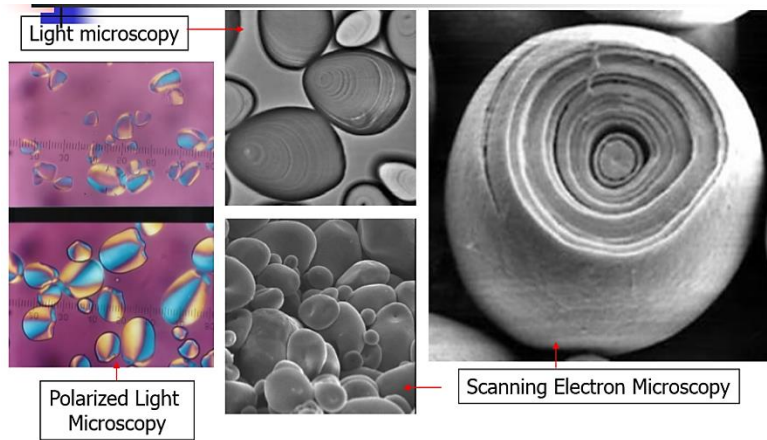
B. Bentuk dan Ukuran Granula Pati

Pati adalah karbohidrat yang merupakan polimer glukosa yang terdiri dari amilosa dan amilopektin dimana besarnya perbandingan amilosa dan amilopektin ini berbeda-beda tergantung jenis patinya. Komposisi atau rasio kadar amilosa dan amilopektin dalam pati berpengaruh pada sifat dan karakteristik pati itu sendiri. Berbagai macam pati tidak sama sifatnya, tergantung dari panjang rantai karbonnya, serta lurus atau bercabang. Dalam bentuk aslinya secara alami pati merupakan butiran-butiran kecil yang disebut granula. Bentuk dan ukuran granula merupakan karakteristik setiap jenis pati, karena itu digunakan untuk identifikasi (Hill dan Kelley, 1942).



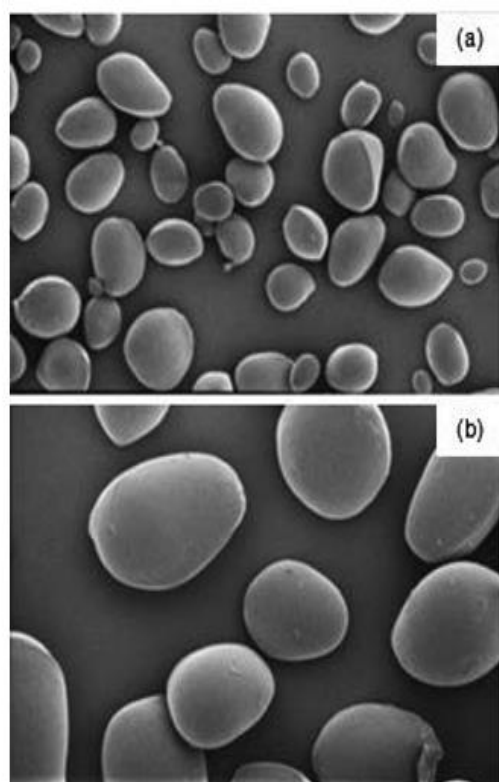
Gambar 2.4 Berbagai Bentuk Granula Pati.

Bentuk dan ukuran ganula pati berbeda-beda tergantung dari sumber tanamannya. Granula pati beras memiliki ukuran yang kecil (3-8 μm), berbentuk poligonal dan cenderung terjadi agregasi atau bergumpal-gumpal. Granula pati jagung agak lebih besar (sekitar 15 μm), berbentuk bulat ke arah poligonal. Granula tapioka berukuran lebih besar (sekitar 20 μm), berbentuk agak bulat dan pada salah satu bagian ujungnya berbentuk kerucut.



Gambar 2.5 Granula Pati Gandum dalam Pengamatan Mikroskop Elektron

Granula pati gandum cenderung berkelompok dengan berbagai ukuran. Ukuran normalnya adalah 18 μm , granula yang lebih besar berukuran rata-rata 24 μm dan granula yang lebih kecil berukuran 7-8 μm . Bentuk granula pati gandum adalah bulat sampai lonjong. Pati kentang berbentuk oval dan sangat besar, berukuran rata-rata 30-50 μm . Dari bentuk granula pati didapatkan hasil bahwa sifat *birefringence* granula pati umbi kimpul ditunjukkan warna biru-kuning. Bentuk granulanya adalah oval atau elips. Ukuran granula pati kimpul 10-60 μm (Ridal, 2003).



Gambar 2.6 Granula Pati Umbi Garut dalam pengamatan Mikroskop elektron pembesaran 500x (a) dan 800x (b)

Gambar di atas menunjukkan bahwa granula pati garut masih terlihat utuh dengan bentuknya yang oval yang menunjukkan bahwa granula pati garut belum mengalami kerusakan struktur granulanya

Pengamatan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menunjukkan bahwa struktur granula pati garut dengan permukaan yang masih halus dan utuh, begitu pula hasil penelitian Srichuwong dkk. (2005). Granula pati yang belum mengalami proses modifikasi akan memiliki permukaan yang halus dan utuh.

C. Peran Pati dalam Industri

Pati memegang peranan penting dalam industri pengolahan pangan maupun non pangan, seperti pada industri kertas, lem, tekstil, permen, glukosa, dekstrosa, sirup fruktosa, dan lain sebagainya. (Koswara, 2009). Aplikasi pati dalam pangan sebagai komponen nutrisi, juga menjadi penentu karakteristik produk. Dalam bentuk alaminya, satu jenis pati tidak bisa diaplikasikan untuk semua tipe pengolahan. Penyebab keterbatasan aplikasi pati di industri antara lain adalah karena hilangnya viskositas pada pH rendah, suhu tinggi atau perlakuan mekanis. Proses modifikasi yang mengubah struktur dan mempengaruhi ikatan hidrogen secara terkontrol, dilakukan untuk memperbaiki karakteristik fisik kimia pati agar sesuai untuk suatu aplikasi spesifik. (Taggart, 2004).

Pati alami seperti tapioka, pati jagung dan sagu terdiri dari dua macam karbohidrat yaitu amilosa dan amilopektin memiliki karakteristik berbeda satu dengan yang lainnya bergantung kepada jumlah komposisi amilosa dan amilopektin yang terkandung dalam pati itu. Amilosa memberikan sifat keras (pera) sedangkan amilopektin menyebabkan sifat lengket pada pati. Menurut Taggart (2004), amilosa memiliki kemampuan membentuk kristal karena struktur rantai polimernya yang sederhana. Strukturnya yang sederhana ini dapat membentuk interaksi molekular yang kuat. Interaksi ini terjadi pada gugus hidroksil molekul amilosa. Sedangkan amilopektin mempunyai struktur yang hampir sama dengan amilosa, perbedaannya ada pada tingkat percabangan yang tinggi dengan ikatan α 16(1,6)-D-glukosa dan bobot molekul yang besar, amilopektin juga dapat membentuk kristal, tetapi tidak sereaktif amilosa. Hal ini

terjadi karena adanya rantai percabangan yang menghalangi terbentuknya kristal pada amilopektin.

Penggunaan pati dipengaruhi oleh beberapa sifat yang ada dalam pati seperti gelatinasi, *swelling power* (daya kembang), dan viskositas. Gelatinisasi merupakan proses pembengkakan granula pati ketika dipanaskan dalam media air. Granula pati tidak larut dalam air dingin, tetapi granula pati dapat mengembang dalam air panas. Kenaikan suhu pemanasan akan meningkatkan pembengkakan granula pati. Pembengkakan granula pati menyebabkan terjadinya penekanan antara granula pati dengan lainnya. Mula-mula pembengkakan granula pati bersifat *reversible* (dapat kembali ke bentuk awal, tetapi ketika suhu tertentu sudah terlewati, pembengkakan granula pati menjadi *irreversible* (tidak dapat kembali). (Pomeranz, 1991).

Kondisi pembengkakan granula pati bersifat *irreversible* ini disebut dengan gelatinisasi, sedangkan suhu terjadinya peristiwa ini disebut dengan suhu gelatinisasi. Suhu gelatinisasi tepung tapio-ka berada pada kisaran 52-64°C (Pomeranz, 1991).

Gelatinisasi adalah perubahan yang terjadi pada granula pati pada waktu mengalami pembengkakan yang luar biasa dan tidak dapat kembali ke bentuk semula (Winarno, 2002). Gelatinisasi disebut juga sebagai peristiwa koagulasi koloid yang mengakibatkan terserapnya air. Gelatinisasi tidak dapat kembali ke bentuk semula karena terjadinya perubahan struktur granula pada suhu tertentu.

Pembentukan pasta merupakan fenomena yang terjadi setelah gelatinisasi. Pembentukan pasta meliputi pengembangan granula dan keluarnya komponen molekul dari granula pati sampai sebagian besar granula pati rusak. Pembentukan pasta tidak dapat dipisahkan dari gelatinisasi, tapi terjadi secara simultan, oleh karena itu tidak ada suhu tertentu dimana gelatinisasi berakhir dan dimulainya pembentukan pasta. Pembentukan pasta biasanya berhubungan dengan pembentukan viskositas (Estiasih, 2006).

Retrogradasi pati merupakan proses yang terjadi ketika rantai pati mulai bergabung kembali membentuk struktur secara teratur. Pada awal retrogradasi, dua atau lebih rantai pati membentuk ikatan yang sederhana dan kemudian mulai membentuk ikatan yang lebih banyak dan teratur. (Estiasih, 2006). Laju retrogradasi dipengaruhi oleh suhu, ukuran, bentuk dan kepekatan molekul-molekul pati (Haryadi, 1993).

D. Gelatinisasi Pati

Perubahan-perubahan yang terjadi selama proses gelatinisasi yaitu granula pati akan kehilangan sifat *birefringence* yaitu sifat yang dapat merefleksikan atau memantulkan cahaya terpolarisasi sehingga akan tampak seperti susunan kristal gelap terang (biru-kuning) dibawah mikroskop. Selain itu, granula pati juga akan mengalami hidrasi dan mengembang, molekul amilosa larut. Kekuatan ikatan granula akan berkembang yang diikuti dengan semakin kuatnya ikatan antar granula, kekentalan (viskositas) semakin meningkat dan kejernihan pasta juga akan meningkat. Terjadinya peningkatan viskositas disebabkan air yang awalnya berada diluar granula dan bebas bergerak sebelum suspensi dipanaskan, kini sudah berada dalam butir-butir pati dan tidak dapat bergerak bebas lagi.

Penyerapan air akan bertambah besar jika granula pati disuspensikan dalam air berlebih dan dipanaskan. Air akan masuk ke dalam daerah *amorphous* dalam granula pati dan menyebabkan terjadinya pembengkakan granula. Pembengkakan ini menimbulkan tekanan pada daerah kristalin yang terdiri dari molekul amilopektin dan merusak susunan *double helix* yang ada. Kerusakan *double helix* amilopektin dapat mengganggu susunan kristalin bahkan dapat menghilangkan kristalinitasnya. Selama pemanasan granula pati akan terus menyerap air sampai granula pecah dan molekul amilosa akan keluar sehingga mengakibatkan ketidak teraturan struktur granula, peningkatan viskositas suspensi pati, dan hilangnya sifat birefringent pati. Perubahan ini dikenal dengan sebutan gelatinisasi

pati dan sifatnya tidak dapat kembali (Roder *et al.*, 2005).

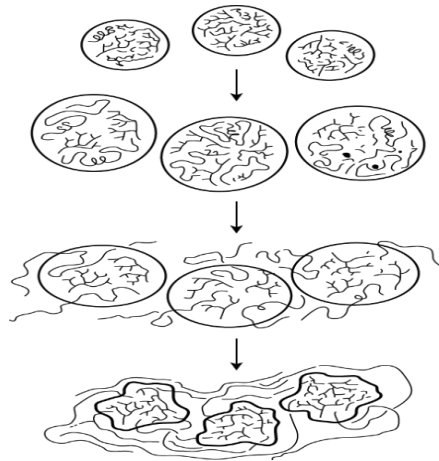
Suhu gelatinisasi pati merupakan sifat fisik khas untuk masing-masing pati. Suhu gelatinisasi ini diawali dengan pembengkakan yang “*irreversible*” granula pati dalam air panas dan diakhiri pada waktu setelah kehilangan sifat kristalnya. Selanjutnya dikatakan fase proses gelatinisasi diawali saat air secara perlahan-lahan dan bolak-balik berimbibisi ke dalam granula, kemudian granula mengembang dengan cepat akhirnya kehilangan sifat “*birefringence*” nya dan bila suhu tetap naik maka molekul-molekul pati terdifusi keluar granula (Mc Cready, 1970).

Menurut Hariyadi (1984) bahwa pati tergelatinisasi dengan adanya air akan membentuk struktur pasta pati. Pasta pati tersebut akan bercampur dengan granula pati yang belum tergelatinisasi. Semakin naiknya suhu gelatinisasi, maka konsentrasi pati tergelatinisasi makin naik sehingga pasta pati yang terbentuk makin tebal dan penghambatan panas makin kuat, akibatnya dibutuhkan energi lebih besar untuk digunakan dalam proses gelatinisasi.

Pada dasarnya mekanisme gelatinisasi terjadi dalam tiga tahap, yaitu: (1) penyerapan air oleh granula pati sampai batas akan mengembang secara lambat dimana air secara perlahan-lahan dan bolak-balik berimbibisi ke dalam granula, sehingga terjadi pemutusan ikatan hidrogen antara molekul-molekul granula, (2) pengembangan granula secara cepat karena menyerap air secara cepat sampai kehilangan sifat *birefringence* dan (3) granula pecah jika cukup air dan suhu terus naik sehingga molekul amilosa keluar dari granula (Swinkels, 1985).

Granula pati tersusun dari amilosa dan amilopektin, bila suspensi pati dipanaskan mengakibatkan energi kinetik dari molekul air akan melemahkan ikatan hidrogen antar molekul amilosa/ amilopektin sehingga kekompakan kristal granula terganggu. Selanjutnya, air akan menggantikan posisi ikatan hidrogen dengan membentuk ikatan hidrogen airamilosa/airamilopektin. Ikatan hidrogen

ini menyebabkan air berpenetrasi kedalam granula pati sehingga granula pati mengembang, dengan meningkatnya suhu pemanasan granula pati akan semakin mengembang dan tidak akan mampu lagi mengikat air. Granula pati sebagai akibatnya akan pecah dan molekul amilosa dan amilopektin akan menyatu dengan fase air (Kusnandar, 2010).



Gambar 2.7 Mekanisme gelatinisasi pati (Kusnandar, 2010)

Faktor-faktor yang mempengaruhi gelatinisasi pati antara lain:

- 1) Jenis pati; Jenis pati yang berbeda akan memiliki kekuatan mengontrol yang berbeda pula.
- 2) Konsentrasi pati; Suhu gelatinisasi tergantung dari konsentrasi pati, semakin kental larutan pati, suhu gelatinisasi akan semakin lambat tercapai dan pada suhu tertentu kekentalan tidak bertambah bahkan kadang-kadang turun. Konsentrasi terbaik untuk membuat larutan gel adalah 20%, semakin tinggi konsentrasi, gel yang terbentuk semakin kurang kental.
- 3) Ukuran granula; Pati yang mempunyai ukuran granula yang lebih besar cenderung mengembang pada suhu yang relatif rendah.
- 4) Kandungan amilosa; Pada pati atau amilum terdapat dua macam komponen yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan suatu rantai polisakarida yang relatif lurus dan tidak bercabang.

Amilosa adalah salah satu komponen dari pati yang bertanggung jawab pada proses gelatinisasi disamping ukuran granula itu sendiri. Amilopektin merupakan rantai polisakarida yang bercabang pada 1,6 α -Glikosida.

E. Pati Termodifikasi

Pati alami dapat dimodifikasi sehingga mempunyai sifat-sifat yang diinginkan. Modifikasi disini dimaksudkan sebagai perubahan struktur molekul dari yang dapat dilakukan secara kimia, fisik maupun enzimatis. Modifikasi pati terdiri dari beberapa jenis, seperti modifikasi dengan fermentasi, modifikasi dengan enzim, modifikasi dengan oksidasi dan modifikasi bertekanan.

Pati termodifikasi adalah pati yang gugus hidroksilnya telah diubah lewat suatu reaksi kimia atau dengan mengganggu struktur asalnya. Pati diberi perlakuan tertentu dengan tujuan menghasilkan sifat yang lebih baik untuk memperbaiki sifat sebelumnya atau untuk merubah beberapa sifat sebelumnya atau sifat lainnya. Perlakuan ini dapat mencakup penggunaan panas, asam, alkali, zat pengoksidasi atau bahan kimia lainnya yang akan menghasilkan gugus kimiabaru atau perubahan bentuk, ukuran serta struktur molekul pati. Pati dapat dimodifikasi melalui cara hidrolisis, oksidasi, *cross-linking* atau *cross-bonding* dan substitusi.

Sifat-sifat penting yang diinginkan dari pati termodifikasi (yang tidak dimiliki oleh pati alam) diantaranya adalah: kecerahannya lebih tinggi (pati lebih putih), retrogradasi yang rendah, kekentalannya lebih rendah, gel yang terbentuk lebih jernih, tekstur gel yang dibentuk lebih lembek, kekuatan regang yang rendah, granula pati lebih mudah pecah, waktu dan suhu gelatinisasi yang lebih tinggi, serta waktu dan suhu granula pati untuk pecah lebih rendah. Pati termodifikasi banyak digunakan dalam pembuatan *salad cream*, *mayonaise*, saus kental, *jeli marmable*, produk-produk konfeksioneri (permen, coklat dan lain-lain), *breaded food*, *lemon curd*, pengganti *gum arab* dan lain-lain (Koswara, 2006).

1) Pati Resisten

Pati resisten (RS) merupakan pati yang tidak dapat dicerna oleh enzim pencernaan dan tahan terhadap asam lambung. (Zaragoza *et al.*, 2010). RS mampu mengikat dan mempertahankan kadar air dalam feses, sehingga tidak menyebabkan sembelit dan flatulensi jika dikonsumsi dalam jumlah besar (Vatanasuchart *et al.*, 2010). Selain itu, RS digolongkan sebagai sumber serat tidak larut dan mampu menurunkan kolesterol dan indeks glikemik (Okoniewska & Witwer *et al.*, 2007), mencegah terjadinya kanker kolon melalui pembentukan asam lemak rantai pendek (Hovhannisyan *et al.* dalam Setiarto dkk., 2015), mereduksi pembentukan batu empedu, dan membantu penyerapan mineral (Lesmes *et al.* dalam Setiarto dkk., 2015).

Kandungan RS dipengaruhi oleh rasio amilosa dan amilopektin, konsentrasi enzim pululanase, konsentrasi pati, suhu pemanasan, siklus pemanasan dan pendinginan, kondisi penyimpanan, dan adanya lipid atau substansi bermolekul rendah seperti gula (Sajilata *et al.*, 2006). Pati resisten (RS) diklasifikasikan dalam lima kelompok berdasarkan pada asal dan cara proses pembuatannya, yaitu tipe RS1, 2, 3, 4, dan 5 (Setiarto dkk., 2015)

- a. **Pati resisten tipe I (RS1)** merupakan pati yang terdapat secara alamiah dan secara fisik terperangkap dalam sel-sel tanaman dan matriks dalam bahan pangan kaya pati, terutama dari biji-bijian dan sereal. Jumlah RS1 dipengaruhi oleh proses pengolahan dan dapat dikurangi atau dihilangkan dengan penggilingan (Zaragoza *et al.*, 2010)
- b. **Pati resisten tipe II (RS2)** merupakan pati yang secara alami sangat resisten terhadap pencernaan oleh enzim α -amilase dan umumnya granulanya berbentuk kristalin. Sumber RS2 antara lain pisang dan kentang yang masih mentah, serta jenis pati jagung dengan kadar amilosa yang tinggi (Zaragoza *et al.*, 2010).

- c. **Pati resisten tipe III (RS3)** adalah pati teretrogradasi yang diproses dengan pemanasan autoklaf (121°C), *annealing*, HMT (*heat moisture treatment*), dan dilanjutkan dengan pendinginan pada suhu rendah (4°C) maupun pada suhu ruang sehingga mengalami retrogradasi. Retrogradasi pati terjadi melalui re-asosiasi (penyusunan kembali) ikatan hidrogen antara amilosa rantai pendek yang terbentuk setelah proses pemanasan otoklaf dan dipercepat melalui proses pendinginan (Zaragoza *et al.*, 2010)
- d. **Pati resisten tipe IV (RS4)** adalah pati termodifikasi secara kimia seperti pati ester maupun pati ikatan silang (Zaragoza *et al.*, 2010)
- e. **Pati resisten tipe V (RS5)** terbentuk ketika pati berinteraksi dengan lipid, sehingga amilosa membentuk kompleks heliks tunggal dengan asam lemak dan lemak alkohol. Rantai linear pati dalam struktur heliks akan membentuk kompleks dengan asam lemak dalam rongga heliks, sehingga pati akan saling mengikat dan sulit dihidrolisis oleh enzim amilase. Pembentukan kompleks amilosa-lipid adalah reaksi instan dan kompleks dapat terbentuk setelah proses pemasakan, sehingga RS5 dianggap stabil terhadap pemanasan (Birt *et al.*, 2013)

Dari semua jenis RS, RS3 adalah yang paling menarik perhatian karena RS tipe ini dapat mempertahankan karakteristik organoleptik ketika ditambahkan pada makanan (Lehmann *et al.*, 2002). RS tipe ini relatif tahan panas dibandingkan RS tipe lainnya sehingga RS3 stabil selama proses pengolahan pangan (Zaragoza *et al.*, 2010). RS3 merupakan jenis RS yang paling banyak digunakan sebagai bahan baku fungsional berbasis RS. Kandungan RS3 dalam bahan pangan alami umumnya rendah, oleh karena itu perlu ditingkatkan kadarnya melalui teknik modifikasi (Setiarto dkk., 2015)

Tabel 2.1 Kandungan RS, non-RS, pati dan indeks *prebiotic* pada berbagai bahan pangan

Bahan Pangan	RS (%)	Pati non-RS (%)	Total pati (%)	Indeks prebiotik
Tepung beras	2,15	71,63	73,78	1,5
Pati beras	4,72	82,04	86,76	2,1
Tepung jagung	1,16	35,07	36,23	1,1
Pati jagung	4,85	64,66	69,51	1,6
Tepung kentang	3,19	49,35	52,54	2,2
Pati kentang	6,30	63,72	70,02	2,6
Tepung singkong	4,12	59,61	63,74	2,1
Pati singkong	9,69	65,99	75,68	2,8
Tepung gandum	3,69	30,27	33,96	1,8
Pati gandum	5,30	53,72	59,02	2,2
Tepung pisang	6,14	51,99	58,13	4,6
Pati pisang	15,87	55,03	70,90	5,8
Tepung kedelai	7,84	41,73	49,58	2,8
Pati kedelai	8,18	48,19	56,37	3,4
Tepung kacang merah	9,54	24,54	34,10	1,4
Pati kacang merah	10,63	29,52	40,15	1,9
Tepung kacang hijau	2,33	23,40	25,73	1,8
Pati kacang hijau	4,59	44,28	48,87	2,3

Sumber: Toma dan Pokrotnieks (2006); Wells *et al* (2008); Vatanasuchart *et al* (2010); Vatanasuchart *et al* (2012); Moongngam (2013)

Teknik yang paling aman, mudah diaplikasikan, serta tidak berisiko bagi keselamatan kerja serta ramah lingkungan untuk meningkatkan kadar pati resisten dalam bahan pangan adalah teknik enzimatis. Teknik debranching amilopektin pada pati dengan enzim pululanase terbukti mampu mengurangi jumlah siklus pemanasan bertekanan-pendinginan karena dapat menghasilkan amilosa rantai pendek dengan DP (19-29) sebagai bahan baku pembentukan pati resisten melalui proses retrogradasi. Akan tetapi ketersediaan enzim pululanase murni saat ini masih rendah dan harganya masih sangat mahal, sehingga perlu diimpor dari negara lain.

Teknik alternatif terbaik untuk meningkatkan kandungan pati resisten dalam bahan pangan adalah dengan mengombinasikan fermentasi Bakteri Asam Laktat (BAL) penghasil amilase dan pululanase yang dilanjutkan pemanasan bertekanan-pendinginan.

Fermentasi BAL penghasil amilase dan pululanase berperan dalam menurunkan nilai DP (derajat polimerisasi) pati sehingga diperoleh amilosa rantai pendek (DP 19-29) yang akan dikonversi menjadi RS melalui perlakuan pemanasan bertekanan-pendinginan. Hidrolisis parsial amilosa rantai panjang oleh enzim amilase dapat menurunkan nilai DP amilosa sehingga dihasilkan polisakarida rantai pendek. Sementara itu, pelepasan cabang (*debranching*) amilopektin oleh pululanase menghasilkan polimer glukosa rantai lurus yang merupakan polisakarida dengan DP lebih kecil. Semakin banyak polisakarida rantai pendek (DP 19-29) yang terbentuk akan meningkatkan kadar pati resisten yang dapat dihasilkan melalui proses retrogradasi merupakan polisakarida dengan DP lebih kecil. Semakin banyak polisakarida rantai pendek (DP 19-29) yang terbentuk akan meningkatkan kadar pati resisten yang dapat dihasilkan melalui proses retrogradasi.

F. Sumber Pati

Ketersediaan sumber pati di alam sebenarnya sangat berlimpah, namun seringkali hanya menggantung sumber pati hanya pada beberapa komoditas saja. Berikut adalah beberapa komoditas yang biasanya di gunakan sebagai sumber bahan pati di Indonesia selain dari tanaman padi.

1) Ubi Kayu (*Manihot utilisima*)

Pati merupakan komponen utama dalam ubi kayu. Pati merupakan karbohidrat yang tersedia dalam jumlah besar sebagai makanan cadangan dalam tanaman. Ubi kayu merupakan tanaman lokal daerah tropis yang di Indonesia sendiri banyak digunakan sebagai

pangan alternatif. Ubi kayu menjadi salah satu bahan pangan potensial setelah beras dan jagung yang berperan cukup besar dalam mencakupi pangan nasional. Hasil olahan ubi kayu diperlukan dalam berbagai industri pakanm tekstil, kertas, perekat dan farmasi. Ubi kayu atau biasanya dikenal dengan singkong merupakan salah satu tanaman yang banyak dijumpai di Indonesia dan sudah banyak dibudidayakan di berbagai negara di dunia.



Gambar 2.8 Ubi Kayu atau Singkong

Tanaman ubi kayu berasal dari benua amerika yang beriklim tropis (Prihatmanm dan Kemal, 2000). Ubi kayu merupakan salah satu sumber kalori yang banyak dimanfaatkan oleh penduduk yang berada di iklim tropis. Terdapat dua jenis ubi kayu yang bernilai ekonomis, yaitu ubi kayu beracun dengan rasa manis dan ubi kayu beracun dengan rasa pahit. Pada ubi kayu manis terdapat sianida kurang lebih 50 mg/kg sehingga tidak menimbulkan efek keracunan bagi yang mengkonsumsinya. Sedangkan pada ubi kayu pahit kandungan sianida dapat mencapai 250 mg/kg sehinnga dapat menimbulkan keracunan bagi yang mengkonsumsinya. Ubi kayu dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan gula cair (*High Fructose syrup*, *Glucose Syrup*), tapioka, *modified starch* dan alkohol (Sari, 2009).

Ubi kayu kaya akan karbohidrat yang terkandung didalamnya mencapai angka 80-90% (bb) dengan pati sebagai komponen utamanya. Ubi kayu tidak dapat dikonsumsi secara langsung, tetapi harus melewati beberapa tahap pengolahan seperti pemanasan, perendaman dalam air, penghancuran atau proses tradisional lainnya dalam menurunkan atau membuang sianida yang bersifat mematikan yang dikandung dari semua varietas singkong. Kandungan zat gizi yang terkandung pada dalam 100 gram singkong disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Standar Nasional Indonesia Tapioka (SNI 01-3451-1994)

Kriteria	Satuan	Persyaratan
Kadar air	% (b/b)	Maks 17
Kadar abu	% (b/b)	Maks 0,6
Serat dan benda asing	% (b/b)	Maks 0,6
Derajat putih	%	Min 94,5
Kekentalan	engler	3-4
Derajat asam	mL 1 N NaoH/100 g	< 4 mL 1 N
Timbal (Pb)	Mg/kg	Maks 1
Tembaga (Cu)	Mg/kg	Maks 10
Seng (Zn)	Mg/kg	Maks 40
Raksa (Hg)	Mg/kg	Maks 0,05
Arsen (Ar)	Mg/kg	Maks 0,5
Angka Lempeng total	Koloni/g	Maks 1.000.000
E Coli	Koloni/g	Maks 10
Kapang	Koloni/g	Maks 10.000

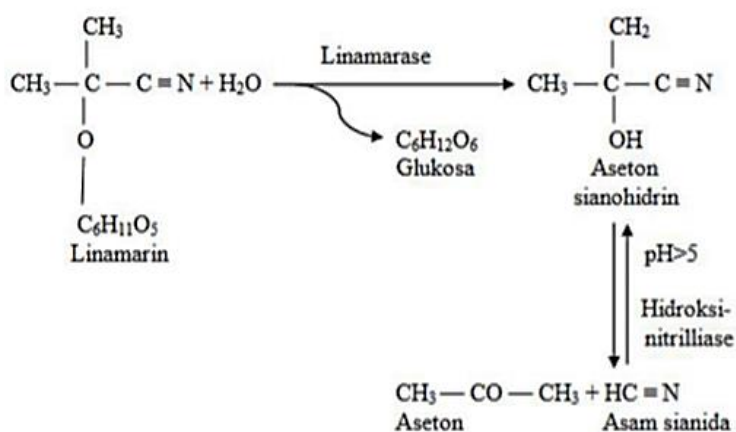
Sumber: Dewan Standarisasi Nasional , 1994

➤ Sianida (HCN) dalam Ubi Kayu

Beberapa jenis tanaman mengandung senyawa-senyawa yang bersifat *toxic*, salah satunya ubi kayu yang mengandung asam sianida. Senyawa ini berbahaya karena jika termakan akan cepat

terserap oleh alat pencernaan dan masuk ke dalam aliran darah. Asama sianida dapat menyebabkan sakit bahkan menyebabkan kematian tergantung kadar sianida yang dikonsumsi. Adanya senyawa ini menyebabkan pemakaian ubi kayu secara luas menjadi lebih terbatas. Kandungan sianida dalam singkong sangat bervariasi, rata-rata dalam singkong manis kurang dari 50 mg/kg ubi kayu, sedangkan pada jenis singkong pahit diatas 50 mg/ kg Ubi (Muchtadi, 1989). Tinggi rendahnya asam sianida yang dihasilkan pada proses hidrolisis glukosa tergantung pada varietas tanaman, genetik tanaman, umur tanaman, tingkat kematangan dan kesuburan tanah (Cardoso *et al.*, 2005).

Ubi kayu mengandung racun linamarin dan laoustralin yang termasuk golongan glikosida sianogenik. Sianida dalam ubi kayu terdiri dari 93% linamarin dan 7% loustralin. Konsentrasi sianida dalam ubi kayu segar menurun dari bagian kulit sampai daging umbi bagian dalam. Terbentuknya asam sianida dari linamarin biasanya berlangsung secara enzimatis dan terjadi ketika linamarin beraksi dengan enzim linamarase yang terdapat pada dinding sel tanaman ubi kayu. Proses terbentuknya asam sianida oleh enzim linamarase dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Proses hidrolisis linamarin oleh enzim linamarase dalam pembentukan asam sianida (Bokanga, 2001)

2) Kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*)

Kimpul termasuk dalam jenis tanaman talas-talasan yang berasal dari benua Amerika. Talas ini memiliki nama ilmiah yaitu *Xanthosoma sagittifolium*. Kimpul sering disebut juga dengan talas Belitung. Talas ini merupakan tumbuhan yang dapat tumbuh sepanjang tahun di wilayah tropis maupun subtropis. Kimpul merupakan tanaman yang mudah ditanam, sehingga sangat layak untuk dikembangkan. Umumnya kimpul ditanam sebagai tanaman sela diantara tanaman palawija lain atau di pekarangan (Wariyah, 2012).



Gambar 2.10 Umbi Kimpul

Tinggi tanaman kimpul dapat mencapai dua meter, tangkai daun tegak, tumbuh dari tunas yang berasal dari umbi yang merupakan batang dari bawah tanah. Secara anatomi, kimpul tersusun atas parenkim yang tebal, terbungkus kulit berwarna coklat pada bagian luar dan umbi berpati pada bagian dalamnya (Jatmiko dkk., 2014).

Menurut Bukabi-Deptan (2009) tanaman kimpul ini mudah dibudidayakan. Pada umumnya petani menanam kimpul di pekarangan, rumah, tegalan atau sawah sebagai tanaman sela palawija di musim kemarau. Kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*) merupakan tumbuhan menahun yang mempunyai umbi batang maupun batang palsu yang sebenarnya adalah tangkai daun. Umbinya digunakan sebagai

bahan makanan dengan cara direbus ataupun digoreng. Rata-rata hasil per rumpun berkisar antara 0,25-20 kg.

Tanaman kimpul tumbuh baik di daerah tropika basah dengan curah hujan merata sepanjang tahun. Umumnya tanaman kimpul akan memberikan hasil optimum pada lahan darat yang gembur. Tanaman kimpul dapat tumbuh baik di tanah yang terlindung sinar matahari. Kemampuan tanaman kimpul untuk tumbuh di tempat ideal untuk mengisi lahan kosong di pedesaan. Tanaman kimpul cocok untuk tanaman tumpang sari pada kebun-kebun kopi karena tahan terhadap lingkungan (Ridal, 2003).

➤ **Kandungan Gizi Umbi Kimpul**

Komponen terbesar lainnya yang terdapat pada kimpul adalah karbohidrat yang dapat dipecah menjadi senyawa yang lebih sederhana. Kimpul juga mengandung senyawa antigizi berupa kalsium oksalat yang dapat menimbulkan rasa gatal, sensasi terbakar dan iritasi pada kulit, mulut, tenggorokan dan saluran cerna pada saat dikonsumsi (Ayu, 2014). Senyawa antigizi adalah senyawa kimia yang dapat mengganggu fungsi dan atau ketersediaan hayati zat gizi.

Kekurangan kimpul yaitu mengandung asam oksalat yang menimbulkan rasa gatal. Adanya senyawa oksalat pada kimpul seringkali menyebabkan rasa gatal pada rongga mulut dan tenggorokan saat dikonsumsi. Konsentrasi asam oksalat dalam dosis tinggi bersifat merusak. Efek yang dapat disebabkan jika mengkonsumsinya yaitu terjadinya endapan kristal kalsium oksalat dalam ginjal dan membentuk batu ginjal. Adapun dosis yang dapat menyebabkan efek kronis adalah antara 10-15 gram. Sedangkan pada umbi kimpul kalsium oksalat yang terkandung masih di bawah titik aman yaitu 1.83 mg dalam 100 gram bahan. Kadar oksalat dapat dikurangi dengan melakukan perlakuan pendahuluan yang benar. Menurut Mayasari (2010), perendaman larutan garam NaCl 10% selama 60 menit dapat mereduksi oksalat sebesar 96,83%. Volume air perendaman sama dengan bobot umbi setelah dikupas.

Komposisi gizi dan kimia umbi kimpul tergantung dari varietas, iklim, kesuburan tanah, dan umur panen. Kandungan gizi umbi kimpul per 100 g berat bahan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kandungan Gizi Umbi Kimpul per 100 g Berat Bahan

Kandungan Gizi	Jumlah
Energi (Kal)	145,0
Protein (g)	12,50
Lemak (g)	0,4
Karbohidrat (g)	34,20
Serat	1,50
Abu (%)	1,0
Kalsium (mg)	26,0
Fosfor (mg)	54,0
Besi (mg)	1,4
Asam Askorbat (mg)	0,10
Vitamin B1 (mg)	0,10
Vitamin C (mg)	2,0
Air (%)	69,20
Berat yang dapat dimakan (%)	85,0

Sumber : Lingga (1995)

3) Uwi (*Dioscorea spp.*)

Uwi (*Dioscorea spp.*) merupakan salah satu varietas umbi-umbian yang banyak tumbuh di Indonesia, meskipun sekarang sudah sulit dijumpai di pasaran. Penanaman uwi masih cukup luas di pedesaan walaupun juga semakin terancam kelestariannya. Nama lain dari uwi (Jawa) adalah *huwi* (Sunda), *lame* (Sulawesi) dan *ubi* (Melayu). Nama Inggrisnya adalah *greater yam*, *water yam*, *ten-months yam*. Uwi secara alami bersifat toleran terhadap kekeringan, hidup merambat dan menghasilkan umbi di dalam tanah. Walaupun keadaan air tidak mendukung uwi masih bisa tumbuh dengan baik. Umbinya tidak beraturan bentuknya dan bercabang, ada yang memiliki warna merah, ungu atau putih (Rubatzky dan Yamaguchi, 1998).



Gambar 2.11 Umbi Uwi

Menurut Lingga.dkk (1986) berdasarkan warna daging umbinya uwi terbagi menjadi tiga macam yaitu:

1. **Uwi Putih;** Uwi putih memiliki panjang 30-57 cm, tebal 6-9 cm. Dagingnya berwarna putih, bentuk uwinya yang besar tak beraturan, bercabang-cabang dan kulitnya kasar berserabut. Umur panen sekitar 6 sampai dengan 8 bulan.
2. **Uwi Kuning;** Umbinya biasa disebut dengan Uwi Menjangan, bercabang cabang dengan panjang 35-60 cm, tebal 7-10 cm. Daging berwarna kuning kecoklatan atau kuning jeruk kemerahan. Bentuk uwinya yang besar tak beraturan dan bercabang-cabang menyerupai tanduk menjangan oleh karena itu dinamakan uwi menjangan. Umbi melebar seperti kipas ujungnya berlekuk dalam, sampai berbagi dan ukurannya besar sekali. Umur panen sekitar 6 sampai dengan 8 bulan.
3. **Uwi ungu;** Uwi Ungu secara umum memiliki panjang batang 10-25 cm, bersayap pendek dan jumlahnya empat buah, berdiameter 1cm. Mempunyai kulit umbi bagian dalam berwarna ungu tua dan dagingnya berwarna ungu muda, terkadang terdapat bercak-bercak ungu tak beraturan. Terdapat juga uwi dorok (Jawa), uwi memerah/uwi abang (Jawa) yang masih termasuk ke dalam kategori ini, panjang uwi sekitar 80 cm.

Daging bagian tengah berwarna merah daging cerah serta kulit dalamnya berwarna merah atau coklat kekuningan. Kulitnya kasar berserabut, bentuknya tidak beraturan berwarna ungu kecoklatan karena warna diikuti warna coklat kayu. Umur panen sekitar 9 sampai dengan 12 bulan.



Gambar 2.12 Tanaman Uwi (*D. alata*), Uwi Putih (a), Uwi Kuning (b), Uwi Ungu (c) (Sumber: Lingga.dkk, 1986)

➤ Kandungan gizi dan manfaat Uwi (*Dioscorea spp.*)

Selama ini uwi hanya dimanfaatkan sebagai makanan rebus yang dikonsumsi masyarakat pedesaan. Hanya beberapa jenis seperti gadung yang sudah diolah lebih lanjut menjadi keripik. Keberadaan uwi perlu diteliti lebih dalam lagi karena memiliki manfaat baik untuk tubuh. Uwi berpotensi sebagai sumber bahan pangan karbohidrat non beras. Varietas lokal yang berwarna ungu mengandung zat-zat yang bermanfaat untuk kesehatan dan manfaat lain yang belum banyak diketahui oleh masyarakat. Karbohidrat uwi memiliki kadar amilosa tinggi yaitu 26,98–31,02 % (Jayakody *et.al*, 2007) dan mempunyai struktur yang stabil pada suhu tinggi dan pH rendah (Mali *et.al*, 2002), uwi juga bersifat hipoglikemik (Chen dan Lin, 2007). Uwi mengandung nutrisi dan komponen fungsional seperti mucin, dioscin, allantoin, choline dan asam amino esensial (Fang *et.al*, 2011).

Uwi mengandung lendir kental yang terdiri dari glikoprotein dan polisakarida larut air. Glikoprotein dan polisakarida merupakan bahan bioaktif yang berfungsi sebagai serat pangan larut air dan bersifat hidrokoloid yang bermanfaat untuk menurunkan kadar glukosa darah dan kadar total kolesterol, terutama kolesterol LDL (*Low Density Lipoprotein*). Oleh karena itu, uwi-uwian memiliki potensi sebagai bahan pangan untuk mencegah penyakit degeneratif seperti obesitas dan diabetes militus. Komposisi Kimia Umbi Uwi dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Komposisi Kimia Uwi (*Dioscorea spp.*)

No	Nutrisi (g/100g)	Jumlah
1	Kelembaban (%)	65 – 78,6
2	Karbohidrat (%)	22 – 31
3	Pati (%)	16,7 – 28
4	Gula bebas (%)	0,5 – 1,4
5	Protein (%)	1,1 – 3,1
6	Lemak (%)	<0,16 – 0,6
7	Serat (%)	1,4 – 3,8
8	Abu (%)	0,7 – 2,1
9	Fosfor (mg)	28 – 52
10	Kalsium	28 – 38
11	Vitamin C (mg/100g)	2,0 – 8,2
12	Besi (mg)	5,5 – 11,6
13	Energi (kkal)	140
14	Betakaroten (µg)	5 – 10
15	Thiamin (mg)	0,05 – 10
16	Riboflavin (mg)	0,03 – 0,04

Sumber: Evans C. *et al.*, (2013)

4) Umbi Bentul (*Colocasia esculenta L.*)

Bentul telah dikenal secara luas oleh hampir seluruh masyarakat. Terkenal dengan nama bentul di Indonesia, di negara lain seperti Inggris sering disebut dengan *taro*, *old cocoyam*, *dashen*, dan *eddoe*. Kebanyakan dari beberapa nama sebutan tersebut, sering di-

temukan menggunakan *taro* atau *cocoyam*. Bentul memiliki jenis yang beragam dan warna daging umbinya yang berwarna putih kekuningan dan berwarna ungu. Kota Malang khususnya daerah Tumpang dikenal memiliki bentul dengan tekstur yang pulen dan rasa yang enak. Namun masa simpan dari bentul yang relatif cepat perlu adanya pengolahan untuk dapat memperlama waktu simpan (Nurbaya, 2013).



Gambar 2.13 Umbi Bentul

➤ **Kandungan Kimia Umbi Bentul**

Menurut Alcantara (2013) menyatakan bahwa umbi bentul merupakan sumber yang baik dari Tiamin, Riboflavin, besi, fosfor dan sumber yang sangat baik vitamin B6, vitamin C, niasin, kalium, tembaga dan mangan. Umbi bentul juga mengandung jumlah vitamin B-kompleks yang lebih besar daripada susu.

Umbi bentul memiliki keunggulan yaitu kemudahan patinya untuk dicerna. Hal ini disebabkan bentul memiliki ukuran granula pati yang sangat kecil yaitu 1 – 4 μm . Ukuran granula pati yang kecil dapat bermanfaat mengatasi masalah pencernaan (Nurbaya , 2013).

Komposisi kimia umbi bentul segar dalam 100 gram dapat dilihat Tabel 2.5 sebagai berikut :

Tabel 2.5 Komposisi Kimia Umbi Bentul Segar Dalam 100 gr

Komponen	Komposisi
Kadar Air	63 – 85%
Karbohidrat (sebagian besar dalam bentuk pati)	13 – 29%
Protein	1,4 – 3,0 %
Lemak	0,16 – 0,36 %
Serat kasar	0,60 – 1,18 %
Abu	0,60 % - 1,3 %

Sumber: Syamsir (2012)

Tabel 2.6 Perbandingan Komposisi Kimia Tepung Umbi Bentul, Ubi Kelapa, Ganyong, Suweg dan Gembili

Parameter	Bentul	Ubi Kelapa	Ganyong	Suweg	Gembili
Kadar Air	6,07%	11,06%	6,69%	9,4%	6,44%
Protein	3,45%	6,66%	0,73%	5,22%	6,11%
Lemak	0,31%	0,09%	1,22%	1,64%	0,89%
Abu	2,14%	3,56%	2,89%	3,81%	2,87%
Serat	2,87%	4,76%	5,64%	4,74%	2,29%
Pati	67,42%	52,25%	40,18%	39,36%	42,16%
Amilosa	2,25%	12,14%	7,50%	7,57%	9,80%

Sumber: Fidyasari (2017); Richana dan Sunarti (2004)

➤ Senyawa Oksalat

Kendala pada umbi bentul adalah kandungan yang ada di dalam umbi bentul yaitu adanya kristal kalsium oksalat yang dapat menyebabkan rasa gatal di mulut. Banyak upaya untuk mereduksi kadar kalsium oksalat pada umbi bentul supaya tidak menimbulkan gatal pada saat dikonsumsi. Kristal kalsium oksalat dapat dikurangi bahkan dapat dihilangkan dengan perendaman dalam larutan garam, pengukusan, perebusan, penggorengan, pemanggangan, dan kombinasi perlakuan. Jumlah oksalat yang diijinkan sehingga layak

untuk dikonsumsi adalah sebesar 71 mg/100g (Dedeh dan Sackey, 2004).

Bentul mengandung asam oksalat yang mempengaruhi penyerapan kalsium dalam saluran pencernaan, yaitu dengan pembentukan ikatan-ikatan kalsium yang tidak dapat larut air. Kalsium oksalat berbentuk kristal yang menyerupai jarum. Keberadaan asam oksalat diduga dapat mengganggu penyerapan kalsium. Asam oksalat bersifat larut dalam air, sementara kalsium oksalat tidak larut dalam air tetapi larut dalam asam kuat (Koswara, 2013).

Rasa gatal yang tertinggal di mulut setelah memakan bentul disebabkan oleh suatu zat kimia yang disebut kalsium oksalat (CaC_2O_4). Rasa gatal yang merangsang rongga mulut dan kulit disebabkan oleh adanya kristal-kristal kecil berbentuk jarum halus yang tersusun dari kalsium oksalat, yang disebut raphide. Salah satu cara untuk menghilangkan rasa gatal umbi bentul dapat dihilangkan dengan perendaman menggunakan larutan garam dapur (Chotimah dan Fajarini, 2013).

RANGKUMAN

Pati adalah karbohidrat yang merupakan polimer glukosa yang terdiri dari amilosa dan amilopektin dimana besarnya perbandingan amilosa dan amilopektin ini berbeda-beda tergantung jenis patinya. Komposisi atau rasio kadar amilosa dan amilopektin dalam pati berpengaruh pada sifat dan karakteristik pati itu sendiri. Berbagai macam pati tidak sama sifatnya, tergantung dari panjang rantai karbonnya, serta lurus atau bercabang. Dalam bentuk aslinya secara alami pati merupakan butiran-butiran kecil yang disebut granula.

Sumber pati diantaranya yaitu ubi kayu, umbi kimpul, umbi uwi dan umbi bentul. Pati memegang peranan penting dalam industri pengolahan pangan maupun non pangan, seperti pada industri kertas, lem, tekstil, permen, glukosa, dekstroza, sirup fruktosa, dan lain sebagainya. Penggunaan pati dipengaruhi oleh beberapa sifat

yang ada dalam pati seperti gelatinasi, swelling power (daya kembang), dan viskositas.

Pertanyaan

- 1) Apa komponen utama penyusun pati?
- 2) Apa saja sumber pati yang berasal dari umbi-umbian?
- 3) Apa perbedaan amilosa dan amilopektin?
- 4) Apa yang dimaksud dengan gelatinisasi pati?
- 5) Senyawa apa yang terkandung dalam ubi kayu?

PUSTAKA

- Alcantara, M., Hurtada, A., & Dizon, I. (2013). The nutritional value and phytochemical components of taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott] powder and its selected processed foods. *Nutrition & Food Sciences*.
- Ayu, Disafitri Candra dkk. 2014. Pengaruh Suhu Blansing dan Lama Perendaman terhadap Sifat Kimia Tepung Kimpul (*Xanthosoma Sagottifolium*). Jurnal Pangan dan Agroindustri Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya Malang. Vol. 2, NO. 2, Hal 110-120
- Badan Standarisasi Nasional, 1994. Standar Nasional Indonesia (SNI). SNI-01-3451-1994. Tepung Tapioka. Dewan Standarisasi Indonesia. Jakarta
- Be Miller, J. N. and R. L. Whistler. 1996. *Carbohydrates In O.R. Fennema Food Chemistry 3rd Ed*. New York : Marcel Dekker Inc.
- Birt DF, Boylston T, Hendrich S, Lane J, Hollis J, Li L, McClelland J, Moore S, Phillips GJ, Rowling M, Schalinske K, Scott MP, Whitley MP. 2013. Resistant Starch: Promise for Improving Human Health. *Advances in Nutrition [Electronic Resource]*.4(6): 587–601.

- Bokanga, M. 2001. Cassava: Post-harvest biodeterioration. Internasional Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Negeria. <http://www.cgiar.org/iita/>. [3 November 2017]
- Bukabi-Deptan. 2009. Umbi-umbian. Direktorat Budidaya Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Departemen Pertanian.
- Cardoso, A.P., Mirione, E., Ernesto, M., Massaza, F., Cliff, J., Haque, M. R., Bradbury, J.H. 2005. Processing of cassava to remove cyanogens. Food composition and analysis. (18): 451- 460.
- Charles, A.L., Chang, Y.H., Ko, W.C., Sriroth, K. dan Huang, T.C. (2005). *Influence of amylopectin structure and amylose content on gelling properties of five cultivars of cassava starches*. Journal of Agriculture and Food Chemistry 53: 2717-2725.
- Chen YT and Lin KW. 2007. Effects of heating temperature on the total phenolic compound, antioxidative ability and the stability of dioscorin of various yam cultivars. Food Chemistry 101: 955–963
- Chotimah, S., Fajarini, D. T., & Budiyati, C. S. (2013). Reduksi kalsium oksalat dengan perebusan menggunakan larutan NaCl dan penepungan untuk meningkatkan kualitas sente (*Alocasia macrorrhiza*) sebagai bahan pangan. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 76–83.
- Estiasih, T. 2006. Teknologi dan Aplikasi Polisakarida dalam Pengolahan Pangan. Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya : Malang
- Evans, C. H. (2013). *Biochemistry of the Lanthanides* (Vol. 8). Springer Science & Business Media.

- Fang Z, D Wu, Yü D, Ye X, Liu D, and Chen J. 2011. Phenolic compounds in Chinese purple yam and changes during vacuum frying, *Food Chemistry* 128: 943–948
- Fennema, O.R. 1996. *Food Chemistry*. Marcell Dekker Inc. New York
- Flach, M. 1993. *Sago Palm Metroxylon Sagu Rottb.* International Plant Genetic Resources Institute. Jerman
- Fidyasari, A., Sari, R. M., & Raharjo, S. J. (2017). Identifikasi Komponen Kimia pada Umbi Bentul (*Colocasia esculenta* (L.) Schoot) sebagai Pangan Fungsional. *Amerta Nutrition*, 1(1), 14-21.
- Haryadi. 1993. Dasar-dasar dan Pemanfaatan Ilmu dan Teknologi Pati. *Agritech* Vol. 13, No.3, Halaman 37-42.
- Hill dan Kelley. 1942. “Organic Chemistry”. The Blakistan Co., Philadelphia, Toronto.
- Jatmiko, G. P dan T. Estiasih. 2014. Mie dari Ubi Kimpul (*xanthosoma sagittifolium*) : Kajian Pustaka. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. Vol. 2 No. 2 : 127-134
- Jayakody L, Hoover R, Liu Q, and Donner E. 2007. Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea* sp.) starches grown in Sri Lanka. *Carbohydrate Polymers* 69: 148– 163
- Jayakody, L., Hoover, R., Liu, Q. and Donner, E. 2007. Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea* sp) starches grown in Sri Lanka. *Carbohydrate Polymers* 69: 148-163.
- Kearsley, M.W and Dziedzic. 1995. *Handbook of starch Hydrolysis Product and Their Derivatives*. Blackie Academic & Professional, Glasglow.

- Koswara, S. (2009). Teknologi modifikasi pati. *Teknol. Pangan*, 1-32.
- Koswara. 2006. *Teknologi Modifikasi Pati*. Bogot : IPB Press
- Koswara, S. (2013). Teknologi pengolahan umbi-umbian. *Bogor: Research and Community Service Institution IPB*.
- Lehmann U, Jacobasch G, Schmiedl D. 2002. Characterization of resistant starch type III from banana (*Musa acuminata*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.50(18) : 5236 – 5240.<http://doi.org/cw89dg>
- Lingga, P, B Sarwono, I Rahardi, P.C Rahardjo, J.J Afriastini, R. Wudianto dan W.H Apriadi. 1995. *Bertanam Umbi-Umbian*. PT Penebar Swadaya, Jakarta.
- Lingga, P. 1986. *Bertanam Umbi-umbian*. PT Penebar Swadaya, Jakarta
- Mali S, Grossmann MVE, Garcí'a MA, Martino MM, and Zaritzky NE. 2006. Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources. *Journal of Food Engineering* 75: 453–460
- Mali, S., Ferrero, C., Redigonda, V., Beleia, A.P., Grossmann, M.V. and Zaritzky, N.E. 2003. Influence of pH and hydrocolloids addition on yam (*Dioscorea alata*) starch pastes stability. *Food Science and Technology* 36: 475-481.
- Mayasari, N. 2010. Pengaruh Penambahan Larutan Asam dan Garam Sebagai Upaya Reduksi Oksalat pada Tepung Talas (*Colocasia esculenta* (L.) Schott). (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- McCready, R.M., 1970, Starch and Dextrin di dalam M.A Joslyn (ed), *Methods in Food and Analysis*, Academic Press, New York

- Moongngarm A. 2013. Chemical Compositions and Resistant Starch Content in Starchy Foods. *American Journal of Agricultural and Biological. Sciences* . 8(2): 107- 113. <http://doi.org/676>
- Muchtadi, D. 1989. Evaluasi Nilai Gizi Pangan. Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi. IPB. Bogor.
- Munarso SJ. 1998. Modifikasi sifat fungsional tepung beras dan aplikasinya dalam pembuatan mi beras instan [tesis]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Nurbaya, S. R., & Estiasih, T. (2013). Pemanfaatan talas berdaging umbi kuning (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) dalam pembuatan cookies. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 1(1), 46-55.
- Okoniewska M, Witwer RS. 2007. Natural resistant starch: an overview of health properties a useful replacement for flour, resistant starch may also boost insulin sensitivity and satiety. New York (US):Nutritional Outlook.
- Pomeranz Y. 1991. Functional Properties of Food Components. Second Edition. Academic Press. New York.
- Prihatman dan Kemal. 2000. Budidaya Pertanian Ketela Pohon / singkong (*Manihot utilissima* Pohl). Deputi Menegristek. Jakarta
- Putri, W. D. R., & Zubaidah, E. (2017). *Pati: Modifikasi dan Karakteristiknya*. Universitas Brawijaya Press.
- Ridal, S. 2003. Karakterisasi Sifat Fisiko Kimia Tepung dan Pati Talas (*Colocasia esculenta*) dan Kimpul (*Xanthoshoma* sp) dan Uji Penerimaan Alfa Amylase terhadap Patinya. (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor

- Roder N, Ellis PR, Butterworth PJ. 2005. Starch molecular and nutritional properties: a review. *Adv in Mol Med* 1:5-14
- Rubatzky,V.E dan Yamaguchi. 1998. (Sayuran Dunia, Prinsip, Produksi, dan Gizi, alih bahasa Catur Herison).ITB, Bandung
- Sajilata M.G ; Singhal R.S ; Kulkarni P.R. 2006. Resistant starch: a review. *Comp Rev Food Sci Food F* 5: 1-17
- Setiarto, R.H.B ; B.S.L. Jenie ; D.N Faridah dan I. Saskiawan. 2015. *Kajian Peningkatan Pati Resisten yang Terkandung dalam Bahan Pangan Sebagai Sumber Prebiotik*. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI) Vol. 20 (3) ISSN 0853-4217
- Sari, M. 2009. Pengaruh Penambahan *Saccharomyces cerevisiae* dan Lama Fermentasi Terhadap Kandungan Gizi dan Mutu Pati Termodifikasi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Sefa-Dedeh, S., & Agyir-Sackey, E. K. (2004). Chemical composition and the effect of processing on oxalate content of cocoyam *Xanthosoma sagittifolium* and *Colocasia esculenta* cormels. *Food chemistry*, 85(4), 479-487.
- Smith, P.S. 1982. Starch Derivatives and Their Use in Foods. In: Lineback, D.R. and G.E. Paschall, 1982. *Food Carbohydrates*. (eds) Avi Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut.
- Smith, P.S. 1982. Starch derivatives and their uses in foods. *Food Carbohydrate*, hal 431-503. VI. Publ. co. Inc.
- Srichuwong, S. (2006). Starches from Different Plant Origins: from Structure to Physicochemical Properties. Disertasi. Mie University. Japan.
- Swinkels, J.M. (1985) Sources of Starch, Its Chemistry and Physics. In: Van Beynum, G.M. and Roel, J.A., Eds., *Starch Conversion Technology*, Marcel Dekker Inc., New York, 15-46.

- Syamsir, E., Hariyadi, P., Fardiaz, D., Andarwulan, N., & Kusnandar, F. (2012). Pengaruh proses heat-moisture treatment (hmt) terhadap karakteristik fisikokimia pati [Effect of Heat-Moisture Treatment (HMT) Process on Physicochemical Characteristics of Starch]. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 23(1), 100-100.
- Swinkless, J.J.M. 1985. *Source of Starch, Its Chemistry and Physics*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Syamsir, E. 2012. Talas andalan Bogor. *Kulinologi Indonesia*, [online], 4(5) , 11.
- Taggart P (2004) Starch as an ingredient: manufacture and applications. In: Eliasson AC (ed) *Starch in food: structure, function and applications*. CRC Press, Boca Raton, p 605
- Tam, L.M., Corke, H., Tan, W.T., Li, J. dan Collado, L.S. 2004. *Production of bihon-type noodle from maize starch differing in amylose content*. *Cereal Chemistry* 81(4): 475-480.
- Toma MM, Pokrotnieks J. 2006. Prebiotics as Functional Food: Microbiological and Medical Aspects. *Acta Universitatis Latviensis*. 710:117-129.
- Ulyarti.1997.Mempelajari Sifat-Sifat Amilografi pada Amilosa, Amilopektin dan Campurannya. Skripsi Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Vatanasuchart N, Tungtrakul P, Wongkrajang K, Naivikul O. 2010. Properties of Pullulanase Debranched Cassava Starch and Type-III Resistant Starch. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 44 : 131 – 141

- Vatanasuchart N, Niyomwit B, Wongkrajang K. 2012. Resistant starch content, in vitro starch digestibility and physico-chemical properties of flour and starch from Thai bananas. Maejo International Journal of Science and Technology . 6(02): 259 – 271.
- Wariyah Chatarina. 2012. Jurnal AgriSains Vol. 4 No. 5: Potensi Kimpul (*Xanthosoma Sagittifolium*) siap Tanak sebagai Pangan Alternatif Berkalsium. Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Agroindustri, Universitas Mercu Buana Yogyakarta.
- Wells AL, Saulnier DMA, Gibson GR. 2008. Gastrointestinal microflora and interactions with gut mucosa . In: Gibson GR, Roberfroid MB, editor. Handbook of Prebiotics. New York (US): CRC Press. <http://doi.org/fmgrnz>
- Whistler, R. L. 1984. History and Future Expectation of Starch Uses, in r.l. Whistler, J. N. Bemiller, & e. F. Paschall (eds.), Starch Chemistry and Technology, New York: Academic Press.
- Widya Dwi Rukmi Putri, Elok Zubaidah. Pati: Modifikasi dan Karakteristiknya. Universitas Brawijaya Press, 2017.
- Winarno, FG. 2002. Kimia Pangan dan Gizi. Gramedia. Jakarta
- Zaragoza E.F ; Riquelme-Navarrete M.J ; SanchezZapata E; Perez-Alvarez JA. 2010. *Resistant starch as functional ingredient: A review*. Food Research International. 43(4): 931-942

3.

SIFAT DAN KARAKTERISTIK PATI

Capaian Pembelajaran :

1. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan tentang sifat-sifat dan karakteristik pati, seperti: kelarutan, daya kembang, viscositas, derajat substitusi, dan sebagainya;
2. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan jenis pati dapat menentukan untuk diaplikasikan pada jenis produk pangan tertentu.

A. Sifat Fisika Kimia Pati

Sifat fungsional pati merupakan sifat fisikokimia yang mempengaruhi perilaku komponen pati selama persiapan, pengolahan, penyimpanan dan konsumsi. Sifat Fisika kimia pati antara lain adalah sebagai berikut:

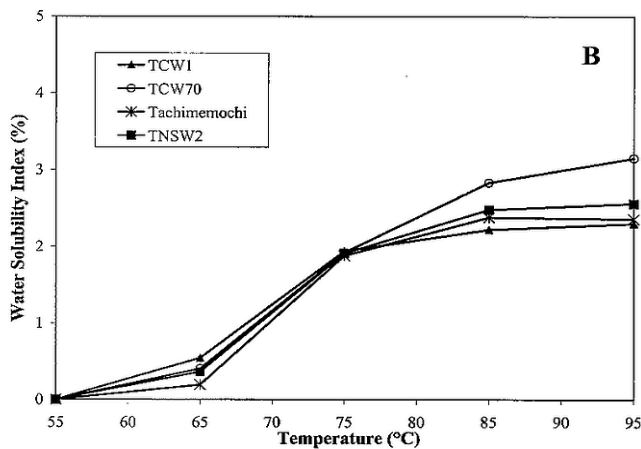
1) Kelarutan (*Solubility*)

Kelarutan (*Solubility*) adalah jumlah dari suatu zat yang dapat larut dalam suatu pelarut. Satuan yang pada umumnya digunakan adalah gr/ml. Besarnya kelarutan suatu zat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis pelarut dimana senyawa polar akan mudah larut dalam senyawa polar sedangkan senyawa non-polar akan larut dalam senyawa non-polar, dan suhu yang tinggi akan mengakibatkan zat mudah larut dalam pelarut akibat semakin renggangnya jarak antara molekul zat padat tersebut. Kelarutan pada pati terjadi disebabkan adanya ikatan non-kovalen antara molekul molekul pati. Bila pati dimasukkan ke dalam air dingin, granula pati akan menyerap air dan membengkak. Tingkat kelarutan pada pati juga sangat dipengaruhi oleh komposisi kandungan amilosa dan amilopektin yang terdapat pada jenis pati itu sendiri.

Semakin tinggi kandungan amilosa, maka kemampuan pati untuk menyerap air menjadi lebih besar karena amilosa mempunyai kemampuan untuk membentuk ikatan hidrogen yang lebih besar daripada amilopektin. Semakin tinggi kadar amilosa pati maka kelarutannya di dalam air juga akan meningkat karena amilosa memiliki sifat polar.

Nilai kelarutan pati sangat bermanfaat dalam menentukan jumlah optimal dari pati yang akan digunakan untuk proses produksi atau konversi, sehingga akan dihasilkan produk dengan karakteristik yang diinginkan serta dapat menghindari penggunaan pati yang berlebih. Tujuan dilakukan pengujian *solubility* yaitu memperkirakan ukuran atau volume yang digunakan dalam proses produksi sehingga jika pati mengalami *swelling power* wadah yang digunakan masih bisa menampung pati tersebut dan mengetahui suatu produk mudah dicerna dalam sistem pencernaan tubuh (Suriani, 2008). Dengan demikian, kelarutan suatu bahan dapat dilihat dari daya terabsorpsi dalam air sehingga tidak terbentuk emulsi. Dengan demikian kelarutan pati yang terbatas di dalam air. Kemampuan air untuk membentuk tekstur yang kental dan gel yang tinggi, maka dari itu dilakukannya uji kelarutan pati untuk mendapatkan produk yang diinginkan (Suriani, 2008).

Penelitian yang dilakukan Purnamasari dkk (2010) menyatakan bahwa terkait dengan kemudahan molekul air untuk berinteraksi dengan molekul dalam granula pati dan menggantikan interaksi hidrogen antar molekul sehingga granula akan lebih mudah menyerap air dan mempunyai pengembangan yang tinggi. Adanya pengembangan tersebut akan menekan granula dari dalam sehingga granula akan pecah dan molekul pati terutama amilosa akan keluar.



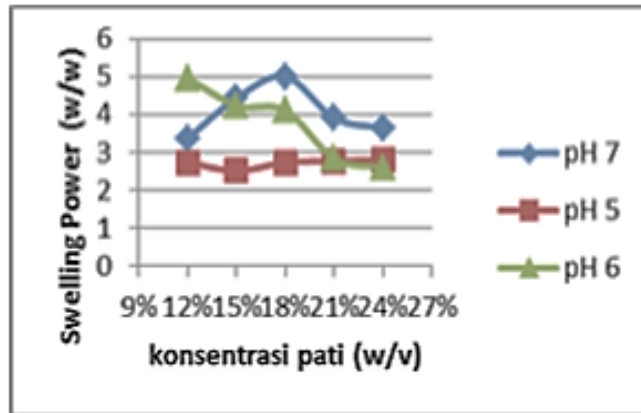
Gambar 3.1 Pengaruh suhu terhadap indeks kelarutan air pada pati beras (Jane Wang, 2002)

Kelarutan pati semakin tinggi dengan meningkatnya suhu, serta kecepatan peningkatan kelarutan adalah khas untuk tiap pati. Semakin tinggi suhu pemanasan menyebabkan terjadinya degradasi dari pati sehingga rantai pati tereduksi dan cenderung lebih pendek akan meningkatkan sifat hidrofilik pati. Peningkatan kelarutan selalu diikuti oleh peningkatan viskositas pati. Hal ini disebabkan karena peningkatan jumlah gugus hidroksil yang menyebabkan kelarutan dalam air meningkat dan mengakibatkan air yang sebelumnya bebas bergerak diluar granula menjadi terperangkap dan tidak dapat bergerak bebas lagi (Pomeranz, 1991).

2) Daya kembang (*Swelling Power*)

Swelling power (daya kembang) pada pati merupakan kenaikan volume dan berat maksimum pati selama mengalami pengembangan di dalam air. *Swelling power* yang tinggi berarti semakin tinggi pula kemampuan pati mengembang didalam air. Nilai *swelling power* perlu diketahui untuk memperkirakan ukuran atau volume wadah yang digunakan dalam proses produksi sehingga jika pati mengalami swelling, wadah yang digunakan masih bisa menampung pati tersebut. Semakin besar *swelling power* berarti

semakin banyak air yang diserap selama pemasakan, hal ini disebabkan kandungan amilosa dan amilopektin yang ada dalam tepung. Semakin tinggi kadar amilosa maka nilai pengembangan volume akan semakin tinggi (Murillo *et al*, 2008).



Gambar 3.2 Pengaruh konsentrasi pati dan pH pada Swelling Power Pati Sorgum (Haryani, 2017)

Swelling power didefinisikan sebagai pertambahan berat maksimum yang dialami pati dalam air. Namun demikian, jumlah air yang terserap dan pembengkakannya terbatas hanya mencapai 30% (Winarno, 2002). Nilai swelling power hasil hidrolisa pati sorgum pada berbagai konsentrasi pati dan pH ditunjukkan pada Gambar di atas.

Pada umumnya, nilai *swelling power* akan menurun setelah pati mengalami oksidasi sebagai akibat dari menurunnya kadar amilosa di dalamnya. *Swelling power* sangat dipengaruhi oleh keberadaan gugus amilosa sebagai salah satu komponen penyusun pati. Semakin lama waktu proses mengakibatkan semakin banyak amilosa yang tereduksi, sehingga penurunan jumlah amilosa tersebut menyebabkan kenaikan *swelling power*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai *swelling power* produk seiring dengan peningkatan pH pada varian konsentrasi pati dan waktu dekstrinisasi yang sama, yang berarti menunjukkan pada

pelakuan pH 6 didapatkan harga *swelling power* produk yang lebih optimum dibandingkan pada pH 7. Persentase kelarutan (*solubility*) dan *swelling power* dipengaruhi interaksi antara konsentrasi pati, waktu deksrinsisasi dan pH larutan. Peningkatan persentase kelarutan maltodekstrin berbanding lurus dengan *swelling power* (Nurfida dan Puspitawati, 2011).

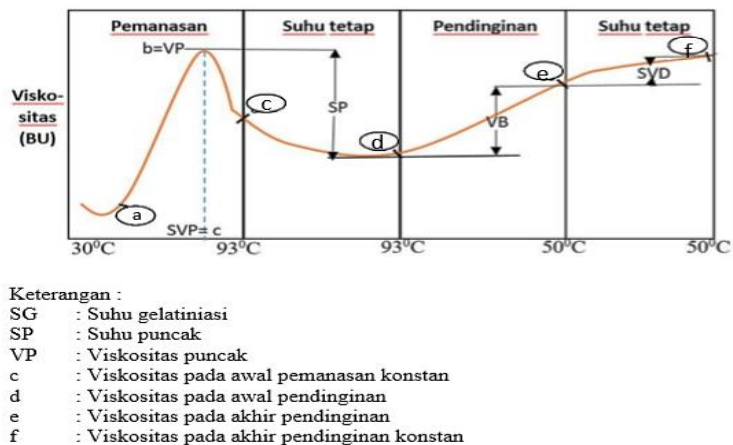
Pati dengan *swelling power* tinggi memiliki daya cerna yang tinggi dan menunjukkan kemampuan pati untuk memperbaiki sifat-sifat makanan dan penggunaan pati dalam berbagai aplikasi makanan. Pati yang memiliki *swelling power* tinggi akan baik digunakan untuk produk *bakery* yang membutuhkan pengembangan besar, sedangkan tepung dengan *swelling power* rendah cocok digunakan sebagai bahan baku produk yang tidak membutuhkan pengembangan terlalu besar, contohnya mie (Kusumayanti dkk., 2015).

3) Viskositas

Viskositas berkaitan dengan pengukuran tepung dengan konsentrasi tertentu selama pemanasan dan pengadukan. Viskositas menunjukkan sifat pecahnya granula pati setelah proses gelatinisasi pati yang disebabkan karena adanya panas dan air (Indrastuti dkk, 2012). Sifat gelatinisasi dan pembengkakan dari suatu pati, salah satunya ditentukan oleh struktur amilopektin, komposisi pati dan ukuran granular pati. Di samping itu, perbedaan sifat gelatinisasi juga dipengaruhi oleh berat molekul granula pati. Makin besar berat molekul, maka gelatinisasi akan terjadi pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan yang berat molekulnya lebih rendah.

Saat larutan pati dipanaskan di atas temperatur gelatinisasinya, pati yang mengandung amilopektin lebih banyak akan membengkak lebih cepat dibandingkan dengan pati lain. Sebaliknya tepung-tepungan dengan kandungan amilosa yang lebih tinggi, seperti tepung beras dan tepung terigu, memerlukan temperatur yang lebih tinggi agar patinya tergelatinisasi (Imanningsih, 2012).

Pada uji amilografi terdapat beberapa parameter yang dapat diamati yaitu suhu gelatinisasi, viskositas puncak serta viskositas balik. Menurut Muhandri (2007) karakterisasi sifat ini diperlukan untuk beberapa tujuan diantaranya adalah identifikasi perubahan respon amilografi akibat perbedaan variabel bahan atau proses, pendugaan sifat tepung selama pengolahan dan identifikasi data awal untuk keperluan set up peralatan pengolahan pati dan tepung. Perilaku gelatinisasi dan profil pemastan dari campuran tepung-air dan pati dapat dimonitor menggunakan *Rapid Visco Analyzer* (RVA) yang merupakan viskometer dengan pemanasan dan pendinginan sekaligus untuk mengukur resistansi sampel terhadap penanganan dengan pengadukan terkontrol. RVA dapat memberikan simulasi proses pengolahan pangan (Jacobs dan Delcour, 1998).



Gambar 3.3 Profil sifat-sifat amilografi secara umum (Ulyarti, 1997)

Pada grafik diatas suhu awal gelatinisasi (SG) adalah suhu pada saat viskositas mulai menaik dengan tajam ditunjukkan dengan titik “a”. Viskositas puncpak (VP) adalah viskositas tertinggi yang dicapai pasta selama pemanasan, apabila tidak terjadi penurunan viskositas pada saat atau setelah pemanasan, maka dipergunakan istilah viskositas maksimum pada grafik ditunjukkan pada titik “b”.

Suhu Viskositas Puncak (SVP) adalah suhu pada saat tercapai viskositas puncak pada grafik ditunjukkan pada titik “c”. Stabilitas Pasta (SP) adalah selisih viskositas pada awal pendinginan dan viskositas puncak sebelum pendinginan, pada grafik stabilitas viskositas pada titik “d” dikurangi dengan pada titik “b”.

Viskositas Balik (VB) adalah selisih pada akhir pendinginan dan viskositas pada awal pendinginan, pada grafik viskositas balik adalah viskositas pada titik “e” dikurangi pada titik “d” Stabilitas Viskositas Dingin (SVD) adalah perbedaan viskositas setelah pendinginan pada suhu konstan dan viskositas sebelumnya, pada grafik viskositas dingin adalah viskositas pada titik “f” dikurangi viskositas pada titik “e”(Ulyarti, 1997).

4) Derajat Substitusi

Derajat Substitusi (DS) adalah jumlah rata-rata gugus per anhidroglukosa unit yang disubstitusikan oleh gugus lain. Apabila gugus yang menggantikan berupa satu gugus anhidroksil pada tiap unit anhidroglukosa diesterifikasi dengan satu buah gugus asetil, nilai DS sebesar 1. Apabila terdapat tiga buah gugus hidroksil yang diesterifikasi, maka nilai DS sebesar 3. Secara komersial, pati termodifikasi memiliki nilai DS 0,1 dimana rata-rata terdapat 1 gugus yang disubstitusi setiap 10 unit anhidroglukosa (Wurzburg, 1989).

Pati bersifat sangat hidrofilik apabila dipanaskan dalam air dengan adanya gugus OH. Sifat hidrofilik pati dapat diubah menjadi sifat hidrofilik dan hidrofobik dengan melakukan substitusi gugus OH dengan gugus lain, seperti asam propionat, asam stearat dan asam suksinat (Hustiany, 2006). Modifikasi pati pada gugus OH dengan cara esterifikasi akan menghasilkan nilai DS maksimal sebesar 3 dengan kategori persentase 50-95% serta menghasilkan karakteristik termoplastis dibandingkan pati alami (Rajan dkk., 2006).

B. Karakteristik Pati

1) Kadar Air

Kadar air merupakan karakteristik yang sangat penting dalam bahan pangan karena air dapat mempengaruhi penampakan, tekstur, serta ikut menentukan kesegaran dan daya awet bahan pangan tersebut. Kadar air menyebabkan mudahnya bakteri, kapang dan khamir untuk berkembang biak sehingga akan terjadi perubahan pada bahan pangan (Haryanto, 1992).

Kadar air adalah jumlah air yang terkandung dalam pada bahan yang dinyatakan dalam satuan persen atau perbedaan antara berat bahan sebelum dan sesudah dilakukan pemanasan. Setiap bahan bila diletakkan dalam udara terbuka kadar airnya akan mencapai keseimbangan dengan kelembaban udara disekitarnya.

2) Kadar Amilosa

Amilosa mempunyai struktur lurus yang didominasi dengan ikatan α -(1,4)-D glukosa 500 – 2000 unit. Panjang polimer dipengaruhi oleh sumber pati dan akan mempengaruhi berat molekul amilosa. Amilosa memiliki kemampuan untuk membentuk kristal karena struktur rantai polimernya yang sederhana.

Strukturnya yang sederhana ini dapat membentuk interaksi molekuler yang kuat. Hal ini terjadi pada gugus hidroksil molekul amilosa. Pembentukan ikatan hidrogen ini lebih mudah terjadi pada amilosa dari pada amilopektin (Winarno, 2004).

Kandungan amilosa mempengaruhi tingkat penyerapan air pati. Semakin tinggi kandungan amilosa, maka kemampuan pati untuk menyerap air menjadi lebih besar karena amilosa mempunyai kemampuan untuk membentuk ikatan hidrogen yang lebih besar daripada amilopektin. Semakin tinggi kadar amilosa pati maka kelarutannya di dalam air juga akan meningkat karena amilosa memiliki sifat polar. Liu *et al* (2015) menyampaikan bahwa HMT menimbulkan degradasi amilopektin sehingga menurunkan jumlah molekul besar (amilopektin) dan meningkatkan jumlah molekul

kecil (amilosa) sehingga amilosa-amilosa ini dapat saling berikatan. Kadar amilosa berperan pada penentuan karakteristik pasta pati, gelatinisasi, retrogradasi serta *swelling power* pati.

3) Kadar Abu

Abu merupakan zat organik sisa hasil pembakaran bahan organik. Kadar abu ada hubungannya dengan mineral suatu bahan dapat menunjukkan kandungan mineral yang ada dalam bahan tersebut. Penentuan kadar abu total yang dilakukan terhadap bahan hasil pertanian bertujuan untuk menentukan baik tidaknya suatu proses pengolahan, mengetahui jenis bahan yang digunakan serta dijadikan parameter nilai gizi bahan makanan (Sudarmadji, 1996).

4) Kadar Protein

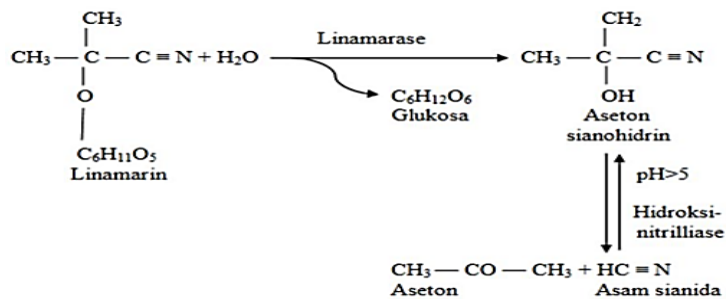
Protein adalah biopolimer asam amino yang bergabung melalui ikatan peptida, yaitu ikatan antara gugus karboksil dari satu asam amino dengan gugus amino dari asam amino disampingnya. Kadar protein dalam umbi-umbian sangat kecil dibandingkan dengan bahan pangan lainnya. Menurut Direktorat Gizi Depkes (1979), kandungan protein dalam ubi kayu hanya sebesar 1,20 gram/100 gram bahan. Protein yang terkandung dalam bahan akan berpengaruh pada sifat dan kegunaan bahan tersebut.

5) Kadar Sianida (HCN)

Beberapa jenis tanaman mengandung senyawa-senyawa yang bersifat *toxic*, salah satunya ubi kayu yang mengandung asam sianida. Senyawa ini berbahaya karena jika termakan akan cepat terserap oleh alat pencernaan dan masuk ke dalam aliran darah. Asam sianida dapat menyebabkan sakit bahkan menyebabkan kematian tergantung kadar sianida yang dikonsumsi. Kandungan Sianida ini khususnya ada pada tanaman ubi kayu atau singkong. Adanya senyawa ini menyebabkan pemakaian ubi kayu secara luas menjadi lebih terbatas. Kandungan sianida dalam singkong sangat bervariasi, rata-rata dalam singkong manis kurang dari 50 mg/kg ubi kayu, sedangkan pada jenis singkong pahit diatas 50 mg/ kg Ubi

(Muchtadi, 1989). Tinggi rendahnya asam sianida yang dihasilkan pada proses hidrolisis glukosa tergantung pada varietas tanaman, genetik tanaman, umur tanaman, tingkat kematangan dan kesuburan tanah (Cardoso *et al.*, 2005).

Ubi kayu mengandung racun linamarin dan laoustralin yang termasuk golongan glikosida sianogenik. Sianida dalam ubi kayu terdiri dari 93% linamarin dan 7% loustralin. Konsentrasi sianida dalam ubi kayu segar menurun dari bagian kulit sampai daging umbi bagian dalam. Terbentuknya asam sianida dari linamarin biasanya berlangsung secara enzimatik dan terjadi ketikan linamarin beraksi dengan enzim linamarase yang terdapat pada dinding sel tanaman ubi kayu. Proses terbentuknya asam sianida oleh enzim linamarase dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 3.4 Proses hidrolisis linamarin oleh enzim linamarase dalam pembentukan asam sianida (Bokanga, 2001).

➤ Proses pembuatan pati

Proses pembuatan pati ada beberapa metode. Pembuatan pati dari umbi kimpul yaitu umbi kimpul dikupas lalu dicuci. Setelah itu, umbi kimpul dilakukan pengecilan ukuran dan dilakukan perendaman dengan larutan garam 7,5% selama 1 jam dan dicuci kembali. Proses selanjutnya yaitu dihancurkan dengan blender dengan penambahan air : umbi (4:1) baru kemudian dilakukan penyaringan. Setelah proses penyaringan akan didapatkan filtrat dan ampas. Ampas diproses kembali dengan penambahan air : ampas

(1:4) baru kemudian dilakukan penyaringan kembali hingga didapatkan filtrat dan ampas. Ampas dibuang dan filtrat yang dihasilkan dikumpulkan menjadi 1 dari proses penyaringan yang pertama. Filtrat yang didapatkan dilakukan pengendapan selama 8 jam hingga didapatkan pati basah selanjutnya dikeringkan dicabinet dryer selama 6 jam dengan suhu 60°C. setelah kering, kemudian dilakukan penghalusan dengan blender dan diayak 80 mesh dan didapatkan tepung pati kimpul.

RANGKUMAN

Sifat fisik dan kimia pati diantaranya yaitu kelarutan atau *solubility*, daya kembang atau *swelling power*, viskositas dan derajat substitusi. Pati dengan kandungan amilosa yang tinggi bersifat mudah larut di dalam air. Karena amilosa mempunyai kemampuan untuk membentuk ikatan hidrogen yang lebih besar daripada amilopektin. *Swelling power* didefinisikan sebagai pertambahan berat maksimum yang dialami pati dalam air. Viskositas menunjukkan sifat pecahnya granula pati setelah proses gelatinisasi pati yang disebabkan karena adanya panas dan air. Derajat substitusi adalah jumlah rata-rata gugus per anhidroglukosa unit yang disubstitusikan oleh gugus lain. Pati bersifat sangat hidrofilik apabila dipanaskan dalam air dengan adanya gugus OH.

Karakteristik pada pati dapat dilihat dari kandungan kadar air, kadar amilosa, kadar abu, kadar protein, dan kadar senyawa lain yang terkandung seperti kadar sianida. Sifat dan karakteristik pati sangat bermanfaat dalam menentukan jumlah optimal dari pati yang akan digunakan untuk proses produksi atau konversi, sehingga akan dihasilkan produk dengan karakteristik yang diinginkan.

Pertanyaan

- 1) Sebutkan sifat fisik kimia dari pati!
- 2) Faktor apa saja yang mempengaruhi tingkat kelarutan pati?
- 3) Apa yang dimaksud dengan derajat substitusi pada pati?

- 4) Jelaskan mengenai karakteristik pati!
- 5) Jika saudara diminta untuk membuat produk mie, maka jenis pati apakah yang saudara pilih?

PUSTAKA

- Bokanga, M. (2001) Cassava Post-Harvest Operations. Edition International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, 23 p.
- Cardoso, A. P., Mirione, E., Ernesto, M., Massaza, F., Cliff, J., Haque, M. R., & Bradbury, J. H. (2005). Processing of cassava roots to remove cyanogens. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(5), 451-460.
- Direktorat Gizi Departemen Kesehatan RI. 1979. Daftar Komposisi Bahan Makanan. Bharata. Jakarta.
- Haryani, K., & Hargono, H. (2017). Modifikasi pati sorgum menjadi maltodekstrin menggunakan enzim alfa amilase, glukoamilase, dan pepsin. *Prosiding SNST Fakultas Teknik*, 1(1)
- Haryanto, 1992. Potensi dan Pemanfaatan sagu. Penerbit Kanisius. Jakarta.
- Imanningsih, N. 2012. Profil Gelatinisasi Beberapa Formulasi Tepungtepungan Untuk Pendugaan Sifat Pemasakan. *Panel Gizi Makan*, 35(1): 13 – 22.
- Indrastuti, E., dkk. 2012. Karakteristik Tepung Uwi Ungu (*Dioscorea alata* L.) yang Direndam dan Dikeringkan Sebagai Bahan Edible Paper. *Jurnal Teknologi Pertanian* Vol. 13 No. 3 p. 169 – 176.
- Jacobs, H. and J.A. Delcour. (1998). Hydrothermal Modifications of Granular Starch with Retention of The Granular Structure: Review. *J. Agric. Food Chem.* 46(8): 2895 – 2905

- Kusumayanti, G.A. Dewi, Wiardani, Ni. Komang, & Antarini, A.A. Nanak. (2015). Pola Konsumsi Purin dan Kegemukan Sebagai Faktor Resiko Hiperurisemia pada Masyarakat Kota Denpasar. *Jurnal Skala Husada*, 12, 27 – 31.
- Liu, H., Guo, X., Li, W., Wang, X., Peng, Q., & Wang, M. (2015). Changes in physicochemical properties and in vitro digestibility of common buckwheat starch by heat-moisture treatment and annealing. *Carbohydrate polymers*, 132, 237 – 244.
- Muchtadi, D. 1989. Evaluasi Nilai Gizi Pangan. Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi. IPB. Bogor
- Muhandri, T. (2007). Pengaruh Ukuran Partikel, Kadar Padatan, NaCl Dan Na₂CO₃ Terhadap Sifat Amilografi Tepung Dan Pati Jagung. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan Vol. XVIII No 2*.
- Murillo, C.E.C., Wang, Y.J., and Perez, L.A.B. 2008. Morphological, Physicochemical and Structural Characteristics of Oxidized Barley and Corn Starches, *Starch/Stärke Vol. 60*, 634-645.
- Nurfida, A. dan Puspitawati, I. N. (2011). Pembuatan Maltodekstrin dengan Proses Hidrolisa Parsial Pati Singkong menggunakan enzim α -amilase. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- Pomeranz Y. 1991. Functional Properties of Food Components. Second Edition. Academic Press. New York.
- Purnamasari, D. A., Munadziroh, E., & Yogiartono, R. M. (2010). Konsentrasi ekstrak biji kakao sebagai material alam dalam menghambat pertumbuhan *Streptococcus mutans*. *Jurnal pdgi*, 59(1), 14 – 18.

- Rajan, A., V. S. Prasad dan E. Abraham. 2006. Enzymatic esterification of starch using recovered coconut oil. *International Journal of Biological Macromolecules* 39:265 – 272.
- Sudarmadji, Slamet dkk. 1996. *Analisa Bahan Makanan dan Pertanian*. Yogyakarta: Liberty Yogyakarta
- Suriani, A.I. (2008). *Mempelajari Pengaruh Pemanasan dan Pendinginan Berulang terhadap Karakteristik Sifat Fisik dan Fungsional Pati Garut (Marantha Arundinacea) Termodifikasi*. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Ulyarti.1997.*Mempelajari Sifat-Sifat Amilografi pada Amilosa, Amilopektin dan Campurannya*. Skripsi Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Wang, Y. J., Wang, L., Shephard, D., Wang, F., & Patindol, J. (2002). Properties and structures of flours and starches from whole, broken, and yellowed rice kernels in a model study. *Cereal chemistry*, 79(3), 383-386.
- Winarno, F. G. 2004. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- Wurzburg, O.B. 1989. *Modified Starches: Properties and Uses*. CRC Press, Boca Raton, Florida.

4.

MODIFIKASI PATI SECARA FISIK

Capaian Pembelajaran :

1. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan definisi dan reaksi modifikasi pati;
2. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan cara modifikasi pati secara fisik;
3. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan sifat-sifat pati termodifikasi secara fisik dan aplikasinya untuk produk pangan;

Pati termodifikasi merupakan pati yang gugus hidroksinya telah diubah lewat suatu reaksi kimia (esterifikasi, sterifikasi atau oksidasi) atau dengan menggunakan struktur asalnya. Pati diberikan perlakuan tertentu dengan tujuan untuk menghasilkan sifat yang lebih baik, perlakuan yang dilakukan meliputi penggunaan panas, asam alkali, zat pengoksidasi atau bahan kimia lainnya yang akan menghasilkan gugus kimia baru dan atau perubahan bentuk, ukuran serta struktur molekul pati (Reilly 1985). Tepung dengan Pati termodifikasi berfungsi sebagai bahan pengisi, pengental, pengemulsi dan pemantap bagi makanan. Pati yang telah termodifikasi akan mengalami perubahan sifat yang dapat disesuaikan untuk keperluan-keperluan tertentu. Dilakukannya pembuatan pati termodifikasi didasari oleh alasan bahwa tepung-tepung yang belum mengalami modifikasi memiliki sifat yang kohesif, memiliki viskositas yang tinggi, dan mudah rusak jika ada perlakuan panas dan asam. Secara umum pati alami memiliki kekurangan yang sering menghambat aplikasinya di dalam proses pengolahan pangan dan non pangan, di antaranya adalah kebanyakan pati alami menghasilkan suspensi pati dengan viskositas dan kemampuan membentuk gel yang tidak seragam (konsisten) (Pomeranz 1991).

Pati alami seperti tapioka, pati jagung, sagu dan pati-patian lain mempunyai beberapa kendala jika dipakai sebagai bahan baku dalam industri pangan maupun non pangan. Jika dimasak pati membutuhkan waktu yang lama (hingga butuh energi tinggi), juga pasta yang terbentuk keras dan tidak bening. Disamping itu sifatnya terlalu lengket dan tidak tahan perlakuan dengan asam. Kendala-kendala tersebut menyebabkan pati alami terbatas penggunaannya dalam industri. Padahal sumber dan produksi patipatian di negara kita sangat berlimpah, yang terdiri dari tapioka (pati singkong), pati sagu, pati beras, pati umbi-umbian selain singkong, pati buah-buahan (misalnya pati pisang) dan banyak lagi sumber pati yang belum diproduksi secara komersial.

Di lain pihak, industri pengguna pati menginginkan pati yang mempunyai kekentalan yang stabil baik pada suhu tinggi maupun rendah, mempunyai ketahanan yang baik terhadap perlakuan mekanis, dan daya pengentalannya tahan pada kondisi asam dan suhu tinggi. Sifat-sifat penting yang diinginkan dari pati termodifikasi (yang tidak dimiliki oleh pati alam) diantaranya adalah: kece-rahannya lebih tinggi (pati lebih putih), retrogradasi yang rendah, kekentalannya lebih rendah, gel yang terbentuk lebih jernih, tekstur gel yang dibentuk lebih lembek, kekuatan regang yang rendah, granula pati lebih mudah pecah, waktu dan suhu gelatinisasi yang lebih tinggi, serta waktu dan suhu granula pati untuk pecah lebih rendah.

Modifikasi adalah perubahan struktur molekul yang dapat dilakukan secara kimia, fisik maupun enzimatis. Pati alami dapat dibuat menjadi pati termodifikasi atau *modified starch*, dengan sifat-sifat yang dikehendaki atau sesuai dengan kebutuhan. Di bidang pangan pati termodifikasi banyak digunakan dalam pembuatan salad *cream*, mayonaise, saus kental, *jeli marmable*, produk-produk konfeksioneri yaitu permen, *breaded food*, *lemon curd*, pengganti gum arab dan lain-lain. Sedangkan di bidang non pangan banyak digunakan pada industri kertas sebagai *paper coating* dan *surface*

sizing, industri tekstil untuk *sizing*, *finishing*, *printing thickening*, *laundry finishing*, bahan bangunan untuk *wall boards*, *acoustic tiles*, *additive wood pulp*, isolasi dan penggunaan lain misalnya sebagai bahan pencampur pada pelarut insektisida dan fungisida, bahan pencampur sabun detergen dan sabun batangan (Koswara, 2009).

Pati termodifikasi merupakan pati yang gugus hidroksilnya telah diubah melalui suatu reaksi kimia atau dengan mengubah struktur asalnya. Pati alami diberi perlakuan tertentu dengan tujuan menghasilkan sifat yang lebih baik untuk memperbaiki sifat sebelumnya atau untuk mengubah beberapa sifat sebelumnya atau sifat lainnya. Perlakuan ini dapat mencakup penggunaan panas, asam, alkali, zat pengoksidasi atau bahan kimia lainnya yang akan menghasilkan gugus kimia baru atau perubahan bentuk, ukuran serta struktur molekul pati.

A. Tujuan Modifikasi Pati

Berkembangnya ilmu pengetahuan tentang struktur molekul pati, menyebabkan para ahli melakukan modifikasi struktur alami pati. Pati alami mempunyai kelemahan pada karakteristiknya yaitu tidak larut dalam air dingin, membutuhkan waktu yang lama dalam pemasakan, pasta yang dihasilkan cukup keras, dan mempunyai kestabilan yang rendah. Pati dimodifikasi dengan tujuan untuk mempermudah penggunaan dalam industri pangan, lebih stabil dalam proses dan lebih baik teksturnya. Selain itu juga agar suhu gelatinisasinya lebih tinggi dan tahan panas serta agar viskositasnya lebih baik dari pati sebelumnya. Pati termodifikasi bersifat tidak larut dalam air dingin dan persamaan sifat *birefringence*-nya.

Menurut Koswara (2009) menyatakan bahwa pati diberi perlakuan tertentu dengan tujuan untuk menghasilkan sifat yang lebih baik yaitu memperbaiki sifat sebelumnya. Perlakuan ini mencakup penggunaan panas, asam, alkali, zat pengoksidasi atau bahan kimia

lainnya yang akan menghasilkan gugus kimia baru dan atau perubahan bentuk, ukuran serta struktur molekul pati (Koswara, 2009).

Untuk mendapatkan sifat-sifat pati yang diinginkan dapat dilakukan dengan modifikasi pati. Sifat-sifat yang diinginkan dari pati misalnya adalah pati memiliki viskositas yang stabil pada suhu tinggi dan rendah dan daya pengental yang tahan terhadap kondisi asam dan suhu sterilisasi (Wirakartakusuma, *et al.*, 1989).

Di bidang pangan pati termodifikasi banyak digunakan diantaranya dalam pembuatan *salad cream*, *mayonaise*, saus kental, *jeli mar-mable*, produk-produk konfeksioneri (permen, coklat dan lain-lain), *breaded food*, *lemon curd*, pengganti gum arab dan lain-lain. Sedangkan di bidang non pangan banyak digunakan pada industri kertas (*paper coating*, *surface sizing*), industri tekstil (*sizing*, *finishing*, *printing thickening*, *laundry finishing*), bahan bangunan (*wall boards*, *acoustic tiles*, *additive wood pulp*, isolasi) dan penggunaan lain misalnya sebagai bahan pencampur pada pelarut insektisida dan fungisida, bahan pencampur sabun detergen dan sabun batangan.

Pati termodifikasi dengan berbagai metode memiliki keunggulan yang berbeda-beda. Keunggulan tersebut dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Karakteristik Pati Termodifikasi Beserta Aplikasinya

Proses Modifikasi	Teknik Modifikasi Pati	Tujuan Utama	Aplikasi
Modifikasi Fisik	<i>Heat Moisture Treatment</i>	Menghasilkan pati yang dapat terdispersi (larut) dalam air dingin	Pudding, makanan bayi, <i>cake mixes</i> , <i>food powder</i>
Modifikasi Kimia	Ikatan Silang (<i>cross linking</i>)	Menghasilkan pati dengan viskositas yang stabil terhadap suhu tinggi,	<i>Salad dressing</i> , makanan kaleng
	Hidrolisis Asam	Menghasilkan viskositas pati yang rendah	Produk <i>confectionery</i>
Modifikasi Enzimatis	Hidrolisis dengan enzim amilase	Menghasilkan pati dengan viskositas rendah, berat molekul yang rendah,	<i>Marsmallow</i>

(Kusnandar, 2010)

Kemampuan daya serap air dari pati modifikasi adalah lebih tinggi dibanding dengan yang tidak termodifikasi. Tingginya daya serap air ini dihubungkan dengan kemampuan produk untuk mempertahankan tingkat kadar air terhadap kelembaban lingkungan dan peranan gugus hidrofilik pada susunan molekulnya (Afrianti, 2004).

Menurut Glicksman (1969) menyatakan bahwa pati diberi perlakuan tertentu dengan tujuan untuk menghasilkan sifat yang lebih baik untuk memperbaiki sifat sebelumnya atau untuk merubah beberapa sifat sebelumnya.

B. Metode Modifikasi Pati

Modifikasi pati dapat dilakukan secara fisik, kimia maupun biologi atau enzimatik. Pemilihan metode modifikasi ini tergantung dari jenis sifat fisik yang akan diperbaiki. Tujuan dilakukannya modifikasi pati adalah untuk meningkatkan daya tahan pati terhadap panas dan pengadukan serta terhadap asam, dan mengurangi sifat sineresis pada pati.

Modifikasi pati dapat dilakukan secara fisik melalui beberapa cara, antara lain pengeringan, pemanasan, pendinginan, pemasakan maupun perlakuan fisik lainnya. Proses modifikasi pati juga dapat dilakukan secara kimia melalui *cross linking*, substitusi atau kombinasi keduanya dengan menggunakan bahan kimia sebagai bahan pembantu reaksi selama proses pengolahan. Berdasarkan proses tersebut, pati termodifikasi dapat dikelompokkan menjadi pati dengan perlakuan asam, perlakuan basa, pemutihan, oksidasi, perlakuan enzim, penggunaan fosfat, penggunaan gliserol, esterifikasi, fosfatasi, dan asetilasi.

1) Modifikasi Pati secara fisik

Modifikasi pati secara fisik yaitu melibatkan beberapa faktor antara lain: suhu, tekanan, pemotongan, dan kadar air pada pati. Granula pati dapat diubah secara parsial maupun total. Prinsip modifikasi fisik adalah dengan pemanasan. Bila dibandingkan dengan modifikasi kimia, modifikasi fisik cenderung lebih aman karena tidak menggunakan berbagai pereaksi kimia sehingga tidak akan meninggalkan residu pada pati termodifikasi (Koswara, 2009).

Perlakuan modifikasi secara fisik antara lain: ekstruksi, *pra-boiling*, *steam-cooking*, iradiasi microwave, pemanggangan, *hydro-thermal treatment* dan *auto-claving*. (Sajilata *et al.* 2006). Metode modifikasi fisik yang telah disebutkan dapat meningkatkan kadar pati resisten (Sajilata *et al.* 2006). Metode *steaming-cooking* dan *pra-boiling* umumnya diaplikasikan pada beras sedangkan metode ekstruksi biasa digunakan untuk memodifikasi karakteristik fungsional pati sereal. Proses modifikasi tersebut menggunakan suhu tinggi, waktu yang singkat, dan gelatinisasi pati terjadi pada kandungan air rendah.

Metode *hydrothermal-treatment* terdiri dari *annealing* dan *Heat Moisture Treatment* (HMT). Prinsip metode *hydrothermal-treatment* menggunakan air dan panas untuk memodifikasi pati. Pada *annealing*, modifikasi dilakukan dengan menggunakan jumlah air

yang banyak (lebih dari 40%) dan dipanaskan pada suhu dibawah suhu gelatinisasi pati. Sedangkan HMT dilakukan dengan menggunakan jumlah kandungan air rendah (<35%) dan dipanaskan pada suhu melebihi suhu gelatinisasi. Metode *hydrothermal-treatment* dapat mengubah karakteristik gelatinisasi pati yaitu meningkatkan suhu gelatinisasi, meningkatkan viskositas pasta pati, dan meningkatkan kecenderungan pati untuk mengalami retrogradasi (Adebowale *et al.* 2005).

Perlakuan fisik lainnya adalah metode *auto-claving*. Menurut Sajilata *et al.* (2006) perlakuan pemanasan dengan menggunakan metode *auto-claving* dapat meningkatkan produksi pati resisten hingga 9%.

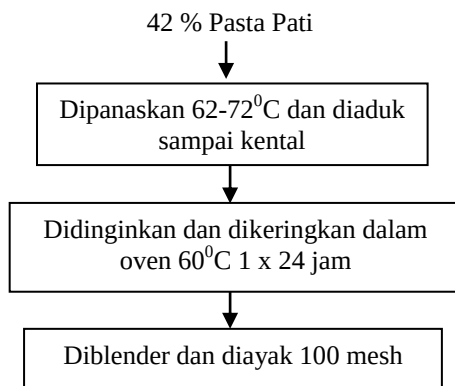
➤ **Gelatinisasi**

Apabila granula pati dipanaskan di dalam air, maka energi panas akan menyebabkan ikatan hidrogen terputus, dan air masuk ke dalam granula pati. Air yang masuk selanjutnya membentuk ikatan hidrogen dengan amilosa dan amilopektin. Meresapnya air ke dalam granula menyebabkan terjadinya pembengkakan granula pati. Ukuran granula akan meningkat sampai batas tertentu sebelum akhirnya granula pati tersebut pecah. Pecahnya granula menyebabkan bagian amilosa dan amilopektin berdifusi keluar. Proses masuknya air ke dalam pati yang menyebabkan granula mengembang dan akhirnya pecah disebut dengan gelatinisasi, sedangkan suhu dimana terjadinya gelatinisasi disebut dengan suhu gelatinisasi. Pati yang telah mengalami gelatinisasi akan kehilangan sifat *birefringence* atau sifat merefleksikan cahaya terpolarisasi sehingga di bawah mikroskop terlihat hitam putih. Kisaran suhu yang menyebabkan 90% butir pati dalam air panas membengkak sehingga tidak kembali ke bentuk normalnya disebut “*Birefringence End Point Temperature*” atau disingkat BEPT.

➤ Pati Pregelatinisasi

Pati dalam bentuk alami (*native starch*) adalah pati yang dihasilkan dari sumber umbi-umbian dan belum mengalami perubahan sifat fisik dan kimia atau diolah secara kimia-fisika. Pati ini banyak digunakan di industri makanan dan farmasi sebagai bahan pengisi (*filler*) dan pengikat (*binder*) dalam pembuatan tablet, pil dan kapsul. Namun, pati ini mempunyai dua keterbatasan besar dalam membentuk tablet yang baik, yaitu tidak mempunyai daya alir (*fluiditas*) dan kompaktibilitas. Oleh karena itu pati jenis ini belum banyak dipakai dalam formula tablet cetak langsung. Pati dapat diolah menjadi bahan pembantu formulasi cetak langsung, salah satu teknologi yang dapat dilakukan adalah modifikasi pati menjadi bentuk pregelatinisasi. Pada umumnya modifikasi pati menjadi pati pregelatinisasi dapat dilakukan dengan cara pemanasan suspensi pati dalam air.

Pati pregelatinisasi adalah pati yang telah mengalami proses fisik atau kimiawi dengan adanya air, baik dengan maupun tanpa pemanasan untuk memecah semua atau sebagian ikatan dari butir-butir pati dan untuk membuat pati yang memiliki sifat bisa mengalir serta dapat digunakan sebagai bahan pembawa cetak langsung. Pati pregelatinisasi memiliki beberapa keuntungan antara lain mempunyai kemampuan sebagai penghancur tablet, dan dapat mempercepat kecepatan pelepasan zat aktif yang sukar larut dalam air. Selain itu, tujuan dari modifikasi fisik (pregelatinisasi) adalah untuk meningkatkan ukuran partikel sehingga diperoleh ukuran partikel yang lebih besar. Ukuran partikel yang lebih besar maka sifat alir yang lebih baik daripada dalam bentuk serbuknya sehingga cocok untuk dikempa langsung. (Rowe, 2009) Suhu pre gelatinisasi yang digunakan berbeda-beda setiap jenis pati karena setiap jenis pati juga memiliki ukuran dan struktur granul yang berbeda-beda. Ukuran granul pati yang besar dan struktur pati yang kompak, akan membutuhkan suhu pregelatinisasi yang tinggi.



Gambar 4.1 Diagram Alir Pembuatan Pati Pregelatinisasi
(Sumber: Rowe, 2009)

Pati pregelatinisasi dibuat dengan cara pemanasan larutan dalam air yang mengandung pati singkong sebanyak 42% pada suhu 62 – 72 °C, kemudian dilakukan pengeringan. Pemanasan suspensi pati dalam air akan memutus struktur dari granul pati melalui tiga fase yaitu pemasukan air ke dalam granul secara perlahan dan *irreversible* dengan pengembangan yang terbatas pada suhu <65°C (pengembangan tiba-tiba karena masuknya air dalam jumlah besar dan cepat pada pemanasan 65°C dan pecahnya granul pati sehingga pati menjadi larut dalam air pada suhu yang lebih tinggi). (Rowe *et al*, 2009)

2) *Heat Moisture Treatment*

Modifikasi pati dengan metode HMT (*Heat Moisture Treatment*) merupakan metode modifikasi pati yang dilakukan secara fisik yaitu melibatkan perlakuan panas dan pengaturan kadar air yaitu pada pemanasan yang dilakukan di atas suhu gelatinisasi pati (80 – 120°C) namun pada kadar air yang terbatas (<35%) (Collado *et al*. 2001). Energi yang diserap oleh granula pati selama pemanasan berlangsung kemungkinan dapat melemahkan ikatan hidrogen inter dan intra molekul amilosa dan amilopektin di dalam granula pati. Kondisi ini memberi peluang kepada air untuk menginhibisi granula

pati. Jumlah air yang terbatas menyebabkan adanya peningkatan kelarutan pati di dalam air selama pemanasan berlangsung.

Modifikasi HMT belum mampu membuat pati mengalami gelatinisasi yang ditunjukkan dengan masih terjaganya integritas granula pati termodifikasi HMT dari hasil analisis difraksi sinar x (Hoover dan Manuel 1996; Gunaratne dan Hoover 2002; Lawal 2005; Adebawale 2005; Vermeulen *et al.* 2006) dan studi bentuk granula dengan mikroskop polarisasi cahaya atau *Scanning Electron Microscope* (SEM) (Pukkahuta *et al.* 2008; Vermeulene *et al.* 2006). HMT menyebabkan pembentukan rongga dan mengaburnya persilangan dibagian tengah granula. (Herawati 2009; Pukkahuta *et al.* 2008; Vermeulen *et al.* 2006; Pukkahuta dan Varavinit 2007). Perubahan karakteristik pati termodifikasi HMT dipengaruhi oleh faktor internal (karakteristik awal pati) dan faktor eksternal (kondisi modifikasi HMT seperti suhu, kadar air, dan waktu pemanasan. Kombinasi antar faktor tersebut menghasilkan pati dengan karaktersitik fisik maupun kimia yang berbeda-beda.

Menurut Hoover *et al* (2010), metode modifikasi pati secara fisik dapat dilakukan dengan cara *Heat Moisture Treatment* (HMT) dan *Annealing*. Metode modifikasi pati secara *Heat Moisture Treatment* (HMT) dilakukan dengan cara memberikan perlakuan panas dan kelembaban. Perlakuan panas-kelembaban (HMT) pati pada tingkat kelembaban terbatas (22-27%) dan suhu tinggi (100-120 C) selama 16 jam telah terbukti mengubah struktur dan sifat fisiko-kimia kacang halus, kacang keriput, *navy* kacang, miju-miju dan pati kacang merpati. HMT pati telah ditunjukkan untuk mengurangi pencucian amilosa, pembengkakan granular dan viskositas puncak, dan untuk meningkatkan stabilitas termal, suhu gelatinisasi dan kerentanan terhadap α -amilase dan hidrolisis asam. Perubahan ini dikaitkan dengan interaksi faktor-faktor seperti: (1) kandungan amilosa, (2) interaksi antara rantai pati, (3) susunan rantai amilosa dalam domain amorf dan (4) kompleks lipid-amilosa.

3) Modifikasi Fisik Secara Ekstrusi

Sebagai modifikasi secara fisik, teknologi pengolahan secara ekstrusi dapat memperbaiki karakteristik pati mentah sehingga dapat diaplikasikan pada pembuatan sereal sarapan dan produk makanan ringan dengan meningkatkan pencernaan pati. Melalui teknologi ekstrusi, pati biji nangka termodifikasi dapat dipecah oleh enzim amilase dengan waktu yang lebih cepat daripada pati biji nangka alami. Hal ini berarti bahwa teknologi ekstrusi dapat meningkatkan pencernaan dan penyerapan makanan pada usus halus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar pati resisten pada pati biji nangka termodifikasi dengan ekstrusi menjadi menurun dibandingkan dengan pati biji nangka alami. Penggunaan teknologi ekstrusi secara umum yaitu dengan menggunakan suhu tinggi pada waktu yang pendek dan perubahan secara fisik, pati lembab dan bahan berprotein yang menyebabkan bahan tersebut mengembang melalui kombinasi unik dari suhu tinggi, tekanan dan daya gerak. Teknologi ekstrusi dapat menghambat retrogradasi pati tinggi amilosa, meningkatkan stabilitas *freeze thaw* pati dan karakteristik gelatinisasi pada pati biji nangka (Zhang, 2019).

4) Modifikasi Fisik Secara *Annealing*

Modifikasi pati dengan *Annealing* merupakan modifikasi pati dengan melibatkan perlakuan panas ringan dengan jumlah air yang berlebih. Suhu yang digunakan adalah di atas suhu glass transition namun di bawah suhu gelatinisasi pati. *Annealing* dapat merubah sifat fisiko-kimia pati namun perubahan pada granula pati dan sifat kristalinitas sangat sedikit.

Metode *Annealing* mengacu pada perlakuan pati dalam air berlebih (<65%, b/b) atau pada kadar air antara (40-50%, b/b) pada suhu di bawah suhu awal gelatinisasi. Tujuan fisik anil adalah untuk mendekati suhu transisi gelas, yang meningkatkan mobilitas molekul tanpa memicu gelatinisasi. Anil lentil, kacang polong halus dan tepung kacang polong keriput. Selain itu juga telah terbukti mengurangi pembengkakan granular dan pencucian amilosa dan mening-

katkan suhu gelatinisasi, stabilitas termal, dan kerentanan terhadap α -amilase. Perubahan ini dikaitkan dengan peningkatan kesempurnaan kristal dan peningkatan interaksi antara rantai amilosa-amilosa dan amilosa-amilopektin.

Teknik *annealing* dapat dilakukan dengan *single step annealing* dan *double step annealing*. *Single step annealing* pati biji nangka dilakukan dengan cara memanaskan 10g pati alami biji nangka pada 50 ml air distilasi pada suhu 45, 50, 55, 60°C selama 72 jam menggunakan *shaking waterbath*. *Double step annealing* dilakukan dengan pemanasan awal tambahan suhu 10°C di bawahnya, suhu yang ditentukan di atas dengan durasi yang sama. Sampel yang telah melalui *annealing* kemudian disentrifugasi 5000 rpm selama 5 menit, residu yang dikumpulkan kemudian dikeringkan pada suhu 40°C, diayak dengan ayakan 100 μm .

Pati biji nangka termodifikasi secara *annealing* memiliki tingkat pengembangan yang lebih rendah daripada pati biji nangka alami. Hal ini terjadi karena peningkatan kristalinitas pada pati biji nangka termodifikasi *annealing*. Melalui pengamatan *X-ray diffraction*, terjadi peningkatan kristalinitas pada pati biji nangka termodifikasi *annealing* dibandingkan dengan pati biji nangka alami. Pati biji nangka termodifikasi secara *single step annealing* memiliki kristalinitas yang lebih tinggi daripada metode *double step annealing*. Hal ini dikarenakan pada teknik *double step annealing*, sebagian kristalin yang terbentuk pada proses pemanasan pertama sifatnya labil, dan struktur tetap dipertahankan menengah antara amorf dan kristalin kemudian pada proses pemanasan kedua terjadi kehilangan kristalin. Pati biji nangka termodifikasi *annealing* juga memiliki kelarutan yang lebih rendah daripada pati biji nangka alami. Penurunan tingkat pengembangan dan kelarutan mengakibatkan peningkatan kekerasan gel. Sifat kristalinitas yang tinggi pada pati biji nangka termodifikasi secara *single step annealing* memungkinkan penggunaannya pada produk mie (Bhattacharjya *et al.*, 2015)

5) *Autoclaving Cooling*

Salah satu metode modifikasi fisik pati yang banyak dilakukan yaitu teknik autoclaving-cooling (pemanasan bertekanan pendinginan). Prinsip dari metode ini yaitu mensuspensikan pati dalam air lalu memanaskannya pada suhu tinggi menggunakan autoklaf untuk meningkatkan proses gelatinisasi pati kemudian mendinginkannya sehingga menghasilkan pati rantai pendek yang teretrogradasi (Setiarto dkk 2015).

Prinsip pembuatan pati modifikasi autoclaving-cooling adalah memanaskan pati menggunakan autoclave selama 30 menit lalu didinginkan pada suhu 4°C selama 24 jam kemudian dikeringkan menggunakan oven suhu 50°C. Proses ini bertujuan memperoleh pati tahan cerna atau resisten yang dikategorikan sebagai serat pangan.

Proses *autoclaving-cooling* secara berulang dapat menyebabkan semakin banyaknya pembentukan pati teretrogradasi sehingga menurunkan daya cerna pati dan meningkatkan kadar pati resisten. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang melaporkan peningkatan kadar pati resisten yang lebih tinggi pada proses *autoclaving-cooling* 2 siklus dibandingkan proses *autoclaving-cooling* 1 siklus (Yadav, Sharma, dan Yadav, 2010).

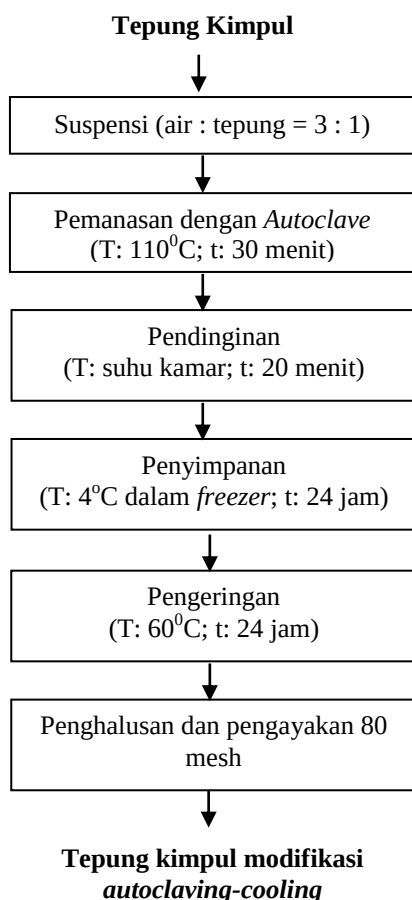
Metode *autoclaving-cooling* atau yang disebut dengan teknik pemanasan suhu tinggi-pendinginan dapat mengubah karakteristik gelatinisasi pati yaitu meningkatkan suhu gelatinisasi, meningkatkan viskositas pasta pati, membatasi pembengkakan, meningkatkan stabilitas pasta pati dan meningkatkan kecenderungan pati untuk mengalami retrogradasi yang akan mempengaruhi kristalinitas pati, dan pengembangan granula pati. Modifikasi tersebut dapat menyebabkan terjadinya pengaturan kembali dan peningkatan derajat asosiasi rantai molekul penyusun pati. Keadaan ini didukung dengan melelehnya daerah kristalin kembali atau dapat dikatakan terjadinya reorientasi. Perubahan molekuler tersebut berdampak nyata terhadap sifat reologi pati.

Proses pemanasan pada suhu tinggi di dalam otoklaf (*autoclaving*) menyebabkan suspensi pati mengalami gelatinisasi. Pada saat gelatinisasi pati, sifat *birefringence* granula pati hilang akibat penambahan air secara berlebih dan pemanasan pada waktu dan suhu tertentu, sehingga granula pati membengkak dan tidak dapat kembali pada kondisi semula (*irreversible*) (Silitonga, dkk., 2021). Pemanasan suspensi pati di atas suhu gelatinisasi dapat menyebabkan terjadinya pemutusan (disosiasi) ikatan hidrogen dari struktur *double helix* amilopektin, pelelehan (*melting*) bagian kristalit dan pelepasan amilosa dari granulanya (*amylose leaching*) (Zaragoza et al. 2010).

Proses *autoclaving-cooling* berulang dapat meningkatkan fraksi amilosa, dengan cara retrogradasi (Saguilan, et al., 2005) penggunaan 3 siklus pada *autoclaving-cooling* dapat menghasilkan kadar RS tertinggi. Perlakuan *autoclaving-cooling* 3 siklus menghasilkan kenaikan jumlah RS yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan *autoclaving-cooling* 5 siklus. Semakin tinggi kadar amilosa maka pada proses *autoclaving-cooling* maka suspensi pati pada suhu gelatinisasi dapat menyebabkan terjadinya pemutusan (disosiasi) ikatan hidrogen dari struktur *double helix* amilopektin, pelelehan (*melting*) bagian kristalin dan pelepasan amilosa dari granulanya (*amylose leaching*). Selanjutnya pasta pati didinginkan (*cooling*) yang dapat menyebabkan fraksi amilosa mengalami retrogradasi. Proses *autoclaving-cooling* secara berulang dapat menyebabkan semakin banyaknya pembentukan fraksi amilosa teretrogradasi atau terkristalisasi, sehingga semakin banyak siklus semakin meningkat jumlah kadar RS atau pati resisten.

Modifikasi *autoclaving-cooling* merupakan modifikasi fisik terhadap pati dengan menggunakan pemanasan dan pendinginan. Prinsip dari teknik tersebut adalah pati disuspensikan dahulu dalam air dengan nisbah penambahan air tertentu (1:2 – 1:5). Suspensi pati tersebut kemudian dipanaskan dengan menggunakan autoklaf

yang mengakibatkan pati tergelatinisasi secara sempurna dan keluarnya fraksi amilosa dari granula pati. Selanjutnya pasta pati didinginkan yang dapat menyebabkan fraksi amilosa mengalami retrogradasi. Kadar RS3 dapat ditingkatkan dengan perlakuan *autoclaving-cooling* secara berulang (Setiarto dkk., 2015)



Gambar 4.2 Diagram alur pembuatan tepung kimpul modifikasi fisik

Pembuatan RS III dengan metode *autoclaving-cooling* terdiri dari dua tahap yaitu gelatinisasi dan retrogradasi. Suspensi pati dipanaskan pada suhu ± 70 C agar didapat pasta pati yang homogen, kemudian digelatinisasi pada suhu tinggi. Pati yang telah tergelati-

nisasi selanjutnya didinginkan sehingga terjadi retrogradasi. Selama retrogradasi, molekul pati kembali membentuk struktur kompak yang distabilkan dengan adanya ikatan hidrogen (Sajilata *et al.*, 2006). Proses gelatinisasi, propagasi, dan perlakuan panas dibutuhkan untuk memproduksi pati yang memiliki kalori rendah terkait dengan daya tahan cerna selama proses pencernaan. Suhu yang digunakan pada umumnya di atas titik leleh kristal amilopektin dan di bawah titik leleh enzim RS (140°C) untuk menghasilkan RS3 (Haynes *et al.* 2000)

Gelatinisasi adalah peristiwa perkembangan granula pati sehingga granula pati tersebut tidak dapat kembali pada kondisi semula. Pengembangan granula pati pada mulanya bersifat dapat balik, tetapi jika pemanasan mencapai suhu tertentu, pengembangan granula pati menjadi bersifat tidak dapat balik dan akan terjadi perubahan struktur granula. Granula pati akan menyerap air dan membengkak bila pati dimasukkan ke dalam air dingin, namun jumlah air yang terserap dan pembengkakan patinya terbatas. Air yang diserap hanya mencapai kadar 30%. Peningkatan volume granula pati di dalam air terjadi pada suhu antara 55°C hingga 65°C, dimana granula pati akan membengkak dan pembengkakan ini tidak dapat kembali pada kondisi semula. Suhu pada saat granula pati membengkak dan pecah serta mengalami perubahan yang bersifat tidak dapat balik disebut suhu gelatinisasi pati. Suhu gelatinisasi tergantung pada konsentrasi pati. Makin kental larutan patinya maka suhu gelatinisasinya semakin lambat tercapai.

Perubahan selama terjadinya gelatinisasi dapat diamati. Pada saat suspensi pati dipanaskan, mula mula suspensi pati yang keruh seperti susu tiba tiba menjadi jernih pada suhu tertentu, tergantung jenis pati yang digunakan. Terjadinya translusi larutan pati diikuti dengan pembengkakan granula. Bila energi kinetik molekul molekul air menjadi lebih kuat daripada daya tarik menarik antar molekul pati di dalam granula, air dapat masuk ke dalam butir butir pati. Hal ini menyebabkan pembengkakan granula. Indeks refraksi

butir butir pati yang membengkak mendekati indeks refraksi air menyebabkan sifat translusen.

Pati memiliki gugus hidroksil dalam jumlah yang besar, sehingga memiliki kemampuan untuk menyerap air yang besar. Peningkatan viskositas terjadi karena air yang dulunya berada diluar granula dan bebas bergerak sebelum suspensi dipanaskan kini berada dalam butir butir pati dan tidak dapat bergerak dengan bebas lagi. Pati yang telah mengalami gelatinisasi dapat dikeringkan, tetapi molekul molekul tersebut tidak dapat kembali ke sifat nya sebelum gelatinisasi.

Proses gelatinisasi granula pati juga sangat dipengaruhi oleh nisbah pati dan air. Jumlah air yang ditambahkan dalam suspensi pati akan memengaruhi konsentrasi pati sehingga berpengaruh dalam proses *autoclaving-cooling* (Leeman *et al.* 2006). Hal ini disebabkan nisbah pati dan air sangat memengaruhi proses ekspansi matriks pati dan gelatinisasi granula. Penambahan air yang terlalu sedikit ke dalam suspensi pati menyebabkan jumlah amilosa yang keluar dari granula tidak optimum (Sajilata *et al.* 2006). Hal ini dapat mengurangi kadar pati resisten yang terbentuk yang disebabkan oleh menurunnya peluang terjadinya reasosiasi amilosa-amilosa dan amilosa-amilopektin (Zaragoza *et al.* 2010)

Proses *autoclaving-cooling* secara berulang dapat menyebabkan semakin banyaknya pembentukan fraksi amilosa teretrogradasi (Aparicio-Saguilan *et al.* 2005). Rekrystalisasi amilosa ini terjadi selama proses pendinginan (*cooling*). Amilosa teretrogradasi (RS3) bersifat lebih stabil terhadap panas, sangat kompleks, dan tahan terhadap enzim amilase (Setiarto dkk., 2015)

Beberapa molekul pati, khususnya amilosa yang dapat terdispersi dalam air panas dapat meningkatkan granula granula yang membengkak dan masuk kedalam cairan yang ada disekitarnya. Pasta pati yang telah mengalami gelatinisasi terdiri atas granula yang membengkak dan molekul amilosa yang terdispersi dalam air.

Molekul amilosa tersebut akan terus terdispersi jika pasta pati tetap dalam keadaan panas, karena pada kondisi panas pasta masih memiliki kemampuan untuk mengalir. Bila pasta telah dingin, energi kinetik tidak cukup untuk melawan kecenderungan molekul molekul amilosa untuk bersatu kembali. Molekul amilosa berikatan satu sama lain serta berikatan dengan cabang amilopektin pada bagian tepi granula, sehingga mereka menggabungkan butir pati yang telah membengkak menjadi semacam jaring membentuk mikrokristal dan mengendap yang disebut retrogradasi.

Pati yang telah dipanaskan dan kemudian menjadi dingin kembali mengakibatkan sebagian air masih berada di bagian luar granula yang membengkak. Air berikatan erat dengan molekul pati pada permukaan butir pati yang membengkak, demikian pula dengan amilosa. Sebagian air pada pasta yang telah dimasak berada pada rongga rongga jaringan yang terbentuk dari butir pati dan endapan amilosa.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap pembentukan RS3 melalui proses *autoclaving-cooling* adalah konsentrasi pati dan suhu autoklaf. Pembentukan RS3 berlangsung paling optimum apabila konsentrasi suspensi pati dalam air sebesar 20% (b/b) dengan suhu autoklaf sebesar 121°C. Konsentrasi suspensi pati yang lebih kecil atau lebih besar dari 20% (b/b) menghasilkan kadar RS3 yang cenderung menurun (Setiarto dkk., 2015)

Namun demikian, teknik autoclaving-cooling memiliki kekurangan diantaranya adalah kurang efisien, karena butuh waktu produksi yang lebih lama, energi panas yang lebih besar, dan biaya produksi yang tinggi. Kekurangan dari teknik ini dapat diatasi dengan adanya perlakuan awal. Perlakuan awal yang dapat dilakukan adalah hidrolisis asam, *debranching* (pemutusan cabang amilopektin) dengan enzim pululanase dan fermentasi oleh Bakteri Asam Laktat (BAL) (Setiarto dkk, 2015) Fermentasi sebagai perlakuan awal dapat menurunkan jumlah siklus *pada autoclaving-cooling* (Setiarto dkk, 2015). Perlakuan fermentasi awal menggu-

nakan BAL dapat menghidrolisis pati dan linearisasi amilopektin sehingga dihasilkan polisakarida rantai pendek. Pati akan lebih mudah mengalami retrogradasi pada teknik *autoclaving-cooling* bila berada dalam bentuk molekul amilosa rantai pendek (Schmiedl, *et al.*, 2000).

RANGKUMAN

Modifikasi pati adalah perubahan struktur molekul yang dapat dilakukan secara kimia, fisik maupun enzimatis. Bila dibandingkan dengan modifikasi kimia, modifikasi fisik cenderung lebih aman karena tidak menggunakan berbagai pereaksi kimia sehingga tidak akan meninggalkan residu pada pati termodifikasi. Pati termodifikasi merupakan pati yang gugus hidroksilnya telah diubah melalui suatu reaksi kimia atau dengan mengubah struktur asalnya. Pati diberi perlakuan tertentu dengan tujuan untuk menghasilkan sifat yang lebih baik yaitu memperbaiki sifat sebelumnya.

Tujuan dilakukannya modifikasi pati adalah untuk meningkatkan daya tahan pati terhadap panas dan pengadukan serta terhadap asam, dan mengurangi sifat sineresis pada pati. Modifikasi pati dapat dilakukan secara fisik melalui beberapa cara, antara lain pengeringan, pemanasan, pendinginan, pemasakan, gelatinisasi, ekstrusi, *High Moisture Treatment*, annealing, dan *autoclaving cooling*.

Pertanyaan

- 1) Apa yang dimaksud dengan modifikasi pati?
- 2) Apa tujuan dilakukannya modifikasi pati?
- 3) Apa saja metode modifikasi pati secara fisik?
- 4) Bagaimana metode modifikasi pati secara *High Moisture Treatment*?
- 5) Apa kelebihan dan kekurangan modifikasi pati dengan *autoclaving cooling*?

PUSTAKA

- Adebowale KO, Owolabi BI, Olayinka OO, Lawal OS. 2005. Effects of heat moisture treatment and annealing on physicochemical properties of red sorghum starch. *African J of Biotechnology*.4 (9): 928–933
- Adebowale, Y. A., Adeyemi, I. A., & Oshodi, A. A. (2005). Functional and physicochemical properties of flours of six *Mucuna* species. *African journal of Biotechnology*, 4(12).
- Afrianti, L. H. 2004. Pati Termodifikasi Dibutuhkan Industri Makanan. E. book
- Bhattacharjya, B., Dutta, H., Patwari, K., & Mahanta, C. L. (2015). Properties of annealed jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* lam.) seed starch. *Acta Alimentaria*, 44(4), 501–510. <https://doi.org/10.1556/066.2015.44.0021>
- Faridah, D. N. (2011). Perubahan karakteristik kristalin pati garut (*Maranta arundinaceae* L.) dalam pengembangan pati resisten tipe III. Unpublished doctoral dissertation. IPB University, Bogor.
- Glicksman, M. (1969). Gum technology in the food industry.
- Gunaratne A, Hoover R. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*. 49(4):425–437
- Herawati, D. (2009). Modifikasi pati sagu dengan teknik *heat moisture treatment* (HMT) dan aplikasinya dalam memperbaiki kualitas bihun.
- Hoover R, Manuel H. 1996. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of legume starches. *Food Res Int*. 29:731-750.doi:10.1016/0008-6215.96.90004.3

- Hoover, R. (2010). The impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(9), 835-847.
- Koswara, S. (2009). Teknologi modifikasi pati. *Teknol. Pangan*
- Kurnaeni N., dkk. 2016. Modifikasi Pati Sederhana Dengan Metode Fisik, Kimia, Dan Kombinasi Fisik-Kimia Untuk Menghasilkan Tepung Pra-Masak Tinggi Pati Resisten Yang Dibuat Dari Jagung, Kentang, Dan Ubi Kayu. *Jurnal Teknologi Pertanian*, Vol. 7 No. 1 (April 2016) 1-9.
- Lawal OS. 2005. Studies on the hydrothermal modifications of new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. *International Journal of Biological Macromolecules*. 37:268-277
- Pomeranz Y. 1991. *Functional Properties of Food Components*. Second Edition. Academic Press. New York.
- Pukkahuta C, Suwannawat B, Shobsngob S, Varavinit S. 2008. Comparative study of pasting and thermal transition characteristics of osmotic pressure and heat-moisture treated corn starch. *Carbohydrate Polymers*. 72:527-536.
- Pukkahuta C, Varavinit S. 2007. Structural transformation of sago starch by heat-moisture and osmotic-pressure treatment. *Starch-stärke*. 59(12): 624-631
- Reilly, P. J. (1985). Enzymic degradation of starch. In *Starch conversion technology*, ed.
- Saguilan AA, Flores-Huicochea E, Tovar J, Garcia-Suarez F, Gutierrez-Meraz F, Bello-Perez LA. 2005. Resistant starch-rich powders prepared by autoclaving of alami and lintnerized banana starch: partial characterization. *J Starch* 57: 405- 412.

- Sajilata, M. G., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2006). Resistant starch—a review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 5(1), 1-17.
- Schmiedl, D., Bauerlein, M., Bengs, H., and Jacobasch, G. (2000). Production of heat stable, butyrogenic resistant starch, *Carbohydr, Polym.* 43,183-193.
- Setiarto, R. H. B., Jenie, B. S. L., Faridah, D. N., & Saskiawan, I. (2015). Study of development resistant starch contained in food ingredients as prebiotic source. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 20(3), 191–200.
- Setiarto, R. H. B., Jenie, B. S. L., Faridah, D. N., & Saskiawan, I. (2015). Study of development resistant starch contained in food ingredients as prebiotic source. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 20(3), 191–200.
- Silitonga, R.F., Faridah, D.N., Indrasti, D., Afandi, F.A., & Jayanegara, A. (2021) Kadar pati resisten pangan tinggi karbohidrat hasil autoclaving-cooling 2 siklus: studi meta-analisis. *Warta IHP*, 38(1),79-88.
- Vermeylen R, Goderis B, Delcour JA. 2006. An X-ray study of hydrothermally treated potato starch. *Carbohydrate Polymers*.64:364-375
- Wirakartakusuma, et al., 1989. *Prinsip Teknik Pangan*. PAU Pangan dan Gizi. IPB, Bogor.
- Yadav, B. S., Sharma, A., & Yadav, R. B. (2010). Resistant starch content of conventionally boiled and pressure-cooked cereals, legumes and tubers. *Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 84–88.
- Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, 43(4), 931–942.

Zhang, Y., Zhang, Y., Li, B., Wang, X., Xu, F., Zhu, K., Tan, L., Dong, W., Chu, Z., & Li, S. (2019). In vitro hydrolysis and estimated glycemic index of jackfruit seed starch prepared by improved extrusion cooking technology. In *International Journal of Biological Macromolecules* (Vol. 121). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.075>

5. MODIFIKASI PATI SECARA KIMIA

Capaian Pembelajaran :

1. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan definisi dan reaksi modifikasi pati kimia;
2. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan berbagai metode modifikasi pati kimia;
3. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan sifat-sifat pati termodifikasi secara kimia dan aplikasinya untuk produk pangan

A. Modifikasi Pati Secara Kimia

Modifikasi secara kimia merupakan salah satu cara yang banyak digunakan misalnya dengan penambahan asam, oksidasi, *starch esters*, kationik, dan *crosslinking*.

Perlakuan modifikasi secara kimia akan menghasilkan pati dengan sifat lebih encer ketika dilarutkan, lebih mudah larut, serta memiliki berat molekul lebih rendah.

1) Modifikasi Pati dengan Penambahan Asam

Modifikasi asam akan dihasilkan pati dengan sifat-sifat berikut; viskositas yang rendah, kurang terjadinya pengembangan granula pada gelatinisasi sehingga meningkatkan kelarutan dalam air panas di bawah suhu gelatinisasi, berat molekul yang rendah. Dari beberapa peneliti diperoleh bahwa dengan peningkatan modifikasi asam akan menurunkan viskositas lebih cepat dari penurunan kekerasan dan penghancuran gel. Kekuatan pembentuk gel meningkat dengan peningkatan konsentrasi.

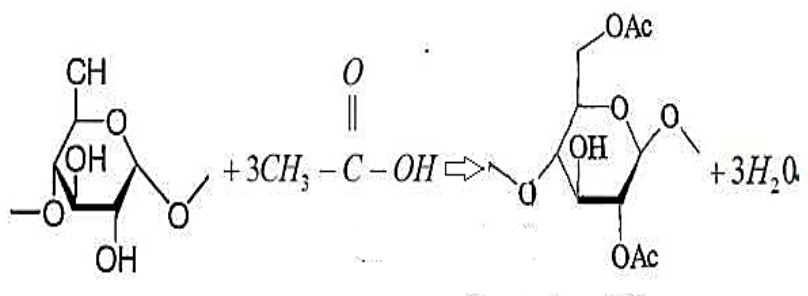
➤ Asetilasi

Modifikasi dapat dilakukan dalam bentuk tepung maupun dalam bentuk pasta. Modifikasi secara kimia bertujuan untuk membuat pati mempunyai karakteristik yang sesuai untuk aplikasi tertentu.

Sebagai contoh, pati dapat dibuat lebih tahan terhadap kerusakan akibat panas dan bakteri, serta membuat pati menjadi lebih hidrofilik (Johnson, 1979).

Metode modifikasi pati secara asetilasi dengan derajat substitusi (*degree of substitution* = DS) yang rendah (DS 0,1) telah digunakan secara luas oleh industri makanan selama bertahun-tahun. Hal ini disebabkan oleh keunggulan sifat fisika-kimia yang dimiliki oleh pati terasetilasi seperti suhu gelatinisasi, *swelling power*, *solubility*, dan tingkat kejernihan pasta (*paste clarity*) yang tinggi, serta memiliki stabilitas penyimpanan dan pemasakan yang lebih baik jika dibandingkan dengan pati asalnya (Raina, *et al.*, 2006). Selain itu, kualitas produk yang dihasilkan dari pati terasetilasi lebih stabil dan tahan terhadap retrogradasi. Sifat fisika-kimia pada pati yang terasetilasi ini dipengaruhi oleh jumlah distribusi gugus asetil yang menggantikan gugus hidroksil (OH-) pada pati. Metode asetilasi merupakan metode yang sangat penting untuk memodifikasi karakteristik pati karena metode ini dapat memberikan efek pengentalan (sebagai *thickening agent*) pada berbagai makanan. Reagen yang biasa digunakan pada metode asetilasi adalah vinil asetat, asam asetat, dan asetat anhidrat (Varavinit, *et al*, 2008).

Reaksi antar pati dan asam asetat pada proses asetilasi dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Reaksi Asetilasi Pati (Varavinit, *et al*, 2008)

➤ Asam Asetat

Asam asetat atau lebih dikenal sebagai asam cuka (CH_3COOH) adalah suatu senyawa berbentuk cairan, tak berwarna, berbau menyengat, memiliki rasa asam yang tajam dan larut di dalam air, alkohol, gliserol, dan eter. Asam asetat mempunyai aplikasi yang sangat luas dibidang industri dan pangan. (Hardoyono, 2007).

Bentuk murni dari asam asetat ialah asam asetat glacial. Asam asetat glacial mempunyai ciri -ciri tidak berwarna, mudah terbakar (titik beku 17°C dan titik didih 118°C) dengan bau menyengat, dapat bercampur dengan air dan banyak pelarut organik. Dalam bentuk cair atau uap, asam asetat glacial sangat korosif terhadap kulit dan jaringan lain suatu molekul asam asetat mengandung gugus $-\text{OH}$ dan dengan sendirinya dapat membentuk ikatan idrogen dengan air. Karena adanya ikatan hidrogen ini, maka asam asetat yang mengandung atom karbon satu sampai empat dan dapat bercampur dengan air (Hewitt, 2003).

Asam asetat merupakan pereaksi kimia dan bahan baku industri yang penting untuk menghasilkan berbagai senyawa kimia. Asam asetat digunakan dalam produksi polimer seperti selulosa asetat, dan polivinil asetat, maupun berbagai macam serat dan kain. Asam asetat digunakan sebagai pengatur keasaman dalam industri makanan. Asam asetat encer juga sering digunakan sebagai pelunak air di rumah tangga. Penggunaan asam asetat lainnya, termasuk penggunaan dalam cuka relatif kecil (Setiawan, 2007).

➤ Pati Bentul termodifikasi secara asetilasi

Pati termodifikasi dengan konsentrasi asam asetat 8% dan waktu perendaman 90 menit mempunyai karakteristik kadar air 5,97%, kadar abu 1,39, kadar pati 63,49, amilosa 29,93, *swelling power* 20,47 (g/g), kelarutan 17,67%, rendemen 85,29%, derajat substitusi 0,67, viskositas 3589 cP.

Tabel 5.1 Hasil analisa pati umbi bentul yang belum dimodifikasi

Komponen	Jumlah		
Kadar Air (%)	11,38	±	0,08
Kadar Abu (%)	1,27	±	0,04
Kadar Pati (%)	79,95	±	0,05
Amilosa (%)	34,13	±	0,06
Swelling Power (g/g)	10,48	±	0,06
Kelarutan (%)	11,38	±	0,02
Rendemen (%)	17,72	±	0,01
Viskositas (cP)	1312	±	12,72

Modifikasi pati umbi bentul dengan metode asetilasi dengan konsentrasi asam asetat 4%; 6%; dan 8% serta lama perendaman 30 menit, 60 menit dan 90 menit menghasilkan kadar pati bentul termodifikasi asetilasi berkisar 63,67% - 65,38% dengan kelarutan berkisar 15,71% – 17,51%, viscositas 1397,33 cP - 3126,50 cP

Konsentrasi asam asetat semakin tinggi maka kelarutan pada pati umbi bentul termodifikasi semakin meningkat. Hal ini disebabkan semakin melemahnya ikatan hidrogen yang di dalam pati yang dimodifikasi. Melemahnya hidrogen di dalam pati memudahkan air berpenetrasi ke dalam granula pati. Adanya gugus asetil pada pati terasetilasi menyebabkan ikatan hidrogen melemah, hal ini mengakibatkan air lebih mudah berpenetrasi dalam ke dalam granula pati. Dengan semakin mudahnya air yang masuk maka kecenderungan untuk membentuk ikatan hidrogen antara pati dan molekul air lebih besar. Ikatan hidrogen inilah yang menahan air untuk keluar dari granula pati sehingga pati tersebut dapat larut. Proses asetilasi memiliki efek sinergis pada kelarutan pati. Peningkatan kelarutan diawali dengan ikatan pada intragranular pati yang melemah yang menyebabkan rantai pati yang terputus sehingga air mudah masuk ke dalam granula pati. Gugus asetil dikenal memiliki sifat dapat mendispersi pati lebih baik dalam suatu sistem larutan yang di-akibatkan kemampuan dari gugus asetil membentuk ikatan *hydro-*

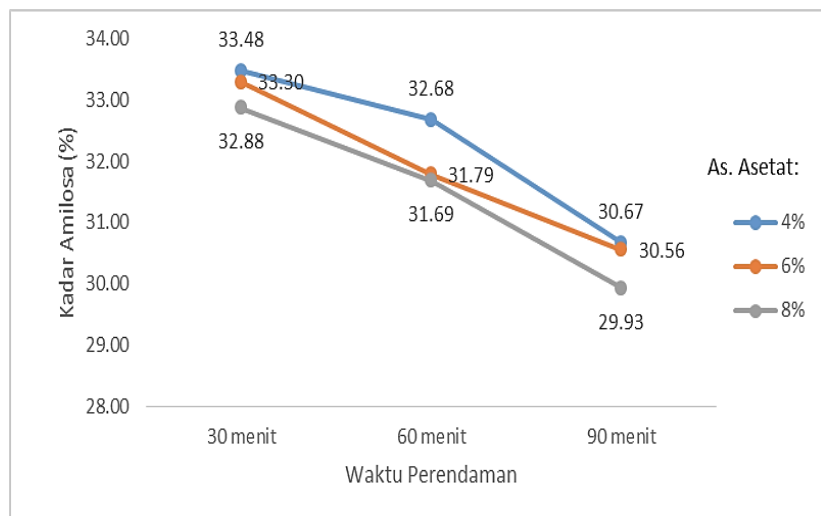
gen dan mencegah ikatan rantai pati terbentuk sehingga kelarutan meningkat.

Waktu perendaman asam asetat semakin lama maka kelarutan pada pati umbi bentul termodifikasi semakin meningkat. Hal ini disebabkan semakin banyak senyawa amilopektin tereduksi maka pati yang dihasilkan semakin larut air yang diakibatkan lama perendaman yang menyebabkan pati terhidrolisis lebih lama, sehingga menyebabkan kenaikan persen kelarutan. Perbandingan antara amilosa dan amilopektin akan berpengaruh terhadap sifat larut pati. Amilopektin bersifat tidak larut air. Pada proses modifikasi semakin lama waktu operasi semakin banyak senyawa amilopektin yang tereduksi sehingga pati yang dihasilkan lebih mudah larut dalam air.

Konsentrasi asam asetat semakin tinggi maka viskositas pada pati umbi bentul termodifikasi semakin meningkat. Hal ini disebabkan terjadi pemecahan ikatan amilosa dan amilopektin yang menyebabkan terjadinya perubahan lebih lanjut seperti peningkatan molekul air sehingga terjadi penggelembungan molekul dan terjadinya peningkatan viskositas.

Asam dapat menyebabkan terjadinya hidrolisis rantai pati yang tersusun amilosa dan amilopektin. Molekul amilosa lebih mudah pecah dibanding dengan molekul amilopektin sehingga saat hidrolisa asam berlangsung akan menurunkan gugus amilosa. Dengan semakin menurunnya kadar amilosa maka viskositasnya semakin besar karena semakin rendah kadar amilosa maka semakin tinggi konsistensi gel pati yang terbentuk. Semakin tinggi konsentrasi asam asetat yang digunakan maka semakin tinggi pula viskositas yang dihasilkan. Asam akan mendegradasi dinding sel sedemikian rupa sehingga terjadi pembebasan granula pati. Proses pembebasan granula pati ini akan menyebabkan perubahan karakteristik dari tepung yang dihasilkan berupa naiknya viskositas dan kemudahan melarut.

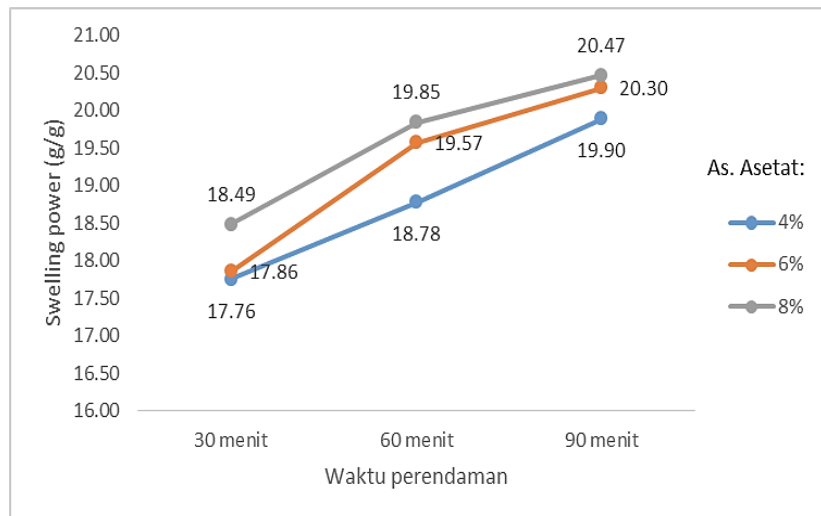
Waktu perendaman asam asetat semakin lama maka viskositas pada pati umbi bentul termodifikasi semakin meningkat. Hal ini disebabkan semakin lama waktu perendaman dengan asam asetat, kadar amilosa pada pati akan semakin berkurang dengan terlarutnya amilosa dalam air sehingga viskositas semakin besar. Semakin lama waktu reaksi hidrolisis asam terhadap pati modifikasi, maka semakin menurun kandungan amilosanya. Kadar amilosa berkorelasi terbalik dengan konsistensi gel pati. Penurunan gugus amilosa ini mengakibatkan semakin tinggi konsistensi gel sehingga terjadi peningkatan viskositas pati. Viskositas berkaitan dengan proses gelatinisasi, tingkat penyerapan air dan proporsi amilosa dan amilopektin yang ada pada pati. Jumlah gugus hidroksil dalam molekul pati sangat besar, sehingga semakin besar proporsi pati maka kemampuan menyerap air semakin besar pula. Meningkatnya viskositas dimulai pada saat granula-granula pati mulai membengkak. Air yang semula berada di luar granula dan bergerak bebas sebelum suspensi dipanaskan, kini sudah berada di dalam butir-butir pati dan tidak dapat bergerak dengan bebas lagi.



Gambar 5.2 Kadar amilosa pati umbi bentul termodifikasi asetilasi

Konsentrasi asam asetat semakin tinggi dan semakin lama waktu perendaman maka kadar amilosa pada pati umbi bentul termodifikasi semakin menurun. Hal ini disebabkan semakin banyak amilosa yang terhidrolisis oleh asam asetat seiring dengan peningkatan konsentrasi asam asetat dan lama perendaman dalam asam asetat sehingga semakin banyak gula-gula sederhana yang terbentuk dari proses hidrolisis sehingga menyebabkan kadar amilosa menurun.

Penurunan kadar amilosa ini dapat disebabkan hidrolisis asam juga menyerang sebagian dari amilosa. Secara spesifik dijelaskan bahwa hidrolisis terjadi pada bagian amorf dari granul pati, dimana amilosa terdapat pada bagian amorf dari granula pati. Konsentrasi asam semakin tinggi maka semakin banyak polisakarida yang terhidrolisis dan yang terlarut. Polisakarida berupa amilosa yang terhidrolisis dan terlarut menyebabkan gula reduksi semakin sedikit. Molekul amilosa mudah terpecah dibanding dengan molekul amilopektin sehingga saat hidrolisa asam berlangsung akan menurunkan gugus amilosa. Ackar *et al* (2015) menyatakan bahwa, modifikasi pati menggunakan asam-asam organik menyebabkan penurunan kadar amilosa yang disebabkan adanya asam-asam organik yang dapat memecah molekul pati menjadi molekul yang lebih sederhana yang kemudian terus berlanjut sampai pada gula-gula sederhana melalui reaksi pemotongan ikatan α -1,4-glikosidik dari amilosa dan α -1,6-D glikosidik dari amilopektin.



Gambar 5.3 Nilai *swelling power* pati umbi bentul termodifikasi asetilasi

Konsentrasi asam asetat semakin tinggi dan semakin lama waktu perendaman maka *swelling power* pada pati umbi bentul termodifikasi semakin meningkat. Hal ini disebabkan semakin banyak asam yang ditambahkan dan semakin lama waktu perendaman asam dapat menyebabkan pati akan kontak dengan asam dalam waktu yang lama sehingga semakin banyak ikatan hidrogen dalam pati melemah dan air mudah masuk ke dalam granula pati. Proses tersebut membuat granula pati lebih mengembang.

Menurut Taggart (2004), asam dapat mengganggu ikatan hidrogen yang terdapat dalam pati, sehingga menyebabkan granula pati lebih mudah untuk mengembang. Hal ini didukung oleh penelitian Teja (2008), menyatakan bahwa substitusi gugus asetil pada pati sagu melemahkan ikatan hidrogen pada pati sehingga air menjadi lebih mudah berpotensi ke dalam granula pati yang menyebabkan pati menjadi lebih mengembang.

Menurut Yuan dkk (2008), *Sweling Power* dipengaruhi oleh adanya pemecahan granula pati amilosa dan amilopektin yang mampu berikatan dengan air pada saat terjadi proses pemanasan. Menurut

Arianti dan Yohanita (2010), *Swelling Power* sangat dipengaruhi oleh keberadaan amilosa sebagai salah satu komponen penyusun pati. Semakin lama waktu reaksi maka semakin banyak amilosa yang tereduksi. Penurunan jumlah amilosa tersebut menyebabkan kenaikan *swelling power*. Sehingga semakin lama waktu operasi pada suhu yang sama, *swelling power* pati terasetilasi semakin tinggi.

B. Modifikasi Pati dengan Oksidasi

Modifikasi pati dengan oksidasi diperoleh sifat pati sebagai berikut; gel yang mempunyai tingkat kejernihan yang tinggi, mempunyai tingkat regangan yang rendah, berat molekul yang rendah, viskositas yang rendah. Modifikasi oksidasi dengan menggunakan hidrogen peroksida. Reaksi ini dipengaruhi oleh adanya ultra violet, katalis, disamping itu juga dipengaruhi oleh pH, waktu reaksi dan konsentrasi oksidan yang dipergunakan.

Pati dapat dioksidasi dengan aktivitas dari beberapa zat pengoksidasi dalam suasana asam, netral atau larutan alkali. Menurut FDA (*Food and Drugs Administration*) zat pengoksidasi diklasifikasikan sebagai pemutih dan oksidant untuk pemutih yang diizinkan adalah oksigen aktif dari peroksida atau khlorin dari natrium hipokhlorida, kalium permanganat, ammonium persulfat. Jumlah maksimum yang dipakai tergantung pada bahan yang dipergunakan (Radley, 1976). Schoch *et al.* (1959) mengemukakan bahwa mekanisme pembentukan gel dan retrogradasi diakibatkan oleh pembentuk ikatan hidrogen antar gugus hidroksi rantai amilosa dengan molekul amilosa lain. Oksidasi dari gugus OH ini mencegah ikatan hidrogen mengisi rantai polimer dan gel yang diproduksi teksturnya lembek dan pendek dari pati alami. Farley dan Hixon (1942) mengemukakan bahwa terjadinya retrogradasi terbatas dan pengaruh gugus karbonil terhadap kelarutan pati teroksidasi akan menyebabkan gel mempunyai tingkat kejernihan yang tinggi dan hanya dengan derajat oksidasi yang kecil akan di-

hasilkan produk yang bermutu. Secara umum dimana tipe modifikasi seperti esterifikasi sama baiknya dengan oksidasi dalam perubahan sifat fisik yang besar yang diakibatkan oleh penggantian 1 dalam 100, 200 atau 300 dari gugus OH sepanjang rantai. Bila pati telah teroksidasi menjadi produk maka pati ini akan larut dalam air panas membentuk bagian yang lebih kecil tanpa melalui yang mengandung pati teroksidasi dalam jumlah besar dan produk ini memperlihatkan kekuatan pereduksi. Lapisan tipis (film) yang diproduksi oleh larutan ini mempunyai tingkat kekuatan regangan yang rendah dibandingkan dengan pati tak termodifikasi, hal ini memberikan beberapa keuntungan seperti bentuk yang transparan dan kekuatan penetrasi dan sifat ini sangat baik untuk industri kertas, lem dan tekstil.

Pati teroksidasi yang diproduksi secara komersial mempunyai bentuk granula yang tetap menunjukkan polarisasi silang, berwarna biru atau kemerahan pada reaksi iodine dan pola difraksi sinar-x yang sama dengan pati alami. Granula ini lebih mudah pecah dari pada pati alami dan pemecahan yang melingkar pada butiran ini menghasilkan celah bila ditekan. Hal ini terjadi karena oksidasi pada granula sampai sebagian dalam tetapi hanya pada suatu tempat dan bagian yang bersifat asam dari produk akan larut dalam oksidan dan akan hilang dalam pencucian. Jadi dapat diduga bahwa selama pengolahan komersil akan terjadi kehilangan sejumlah produk sesuai dengan tingkat oksidasi yang berakibat berkurangnya berat dari pati. Penurunan viskositas pati karena proses oksidasi akan menyebabkan produk lebih mudah dioksidasi lagi menjadi turunannya (derivatnya) dan pengaruh yang sama dapat dihasilkan dari oksidasi derivat pati atau menderivatkan pati teroksidasi, misalnya; pati terposforilasi yang dibuat dengan mempergunakan NaOH dengan produk reaksi dari epiklorohidrin dan amina tertier. Produk derivat ini dioksidasi dengan NaOCl, menghasilkan produk yang sangat baik untuk pelapis kertas (Radley, 1976). Secara umum sasaran dari oksidasi pati adalah

mempelajari struktur pati dan modifikasi pati untuk keperluan industri.

➤ Oksidasi dengan Hidrogen Peroksida

Pemakaian H_2O_2 sebagai pengoksidasi telah banyak diteliti seperti Whistler dan Schweiger (1959) meneliti pengaruh pH terhadap H_2O_2 dengan amilopektin, ditemukan bahwa pengaruh awal adalah terjadinya depolimerasi dan diikuti dengan oksidasi secara cepat sampai unit akhir dari rantai sampai menghasilkan CO_2 dan asam format. Pengaruh H_2O_2 terhadap pati sangat tergantung pada proporsi pengoksidasi yang dipakai dan suhu reaksi dimana aktivitas utamanya melalui degradasi hidroksil. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan oksidasi dengan hidrogen peroksida;

- a) Adanya cahaya ultra violet, dapat mengakibatkan peningkatan pembentukan gugus karbonil dan karboksil dan juga dapat menurunkan viskositas pati (Harmon *et al.*, 1971).
- b) Pengaruh adanya katalis, oksidasi yang dilakukan dengan H_2O_2 dan UV dengan menambahkan katalis yang berbeda akan memberikan pembentukan karboksil dan karbonil yang berada seperti yang terlihat pada Tabel 6.
- c) Pengaruh pH terhadap oksidasi dengan H_2O_2 dan adanya UV seperti terlihat pada Tabel 7, disini terlihat bahwa pH rendah memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan bila oksidasi dilakukan pada pH tinggi.
- d) Pengaruh waktu oksidasi dapat dilihat pada Gambar 5. Dapat terlihat bahwa peninggalkan pembentukan gugus karbonil dan karboksil terjadi setelah 6 jam dan setelah itu kenaikannya berlangsung lambat.
- e) Pengaruh konsentrasi dan pemakaian oksidan, disini terlihat bahwa peningkatan konsentrasi H_2O_2 berhubungan dengan peningkatan karbonil dan karboksil yang terbentuk dan menghasilkan degradasi pati yang banyak yang terbukti dengan menurunnya viskositas pati (Tabel 8).

➤ Oksidasi Alkali Hipoklorit

Melarutkan pati dengan serbuk pemutih (alkali hipoklorit) akan terjadi peningkatan suhu selama reaksi maka peningkatan suhu ini dikontrol selama pembuatan pati teroksidasi secara basa. Pati yang lebih kering akan meningkatkan kecepatan reaksi ini disebabkan mungkin karena adanya hidrasi atau pemanasan. Prosedur untuk membuat pati teroksidasi dapat dilakukan dengan memberikan 10% larutan natrium hipoklorit kemudian dilakukan pemanasan pada kondisi air yang sesuai akan dihasilkan produk kering. Kecepatan oksidasi pati oleh hipoklorit akan meningkat apabila terdapat kobal, brom, nikel, sulfat. Untuk pati jagung pemanasan dapat dilakukan pada suhu 95°C, gambaran mikroskopik menunjukkan bahwa beberapa dari granula pati menjadi pecah dan berukuran bermacam-macam dengan rotasi spesifik 198°C. Pewarnaan dengan iodine akan biru-violet dengan berat molekul yang lebih rendah dari pati alami dan viskositas pada 25°C sangat tinggi walau terjadi penurunan konduktivitas larutan. Gel yang dihasilkan setelah dilakukan pemurnian ternyata meningkat 8 kali lipat produktivitasnya. Kekuatan pereduksi meningkat dan rotasinya lebih rendah dari pada pati alami. Peningkatan viskositas karena penurunan ukuran partikel yang disebabkan oleh terbentuk gugus hidrofil yang menyebabkan peningkatan hidrasi. Jambuserwala dan Kanitkar (1940) menggunakan amonium hipoklorit untuk mengoksidasi pati jagung, ditemukan sejumlah karboksilat, nilai RCU dan bilangan alkali sangat ditentukan oleh jumlah klorin yang dipakai. Nilai RCU akan rendah pada larutan pH 5.2 sampai 6.8. Hullinger Wistler (1951) memakai larutan hipoklorit untuk mengoksidasi amilosa kentang dan gandum pada pH 7 dan hasil menunjukkan penurunan viskositas dan penurunan kecepatan retrogradasi dan juga peningkatan gugus aldehid dan karbohidrat, bila pH ditingkatkan terjadi penurunan karbonil sedangkan karboksilat meningkat. Pengaruh pH terhadap pati amilopektin memakai hipoklorit mereka menemukan kadar asam glioksilat dan asam eritronat tertinggi dihasilkan pada pH sedikitnya di atas 7 pada pH ini

oksidasi terjadi pada atom C2 dan C3. Mereka menduga gugus karbonil ditandai terbentuk pada C2 dan C3, selanjutnya mengalami enolisasi dan pada tahap oksidasi berikutnya akan pecah menghasilkan cincin piranosa antara C2 dan C3 dari pati. Mellies *et al.* (1957) memakai larutan hipoklorit untuk mengoksidasi pati dengan amilosa tinggi dari beberapa pati dan membandingkan viskositas yang dihasilkan dengan viskositas jagung industri. Mereka menemukan bahwa pati amilosa dengan konsentrasi 8 – 14% akan menghasilkan viskositas yang sama pati yang dihasilkan pada konsentrasi 5%.

C. Modifikasi Pati dengan Metode *Cross-linking*

Pati modifikasi “*cross-linking*” mempunyai sifat sebagai berikut; viskositas tinggi, dan ketahanan geser yang baik. Penambahan “*cross-linking agent*” dapat menghambat pengembangan granula untuk stabilitas viskositas ini disebabkan terbentuknya ikatan-ikatan (jembatan) baru antar molekul di dalam pati itu sendiri atau antar molekul pati yang satu dengan dengan molekul pati yang lain.

Pada pemanasan suspensi pati maka ikatan primer yang menyusun molekul dalam suatu struktur yang kompak akan pecah karena terjadinya hidrasi granula mengisap air dan mengembang, sebagian granula akan mengembang pada suhu yang sangat terbatas, pengembangan terjadi pada dua tingkat yaitu setelah gelatinisasi dan pendinginan.

Maxwell dalam Radley (1976) mencoba mengembangkan reaksi *cross-linking* untuk menghambat pengembangan pati dengan tujuan untuk stabilitas viskositas pasta pati. “*Cross-linking*” dipakai apa bila dibutuhkan pati dengan viskositas tinggi atau pati dengan ketahanan geser yang baik seperti dalam pembuatan pasta dengan pemasakan kontinu dan pemasakan cepat pada injeksi uap. Pati ikatan silang dibuat dengan menambahkan “*cross-linking agent*” dalam suspensi pati pada suhu tertentu dan pH yang sesuai.

Dengan sejumlah “*cross-linking agent*”, viskositas tertinggi dicapai pada temperatur pembentukan yang normal dan viskositas ini relatif stabil selama konversi pati. Peningkatan “*cross-linking*” viskositas mungkin tidak mencapai maksimum tapi secara perlahan-lahan meningkat sampai pemasakan yang normal, tapi ini tidak untuk semua pati karena ada bahan lain yang terdapat dalam pati yang dapat mempengaruhi kecepatan dan perluasan pengembangan misalnya gula.

Salah satu dari metode *cross-linking* yaitu menggunakan STPP (*Sodium Tri Polyphosphate*). Sodium Tri Polyphosphate merupakan senyawa polifosfat dari natrium dengan rumus $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$. STPP berbentuk bubuk atau granula berwarna putih dan tidak berbau. Kelarutan STPP dalam air sebesar 14.5 gram per 100 ml pada suhu 25°C, nilai pH sebesar 9.8 pada suhu 20°C. Modifikasi pati secara kimia menggunakan STPP akan menyebabkan ikatan pati menjadi kuat, tahan terhadap pemanasan, dan asam sehingga dapat menurunkan derajat pembengkakan granula, dan meningkatkan stabilitas adonan, karena adanya ikatan antara pati dengan fosfat diester atau ikatan silang antar gugus hidroksil (OH).

Untuk menguji sifat-sifat viskositas dari pati yang disebabkan oleh “*cross-linking agent*” dapat dilakukan dengan mengamati pola viskometrik dan suhu. Jadi untuk produk yang disiapkan untuk membuat makanan asam, “*salad drying*” diperlukan sejumlah asam organik, agar campuran akhir dapat dipergunakan untuk membentuk bubur pati sebelum dimasak. Cara ini dapat menghasilkan pati dengan ikatan silang yang stabil sehingga pada pemanasan pengembangan granula akan lebih lambat sehingga viskositas akan lebih stabil. Pada setiap tingkatan konsentrasi ikatan silang dapat diamati pengembangan granula pati hal ini dapat diamati selama pengolahan. Reaksi yang berlanjut dapat merusak struktur granula ini sehingga pengolahan produk jadi sukar untuk ditangani. Jadi apa bila dilakukan suatu reaksi kimia maka harus dipergunakan “*cross-linking*” agar produk derivat pati

yang dihasilkan akan dapat diatur sesuai dengan karakteristik viskositasnya.

Berbagai jenis “*cross-linking agent*” telah banyak digunakan seperti hepihlorohidrin, tri-meta phosphat dimana keduanya sering dipakai untuk pembuatan makanan dan juga industri pati. “*Cross-linking agent*” lain dipakai dalam industri adalah aldehid, di-aldehid, vynil sulfon, di-epoksida, 1, 3, 5, tri-khloro, 1, 3, 5, tri-akril-5-triazin, n,n-metil etilen bis-akrilamid, bis-hidroksi metil etilen urea, dan lain-lain. Beberapa resin formaldehida urea juga dipakai untuk “*cross-linking agent*” untuk beberapa aplikasi. Bila pati ikatan silang dibuat pada air dingin misalnya dengan “*drum-drying*” maka kurang terjadi kerusakan granula dan dapat dipergunakan *cross-linking* yang tidak aktif seperti senyawa alifatik dengan dua atau tiga gugus fungsional misalnya di-halida. Secara umum beberapa molekul dapat bereaksi dengan dua atau lebih gugus hidroksil disebut “*cross-linking agent*” molekul ini dapat dipilih sesuai dengan bentuk produk akhir yang diinginkan. Felton dan Shopmeyer dalam Radley (1976) peneliti pertama yang dilakukan penelitian menggunakan *cross-linking* fosforus oksikhlorida pada konsentrasi sangat rendah, pada granula pati memberikan hasil pati dengan pengembangan yang terkontrol dan viskositas yang stabil. Kunlak dan Marshessault dalam Radley (1976) mempelajari “*cross-linking* pada keadaan homogen dan heterogen dengan perhatian khusus pada reaksi dengan hepihloihidrin dalam bentuk mono eter pada pati, juga dibandingkan dengan reaksi” *cross-linking dieter* dan ternyata hasilnya sangat ditentukan oleh kondisi dari reaksi.

Derajat pengembangan pati “*cross-linking*” menunjukkan ciri yang linier tergantung pada perbandingan molar. Proses “*cross-linking*” akan efisien bila hepihlorohidrin diberikan pada fase uap untuk membentuk film tipis pada pasta atau pati kering. Proses ini dilakukan oleh hofseiter untuk tekstil. Caldwell dalam Radley (1976) menemukan granula yang tidak mengembang dengan mem-

pergunakan epiklorhidrin 8 – 15% dalam bentuk gliserol mono eter. Bila gliserol terjadi akan terbentuk gliserol mono eter dalam jumlah kira-kira sama dengan “*cross-linking*” yang homogen. Hammerstand *et al.*, mempergunakan teknik dimana semua ikatan epiklorhidrin yang tidak diperlukan dalam membuat “*cross-linking*” dikeluarkan menjadi ratio antara “*cross-linking*” dikeluarkan menjadi ratio antara “*cross-linking*” dan unit glukosa yang hanya ditentukan oleh satu ikatan saja. Apabila produk akhir tidak hanya mengalami “*cross-linking*” tapi juga mengalami reaksi lanjutan sampai menjadi derivat pati maka metode ini tidak dapat diterapkan karena produk yang dihasilkan sangat bervariasi.

Pati termodifikasi ini diperoleh dengan cara mereaksikan pati dengan polifungsional seperti *sodium trimetaphosphate*, *phosphorus oxychloride*, *epichlorohydrin* sehingga dapat membentuk ikatan silang pada molekul pati. Karakteristik dari pati *cross-linking* adalah viskositas stabil (Miyazaki, 2006).

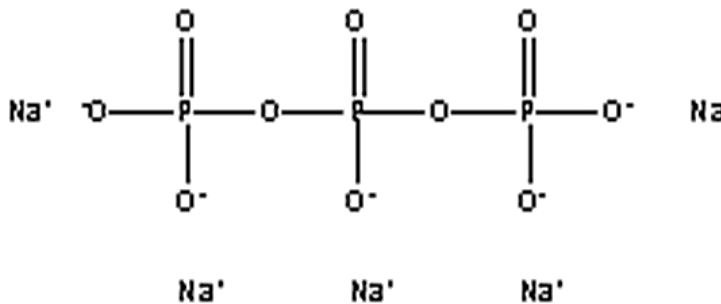
Metode *cross-linking* bertujuan menghasilkan pati yang tahan suhu tinggi dan mencegah penurunan viskositas pati selama pemasakan. *Cross-linking* dipakai apabila dibutuhkan pati dengan viskositas tinggi yang baik seperti dalam pembuatan pasta dengan pemasakan kontinu dan pemasakan cepat pada injeksi uap (Koswara, 2006).

Cross-linking menguatkan ikatan hidrogen dalam granula dengan ikatan kimia yang berperan sebagai jembatan diantara molekul-molekul. Sebagai hasilnya, ketika pati *cross-linking* dipanaskan dalam air, granula-granulanya akan mengembang sehingga ikatan hidrogennya akan melemah (Miyazaki, 2006). Pada modifikasi pati metode *cross-linking*, salah satu pereaksi yang dapat digunakan adalah STPP (*Sodium Tripolyphosphat*).

➤ ***Sodium Tripolyphosphate (STPP)***

STPP (*Sodium Tripolyphosphate*) dengan rumus kimia $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ adalah salah satu garam fosfat yang bersifat basa yang berasal dari reaksi anorganik. *Sodium tripolyphosphate* memiliki bentuk polimer

rantai lurus panjang. Karakteristik *Sodium tripolyphospate* adalah berupa butiran serbuk berwarna putih, higroskopis, bersifat mudah larut di dalam air dan tidak berbau.

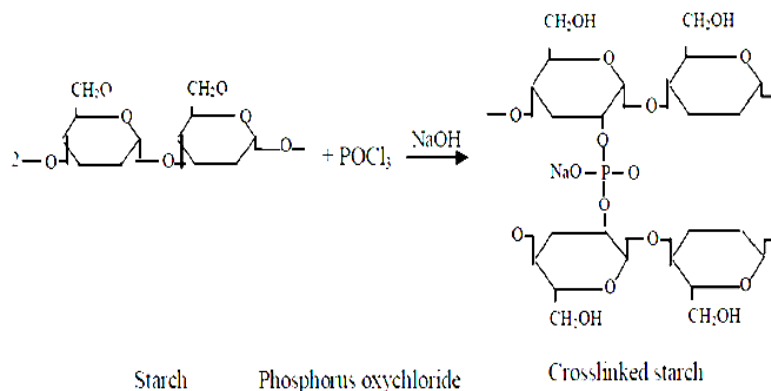


Gambar 5.4 Struktur Kimia *Sodium Tripolyphospate*

STPP mudah mengikat air dengan adanya gugus fosfat pada rantai molekulnya dan bersifat *reversible*. Gugus fosfat yang ada dalam STPP memiliki sifat ionik yang dapat mengikat air, sehingga ketika gugus fosfat terpenetrasi dalam granula pati akan terjadi peningkatan kadar air dalam bahan.

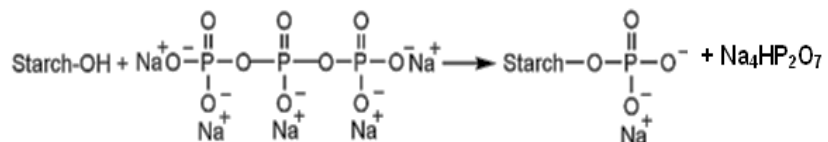
Beberapa fungsi umum bentuk fosfat dalam makanan adalah bereaksi kimia secara langsung dengan bahan makanan, pendispersi bahan makanan, penstabil emulsi, meningkatkan daya ikat air dan hidrasi, dan pengawetan makanan (Ellinger, 1972). Selain itu, STPP dapat menghambat pertumbuhan bakteri sehingga mengurangi kerusakan bahan makanan akibat mikroba, hal ini disebabkan penurunan *aw* (*water activity*) bahan dan terjadinya pengikatan kation logam yang bersifat esensial bagi pertumbuhan bakteri.

Tahapan proses reaksinya seperti yang ada pada Gambar 2.7 (Miyazaki, 2006)



Gambar 5.5 Reaksi *Cross-Linking* pada Pati
Sumber: Roder et al (2005)

Menurut Sherr (2005) reaksi pati terhadap *penambahan Sodium tripolyphosphate* sebagai berikut:



Gambar 5.6 Reaksi pati terhadap penambahan *Sodium tripolyphosphate*

Prinsip dari metode *cross-linking* yaitu mengganti gugus OH- dengan gugus fungsi yang lain seperti gugus fosfat (Raina dkk, 2006). Hal ini ditekankan Blennow *et.al*, (2002) bahwa gugus -OH aktif pada pati terdapat pada atom C₆. Hal ini disebabkan kedua gugus tersebut bersifat hidrofilik, terbuka, dan mengarah ke permukaan terutama dalam pelarut air. Aktivitas gugus -OH pada C₆ lebih mudah diserang oleh gugus -PO₄²⁻

Pada waktu pemanasan granula pati banyak yang pecah, dengan penambahan STPP maka granula yang pecah akan sedikit, dengan demikian akan menghasilkan pasta yang viscous karena adanya molekul air yang terperangkap di dalam granula pati. Aplikasi pati

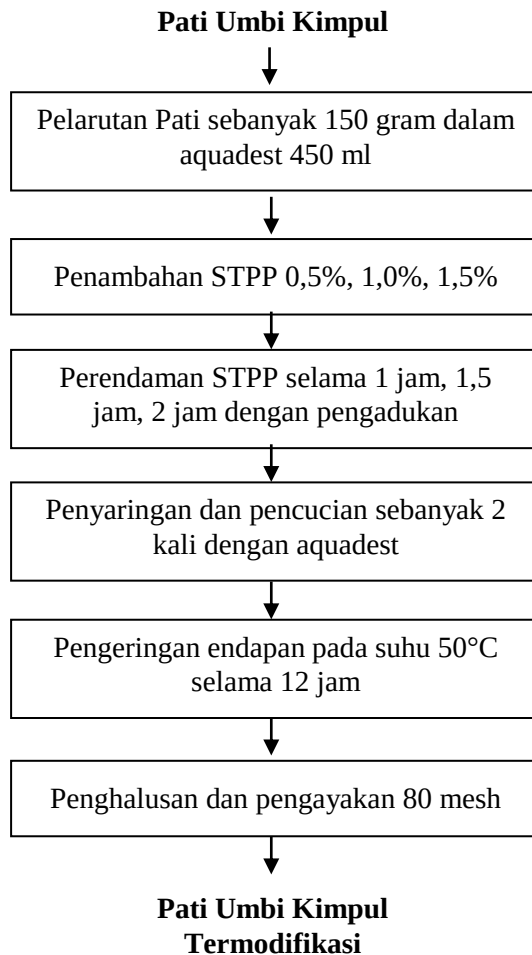
termodifikasi metode ikatan silang terdapat pada produk pangan berupa:

a. Produk rekonstruksi (*Butter/Breading*)

Produk-produk rekontruksi berbasis komoditas yang dihaluskan/dihancurkan seperti nugget, bakso atau sosis baik dari daging, ayam, ikan, dan sayuran, seringkali membutuhkan bahan pelapis saat diolah dengan tujuan untuk menyatukan komponen-komponen protein, lemak, dan rempah-rempah sebagai penyusunnya, terutama produk-produk tersebut umumnya disimpan dalam jangka waktu yang lama sehingga membutuhkan kestabilan tekstur. Pati merupakan komponen utama dari bahan pelapis tersebut, pati dalam bahan pelapis berfungsi sebagai pengontrol viskositas yang berpengaruh terhadap kuantitas ketebalan lapisannya, tekstur seerta penentu stabilitas rekonstruksi. Pati ikatan silang dapat menghasilkan bahan pelapis yang stabil pada suhu dingin, suhu beku, dan pencairan (*freeze thawing*).

b. Produk Olahan Buah

Produk olahan buah umumnya memiliki pH yang rendah (3 – 4,5) dengan kandungan karbohidrat yang tinggi terutama gula dan pektin. Kestabilan tekstur menjadi penentu kualitas beberapa produk berbasis buah dan saus, selai dan jeli. Penggunaan pati dapat membantu mempertahankannya. Pati ikatan silang banyak digunakan karena tahan pada pH rendah sehingga dapat menghasilkan viskositas yang sesuai dengan yang diinginkan dan membantu mempertahankan suspensi buah dalam campuran tersebut. Pati ikatan silang memiliki kekuatan granula yang lebih baik sehingga terjaga kemampuannya dalam menjaga viskositas produk.



Gambar 5.7 Diagram Pembuatan Pati Umbi Kimpul Termodifikasi dengan STPP

➤ **Pati Kimpul (*Xanthosoma Sagittifolium*) termodifikasi menggunakan *Sodium Tripolyphosphate***

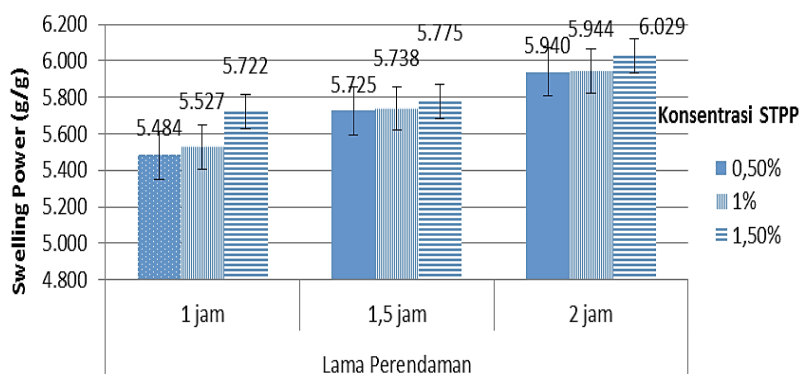
Penambahan konsentrasi STPP (*Sodium Tripolyphosphate*) 1,5% dengan lama perendaman STPP selama 2 jam merupakan perlakuan optimal dengan karakteristik kadar air 9,655%, abu 0,194%, *swelling power* 6,029 g/g, *solubility* 9,849%, kadar pati 85,446%,

kadar amilosa 15,382%, viskositas 1878,33 Mpa.s, dan suhu gelatinisasi 77,20°C.

Pati dimodifikasi STPP (*sodium tripolyphosphate*) dengan konsentrasi 0,5%; 1% dan 1,5% serta lama perendaman 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam menghasilkan kadar pati berkisar 82,381 – 85,446%, amilosa 14,508 – 15,382%.

Tabel 5.2 Karakteristik Pati Kimpul alami

Analisa Kimia Bahan	Pati Umbi Kimpul
Kadar Air (%)	8,534 ± 0,1804
Kadar Abu (%)	0,103 ± 0,0046
Swelling Power (g/g)	5,513 ± 0,0638
Solubility (%)	8,149 ± 0,0587
Kadar Pati (%)	81,929 ± 0,1507
Kadar Amilosa (%)	14,467 ± 0,0176
Viskositas (Mpa.s)	1433 ± 0,5774
Suhu Gelatinisasi (°C)	76,50

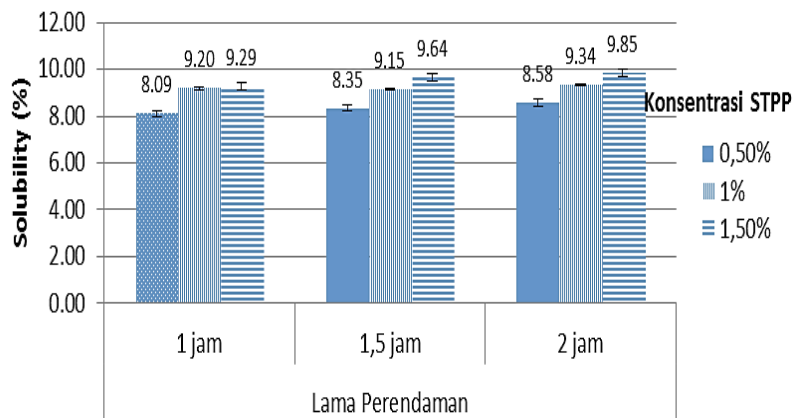


Gambar 5.8 Swelling power Pati Umbi Kimpul Termodifikasi

Konsentrasi STPP yang semakin tinggi dan semakin lama perendaman, maka swelling power akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan semakin tinggi konsentrasi STPP dan semakin lama waktu

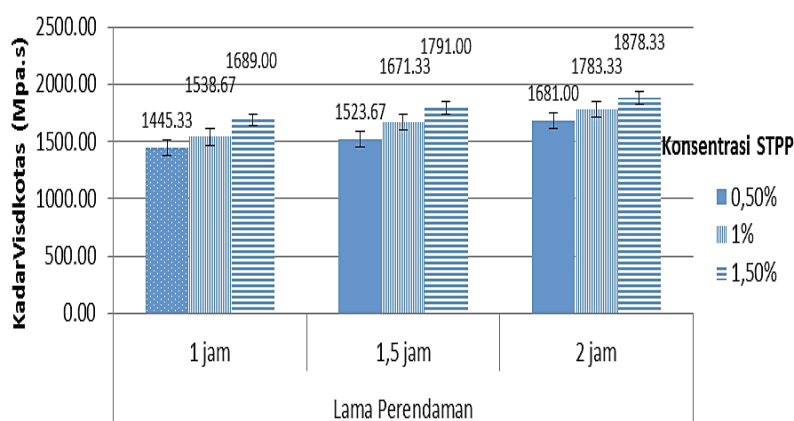
perendaman, menyebabkan pengikatan fosfat semakin tinggi. Gugus fosfat yang berikatan dengan granula pati membentuk ikatan kovalen yang dapat memperkuat struktur granula pati sehingga menyebabkan swelling power meningkat saat dipanaskan. Peningkatan nilai *swelling power* pada pati dengan perlakuan modifikasi ikatan silang menyebabkan sifat granula pati mengalami perubahan struktur yang disebabkan oleh gugus fosfat yang bereaksi dan berikatan dengan granula pati. Gugus fosfat yang berikatan dengan granula pati akan membentuk ikatan kovalen dengan molekul pati dan kemudian menjadi jembatan antar satu molekul pati dengan yang lain sehingga membentuk rantai molekul pati yang lebih panjang dan kuat.

Fosfat berpenetrasi masuk kedalam granula pati memiliki kecenderungan untuk membentuk ikatan kovalen. Ikatan silang yang terbentuk menyebabkan ikatan-ikatan kovalen diantara molekul pati termodifikasi lebih kuat dibandingkan dengan pati alami yang hanya terdiri dari ikatan hidrogen. Ikatan ini akan memperkuat granula pati sehingga selama pengembangan pati tidak akan mudah pecah.



Gambar 5.9 Solubility Pati Umbi Kimpul Termodifikasi

Konsentrasi STPP semakin tinggi dan semakin lama perendaman, maka *solubility* akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh pengikatan fosfat pada pati dimana fosfat bersifat polar dan hidrofilik sehingga meningkatkan kelarutan. Gugus polar STPP bersifat hidrofilik sehingga fraksi fosfat yang telah berikatan dengan granula pati memiliki kemampuan pengikatan air oleh pati menjadi lebih tinggi. Nilai kelarutan air cenderung meningkat dengan semakin tingginya senyawa fosfat yang bersifat hidrofilik, sehingga meningkatkan kemampuan pati untuk larut dalam air lebih besar.



Gambar 5.10 Viskositas Pati Umbi Kimpul Termodifikasi

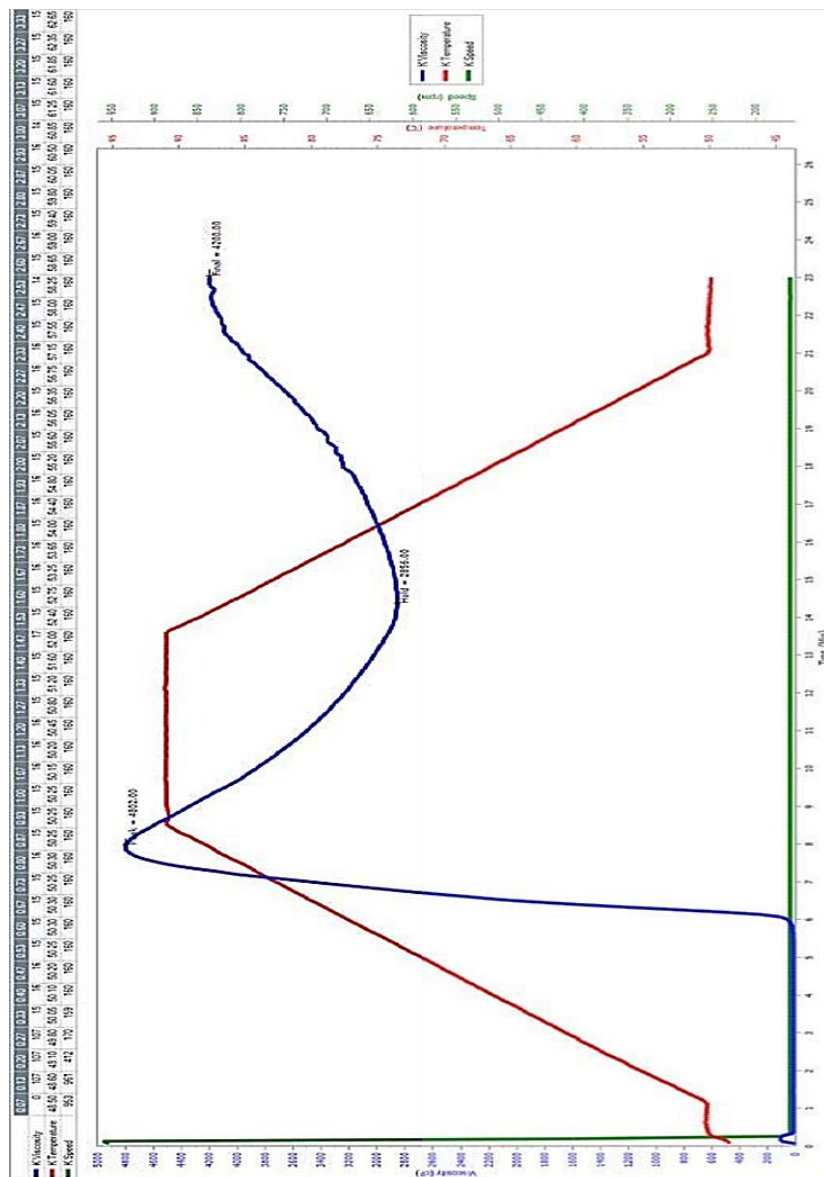
Pada saat pati bereaksi dengan STPP akan dihasilkan gugus fosfat yang bersifat kovalen. STPP merupakan senyawa bergugus fosfat yang bersifat polar dan mempunyai muatan negatif. Gugus polar STPP bersifat hidrofilik (ion yang suka air) sehingga larut dalam molekul air. Peningkatan nilai *solubility* ini disebabkan gugus polar fosfat bersifat hidrofilik (ion yang suka air) sehingga fraksi fosfat mampu mengikat air menyebabkan kemampuan pengikatan air oleh pati menjadi lebih tinggi.

Konsentrasi STPP semakin tinggi dan semakin lama waktu perendaman yang digunakan, gugus fosfat akan semakin meningkat dan menghasilkan berat molekul lebih besar yang menyebabkan meningkatnya viskositas pati. Pengikatan gugus fosfat menghasilkan berat molekul pati yang lebih besar akibat adanya ikatan cross-linking antar molekul patinya, sehingga meningkat pula viskositasnya. Gugus fosfat yang terpenetrasi ke dalam granula membentuk ikatan kovalen dengan molekul pati menghasilkan molekul yang lebih besar sehingga meningkatkan berat molekul pati secara keseluruhan. Di samping itu pengikatan silang juga dapat memperkuat struktur granula pati sehingga pada saat pati dipanaskan viskositasnya akan meningkat.

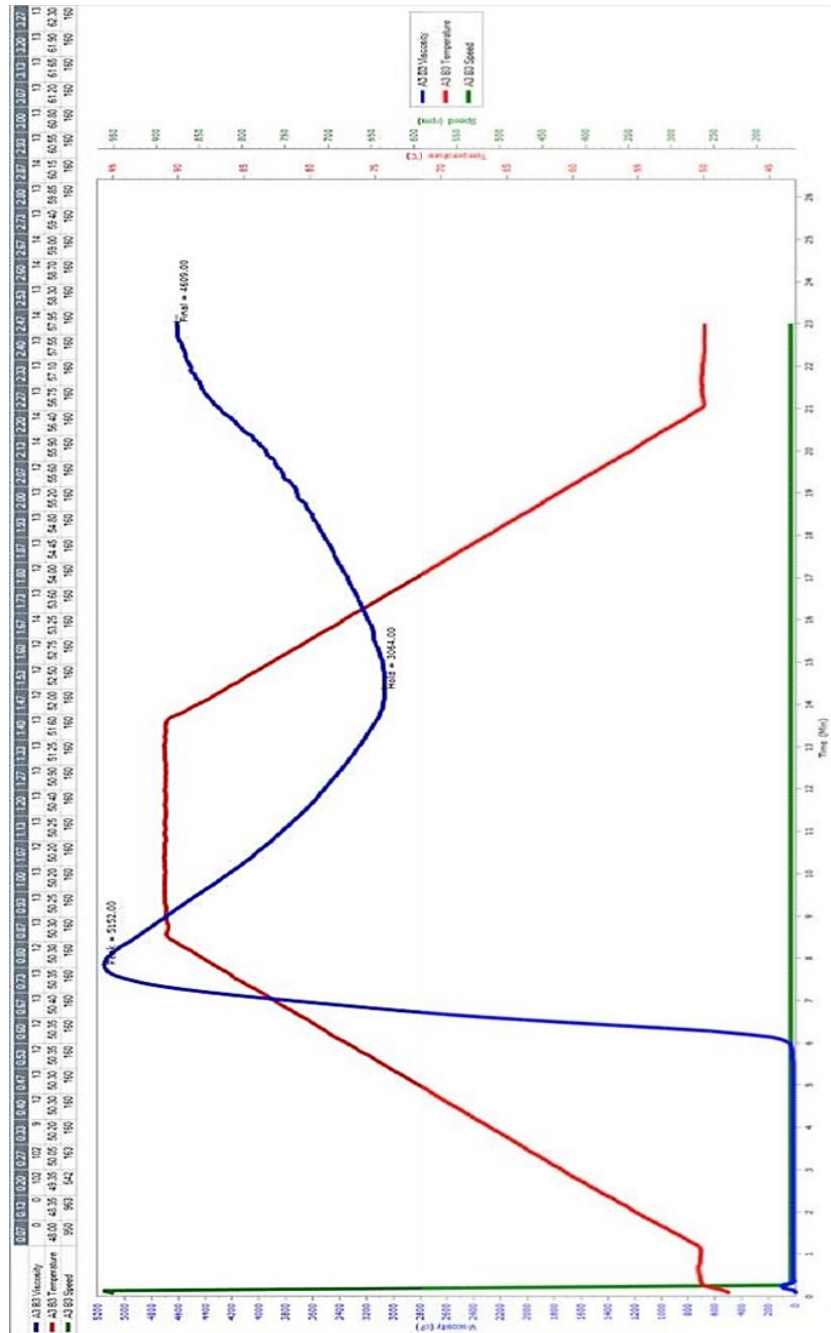
➤ **Suhu Gelatinisasi**

Suhu gelatinisasi pati umbi kimpul alami sebesar 76,50°C sedangkan pada suhu gelatinisasi pati umbi kimpul pada konsentrasi STPP 1,5% dengan perendaman selama 2 jam menghasilkan suhu gelatinisasi sebesar 77,20°C. Dapat diketahui bahwa terdapat kenaikan suhu gelatinisasi pati umbi kimpul termodifikasi dibandingkan dengan pati umbi kimpul alami. Semakin tinggi konsentrasi STPP dan lama perendaman akan meningkatkan suhu gelatinisasi, hal ini disebabkan semakin kuat ikatan pada granula pati semakin besar energi yang dibutuhkan agar granula pati dapat mengembang. Pati termodifikasi ikatan silang suhu gelatinisasinya meningkat secara signifikan dibandingkan dengan pati alami. Hal ini disebabkan adanya ikatan silang antara pati membuat granula pati lebih kuat, sehingga energi yang lebih tinggi diperlukan untuk membengkak. Peningkatan suhu gelatinisasi disebabkan oleh adanya ikatan silang antara gugus fosfat dengan gugus hidroksil pada rantai pati. Ikatan silang ini akan sulit dipecah selama proses pemanasan, sehingga dibutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk memutuskan ikatan silang pada molekul-molekul pati selama proses gelatinisasi berlangsung.

Menurut Maxwell dalam Radley (1976) menunjukkan bahwa pati alami mempunyai suhu gelatinisasi lebih rendah dibandingkan dengan pati termodifikasi ikatan silang, ikatan silang yang terbentuk akan memperkuat rantai pati, sehingga akan meningkatkan suhu gelatinisasi.



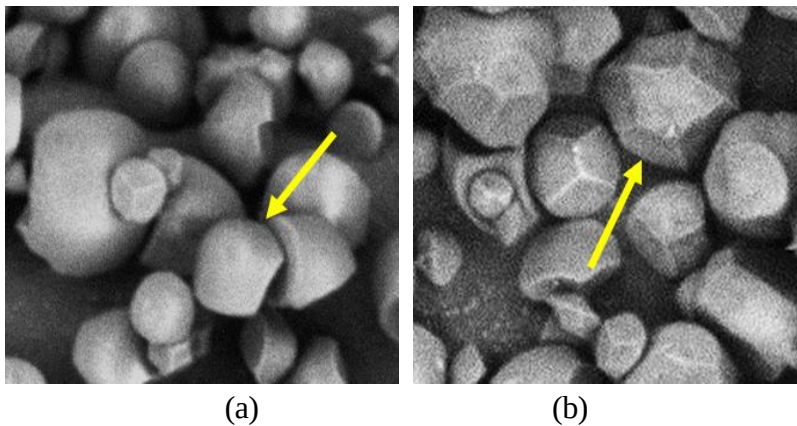
Gambar 5.11 Grafik Suhu Gelatinisasi Pati Umbi Kimpul Alami



Gambar 5.12 Grafik Suhu Gelatinisasi Pati Umbi Kimpul Termodifikasi

➤ Bentuk Granula Pati Umbi Kimpul dan Termodifikasi

Bentuk granula pati umbi kimpul alami dan pati umbi kimpul termodifikasi secara ikatan silang pada perlakuan konsentrasi STPP 1,5% dan lama perendaman selama 2 jam dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).



Gambar 5.13 Bentuk granula pati umbi kimpul alami (a) dan granula pati umbi kimpul modifikasi secara ikatan silang (b) (perbesaran 1500x)

Analisa SEM dilakukan untuk melihat morfologi dari hasil modifikasi pati yang diperoleh, hasil dapat dilihat pada Gambar di atas terdapat perbedaan bentuk granula pada pati umbi kimpul alami dan pati umbi kimpul termodifikasi. Terdapat perbedaan bentuk granula pada pati termodifikasi dimana bentuk granula pati alami menghilang dan digantikan dengan bentuk tidak teratur akibat adanya modifikasi. ikatan silang menyebabkan perbedaan pada struktur granula apabila dibandingkan dengan pati alami. Granula pati alami berbentuk poligonal dengan tepian yang baik sedangkan menurut Abdoulaye (2013) menyatakan bahwa penambahan senyawa ikatan silang menyebabkan bentuk alami dari granula pati menghilang dan digantikan dengan bentuk yang tidak teratur yang terbentuk akibat adanya modifikasi.

Hal ini sesuai dengan (Singh et.al, 2015) pada sample pati kentang dengan penambahan STTP dan STMP menampilkan adanya kehilangan bentuk alami dimana kenampakan permukaan pati termodifikasi menjadi tidak teratur. Perbedaan ini disebabkan adanya penambahan kelompok fosfat pada modifikasi pada pati yang juga mempengaruhi granula pati sehingga bentuk menjadi tidak teratur.

Menurut Maxwell dalam Radley (1976) *Cross-linking* dipakai apabila dibutuhkan pati dengan viskositas tinggi seperti dalam pembuatan pasta dengan pemasakan kontinu dan pemasakan cepat pada injeksi uap. Diantaranya pati ikatan silang sesuai digunakan pada makanan kaleng yang disterilisasi, pada saat sterilisasi terjadi kontak panas akibat suhu tinggi membuat viskositas kaleng berubah. Sehingga dibutuhkan produk dengan viskositas yang tinggi dimana mencegah terjadinya penurunan viskositas pati selama pemasakan.

D. Modifikasi Pati Secara Eterifikasi

Proses eterifikasi yang umum digunakan pada pati yang digunakan dalam industri pangan adalah hidroksipropilasi. Agen hidroksipropilasi yang digunakan diantaranya adalah propilen oksida. Gugus hidroksipropil terutama bereaksi dengan rantai pati pada area amorf yang sebagian besar terdiri dari amilosa. Semakin tinggi volume agen hidroksipropilasi yang digunakan maka akan semakin tinggi kesempatan kontak agen hidroksipropilasi dengan molekul pati sehingga semakin tinggi pula kesempatan agen hidroksipropilasi tersebut untuk bereaksi dan terinkorporasi pada rantai polimer pati. Gugus hidroksipropil memiliki sifat hidrofilik sehingga kemampuan hidrasi granula pati hidroksipropilasi meningkat. Hal ini menyebabkan suhu gelatinisasi pada pati hidroksipropilasi lebih rendah dibandingkan dengan pati alami. (Choiriyah, 2020).

RANGKUMAN

Modifikasi secara kimia merupakan salah satu cara yang banyak digunakan antara lain yaitu dengan penambahan asam misalnya asam asetat, asetilasi, eterifikasi, oksidasi misalnya oksidasi dengan hidrogen peroksida dan oksidasi dengan alkali hipoklorit, starch esters, kationik, dan crosslinking. Perlakuan modifikasi secara kimia akan menghasilkan pati dengan sifat viskositas yang rendah, kurang terjadinya pengembangan granula pada gelatinisasi sehingga meningkatkan kelarutan dalam air panas di bawah suhu gelatinisasi serta memiliki berat molekul lebih rendah. Modifikasi pati secara asetilasi akan menghasilkan pati dengan sifat suhu gelatinisasi, *swelling power*, *solubility*, dan tingkat kejernihan pasta (*paste clarity*) yang tinggi, serta memiliki stabilitas penyimpanan dan pemasakan yang lebih baik jika dibandingkan dengan pati asalnya.

Modifikasi pati dengan oksidasi diperoleh sifat pati diantaranya gel yang mempunyai tingkat kejernihan yang tinggi, mempunyai tingkat regangan yang rendah, berat molekul yang rendah, viskositas yang rendah. Modifikasi pati secara *cross-linking* akan menghasilkan pati dengan sifat viskositas tinggi, dan ketahanan geser yang baik. Modifikasi pati secara eterifikasi dengan hidroksi-propilasi akan menghasilkan pati yang sifatnya memiliki suhu gelatinisasi lebih rendah dibandingkan dengan pati alami.

Pertanyaan

- 1) Sebutkan metode modifikasi pati secara kimia!
- 2) Sebutkan metode modifikasi pati secara oksidasi!
- 3) Bagaimana cara modifikasi pati secara oksidasi alkali hipoklorit?
- 4) Apa kelebihan metode modifikasi pati secara asetilasi?
- 5) Mengapa pada metode modifikasi pati secara *crosslinking* dapat dihasilkan pati yang viskositasnya tinggi?

PUSTAKA

- Abdoulaye .S, Yao. W.R, Amadou .I, Wang .H, Qian .H, Sangare.M. 2013. *Effect of pyrodextrinization, crosslinking and heat moisture treatment on in vitro formation and digestibility of resistant starch from african locist bean. Journal Food Technology.* 12(2) : 173-179.
- Blennow A, Nelson TH, Baunsgaard L, Mikkelsen R, Engelsen S. 2002. Starch phosphorylation: a new front line in starch research. *Trends in Plant Science.* 7(10):445-450
- Choiriyah, N. A., Benita, A. M., & Sundjaja, A. P. (2020). Modifikasi pati biji nangka secara fisik dan kimia. *Agritech: Jurnal Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Purwokerto*, 22(2), 88-99.
- Radley, J.A. 1976. *Starch Production Technology.* Applied Science Publ., London
- Ellinger, R.H. 1972. Phosphate in Food Processing. In *CRC Handbook of Food Science.* Vol II. The Macmillan Company Collier-Macmillan Limited. London.
- Farley, F.F. dan R.M. Hixon. 1094 *Ind. Ing. Chem.* 34 : 677
- Hardoyono (2007) *Kondisi Optimum Fermentasi Asam Asetat menggunakan Actobacter Aceti.* Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Harmon, R.E., S.K. Gupta dan J. Johnson. 1971. Oxidation of starch by hydrogen peroxide in the presence of UV light, Part I. *Die Starke* 24 : 8.
- Hewitt, PG. (2003). *Conceptual Integrated Science Chemistry.* San Fransisco: Pearson Education, Inc
- Hullinger, C.H. and Whistler, R.L. (1951). Oxidation of amylose with hypochlorite and hypochlorous acid. *Cereal Chem.* 28: 153-157.

- Jambuserwala, K. Kanitkar, 1940, Modified Starches, Part III. Degradation of Starches by Acidic and Alkaline
- Johnson, J.C., Industrial Strach Technology, Noyes Data Corporation, USA, 1979.
- Leach, H.W., McCowen, L.D. and Schoch, T.J. (1959) Structure of the Starch Granule. I. Swelling and Solubility Patterns of Various Starches. *Cereal Chemistry*, 36, 534-544.
- Mellies, R. L.; Mehlretter, C. L.; Senti, F. R. J., 1957, *Chem.Eng. Data*, 169–171.
- Oxidizing Agents, Acids, etc., *The Journal of The Textile Institute*
- Miyazaki, M. R., Hung, P. V., Maeda, T. and Morita, N. (2006), Recent advances in application of modified starches for bread making. *Trends in Food Science & Technology*, 17: 591-599.
- Radley, J.A. (1976). *Starch Production Technology*. Applied Science Publishers LTD. London.
- Radley, J.A. 1976. *Starch Production Technology*. Applied Science Publ., London.
- Raina, C., S. Singh., A. Bawa and D. Saxena. 2006. Some Characteristic of Acetylated, Cross-linking and Dual Modified Indian Rice Straches: *European Food Research and Technology*. 223: 561-570.
- Setiawan, L. dan Irfani, A. 2007. *Pembuatan Asam Asetat dengan Cara Murni*. Jakarta.
- Singh J, Kaur L, McCarthy OJ. 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. *Food Hydrocol* 21(1): 1-22

- Varavinit, S., Shobsngob, S., & Atichokudomchai, N. (2000). Morphological properties of acid-modified tapioca starch. *Starch-Stärke*, 52(8-9), 283-289.
- Whistler, R.L., Schweiger, R.. 1959. Oxidation of amylopectin with hydrogen peroxide at different hydrogen ion concentrations. *J. Am. Chem. Soc.* 81. 3136-3139

6

MODIFIKASI PATI SECARA MIKROBIOLOGI / FERMENTASI

Capaian Pembelajaran :

1. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan definisi dan reaksi modifikasi pati mikrobiologi/ fermentasi;
2. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan berbagai metode modifikasi pati mikrobiologi/ fermentasi
3. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan sifat-sifat pati termodifikasi secara mikrobiologi/ fermentasi dan aplikasinya untuk produk pangan

Modifikasi secara Biologi yaitu menggunakan fermentasi dari bakteri asam laktat. Bakteri asam laktat, yeast dan bakteri lain selama fermentasi berperan dalam peruraian sebagian pati, pengasaman, detoksifikasi dan pengembangan cita-rasa. Bakteri asam laktat khususnya berperan dalam pembentukan aroma, penghambatan bakteri pembusuk dan patogen. Hasil pengembangan cara pembuatan tepung fufu (makanan pokok asal Afrika) meliputi tahap-tahap inokulasi dengan *Lactobacillus plantarum*, fermentasi 3-4 hari, penghancuran dan penyaringan, dekantasi, pengempaan, pengeringan, penggilingan dan pengayakan (Sobowale dkk., 2007).

Modifikasi tepung dari umbi-umbian dengan metode fermentasi dapat dilakukan secara spontan maupun dengan menambahkan starter kultur murni tunggal maupun campuran starter kultur murni dari mikroorganisme tertentu, baik menggunakan ragi, jamur maupun bakteri (Yuliana, 2014). Metode modifikasi dengan cara fermentasi mampu mengurangi kadar oksalat dalam umbi yang dapat menyebabkan gatal di tubuh, serta dapat membantu meningkatkan karakteristik tepung berbahan dasar umbi.

Produk pangan fermentasi dihasilkan dengan melibatkan aktivitas mikroba dalam produksinya. Selama fermentasi terjadi aktivitas pemecahan komponen pangan karena aktivitas enzimatis mikroba terutama enzim amilase, protease, dan lipase yang menghidrolisis polisakarida, protein, dan lemak menjadi komponen-komponen sederhana seperti asam, alkohol, karbondioksida, peptida, asam amino, asam lemak, dan komponen-komponen lainnya. Secara bersama-sama komponen-komponen tersebut menyebabkan modifikasi tekstur, aroma, dan rasa sehingga dihasilkan karakteristik produk yang unik dan berbeda dengan produk asalnya.

Tepung dengan pati termodifikasi berfungsi sebagai bahan pengisi, pengental, pengemulsi dan pemantap bagi makanan. Pati yang telah termodifikasi akan mengalami perubahan sifat yang dapat disesuaikan untuk keperluan-keperluan tertentu. Dilakukannya pembuatan pati termodifikasi didasari oleh alasan bahwa tepung-tepung yang belum mengalami modifikasi memiliki sifat yang kohesif, memiliki viskositas yang tinggi, dan mudah rusak jika ada perlakuan panas. Secara umum pati alami memiliki kekurangan yang sering menghambat aplikasinya di dalam proses pengolahan pangan dan non pangan, di antaranya adalah kebanyakan pati alami menghasilkan suspensi pati dengan viskositas dan kemampuan membentuk gel yang tidak seragam (konsisten) (Pomeranz 1991).

Proses fermentasi dalam pembuatan modifikasi tepung umbi kimpul bertujuan untuk memperbaiki sifat fisiko-kimia yang terkandung di dalam tepung modifikasi tepung umbi kimpul. Fermentasi ini dapat memacu pertumbuhan *L. plantarum* yang berperan dalam mendegradasi komponen-komponen yang ada dalam umbi kimpul menyebabkan perubahan karakteristik tepung.

L. plantarum mendominasi pada fermentasi kimpul yang menunjukkan sifat potensial sebagai kultur starter. Strain tersebut memungkinkan digunakan untuk pembuatan tepung kimpul dengan tahap fermentasi. Tahapan proses pembuatan tepung kimpul termodifikasi meliputi suspensi dibuat dengan perbandingan tepung dan

aquades (1:3), selanjutnya *suspense* ditambahkan sarter *Lactobacillus plantarum* FNC 0027 dengan konsentrasi 7% dan difermentasi selama 96 jam. Hasil fermentasi dicuci aquades hingga pH netral. Suspense hasil fermentasi dikeringkan dengan suhu 60°C selama 12 jam. Kemudian tepung yang kering diayak menggunakan ayakan 80 mesh.

A. *Lactobacillus plantarum*

Lactobacillus plantarum mampu merombak senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan hasil akhirnya yaitu asam laktat. Menurut Buckle *et al* (1987) asam laktat dapat menghasilkan pH yang rendah pada substrat sehingga menimbulkan suasana asam, dapat meningkatkan keasaman sebesar 1,5 sampai 2,0% pada substrat. Saat keadaan asam, bakteri ini memiliki kemampuan untuk menghambat bakteri patogen dan bakteri pembusuk (Bromberg, 2001).

Bakteri Asam Laktat (BAL) merupakan bakteri gram-positif yang banyak digunakan sebagai starter fermentasi. BAL mengeksresikan asam laktat sebagai produk akhir fermentasi yang berperan sebagai preservasi bahan makanan (Schnurer dan Magnusson 2005). Selama proses fermentasi, *Lactobacillus plantarum* mengubah struktur pati sehingga mengubah sifat fungsionalnya yaitu bakteri asam laktat menghasilkan enzim amilase. Amilase terdiri dari beberapa enzim pendegradasi pati salah satunya yaitu glukoamilase. Karena adanya glukoamilase, maka dapat memecah ikatan α -1,6 dan ikatan α -1,4. Aktivitas enzim amilase dapat menghidrolisis pati sehingga menghasilkan amilosa berantai pendek atau semakin banyak gugus karbonil terputus. Kelarutan yang akan meningkat disebabkan oleh *Lactobacillus plantarum* penghasil enzim pektinolitik dan selulolitik yang dapat menghancurkan dinding sel umbi. Tian *et al* (1991) menyatakan bahwa semakin kecil ukuran granula, semakin tinggi kelarutan pati. Pembentukan amilosa disebabkan oleh hidrolisis enzimatik amilopektin di daerah

amorf granula, dengan demikian dapat membentuk ikatan hidrogen baru yang menghasilkan stabilitas granula yang lebih baik sehingga memperbaiki karakteristik tepung yang sudah dimodifikasi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan *Lactobacillus plantarum* :

- a) **Suhu;** Suhu adalah salah satu faktor lingkungan terpenting yang mempengaruhi kehidupan dan pertumbuhan mikroorganisme. Apabila suhu naik atau turun, tingkat pertumbuhan mungkin terhenti, komponen sel menjadi tidak aktif dan sel-sel dapat mati (Buckle *et al*, 1987). *L.plantarum* mempunyai suhu pertumbuhan optimum 30oC (Rahman, 1992).
- b) **Nilai pH;** Setiap mikroorganisme mempunyai kisaran pH dimana pertumbuhan masih memungkinkan. Beberapa mikroorganisme dalam bahan pangan tertentu seperti khamir dan bakteri asam laktat tumbuh dengan baik pada kisaran pH 3,0-6,0 (Buckle *et al*, 1987).
- c) **Ketersediaan Oksigen;** Konsentrasi oksigen dalam bahan pangan dan lingkungan mempengaruhi jasad renik yang dapat tumbuh pada makanan tersebut. *L. plantarum* bersifat anaerobik fakultatif yaitu dapat tumbuh dengan atau tanpa adanya oksigen (Fardiaz, 1993).
- d) **Suplai zat gizi;** Karbon dan sumber energi untuk hampir semua mikroorganisme yang berhubungan dengan bahan pangan, dapat diperoleh dari jenis gula karbohidrat sederhana seperti glukosa (Buckle *et al*, 1987).
- e) **Aktivitas Air;** Semua organisme membutuhkan air untuk kehidupannya. Air berperan dalam reaksi metabolik dalam sel dan merupakan alat pengangkut zat-zat gizi atau bahan limbah ke dalam dan ke luar sel (Buckle *et al*, 1987).

B. Pengaruh Fermentasi terhadap Tepung Termodifikasi

Tepung kimpul termodifikasi dengan perlakuan konsentrasi starter 7% dan lama fermentasi 96 jam. Perlakuan terbaik ini dipilih karena hasil analisa kadar air dengan nilai terkecil yaitu 8,28% yang membuat masa penyimpanan diduga lebih tahan lama. Pada pembuatan produk pangan dengan kadar air terendah membuktikan bahwa masa simpan pada suatu produk tersebut akan semakin panjang masa simpannya. Nilai kelarutan yang tinggi yaitu 51,93% disebabkan amilosa telah mengalami depolimerisasi molekul pati. Hal tersebut menyebabkan molekul amilosa yang dihasilkan lebih sederhana, yaitu terdapat rantai lurus yang pendek sehingga sangat mudah larut dalam air. Dibandingkan dengan tepung mocaf yang memiliki kelarutan 53-55% tidak begitu berbeda jauh dengan kelarutan yang dimiliki tepung kimpul termodifikasi.

Bakteri yang tumbuh dalam proses fermentasi akan menghasilkan enzim pektinolitik dan selulolitik yang dapat menghancurkan dinding sel sehingga terjadi liberasi granula pati. Selain itu terjadi pula perlubangan dari granula pati yang menyebabkan permukaan yang tidak rata dari granula pati akan memperkuat ikatan antar butiran.

Fermentasi dapat mempengaruhi nilai kadar air dari suatu bahan, pada bahan pangan dengan proses fermentasi memiliki kadar air yang lebih rendah dari bahan pangan tanpa fermentasi. Penurunan kadar air yang lebih rendah ini disebabkan karena komponen-komponen yang terdapat dalam bahan mengalami pemecahan menjadi senyawa yang sederhana sehingga menyebabkan semakin banyak jumlah air terikat yang terbebaskan. Keadaan ini menyebabkan penguapan air selama proses pengeringan menjadi semakin mudah.

Penurunan kadar air disebabkan penguapan air terikat, begitu juga pada saat fermentasi berlangsung enzim-enzim mikroba memecah karbohidrat, protein, garam-garam dan senyawa organik lainnya

sehingga air yang terikat berubah menjadi air bebas. Bahan pangan dengan kadar air yang rendah menjadikan bahan tersebut memiliki masa simpan yang lama, sehingga dapat menghambat aktivitas mikroba pembusuk. Tepung memiliki kadar air rendah dibandingkan dengan produk olahan lainya, bahkan lebih rendah dibandingkan dengan bahan pangan sebelum diolah menjadi tepung.

Kenaikan nilai viskositas dan daya penyerapan air pada talas termodifikasi dapat menyerap air lebih banyak. Semakin banyak air yang terserap dapat mempengaruhi kandungan amilosa dan amilopektin yang terkandung dalam pati. Semakin tinggi kadar amilosa maka nilai pengembangan volume akan semakin tinggi. Hal itu dikarenakan karena kadar amilosa yang tinggi akan menyerap air lebih banyak sehingga pengembangan volume juga semakin besar.

Tepung termodifikasi akan menghasilkan warna yang lebih cerah/putih dibandingkan dengan tepung yang tidak termodifikasi. Hal ini dapat terjadi akibat proses fermentasi yang dilakukan karena fermentasi dapat menimbulkan terjadinya penghilangan komponen penimbul warna seperti protein yang dapat menyebabkan warna coklat ketika dilakukan proses pengeringan atau pemanasan.

Kenaikan kadar protein disebabkan karena selama fermentasi bakteri asam laktat *Lactobacillus plantarum* menghasilkan enzim proteinase. Lamanya waktu fermentasi membuat populasi *Lactobacillus plantarum* semakin meningkat, sehingga membuat kadar protein terlarut juga meningkat. Peningkatan jumlah protein ini disebabkan oleh adanya pertambahan jumlah mikroorganisme yang berperan sebagai *Single Cell Protein* (SCP), yaitu protein yang didapat dari mikroorganisme.

Fermentasi merupakan suatu proses perubahan-perubahan kimia dalam substrat organik yang terjadi akibat aksi biokatalisator, yaitu enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme. Mikroorganisme yang terlibat dalam proses fermentasi meliputi ragi, kapang, dan

bakteri. (Tjokroadikoesoema, 1986 dalam Herniawan, 2010).

Produk pangan fermentasi dihasilkan dengan melibatkan aktivitas mikroba dalam produksinya. Selama fermentasi terjadi aktivitas pemecahan komponen pangan karena aktivitas enzimatis mikroba terutama enzim amilase, protease, dan lipase yang menghidrolisis polisakarida, protein, dan lemak menjadi komponen-komponen sederhana seperti asam, alkohol, karbondioksida, peptida, asam amino, asam lemak, dan komponen-komponen lainnya. Secara bersama-sama komponen-komponen tersebut menyebabkan modifikasi tekstur, aroma, dan rasa sehingga dihasilkan karakteristik produk yang unik dan berbeda dengan produk asalnya (Syamsir, 2010).

Proses fermentasi dalam pembuatan modifikasi tepung umbi kimpul bertujuan untuk memperbaiki sifat fisiko-kimia yang terkandung di dalam tepung modifikasi tepung umbi kimpul (Darmawan dkk, 2013). Fermentasi ini dapat memacu pertumbuhan *Lactobacillus* yang berperan dalam mendegradasi komponen-komponen yang ada dalam umbi kimpul menyebabkan perubahan karakteristik tepung (Amanu dan Susanto, 2014).

Kostinek dkk. (2008) dalam Haryadi (2011) menemukan bahwa *L.plantarum* mendominasi pada fermentasi kimpul yang menunjukkan sifat potensial sebagai kultur starter. Strain tersebut memungkinkan digunakan untuk pembuatan tepung kimpul dengan tahap fermentasi.

Lactobacillus plantarum atau yang sering disingkat *L.plantarum* merupakan bakteri asam laktat (BAL) yang diisolasi dari makanan fermentasi tradisional, yaitu dari gatot dan dadih. Isolat ini berpotensi untuk menurunkan kolestrol sehingga dapat digunakan sebagai agensia probiotik yang dapat memberikan efek kesehatan yang menguntungkan (Ngatirah, 2000).

L.plantarum merupakan bakteri homofermentatif memecah gula menjadi asam laktat. Sel dari *L.plantarum* berbentuk batang lurus

dengan ukuran panjang 3,0 sampai 8,0 mikron dan lebar 0,7 sampai 1,0 mikron dan pada umumnya tumbuh membentuk rantai (Rahman, 1992). *L.plantarum* bersifat anaerobik fakultatif yaitu dapat tumbuh tanpa atau dengan adanya oksigen (Fardiaz,1992). Pertumbuhan optimum bakteri *L.plantarum* dengan suhu 30°C (Rahman, 1992).

L.plantarum mampu merombak senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan hasil akhirnya yaitu asam laktat. Menurut Buckle *et al* (1978) asam laktat dapat menghasilkan pH yang rendah pada substrat sehingga menimbulkan suasana asam, dapat meningkatkan keasaman sebesar 1,5 sampai 2,0% pada substrat. Saat keadaan asam, bakteri ini memiliki kemampuan untuk menghambat bakteri patogen dan bakteri pembusuk (Bramberg (2001) dalam Rostini (2007)).

Selama proses fermentasi oleh *L.plantarum* mekanisme yang mengubah struktur pati sehingga mengubah sifat fungsionalnya yaitu bakteri asam laktat menghasilkan enzim amilase. Amilase terdiri dari beberapa enzim pendegradasi pati salah satunya yaitu glukamilase. Karena adanya glukamilase, maka dapat memecah ikatan α -1,6 dan ikatan α -1,4. Aktivitas enzim amilase dapat menghidrolisis pati sehingga menghasilkan amilosa berantai pendek atau semakin banyak gugus karbonil terputus. Kelarutan yang akan meningkat disebabkan oleh *L.plantarum* penghasil enzim pektolitik dan selulolitik yang dapat menghancurkan dinding sel umbi. Tian *et al* (1991) menyatakan bahwa semakin kecil ukuran granula, semakin tinggi kelarutan pati. Pembentukan amilosa disebabkan oleh hidrolisis enzimatis amilopektin di daerah amorf granula, dengan demikian dapat membentuk ikatan hidrogen baru yang menghasilkan stabilitas granula yang lebih baik sehingga memperbaiki karakteristik tepung yang sudah dimodifikasi.

Menurut Astriani (2014) menyebutkan bahwa BAL mampu menghasilkan enzim amilase sehingga bersifat amilolitik. BAL akan menghidrolisis sebagian pati alami menjadi gula sederhana ataupun

oligosakarida lain. Selanjutnya BAL akan memfermentasi gula sederhana tersebut untuk metabolisme dan pertumbuhan BAL.

L. plantarum adalah bakteri asam laktat yang mampu menghasilkan asam laktat melalui metabolisme glukosa (Axelsson, 2004), memproduksi enzim pemecah pati (amilase) (Sanni, 2002) dan amilase yang dihasilkan oleh bakteri asam laktat mengakibatkan terjadinya perubahan struktur granula pada pati menjadi semakin kristal (Reddy *et al.*, 2008). Selain itu, pemanfaatan bakteri asam laktat juga bertujuan agar selama fermentasi, asam laktat dihasilkan secara alami dan mengakibatkan terjadinya linierisasi amilopektin (Jenie, *et al.*, 2012). Degradasi pati oleh BAL terjadi karena sumber karbon dibutuhkan bagi pertumbuhannya sehingga bakteri menghasilkan enzim amilase ekstraseluler. Enzim ini memecah ikatan polimer pati menjadi lebih pendek, oligosakarida atau molekul gula sederhana. Asam laktat juga dapat menyebabkan degradasi pati selama fermentasi dengan mengoksidasi bagain amorf dan selanjutnya secara simultan menghidrolisis amilosa dan amilopektin. Waktu yang dibutuhkan asam laktat untuk mendegradasi pati lebih panjang dibandingkan pemutusan ikatan oleh enzim (Putri *et al.*, 2012).

Bakteri asam laktat menghasilkan beberapa komponen antimikroba yaitu asam organik, karbondioksida, hidrogen peroksida, diasetil, reuterin, dan bakteriosin (Rachmawati, 2005). Selain itu, pemanfaatan bakteri asam laktat juga bertujuan agar selama fermentasi, asam laktat dihasilkan secara alami dan mengakibatkan terjadinya linierisasi amilopektin (Jenie, *et al.*, 2012). Contoh BAL yang mampu merombak senyawa kompleks menjadi senyawa lebih sederhana dengan hasil akhir asam laktat adalah *L. plantarum* dan *Leuconostoc mesenteroides*. Menurut Buckle dkk. (1987), *L. plantarum* merupakan BAL homofermentatif yang dapat menghasilkan pH rendah sehingga dapat menghambat bakteri pathogen dan bakteri pembusuk. *L. plantarum* akan mengubah glukosa menjadi piruvat yang diubah lagi menjadi asam laktat dan gula-gula

sederhana. Bakteri asam laktat (BAL) merupakan bakteri gram-positif yang banyak digunakan sebagai starter fermentasi. BAL mengekskresikan asam laktat sebagai produk akhir fermentasi yang berperan sebagai preservasi bahan makanan (Schnurer dan Magnusson 2005).

C. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan Bakteri Asam Laktat

Suhu, adalah salah satu faktor lingkungan terpenting yang mempengaruhi kehidupan dan pertumbuhan mikroorganisme. Apabila suhu naik atau turun, tingkat pertumbuhan mungkin terhenti, komponen sel menjadi tidak aktif dan sel-sel dapat mati (Buckle *et al*, 1987). *L.plantarum* mempunyai suhu pertumbuhan optimum 30°C (Rahman, 1992). Buckle *et al* (1987) menyatakan bahwa mikroorganisme yang memiliki suhu pertumbuhan optimum 30-37°C masuk dalam kelompok mesofil.

Nilai pH, setiap mikroorganisme mempunyai kisaran pH dimana pertumbuhan masih memungkinkan. Beberapa mikroorganisme dalam bahan pangan tertentu seperti khamir dan bakteri asam laktat tumbuh dengan baik pada kisaran pH 3,0-6,0 (Buckle *et al*, 1987).

Ketersediaan Oksigen, konsentrasi oksigen dalam bahan pangan dan lingkungan mempengaruhi jasad renik yang dapat tumbuh pada makanan tersebut. Berdasarkan kebutuhannya akan oksigen untuk pertumbuhan jasad renik yang bersifat aerobik, anaerobik, dan anaerob fakultatif. *L.Plantarum* bersifat anaerobik fakultatif yaitu dapat tumbuh dengan atau tanpa adanya oksigen (Fardiaz, 1993).

Suplai zat gizi, seperti halnya makhluk lain, mikroorganisme juga membutuhkan suplai makanan yang akan menjadi sumber energi dan menyediakan unsur-unsur kimia dasar untuk pertumbuhan sel. Karbon dan sumber energi untuk hampir semua mikroorganisme yang berhubungan dengan bahan pangan, dapat diperoleh dari jenis gula karbohidrat sederhana seperti glukosa (Buckle *et al*, 1987).

Aktivitas air, semua organisme membutuhkan air untuk kehidupannya. Air berperan dalam reaksi metabolik dalam sel dan merupakan alat pengangkut zat-zat gizi atau bahan limbah ke dalam dan ke luar sel. Semua kegiatan membutuhkan air dalam bentuk cair dan apabila air tersebut mengalami kristalisasi dan membentuk es atau terikat secara kimiawi dalam larutan gula atau garam, maka air tersebut tidak dapat digunakan oleh mikroorganisme (Buckle *et al*, 1987). Aktivitas air dapat menggambarkan kebutuhan air mikroorganisme. Bakteri pada umumnya hidup pada kisaran a_w 0,9, sedangkan khamir dan kapang masing-masing 0,88 dan 0,80 (Jay, 2000).

Pada fermentasi singkong menggunakan bakteri asam laktat, mikroba yang tumbuh pada umbi akan menghasilkan enzim pektinolitik dan selulolitik yang dapat menghancurkan dinding sel umbi sedemikian rupa sehingga terjadi pembebasan granula pati. Mikroba tersebut akan menghasilkan enzim pektinase dan enzim pektinase tersebut dapat merombak menjadi pectin yang disebut dengan enzim pektinolitik. Mikroba tersebut juga menghasilkan enzim selulase yang bisa merombak selulosa menjadi glukosa yang disebut dengan enzim selulolitik, mikroba tersebut juga menghasilkan enzim-enzim yang menghidrolisis pati menjadi gula dan selanjutnya mengubahnya menjadi asam-asam organik, terutama asam laktat.

Modifikasi dengan enzim α – amilase diperoleh pati dengan sifat sebagai berikut; viskositas yang stabil pada suhu tinggi dan rendah, berat molekul yang rendah, pembentukan gel yang baik. Hidrolisis ini dapat terjadi karena α amilase dapat mendegradasi granula pati. Ukuran granula dapat mempengaruhi kecepatan hidrolisis, karena makin kuat permukaan makin besar jumlah α – amilase yang terabsorpsi maka hidrolisis akan makin cepat dan presentase hidrolisis makin tinggi.

Proses fermentasi sebagai teknik modifikasi pati resisten dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah lama waktu fermentasi (Reddy, *et al.*, 2008). Semakin lama waktu fermentasi maka semakin meningkat pula aktivitas amilase dan pululanase (Asha, *et al.* 2013).

RANGKUMAN

Modifikasi secara Biologi yaitu menggunakan fermentasi dari bakteri asam laktat. Fermentasi merupakan suatu proses perubahan-perubahan kimia dalam substrat organik yang terjadi akibat aksi biokatalisator, yaitu enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme. Mikroorganisme yang terlibat dalam proses fermentasi meliputi ragi, kapang, dan bakteri. Bakteri asam laktat, yeast dan bakteri lain selama fermentasi berperan dalam peruraian sebagian pati, pengasaman, detoksifikasi dan pengembangan cita-rasa. Bakteri asam laktat khususnya berperan dalam pembentukan aroma, penghambatan bakteri pembusuk dan patogen.

L.plantarum mampu merombak senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan hasil akhirnya yaitu asam laktat. Selama proses fermentasi oleh *L.plantarum* mekanisme yang mengubah struktur pati sehingga mengubah sifat fungsionalnya yaitu bakteri asam laktat menghasilkan enzim amilase. Amilase terdiri dari beberapa enzim pendegradasi pati salah satunya yaitu glukamilase. Karena adanya glukamilase, maka dapat memecah ikatan α -1,6 dan ikatan α -1,4. Aktivitas enzim amilase dapat menghidrolisis pati sehingga menghasilkan amilosa berantai pendek atau semakin banyak gugus karbonil terputus.

Metode modifikasi dengan cara fermentasi mampu mengurangi kadar oksalat dalam umbi yang dapat menyebabkan gatal di tubuh, serta dapat membantu meningkatkan karakteristik tepung berbahan dasar umbi.

Pertanyaan :

- 1) Apa yang dimaksud dengan modifikasi pati secara mikrobiologi/fermentasi?
- 2) Sebutkan mikroorganisme yang dapat digunakan dalam proses modifikasi pati secara mikrobiologi?
- 3) Sebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan BAL!
- 4) Bagaimana mekanisme *Lactobacillus Plantarum* dalam proses modifikasi pati?
- 5) Apa keuntungan dari modifikasi pati secara mikrobiologi/fermentasi?

PUSTAKA

- Amanu, FN dan Susanto, WH. 2014. Pembuatan Tepung Mocaf di Madura (Kajian Varietas dan Lokasi Penanaman) terhadap Mutu dan Rendemen. *Jurnal Pangan dan Agroindustri* Vol 2. No 3 p.161-169.
- Angeline SYC. 2018. Karakteristik tepung termodifikasi dari umbi kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*) menggunakan bakteri asam laktat (*Lactobacillus plantarum* FNCC 0027). Skripsi. Jurusan Teknologi Pangan Fakultas Teknik UPN Veteran Jawa Timur
- Axelsson, L. 2004. Lactic acid bacteria: classification and physiology. Marcel Dekker, Inc./CRC Press. https://www.researchgate.net/publication/234078695_Lactic_Acid_Bacteria_Classification_and_Physiology
- Bromberg, R., I. Moreno, C.L. Zaganini, R.R Delboni, V.N. Moreira, J. Oliveira, and A.L.S. Lerayer. 2001. Characterization of Bacteriocin-Producing Lactic Acid Bacteria Isolated from Meat and Meat Products (abs). IFT Annual Meeting 2001. New Orleans, Louisiana

- Buckle, K. A., R. A. Edward, G. H. Fleet, And M. Wotton. 1987. Ilmu Pangan. M. Pornomo (Penerjemah). Jakarta : Universitas Indonesia Press.
- Darmawan, M. R., P. Andreas., B. Jos. dan S. Sumardiono. 2013. Modifikasi ubi kayu dengan proses fermentasi menggunakan starter *Lactobacillus casei* untuk produk pangan. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, vol. 2 (2):137-145.
- Fardiaz, S. 1993. Analisis Mikrobiologi Pangan. Raja Grafindo Persada. Jakarta. 198
- Fardiaz, S. 1993. Analisis Mikrobiologi Pangan. PAU. IPB
- Haryadi. 2011. Teknologi Modifikasi Tepung Kasava. Jurnal Agritech, Vol. 31, No. 2.
- Herniawan. 2010. Pengaruh metode pengeringan terhadap mutu dan sifat fisiko-kimia tepung cassava terfermentasi. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Herniawan. 2010. Pengaruh metode pengeringan terhadap mutu dan sifat fisiko-kimia tepung cassava terfermentasi. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Jay, J. M. 2000. Modern Food Microbiology, Sixth Edition. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland.
- Jenie, B.S.L., Reski, P.P. & Kusnandar, F. (2012). Fermentasi Kultur Campuran Bakteri Asam Laktat dan Pemanasan Otoklaf dalam Meningkatkan Kadar Pati Resisten dan Sifat Fungsional Tepung Pisang Tanduk (*Musa parasidiaca formatypica*). Jurnal Pascapanen, 9 (1), 18-26.
- Ngatirah, 2000. Seleksi Bakteri Asam Laktat sebagai Agen Probiotik yang Berpotensi Menurunkan Kolesterol. Tesis. Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Yogyakarta.

- Ngatirah, 2000. Seleksi Bakteri Asam Laktat sebagai Agen Probiotik yang Berpotensi Menurunkan Kolesterol. Tesis. Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Yogyakarta
- Pomeranz, Y. 1991. Functional Properties of Food Components. Academic Press Inc, San Diego: pp 560.
- Putri, AR. 2012. Pengaruh Kadar Air terhadap Tekstur dan Warna Keripik Pisang Kepok (*Musa Parasidiacaformatypica*). Skripsi. Program Pasca Sarjana. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Rahman, A. S. Fardian, dkk. 1992. Teknologi Fermentasi Susu. Bogor : Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi : PAU Pangan Dan Gizi Institute Pertanian Bogor.
- Reddy G, Altaf MD, Naveena BJ, Ven-kateshwar M, and Kumar EV. 2008. Amylolytic bacterial lactic acid fermentation, a review. *Biotechnology Advances* 26: 22–34
- Reddy G, M Altaf, BJ Naveena, M Venkateshwar, & EV Kumar. 2008. Amylolytic bacterial lactic acid fermentation — A review. *J Elsevier-Biotechnol Adv* 26: 22–34.
- Rostini, I. 2007. Peranan Bakteri Asam Laktat (*Lactobacillus planetarium*) Terhadap Masa Simpan Filet Nila Merah Pada Suhu Rendah. Universitas Padjajaran Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Jatinangor.
- Sanni A, Morlon-Guyot J, and Guyot JP. 2002. New efficient amylase-producing strains of *Lactobacillus plantarum* and *L. fermentum* isolated from different Nigerian traditional fermented foods. *Int J Food Microbiol* 72:53–62
- Schnurer J, Magnusson J. 2005. Antifungal lactic acid bacteria as biopreservatives. *Trends Food Sci Technol* 16: 70-78

- Sobowale, A. O., T. O. Olurin, and O. B. Oyewole. 2007. Effect of lactic acid bacteria starter culture fermentation of cassava on chemical and sensory characteristics of fufu flour. *Afr J. Biotech.* 16: 1954-1958
- Tian, S.J., J.E. Rickard, & J.M.V. Blanshard. 1991. Physicochemical properties of sweet potato starch. *J. Sci. Food Agric.* 57:459-491.
- Yuliana, Purwijatningsih, dan Sidharta. 2014. *Viabilitas Bakteri Asam Laktat dan Aktivitas Antimikroba Susu Fermentasi terhadap Streptococcus pyogenes*. *Jurnal Teknobiologi* hal 10-14.

MODIFIKASI PATI SECARA ENZIMATIS

Capaian Pembelajaran :

1. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan definisi dan reaksi modifikasi pati secara enzimatis;
2. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan berbagai metode modifikasi pati secara enzimatis;
3. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan sifat-sifat pati termodifikasi secara enzimatis dan aplikasinya untuk produk pangan

Sebelumnya sudah disebutkan, bahwa untuk mengubah karbohidrat menjadi monomer glukosa diperlukan enzim amilase. Sebenarnya enzim di dalam tubuh manusia bukan hanya enzim amilase saja. Masih banyak jenis enzim yang lainnya yang diperlukan untuk menunjang kinerja tubuh manusia terutama dalam sistem pencernaan dan metabolisme tubuh. Enzim adalah sekelompok protein yang berperan sebagai pengkatalis dalam reaksi-reaksi biologis. Enzim dapat juga didefinisikan sebagai biokatalisator yang dihasilkan oleh jaringan yang berfungsi meningkatkan laju reaksi dalam jaringan itu sendiri. Semua enzim yang diketahui hingga kini hampir seluruhnya adalah protein. Berat molekul enzim pun sangat beraneka ragam, meliputi rentang yang sangat luas (Suhtanry & Rubianty, 1985).

Enzim memegang peranan penting dalam proses pencernaan makanan maupun proses metabolisme zat-zat makanan dalam tubuh. Fungsi enzim adalah mengurangi energi aktivasi, yaitu energi yang diperlukan untuk mencapai status transisi (suatu bentuk dengan tingkat energi tertinggi) dalam suatu reaksi kimiawi.

Suatu reaksi yang dikatalisis oleh enzim mempunyai energi aktivasi yang lebih rendah, dengan demikian membutuhkan lebih sedikit energi untuk berlangsungnya reaksi tersebut. Enzim mem-

percepat reaksi kimiawi secara spesifik tanpa pembentukan hasil samping dan bekerja pada larutan dengan keadaan suhu dan pH tertentu. Aktivitas enzim dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti konsentrasi enzim, konsentrasi substrat, suhu dan pH (Pelczar dan Chan, 2005).

Kelebihan enzim dibandingkan katalis lain adalah: dapat meningkatkan produk, bekerja pada pH netral dan pada suhu rendah, bersifat selektif pada substrat tertentu (Dincbas,S. and Demirkan, E., 2010). Enzim dapat mempercepat reaksi namun enzim tidak dapat mengubah keadaan normal dari kesetimbangan kimia, atau dengan kata lain enzim hanya mempercepat reaksi pembentukan produk tetapi tidak dapat mengubah yield dari produk (Indah., 2009).

Enzim dapat diperoleh dari makhluk hidup seperti hewan, tumbuhan dan mikroorganisme. Meskipun banyak sumber dapat menghasilkan enzim yang berasal dari hewan dan tumbuhan, namun pemanfaatan mikroorganisme sebagai sumber enzim lebih banyak diminati, karena enzim dari mikroorganisme dapat dihasilkan dalam waktu yang sangat singkat, mudah diproduksi dalam skala besar, proses produksi bisa dikontrol, kemungkinan terkontaminasi oleh senyawa-senyawa lain lebih kecil, dan dapat diproduksi secara berkesinambungan dengan biaya yang relatif rendah (Thomas, 1989).

Umumnya reaksi kimia dalam sel yang hidup terjadi sangat lambat jika tidak ada katalis seperti enzim. Enzim dapat menurunkan energi aktivasi tersebut sehingga reaksi dapat berlangsung dengan cepat. Energi aktivasi adalah energi yang harus diberikan terhadap bahan yang stabil untuk memulai suatu reaksi. Sebelum molekul-molekul tersebut bereaksi harus melalui suatu konfigurasi aktif. Pada keadaan ini molekul tersebut mempunyai energi yang lebih besar daripada molekul dalam keadaan normal. Energi aktivasi yang dibutuhkan setiap enzim berbedabeda tergantung dari jenis enzimnya (Dincbas dan Demirkan., 2010).

Menurut Hoobs (2009) reaksi antara enzim dan substrat adalah sebagai berikut:



E adalah enzim, S adalah substrat, ES adalah kompleks yang terbentuk dan P adalah produk yang dihasilkan. Sebelum menjadi produk suatu reaksi terlebih dahulu akan terbentuk kompleks antara katalisator dengan substrat, yang biasa disebut kompleks enzim-substrat. Kompleks enzim-substrat ini terjadi akibat enzim pada permukaannya mempunyai bagian yang reaktif sehingga dapat mengikat substrat. Setelah kompleks terbentuk, maka ikatan di dalam substrat akan pecah menjadi beberapa bentuk hasil reaksi. Kemudian enzim dilepaskan kembali untuk selanjutnya menangkap substrat yang baru dan mengulangi seperti semula.

1) Sifat-sifat enzim

Enzim sebagai suatu senyawa yang berstruktur protein baik murni maupun protein yang terikat pada gugus non protein, memiliki sifat yang sama dengan protein lain yaitu :

- Dapat terdenaturasikan oleh panas,
- Terpresipitaskan atau terendapkan oleh senyawa-senyawa organik cair seperti etanol dan aseton juga oleh garam-garam organik berkonsentrasi tinggi seperti ammonium sulfat,
- Memiliki bobot molekul yang relatif besar sehingga tidak dapat melewati membran semi permeabel atau tidak dapat terdialisis.

2) Aktivitas enzimatik

Enzim sebagai biokatalisator berstruktur protein, dalam mekanisme kerja aktivitasnya dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, pH, suhu, konsentrasi substrat, konsentrasi enzim, kehadiran aktivator atau inhibitor.

- **Potensial Hidrogen (pH)**

Merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhatikan apabila bekerja dengan enzim, hal ini dikarenakan enzim hanya mampu bekerja pada kondisi pH tertentu saja. Suatu kondisi pH dimana enzim dapat bekerja dengan aktivitas tertinggi yang dapat dilakukannya dinamakan pH optimum. Sebaliknya pada pH tertentu enzim sama sekali tidak aktif atau bahkan rusak. Hal ini dapat dijelaskan karena diketahui bahwa enzim merupakan molekul protein, molekul protein kestabilannya dapat dipengaruhi oleh tingkat keasaman lingkungan, pada kondisi keasaman yang ekstrim molekul-molekul protein dari enzim akan rusak.

- **Suhu**

Sama seperti reaksi kimia biasa, suhu biasanya dapat mempercepat proses reaksi, namun demikian pada titik suhu tertentu kecepatan reaksi yang dikatalisis oleh enzim akan mulai menurun bahkan aktivitasnya tidak lagi nampak. Kondisi suhu dimana enzim dapat menghasilkan aktivitas tertinggi dinamakan suhu atau temperatur optimum. Oleh karena enzim berstruktur protein, sebagaimana diketahui bahwa protein dapat dirusak oleh panas, sehingga pada suhu tinggi tertentu aktivitas enzim mulai menurun dan bahkan aktivitasnya menghilang. Hal ini sangat dimungkinkan karena terjadinya denaturasi atau kerusakan struktur enzim yang dapat menyebabkan kerusakan enzim baik secara keseluruhan maupun sebagian terutama sisi aktifnya.

- **Substrat**

Reaksi-reaksi biokimia yang dikatalisis oleh enzim dipengaruhi pula oleh jumlah substrat. Jika melakukan pengujian konsentrasi substrat dari rendah ke tinggi terhadap kecepatan reaksi enzimatis, maka pada awalnya akan diperoleh hubungan kesebandingan yang menyatakan kecepatan reaksi akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi substrat, namun kemudian akan diperoleh data yang menyatakan pada konsentrasi substrat tinggi ter-

tentu kecepatan reaksi tidak lagi bertambah. Pada kondisi ini konsentrasi substrat menjadi jenuh dan kecepatan reaksi menjadi maksimum yang sering juga disebut sebagai kecepatan maksimum (V_{max}).

- **Konsentrasi Enzim**

Seperti pada katalis lain, kecepatan suatu reaksi yang menggunakan enzim tergantung pada konsentrasi enzim tersebut. Pada suatu konsentrasi substrat tertentu, kecepatan reaksi bertambah dengan bertambahnya konsentrasi enzim. Sejumlah besar enzim membutuhkan suatu komponen lain untuk dapat berfungsi sebagai katalis. Komponen ini secara umum disebut kofaktor. Kofaktor ini dapat dibagi dalam tiga kelompok, yaitu : gugus prostetik, koenzim dan aktivator. Aktivator pada umumnya ialah ion-ion logam yang dapat terikat atau mudah terlepas dari enzim (Poedjiadi, 1994).

Mekanisme enzim dalam suatu reaksi ialah melalui pembentukan kompleks enzim-substrat (ES). Oleh karena itu hambatan atau inhibisi pada suatu reaksi yang menggunakan enzim sebagai katalis dapat terjadi apabila penggabungan substrat pada bagian aktif enzim mengalami hambatan. Molekul atau ion yang dapat menghambat reaksi tersebut dinamakan inhibitor (Poedjiadi, 1994).

Modifikasi pati secara enzimatis dilakukan dengan menambahkan enzim untuk memecah rantai pada pati baik amilosa maupun amilopektin. Enzim yang memecah pati berasal dari berbagai jenis enzim amylase baik yang bersumber dari tanaman maupun jaringan mamalia. Enzim dapat juga diisolasi dari *Aspergillus oryzae* dan *Bacillus subtilis*. Kecepatan enzim untuk memecah atau menghidrolisis akan meningkat apabila tingkat polimerisasi menurun, dan laju hidrolisis akan lebih cepat pada rantai lurus, sehingga hidrolisis terhadap amilosa lebih cepat dibanding hidrolisis terhadap amilopektin. (Nurdjannah, S., dan Neti Y., 2019).

Enzim dikelompokkan berdasarkan reaksi kimia yang dikatalisa serta substratnya. Proses enzimatis pada industri pati berdasarkan

pada hidrolisis enzim seperti α -amilase, pullulanase, dan glukamilase (Putri dan Fithri, 2015). Beberapa jenis enzim yang dapat digunakan pada metode modifikasi enzimatis antara lain:

1) Enzim α -amilase

Enzim α -amilase (α -1,4- glukana 4- glukanohidrolase, E.C 3.2.1.1) merupakan endoenzim yang menghidrolisis ikatan α -(1,4)-glikosida dari bagian dalam secara acak baik pada amilosa maupun amilopektin. Enzim α -amilase disebut juga dengan α -retaining *double displacement*. Enzim α -amilase dibedakan menjadi dua golongan yaitu termostabil (tahan panas) dan termolabil (tidak tahan panas). Enzim α -amilase yang termostabil dapat diperoleh dari *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus stearothermophilus* dan *Bacillus amyloliquefaciens*, sedangkan yang termasuk termolabil dihasilkan dari jamur seperti *Aspergillus oryzae* dan *Aspergillus niger*. Enzim α -amilase termodifikasi dapat bekerja pada suhu hingga 105-110°C dengan kisaran pH 5.1-5.6 selama 60-180 menit (Rahmawati, dkk., 2015). Hasil hidrolisis α -amilase mula-mula akan menghasilkan dekstrin, kemudian dekstrin tersebut dipotong-potong lagi menjadi campuran antara glukosa, maltosa, maltotriosa, dan ikatan lain yang lebih panjang. (Devita, C., 2013).

Cara kerja enzim α -amilase terjadi melalui dua tahap, yaitu: pertama, degradasi amilosa menjadi maltosa dan maltotriosa yang terjadi secara acak. Degradasi ini terjadi sangat cepat dan diikuti dengan menurunnya viskositas yang cepat pula. Kedua, relatif sangat lambat yaitu pembentukan glukosa dan maltosa sebagai hasil akhir dan caranya tidak acak. Keduanya merupakan kerja enzim α -amilase pada molekul amilosa saja. (Nurfida, A. dan Ika., 2010)

Kerja α -amilase pada amilopektin akan menghasilkan glukosa, maltosa dan berbagai jenis α -limit dekstrin, yaitu oligosakarida yang terdiri dari cepat atau lebih residu gula yang semuanya mengandung ikatan α -1,6. Aktivitas optimal dari enzim dipengaruhi

ruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor penting yang berpengaruh di antaranya adalah pH dan suhu. Kisaran pH optimum untuk enzim α -amilase berkisar antara 4,5–6,5 dan dengan kisaran suhu optimum 40–60°C. Enzim yang dihasilkan oleh kapang *Aspergillus oryzae* mempunyai aktivitas optimum pada pH 5,5 dan suhu 37 – 40°C. (Nurfida, A. dan Ika., 2010).

Enzim α - amilase merupakan enzim yang digolongkan sebagai enzim hidrolase. Jenis ikatan polimer pada amilosa lebih mudah dipotong oleh enzim α - amilase daripada jenis ikatan polimer yang amilopektin. Kerja enzim α - amilase dalam menghidrolisis pati adalah dengan memotong ikatan α - amilase – 1,4, tapi tidak memotong α - 1,6 (Fogarty, 1983). Laju hidrolisis akan meningkat bila tingkat polimerisasi menurun, dan laju hidrolisis akan lebih cepat pada rantai lurus. Hidrolisis amilosa lebih cepat dibanding hidrolisis terhadap amilopektin (Girindra, 1983).

Enzim α - amilase tidak mengandung koenzim, tapi merupakan kalsium metalo enzim dengan sekurang-kurangnya mengandung satu atau Ca per molekul enzim (Fischer dan Stein, 1980 di dalam Fogarty, 1983). Kulp (1975) menyatakan adanya ion⁺⁺ sangat mempengaruhi ektivitas α - amilase. Ion Ca yang terikat dengan menggunakan zat pengkelat. Ion logas kalsium berfungsi mengkatalis aktifitas α - amilase, sehingga tahap terhadap perubahan suhu, pH, perlakuan urea atau adanya protease seperti pepsin, tripsin, substilin dan papain. Menurut Whitaker (1972), ion Ca tidak bekerja langsung dalam pembentukan kompleks enzim-substrat, tetapi mempertahankan molekul enzim tetap aktifitas dan stabilitas maksimum.

Modifikasi pati dengan menggunakan enzim α -amilase ukuran granula merupakan faktor penting dalam hidrolisis karenan perbedaan luas permukaan, Valkel dan Hope (1963) memperlihatkan absorpsi amilase oleh granula pati sebanding dengan luas permukaan dan α -amilase yang dapat mendegradasi granula sehingga dapat dihidrolisis. Mc. Laren (1963) memperlihatkan bahwa

kecepatan hidrolisis sebanding dengan luas permukaan granula yang kontak dengan pelarut, jadi pada beberapa konsentrasi pati dan pada tingkat konsentrasi enzim, kecepatan hidrolisis sebanding dengan luas permukaan. Hubungan antara komposisi dan sifat dari pati telah diteliti dengan menggunakan sampel yang dipisahkan menurut ukuran butiran pati. Kandungan amilosa dari tiap fraksi berbanding terbalik dengan diameter granula (Gluskey, et al., 1980).

Hubungan antara prosentase hidrolisis dan luas permukaan seperti yang diperlihatkan oleh makin luas permukaan granula makin tinggi prosentase hidrolisis yang dihasilkan. Berarti kecepatan hidrolisis oleh α -amilase berhubungan dengan ukuran dari butiran, karena adanya interaksi antara luas permukaan dengan absorpsi enzim. Kecepatan hidrolisis menurun dengan meningkatnya kadar amilosa. Kandungan amilosa tertinggi ditemukan pada butiran yang paling kecil permukaannya daripada yang mempunyai permukaan yang luas. Hubungan antara temperatur, entalpi gel dengan penurunan ukuran granula terhadap gelatinisasi belum dapat dipastikan.

Pada pati yang mempunyai kadar amilosa tinggi, granulanya tahan terhadap α -amilase (Gallant, *et al.*, 1972 dan Sandstedt, *et al.*, 1962), suhu gelatinisasi yang tinggi. Penelitian dari Wolf, *et al.* (1977) memperlihatkan beberapa struktur pati beramilosa tinggi tidak berubah setelah dimasak atau setelah dicerna oleh tikus atau manusia, hal ini menunjukkan bahwa pati dengan amilosa tinggi mempunyai ketahanan terhadap panas dan enzim yang tinggi.

Aktivitas enzim α -amilase dipengaruhi oleh beberapa faktor yang diantaranya adalah pH dan suhu. Enzim α -amilase mempunyai kondisi optimum pada suhu 90 – 105°C dengan pH 5.6-6.0. Suhu yang terlampaui tinggi dari kondisi optimum akan mengganggu dan merusak enzim, sedangkan pemberian suhu yang terlampaui rendah dari kondisi optimum akan menyebabkan gelatinisasi pati tidak sempurna (Rahmawati, dkk., 2015).

2) Enzim Glukoamilase

Enzim glukoamilase atau sering disebut amiloglukosidase atau α -1,4-glukano glukohidrolase merupakan enzim ekstraseluler yang mampu menghidrolisis ikatan α -1,4 pada rantai amilosa, amilopektin, glikogen, dan pullulan. Enzim glukoamilase juga dapat menyerang ikatan α -1,6 pada titik percabangan, walaupun dengan laju yang lebih rendah. Hal ini berarti bahwa pati dapat diuraikan secara sempurna menjadi glukosa. (Devita, C., 2013).

Glukoamilase dapat dihasilkan dari jamur: *Aspergillus spp*, *Rhizopus oryzae*, *Rhizopus niveus*, dari yeast: *Saccharomycopsis fibuligera*, *Saccharomyces diasticus*, dan dari bakteri: *Clostridium acetobutylicum*. Glukoamilase yang dihasilkan dari *aspergillus awanori* dan *Aspergillus niger* tergolong thermostabil dan mempunyai kisaran pH yang lebih optimal. Kedua mikroba tersebut sekarang secara universal digunakan untuk sakarifikasi pati. Glukoamilase murni banyak digunakan untuk pembuatan sirup glukosa dari maltodekstrin yang diproduksi oleh α -amilase dari pemurnian pati (Rahmawati, dkk., 2015).

Menurut Tjokroadikoesoemo (1993) dalam Rahmawati, dkk., (2015) menyebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi aktivitas dan stabilitas enzim glukoamilase diantaranya adalah:

- Suhu, kondisi suhu optimum untuk enzim ini adalah 40-60°C.
- Nilai pH optimum untuk aktivitas enzim ini adalah 4.5.
- Waktu reaksi yang diperlukan untuk hidrolisa pati sekitar 48-96 jam.

3) Enzim Pullulanase

Pullulanase (pullulan 6-glucanohydrolase, EC 3.2.1.41) adalah eksoenzim yang mengkatalisis hidrolisis α -1, 6-penghubung *pullulan* dan polisakarida lain untuk menghasilkan maltotriosa sebagai produk akhir. Pullulanase dengan enzim α amilase dapat bersinergis menghasilkan pemotongan molekul karbohidrat yang sempurna. *Pullulanase* adalah protein monomer dengan massa

molekul di kisaran 60-140 kDa. Enzim ini dapat diperoleh pada ekstrak beras dan kacang-kacangan. Selain dari tanaman, pullulanase dapat dihasilkan dari bakteri mesofilik, seperti *Klebsiella*, *Escherichia coli*, *Streptococcus*, *Bacillus*, dan *Streptomyces*. Pullulanase yang dihasilkan oleh bakteri mesofilik merupakan enzim yang bersifat tidak tahan oleh suhu tinggi. Suhu maksimum yang dikehendaki adalah 60°C. Jika suhu yang digunakan lebih dari suhu maksimum, maka enzim akan terdenaturasi. Namun beberapa pullulanase ada yang mampu bertahan pada suhu tinggi, seperti pullulanase yang dihasilkan oleh bakteri *Thermus caldophilus* yang masih bisa bertahan pada suhu 90°C (Rahmawati, dkk., 2015).

A. Penguraian Pati dengan Enzim α -Amylase

Amylase adalah enzim yang dapat mengubah pati menjadi gula. Amilase merupakan enzim yang mampu mengkatalisis pemecahan ikatan glikosida dari pati menjadi gula sederhana. Amilase dapat mengubah karbohidrat yang merupakan polisakarida menjadi molekul yang lebih sederhana seperti dekstrin, maltosa maupun glukosa. Amilase menjadi salah satu jenis enzim yang mempunyai peranan penting dalam bidang industri. Enzim amilase dapat diproduksi dari berbagai sumber seperti tumbuhan, hewan dan mikroorganisme. Di dalam tubuh manusia, enzim ini di produksi oleh kelenjar ludah dan pankreas.

Enzim amilase banyak digunakan dalam berbagai industri. Pati memegang peranan penting dalam industri pengolahan pangan. Pati secara luas juga dipergunakan dalam industri seperti kertas, lem, tekstil, permen, glukosa, dekstrosa, sirup fruktosa, dan lain-lain. Pada industri tekstil, amilase digunakan untuk memperhalus tekstur tekstil, kemudian pada industri deterjen, amilase tercampur dengan enzim protease dan lipase sebagai pencuci noda pakaian dan dalam industri makanan digunakan untuk pembuatan sirup manis, untuk meningkatkan konten diastase tepung, untuk modifi-

kasi makanan bayi, dan menghilangkan pati dalam produksi jelly. Amilase adalah enzim yang mengkatalisis hidrolisis dari α -1,4-glikosidik polisakarida untuk menghasilkan dekstrin, oligosakarida, maltosa, dan D-glukosa. Amilase bisa berasal dari hewan, jamur, dan sumber tanaman. *Pancreatin* dan *pancrelipase* mengandung amilase yang berasal dari pankreas hewan, pankreas biasanya babi. Amilase juga berasal dari malt barley dan jamur *Aspergillus oryzae* (Wang, 2009).

Enzim α -Amilase menghidrolisis ikatan α -1,4 glukosidik amilosa, amilopektin dan glikogen. Enzim ini bersifat sebagai endoamilase, yaitu enzim yang memecah pati secara acak dari tengah atau bagian dalam molekul. Berat molekul α -amilas rata-rata ± 50 kd. Enzim ini mempunyai rantai peptide tunggal pada gugusan proteinnya dan setiap molekul mengandung satu gram atom Ca. Adanya kalsium yang berikatan dengan molekul protein enzim, membuat enzim α -amilase bersifat relatif tahan terhadap suhu, pH, dan senyawa seperti urea (Suhartono, 1989).

Secara umum α -amilase stabil pada pH 5,5 – 8,0 dan aktivitas optimum secara normal berada pada pH 4,8 – 6,5. Amilase dari *Bacillus subtilis* mempunyai pH optimum 6,0 dan suhu optimum 60°C (Judoamidjojo, 1989).

Tumbuhan dan beberapa jenis bakteri juga dapat memproduksi enzim *amylase*. Nama lain α -*amylase* adalah 1,4- α -D-glukan glukanohidrolase atau biasa juga disebut glycogenase. α -amylase termasuk dalam calcium metalloenzymes, sehingga enzim ini tidak akan bisa berfungsi jika keberadaan kalsium tidak dipenuhi.

Pati dapat dipecah menjadi unit-unit yang lebih kecil yaitu dengan memotong ikatan-ikatan glikosidiknya. Salah satu enzim yang dapat memotong ikatan tersebut adalah enzim α - amilase. Enzim α - amilase (α - 1,4 glukanhidrolase atau EC 3.2.1.1) terdapat pada tanaman, jaringan mamalia, jaringan mikroba. α - amilase murni dapat diperoleh dari berbagai sumber, misalnya dari malt (barley),

air liur manusia dan pankreas. Dapat juga diisolasi dari *Aspergillus oryzae* dan *Bacillus subtilis* dan c *Bacillus licheniformis* (Reilly, 1985).

α - amilase adalah endo enzim yang kerjanya memutus ikatan α - 1,4 secara acak di bagian dalam molekul baik pada amilosa maupun pada amilopektin. Sifat dan mekanisme kerja enzim α - amilase tergantung pada sumbernya. Umumnya α - amilase memotong ikatan di bagian tengah rantai sehingga menurunkan kemampuan pati mengikat zat warna iodium. Hidrolisis dengan α - amilase menyebabkan amilosa terurai menjadi maltosa dan maltotriosa. Pada tahap selanjutnya maltotriosa terurai kembali menjadi maltosa dan glukosa (Walker dan Whelan dalam Fogarty, 1983).

Cara kerja enzim α - amilase terjadi melalui dua tahap, yaitu:

- 1) Pertama, degradasi amilosa menjadi maltosa dan maltotriosa yang terjadi secara acak. Degradasi ini terjadi sangat cepat dan diikuti dengan menurunnya viskositas yang cepat pula.
- 2) Kedua, relatif sangat lambat yaitu pembentukan glukosa dan maltosa sebagai hasil akhir dan caranya tidak acak. Keduanya merupakan kerja enzim α - amilase pada molekul amilosa saja (Winarno, 1983).

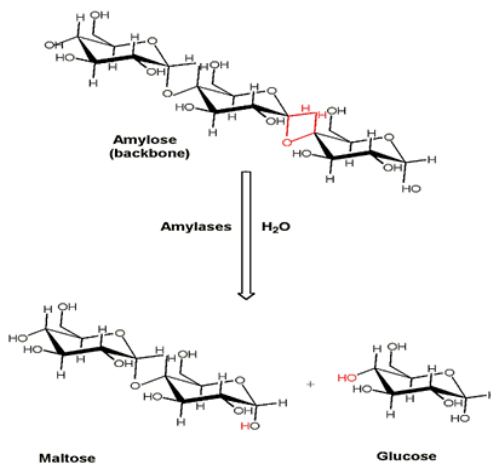
Kerja α - amilase pada amilopektin akan menghasilkan glukosa, maltosa dan berbagai jenis α - limit dekstrin, yaitu oligosakarida yang terdiri dari cepat atau lebih residu gula yang semuanya mengandung ikatan α - 1,6 (Winarno, 1983). Aktivitas optimal dari enzim dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor penting yang berpengaruh di antaranya adalah pH dan suhu. Kisaran pH optimum untuk enzim α - amilase berkisar antara 4,5 – 6,5 dan dengan kisaran suhu optimum 40 – 60°C (ebookpangan, 2006). Enzim yang dihasilkan oleh kapang *Aspergillus oryzae* mempunyai aktivitas optimum pada pH 5,5 dan suhu 37 – 40°C (Ebookpangan, 2006).

Enzim α – amilase tidak mengandung koenzim, tapi merupakan kalsium metalo enzim dengan sekurang-kurangnya mengandung satu atau Ca per molekul enzim (ebookpangan, 2006). Kulp (1975) dalam ebookpangan menyatakan adanya ion⁺⁺ sangat mempengaruhi efektivitas α - amilase. Ion Ca yang terikat dengan menggunakan zat pengkelat. Ion logam kalsium berfungsi mengkatalis aktifitas α - amilase, sehingga tahap terhadap perubahan suhu, pH, perlakuan urea atau adanya protease seperti pepsin, tripsin, substilin dan papain. Menurut Whitaker (1972) dalam ebookpangan, ion Ca tidak bekerja langsung dalam pembentukan kompleks enzim-substrat, tetapi mempertahankan molekul enzim tetap aktifitas dan stabilitas maksimum.

Modifikasi pati dengan enzim biasanya menggunakan beberapa jenis enzim seperti enzim α -amilase yang dapat menghasilkan pati dengan kekentalan lebih stabil pada suhu panas maupun dingin serta sifat pembekuan gel yang baik.

B. Hidrolisis Pati

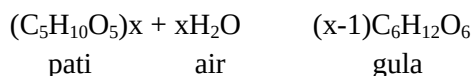
Hidrolisis merupakan reaksi pengikatan gugus hidroksil ($-OH$) oleh suatu senyawa. Gugus $-OH$ dapat diperoleh dari senyawa air. Hidrolisis dapat digolongkan menjadi hidrolisis murni, hidrolisis katalis asam, hidrolisis katalis basa, hidrolisis gabungan alkali dan air, dan hidrolisis katalis enzim.



Gambar 7.1 Hidrolisis Pati dengan bantuan katalis Enzim amylase

1) Hidrolisis Pati

Hidrolisis pati terjadi antar suatu reaktan pati dengan reaktan air. Reaksi hidrolisis pati bertujuan untuk memotong suatu ikatan polimer sakarida dalam pati dengan bantuan suatu senyawa tertentu sebagai katalis, dalam hal ini adalah enzim α -amylase. Hidrolisis bisa jadi merupakan reaksi yang reversible. Namun jika kondisi operasinya di atur, reaksi hidrolisis bisa berlangsung secara *Irreversible*.



Suhu dan waktu hidrolisis serta konsentrasi katalis adalah beberapa variabel yang berpengaruh dalam reaksi hidrolisis. Makin tinggi suhu makin cepat jalannya reaksi makin tinggi harga ΔG (Griffin dan Brooks, 1989). Namun harus diperhatikan jika katalisator yang dipakai adalah enzim, karena enzim sensitif terhadap suhu tinggi. Jika suhu terlalu tinggi aktifitas enzim akan menurun bahkan enzim dapat rusak.

Perbedaan waktu hidrolisis akan menyebabkan jumlah pati yang termodifikasi juga berbeda. Makin lama waktu hidrolisis makin besar persentase pati yang berubah menjadi gula pereduksi. Hal ini dapat dilihat dari harga DE yang semakin tinggi (Griffin dan Brooks, 1989).

Konsentrasi katalis juga dapat berpengaruh pada harga DE dari produk yang dihasilkan. Makin tinggi konsentrasi katalis, dalam hal ini adalah enzim, makin banyak gula pereduksi yang terbentuk. Hal ini berarti harga DE akan semakin tinggi. Meskipun demikian, penentuan konsentrasi katalis memiliki batas optimum. Jika melebihi batas tersebut, hidrolisis akan terhambat.

2) Hidrolisis Enzimatis

Berbagai cara hidrolisis pati telah dikembangkan diantaranya yaitu hidrolisis asam, hidrolisis enzim, dan kombinasi asam dan enzim. Hidrolisis pati menggunakan asam memiliki proses yang lebih sederhana, namun memerlukan persyaratan peralatan yang rumit (tahan panas, tekanan tinggi). Berbeda dengan hidrolisis enzimatis, selain kondisi proses yang tidak ekstrim, pemakaian enzim dapat menghasilkan rendemen dan mutu larutan glukosa yang lebih tinggi dibandingkan hidrolisis secara asam. Pada hidrolisis secara enzimatis, ikatan pati dipotong sesuai dengan jenis enzim yang digunakan. Sedangkan apabila menggunakan asam, pemotongan dilakukan secara acak.

Hidrolisis enzimatis memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan hidrolisis asam, seperti diperlihatkan dalam Tabel 7.1.

Tabel 7.1. Perbandingan Hidrolisis Asam dan Hidrolisis Enzimatis

Variabel Pembanding	Hidrolisis Asam	Hidrolisis Enzimatis
Kondisi hidrolisis yang “lunak” (<i>mild</i>)	Tidak	Ya
Hasil hidrolisis tinggi	Tidak	Ya
Penghambatan produk selama hidrolisis	Tidak	Ya
Pembentukan produk samping yang menghambat	Ya	Tidak
Katalis yang murah	Ya	Tidak
Waktu hidropolisis yang murah	Ya	Tidak

Sumber: K. Karimi, G. Emtiazi, dan M. Taherzadeh, 2006

Penggunaan enzim dalam hidrolisis pati lebih baik daripada katalis kimia (asam). Enzim merupakan biokatalis yang mempunyai beberapa kelebihan, yaitu dengan adanya reaksi dengan adanya hidrolisis yang terjadi beragam, kondisi proses tidak ekstrim (suhu sedang dan pH mendekati normal), mengurangi jumlah energi yang digunakan, tingkat konversi yang lebih tinggi, polutan lebih rendah dan diperoleh reaksi yang spesifik. Sedangkan penggunaan katalis asam selain kebalikan hal tersebut juga peralatan yang digunakan harus tahan korosif.

Ikatan *glycosidic* pada pati dapat diputus dengan melakukan hidrolisis, sehingga menghasilkan monosakarida-monosakarida. Banyak enzim yang dapat dipergunakan untuk mempercepat reaksi hidrolisis. Jenis enzim yang dipakai bergantung pada produk akhir yang diinginkan (Sukatiningsih, 2011).

Enzim invertase dipakai untuk menghidrolisis sukrosa menjadi gula invert. Lactase dibutuhkan dalam hidrolisis digestif laktosa pada susu. Hidrolisis selulosa menjadi glukosa, yang biasa disebut sakarifikasi, memakai cellulose sebagai katalisnya. Sementara

untuk menghasilkan maltodekstrin dipakai enzim α -amilase (Sukatiningsih, 2011).

Pada proses hidrolisis pati, terdapat tiga tahapan dalam mengkonversi pati yaitu tahap gelatinisasi, likuifikasi dan sakarifikasi (Shi *et al*, 2000). Tahap gelatinisasi merupakan tahap pembentukan suspensi kental dari granula pati, tahap likuifikasi yaitu hidrolisis pati parsial yang ditandai dengan menurunnya viskositas, sedangkan sakarifikasi merupakan proses lebih lanjut dari hidrolisis untuk menghasilkan glukosa.

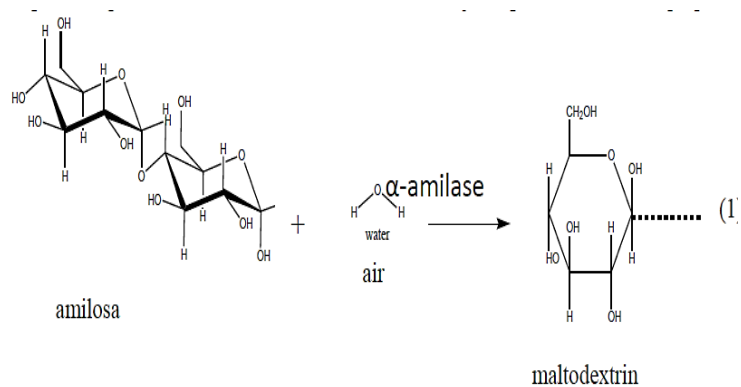
Pada hidrolisis pati dengan metode enzimatis dapat dilakukan dengan berbagai tahapan yaitu likuifikasi, sakarifikasi dan isomerisasi. Langkah yang pertama adalah likuifikasi 30 – 40% suspensi padatan untuk menghasilkan maltodekstrin dengan menggunakan enzim α -amilase. Setelah likuifikasi dilakukan sakarifikasi menggunakan enzim glukamilase untuk menghasilkan sirup glukosa atau sirup maltosa. Hasil sakarifikasi dilakukan isomerisasi dengan enzim glukoisomerase untuk menghasilkan sirup fruktosa (Sundarram *et al*. 2014).

Hidrolisis enzimatis memiliki beberapa keuntungan, yaitu kondisi prosesnya dapat dikontrol, biaya pemurnian lebih murah, dihasilkan lebih sedikit abu dan produk samping, dan kerusakan warna dapat diminimalkan. (Devita., 2013).

Hidrolisis dengan enzim dapat menghasilkan beberapa produk hidrolisis pati dengan sifat-sifat tertentu yang didasarkan pada nilai DE (ekuivalen dekstrosa). Nilai DE 100 adalah murni dekstrosa sedangkan nilai DE 0 adalah pati alami. Hidrolisis dengan nilai DE 50 adalah maltosa, nilai DE di bawah 20 adalah maltodekstrin, sedangkan hidrolisis dengan DE berkisar antara 20-100 adalah sirup glukosa. Beberapa jenis enzim yang sering digunakan dalam menghidrolisis pati yaitu: α -amilase, β -amilase, pullunase, dan amiloglukosidase (AMG) yang memiliki komposisi yang berbeda-beda satu-sama lainnya (Februadi dalam Devita., 2013).

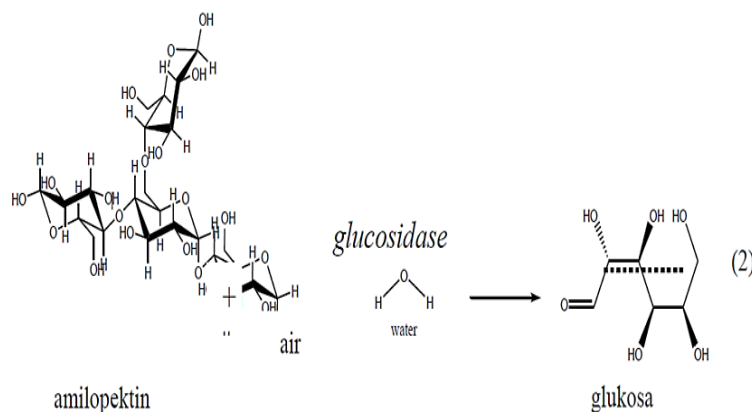
Tahapan Hidrolisis Enzimatik menurut Risnoyatiningsih (2011) sebagai berikut:

- a) **Gelatinisasi.** Gelatinisasi merupakan proses yang bertujuan untuk memecah pati yang berbentuk granular menjadi suspensi yang kental. Pada tahap ini granular pati dibuat bengkak akibat adanya peningkatan volume oleh air dan tidak dapat kembali lagi ke kondisi awal. Perubahan ini disebut gelatinisasi. Suhu pada saat granular tersebut pecah disebut suhu gelatinisasi. Gelatinisasi dapat terjadi dengan adanya panas.
- b) **Likuifikasi.** Tahap likuifikasi adalah proses hidrolisis pati menjadi dekstrin oleh enzim pada suhu di atas suhu gelatinisasi dan pH optimal. Proses likuifikasi berakhir ditandai dengan larutan menjadi encer. Proses gelatinisasi merupakan bagian dari likuifikasi. Reaksi likuifikasi dapat dilihat pada Gambar 7.2.



Gambar 7.2 Reaksi Tahap Likuifikasi (Sumber : Risnoyatiningsih, 2011)

- c) **Sakarifikasi.** Tahap sakarifikasi merupakan tahap pemecahan gula kompleks hasil dari tahap likuifikasi menjadi glukosa dengan adanya enzim glucosidase. Pada tahap ini dekstrin diubah menjadi glukosa. Reaksi sakarifikasi dapat dilihat pada Gambar 7.3.



Gambar 7.3 Reaksi tahap Sakarifikasi (Sumber : Risnoyatiningih, 2011)

Hal-hal yang mempengaruhi hidrolisa enzim antara lain konsentrasi asam, temperatur, dan waktu pemasakan (Azeez, 2002). Hidrolisis disini adalah dengan memecah rantai pada pati baik amilosa maupun amilopektin. Enzim yang memecah yaitu α -amilase. terdapat pada tanaman, jaringan mamalia, jaringan mikroba. Dapat juga diisolasi dari *Aspergillus oryzae* dan *Bacillus subtilis* (Niba dkk., 2002). Laju hidrolisis akan meningkat bila tingkat polimerisasi menurun, dan laju hidrolisis akan lebih cepat pada rantai lurus. Hidrolisis amilosa lebih cepat dibanding hidrolisis terhadap amilopektin.

C. Maltodekstrin

Maltodekstrin didefinisikan sebagai suatu produk hidrolisis pati parsial yang dibuat dengan penambahan asam atau enzim, yang mengandung unit α -D-glukosa yang sebagian besar terikat melalui ikatan $-(1,4)$ glycosidic. Maltodekstrin merupakan campuran dari glukosa, maltosa, oligosakarida, dan dekstrin. Rumus maltodekstrin adalah $[(C_6H_{10}O_5)_nH_2O]$ (Luthana, 2008).

Maltodekstrin dapat diperoleh dengan menghidrolisis pati singkong secara parsial dengan enzim α -amilase pada suhu 85°C selama 65 menit (Griffin dan Brooks, 1989).

Maltodekstrin merupakan produk hidrolisis parsial, sehingga proses hidrolisisnya berhenti hanya sampai likuifikasi. Pada tahap likuifikasi terjadi pemecahan ikatan α -1,4 glycosidic oleh enzim α -amilase pada bagian dalam rantai polisakarida secara acak sehingga dihasilkan glukosa, maltosa, maltodekstrin dan α -limit dekstrin. Enzim α -amilase merupakan enzim yang menghidrolisis secara khas melalui bagian dalam dengan memproduksi oligosakarida dari konfigurasi alfa yang memutus ikatan α -(1,4) glycosidic pada amilosa, amilopektin, dan glikogen. Ikatan α -(1,6) glycosidic tidak dapat diputus oleh α -amilase, tetapi dapat dibuat menjadi cabang-cabang yang lebih pendek (Griffin dan Brooks, 1989).

Maltodekstrin biasanya dideskripsikan oleh DE (*Dextrose Equivalent*). Kennedy et al. (1995) menyatakan bahwa nilai DE (*Dextrose Equivalent*) adalah persen dari gula pereduksi dalam gula yang dihitung sebagai dekstros dalam basis kering. Maltodekstrin dengan DE yang rendah bersifat non-higroskopis, sedangkan maltodekstrin dengan DE tinggi cenderung menyerap air (higroskopis). Maltodekstrin pada dasarnya merupakan senyawa hidrolisis pati yang tidak sempurna, terdiri dari campuran gula-gula dalam bentuk sederhana (mono- dan disakarida) dalam jumlah kecil, oligosakarida dengan rantai pendek dalam jumlah relatif tinggi serta sejumlah kecil oligosakarida berantai panjang. Nilai DE maltodekstrin berkisar antara 3 – 20 (Blancard, 1995).

Proses pembuatan maltodekstrin menurut (Pentury, 2013) yaitu 20 gr pati kering dilarutkan kedalam aquades 100 ml yang mengandung CaCl_2 200 ppm, kemudian ditambahkan NaOH 0,1 N sampai pH 7. Enzim α -amilase 0,09 % ditambahkan kedalam campuran sebanyak 0,1 ml. Campuran dihidrolisis dengan cara diaduk menggunakan agitator dengan kecepatan 300 rpm, selama 120 menit

pada suhu 80°C. Campuran didinginkan dengan air dingin sampai suhu 30 – 40°C. HCl 0,1 N ditambahkan hingga pH 3 – 4, lalu dipanaskan pada air mendidih untuk menghentikan aktivitas enzim. NaOH 0,1 N ditambahkan hingga mencapai kisaran pH 4,5 – 6,5. Hasil yang didapat kemudian dikeringkan dengan *cabinet dryer* pada suhu 50°C. selama 6-8 jam, selanjutnya dikerik dan dihaluskan, lalu diayak dengan ayakan 80 mesh.

Hidrolisa enzim dilakukan menggunakan bantuan enzim α -amilase pada proses likuifikasi. Hidrolisa enzim lebih banyak memberikan keuntungan dibandingkan dengan hidrolisa asam. Kelebihan enzim dibandingkan katalis lain adalah dapat meningkatkan produk, bekerja pada pH netral dan pada suhu rendah, bersifat selektif pada substrat tertentu. Hidrolisa enzim menghasilkan konversi yang lebih besar jika dibandingkan dengan hidrolisa asam. Enzim merupakan protein yang berfungsi sebagai katalisator reaksi biologi atau sering disebut dengan biokatalisator. Umumnya reaksi kimia dalam sel yang hidup terjadi sangat lambat jika tidak ada katalis seperti enzim (Risnoyatiningsih, 2011).

Menurut Hobbs (2009), reaksi antara enzim dan substrat adalah sebagai berikut:



E adalah enzim, S adalah substrat, ES adalah kompleks yang terbentuk dan P adalah produk yang dihasilkan. Sebelum menjadi produk suatu reaksi terlebih dahulu akan terbentuk kompleks antara katalisator dengan substrat, yang biasa disebut kompleks enzim-substrat. Kompleks enzim-substrat ini terjadi akibat enzim pada permukaannya mempunyai bagian yang reaktif sehingga dapat mengikat substrat. Setelah kompleks terbentuk, maka ikatan di dalam substrat akan pecah menjadi beberapa bentuk hasil reaksi. Kemudian enzim dilepaskan kembali untuk selanjutnya menangkap substrat yang baru dan mengulangi seperti semula.

Enzim α -amilase (α -1,4 glukon-4-glukon hidrolase) dapat diperoleh dari *malt (barley)*, ludah manusia, pankreas, dan diisolasi dari *Aspergillus oryzae* dan *Bacillus subtilis* (pada suhu 70°C – 90°C dan pH 6-10), *Bacillus licheniformis* (pada suhu 60°C dan pH 6). (Risnoyatiningsih, 2011). Enzim α -amilase pada umumnya aktif bekerja pada kisaran suhu 25 – 95°C (Vaseekaran dkk, 2010). Beberapa enzim memerlukan aktivator dalam reaksi katalisnya. Aktivator adalah senyawa atau ion yang dapat menaikkan kecepatan reaksi enzimatik mencegah adanya inhibitor, inhibitor adalah senyawa atau ion yang dapat menghambat aktivitas enzim (Soeka, 2016). Pada umumnya α -amilase adalah metaloenzim yang membutuhkan ion kalsium (Ca^{2+}) untuk aktivitas, integritas struktur dan stabilitasnya (Ginting, 2009).

Cara kerja α -amilase pada molekul amilosa terjadi 2 tahap yaitu:

- a. Degradasi amilosa menjadi maltosa dan maltotriosa yang terjadi secara acak. Degradasi ini terjadi sangat cepat dan diikuti dengan menurunnya viskositas dengan cepat pula.
- b. Relatif sangat lambat yaitu pembentukan glukosa dan maltosa sebagai hasil akhir yang terjadi secara tidak acak. Sedangkan cara kerja α -amilase pada molekul amilopektin akan menghasilkan glukosa, maltosa, dan α -limit dextrin. (Winarno, 2010)

Proses hidrolisis pada pembuatan maltodekstrin berhenti hanya sampai likuifikasi terjadi pemecahan ikatan α -1,4-glikosidik oleh enzim α -amilase pada bagian dalam rantai polisakarida secara acak sehingga dihasilkan glukosa, maltosa, maltodekstrin, dan α -limit dekstrin. (Winarno, 2010). Maltodekstrin mempunyai rumus empiris $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n \text{H}_2\text{O}$. Penambahan HCl setelah proses dekstrinasi/gelatinisasi bertujuan untuk inaktivasi enzim, kemudian larutan maltodekstrin dinetralkan dengan penambahan NaOH dan diperoleh maltodekstrin dengan DE <20.

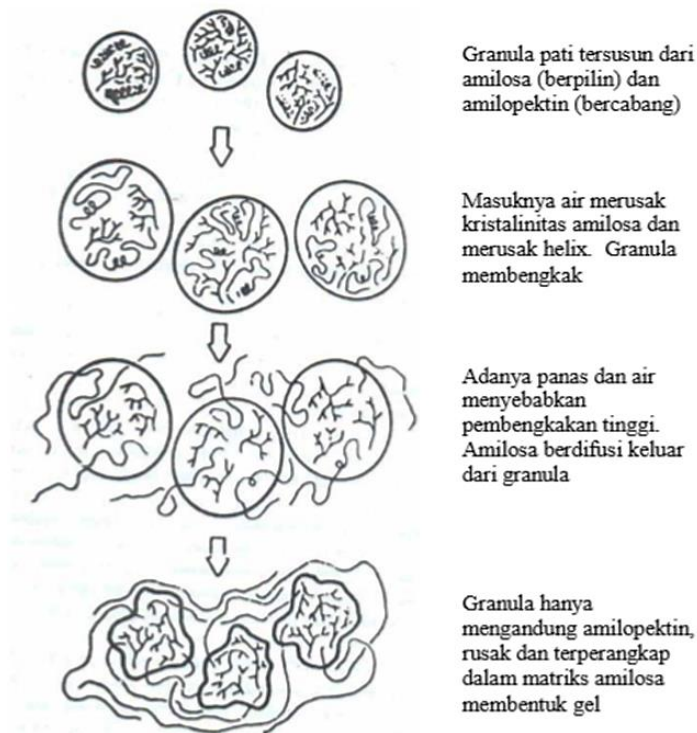
1) Gelatinisasi

Gelatinisasi pati dapat didefinisikan sebagai pembengkakan granula pati sebagai akibat dari difusi air dalam jumlah banyak pada suhu tertentu (suhu gelatinisasi) membentuk pasta/gel dan terjadi perubahan bentuk kristal. Granula pati secara alami memiliki bentuk semi kristalin. Saat granula pati dipanaskan, maka Kristal pati meleleh dan berubah bentuk menjadi amorphous. Perubahan bentuk Kristal tersebut merupakan titik terjadinya gelatinisasi. Perubahan bentuk pati tersebut bersifat irreversible, artinya granula pati tersebut tidak dapat kembali menjadi granula pati seperti semula yang berbentuk Kristal (Rauf, 2015).

Mekanisme gelatinisasi pada dasarnya terdiri dari tiga tahap, yaitu:

- a. Penyerapan air oleh granula pati sampai batas yang akan mengembang secara lambat, dimana air secara perlahan-lahan dan bolak-balik berimbibisi ke dalam granula, sehingga terjadi pemutusan ikatan hidrogen antara molekul-molekul granula.
- b. Pengembangan granula secara cepat karena menyerap air secara cepat sampai kehilangan sifat *birefringence*-nya dan
- c. Granula pecah jika cukup air dan suhu terus naik sehingga molekul amilosa keluar dari granula (Kusnandar, 2010).

Mekanisme gelatinisasi dapat dilihat pada Gambar 7.4.

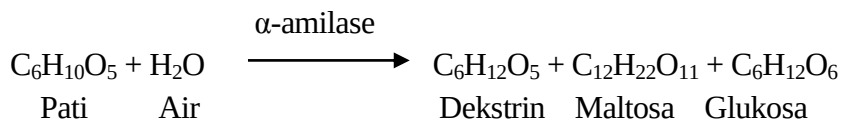


Gambar 7.4 Mekanisme gelatinisasi (Kusnandar, 2010)

2) Likuifikasi

Likuifikasi merupakan proses pencairan gel pati untuk memperoleh viskositas yang lebih rendah dengan cara menghidrolisis pati menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana yaitu oligosakarida atau dekstrin melalui bantuan enzim α -amilase. Proses ini diawali dengan gelatinisasi pati atau pemanasan granula pati dengan air hingga mengembang dan rusak. Proses likuifikasi berakhir ditandai dengan larutan menjadi encer.

Reaksi :



Gambar 7.5 Proses dekstrinasi (Sumber: Robi'a, 2015)

Maltodekstrin merupakan salah satu produk turunan pati yang dihasilkan dari proses hidrolisis parsial oleh enzim α -amilase yang memiliki nilai *Dekstrose Equivalent* (DE) kurang dari 20. Kecepatan hidrolisis pati dapat dinyatakan dalam nilai DE (*dextrose equivalent*), yaitu nilai gula reduksi yang terbentuk, dinyatakan dalam bentuk dekstrosa. Nilai DE dapat menunjukkan jumlah ikatan glikosidik yang telah dihidrolisis dari seluruh molekul pati. Nilai DE hasil hidrolisa ditentukan oleh lama waktu hidrolisa, konsentrasi enzim yang digunakan dan suhu hidrolisa, makin lama waktu hidrolisa, makin besar konsentrasi enzim dan makin tinggi suhu hidrolisa maka nilai DE semakin tinggi.

DE (*dextrose equivalent*) maltodekstrin (11-20) lebih besar daripada DE dekstrin (1-10), sehingga akan mempengaruhi kadar air, waktu larut, rendemen, warna dan higroskopisitas dari tablet yang dihasilkan. Menurut Rowe *et al* (2009) Maltodekstrin dapat membentuk film yang melindungi dari pengaruh oksidasi dan mempunyai daya ikat yang baik. Maltodekstrin lebih kuat mengikat senyawa *volatile* dengan memerangkap molekul-molekul *flavor* dalam struktur spiral helix yang dimilikinya. Proses pembuatan maltodekstrin dapat dilihat pada Gambar 7.5.

Tabel 7.2 Perbandingan Pati Berbagai Komoditas

Jenis Pati	Kadar Pati	Kadar Amilosa	Swelling Power	Solubility	Viskositas
Pati Talas	75,88%	23,94%	3,2348 g/g	10,1468 %	520 Cp
Pati Singkong	72,17%	17%	28,70 g/g	29,71%	400 Cp
Pati Ubi Jalar Oranye	84,95%	27,72%	4,19 g/g	7,75%	2684 Cp

Sumber: Wijana dkk., 2006; Thomas DJ *et al.*, 1999

➤ Sifat Maltodekstrin

Maltodekstrin pada dasarnya merupakan senyawa hasil hidrolisis pati yang tidak sempurna atau disebut hidrolisis parsial, yang terdiri dari campuran gula-gula dalam bentuk sederhana (mono- dan disakarida) dalam jumlah kecil, oligosakarida dengan rantai pendek dalam jumlah relatif tinggi serta sejumlah kecil oligosakarida berantai panjang.

Tabel 7.3 Spesifikasi Maltodekstrin

Kriteria	Spesifikasi
Kenampakan	Bubuk putih agak kekuningan
Bau	Bau seperti maltodekstrin
Rasa	Kurang manis, hambar
Kadar air	6%
DE (<i>Dextrose Equivalent</i>)	≤ 20
pH	4,5-6,5
<i>Sulfated ash</i>	0,6% (maksimum)
<i>Total Plate Count (TPC)</i>	1500/g

Sumber: Blancard dan Katz, 1995

➤ *Dextrose Equivalent*

Dextrose Equivalent (DE) adalah besaran yang menyatakan nilai total pereduksi pati atau produk modifikasi pati dalam satuan persen. DE berhubungan dengan Derajat Polimerisasi (DP) (Kuntz, 1997). DP menyatakan jumlah unit monomer dalam satu molekul.

$$DE = \frac{100}{DP}$$

Secara komersial penggunaan pati dipengaruhi oleh nilai DE. Semakin besar DE berarti semakin besar juga persentase pati yang berubah menjadi gula pereduksi. Harga DE mempengaruhi karakteristik maltodekstrin (Kuntz, 1997).

Jika harga DE tinggi maka harga *hygroscopicity*, *plasticity*, *sweeteness* dan *solubility* juga tinggi. Selain itu pati akan lebih mudah mengalami proses browning. Namun jika harga DE turun, yang akan meningkat adalah berat molekul, *viscosity*, *cohesiveness*, dan *film-forming properties*. Selain itu, harga DE yang rendah mengakibatkan pembentukan kristal gula yang besar dapat dicegah.

D. Maltodekstrin dari Umbi Kimpul dan Talas

Proses modifikasi pati untuk memproduksi maltodekstrin dapat dilakukan dengan katalis asam dan atau enzim. Metode hidrolisis menggunakan asam memiliki kelemahan diantaranya tidak ramah lingkungan, karena residu yang dihasilkan dari proses hidrlisis asam akan mencemari lingkungan. Oleh karena itu modifikasi menggunakan enzim lebih baik, karena memiliki keunggulan dibandingkan dengan hidrolisis menggunakan asam. Proses hidrolisis pati secara enzimatik juga lebih ekonomis, dapat dilakukan pada suhu rendah, dan mudah dalam pengontrolan hidrolisisnya. Proses hidrolisis pati dengan enzimatis dilakukan melalui tiga tahapan yaitu gelatinisasi, liquifikasi dan sakarifikasi. Secara umum, pembuatan maltodekstrin berlangsung pada proses liquifikasi. (Sadegh *et al* 2008 dalam Laga dkk (2013).

Salah satu faktor yang mempengaruhi reaksi katalik enzim produk maltodekstrin adalah besar konsentrasi substrat yang akan digunakan. Substrat dengan konsentrasi rendah menyebabkan enzim tidak semuanya berikatan dengan substrat, sehingga kecepatan maksimum tidak dapat tercapai. Sebaliknya pada substrat konsentrasi tinggi, semua molekul enzim dapat membentuk ikatan kompleks dengan substrat, sehingga kecepatan reaksi katalik menjadi lebih lama.

Enzim atau biokatalisator adalah katalisator organik yang dihasilkan oleh sel. Enzim sangat penting dalam kehidupan, karena semua reaksi metabolisme dikatalis oleh enzim. Jika tidak ada enzim, atau aktivitas enzim terganggu maka reaksi metabolisme sel akan ter-

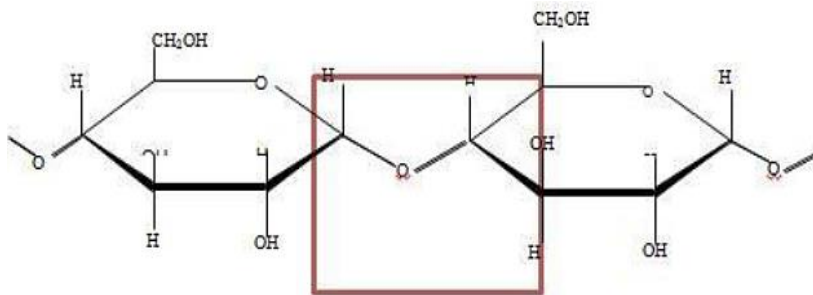
hambat hingga pertumbuhan sel juga terganggu. enzim merupakan senyawa protein kompleks yang dihasilkan oleh sel-sel organisme dan berfungsi sebagai katalisator suatu reaksi kimia. Kerja enzim sangat spesifik, karena strukturnya hanya dapat mengkatalis satu tipe reaksi kimia saja dari suatu substrat, seperti hidrolisis, oksidasi dan reduksi.

Amilase adalah enzim yang dapat mengubah pati menjadi gula. Enzim ini dapat dihasilkan didalam tubuh manusia, yaitu pada kelenjar ludah dan pancreas. Tumbuhan dan beberapa jenis bakteri juga dapat memproduksi enzim amilase. Enzim α -amilase merupakan kelompok metaloenzim yang tidak dapat bekerja sama sekali bila tidak ada ion calcium (*Calcium metalloenzyme dependent*).

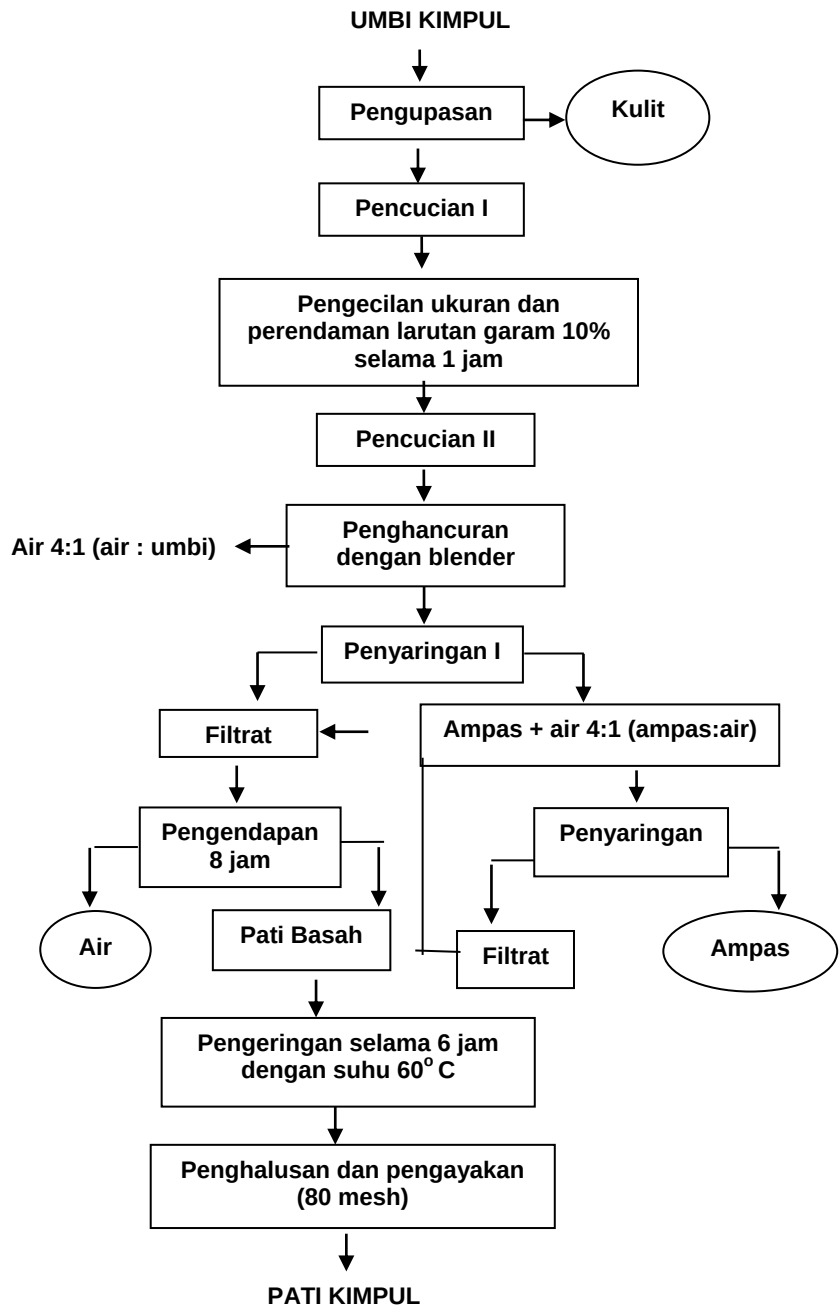
Nama lain α -amilase adalah 1,4- α - D-glucan glucanohydrolase atau biasa juga disebut *glycogenase*. α -amilase adalah jenis enzim amylase terbesar yang terkandung dalam tubuh manusia dan mamalia lain. Selain itu, α -amilase juga dapat ditemukan pada tumbuhan (*barley*), jamur (*ascomycetes* dan *basidiomycetes*) dan bakteri (*bacillus*). Enzim α -amilase umumnya diisolasi dari *Bacillus amyloquefaciens*, *Bacillus slicheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Aspergillus oryzae* dan *A. niger* (Chafid dan Galuh, 2013). Enzim α -amilase bekerja dengan memutus ikatan α -1,4 glikosidik pada rantai lurus amilum sehingga menghasilkan glukosa dalam konfigurasi alpha, maltosa dan dekstrin (Jayanti, 2011). Enzim α -amilase yang diproduksi dari *Aspergillus oryzae* bekerja secara optimum pada suhu 55°C (Farid dan Shata, 2011). Kisaran pH optimum untuk enzim α - amilase berkisar antara 4,5 – 6,5 dan dengan kisaran suhu optimum 40 - 60°C (Winarno, 2010).

Cara kerja α -amilase terjadi melalui dua tahap yaitu pertama degradasi amilosa menjadi maltose dan maltotriosa yang terjadi secara acak. Degradasi ini sangat cepat dan diikuti dengan menurunnya viskositas dengan cepat. Tahap kedua relatif lambat yaitu pembentukan glukosa dan maltose sebagai hasil akhir secara tidak acak. Keduanya merupakan kerja enzim α -amilase pada molekul amilosa

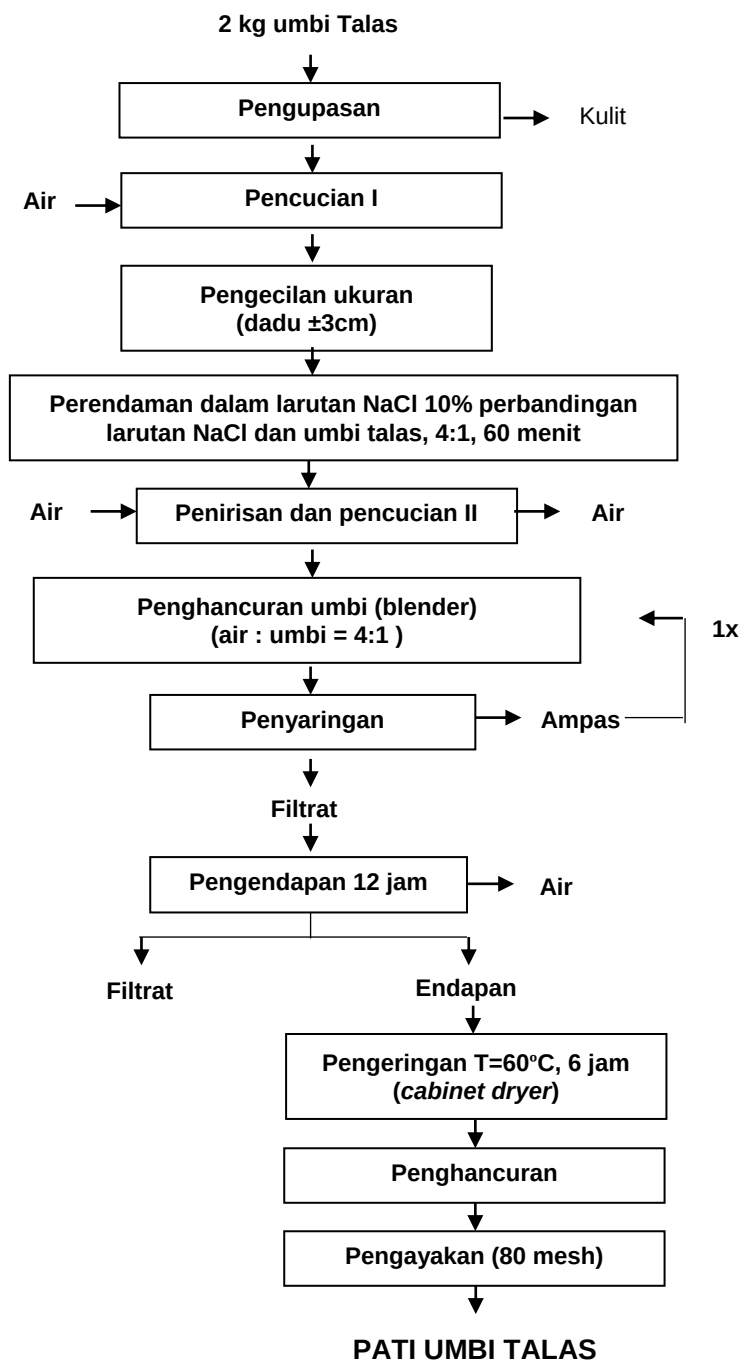
saja. Kerja α -amilase pada molekul amilopektin akan menghasilkan glukosa, maltose, dan berbagai jenis limit dekstrin yaitu oligosakarida yang terdiri dari empat atau lebih residu gula yang semuanya mengandung α -1,6- glikosidik (Jayanti, 2011). Reaksi ikatan α 1,4 glikosida yang diputus oleh enzim α -amilase dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 7.6 Reaksi Ikatan α 1,4 glikosida yang diputus oleh Enzim α -amilase (Sumber: Devita, 2013)



Gambar 7.7 Diagram Pembuatan Pati Kimpul (Widiawan dkk, 2012)



Gambar 7.8 Pembuatan Pati dari Ubi Talas

$$\text{HO} - \left[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_5 - \text{O} - \left(\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_5 \right)_x - \text{O} - \text{C}_6\text{H}_7\text{O}_5 \right]_y - \text{H}$$

Sumber: Meriatna (2013)

Maltodekstrin digunakan pada proses enkapsulasi untuk melindungi senyawa volatile, melindungi senyawa yang peka terhadap oksidasi maupun panas, maltodekstrin dapat melindungi stabilitas flavour selama proses pengeringan. Penggunaan maltodekstrin berdasarkan nilai DE (*Dextrose Equivalen*) dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 7.4 Penggunaan maltodekstrin berdasarkan nilai DE

Nilai DE (<i>Dextrose Equivalen</i>)	Aplikasi Penggunaanya
2-5	Pengganti lemak susu didalam makanan pencuci mulut, yogurt.
9-12	Produk Eskrim, Penyalut
15-20	Bahan tambahan margarine dan produk berkalori tinggi.

Sumber: Subekti (2008)

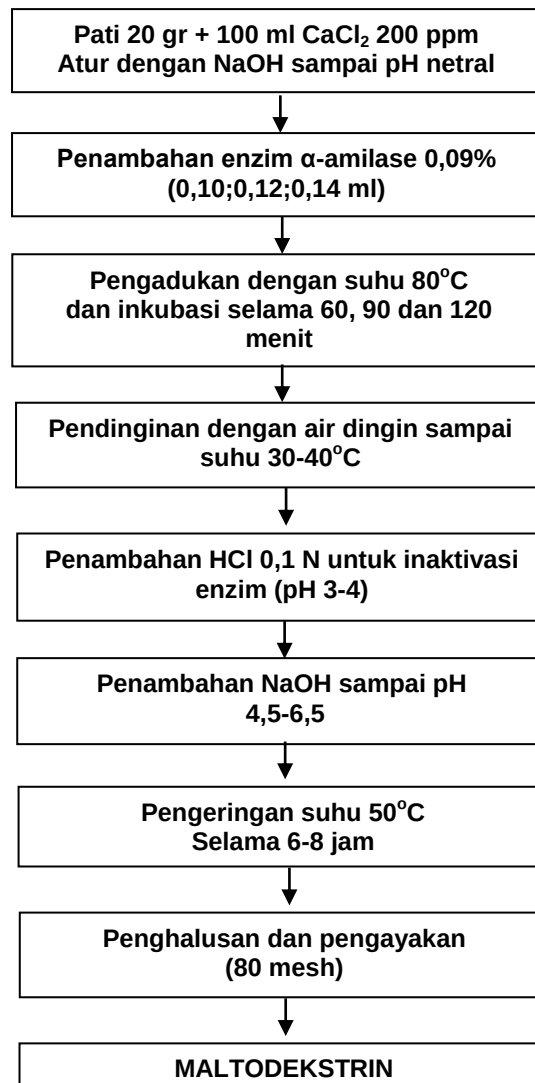
Maltodekstrin merupakan bahan pengikat yang baik karena menghasilkan viskositas yang rendah pada total padatan yang tinggi. Hal tersebut akan memudahkan dalam proses pengeringan dan akan menghasilkan rendemen yang tinggi. Semakin banyak maltodekstrin yang digunakan, maka semakin besar pula rendemen yang dihasilkan. Maltodekstrin dideskripsikan oleh DE (*Dextrose Equivalent*). Semakin tinggi nilai DE maka daya larut dalam airnya juga akan semakin tinggi. Hal ini berkaitan dengan komposisi polimer pati dalam maltodekstrin. Nilai DE yang tinggi menunjukkan jumlah polimer rantai panjang dan bercabang semakin sedikit, sehingga semakin mudah terhidrolisis dan larut dalam air (Kania, 2015). Spesifikasi maltodekstrin dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 7.5 Spesifikasi Maltodekstrin

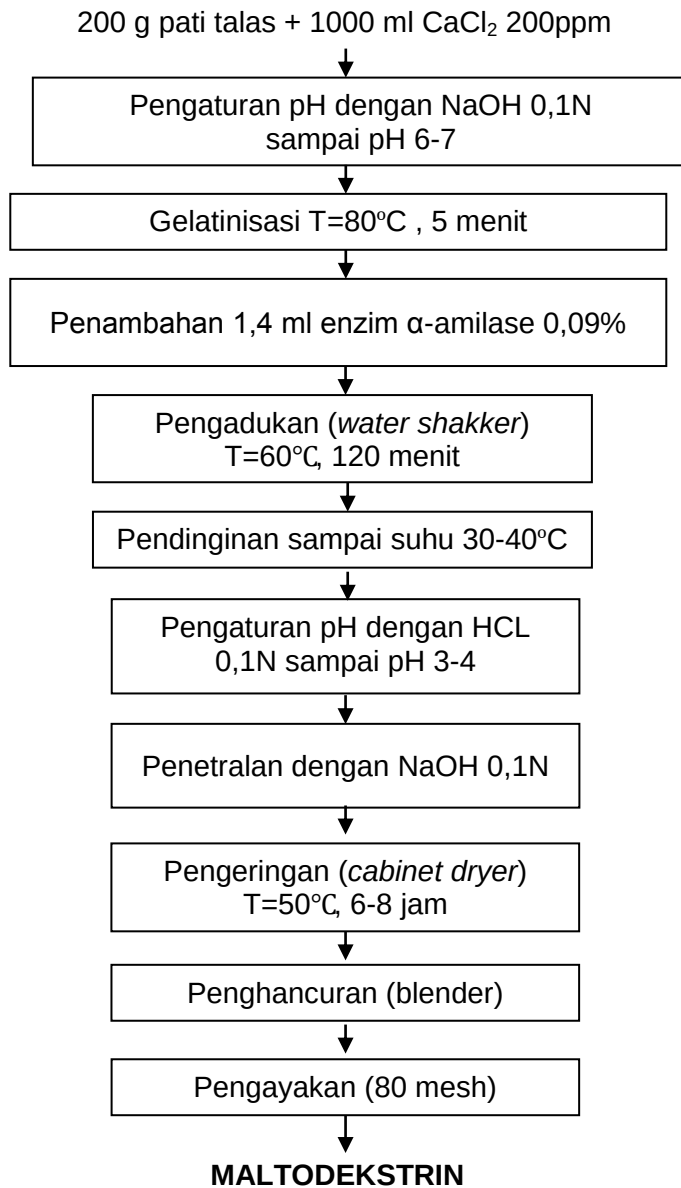
Kriteria	Spesifikasi
Penampakan visual	Serbuk putih
Bau	Tidak berbau
Kadar abu (%)	$\leq 0,06$
Kadar air (%)	6
DE (<i>Dextrose Equivalent</i>)	≤ 20
pH	4 – 6,5

Sumber: Hamburg Fructose (2014) dalam Riezki (2018)

Maltodekstrin memiliki sifat yang tidak berasa dan dikenal sebagai bahan tambahan makanan yang aman. Maltodekstrin lebih mudah larut daripada pati, maltodekstrin juga memiliki rasa yang enak dan lembut. Maltodekstrin banyak digunakan pada industri makanan, seperti minuman susu bubuk, minuman berenergi dan minuman prebiotik.



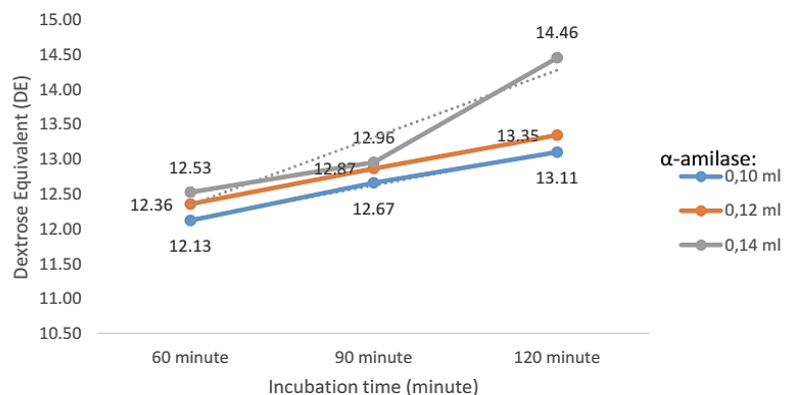
Gambar 7.10 Proses pembuatan Maltodesktrin dari Pati Kimpul



Gambar 7.11 Proses Pembuatan Maltodekstrin dari Pati Talas

Pati termodifikasi dengan volume enzim α -amilase 0,14 ml dan lama inkubasi 120 menit merupakan perlakuan optimal dengan kadar air 4,512%, DE 14,460, kelarutan 78,900%, kadar gula reduksi 12,500%, kadar pati 4,245%, kadar amilosa 1,952%, *swelling power* 8,865 (g/g) dan rendemen 96,850.

Nilai rata-rata DE hidrolisis pati kimpul metode enzimatis berkisar antara 12,125 – 14,460. DE tertinggi dihasilkan pada hidrolisis pati kimpul metode enzimatis dengan perlakuan penambahan enzim α -amilase 0,14 ml dan lama inkubasi 120 menit sebesar 14,460.



Gambar 7.12 Nilai *Dekstrose equivalent* (DE) Maltodekstrin Kimpul

Penambahan enzim α -amilase semakin banyak dan semakin lama inkubasi maka DE akan semakin besar. Hal ini disebabkan semakin banyak enzim α -amilase yang ditambahkan semakin banyak pati yang diubah menjadi glukosa, maka semakin meningkat kadar glukosanya. Hal ini disebabkan semakin banyak konsentrasi enzim yang ditambahkan, pati yang dipecah dan terhidrolisis juga semakin banyak sehingga gula sederhana yang dihasilkan juga semakin banyak. Semakin banyak ikatan glikosidik yang bisa dipecah akan menyebabkan kadar gula reduksi meningkat. Demikian juga semakin lama inkubasi yang dilakukan, semakin banyak substrat yang dapat dihidrolisis oleh enzim dan menghasilkan gula reduksi yang dapat meningkatkan nilai DE.

Hal ini didukung Cui (2005), selama hidrolisis enzim α -amilase memecah ikatan glikosidik dan memperpendek rantai. Hidrolisis dengan enzim α -amilase terdiri dari dua tahap penyerangan granula. Pada tahap awal, terjadi serangan cepat pada daerah amorf pati yang mengandung ikatan α -1,6. Hidrolisis berjalan lebih lambat pada daerah kristal selama tahap kedua. Hidrolisis memproduksi glukosa bebas yang tinggi yang menyebabkan besarnya nilai DE.

Molekul pati yang bereaksi dengan amilase akan menyebabkan proses hidrolisis terjadi. Amilase memotong secara acak bagian dalam molekul pati seperti itu enzim. Dekstrinasi akan terjadi di awal dan terjadi secara terus-menerus yang mengakibatkan maltosa akan terakumulasi, di mana salah satu molekul glukosa memiliki kelompok glukosida bebas yang memiliki sifat mereduksi sehingga nilai DE semakin meningkat. Nilai DE maltodekstrin yang dihasilkan pada penelitian ini adalah sekitar 12-14. Menurut Dewan Standarisasi Nasional (1992) untuk produk dekstrin, nilai DE yang dihasilkan memenuhi syarat batas nilai DE maksimal yaitu 20.

Kadar gula reduksi hidrolisis pati kimpul metode enzimatis berkisar antara 11,463-12,743%. Kadar gula reduksi tertinggi dari dekstrin dihasilkan pada hidrolisis pati kimpul menggunakan enzim α -amilase 0,14 ml sebesar 12,743%. Semakin tinggi penambahan enzim α -amilase semakin tinggi kadar gula reduksi. Hal ini disebabkan semakin banyak enzim α -amilase yang ditambahkan semakin banyak pati yang terikat pada enzim dan kemudian di hidrolisis menjadi gula-gula yang lebih sederhana.

Tabel 7.6 Gula reduksi dan DE (*dekstrose equivalent*) maltodekstrin sagu

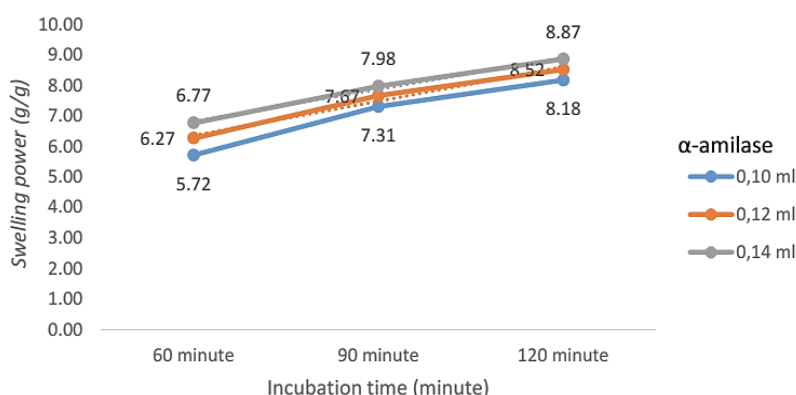
Perlakuan	Gula reduksi (ppm)	DE(%)
10% 0.05 ml/100 ml	1960 ± 127,28	0,85
10% 0.1 ml/100 ml	3135 ± 120,21	1,47
20% 0.05 ml/100 ml	2840 ± 113,14	0,93
20% 0.1 ml/100 ml	2770 ± 367,70	0,85
30% 0.05 ml/100 ml	2725 ± 49,50	1,32
30% 0.1 ml/100 ml	2920 ± 56,57	0,73

Sumber: Derosya dan Kasim (2017)

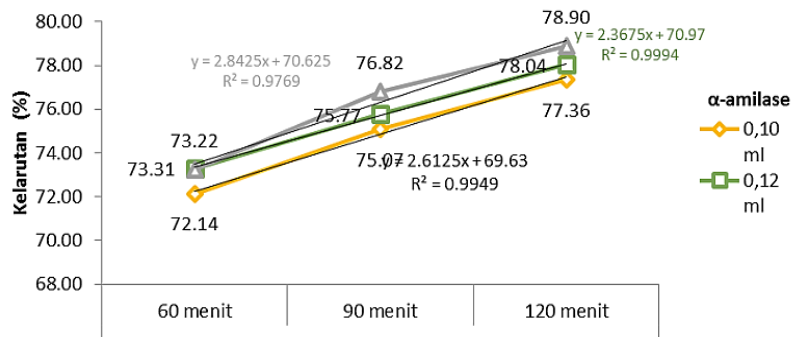
Pati dapat dipecah menjadi unit-unit yang lebih kecil yaitu dengan memotong ikatan-ikatan glikosidiknya. Salah satu enzim yang dapat memotong ikatan tersebut adalah enzim α - amilase. α - amilase adalah endo enzim yang kerjanya memutus ikatan α - 1,4 secara acak di bagian dalam molekul baik pada amilosa maupun pada amilopektin. Sifat dan mekanisme kerja enzim α - amilase tergantung pada sumbernya. Umumnya α - amilase memotong ikatan di bagian tengah rantai sehingga menurunkan kemampuan pati mengikat zat warna iodium. Hidrolisis dengan α - amilase menyebabkan amilosa terurai menjadi maltosa dan maltotriosa. Pada tahap selanjutnya maltotriosa terurai kembali menjadi maltosa dan glukosa (Walker dan Whelan, 1960).

Peningkatan gula pereduksi akan mencapai titik batas, setelah titik itu terlampaui maka tidak akan terjadi perubahan nilai gula pereduksi yang lebih tinggi lagi meskipun konsentrasi enzim ditambahkan dan waktu likuifikasi diperpanjang. Hal ini terjadi karena sisi aktif enzim telah jenuh oleh substrat sehingga tidak ada lagi substrat yang dapat melekat pada sisi aktif. Menurut Lehninger (1997), batas tersebut disebut sebagai kecepatan maksimum yaitu kecepatan ketika enzim telah jenuh dengan substrat. Pada saat tercapai kecepatan maksimum semua enzim terdapat dalam kom-

pleks enzim substrat. Penurunan kadar gula reduksi pada saat lama hidrolisis di perpanjang dapat disebabkan terjadinya transglukosidase. Transglukosidase dapat menurunkan produksi glukosa dengan membentuk oligosakarida. Oligosakarida ini sangat resisten terhadap hidrolisis sehingga dapat menurunkan kadar gula reduksi. Peningkatan nilai gula pereduksi akan mencapai titik batas, setelah titik itu terlampaui maka tidak akan terjadi perubahan nilai gula pereduksi yang lebih tinggi lagi meskipun konsentrasi enzim ditambahkan dan waktu likuifikasi diperpanjang. Hal ini terjadi karena enzim telah jenuh oleh substrat sehingga tidak ada lagi substrat yang dapat diubah menjadi gula pereduksi. Batas tersebut disebut sebagai kecepatan maksimum yaitu kecepatan ketika enzim telah jenuh dengan substrat.



Gambar 7.13 Swelling power Maltodekstrin dari Umbi Kimpul.



Gambar 7.14 Kelarutan Maltodekstrin dari Umbi Kimpul

Enzim α -amilase semakin banyak dan semakin lama waktu inkubasi akan semakin banyak pati yang dihidrolisis menjadi gula-gula sederhana melalui perombakan enzim α -amilase yang didukung oleh waktu inkubasi yang mempercepat kinerja enzim yang menyebabkan ukuran molekul menurun akibat terdegradasinya pati menjadi maltosa dan glukosa sehingga mudah larut. Semakin lama proses hidrolisa, semakin banyak pula senyawa amilopektin yang tereduksi sehingga maltodekstrin yang dihasilkan semakin mudah larut dalam air. Hal ini menyebabkan kenaikan harga kelarutan (% *solubility*). Kelarutan maltodekstrin memiliki nilai yang lebih besar diakibatkan Struktur fisika dan kimia dari pati modifikasi yang terdegradasi menjadi glukosa, maltosa dan oligosakarida, meningkatkan kelarutan maltodekstrin.

RANGKUMAN

Modifikasi pati secara enzimatik dilakukan dengan menambahkan enzim untuk memecah rantai pada pati baik amilosa maupun amilopektin. Enzim yang memecah pati berasal dari berbagai jenis enzim *amylase* baik yang bersumber dari tanaman maupun jaringan mamalia. Enzim dapat juga diisolasi dari *Aspergillus oryzae* dan *Bacillus subtilis*. Kecepatan enzim untuk memecah atau meng-

hidrolisis akan meningkat apabila tingkat polimerisasi menurun, dan laju hidrolisis akan lebih cepat pada rantai lurus, sehingga hidrolisis terhadap amilosa lebih cepat dibanding hidrolisis terhadap amilopektin.

Modifikasi pati dengan enzim biasanya menggunakan beberapa jenis enzim seperti enzim α -amilase yang dapat menghasilkan pati dengan kekentalan lebih stabil pada suhu panas maupun dingin serta sifat pembekuan gel yang baik. Beberapa enzim yang dapat digunakan untuk modifikasi pati secara enzimatis diantaranya yaitu enzim α -amilase, enzim *glukoamilase* dan enzim *pullulanase*.

Pertanyaan

- 1) Sebutkan enzim yang dapat digunakan dalam modifikasi pati!
- 2) Sebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim!
- 3) Bagaimana mekanisme modifikasi pati secara enzimatis?
- 4) Apa saja tahapan-tahapan hidrolisis secara enzimatis?
- 5) Bagaimana sifat pati yang dihasilkan oleh metode modifikasi secara enzimatis?

PUSTAKA

- Derosya V dan Kasim A. 2017. Optimasi produksi maltodekstrin berbasis pati sagu menggunakan α -amilase dan metode spray drying. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas* Vol. 21, No.1:28-32
- Fogarty, William M. 1983. *Microbial Enzyme and Biotechnology*. New York : Applied Science Publisher.
- Girindra, A. 1993. *Biokimia I*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 30 hal
- Judoamidjojo, R. M, Said, E. G & Hartoto, L (1989), *Biokonversi*, Depdikbud Didjen Pendidikan Tinggi. Pusat Antar Universitas Bioteknologi IPB.

- Ginting, J. 2009. Isolasi Bakteri Dan Uji Aktivitas Enzim Amilase Kasar Termofilik Dari Sumber Air Panas Semangat Gunung Kabupaten Karo, Sumatera Utara. Tesis Sekolah Pasca Sarjana. Universitas Sumatera Utara. Medan
- Hobbs L. 2009. Sweeteners From Starch: Production, Properties and Uses dalam BeMiller J, Whistler R (Ed). 2009. Starch: Chemistry and Technology. Elsevier. US
- Kennedy, J. F., Knill, C. J., and Taylor, D. W. 1995. Maltodextrin Handbook of Starch Hydrolysis Products and Their Derivatives. Blackie Academic and Professional. New York.
- Kulp K. (1975). Carbohydrases. Di dalam: Reed G, editor. Enzymes and Processing. New York (UK): Academic Press.
- Kuntz. Lynn A. 1997. Making The Most of Maltodextrins. <http://www.foodproductdesign.com>.
- Kusnandar, F. (2010). Kimia Pangan Komponen Makro. Seri 1. Dian Rakyat, Jakarta.
- Luthana, Y. K. 2008. Antioksidan Antikempal Pengawet Pewarna Makanan dan Pemanis Buatan. <http://yongkikastanyaluthana.wordpress.com/2008/12/8/antioksidan-antikempal-pengawet-pewarna-makanan-dan-pemanis-buatan/>.
- Najmi Indah. 2009. Taksonomi Tumbuhan Tingkat Rendah (Schizophyta, Thallophyta, Bryophyta, Pteridophyta). Jurusan Biologi, Fakultas MIPA IKIP PGRI Jember.
- Pelczar, M. J. dan Chan, E. C. S., 2005, “Dasar-dasar Mikrobiologi 1”, Alihbahasa: Hadioetomo, R. S., Imas, T., Tjitrosomo, S.S. dan Angka, S. L., UIPress, Jakarta
- Poedjiadi A. 1994. Dasar-Dasar Biokimia. Penerbit UI-Press: Jakarta.
- Rauf, R. 2015. Kimia Pangan. Andi: Yogyakarta. 256 hal

- Risnoyatiningsih, Sri, (2011). Hidrolisis Pati Ubi Jalar Kuning Menjadi Glukosa Secara Enzimatis. Jurnal Teknik Kimia Vol. 5, No. 2. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN “Veteran”, Surabaya.
- Robi'a; Sutrisno, Aji. 2015. Karakteristik Sirup Glukosa Dari Tepung Ubi Ungu (Kajian Suhu Likuifikasi Dan Konsentrasi α -Amilase): Kajian Pustaka. Jurnal Pangan Agroindustri Vol. 3 No 4 p.1531-1537
- Rowe, R.C., Sheskey, P.J. and Quinn M., E. (2009). Handbook of Pharmaceutical Excipients. Lexi-Comp: American Pharmaceutical Association, Inc. Page 418, 685.
- Soeka YS (2016) Karakterisasi bakteri penghasil α -amilase dan identifikasi isolat C2 yang diisolasi dari terasi curah Samarinda, Kalimantan Timur. Berita Biologi 15: 185–193. doi: 10.14203/beritabiologi.v15i2.2290
- Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. (2006). Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review. BioResources, 2(3), 472-499.
- Sukatiningsih. 2005. “Sifat Fisikokimia dan Fungsional Pati Biji Kluwih (*Actocarpus communis* G.Forst). Jurnal Teknologi Pertanian Vol. 6 No. 3. Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.
- Thomas A.N.S. 1989. Tanaman Obat Tradisional. Yogyakarta: Kanisius. 3:60-65
- Thomas, D.J., dan Atwell, W.A., 1999. “Starches-Practical Guides For The food Industri”, EaganPress Handbook Series. USA
- Wang, et al. (2009). “Utilisation of Potato Leaves and Organophilic Montmorillonite for the Preparation of Superabsorbent Composite under Microwave Irradiation”. Polymers & Polymer Composites, Vol. 17, No. 7, 2009.

- Wijana, S., I. Santosa dan Noviani, 2006. Analisis Kelayakan Finansial Substitusi Gaplek sebagai Bahan Baku Industri Tapioka pada Skala Kecil. Jurnal Agritek Vol. 14 (4) : 969-975.
- Winarno. (1983), Buku Seri Teknologi Pangan, Direktorat Pengembangan Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Institut Pertanian Bogor
- Winarno, F.G. 2010. Enzim Pangan. Bogor: M-Brio Press

8.

PENGGUNAAN TEPUNG DAN PATI TERMODIFIKASI PADA BEBERAPA PRODUK PANGAN

Capaian Pembelajaran :

1. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan beberapa produk modifikasi pati;
2. Dengan mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan peran pati termodifikasi pada produk pangan;

Di bidang pangan, pati termodifikasi banyak digunakan dalam pembuatan *salad cream*, *mayonnaise*, saus kental, jeli, *marmalade* (selai), produk-produk konfesoneri (permen coklat dan lain-lain), pengganti *gum arab*, *lemon curd* dan lain-lain. Di bidang non pangan banyak digunakan pada industri kertas, industri tekstil, bahan bangunan dan penggunaan lain misal sebagai bahan pencampuran dan pelarut insektisida dan fungisida (Koswara, 2009).

Teknik modifikasi yang banyak dilakukan, antaranya adalah modifikasi secara fisik, kimia dan enzimatis. Modifikasi juga dapat dilakukan secara kombinasi misalnya modifikasi ikatan silang dan substitusi (Kusnandar, 2010).

Pemakaian produk-produk modifikasi pati dalam industri adalah sebagai berikut (Tjokroadikoesoemo, 1986 dalam Koswara 2009);

- 1) *Thin boiling starch* terutama digunakan dalam pembuatan *gypsum wallboard* dan juga digunakan *gumdrop candies* serta *sizing tekstil*.
- 2) Pati teroksidasi, pemakaian terbesarnya adalah pada pabrik kertas kualitas tinggi.
- 3) Pati ikatan silang dimana pati ini memiliki banyak kegunaannya, dalam industri kertas pati ini dicampur dalam *pulp* sehingga kertas yang dihasilkan lebih kuat. Sebagian pati ini diguna-

kan dalam pembuatan makanan instant, misalnya puding dan sebagai kontrol terhadap viskositas lumpur pemboran.

- 4) Pati ikatan silang, digunakan dalam bahan pangan sebagai *peifiling*, pengalengan sop, *gravy*, saus kegunaannya dalam penyia-pan pangan lain seperti untuk pembuatan makanan bayi dan *salad dressing*.

Penggunaan di luar pangan:

- 1) Sangat beraneka ragam termasuk di dalamnya memberi sifat kedap air pada kotak kotak kardus, sizing tekstil dan kertas.
- 2) Turunan-turunan pati, seperti pati kationik dalam pabrik kertas dipergunakan untuk aditif dan sebagai emulsifier pati hidroksi alkil banyak digunakan untuk *surface sizing* pada kertas dan untuk *paper coating* dan beberapa penggunaan lainnya.

Tabel 8.1 Tipe Pati Termodifikasi

No	Tipe Pati	Sifat	Pemanfaatan
1	Pati Prigelatinisasi	Larut dalam air dingin, bahan pengisi	Sup instan, puding instan, saus campuran bakery, makanan beku
2	Pati Hidrolisis Asam	Viskositas rendah, retrogradasi tinggi, gel kuat	Gum, permen, formulasi pangan cair
3	Dekstrin	Bahan pengikat, enkapsulasi	Permen, pengembang, perisa, rempah dan minyak
4	Pati Teroksidasi	Stabilizer, perekat, pengegel, penjernih	Formulasi pangan, gum, permen
5	Pati eter	Stabilizer	Sup, puding, makanan beku
6	Pati ester	Stabilizer, bahan pengisi, bahan penjernih	Permen, emulsi
7	Pati Reaksi Silang	Bahan pengisi, stabilizer, penentu tekstur	Pengisi pie, roti, makanan beku, bakery, puding, makanan instan, sup, saus salad

Sumber: (Hustiany, 2006)

A. Tepung MOCAF

Salah satu pati modifikasi yang saat ini sedang komersial di pasaran ialah MOCAF (*Modified Cassava Flour*). MOCAF merupakan tepung termodifikasi yang pembuatannya berasal dari singkong yang difermentasi menggunakan bakteri asam laktat untuk menghasilkan karakteristik fisik dan kimia yang lebih baik dari tepung alami (Subagyo, 2006).

MOCAF dapat digolongkan sebagai produk olahan *edible cassava* yang dapat dimakan. Oleh karena itu, syarat mutu MOCAF dapat mengacu kepada CODEX STAN 176-1989 (Rev.1–1995) tentang *edible cassava flour*. Selain itu, tepung Mocaf memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan jenis tepung lainnya, diantaranya:

- 1) Kandungan serat terlarut lebih tinggi daripada tepung galek, bahkan dibandingkan dengan tepung terigu yang terbuat dari gandum sekalipun, kandungan serat dari tepung mocaf mempunyai nilai serat yang lebih tinggi. Dimana hal ini sangat baik untuk melancarkan pencernaan, dan metabolisme tubuh.
- 2) Kandungan kalsium lebih tinggi dibanding padi /gandum,
- 3) Mempunyai daya kembang setara dengan gandum tipe II (kadar protein menengah),
- 4) Daya cerna lebih tinggi dibandingkan dengan tapioka galek
- 5) Tepung MOCAF adalah jenis tepung yang bebas dari gluten atau *gluten free*. Tidak seperti tepung terigu yang mempunyai kandungan gluten. Di mana gluten adalah salah satu pemicu dari penyakit *celiac*, dan dihindari oleh para penderita diabetes dan autisme.

B. Mie Kimpul menggunakan Tepung Kimpul termodifikasi BAL

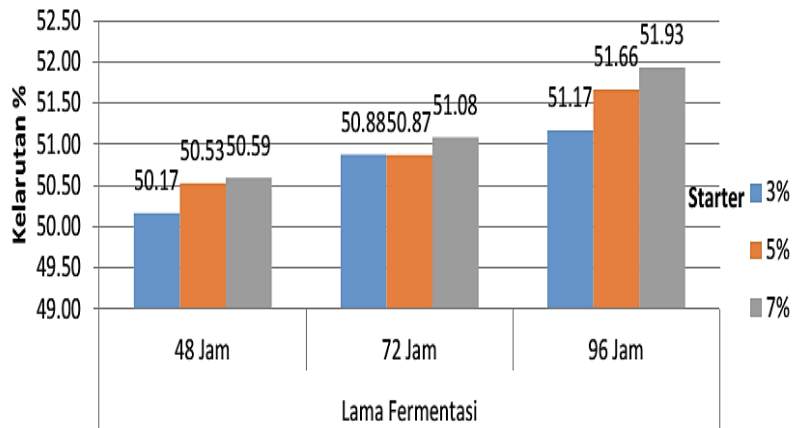
Tepung kimpul termodifikasi secara fermentasi menggunakan Bakteri Asam Laktat *L.plantarum* FNCC 0027 dengan konsentrasi starter 7% dan lama fermentasi 96 Jam memberikan hasil yang

optimal dengan karakteristik kadar air 8,28%; kadar abu 1,05%; *Swelling Power* 5,78%; kelarutan 51,93%; Warna kecerahan 87,42%; amilosa 26,28%; Pati 76,47%; Rendemen 64,62%.

Tabel 8.2 Hasil analisa tepung kimpul yang belum dimodifikasi

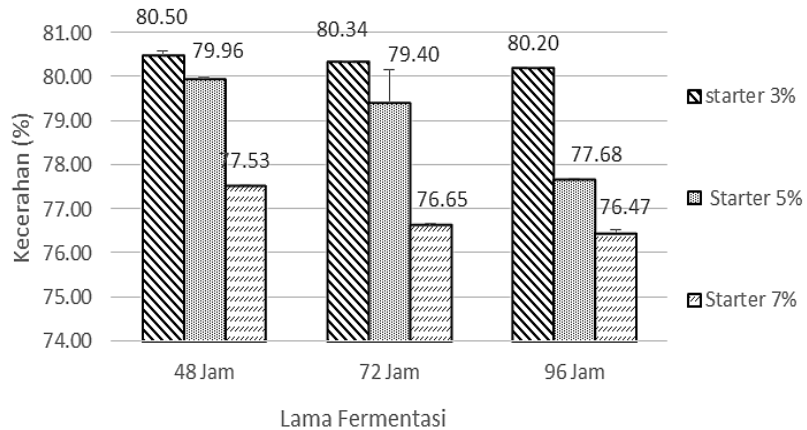
Komponen	Jumlah
<i>Swelling Power</i> (g/g)	2,56
Kelarutan (%)	47,66
Rendemen (%)	12,83
Kadar Air (%)	12,89
Kadar Abu (%)	1,28
Amilosa (%)	16,29
Pati (%)	80,730
Viscositas (cp)	-

Pada Gambar 8.1 menunjukkan semakin besar konsentrasi starter dan semakin lama fermentasi maka kelarutan tepung kimpul ter-modifikasi secara fermentasi semakin meningkat. Pada proses fermentasi terjadi kontak antara tepung kimpul dengan bakteri *L. plantarum* sehingga terjadi degradasi granula pati. Degradasi pati ini akan menghasilkan molekul yang lebih sederhana. Molekul yang sederhana ini lebih mudah larut dalam air. Lama fermentasi akan menyebabkan semakin banyak bakteri yang mendegradasi pati sehingga menyebabkan kelarutan semakin meningkat. Adanya proses pendegradasian tersebut mengakibatkan rongga menjadi porous setelah pengeringan sehingga penyerapan air semakin banyak. Hal ini dibuktikan dengan meningkatnya nilai kelarutan pada tepung sebelum dimodifikasi sebesar 47,67% yang mana nilai tersebut memiliki nilai yang lebih rendah jika dibandingkan dengan tepung yang sudah dimodifikasi dengan *L.plantarum*.



Gambar 8.1 Kelarutan tepung kimpul termodifikasi secara fermentasi

Saat fermentasi, granula pati akan terdegradasi menjadi molekul-molekul yang lebih kecil dan mudah larut dalam air. Selama proses fermentasi mikroba menghasilkan enzim selulase yang dapat mendegradasi selulosa pada dinding sel pati dan menyebabkan rusaknya dinding sel serta keluarnya granula pati. Kemudian granula pati dihidrolisis sebagian sehingga menjadi berlubang. Granula pati yang berlubang menyebabkan air dan molekul pati yang larut air (amilosa) dengan mudah keluar dan masuk ke dalam granula pati sehingga terjadi leaching amilosa. Amilosa termasuk senyawa yang bersifat polar, jadi semakin banyak komponen amilosa yang keluar, maka kelarutan semakin meningkat. Semakin kecil ukuran granula, semakin tinggi kelarutan pati. Dengan demikian, dapat membentuk ikatan hidrogen baru yang menghasilkan stabilitas granula yang lebih baik.



Gambar 8.2 Nilai kecerahan tepung kimpul termodifikasi secara fermentasi

Pada Gambar 8.2 menunjukkan semakin besar konsentrasi starter dan semakin lama fermentasi maka warna tepung kimpul termodifikasi semakin meningkat atau semakin cerah/putih. Pada perlakuan lama fermentasi 72 jam dan 96 jam memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lama fermentasi 48 jam. Meningkatkannya warna tepung kimpul termodifikasi ini disebabkan selama proses fermentasi menyebabkan terjadinya hidrolisis protein yang dapat menyebabkan warna coklat ketika pengeringan. Proses fermentasi dapat menghilangkan kadar protein sehingga dapat mengurangi pencoklatan tepung. Protein tersebut akan larut dalam air dan tepung kimpul termodifikasi yang dihasilkan menjadi lebih putih.

Tabel 8.3 Komponen Nutrisi pada tepung kimpul termodifikasi dan tepung porang

Komponen	Tepung Kimpul Termodifikasi Secara fermentasi	Tepung Porang
Kadar Air(%)	8,92	11,10
Kadar Abu(%)	1,076	3,33
Kadar Pati(%)	63,31	24,82
Kadar Amilosa(%)	22,77	19,74
Kadar Protein (%)	3,09	3,47
Kadar Glukomanan (%)	-	60,14

Produk mie dengan menggunakan tepung kimpul termodifikasi secara fermentasi menggunakan starter *Lactobacillus plantarum* FNCC 0027 dengan konsentrasi 7% selama 96 jam menghasilkan karakteristik yang cukup bagus. Hasil produk mie dengan formulasi tepung kimpul termodifikasi 85% dan tepung porang 15% serta penambahan telur 10% menghasilkan karakteristik kadar air 6,78%, kadar abu 1,77%, kadar protein 12,75%, kadar pati 63,16%, kadar amilosa 22,67%, daya rehidrasi 117,46%, *cooking loss* 8,75%, elastisitas 11,67%, 3,20 warna, 2,96 aroma, 3,00 rasa dan 3,04 tekstur.

Penambahan tepung fermentasi menghasilkan warna mie yang lebih baik (kuning cerah) dibandingkan warna mie basah tanpa penambahan tepung non fermentasi (pucat). Kecerahan warna disebabkan oleh proses fermentasi yang dapat menghilangkan kadar protein sehingga warna coklat menghilang. Protein tersebut akan larut dalam air dan tepung termodifikasi yang dihasilkan menjadi lebih putih.

Waktu dan konsentrasi starter yang tinggi pada fermentasi dapat menaikkan kadar protein pada tepung modifikasi. Kadar protein yang tinggi memberikan nilai daya putus yang tinggi pula. Hal ini dikarenakan dengan semakin tinggi kadar protein berarti semakin

panjang ikatan peptidanya, sehingga dibutuhkan energi yang lebih besar untuk memutuskan ikatan peptida tersebut.

Peningkatan kadar amilosa dapat disebabkan peningkatan konsentrasi starter yang digunakan. Kemampuan mengembang tepung sangat dipengaruhi oleh kandungan amilosa tepung pada saat fermentasi. Amilosa dapat mengikat air dengan baik sehingga semakin tinggi kadar amilosa dalam tepung maka adonan mie yang di dapat semakin mengembang. Kandungan amilosa juga memberi ketahanan tekstur yang baik, sehingga adonan tidak mudah pecah. Semakin lama fermentasi dapat menurunkan kadar air pada *cookies*. Penurunan tersebut karena selama fermentasi terjadi perubahan air terikat menjadi air bebas yang mudah menguap.

Tabel 8.4 Sifat fisik mie dari tepung kimpul termodifikasi dan tepung porang

Perlakuan T. Kimpul Termodifikasi : T. Porang (%)	Telur (%)	Pati (%)	Amilosa%	Daya dehidrasi (%)
90 : 10	5	65,32 ^e ± 0,84	23,50 ^f ± 0,05	114,56 ^a ± 0,11
	10	64,45 ^d ± 0,76	23,14 ^e ± 0,11	115,29 ^b ± 0,18
	15	64,03 ^d ± 0,24	22,79 ^{cd} ± 0,12	115,86 ^c ± 0,07
85 : 15	5	64,13 ^d ± 0,07	23,14 ^e ± 0,04	116,38 ^d ± 0,15
	10	63,16 ^{bc} ± 0,10	22,67 ^c ± 0,08	117,64 ^e ± 0,14
	15	62,59 ^b ± 0,16	22,14 ^b ± 0,18	117,91 ^f ± 0,08
80 : 20	5	63,86 ^{cd} ± 0,63	22,91 ^d ± 0,04	118,35 ^g ± 0,13
	10	62,76 ^b ± 0,10	22,26 ^b ± 0,14	119,44 ^h ± 0,20
	15	60,98 ^a ± 0,27	21,45 ^a ± 0,16	120,46 ⁱ ± 0,07

Peningkatan viskositas maksimum pada tepung fermentasi disebabkan meningkatnya kadar amilosa dan menurunnya kadar lemak selama fermentasi. Lemak akan membentuk kompleks dengan amilosa sehingga akan menghambat difusi air ke dalam granula yang akan menurunkan kemampuan mengembang dari granula pati. Adanya kompleks antara lipid dan amilosa dapat

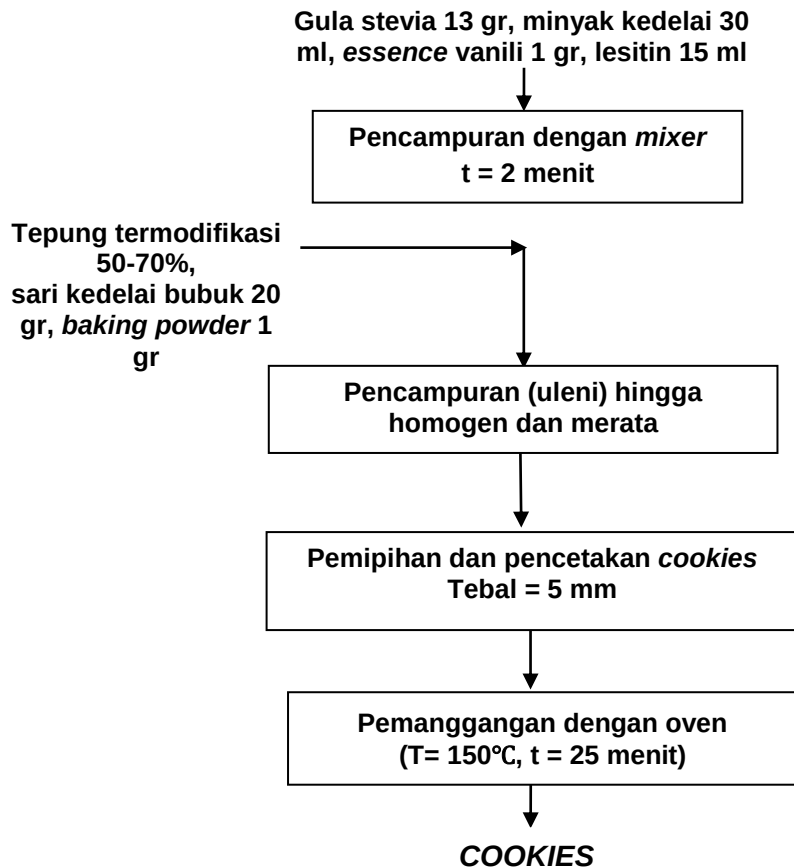
mencegah terjadinya pengembangan granula pati dengan cara menurunkan kemampuan hidrasi dari rantai amilosa. Viskositas maksimum yang tinggi menghasilkan bentuk cookies yang lebih konsisten. Bentuk *cookies* tepung non fermentasi lebih mudah rapuh dibandingkan dengan *cookies* yang dihasilkan dari tepung fermentasi.

C. Cookies Kimpul dengan Tepung Termodifikasi *Autoclaving Cooling*

Salah satu modifikasi fisik terhadap pati dapat menggunakan metode *autoclaving cooling*. Kadar pati tepung kimpul non modifikasi lebih tinggi daripada kadar pati tepung kimpul termodifikasi, sehingga modifikasi secara *autoclaving-cooling* dapat menurunkan kadar pati. Penurunan kadar total pati dapat terjadi akibat putusannya ikatan glikosidik pada fraksi pati baik pada ikatan linier α -1,4 amilosa dan ikatan percabangan α -1,6 amilopektin oleh pemanasan autoklaf. Perlakuan pemanasan bertekanan pendinginan meningkatkan jumlah pati terdegradasi sehingga menyebabkan kerusakan pada struktur fisik maupun kimia pati.

Tabel 8.5 Kandungan nutrisi tepung kimpul alami dan termodifikasi

Parameter	Tepung Kimpul	Tepung Kimpul termodifikasi <i>autoclaving cooling</i>
Kadar Air (%)	10.08	9,55
Kadar Abu (%)	1.96	2,12
Kadar Total Pati (%)	59.78	48,29
Kadar Pati Resisten (%)	4.28	4,41
Kadar Amilosa (%)	29.85	30,20
Kadar Amilopektin(%)	69.80	70,15
Kelarutan (%)	14,61	-
Swelling power (%)	22,29	-
Dekstrose Ekuivalen	4,40	-
Gula Reduksi (%)	1,54	-

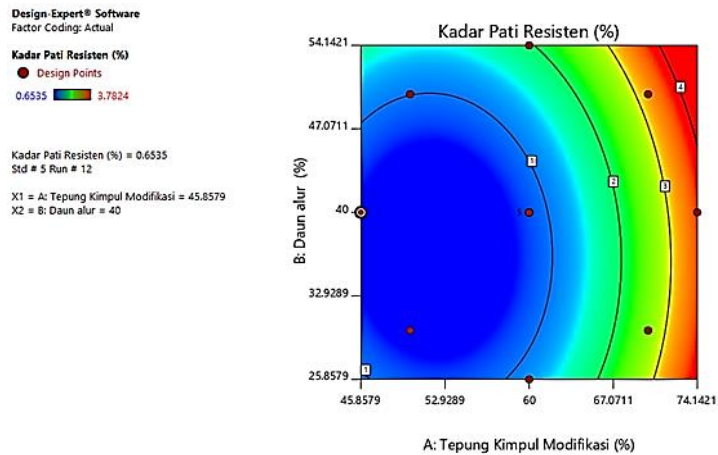


Gambar 8.3 Skema pembuatan *cookies* dengan tepungi kimpul termodifikasi *autoclaving cooling*

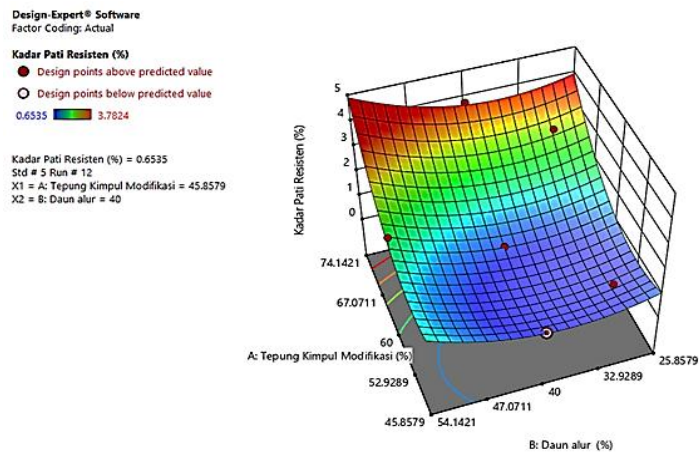
Hasil analisa kadar amilosa tepung kimpul non modifikasi adalah 29.85%, sedangkan kadar amilosa tepung kimpul termodifikasi adalah 30.20%. Modifikasi secara *autoclaving cooling* dapat meningkatkan kadar amilosa dan menurunkan kadar amilopektin. Perubahan kadar amilosa disebabkan perlakuan pemanasan mampu menyebabkan terjadinya perubahan pada molekul amilopektin, yaitu terjadi pemutusan ikatan α 1-6 glukosida sehingga memutus percabangan rantai amilopektin, dan menghasilkan polimer dengan rantai lurus yang merupakan molekul amilosa. Kadar pati resisten

tepung kimpul termodifikasi sebesar 4.41%, sedangkan pada tepung kimpul non modifikasi sebesar 4.28%. Modifikasi pati secara *autoclaving cooling* dapat meningkatkan kadar pati resisten pada tepung kimpul disebabkan terjadinya retrogradasi pada pati.

Pada *Cookies* dengan menggunakan tepung kimpul termodifikasi *autoclaving cooling* 69.65% dan daun alur 30% mempunyai karakteristik kadar air 2.01%, abu 1.94%, lemak 7.07%, protein 8.50%, karbohidrat 80.47%, pati 37.12%, aktivitas antioksidan 70.18%, total fenol 7.87%, dan daya patah 5.120 N. Cookies sehat ini juga mengandung serat pangan sebesar 9.85% dan kadar pati resisten 2.84%, Kadar serat pangan pada cookies tepung kimpul termodifikasi ini telah memenuhi standart yang ditetapkan oleh BPOM, dimana kadar serat pangan dapat diklaim sebagai pangan fungsional kaya serat bila kandungan serat tidak kurang dari 6g/100g. Kadar serat pangan pada produk dipengaruhi oleh kandungan serat pada bahan baku yang digunakan. Kadar serat pangan ini dihasilkan dari tepung kimpul yang dimodifikasi sehingga meningkatkan kadar pati resisten dan serat pangan dari tepung alaminya, serta kandungan serat pangan dari daun alur. Kadar serat pangan yang cukup tinggi tersebut dapat sebagai keunggulan produk. Serat pangan dapat memperlambat pencernaan di dalam usus, memberikan rasa kenyang lebih lama, dan memperlambat laju peningkatan glukosa darah sehingga insulin yang dibutuhkan untuk mentransfer glukosa ke dalam sel-sel tubuh dan mengubahnya menjadi energi semakin sedikit.



Gambar 8.4 Contour Kadar Pati Resisten pada *cookies* Kimpul termodifikasi dan daun alur

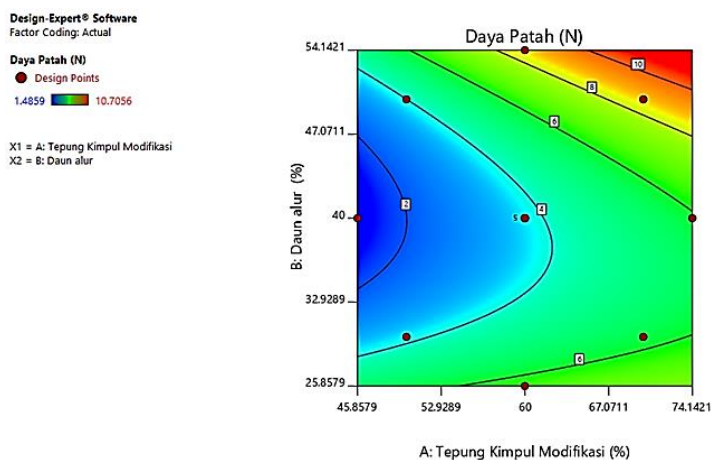


Gambar 8.5 3D Surface Kadar Pati Resisten pada *cookies* Kimpul termodifikasi dan Daun Alur.

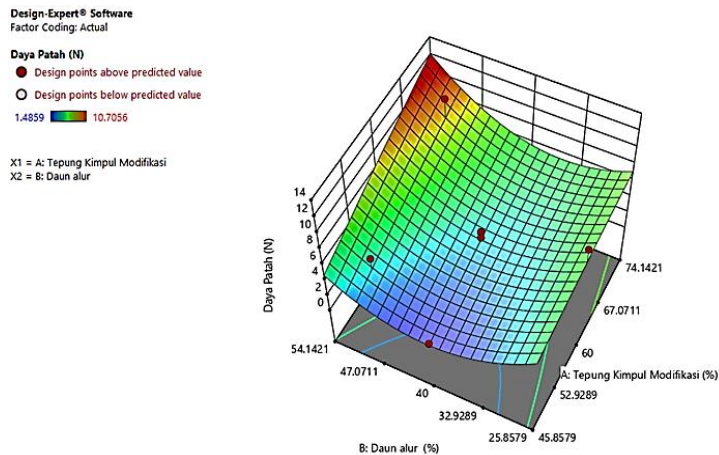
Berdasarkan Gambar di atas terlihat semakin banyak penambahan tepung kimpul termodifikasi terjadi kenaikan kadar pati resisten ditunjukkan dengan warna biru yang berubah menjadi merah seiring dengan bertambahnya persentase tepung kimpul termodifikasi. Pada penambahan tepung kimpul termodifikasi 40-60gr, pati resisten yang dihasilkan berada di kisaran 1%, penambahan 60-70

gr menghasilkan pati resisten 2-3%, dan penambahan 70-74.14 gr tepung kimpul modifikasi menghasilkan 3.78% pati resisten. Pada penambahan daun alur tidak menunjukkan adanya perubahan warna yaitu tetap berwarna biru. Pati resisten merupakan kebutuhan nutrisi yang diperlukan dalam konsumsi harian.

Daya patah *cookies* dipengaruhi oleh tepung kimpul termodifikasi. Dari hasil analisa bahan baku dapat diketahui bahwa kadar amilosa pada tepung kimpul modifikasi lebih tinggi daripada tepung kimpul non modifikasi. Semakin banyak kadar amilosa dalam bahan akan menghasilkan tekstur dan daya pecah yang baik. Pati yang mengandung amilopektin tinggi cenderung menghasilkan produk mudah pecah, sedangkan amilosa tinggi menghasilkan produk lebih tahan pecah. Perbandingan antara amilosa dan amilopektin berpengaruh dalam pembentukan tekstur *cookies*. Amilopektin dalam bahan pangan menghasilkan kemampuan perekat yang menyebabkan struktur *cookies* jadi kokoh. Setelah pengovenan *cookies* didiamkan sebentar untuk pendinginan. Selama proses tersebut terjadi retrogradasi. Pada makanan ringan retrogradasi bertujuan untuk membentuk tekstur yang renyah. Berikut adalah grafik contour dan 3D surface hasil analisa kadar lemak dapat dilihat pada Gambar 8.6 dan Gambar 8.7



Gambar 8.6 Contour Nilai Daya Patah *Cookies* dengan Tepung Kimpul termodifikasi dan Daun Alur



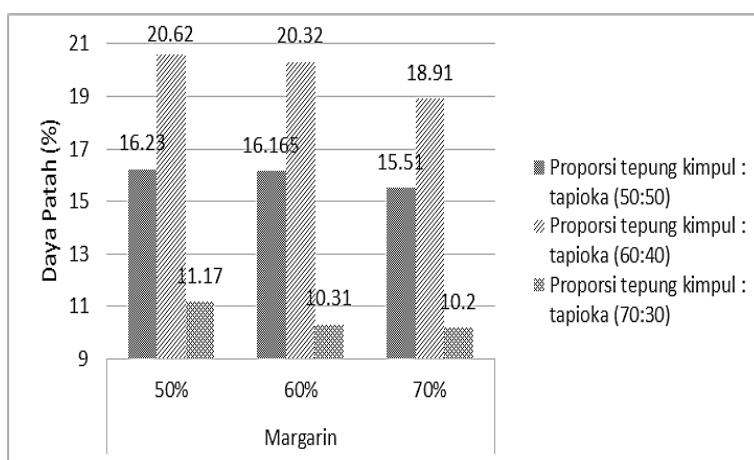
Gambar 8.7 3D Surface Nilai Daya Patah Cookies dengan tepung kimpul termodifikasi dan Daun Alur

Berdasarkan Gambar 8.7 dapat diketahui bahwa semakin banyak penambahan tepung kimpul termodifikasi terjadi kenaikan daya patah ditunjukkan dengan warna biru muda yang berubah menjadi hijau seiring dengan bertambahnya persentase tepung kimpul termodifikasi. Pada penambahan tepung kimpul termodifikasi 40 – 50 gr, daya patah yang dihasilkan berada kurang dari 4N, penambahan 60-70 gr menghasilkan daya patah 5-6 N, dan penambahan 70-74.14 gr tepung kimpul modifikasi menghasilkan daya patah hingga 10 N. Berdasarkan Gambar 8.6 dapat diketahui bahwa terdapat kenaikan surface atau permukaan pada penambahan tepung kimpul termodifikasi.

D. Cookies dengan Tepung Kimpul Termodifikasi dengan BAL

Cookies adalah makanan ringan yang banyak disukai oleh berbagai kalangan, dari anak-anak hingga orang dewasa. *Cookies* merupakan produk pangan dengan ciri spesifik dipanggang dalam bentuk potongan kecil, memiliki tekstur kering dan renyah. *Cookies* biasanya dari adonan lunak yang mengandung bahan dasar terigu, pengembang, kadar lemak tinggi, dan renyah.

Salah satu cara mengurangi kebutuhan tepung terigu pada pembuatan *cookies* yaitu dengan menggantikan sebagian atau seluruh tepung dengan tepung lain misalnya tepung kimpul termodifikasi dan tepung tapioka. Hal ini juga merupakan salah satu upaya dalam pemanfaatan kimpul dan penganekaragaman produk *cookies*. Permasalahan yang terjadi dalam pemanfaatan umbi kimpul adalah kurangnya aplikasi produk pangan dengan bahan dasar umbi kimpul. Penambahan tepung kimpul termodifikasi menyebabkan *cookies* menjadi keras sehingga ditambahkan margarin untuk meningkatkan kerenyahan *cookies*.



Gambar 8.8 Daya patah *cookies* Kimpul termodifikasi BAL

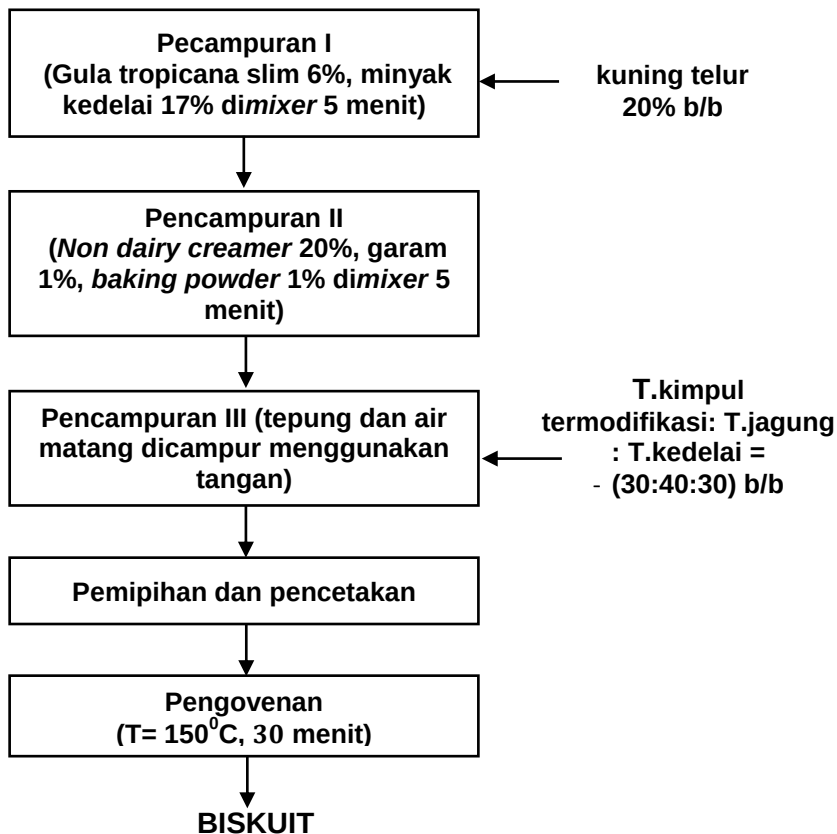
Kandungan pati tepung tapioka lebih tinggi dibanding tepung kimpul yaitu sebesar 81,6% dan 76,51%. Pati yang tinggi dapat berfungsi dalam menjaga kekompakan dan kestabilan *cookies*. Semakin banyak pati penyusunnya akan meningkatkan kekuatan peregangan sehingga kemampuan untuk meregang semakin besar dan tahan terhadap kepatahan.

Cookies dengan penggunaan tepung kimpul termodifikasi BAL dan tepung tapioka (70:30) dan penambahan margarin 50% serta bahan lain garam 0,2 gram, gula 30 gram, kuning telur 30 gram, *baking powder* 1 gram, susu skim 5 gram merupakan formulasi op-

timal dengan rendemen 55,95%, kadar air 3,95%, kadar pati 58,6%, serat kasar 3,29%, daya patah 11,17 N, protein 12,85%, lemak 30,19%, serat pangan 6,45%, karbohidrat *by difference* 68,16%, kalori 460,2 kalori dan serta hasil uji kesukaan warna 3,4, uji organoleptik tekstur 4,35 , uji organoleptik rasa 3,95, dan uji organoleptik aroma 3,3

E. Biskuit dengan Penggunaan Tepung Komposit Tepung Kimpul Termodifikasi, Tepung Jagung, dengan Tepung Kedelai

Biskuit ini dibuat menggunakan tepung kimpul yang dimodifikasi secara termal dengan metode *autoclaving cooling*, tepung jagung dan tepung kedelai. Pati alami pada umbi-umbian yang dimodifikasi secara fisik memiliki peluang untuk menghasilkan pati resisten dengan kadar yang lebih tinggi dibandingkan pati yang dimodifikasi secara kimia. Tepung kimpul yang dimodifikasi fisik melalui *autoclaving-cooling* mempunyai kelebihan yaitu meningkatkan produksi pati resisten, memiliki kestabilan yang tinggi terhadap panas, memiliki kelarutan dan viskositas meningkat serta membatasi pembengkakan. Berikut proses pembuatan biskuit dengan penggunaan tepung komposit tepung kimpul termodifikasi, tepung jagung, dengan tepung kedelai.

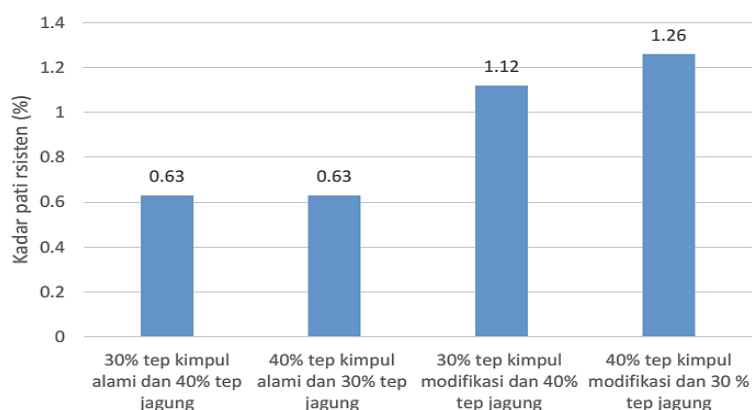


Gambar 8.9 Diagram alur pembuatan biskuit

Tabel 8.6 Hasil uji tepung umbi-umbian

Komponen	Tep. Kimpul alami (%)	Tep. Kimpul Modifikasi autoclaving-cooling (%)	Tep. Jagung (%)	Tep. Kedelai (%)
Air	7,63	9,13	8,38	7,61
Abu	3,35	2,99	0,03	4,70
Protein	0,41	0,52	7,24	35,01
Lemak	1,44	1,33	3,57	22,83
Amilosa	18,38	20,21	28,59	1,46
Pati	52,65	46,15	38,50	46,87
Pati Resisten	2,06	4,61	0,81	0,78

Proporsi tepung kimpul modifikasi *autoclaving-cooling* dan tepung jagung (30:40) dengan penambahan kuning telur 20% merupakan formula yang paling disukai dan mempunyai kadar air 3,95%, kadar abu 1,02%, kadar lemak 12,49%, kadar protein 23,70%, kadar pati 30,30%, tekstur 6,89 mm/gr/detik, dan kadar pati resisten 1,13% dan serat pangan 6,21%.



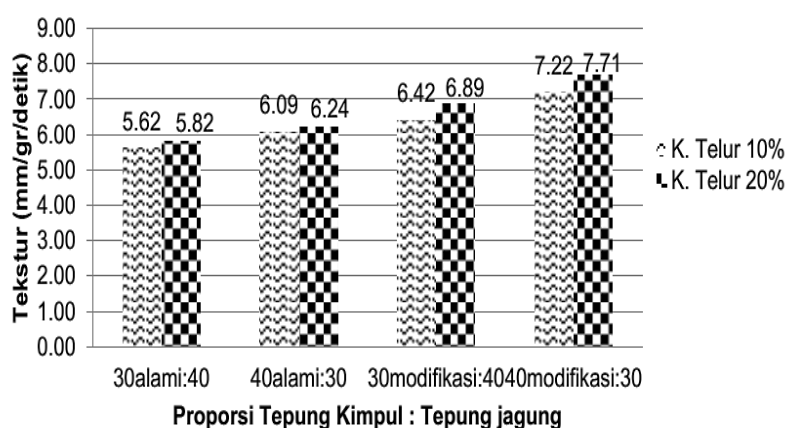
Gambar 8.10 Kadar pati resisten biskuit dengan tepung kimpul dan tepung jagung

Proporsi tepung kimpul modifikasi *autoclaving cooling* semakin tinggi dan semakin rendah proporsi tepung jagung maka kadar pati resisten biskuit semakin meningkat. Kadar pati resisten tepung kimpul modifikasi *autoclaving-cooling* sebesar 4,61% sedangkan kadar pati resisten tepung kimpul alami hanya sebesar 2,06%.

Menurut Hickman *et al* (2009) menyatakan bahwa siklus pemanasan bertekanan-pendinginan memberikan dampak peningkatan pati resisten pada tepung jagung dan tepung gandum. Proses *autoclaving-cooling* yang berulang menyebabkan terjadinya peningkatan penyusunan amilosa-amilosa dan amilosa-amilopektin dan peningkatan pembentukan kristalin yang lebih sempurna yang berakibat pada peningkatan kadar RS3 (Leong *et al*, 2007). Kadar pati resisten biskuit pada perlakuan proporsi tepung kimpul modifikasi

autoclaving-cooling yang lebih tinggi jika dibandingkan kadar pati resisten biskuit proporsi tepung kimpul alami berpengaruh terhadap tingkat kerenyahan biskuit. Penambahan tepung atau pati termodifikasi yang mengandung pati resisten akan meningkatkan tingkat kerenyahan pada cookies.

Menurut Higgins *et al* (2004) secara garis besar pati resisten mempunyai tiga sistem terkait dengan efek metabolisme dan nilai fungsional dalam tubuh yaitu sebagai bahan untuk fortifikasi serat dan penurunan kalori. Hasil penelitian menunjukkan mengkonsumsi pati resisten dapat menaikkan oksidasi lemak. Hal ini terkait dengan proses metabolisme karbohidrat dan protein dalam tubuh. Proporsi tepung jagung yang semakin tinggi pada biskuit tidak memberikan pengaruh untuk kadar pati resisten biskuit, dikarenakan tepung jagung bahan baku sedikit yaitu 0,81%, sedangkan menurut Ozturk *et al* (2009) tepung jagung memiliki kadar pati resisten sebesar 1,16%.



Gambar 8.11 Tekstur biskuit dengan tepung kimpul dan tepung jagung

Pada Gambar di atas menunjukkan bahwa semakin banyak proporsi tepung kimpul modifikasi *autoclaving-cooling* dan semakin sedikit proporsi tepung jagung serta semakin banyak penambahan

kuning telur maka tekstur biskuit semakin meningkat. Biskuit dari proporsi tepung kimpul modifikasi *autoclaving-cooling* menghasilkan nilai tekstur yang tinggi (lebih renyah) dibandingkan biskuit dari proporsi tepung kimpul alami. Hal ini terjadi karena tepung kimpul modifikasi *autoclaving-cooling* kadar airnya lebih rendah sehingga akan meningkatkan kerenyahan pada biskuit. Manley (2000) menyatakan kandungan air pada produk pangan berpengaruh pada tekstur produk, dimana pada produk *cookies* kadar air 5% memberikan tekstur renyah, Hilangnya atau rendahnya kandungan air pada bahan pangan misalnya *cookies* bisa meningkatkan nilai kerenyahan.

Tabel 8.7 Nilai *Organoleptic* biskuit dengan tepung komposit

Proporsi		Total	Total	Total	Total
Tepung Kimpul :	Penambahan Kuning Telur (%)	Ranking Rasa	Ranking Warna	Ranking Aroma	Ranking Kerenyahan
Tepung Jagung:					
Tepung kedelai					
30 alami :	10	107,50	165,5	123	103,00
40 : 30	20	115,50	187	150,5	110,50
40 alami :	10	91,00	99,5	113	118,50
30 : 30	20	95,00	166	138	129,00
30	10	168,00	123,5	128,5	142,50
modifikasi : 40 : 30	20	178,50	146,5	177,5	151,50
40	10	162,00	119	110	157,00
modifikasi : 30 : 30	20	162,50	73	139,5	168,00

Proporsi tepung jagung pada biskuit yang semakin tinggi, nilai tekstur biskuit semakin rendah (lebih keras). Hal ini didukung oleh Suarni dan Firmansyah (2005), kandungan amilosa pada jagung sebesar 20,71%. Polisakarida berfungsi menjaga kekompakan dan kestabilan biskuit. Semakin banyak polisakarida yang menyusun menyebabkan kekuatan peregangan meningkat sehingga kemam-

puan meregang semakin besar dan tahan terhadap kepatahan karena rongga-rongga yang terbentuk sedikit (padat) sehingga tekstur menjadi keras. Demikian pula dengan penambahan kuning telur, semakin banyak penambahan kuning telur maka nilai tekstur biskuit semakin meningkat atau semakin renyah. Hal ini disebabkan oleh kuning telur mengandung sejumlah lemak yang dapat memperbaiki tekstur biskuit.

Tingkat kesukaan terhadap kerenyahan biskuit pada level suka. Proporsi tepung kimpul modifikasi *autoclaving-cooling* : tepung jagung (40:30) serta penambahan kuning telur 20% menghasilkan kerenyahan biskuit dengan tingkat kesukaan tertinggi. Semakin banyak penambahan tepung kimpul modifikasi *autoclaving-cooling* maka kerenyahan biskuit semakin disukai panelis didukung oleh hasil tekstur pada penambahan tepung kimpul modifikasi *autoclaving-cooling* yang semakin banyak mengakibatkan nilai tekstur meningkat, dimana nilai tekstur yang semakin meningkat menunjukkan tekstur biskuit semakin renyah sehingga makin disukai panelis.

Penambahan tepung atau pati termodifikasi yang mengandung pati resisten akan meningkatkan kerenyahan pada *cookies*. Modifikasi pati melalui pemanasan dan pendinginan berulang dapat menghasilkan pati resisten. Modifikasi secara fisik ini mengalami retrogradasi. Pada umumnya gelatinisasi terjadi pada saat didinginkan, molekul-molekul amilosa berikatan kembali satu sama lain serta berikatan dengan cabang amilopektin pada pinggir luar granula, dengan demikian proses menggabungkan butir pati yang membengkak itu menjadi semacam jaring-jaring membentuk mikrokristal dan membengkak. Proses kristalisasi kembali pati yang telah mengalami gelatinisasi tersebut disebut retrogradasi. Pada makanan ringan retrogradasi bertujuan untuk membentuk tekstur yang renyah. Pada tepung jagung, semakin banyak proporsi tepung jagung maka biskuit semakin memiliki daya patah semakin tinggi.

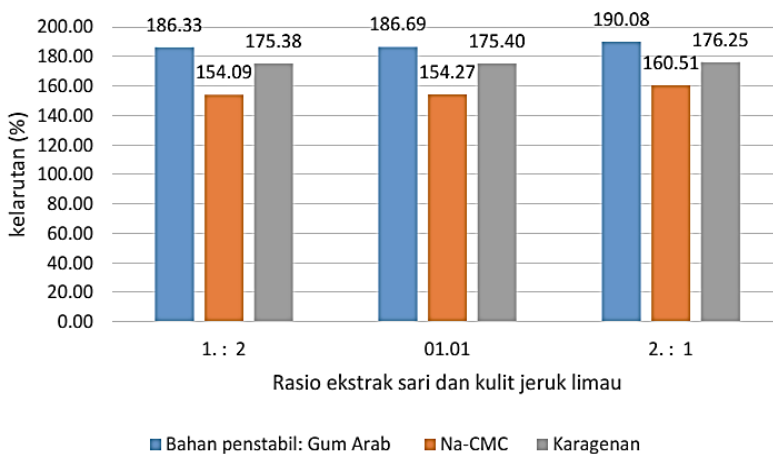
Perbandingan amilosa dan amilopektin pada bahan memberikan efek pati secara fungsional karena keduanya berperan dalam pembentukan tekstur pada biskuit. Polisakarida berfungsi menjaga kekompakan dan kestabilan biskuit. Semakin banyak polisakarida yang menyusun menyebabkan kekuatan peregangan meningkat sehingga kemampuan meregang semakin besar dan tahan terhadap kepatahan karena rongga-rongga yang terbentuk sedikit (padat) sehingga tekstur menjadi keras.

F. Penggunaan Maltodekstrin Kimpul pada Minuman Serbuk Jeruk Limau dan Mengkudu

Produk minuman instan merupakan jenis produk yang mudah untuk disajikan atau dikonsumsi dalam waktu yang relatif singkat, seperti minuman serbuk. Kriteria minuman serbuk yang baik antara lain mempunyai rasa, bau, warna, dan kenampakan yang sebanding dengan produk segar, memiliki karakteristik nutrisi serta mempunyai stabilitas penyimpanan yang baik. Minuman serbuk memiliki ciri akan terdispersi, melarut dan tidak mengendap apabila diseduh. Pembuatan produk minuman dalam bentuk serbuk mempermudah dalam penyajian, transportasi maupun masalah penyimpanan. Proses pembuatan minuman serbuk secara umum terdiri dari dua tahapan, yaitu proses ekstraksi bahan baku dan proses pengeringan. Pada Proses pengeringan bahan baku harus ditambahkan bahan pengisi yang bertujuan untuk melapisi komponen *flavour*, meningkatkan jumlah total padatan, memperbesar volume, mempercepat proses pengeringan, meningkatkan daya kelarutan dan sifat organoleptik minuman serbuk Masters.

Maltodekstrin dari kimpul yang digunakan untuk minuman fungsional serbuk kulit jeruk limau ini mempunyai karakteristik rendemen 97,15%, kadar air 5,10%, kelarutan 97,24% dan nilai *Dekstrose Equivalent* 10,21. Maltodesktrin yang digunakan sebanyak 10% dari bahan pengisi/penstabil. Bahan penstabil *gum* arab, Na-CMC dan karagenan yang digunakan dalam tiap formula

sebanyak 10% dari bahan keseluruhan.

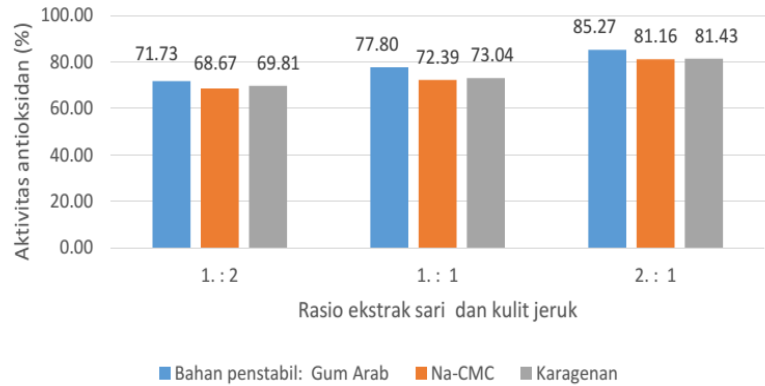


Gambar 8.12 Kelarutan minuman serbuk ekstrak kulit jeruk limau

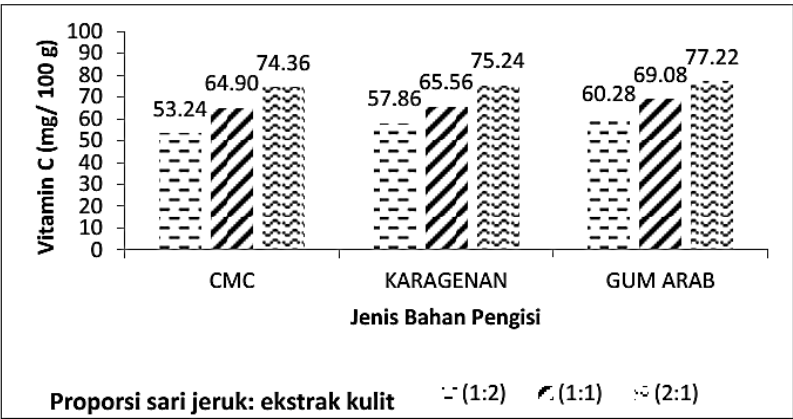
Minuman serbuk sari jeruk dan ekstrak kulit jeruk limau (2:1) dengan penggunaan bahan pengisi gum arab dan maltodekstrin kimpul menghasilkan karakteristik kadar air 4,772%, aktivitas antioksidan 42,632%, kadar vitamin C 77,220 mg/100 g, kadar abu 1,290%, kelarutan 95,039%, warna meliputi L* 73,095, a* 6,490, b* 26,090, derajat putih 61,964 dan uji organoleptik hedonik meliputi rasa 3,967 (suka), aroma 4,147 (suka), kekentalan 4,130 (suka). Minuman serbuk ini telah memenuhi SNI 01-4320-1996 dengan hasil organoleptik rasa, aroma dan kekentalan yang tergolong disukai panelis. Nilai kelarutan yang tinggi menunjukkan semakin baik mutu produk yang dihasilkan, karena proses penyajian akan menjadi lebih mudah. Kandungan antioksidan dan vitamin C minuman serbuk juga tinggi dikarenakan kemampuan perlindungan maltodekstrin dan gum.

Bahan pengisi umumnya bersifat hidrofilik sehingga lebih mudah mengikat air dalam bahan, dan berpengaruh pada kelarutan serbuk yang dihasilkan. Penggunaan gum arab dan maltodekstrin sebagai bahan pengisi meningkatkan kelarutan minuman serbuk. Hal ter-

sebut disebabkan nilai kelarutan gum arab, Menurut Khrisnan (2005) *gum arab* memiliki kelarutan sebesar 98% didalam air dan maltodekstrin dengan kelarutan 97,24% akan bersinergi dan meningkatkan kelarutan didalam produk minuman serbuk.



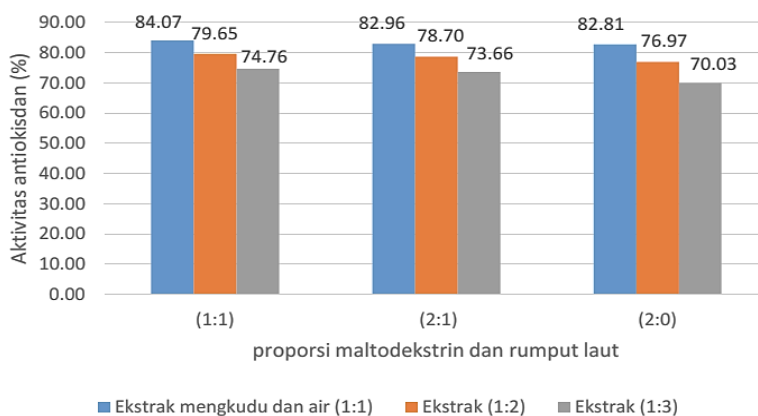
Gambar 8.13 Aktivitas antioksidan minuman serbuk ekstrak kulit jeruk limau



Gambar 8.14 Vitamin C minuman serbuk sari jeruk dan ekstrak kulit jeruk

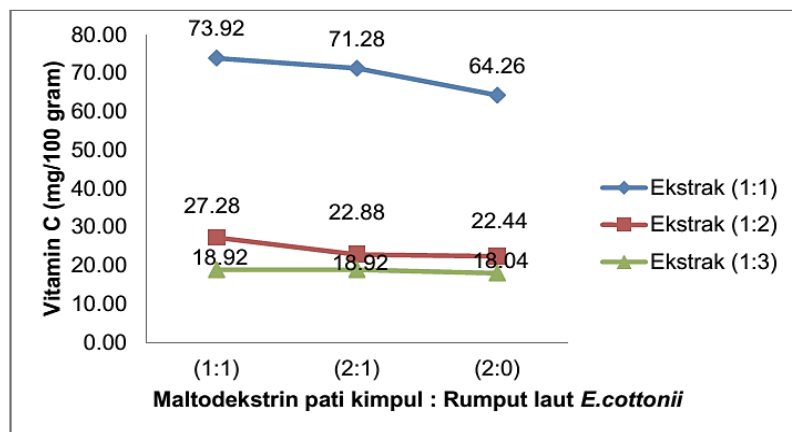
Aktivitas antioksidan minuman serbuk berkisar antara 34,33% - 42,63%. Semakin banyak proporsi sari jeruk dan semakin sedikit proporsi ekstrak kulit jeruk, maka aktivitas antioksidan minuman serbuk semakin tinggi. Sari jeruk yang digunakan memiliki aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan ekstrak kulit jeruk. Sari jeruk mengandung vitamin C dan senyawa *flavonoid* yang bersifat antioksidan. Aktivitas antioksidan sari jeruk yang digunakan sebesar 61,52 % dan ekstrak kulit jeruk sebesar 33,25%. Lapisan pelindung dan bahan pengisi akan melindungi senyawa yang bersifat antioksidan dari kerusakan selama proses pemanasan, sehingga menghasilkan aktivitas antioksidan tertinggi.

Minuman fungsional serbuk buah mengkudu dengan air (1:1) yang menggunakan maltodekstrin pati kimpul dengan rumput laut (1:1) merupakan formula terbaik dan mempunyai aktivitas antioksidan 84.06 %, vitamin C 73.92 mg/100 gr, kandungan fenol 11.89 mgTAE/gr, kadar abu 3.36%, kadar air 4.59 %, serat pangan 16,60%, Warna meliputi L* 72.71, a* 12.10, b* 16.33, derajat kecerahan 65,96% dan *Hedonic Scale Scoring* rasa 2.60 (netral), aroma 2.57 (netral) dan kekentalan 3.60 (suka).



Gambar 8.15 Aktivitas antioksidan minuman fungsional buah mengkudu

Pada proporsi maltodekstrin pati kimpul tertinggi, aktivitas antioksidan masih cukup tinggi. Hal ini dikarenakan maltodekstrin selain berperan sebagai bahan pengisi, juga dapat bertindak untuk melindungi senyawa *volatile* yang tidak tahan panas. Maltodekstrin digunakan pada proses enkapsulasi untuk melindungi senyawa *volatile*, melindungi senyawa yang peka terhadap oksidasi maupun panas, maltodekstrin dapat melindungi stabilitas *flavour* selama proses pengeringan.



Gambar 8.16 Vitamin C minuman fungsional mengkudu menggunakan pengisi Maltodekstrin Pati Kimpul dengan rumput laut

Pada pembuatan minuman instan daun mengkudu, penambahan maltodekstrin memberikan pengaruh terhadap aktivitas antioksidan minuman instan dari bahan baku mengkudu yang memiliki aktivitas antioksidan. Minuman serbuk mengkudu mempunyai kelarutan pada kisaran 91,35 – 92,67% dan mengandung vitamin C berkisar antara 18,04 – 73,92 mg/100 gr dan total fenol minuman fungsional berkisar antara 4,09 – 11,90 mgTAE/g. Penambahan maltodekstrin dapat melindungi senyawa antioksidan vitamin C dan Fenol.

Minuman yang memiliki manfaat menjaga daya tahan tubuh yaitu minuman yang mengandung vitamin C yang terdapat pada buah jeruk. Sari buah jeruk dipasarkan dalam berbagai bentuk seperti

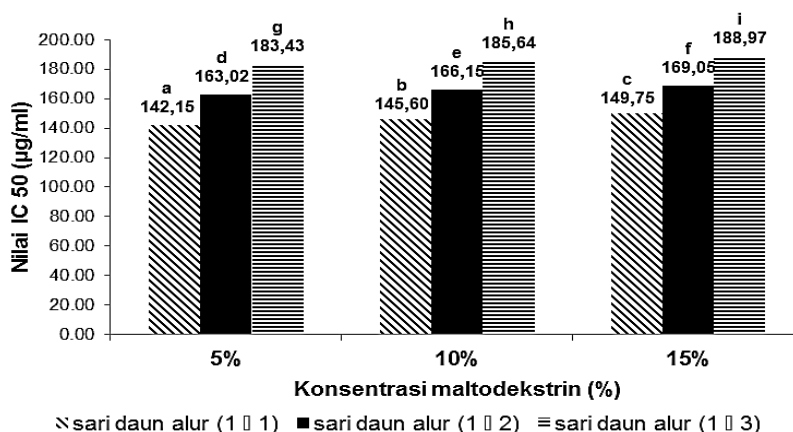
perasan jeruk segar, sari buah jeruk kaleng, sari buah jeruk yang didinginkan, bubuk sari buah jeruk, konsentrat sari buah jeruk yang dibekukan dan campuran (anggur, jeruk). Vitamin C adalah vitamin yang larut dalam air, penting bagi kesehatan manusia. Memberikan perlindungan antioksidan plasma lipid dan diperlukan untuk fungsi kekebalan tubuh termasuk (leukosit, fagositosis dan kemotaksis), penekanan replikasi virus. Peran utama dari vitamin C dalam sistem imun (kekebalan tubuh) yaitu melindungi sel-sel kekebalan tubuh terhadap stres oksidatif yang dihasilkan selama infeksi. Sebagai antioksidan yang efektif, vitamin C harus dipertahankan dalam tubuh pada tingkat yang relatif tinggi.

G. Penggunaan Maltodekstrin Talas pada Minuman Serbuk Daun Alur

Maltodekstrin dari pati talas memiliki karakteristik kadar air 4,83%, *dekstrose equivalent* 9,48 dan kelarutan 97,01%. Minuman instan daun alur (1:1) dengan penambahan maltodekstrin umbi talas 15% mempunyai aktivitas antioksidan (IC 50) 149,75 µg/ml, total fenol 4,80 mg TAE/g, serat pangan 16,60%, kelarutan 91,95%, kadar garam 0,59%, kadar air 3,87%, abu 3,75% dan *Hedonic Scale Scoring* meliputi warna 5,88 (sangat suka), rasa 4,54 (suka) dan aroma 4,8 (suka).

Tabel 8.7 Total fenol minuman instan sari daun alur dengan penambahan maltodekstrin umbi talas

Perlakuan		
Sari Daun Alur	Maltodekstrin (%)	Total Fenol (mg TAE/g)
1:1	5	7,02 ± 0,064 ⁱ
	10	6,28 ± 0,25 ^h
	15	4,80 ± 0,13 ^g
1:2	5	3,54 ± 0,11 ^f
	10	2,79 ± 0,02 ^e
	15	1,50 ± 0,15 ^d
1:3	5	0,97 ± 0,04 ^c
	10	0,74 ± 0,08 ^b
	15	0,46 ± 0,02 ^a



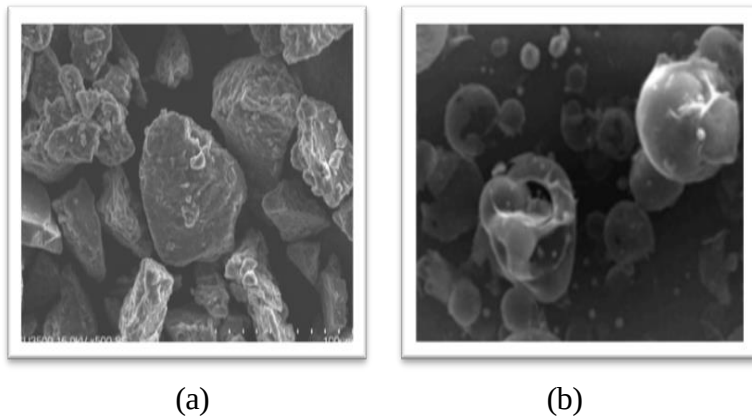
Gambar 8.17 Aktivitas antioksidan (IC₅₀) serbuk minuman daun alur dengan maltodekstrin umbi talas.

Pada Gambar di atas menunjukkan bahwa semakin banyak pengenceran sari daun alur dan semakin banyak konsentrasi maltodekstrin umbi talas menyebabkan semakin banyak total padatan pada minuman instan. Total padatan mengurangi komponen senyawa seperti fenol. Nilai IC₅₀ yang diperoleh pada penelitian ini masih dapat digolongkan memiliki aktivitas antioksidan sedang.

Hal ini sesuai dengan teori dari Molyneux (2004) secara spesifik suatu senyawa dikatakan sebagai antioksidan sangat kuat jika nilai IC₅₀ kurang dari 50 µg/ml, kuat untuk IC₅₀ antara 50-100 µg/ml, sedang jika IC₅₀ bernilai 101-150 µg/ml, dan lemah jika IC₅₀ bernilai 150-200 µg/ml. Pada minuman serbuk alur ini malto-dekstrin membuktikan juga mampu untuk melindungi senyawa fenol yang ada pada daun alur.

Bentuk granula minuman instan dengan penambahan maltodekstrin umbi talas pada perlakuan pengenceran sari daun alur (1:1) dengan penambahan maltodekstrin 15% dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dapat dilihat pada Gambar 8.14.

Berdasarkan Gambar 8.14 menunjukkan bentuk granula minuman instan memiliki bentuk yang lebih tidak beraturan jika dibandingkan dengan bentuk granula hasil riset Ernawati, dkk (2014) terlihat bentuk granula serbuk pewarna daun jati memiliki ukuran berbentuk bulat. Pada minuman serbuk alur ini menggunakan pengeringan dengan *cabinet dryer*, tidak menggunakan pengeringan semprot. Pengering semprot menghasilkan partikel yang kurang homogen dan cenderung teraglomerasi hal ini karena penguapan air yang terjadi tidak merata dan waktu pengeringan yang lebih lama. Berdasarkan Gambar (a) dan (b) dapat dilihat bahwa kedua bentuk granula sama-sama berkerut hal ini dikarenakan pada saat proses pengeringan terjadi penguapan. Granula yang berkerut diakibatkan oleh adanya penguapan air pada saat proses pengeringan.



Gambar 8.18 Bentuk granula minuman instan dengan penambahan maltodekstrin umbi talas dengan perbesaran 500x (a) dan dibandingkan dengan granula mikroenkapsulan Ernawati dkk, 2014 (b)

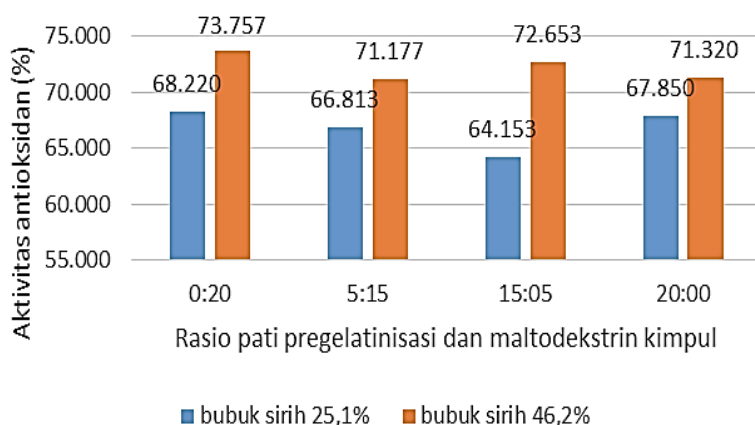
H. Penggunaan Pati Pregelatinisasi dan Maltodekstrin Kimpul pada Tablet Sirih

Penggunaan sirih hijau mempunyai dasar kuat karena adanya kandungan minyak atsiri berupa komponen fenol alami yang berfungsi sebagai antimikroba. Secara umum daun sirih mengandung minyak atsiri sampai 4,2%. Senyawa ini bersifat antimikroba yang kuat karena dapat menghambat pertumbuhan beberapa jenis bakteri.

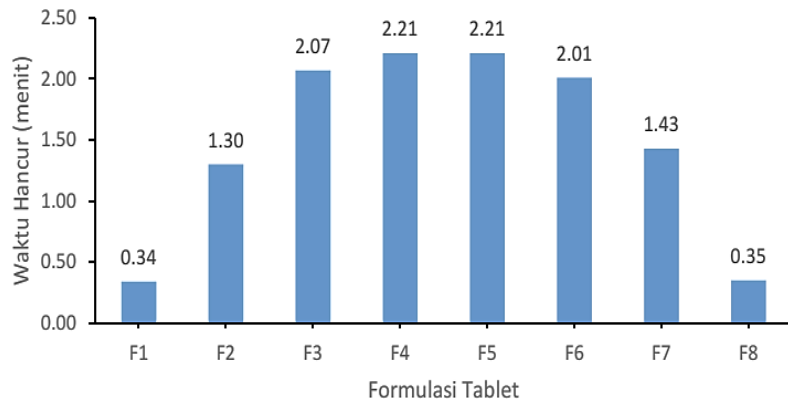
Tablet dengan penambahan pati pregelatinisasi akan mengembang apabila kontak dengan air kemudian mendesak partikel tablet dan akhirnya hancur sehingga dapat melepaskan zat aktif dalam tablet. Berdasarkan penelitian sebelumnya Paneo (2013) Pati sagu Pregelatinasi sebagai penghancur pada tablet ketokonazol bobot 300 mg dengan konsentrasi 15% memberikan waktu hancur yang lebih cepat dibanding dengan konsentrasi 5% dan 10% yaitu sebesar $49,6 \pm 4,7$ detik. Selain pati pregelatinisasi, salah satu bahan yang memiliki daya larut yang tinggi serta daya ikat yang kuat adalah maltodekstrin.

Pati pregelatinisasi dari umbi kimpul mempunyai karakteristik kadar air 12,46%, dan kadar amilosa 38,08% dan maltodekstrin dari umbi kimpul mempunyai kadar air 5,16% dan Dektose Ekuivalen 14,17% digunakan untuk tablet sirih.

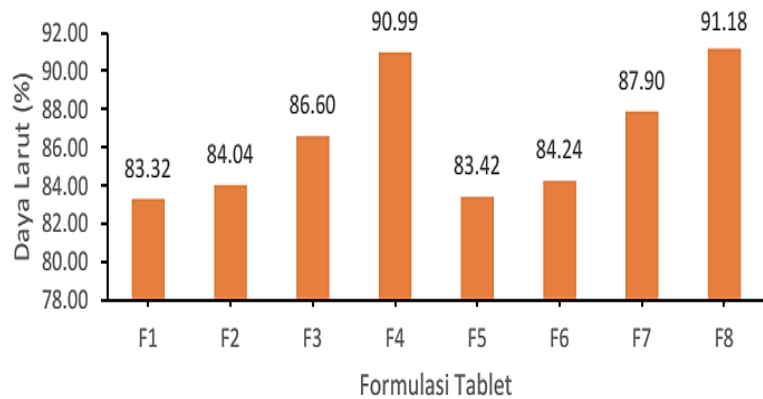
Tablet sirih dengan penggunaan bubuk sirih hijau 46.02%, maltodekstrin kimpul 20%, pati pregelatinisasi 0%, laktosa 23.98% menghasilkan kadar air 3.24%, kekerasan 5.57%, waktu hancur 2.21 menit, daya larut 83.42%, total fenol sebesar 5.78 mg/TAE, zona hambat *Escherichia coli* sebesar 14.00 mm dan zona hambat *staphylococcus aureus* sebesar 19.50 mm. Tablet sirih sudah memenuhi standart, yaitu memiliki keseragaman bobot yang homogen (USP, 2013), Kekerasan 4-8 kg/cm² dan Kerapuhan ≤1% (Depkes, 2014), waktu hancur <15menit (BPOM, 2014) zona hambat 12-24mm (Amelia dkk, 2016).



Gambar 8.19 Aktivitas antioksidan tablet sirih hijau



Gambar 8.20 Hubungan Nilai Waktu Hancur Tablet terhadap Formulasi Tablet



Gambar 8.21 Hubungan Nilai Daya Larut Tablet terhadap Formulasi Tablet

Waktu hancur dan daya larut menggambarkan lama tablet hancur dalam pencernaan. Semakin besar jumlah air yang masuk ke dalam pori-pori tablet maka jarak antar partikel akan semakin dekat dan tablet akan hancur dalam waktu yang lebih singkat.

Semakin banyak proporsi pati pregelatinisasi umbi kimpul dan semakin sedikit proporsi maltodekstrin maka waktu hancur tablet semakin cepat. Hal ini disebabkan kandungan amilosa pati pregelatinisasi yang cukup tinggi menyebabkan tablet semakin cepat hancur. Kandungan amilosa dari pati pregelatinisasi kimpul yang cukup tinggi (38.08%). Semakin tingginya kandungan amilosa maka semakin cepat waktu hancur tablet. Hal ini dikarenakan amilosa bersifat hidrofilik karena mengandung banyak gugus hidroksil. Amilosa yang bersifat hidrofil dapat meningkatkan proses penyerapan cairan ke dalam matriks tablet. Selain itu, pati kimpul yang telah diberi perlakuan pregelatinisasi memiliki peningkatan ukuran partikel dari sebelumnya, sehingga pori-pori yang dihasilkan akan semakin banyak, maka kemampuan penyerapan air akan semakin banyak dan waktu yang dibutuhkan tablet untuk hancur semakin cepat.

Pati pregelatinisasi memiliki kemampuan hidrofilik sehingga dapat mempercepat penyerapan air, yang memungkinkan untuk menarik air. Saat tablet kontak dengan air, maka akan berpenetrasi melalui pori-pori yang ada, akibatnya ikatan antar partikel lemah dan akhirnya pecah menjadi granul-granul dan tablet akan hancur dalam waktu yang lebih singkat.

Mekanisme aksi dari pati pregelatinisasi adalah dengan aksi kapiler, deformasi dan pengembangan ketika kontak dengan air, sehingga dapat memutuskan ikatan hidrogen yang terbentuk pada saat pengempaan, amilum akan terdistribusi. Pada seluruh bagian tablet sehingga dapat membentuk jembatan hidrofil yang kontinyu. Apabila tablet kontak dengan air, maka diserap dengan cepat oleh tablet melalui jembatan hidrofil.

Penambahan maltodekstrin yang semakin sedikit menghasilkan waktu hancur tablet yang cepat, hal ini dikarenakan pada proses pencetakan terjadi tekanan pada tablet sehingga maltodekstrin dapat merapatkan antar ikatan partikel dalam tablet pada saat proses pencetakan tablet karena maltodekstrin mempunyai daya

kohesifitas yang baik. Gaya kohesi yang dimiliki maltodekstrin kimpul timbul akibat adanya muatan elektrostatik yang terjadi apabila diberi tekanan pada proses pencetakan tablet sehingga akan menghasilkan tablet yang keras. Tablet yang memiliki kekerasan yang tinggi maka menghasilkan waktu hancur yang lama. Semakin keras suatu tablet maka semakin lama waktu yang dibutuhkan tablet untuk hancur dan semakin keras tablet maka penetrasi air ke dalam tablet akan lebih sulit sehingga dibutuhkan waktu yang lama untuk melepaskan zat aktifnya.

I. *Flakes* dari Tepung Jagung dan Bonggol Pisang Mas (*Musa acuminata colla*) Termodifikasi

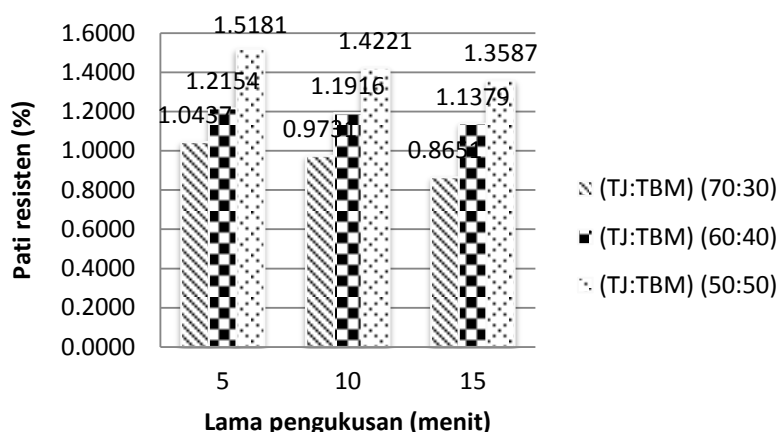
Flakes merupakan produk sereal dalam bentuk serpihan dari bahan sereal seperti beras, gandum, jagung dan umbi-umbian seperti kentang, ubi kayu, ubi jalar, dan lain-lain. *Flakes* diolah dan direkayasa menurut jenis dan bentuknya yang digolongkan jenis makanan sereal siap santap sehingga banyak digemari oleh masyarakat. Proses pembuatan *flakes* membutuhkan bahan karbohidrat (pati) tinggi. Pensubstitusian bahan karbohidrat (pati) membantu kesempurnaan proses gelatinisasi, sehingga produk dapat mengembang dan memudahkan pembuatan serpihan dari adonan.

Proses gelatinisasi diperlukan pada pembuatan *flakes*, agar terbentuk adonan yang kompak dan menghasilkan produk dengan kualitas yang baik. Sifat *flakes* yaitu renyah dan berpori dengan mengurangi kadar air bahan. Struktur *flakes* yang berpori mampu menyerap air saat akan dikonsumsi bersama susu, semakin berpori menyebabkan kemampuan rehidrasinya semakin besar.

Tabel 8.8 Komposisi tepung jagung dan bonggol pisang termodifikasi

Komponen	Tepung jagung	Tepung Bonggol Pisang Mas Termodifikasi <i>autoclaving cooling</i>
Air (%)	9,31	11,62
Serat kasar (%)	2,81	10,47
Pati (%)	67,85	60,90
Pati resisten (%)	0,49	2,68

Proporsi tepung jagung dan tepung bonggol pisang mas termodifikasi (60:40) dengan lama waktu pengukusan selama 10 menit merupakan formula yang paling disukai dengan kandungan kadar air 1,06%, kadar pati 63,83%, kadar pati resisten 1,19%, kadar serat kasar 6,10%, daya rehidrasi 84,16%, daya patah 4,43 N, protein 5,47%, lemak 0,083%, abu 0,98% dan serat pangan 24,77%.



Gambar 8.22 Kadar Pati Resisten Flakes dari Tepung Jagung dan Tepung Bonggol Pisang Mas Termodifikasi

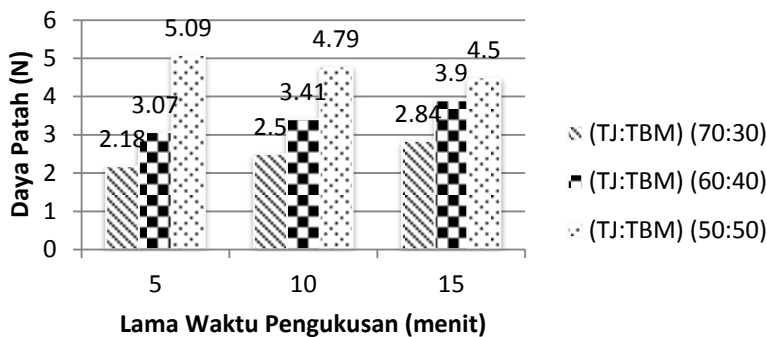
Proporsi tepung bonggol pisang mas termodifikasi semakin banyak yang ditambahkan, maka kadar pati resisten *flakes* semakin meningkat, sedangkan semakin lama waktu pengukusan yang diberikan, maka kadar pati resisten flakes akan semakin menurun.

Proses modifikasi pada tepung bonggol pisang mas dilakukan secara fisik dengan metode *autoclaving cooling* yang meliputi proses pemanasan bertekanan dan pendinginan yang dilakukan sebanyak 3 siklus. Pada tahap awal, pati digelatinisasi pada suhu 121°C selama 15 menit dengan proses *autoclaving* yang bertujuan untuk pembengkakan granula pati melalui pemanasan dengan air sehingga amilosa keluar. Peningkatan pati resisten diakibatkan oleh terjadinya retrogradasi. Pada saat pendinginan, pati akan mengalami tahap retrogradasi, molekul pati berupa amilosa maupun amilopektin akan saling berikatan kembali secara *double helix* sehingga membentuk struktur yang rapat dan stabil oleh ikatan hidrogen.

Menurut Leong, *et al* (2007) bahwa proses *autoclaving cooling* yang berulang menyebabkan terjadinya peningkatan penyusunan amilosa-amilosa dan amilosa-amilopektin dan peningkatan pembentukan kristalin yang lebih sempurna yang berakibat pada peningkatan kadar RS3. Kandungan pati resisten tepung bonggol pisang mas alami yang semula sebesar 1,16% meningkat menjadi 2,68%, sehingga seiring dengan penambahan tepung bonggol pisang mas modifikasi maka kadar pati resisten *flakes* akan semakin meningkat.

Pengukusan pada proses pembuatan *flakes* menyebabkan kadar pati resisten semakin menurun karena waktu pengukusan yang lama akan mengakibatkan proses gelatinisasi yang semakin sempurna sehingga struktur RS3 menjadi pecah. Menurut Faraj, *et al* (2004) bahwa selama proses ekstruksi, kristal pembentuk struktur RS3 hancur, dengan kadar amilosa yang rendah mengakibatkan tidak ada penyeimbang baru atau kristalin tambahan yang terbentuk antara rantai amilosa yang mengakibatkan turunnya kadar RS3 setelah proses ekstruksi, karena kadar amilosa awal dari tepung yang sudah rendah. Proses pembuatan flakes meliputi proses pencampuran, pemanasan (pengukusan), dan pemanggangan yang sama dengan proses ekstrusi sehingga dapat menghancurkan

kristal-kristal struktur RS3 sehingga menurunkan kadar pati resisten.



Gambar 8.23 Kadar Pati Resisten *Flakes* dari Tepung Jagung dan Tepung Bonggol Pisang Mas Termodifikasi

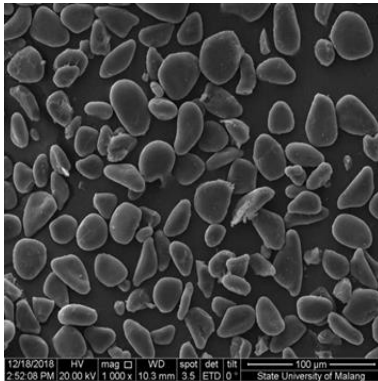
Proporsi tepung jagung dan tepung bonggol pisang mas termodifikasi dengan waktu pengukusan berpengaruh terhadap kadar air dan kadar serat *flakes*. Kadar air dan kadar serat *flakes* semakin meningkat seiring dengan penambahan tepung bonggol pisang mas termodifikasi. Kadar air dan serat yang semakin tinggi pada produk *flakes* menyebabkan tekstur *flakes* semakin meningkat (keras). Jika kadar air suatu produk meningkat, maka kekerasan produk tersebut juga akan meningkat, sehingga mengakibatkan daya patah yang dimiliki semakin tinggi. Serat merupakan polisakarida yang dalam bahan makanan berfungsi sebagai penguat tekstur. Semakin tinggi kadar serat maka akan menghasilkan produk dengan tekstur yang lebih kokoh dan kuat akibatnya produk menjadi lebih keras dan daya patahnya meningkat. Semakin tinggi nilai daya patah flakes, semakin bagus kualitas flakesnya. Hal ini karena flakes menjadi lebih tahan terhadap tekanan, sehingga bentuk dari produk dapat terjaga, tidak rapuh, serta tidak mudah hancur. Saat proses pembentukan tekstur, komponen pati, serat dan protein saling berkompetisi mengikat air untuk membentuk tekstur.

J. Maltodekstrin dari Pati Uwi Putih (*Dioscorea alata*) sebagai enkapsulan Bubuk Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.)

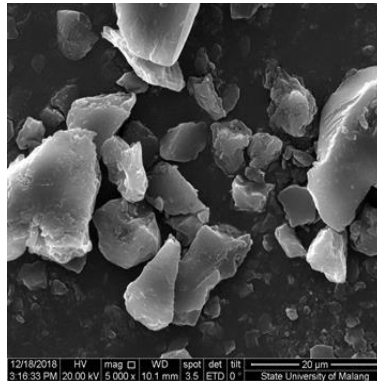
Enkapsulasi adalah proses atau teknik untuk menyalut inti yang berupa senyawa aktif padat, cair, gas, atau sel dengan suatu bahan pelindung tertentu yang dapat mengurangi kerusakan senyawa aktif. Cabai rawit bersifat mudah rusak (*perishable*) dan senyawa *capsaicin* yang dikandungnya bersifat volatil. Perlindungan senyawa aktif *capsaicin* dengan melakukan encapsulasi pada bubuk cabe. Salah satu bahan pelindung yang dapat digunakan dalam pembuatan enkapsulan diantaranya adalah maltodekstrin dan *gum arab*.

Tabel 8.9 Karakteristik Maltodekstrin Uwi Putih

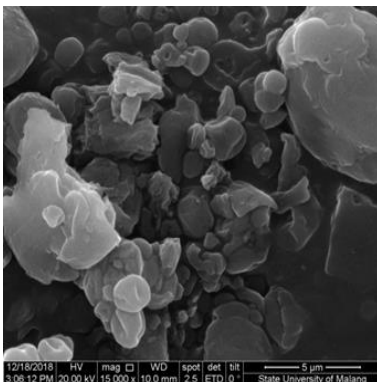
Parameter	Pati Uwi Putih	Maltodekstrin Uwi Putih
Kadar air (%)	5,575 ± 0,147	5,416 ± 0,070
Rendemen (%)	6,946 ± 0,148	98,417 ± 0,362
Kelarutan (%)	-	99,131 ± 0,227
<i>Dextrose Equivalen</i>	-	9,861 ± 0,196



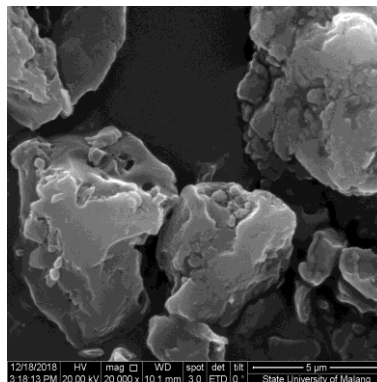
Pati alami uwi putih



pati termodifikasi
(maltodekstrin) uwi putih



Bubuk cabe rawit
teren kapsulasi dengan
Pengeringan menggunakan
spray dryer (15 kx).



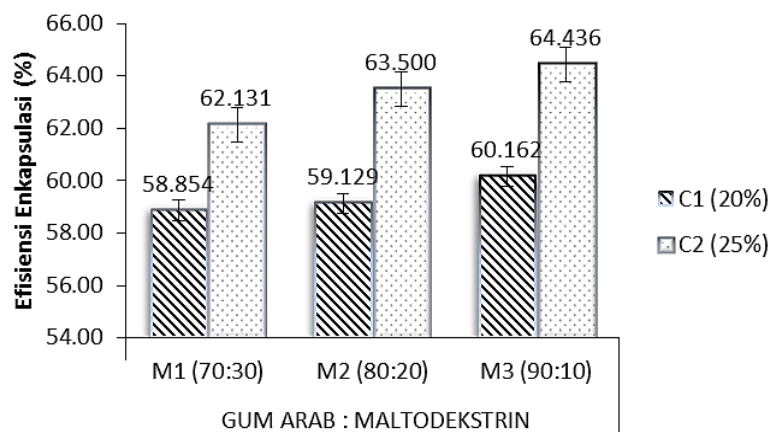
Bubuk cabe rawit
teren kapsulasi dengan
Pengeringan menggunakan
cabinet dryer (20 kx).

Gambar 8.24 Bentuk granula pati uwi putih alami, maltodekstrin dari uwi putih dan bubuk cabe rawit teren kapsulasi dengan maltodekstrin dari uwi putih

Cabai rawit memiliki senyawa aktif capsaicin yang menimbulkan rasa pedas. cabai rawit bersifat mudah rusak (*perishable*) dan senyawa capsaicin yang dikandungnya bersifat volatil. Bahan penyalut yang umum digunakan sebagai enkapsulan dapat berasal

dari gum, karbohidrat, dan protein seperti susu skim, laktosa, sukrosa, maltodekstrin, alginat, gum arab, pati, agar, gelatin, karagenan, albumin, dan kasein. Enkapsulasi bertujuan untuk melindungi bahan aktif yang sensitif terhadap kerusakan karena oksidasi, kehilangan nutrisi, melindungi flavour, aroma, pigmen, dan meningkatkan kelarutan. Maltodekstrin dapat dihasilkan dari pati yang dimodifikasi. Pati banyak terdapat pada umbi-umbian. Salah satu umbi yang belum banyak digunakan adalah umbi uwi putih (*Dioscorea alata*).

Maltodekstrin mempunyai berbagai fungsi mencakup pembesaran dan sifat-sifat pembentukan film, kemampuan pengikat rasa dan lemak, serta mereduksi *permeability* oksigen pada matriks dinding. Beberapa alasan yang mendasari maltodekstrin untuk bahan enkapsulasi yaitu: maltodekstrin dapat mengurangi reaktifitas bahan inti dengan lingkungan, *controlled release* yang cocok untuk bahan inti obat-obatan, maltodekstrin dapat meningkatkan proses dan tekstur, maltodekstrin dapat memperkuat kelarutan. Maltodekstrin dengan DE (*Dextrose Equivalent*) yang rendah bersifat non-higroskopis, sedangkan maltodekstrin dengan DE tinggi cenderung menyerap air (higroskopis).



Gambar 8.25 Efisiensi enkapsulasi bubuk cabai rawit dengan gum arab dan maltodekstrin uwi putih

Efisiensi enkapsulasi merupakan perbandingan antara kapsaisin terperangkap dengan kapsaisin total. Semakin tinggi efisiensi enkapsulasi maka semakin baik pula kemampuan penyalut dalam melindungi bahan intinya. Pada Gambar 8.25 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi bubuk cabai rawit dan semakin banyaknya proporsi gum arab atau semakin sedikitnya proporsi maltodekstrin maka efisiensi enkapsulasi bubuk cabai rawit semakin meningkat. Konsentrasi bubuk cabai rawit yang ditambahkan semakin tinggi, sehingga kapsaisin yang terdapat pada enkapsulan juga meningkat.

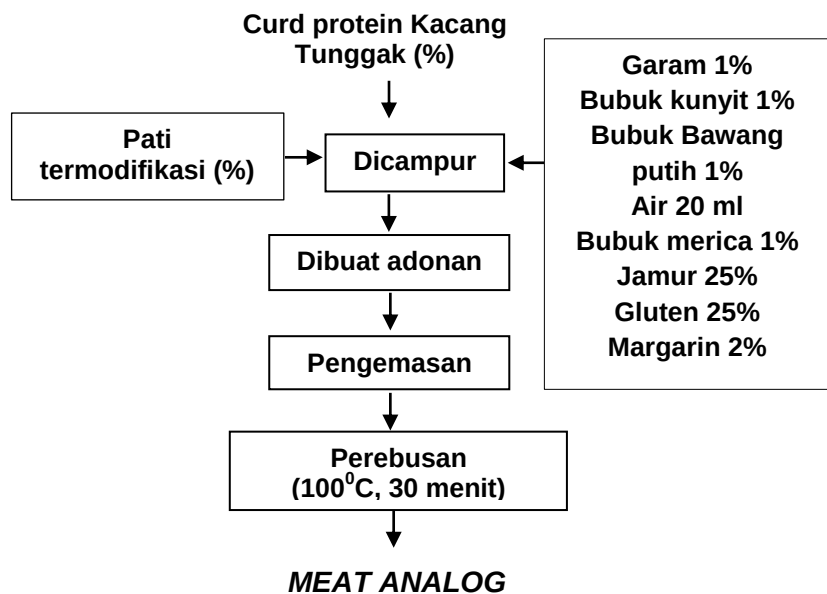
Formulasi optimal enkapsulasi bubuk cabai rawit pada konsentrasi bubuk cabai 25% dan proporsi gum arab : maltodekstrin dari uwi putih (90 : 10) didapatkan karakteristik kadar air 4,17% ; KE (kapsaisin terperangkap) 1,78 mg/gr ; KT (kapsaisin total) 2,764 mg/gr ; efisiensi enkapsulasi 64,44% ; *loading capacity* 27,64 mg/gr ; warna L 49,30 ; warna a 32,95 ; warna b 29,60 yang berwarna merah.

K. Pati Kimpul Termodifikasi pada *Meat Analog*

Meat analog adalah produk yang dibuat dari protein nabati dari bahan bukan daging. Meat analog untuk memberikan alternatif produk daging namun memiliki nilai gizi yang sama. Daging tiruan dibuat dengan cara pembuatan adonan dari *Curd protein* kacang tunggak dan pati modifikasi *autoclaving-cooling* umbi kimpul. Bahan baku yang digunakan memiliki rentan Curd protein kacang tunggak 20-30% dan pati modifikasi umbi kimpul 20-30%.

Tabel 8.10 Sifat Fisikokimia Pati Kimpul Termodifikasi
Autoclaving Cooling

Parameter	Pati Kimpul	Pati Kimpul Termodifikasi
Kadar Air (%)	—	8,90
Kadar Abu (%)	—	0,17
Kadar Pati (%)	—	71,28
Kadar Amilosa (%)	—	28,40
Kadar Amilopektin(%)	—	42,88
OHC (g/g)	2,8127	3,38
WHC (g/g)	2,4174	5,23
Swelling power(%)	10,52	6,21
Solubility (%)	10,4136	3,71



Gambar 8.26 Diagram alur pembuatan *Meat Analog* (Ahirwar, 2015)

Pati memiliki sifat fisik seperti daya serap air atau *Water Holding Capacity* (WHC) dan daya serap minyak atau *Oil Holding Capacity* (OHC). Selama proses modifikasi fisik secara *Autoclaving Cooling* terjadi peningkatan sifat fisik pada OHC dan WHC. Nilai OHC pati sebelum dimodifikasi sebesar 2,81 g/g dan sesudah dimodifikasi 3,38 g/g. Begitu pula dengan nilai WHC pati sebelum dimodifikasi sebesar 2,42 g/g dan sesudah dimodifikasi 5,23 g/g. Peningkatan daya serap air karena gelatinisasi dari pati diakibatkan oleh proses autoklaf. Pada penelitian kadar WHC dalam tepung singkong alami (*native*) yaitu sebesar 13,76% dan meningkat setelah mengalami *autoclaving-cooling* menjadi 30,72%. Peningkatan daya serap air pati signifikan dalam proses autoklaf, HMT (*Heat Moisture Treatment*) dan *annealed starch*.

Proses pemanasan bertekanan dan menyebabkan pemotongan rantai percabangan amilopektin menjadi amilosa rantai lurus dengan panjang rantai lebih pendek, berat molekul lebih kecil dan gugus hidroksil lebih banyak, sehingga lebih mudah menyerap air dan mempunyai kemampuan WHC jauh lebih besar daripada pati alami. Pemendekan molekul pati secara tidak langsung juga meningkatkan luas permukaannya, sehingga kemampuan interaksi dengan minyak (OHC) mengalami peningkatan meskipun peningkatannya sangat terbatas karena minyak bersifat hidrofob (sulit bereaksi dengan air). Dalam hal ini minyak diduga hanya menyelimuti di sekitar RS-3.

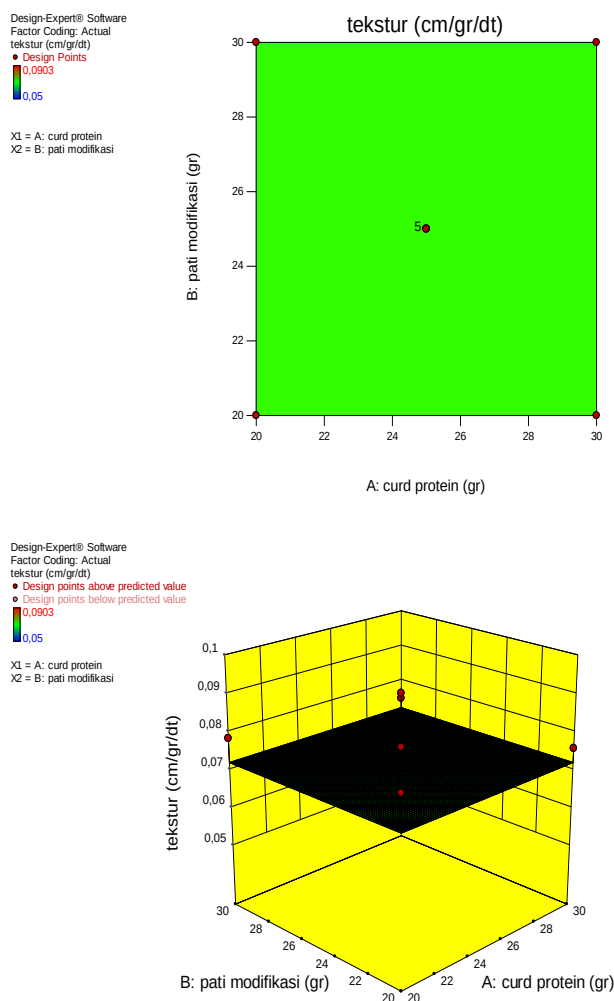
Swelling power atau kemampuan pembengkakan pati mengalami penurunan selama proses modifikasi fisik secara *autoclaving cooling* yaitu dari 10,52% menjadi 6,21%. Metode *autoclaving-cooling* atau yang disebut dengan teknik pemanasan suhu tinggi bertekanan-pendinginan prinsipnya hampir sama dengan pati modifikasi metode *Heat Moisture Treatment* dengan perbedaan pada penggunaan tekanan vakum tetapi tetap berprinsip pada penggunaan panas dan kadar air yang terbatas sehingga dapat mengubah karakteristik gelatinisasi pati yaitu meningkatkan suhu

gelatinisasi, meningkatkan viskositas pasta pati, membatasi pembengkakan, meningkatkan stabilitas pasta pati dan meningkatkan kecenderungan pati untuk mengalami retrogradasi yang mempengaruhi kristalinitas pati, dan pengembangan granula pati.

Solubility atau kelarutan pati mengalami penurunan selama proses modifikasi fisik secara *autoclaving cooling* dari 10,41% menjadi 3,71%. Hal ini dapat disebabkan perubahan matriks pada kristal pati sehingga amilosa sulit keluar. Ketika pati dipanaskan dalam jumlah air berlebih maka akan terjadi gelatinisasi pati dimana granula akan rusak dan keluar dari grup hidroksil ikatan amilosa dan amilopektin dikarenakan struktur kristalannya berubah. Hal ini menyebabkan *Swelling Power* dan kelarutannya menjadi meningkat. Lain halnya dengan pati modifikasi kemungkinan tidak mengalami interaksi seperti pada pati alami ketika dipanaskan dalam air dimana pati modifikasi hanya mengalami perubahan susunan struktur dan kristalisasi. Semakin banyak amilosa yang keluar maka kelarutannya bertambah tetapi metode modifikasi ini menyebabkan sulitnya leaching amilosa sehingga kelarutan pati kimpul *autoclaving-cooling* lebih rendah daripada pati alaminya.

Tekstur pada *Meat analog* dipengaruhi oleh kemampuan mengikat air dan minyak pada bahan baku yaitu pati modifikasi umbi kimpul. Pati kimpul telah mengalami modifikasi secara fisik yang menyebabkan sedikit peningkatan WHC dan OHC namun pengaruhnya tidak signifikan terhadap tekstur produk *Meat analog*. Sifat fisikokimia lain yang penting dari produk olahan daging adalah kemampuan mengikat air (WHC), stabilitas emulsi, dan tekstur setelah dimasak. WHC merupakan kemampuan daging untuk mengikat dengan cepat air yang ada didalamnya atau penambahan selama proses. Kemampuan mengikat air yang baik penting untuk menghasilkan karakteristik yang diinginkan pada produk daging. Serat merupakan penambahan yang cocok pada produk daging dan pernah digunakan sebelumnya pada produk olahan daging untuk meningkatkan WHC. Hal ini dapat mengubah pengaruh stabilitas

emulsi dan produk akhir setelah dimasak. WHC yang lebih tinggi berpengaruh terhadap nilai keduanya yaitu stabilitas emulsi dan hasil setelah dimasak. Berikut adalah gambar *contour* dan *3D surface* yang diperoleh dari aplikasi *Design Expert 10* pada parameter tekstur dapat dilihat pada Gambar 8.27



Gambar 8.27 *Contour* dan *3D Surface* nilai tekstur (*Curd protein*: pati modifikasi)

Berdasarkan Gambar *contour* yang diperoleh, penambahan kedua faktor tidak menyebabkan perubahan warna pada setiap levelnya yang berarti tidak ada perubahan nilai tekstur selama perlakuan. Begitu pula dengan Gambar *3D surface* permukaan yang datar pada setiap formulasi *Meat analog* menunjukkan pola yang serupa pula yaitu data nilai tekstur yang diperoleh lurus pada setiap level faktor tanpa adanya kenaikan atau penurunan.

Kondisi optimum dalam pembuatan *meat analog* dapat dicapai dengan penambahan *curd protein* kacang tunggak 30% dan pati termodifikasi umbi kimpul 25%. Nilai optimum yang masuk ke dalam kriteria optimum adalah kadar air 50,92%, kadar abu 2,11%, kadar lemak 4,18%, kadar protein 18,97%, kadar karbohidrat 23,82%, tekstur 0,07 mm/gr/dt, dan warna 22,44 (L).

RANGKUMAN

Pada saat pati dimodifikasi, granula pati akan terdegradasi menjadi molekul-molekul yang lebih kecil dan mudah larut dalam air. Selama proses fermentasi mikroba menghasilkan enzim selulase yang dapat mendegradasi selulosa pada dinding sel pati dan menyebabkan rusaknya dinding sel serta keluarnya granula pati. Kemudian granula pati dihidrolisis sebagian sehingga menjadi berlubang. Granula pati yang berlubang menyebabkan air dan molekul pati yang larut air (amilosa) dengan mudah keluar dan masuk ke dalam granula pati sehingga terjadi leaching amilosa. Amilosa termasuk senyawa yang bersifat polar, jadi semakin banyak komponen amilosa yang keluar, maka kelarutan semakin meningkat. Semakin kecil ukuran granula, semakin tinggi kelarutan pati. Dengan demikian, dapat membentuk ikatan hidrogen baru yang menghasilkan stabilitas granula yang lebih baik. Perubahan struktur pati inilah menyebabkan sifat-sifat pati menjadi lebih baik. Pati termodifikasi fisik, kimia, enzimatis dan dengan bakteri asam laktat dapat diaplikasikan pada produk seperti: mie, *cookies*, *biscuit*, *flake*, tablet dan aneka minuman fungsional.

Pertanyaan

- 1) Sifat fungsional apa saja yang terjadi pada tepung umbi dan pati setelah dimodifikasi
- 2) Apa saja kelebihan produk pangan yang menggunakan tepung atau pati termodifikasi?
- 3) Apa yang terjadi pada kandungan pati resisten Ketika suatu pati dimodifikasi?
- 4) Bagaimana sifat-sifat fisikimia tablet sirih Ketika menggunakan pati pre gelatinisasi dan maltodekstrin kimpul?
- 5) Bagaimana kecerahan warna produk mie pada penggunaan pati termodifikasi menggunakan bakteri asam laktat?
- 6) Jika saudara diminta untuk membuat produk sup instan, maka tipe pati termodifikasi apakah yang saudara pilih?

PUSTAKA

- Depkes RI. 2014. "Farmakope Indonesia Edisi V". Jakarta. Departemen Kesehatan Republik Indonesia". Halaman 327-569
- Ernawati, U., Lia, U dan Baskara, R. 2014. *Pengaruh Variasi Nilai Dextrose Equivalent (DE) Maltodekstrin Terhadap Karakteristik Mikroenkapsulan Pewarna Alami Daun Jati (Tectona Grandis L.f)*. Jurnal Teknologi Pertanian. Vol. 15, No.2: 111-120.
- Faraj A, T. Vasanthan , Hoover R. 2004. The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours. Food Research International 37 (2004) 517–525
- Hickman, E., B.S. Janaswamy., and Yao. 2009. *Autoclave and β -amylolysis led to Reduced in Vitro Digestibility of Starch*. J. Agric. Food Chem. 57: 7005-7012.

- Higgins, J.A., D.R. Higbee., W.T. Donahoo., Brown., I.L. Bell., and Bessesen. 2004. *Resistant Starch Consumption Promotes Lipid Oxidation*. Nutrition Metabolism, 1(1): 8-16.
- Hustiany, R. 2006. Modifikasi Asilasi dan Suksinilasi Pati Tapioka sebagai Bahan Enkapsulasi Komponen Flavor. Disertasi, Institut Pertanian Bogor.
- Khrisnan, S., A.C. Kshirsagar, Dan R. S. Singhal. 2005. The Use Of Gum Arabic And Modified Starch In The Microencapsulation Of Food Flavoring Agent. Journal Carbohydrate Polymer. Vol.6 No.2. Hal 311-322.
- Koswara, S. (2009). Teknologi modifikasi pati. Teknol. Pangan, 1-32.
- Kusnandar, Feri. 2010. Kimia pangan. Komponen Pangan. PT. Dian Rakyat. Jakarta.
- Leong, YH., A.A. Karim., and Norziah. 2007. *Effect of pullulanase debranching of sago (Metroxylon sagu) starch at subgelatinization temperature on the yield of resistant starch*. Starch/Starke. 59(1): 21-32.
- Manley, D.J.R. 2001. *Biscuit, Cracker, and Cookie Recipes For The Food Industry*. Woodhead Publishing Limited, Abington. England.
- Molyneux, P. 2004. *The Use of the Stable Free Radical Diphenylpicryl-Hydrazyl (DPPH) for Estimating Antioxidant Activity*. Songklanakarin J. Sci. Technol. Vol. 26, No. 2: 211-219.
- Ozturk, S., H. Koksel., and Kahraman. 2009. *Effect of Debranching and Heat Treatments on Formation and Functional Properties of Resistant Starch from Highamylose Corn Starch*. Eur Food Tes Technol 229: 115-125.

- Suarni., dan I.U. Firmansyah. 2005. *Beras Jagung: Prosesing Dan Kandungan Nutrisi Sebagai Bahan Pangan Pokok*. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional Jagung. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.
- Subagyo.2006. Ubi Kayu Substitusi Berbagai Tepung-tepungan. Jakarta: Food. Review.
- Codex Alimentarius Commision. 1995. Edible Cassava Flour (CODEX STAN 176-1989 (Rev. 1 – 1995). Codex Alimentarius Commision. USA.