

Diabetes melitus atau kencing manis adalah suatu gangguan kronis yang menyangkut metabolisme glukosa, lemak, dan protein akibat dari kekurangan hormon insulin yang berfungsi memanfaatkan glukosa sebagai sumber energi dan mensintesis lemak. Ini berakibat pada menumpuknya glukosa dalam darah dan akhirnya diekskresikan lewat kemih tanpa digunakan. Oleh karena itu, produksi kemih meningkat dan penderita diabetes melitus harus sering kencing, merasa amat haus, berat badan menurun, dan merasa lelah. Penderita diabetes melitus akan mengalami peningkatan kadar gula darah yang melebihi batas normal yaitu 145 mg/dl atau lebih. Terdapat dua jenis diabetes melitus yaitu diabetes melitus tidak tergantung insulin dan diabetes melitus tergantung insulin. Pada penderita diabetes melitus, kadar insulin rendah disebabkan oleh defisiensi sekresi insulin (Nurwahyunani, 2006).

Bagi penderita diabetes, sangat penting untuk mengatur pola makan dalam rangka pengendalian kadar glukosa darah. Hal ini diperlukan untuk mencegah penyakit diabetes menjadi lebih parah sehingga berpotensi mengakibatkan kematian. Pengendalian kadar glukosa darah dapat dilakukan salah satunya adalah dengan mengonsumsi makanan sumber karbohidrat yang rendah glikemik.

2.2 Tinjauan Umum Pati

Pati merupakan sumber karbohidrat yang paling banyak dikonsumsi. Pati terdapat dalam tanaman terutama dalam biji-bijian, batang, akar, umbi, rizoma dan buah-buahan dari tanaman yang berhijau daun. Pati yang tersimpan dalam

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencernaan Karbohidrat Dalam Tubuh Manusia

Karbohidrat merupakan sumber energi utama dalam tubuh. Dari tiga sumber utama energi yaitu karbohidrat, protein, dan lemak; karbohidrat merupakan sumber energi yang paling murah. Karbohidrat juga merupakan bagian dari struktur sel dalam bentuk glikoprotein. Simpanan energi di dalam otot dan hati terdapat dalam bentuk glikogen, salah satu bentuk karbohidrat yang mudah dimobilisasikan bila badan memerlukan banyak energi (Sediaoetama, 2006).

Makanan mengandung karbohidrat yang dimakan mengalami pencernaan di mulut dan usus halus. Bolus makanan yang dikunyah bercampur dengan enzim amilase dalam ludah. Sebagian besar pencernaan karbohidrat terjadi dalam usus halus yang melibatkan enzim amilase yang dikeluarkan oleh pankreas. Selanjutnya hasil pencernaan karbohidrat yang berupa monosakarida glukosa, fruktosa, dan galaktosa diabsorpsi melalui sel epitel usus halus (Almatsier, 2009).

Usus halus yang panjangnya kurang lebih enam meter dengan diameter kurang lebih 2,5 cm mempunyai permukaan yang luasnya kira-kira 200 m². Hal ini karena permukaan bagian yang sekilas tampak licin, di bawah mikroskop terlihat berlipat-lipat. Tiap lipatan mempunyai ribuan vili. Sebuah vili terdiri atas ratusan sel yang masing-masing mempunyai bulu halus yang dinamakan *mikrovili* atau *brush border*. Tiap molekul zat gizi yang ukurannya cukup kecil terjatoh dalam mikrovili dan diserap dalam sel. Glukosa yang didapat dari pencernaan pati

diabsorpsi secara aktif ke dalam sel dengan melibatkan ATP. Saat glukosa memasuki darah, kadar glukosa darah akan naik hingga kurang lebih 100 mg/dl sampai dengan 120 mg/dl, lebih tinggi dari kadar glukosa darah saat berpuasa. Kadar glukosa yang tinggi dalam darah direspon oleh pankreas dengan memproduksi hormon insulin yang berperan membantu glukosa darah memasuki jaringan tubuh (Guyton, 1997).

Glukosa yang diserap tubuh dari makanan digunakan sesuai keperluan, bila pasokan glukosa tersebut berlebihan, sisanya disimpan dalam otot sebagai senyawa yang disebut glikogen. Hormon insulin merupakan hormon yang berperan dalam proses penyimpanan cadangan glikogen ini. Gula yang menumpuk banyak di dalam pembuluh darah akan membuat darah menjadi kental dan alirannya melambat, sehingga mengakibatkan gangguan pada pasokan oksigen yang dibawa darah (Mangoenprasodjo, 2005).

Agar dapat berfungsi secara optimal, tubuh hendaknya dapat mempertahankan konsentrasi gula darah (dalam bentuk glukosa) dalam batas-batas tertentu, yaitu 70-120 mg/dl dalam keadaan puasa. Bila gula darah naik di atas 170 mg/100 ml akan dikeluarkan melalui urine. Bila sebaliknya gula darah turun hingga 40-50 mg/100 ml, kita akan merasa gugup, pusing, lemas, dan lapar. Bila gula darah turun secara mencolok, produksi hormon tiroksin akan meningkat. Glikogenolisis dan glukoneogenesis dalam hati akan meningkat sehingga gula darah naik. Kegagalan dalam pengaturan gula darah terjadi karena terganggunya sistem pengaturan gula darah tubuh, seperti pada penyakit diabetes mellitus (Almatsier, 2009).

bentuk granula ini berfungsi sebagai cadangan karbohidrat yang akan digunakan selama masa istirahat dan untuk perkecambahan (Muljohardjo, 1987).

Granula pati tersusun oleh tiga komponen utama, yaitu amilosa, amilopektin dan bahan antara yang merupakan komponen minor berupa lemak dan protein. Secara umum granula pati biji-bijian mengandung bahan antara yang lebih banyak dibandingkan dengan granula pati umbi-umbian (Banks and Greenwood, 1975). Menurut Galliard dan Bowler (1987) komponen minor yang terdapat pada granula pati meliputi protein, lemak, substansi inorganik dan bahan dinding sel tanaman berupa kandungan pentosan.

Amilosa tersusun dari molekul-molekul glukosa yang diikat dengan ikatan α -(1,4)-glikosidik yang membentuk struktur linear. Amilopektin disamping disusun oleh struktur utama linear juga memiliki struktur yang bercabang-cabang, dimana titik-titik percabangannya diikat dengan ikatan α -(1,6)-glikosidik. Kandungan amilosa dan amilopektin dan struktur granula pati berbeda-beda pada berbagai jenis sumber pati menyebabkan perbedaan sifat fungsional pati, seperti kemampuan membentuk gel dan kekentalannya (Whistler *et al.*, 1984).

Sumber pati banyak digunakan untuk konsumsi atau sebagai makanan pokok, diantaranya adalah pati kentang, tapioka, sagu, beras, jagung, gandum, kacang tanah, dan sebagainya (Kusnandar, 2006). Ada 6 katagori penggunaan pati dalam makanan yaitu sebagai agen pengental, penstabil, pembentuk gel, pengikat serta pelapis (Pomeranz, 1985). Dalam penelitian ini, pati jagung dan ubi kayu digunakan dengan pertimbangan untuk menaikkan nilai ekonomisnya.

Sebagaimana telah diketahui, tingkat konsumsi masyarakat terhadap jagung dan ubi kayu masih lebih rendah dibandingkan padi.

Banyaknya manfaat yang dapat diambil dari bahan makanan sumber pati ini karena makanan tersebut merupakan salah satu hasil alam yang dikaruniakan oleh Allah SWT. Kita diperintahkan oleh Allah untuk memanfaatkan makanan yang baik dan telah disediakan oleh bumi. Hal ini ditegaskan dalam Al-Qur'an surah Al-Baqarah ayat 168 :

يَتَأْتِيهَا النَّاسُ كُلُّوا مِمَّا فِي الْأَرْضِ حَلَلًا طَيِّبًا وَلَا تَتَّبِعُوا خُطُوَاتِ الشَّيْطَانِ إِنَّهُ لَكُمْ عَدُوٌّ مُّبِينٌ

Artinya: *“Hai sekalian manusia, makanlah yang halal lagi baik dari apa yang terdapat di bumi, dan janganlah kamu mengikuti langkah-langkah syaitan; Karena Sesungguhnya syaitan itu adalah musuh yang nyata bagimu”* (QS. Al-Baqarah : 168).

2.3 Karakteristik Pati Jagung dan Ubi Kayu

2.3.1 Pati Jagung

Allah SWT berfirman dalam surat Al-An'am ayat 95 :

إِنَّ اللَّهَ فَالِقُ الْحَبِّ وَالنَّوَىٰ ۗ يُخْرِجُ الْحَيَّ مِنَ الْمَيِّتِ وَيُخْرِجُ الْمَيِّتَ مِنَ الْحَيِّ ۗ ذَٰلِكُمْ اللَّهُ فَالِقُ فَأَنَّىٰ تُؤْفَكُونَ

Artinya: *“Sesungguhnya Allah menumbuhkan butir tumbuh-tumbuhan dan biji buah-buahan. Dia mengeluarkan yang hidup dari yang mati dan mengeluarkan yang mati dari yang hidup. (Yang memiliki sifat-sifat) demikian ialah Allah, maka mengapa kamu masih berpaling?”* (QS. Al-An'am : 95).

Ayat di atas menjelaskan salah satu kekuasaan Allah SWT, yaitu ditumbuhkannya tumbuh-tumbuhan dan buah-buahan dari tanah. Hal ini dilakukan oleh Allah SWT semata untuk menyediakan segala yang diperlukan oleh umat manusia sebagai khalifah di muka bumi. Manusia berhak untuk memanfaatkan tumbuhan tersebut dalam memenuhi kebutuhan hidupnya, terutama untuk digunakan sebagai bahan makanan pokok. Salah satunya adalah memanfaatkan tanaman jagung yang menyediakan sumber energi bagi manusia.

Biji jagung mengandung pati 54,1-71,7%, sedangkan kandungan gulanya 2,6-12,0%. Karbohidrat pada jagung sebagian besar merupakan komponen pati, sedangkan komponen lainnya adalah pentosan, serat kasar, dekstrin, sukrosa, dan gula pereduksi (Richana, 2006).

Pati jagung mempunyai ukuran granula yang cukup besar dan tidak homogen yaitu 1-7 μ m untuk yang kecil dan 15-20 μ m untuk yang besar. Granula besar berbentuk oval polyhedral dengan diameter 6-30 μ m. Granula pati yang lebih kecil akan memperlihatkan ketahanan yang lebih kecil terhadap perlakuan panas dan air dibanding granula yang besar. Pengamatan dengan DSC pada berbagai ukuran granula memperlihatkan nilai entalpi dan kisaran suhu gelatinisasi yang lebih rendah dari ukuran granula yang lebih besar (Singh *et al.* 2005).

Granula pati jagung yang utuh tidak larut dalam air dingin. Granula pati dapat menyerap air dan membengkak, tetapi tidak dapat kembali seperti semula (retrogradasi). Air yang terserap dalam molekul menyebabkan granula mengembang. Pada proses gelatinisasi terjadi pengrusakan ikatan hidrogen

intramolekuler. Ikatan hidrogen berperan mempertahankan struktur integritas granula. Terdapatnya gugus hidroksil bebas akan menyerap air, sehingga terjadi pembengkakan granula pati. Dengan demikian, semakin banyak jumlah gugus hidroksil dari molekul pati semakin tinggi kemampuannya menyerap air. Oleh karena itu, absorpsi air sangat berpengaruh terhadap viskositas (Tester, 1996).

Dibanding sumber pati lain, jagung mempunyai beragam jenis pati, mulai dari amilopektin rendah sampai tinggi. Jagung dapat digolongkan menjadi empat jenis berdasarkan sifat patinya, yaitu jenis normal mengandung 74-76% amilopektin dan 24-26% amilosa, jenis *waxy* mengandung 99% amilopektin, jenis *amylomaize* mengandung 20% amilopektin atau 40-70% amilosa, dan jagung manis mengandung sejumlah sukrosa di samping pati. Jagung normal mengandung 15,3-25,1% amilosa, jagung jenis *waxy* hampir tidak beramilosa, jagung *amylomaize* mengandung 42,6-67,8% amilosa, jagung manis mengandung 22,8% amilosa (Singh *et al.*, 2005).

Amilosa memiliki 490 unit glukosa per molekul dengan rantai lurus α -(1,4) glikosida, sedangkan amilopektin memiliki 22 unit glukosa per molekul dengan ikatan rantai lurus α -(1,4) glikosida dan rantai cabang α -(1,6) glikosida. Dengan proses penggilingan basah (*wet milling*) jenis *waxy* dan *amylomaize* menghasilkan pati yang khas. Pati jagung *waxy* dan pati termodifikasi banyak dimanfaatkan karena sifat-sifatnya yang khas (viskositas, stabilitas panas, dan pH) setelah hidrasi. Pati jenis *amylomaize* digunakan dalam industri tekstil, permen gum, dan perekat papan (Suarni, 2006).

2.3.2 Pati Ubi Kayu

Ubi kayu merupakan tanaman yang mempunyai daya adaptasi lingkungan yang sangat luas, sehingga ubi kayu dapat tumbuh di semua propinsi di Indonesia. Berdasarkan kontribusi terhadap produksi nasional, terdapat 10 propinsi utama penghasil ubi kayu yaitu Jawa Timur, Jawa Tengah, Lampung, Sumatera Selatan, Sulawesi Tenggara, Maluku dan Sumatera Utara yang menyumbang sebesar 89,47% dari produksi nasional, sedangkan propinsi yang lain sekitar 11-12%. Rata-rata produktivitas nasional ubi kayu sebesar 12,2 ton/ha (BPS, 2000).

Tapioka adalah pati yang diperoleh dari tanaman ubi kayu (*Manihot esculenta*), dalam perdagangan lebih dikenal sebagai *tapioca flour* atau tepung tapioka. Sifat dari tepung tapioka adalah granula patinya sama dengan granula pati jagung yaitu bentuknya bulat, permukaannya datar pada salah satu sisi yang mengandung celah berbentuk konus yang meluas ke arah hilum yang bersifat eksentrik, kadang-kadang bentuknya melingkar. Ukuran granula pati yang kecil bervariasi antara 5-15 μm , ukuran sedang bervariasi antara 15-25 μm dan ukuran besar bervariasi antara 25-35 μm . Ditinjau dari segi penggunaan, menunjukkan bahwa pati tapioka ini dapat digunakan sebagai bahan baku untuk bermacam-macam keperluan, baik untuk keperluan industri makanan maupun untuk industri non makanan. Untuk industri makanan misalnya sebagai bahan baku dalam pembuatan makaroni, roti/kue, sirup glukosa/fruktosa, kembang gula dan lain-lain (Muljohardjo, 1987).

Tapioka mempunyai amilopektin tinggi, tidak mudah menggumpal, daya lekatnya tinggi, tidak mudah pecah/rusak dan mempunyai suhu gelatinisasi relatif

rendah, memiliki flavor yang tidak berasa (tidak mempunyai flavor bahan baku dalam pengolahan bahan pangan). Selain itu tapioka termasuk ke dalam produk-produk makanan yang beresiko rendah (Anonymous, 2001). Tapioka mengandung amilosa sekitar 17%, suhu gelatinisasinya berkisar antara 61°C sampai 71°C (Zobel dan Stephen, 1995).

Setiap 100 gram tapioka/pati ubi kayu mengandung 12 gram air, energi 342 gram, protein 1,5 gram, Karbohidrat 84 gram, Ca 55 mg, Fe 2 mg, thiamin 0,04 mg, riboflavin 0,04 mg. (Harper *et al.*, 1986).

Kandungan nutrisi yang beragam pada ubi kayu di atas merupakan pertanda bahwa Allah SWT telah menciptakan tanaman ini dengan baik. Manusia telah mendapatkan perintah untuk memakan makanan yang baik-baik yang terdapat di alam. Sebagaimana yang telah tersirat dalam Al-Qur'an :

وَكُلُوا مِمَّا رَزَقَكُمُ اللَّهُ حَلَالًا طَيِّبًا وَاتَّقُوا اللَّهَ الَّذِي أَنْتُمْ بِهِ مُؤْمِنُونَ

Artinya: “Dan makanlah makanan yang halal lagi baik dari apa yang Allah Telah rezekikan kepadamu, dan bertakwalah kepada Allah yang kamu beriman kepada-Nya” (QS. Al-Maidah : 88).

2.4 Pemanfaatan Pati Jagung dan Ubi Kayu

Jagung dan ubi kayu merupakan bahan makanan pokok yang melimpah tapi memiliki nilai sosial tergolong lebih rendah dari beras. Di beberapa daerah di Indonesia, jagung sudah dipergunakan sebagai bahan makanan pokok di samping beras. Jawa Tengah, Jawa Timur, Sulawesi, dan beberapa daerah lainnya di

sebelah timur tanah air diketahui mempergunakan kombinasi beras dan jagung sebagai makanan pokok utama. Di daerah Tengger, Jawa Timur, beras jagung ditanak sebagaimana beras menjadi nasi aron. Nasi aron jagung ini dapat tahan lama tanpa menjadi basi untuk beberapa hari, sehingga dapat dipergunakan sebagai bekal dalam perjalanan atau bepergian yang memerlukan beberapa hari (Sediaoetama, 2006).

Jagung kurang banyak dikonsumsi sebagai makanan pokok tapi banyak dimanfaatkan sebagai bahan pangan dan industri. Pemanfaatan tepung jagung komposit pada berbagai bahan dasar pangan antara lain untuk kue basah, kue kering, mie kering, dan roti-rotian. Tepung jagung komposit dapat mensubstitusi 30-40% terigu untuk kue basah, 60-70% untuk kue kering, dan 10-15% untuk roti dan mie (Richana *et al*, 2005). Di samping itu, pati jagung banyak dimodifikasi untuk berbagai keperluan. Diantaranya untuk meningkatkan kadar amilosanya sebagai bahan pangan fungsional..

Ubi kayu juga merupakan bahan pangan yang berpotensi dikembangkan seperti halnya ubi jalar, jagung, wuluh, sukun, talas, ganyong, jali-jali, uwi, sagu, dan cantel. Ubi kayu mempunyai keunggulan berdasarkan aspek ketersediaan dan nutrisi. Keunggulan ubi kayu sebagai sumber kalori alternatif menurut Kurniawati dan Kasmianti (2007), antara lain :

- a. Keunggulan berdasarkan aspek nutrisi dibandingkan dengan padi pada kandungan lemak, kalsium, zat besi, vitamin A dan C.
- b. Keunggulan berdasarkan aspek keterjangkauan biaya produksi, yaitu setara dengan 70% dan 34% biaya produksi kalori dari jagung dan padi.

- c. Keunggulan berdasarkan aspek agronomis dari kemampuan tanaman beradaptasi terhadap lingkungan.

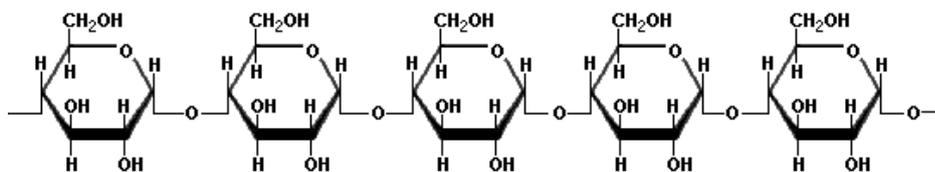
Ubi kayu dan jagung merupakan salah satu sumber daya alam yang diciptakan Allah SWT. Sumber daya alam yang disiapkan Allah untuk umat manusia tidak terhingga dan tidak terbatas. Kewajiban dan hak manusia adalah memanfaatkannya demi memenuhi kesejahteraan serta menjaganya dari kerusakan. Hal ini telah dijelaskan dalam Al-Qur'an :

وَأَتَّكُم مِّن كُلِّ مَا سَأَلْتُمُوهُ وَإِن تَعُدُّوا نِعْمَتَ اللَّهِ لَا تَحْصُوهَا إِنَّ الْإِنسَانَ لَظَلُومٌ كَفَّارٌ

Artinya : “Dan dia Telah memberikan kepadamu (keperluanmu) dan segala apa yang kamu mohonkan kepadanya. dan jika kamu menghitung nikmat Allah, tidaklah dapat kamu menghinggakannya. Sesungguhnya manusia itu, sangat zalim dan sangat mengingkari (nikmat Allah)” (QS. Ibrahim : 34)

2.5 Sifat-Sifat Amilosa dan Amilopektin

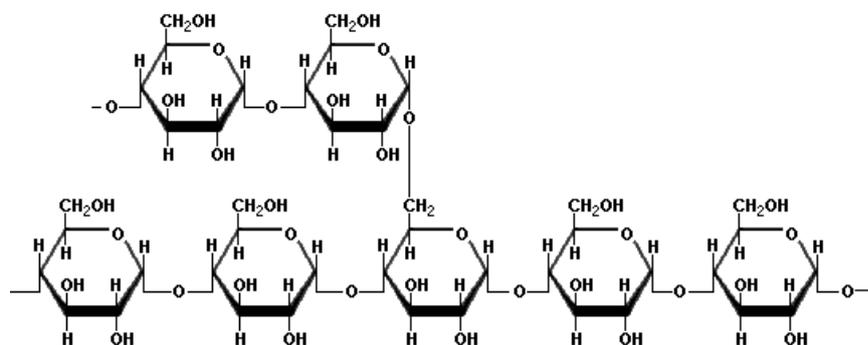
Amilosa tersusun dari molekul-molekul glukosa yang diikat dengan ikatan α -(1,4)-glikosidik yang membentuk struktur linear, sedangkan amilopektin disamping disusun oleh struktur utama linear juga memiliki struktur yang bercabang-cabang, dimana titik-titik percabangannya diikat dengan ikatan α -(1,6)-glikosidik. Kandungan amilosa dan amilopektin dan struktur granula pati berbeda-beda pada berbagai jenis sumber pati menyebabkan perbedaan sifat fungsional pati, seperti kemampuan membentuk gel dan kekentalannya (Whistler *et al.*, 1984).



Gambar 2.4.1 Amilosa (Tester *et al.*, 2004)

Amilosa merupakan rantai linier polimer (α -1,4-D-glukan) dengan berat molekul 10^5 - 10^7 . Amilosa mampu membentuk gel setelah granula pati dimasak, yaitu terjadinya gelatinasi dan pasta. Sifat ini sangat jelas terjadi pada pati yang mengandung amilosa. Pati jagung, pati gandum, pati beras dan khususnya pati jagung dengan amilosa tinggi yang diisolasi dari tanaman jagung hibrida biasanya digunakan sebagai pati pembentuk gel. Bila pasta pati tersebut mendingin, energi kinetik tidak lagi cukup tinggi untuk malawan kecenderungan molekul-molekul amilosa untuk bersatu kembali. Molekul-molekul amilosa berikatan kembali satu sama lain serta berikatan dengan cabang amilopektin pada pinggir-pinggir luar granula. Dengan demikian mereka menggabungkan butir pati yang yang membengkak itu menjadi semacam jaring-jaring membentuk mikrokristal dan mengendap. Proses kristalisasi kembali pati yang telah mengalami gelatinasi tersebut disebut retrogradasi (Winarno, 2002).

Amilopektin adalah karbohidrat yang memiliki percabangan dengan berat molekul 10^5 - 10^8 . Dalam satu cabang yang ada pada ikatan α -1,6-D-glukosa terdiri dari sekitar 20-25 unit ikatan 1,4-D-glukosa. Titik percabangan pada amilopektin terdiri dari 20 – 30 unit glukosa. Molekul amilopektin terdiri dari beraratus-ratus cabang dan berat molekulnya diperkirakan sekitar satu juta. Jumlah dari masing-masing fraksi tersebut dalam struktur pati tergantung dari sumber tanaman dan kondisi tempat tumbuhnya (Krzyzaniak, *et al.*, 2003).



Gambar 2.4.2 Amilopektin (Tester *et al.*, 2004)

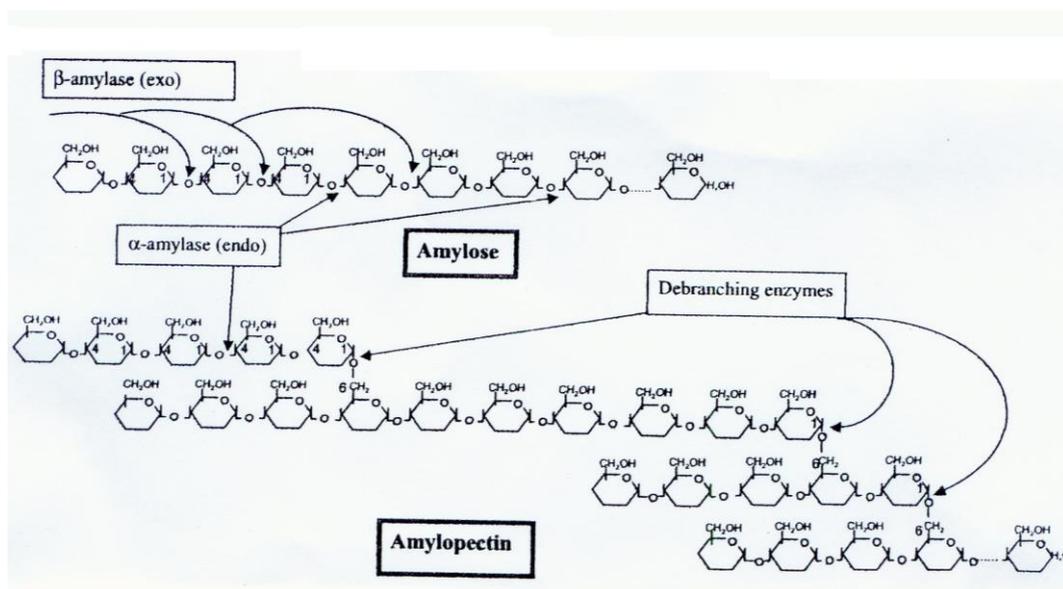
Amilopektin merupakan molekul yang dominan dalam pati, dimana polimer pada percabangannya lebih banyak daripada amilosa. Amilopektin disusun dari glukosa oleh ikatan α -(1,4)-glikosidik yang dihubungkan oleh titik percabangan ikatan α -(1,6)-glikosidik. Sekitar 4-6% dari ikatan yang ada dalam amilopektin adalah α -(1,6)-glikosidik (Hood, 1982). Karena adanya percabangan yang besar pada amilopektin, maka sifatnya sangat berbeda dengan amilosa seperti ukuran dan struktur molekulnya, retrogradasi lambat dan pembentukan gel lambat atau dapat dicegah. Pasta pati yang mengandung amilopektin tinggi (*waxy starch*) tidak membentuk gel.

Amilosa dan amilopektin pada granula pati tersusun dengan arah radial pada bentuk yang konsentrik. Amilosa tersusun dengan kompak pada daerah yang kristalin, sedangkan amilopektin tersusun pada daerah yang amorf dengan ikatan yang lebih lemah. Bagian yang amorf tersebut lebih mudah dicapai oleh air. Oleh karena itu, gelatinisasi dapat terjadi mulai dari bagian yang ikatannya lemah sehingga pati yang memiliki amilopektin tinggi lebih mudah tergelatinisasi (Haryadi, 1992).

2.6 Aktivitas Enzim Pullulanase Dalam Meningkatkan Kadar Amilosa Pati

Pullulanase merupakan enzim yang menghidrolisis ikatan α -1,6 pada pati, sehingga enzim tersebut dapat mereduksi ukuran amilopektin dengan signifikan sedangkan amilosa yang ada tidak mengalami perubahan (Ziobro, *et.al.*, 2005). Pada titik percabangan pati yaitu ikatan α -1,6 glikosida dapat dihidrolisis menggunakan enzim pullulanase dan menghasilkan rantai molekul dengan ikatan α -1,4 glikosida dengan panjang yang bervariasi (Stephen, 1995).

Pullulanase termasuk dalam kelompok enzim pemotong percabangan (*Debranching Enzyme*) yaitu enzim yang mampu menghidrolisis ikatan α -1,6 glikosidik pada pati dan glikogen (Hizukuri, 1996). Berdasarkan reaksinya, *debranching enzyme* dibedakan menjadi 2 macam yaitu *debranching enzym* langsung dan tidak langsung. Pemecahan secara langsung berarti tanpa bantuan perlakuan pendahuluan atau pemecahan oleh enzim lain, sedangkan pemecahan secara tidak langsung, sebelum terjadi hidrolisis harus dilakukan perubahan substrat (Kuswanto, 1994).



Gambar 1. Hidrolisis amilosa dan amilopektin oleh enzim α -amilase, β -amilase, dan enzim pemecah percabangan (Tester, *et al.*, 2004).

Beberapa penelitian telah dilakukan tentang hidrolisis pati pada ikatan α -1,6 glikosida dengan menggunakan enzim pullulanase. Krzyzaniak, *et al.* (2003) telah melakukan penelitian tentang karakteristik dari oligosakarida yang dihasilkan melalui hidrolisis pati kentang secara enzimatik dengan menggunakan campuran enzim pullulanase dan α -amilase. Roy *et al.* (2003) telah mempelajari tentang hidrolisis pati kentang oleh campuran enzim glukoamilase dan pullulanase dalam sistem terimobilisasi kalsium alginat agar dihasilkan produk dengan glukosa yang tinggi.

Kujawski *et al.* (2003) juga telah menggunakan pullulanase untuk mendegradasi pati alami. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Wong *et al.* (2007) telah berhasil memproduksi dekstrin yang mempunyai rantai linier panjang dari pati sagu (*Metroxylon Sagu*) dengan menghidrolisis amilopektin pada pati menggunakan pullulanase. Upaya modifikasi pati secara enzimatik ini secara tidak

langsung akan memberikan solusi bagi penderita diabetes yang kesulitan mengurangi konsumsi makanan berkarbohidrat sebagai usaha pengendalian glukosa darah.

2.7 Peranan Enzim Pullulanase Dalam Menghasilkan Pati Rendah Glikemik

Pati yang dimodifikasi dengan enzim pullulanase akan menurunkan kecepatan pencernaan pati dalam tubuh. Sampai saat ini masih terjadi silang pendapat antar ilmuwan tentang kecepatan pencernaan pati dan hubungannya dengan kandungan amilosa/amilopektin. Sebagian besar ilmuwan berpendapat bahwa amilosa lebih lambat dicerna dibandingkan dengan amilopektin, karena amilosa merupakan polimer dari gula sederhana dengan rantai lurus. Rantai yang lurus ini menyusun ikatan amilosa yang solid sehingga tidak mudah tergelatinasi. Oleh karena itu, amilosa lebih sulit dicerna dibandingkan dengan amilopektin yang merupakan polimer gula sederhana, bercabang, dan struktur terbuka. Berdasarkan karakteristik tersebut maka bahan pangan yang mengandung amilosa tinggi memiliki aktivitas hipoglikemik yang lebih tinggi dibanding bahan pangan yang mengandung amilopektin tinggi. Oleh karena itu, beras dengan kandungan amilosa tinggi cenderung memiliki indeks glikemik yang rendah. Indeks glikemik pangan merupakan tingkatan pangan menurut efeknya terhadap kadar glukosa darah. Pangan yang menaikkan kadar glukosa darah dengan cepat dan tinggi memiliki IG tinggi, sebaliknya pangan dengan IG rendah akan menaikkan kadar glukosa darah dengan lambat dan lebih rendah (Miller *et al.*, 1992).

Widowati *et al.* (2007) melaporkan bahwa beras dari varietas beramilosa rendah cenderung memiliki IG tinggi, dan sebaliknya beras dari varietas beramilosa tinggi pada umumnya mempunyai IG rendah. Berdasarkan kandungan amilosanya, beras dapat dibedakan menjadi beras ketan (kadar amilosa 10-20%), beras beramilosa sedang (kadar amilosa 20-25%), dan beras beramilosa tinggi (>25%). Beras dengan kadar amilosa tinggi umumnya mempunyai tekstur nasi pera sehingga kurang disukai oleh penderita diabetes, terutama yang terbiasa mengonsumsi nasi pulen, seperti masyarakat dari etnis Sunda dan Jawa. Namun, hal ini tidak menjadi masalah bagi penderita diabetes yang terbiasa mengonsumsi nasi pera, seperti masyarakat Sumatera Barat dan Kalimantan Selatan.

Hasil penelitian Heather *et al.*, (2001) menunjukkan bahwa pangan dengan IG rendah dapat memperbaiki pengendalian metabolik pada penderita DM tipe 2 dewasa. Sedangkan Miller *et al.*, (1992) melaporkan bahwa studi pemberian pangan IG rendah pada penderita DM dapat meningkatkan pengendalian kadar glukosa darah.

Indeks glikemik pati dipengaruhi oleh kadar amilosa, protein, lemak, serat, pati resisten, dan daya cernanya. Daya cerna pati merupakan kemampuan pati untuk dapat dicerna dan diserap dalam tubuh. Karbohidrat yang lambat diserap menghasilkan kadar glukosa darah yang rendah dan berpotensi mengendalikan kadar glukosa darah. Kandungan pati dan komposisi amilosa/amilopektin berpengaruh terhadap daya cerna pati beras atau nasi (Miller *et al.*, 1992).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa makanan IG tinggi menyebabkan sekresi insulin dalam jumlah besar sebagai akibat dari kenaikan kadar glukosa

darah yang tinggi dan cepat. Hal tersebut akan menyebabkan peningkatan rasa lapar setelah makan dan penumpukkan lemak pada jaringan adiposa dalam tubuh. Kadar glukosa darah normal berkisar antara 55-140 mg/dl, dan untuk penyediaan energi bagi susunan syaraf pusat diperlukan kadar glukosa darah minimal 40-60 mg/dl (Widowati, 2009).

Pati dengan amilosa tinggi biasanya digunakan sebagai pati pembentuk gel. Bila pasta pati tersebut mendingin setelah mengalami gelatinisasi, energi kinetik tidak lagi cukup tinggi untuk malawan kecenderungan molekul-molekul amilosa untuk bersatu kembali. Molekul-molekul amilosa berikatan kembali satu sama lain serta berikatan dengan cabang amilopektin pada pinggir-pinggir luar granula. Dengan demikian gabungan butir pati yang membengkak itu menjadi semacam jaring-jaring membentuk mikrokrystal dan mengendap. Proses kristalisasi kembali pati yang telah mengalami gelatinasi tersebut disebut retrogradasi (Winarno, 2002).

Komponen penyusun pati yang dapat mengalami retrogradasi dengan sempurna adalah amilosa yang mempunyai struktur molekul lurus, sedangkan amilopektin memiliki banyak rantai cabang sehingga menghalangi terjadinya retrogradasi. Pati yang mengalami retrogradasi akan mempunyai sifat tahan cerna (resisten) apabila dikonsumsi manusia. Hal ini akan menurunkan daya cerna pati dalam sistem pencernaan (Segal *et al.*, 2000).

2.8 Manfaat Pati Hasil Modifikasi Sebagai Pangan Fungsional

Allah SWT berfirman dalam Al-Qur'an :

وَإِذْ تَأَذَّرَ رَبُّكُمْ لَئِن شَكَرْتُمْ لَأَزِيدَنَّكُمْ^ط وَلَئِن كَفَرْتُمْ إِنَّ عَذَابِي لَشَدِيدٌ

Artinya : *"Dan (ingatlah juga), tatkala Tuhanmu memaklumkan; "Sesungguhnya jika kamu bersyukur, pasti kami akan menambah (nikmat) kepadamu, dan jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), Maka Sesungguhnya azab-Ku sangat pedih" (QS. Ibrahim : 7).*

Ayat di atas menjelaskan kewajiban manusia untuk mensyukuri nikmat Allah. Salah satu cara mensyukuri nikmat adalah dengan menjaga kesehatan rohani dan jasmani kita. Menjaga kesehatan rohani dengan selalu beriman dan bertakwa kepada-Nya, dan menjaga kesehatan jasmani dengan memakan makanan yang baik dan halal serta tidak membahayakan kesehatan. Mengkonsumsi pangan fungsional yang baik untuk kesehatan dapat disebut menjaga kesehatan jasmani. Oleh karena itulah, mengonsumsi makanan sumber karbohidrat yang tidak menimbulkan respon glikemik tinggi yang berpotensi resiko terkena diabetes sangat dianjurkan.

Diabetes melitus atau kencing manis adalah suatu gangguan kronis yang menyangkut metabolisme glukosa, lemak, dan protein akibat dari kekurangan hormon insulin yang berfungsi memanfaatkan glukosa sebagai sumber energi dan mensintesis lemak. Ini berakibat pada menumpuknya glukosa dalam darah dan akhirnya diekskresikan lewat kemih tanpa digunakan. Oleh karena itu, produksi kemih meningkat dan penderita diabetes melitus harus sering kencing, merasa amat haus, berat badan menurun, dan merasa lelah. Penderita diabetes melitus akan mengalami peningkatan kadar gula darah yang melebihi batas normal yaitu 145 mg/dl atau lebih. Terdapat dua jenis diabetes melitus yaitu diabetes melitus

tidak tergantung insulin dan diabetes melitus tergantung insulin. Pada penderita diabetes melitus, kadar insulin rendah disebabkan oleh defisiensi sekresi insulin (Nurwahyunani, 2006).

Upaya pencegahan yang dapat dilakukan untuk menghindari hiperglikemia adalah dengan mengonsumsi makanan yang memiliki sifat hipoglikemik. Pangan yang bersifat hipoglikemik ini dapat dimanfaatkan sebagai pangan fungsional yang dapat mengendalikan kadar glukosa darah di samping sebagai sumber energi bagi tubuh. Daya cerna pati merupakan faktor penting yang menentukan aktivitas hipoglikemik. Menurut Willett *et al.* (2002), karbohidrat yang dicerna dan diserap secara lambat akan menghasilkan puncak respon glikemik yang rendah. Pernyataan ini dapat diartikan bahwa daya cerna pati yang rendah, akan menghasilkan glukosa lebih sedikit dan lambat, sehingga insulin yang dibutuhkan untuk mengubah glukosa menjadi energi juga semakin sedikit.

Widowati *et al.*, (2006) menambahkan, respon glikemik dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain tingginya kadar amilosa, lemak, serat pangan dan pati resisten. Secara fisiologis, pati resisten didefinisikan sebagai molekul pati dan hasil pencernaan pati yang tidak diserap di dalam usus halus individu yang sehat. Pati resisten dapat terbentuk secara alami maupun selama proses pengolahan bahan pangan yang kaya pati.

Pati resisten dapat dikelompokkan menjadi empat bentuk, yaitu pati yang secara fisik sulit dicerna karena patinya terperangkap (RS1), misalnya terdapat pada sereal dan legum yang digiling tidak halus, granula pati yang resisten (RS2), biasanya terdiri dari granula yang tak tergelatinasi, contohnya terdapat

pada kentang mentah, pisang dan pati jagung amilosa tinggi, pati teretrogradasi (RS3), umumnya dihasilkan selama proses pengolahan pangan, misalnya ditemukan pada roti tawar dan *corn flake*, dan pati hasil modifikasi kimiawi secara esterifikasi, eterifikasi dan ikatan silang (RS4) (Kusnandar, 2006).

Pati yang memiliki kadar amilosa tinggi dapat menghasilkan pati resisten yang tinggi melalui proses retrogradasi. Hal ini dikarenakan komponen penyusun pati yang dapat mengalami retrogradasi dengan sempurna adalah amilosa yang mempunyai struktur molekul lurus, sedangkan amilopektin memiliki banyak rantai cabang sehingga menghalangi terjadinya retrogradasi (Winarno, 2002).

