

Evaluasi Nilai Gizi Karbohidrat

Prof. Dr. Ir. Made Astawan, M.S.



PENDAHULUAN

Karbohidrat atau disebut juga hidrat arang merupakan molekul organik yang paling banyak ditemukan di alam dan mempunyai fungsi sangat luas. Karbohidrat berfungsi sebagai sumber energi utama bagi sebagian besar makhluk hidup, merupakan cadangan energi tubuh, dan komponen membran sel yang berperan sebagai perantara berbagai komunikasi antar sel.

Berdasarkan jumlah molekul gula sederhana penyusunnya, karbohidrat dapat digolongkan menjadi empat, yaitu: monosakarida (1 molekul), disakarida (2 molekul), oligosakarida (3-10 molekul), dan polisakarida (> 10 molekul). Gula sederhana penyusun karbohidrat umumnya adalah glukosa, galaktosa dan fruktosa (Lehninger, 1982).

Monosakarida adalah bentuk karbohidrat yang paling sederhana, dan hanya memiliki satu molekul gula. Jenis monosakarida yang paling banyak dikenal masyarakat ialah glukosa. Dalam hal keberadaannya di dalam darah, istilah glukosa sering diganti dengan gula. Jadi, kadar glukosa darah, biasa disebut dengan kadar gula darah.

Disakarida terbentuk dari dua molekul gula sederhana, yang dihubungkan dengan ikatan kovalen. Disakarida yang sangat dikenal masyarakat ialah sukrosa, atau lazim disebut gula meja/gula pasir. Sukrosa terbentuk dari satu molekul glukosa dan satu molekul fruktosa. Disakarida lain yang penting ialah laktosa, yang merupakan komponen utama dari air susu mamalia. Laktosa terdiri atas satu molekul galaktosa dan satu molekul glukosa.

Contoh oligosakarida adalah raffinosa (3 molekul) dan stakhiosa (4 molekul). Polisakarida merupakan golongan karbohidrat yang banyak terdapat pada tanaman dan hewan. Selulosa pada tanaman, merupakan komponen struktur batang dan daun, sedangkan glikogen terdapat pada daging hewan. Pati adalah contoh karbohidrat yang banyak terdapat pada

umbi-umbian (ubijalar, ubikayu, kentang, kimpul, suweg, dan lain-lain) serta pada biji-bijian (padi, jagung, gandum, sorgum, dan lain-lain).

Tingkat kemanisan masing-masing karbohidrat ternyata tidak sama. Fruktosa merupakan karbohidrat yang paling tinggi tingkat kemanisannya, sedangkan laktosa yang paling rendah. Tabel 1.1 menunjukkan tingkat kemanisan berbagai karbohidrat.

Tabel 1.1.
Tingkat Kemanisan Relatif Karbohidrat, Pangan yang Kaya Karbohidrat dan Sakarin

Jenis Karbohidrat/Pangan	Kemanisan Relatif
Sukrosa	100
Glukosa	70
Fruktosa	170
Maltosa	30
Laktosa	16
Galaktosa	30
Molase	110
Sirup jagung	60
Sorbitol	60
Manitol	50
Madu	170
Sakarin	40.000

Sumber: Hui (1985) dan Lehninger (1982)

Kelangsungan hidup manusia tidak dapat dipisahkan dari ketersediaan karbohidrat. Karbohidrat merupakan sumber energi utama yang memungkinkan manusia beraktivitas sehari-hari. Kebutuhan energi tubuh manusia sekitar 60-70 persen diperoleh dari karbohidrat, sisanya berasal dari lemak dan protein. Oleh karena itu, makanan pokok seluruh penduduk dunia (seperti beras, jagung, gandum, kentang, sagu, singkong) adalah sumber karbohidrat. Karbohidrat sebagai pangan pokok, umumnya dikonsumsi setelah mengalami pengolahan menjadi nasi, mi, bahun, roti, bubur, aneka kue, dan lain-lain.

Struktur karbohidrat yang panjang (karbohidrat kompleks) mengakibatkan ukurannya terlalu besar untuk menembus dinding usus halus

dan masuk ke dalam aliran darah. Oleh karena itu, perlu dilakukan pencernaan karbohidrat, dengan tujuan utama yaitu memperkecil ukuran sehingga dapat diserap melewati dinding usus. Selain itu, pencernaan juga digunakan untuk persiapan proses metabolisme. Hasil akhir dari pencernaan karbohidrat adalah glukosa, fruktosa dan galaktosa, ketiganya siap diserap melalui usus halus. Selanjutnya, hasil penyerapan dibawa ke hati oleh darah untuk disimpan atau untuk proses selanjutnya. Kecepatan penyerapan karbohidrat berkaitan dengan peningkatan kadar gula darah. Semakin cepat karbohidrat diserap akan semakin cepat pula kenaikan kadar gula darah. Karbohidrat sederhana lebih cepat diserap sehingga lebih cepat meningkatkan kadar gula darah.

Modul ini akan membahas jenis karbohidrat dan hubungannya dengan kadar gula darah, aktivitas hipoglikemik, penyakit yang berhubungan dengan abnormalitas penyerapan karbohidrat dan cara-cara pengujiannya. Modul ini terdiri atas dua kegiatan belajar.

- Kegiatan Belajar 1: Aktivitas Hipoglikemik dan Indeks Glikemik Pangan. Bagian ini lebih banyak membahas tentang teori dasar.
- Kegiatan Belajar 2: Pengujian Aktivitas Glikemik dan Indeks Glikemik Pangan. Bagian ini akan lebih banyak membahas tentang cara-cara pengujiannya.

Setelah mempelajari modul ini, secara umum Anda diharapkan mampu menjelaskan tentang evaluasi nilai gizi karbohidrat; secara khusus Anda diharapkan mampu menjelaskan:

1. aktivitas hipoglikemik;
2. indeks glikemik pangan;
3. penyajian aktivitas hipoglikemik dan indeks glikemik pangan.

KEGIATAN BELAJAR 1

Aktivitas Hipoglikemik dan Indeks Glikemik Pangan

Penyakit degeneratif merupakan salah satu penyakit yang saat ini menjadi perhatian utama masyarakat dunia, termasuk Indonesia. Penyebabnya antara lain adalah: 1) perubahan gaya hidup yang cenderung santai, 2) kurang aktivitas fisik (olah raga), dan 3) perubahan pola konsumsi pangan masyarakat (terutama di perkotaan) yang cenderung mengikuti pola makan ala Barat (Tsuji dan Kuzuya, 2004). Maraknya restoran *fast food* memberi kontribusi terhadap meningkatnya penyakit degeneratif, karena menu yang disajikan cenderung tinggi lemak dan energi, serta kurang vitamin, mineral dan serat pangan (*dietary fiber*). Selain bumbu-bumbu yang lezat, lemak juga merupakan komponen pangan yang memberi rasa enak sehingga menjadi salah satu penyebab konsumsi pangan berlebih.

Penyakit degeneratif dengan prevalensi yang cenderung meningkat dari tahun ke tahun di antaranya adalah penyakit Diabetes Melitus (DM), penyakit jantung, *stroke*, hipertensi, dan kanker. Pada modul ini hanya akan dibahas mengenai DM. DM dapat terjadi pada semua kelompok usia dan populasi, namun jumlah penderitanya makin meningkat pada kelompok lanjut usia. DM yang tidak ditangani dengan baik akan meningkatkan resiko komplikasi, 75-80% di antaranya berdampak pada kematian.

Tabel 1.2 menunjukkan kejadian diabetes di berbagai negara pada tahun 1995 dan prediksi kejadiannya pada tahun 2025. Tabel tersebut menunjukkan bahwa kejadian diabetes di Indonesia pada tahun 1995 mencapai 4,5 juta jiwa dan berada pada urutan ke-7 terbesar di dunia. Pada tahun 2025, apabila tidak ditangani dengan serius maka kejadian DM di Indonesia akan meningkat sampai 12,2 juta jiwa dan menjadi peringkat ke-5 terbesar di dunia.

Penyakit DM merupakan penyakit yang sangat serius. Selain memerlukan obat-obatan oral yang relatif mahal, penyakit ini termasuk kategori penyakit seumur hidup. DM hanya dapat dikendalikan, hampir tidak dapat disembuhkan secara total. Salah satu cara pengendalian kadar gula darah bagi diabetesi, yaitu dengan mengatur konsumsinya.

Tabel 1.2.
Epidemi Diabetes Melitus Dunia pada Tahun 1995 dan 2025

No	Negara	Tahun 1995	No	Negara	Tahun 2025
		Jumlah (juta orang)			Jumlah (juta orang)
1	India	19,4	1	India	57,2
2	Cina	16,0	2	Cina	37,6
3	Amerika	13,9	3	Amerika	21,9
4	Rusia	8,9	4	Pakistan	14,4
5	Jepang	6,3	5	Indonesia	12,4
6	Brazil	4,9	6	Rusia	12,2
7	Indonesia	4,5	7	Meksiko	11,7
8	Pakistan	4,3	8	Brazil	11,6
9	Meksiko	3,8	9	Mesir	8,8
10	Ukraina	3,6	10	Jepang	8,5
	Lainnya	49,7		Lainnya	103,6
Total		135,3	Total		300,0

Sumber: King, *et.al.* Diabetes Care 21:1414-1431, 1998

Selama dua dekade terakhir ini, banyak hasil-hasil penelitian yang menunjukkan hubungan antara menu makanan dengan kejadian DM. Studi pada hewan model dan manusia menunjukkan bahwa asupan karbohidrat dengan Indeks Glikemik (IG) tinggi menghasilkan insulin resisten yang lebih tinggi dibandingkan dengan asupan karbohidrat dengan IG rendah. Studi epidemiologi dalam prospektif yang luas menunjukkan bahwa IG dan beban glikemik dari keseluruhan diet menunjukkan resiko yang besar bagi timbulnya DM tipe 2 (Willett *et. al.*, 2002).

A. DIABETES MELITUS

Diabetes melitus (DM) atau biasa disebut diabet merupakan penyakit kronik yang timbul karena terlalu banyak gula (glukosa) di dalam darah. Dengan kata lain, DM merupakan suatu kelompok gangguan metabolik dengan manifestasi umum, yaitu hiperglikemia (kadar gula darah tinggi). Istilah DM diambil dari kata diabetes = mengalir terus, dan melitus = madu, yang berarti minuman dan urin yang dikeluarkan mengandung glukosa. DM

merupakan penyakit metabolik serius dengan tanda kandungan glukosa darah meningkat sebagai akibat berkurangnya insulin secara relatif maupun absolut. Perubahan ini akan diperburuk oleh meningkatnya sekresi glukagon oleh pankreas ke dalam tubuh.

1. Klasifikasi

Badan Kesehatan Dunia (WHO), melalui laporan kedua *Expert Committee on Diabetes Mellitus* mengelompokkan diabetes menjadi dua kelompok utama, yaitu *Insulin-dependent diabetes mellitus* (IDDM) dan *Non-insulin-dependent diabetes mellitus* (NIDDM). Pada IDDM, pankreas tidak menghasilkan insulin dalam jumlah yang cukup, sedangkan NIDDM disebabkan oleh insulin yang tidak bekerja secara baik (WHO, 1980). Pada tahun 1997, *Expert Committee on the Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus* (ECDCDM) menyepakati klasifikasi baru diabetes melitus, menjadi DM tipe 1 (yang sebelumnya disebut IDDM atau *juvenil diabetes*), tipe 2 (sebelumnya disebut NIDDM atau *adult-onset*) dan *gestational diabetes* (Foster-Powel *et al.*, 2002; Rimbawan & Siagian, 2004).

DM tipe 1 dicirikan oleh kerusakan sel- β pankreas yang disebabkan oleh proses autoimun. Jumlah penderita DM tipe 1 sebelum usia 25 tahun ialah 95% dari populasi, dengan prevalensi kejadian yang sama pada pria dan wanita. Individu yang mengalami DM tipe 1 mempunyai ciri-ciri: *polyuria* (sering kencing), *polydipsia* (rasa haus yang terus-menerus), dan *polyphagia* (perasaan lapar yang berlebihan). Dalam pengujian glukosa darah, pasien yang mengalami diabetes tipe ini apabila diberi 75 g glukosa secara oral dan sebelumnya telah melakukan puasa selama semalam, konsentrasi glukosa darahnya akan meningkat lebih dari 200 mg/dl. Namun, pada individu normal, perlakuan yang sama akan meningkatkan glukosa darahnya sekitar 140 mg/dl (Champe & Harvey, 1994).

DM tipe 2 dicirikan oleh resistensi insulin pada jaringan perifer dan gangguan sekresi insulin dari sel- β pankreas. DM tipe 2 adalah jenis penyakit diabet yang paling lazim dan berkaitan dengan riwayat diabet keluarga, usia lanjut, obesitas, perubahan pola makan dan aktivitas fisik yang kurang (Wallett *et al.*, 2002). Resistensi insulin dan hiperinsulinemia akan menyebabkan kerusakan toleransi glukosa. Sel- β yang rusak akhirnya menjadi lemah, selanjutnya mendorong intoleransi glukosa dan hiperglikemia (Mayfield 1998). Penyebab terjadinya DM ini belum diketahui dengan pasti, namun individu yang menderita diabetes, secara metabolik mengalami

penurunan sensitivitas insulin akibat disfungsi sel- β pankreas dan insulin resisten.

Gestational diabetes merupakan klasifikasi operasional, bukan klasifikasi berdasarkan kondisi fisiologis. Diabetes yang diderita oleh wanita sebelum hamil disebut *pregestational diabetes*. Wanita yang mengalami DM tipe 1 pada saat hamil dan wanita dengan asimtomatik DM tipe 2 yang tidak terdiagnosis dikelompokkan menjadi *gestational diabetes*. Namun, pada umumnya wanita penderita *gestational diabetes* memiliki homeostatis glukosa yang normal selama paruh pertama (sampai bulan kelima) masa hamil. Pada paruh kedua masa hamil (antara bulan keempat dan kelima) mengalami defisiensi insulin relatif. Pada umumnya kadar gula darah kembali normal setelah melahirkan. *Gestational diabetes* dapat meningkatkan resiko DM tipe 2 pada usia lanjut.

2. Perubahan Metabolisme

Konsentrasi glukosa darah yang tinggi (hiperglikemia) disebabkan oleh peningkatan produksi glukosa hati yang diiringi dengan penurunan pemanfaatan glukosa oleh jaringan perifer. Di samping gangguan metabolisme karbohidrat, DM juga mempengaruhi metabolisme protein dan lemak. Asam amino terpaksa dikonversi menjadi glukosa. Ketosis merupakan salah satu gangguan metabolisme asam lemak. Ketosis terjadi dengan meningkatnya metabolisme trigliserida yang diikuti oleh kelebihan produksi keton bodies dan kolesterol (Brody, 1999).

Hal-hal di atas ditandai oleh *polyurea*, *polydipsia*, *polyphagia* dan penurunan berat badan. Bila kadar glukosa darah naik di atas 180 mg/dl, ginjal tidak dapat menahan lagi, sebagian glukosa dibuang ke urin sehingga kadar gula urin menjadi tinggi dan menarik air banyak (osmolitas gula). Akibat penarikan air yang banyak, volume urin berlebih, oleh sebab itu penderita DM sering kencing (*polyurea*). Keadaan tersebut akan mengganggu neraca air di dalam tubuh, dimanifestasikan oleh rasa haus terus-menerus (*polydipsia*). Pada waktu yang bersamaan, meskipun kadar gula darah berlebih, tetapi tidak dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi sel (*glucose-stored state*) sehingga terjadi perasaan lapar yang berlebih (*polyphagia*). Oleh karena tubuh harus memecah protein atau lemak untuk memenuhi kebutuhannya, maka DM selalu berakibat pada terjadinya penurunan berat badan.

B. PANKREAS DAN INSULIN

Pankreas merupakan organ yang mempunyai dua fungsi, yaitu menghasilkan enzim pencernaan dan hormon. Sebagian besar massa sel pankreas merupakan penghasil enzim pencernaan, sisanya berfungsi sebagai penghasil hormon. Pulau Langerhans merupakan kumpulan sel ovoid berukuran $76 \times 0,2 \mu\text{m}$ yang tersebar di seluruh pankreas dan berbentuk seperti pulau. Sel pulau Langerhans mensekresikan empat macam peptida yang mempunyai aktivitas hormon, yaitu glukagon, insulin, somatostatin, dan peptida pankreas. Sel- α mensekresikan glukagon, sel- β mensekresikan insulin, sel- δ mensekresikan somatostatin dan sel-F mensekresikan polipeptida pankreas.

Insulin dan glukagon merupakan hormon yang sangat berperan dalam metabolisme karbohidrat. Insulin bersifat anabolik, sedangkan glukagon bersifat katabolik. Sel- β pankreas merupakan sel yang paling sensitif dengan keberadaan glukosa di dalam darah. Defisiensi insulin mengakibatkan hiperglikemik, sedangkan defisiensi glukagon mengakibatkan hipoglikemik dan kelebihan glukagon menyebabkan DM semakin buruk. Penderita DM akan mengalami perubahan morfologi pada sel- β pankreas, baik dalam ukuran maupun jumlahnya (Guz *et al.* 2001; Butler *et al.* 2001).

1. Insulin

Insulin merupakan suatu hormon polipeptida yang dihasilkan oleh sel- β dari pulau Langerhans dan merupakan kelompok sel yang terdiri dari 1% massa pankreas. Insulin adalah salah satu hormon terpenting yang mengkoordinasikan penggunaan energi oleh jaringan. Efek metaboliknya ialah anabolik, seperti sintesis glikogen, triasilgliserol, dan protein (Champe & Harvey, 1994).

a. Struktur insulin

Insulin dibentuk oleh 51 asam amino yang tersusun dalam dua rantai polipeptida (rantai A dan rantai B). Rantai A dihubungkan dengan rantai B melalui jembatan disulfida. Molekul insulin juga mengandung jembatan disulfida intramolekuler antara residu asam amino 6 dan 11 pada rantai A.

Struktur insulin manusia berbeda dengan struktur insulin babi atau sapi. Pada rantai A, posisi asam amino treonin dan isoleusin (residu ke-8 dan ke-10) pada insulin manusia, berturut-turut digantikan oleh alanin dan valin.

Sementara treonin pada ujung-C (C-terminal) rantai B digantikan oleh alanin. Insulin babi berbeda dengan manusia hanya pada ujung-C rantai B, yaitu alanin menggantikan treonin pada insulin manusia (Champe & Harvey, 1994). Secara alami, kebutuhan insulin di dalam tubuh dipenuhi dengan mensintesisnya (biosintesis) dari dua prekursor (bahan dasar insulin), yaitu preproinsulin dan proinsulin. Sintesis ini berlangsung pada sitoplasma sel- β pankreas.

Biosintesis insulin melibatkan dua prekursor tidak aktif, yaitu preproinsulin dan proinsulin. Prekursor ini secara berurutan pecah membentuk hormon aktif. Insulin disimpan di sitosol dalam bentuk granula yang dengan rangsangan tepat dilepaskan oleh eksositosis. Insulin didegradasi oleh enzim insulinase yang terdapat di hati dan dalam jumlah kecil terdapat di ginjal. Insulin mempunyai umur paruh plasma sekitar enam menit.

b. Pengaturan sekresi insulin

Pengaturan sekresi insulin merupakan proses kunci dalam pengendalian kadar glukosa darah. Mekanisme sekresi insulin juga berperan dalam pengendalian kadar trigliserida plasma. Sekresi insulin oleh sel- β pulau Langerhans pankreas dikoordinasikan dengan pelepasan glukagon dari sel- α pankreas. Jumlah relatif insulin dan glukagon yang dilepaskan oleh pankreas diatur sehingga laju pembentukan glukosa di hati dijaga agar sama dengan laju penggunaan glukosa oleh jaringan perifer. Dari peran koordinasinya, sel- β merespon berbagai rangsangan. Secara khusus, sekresi insulin ditingkatkan oleh glukosa, asam amino, hormon gastrointestinal dan glukagon.

Sel- β merupakan pengindera utama glukosa di dalam tubuh. Asupan glukosa atau makanan kaya karbohidrat mengakibatkan peningkatan kadar glukosa darah. Hal ini merupakan penanda untuk sekresi insulin atau penurunan pelepasan glukagon. Glukosa merupakan stimulan terpenting untuk sekresi insulin.

Bahan lain non-glukosa yang juga mampu menstimulir pelepasan insulin dengan suatu mekanisme yang berbeda, antara lain beberapa asam-asam amino. Pada manusia, asam-asam amino, arginin, leusin, lisin, dan fenilalanin secara intravena merupakan bahan yang kuat untuk menstimulir pelepasan insulin. Asupan protein menyebabkan peningkatan sementara kadar asam

amino plasma. Selain arginin, metionin juga menunjukkan adanya kecenderungan dalam menstimulasi sekresi insulin (Krisetiana *et al.*, 2001).

Hormon peptida intestinal dan hormon-hormon gastrointestinal lain merangsang sekresi insulin. Hormon ini dilepaskan setelah asupan pangan yang menyebabkan peningkatan insulin, sebelum terjadi peningkatan aktual kadar glukosa darah. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah glukosa yang sama yang diberikan secara oral menginduksi lebih banyak sekresi insulin daripada diberikan secara intravena. Glukosa menstimulir sekresi insulin dan menghambat pelepasan glukagon. Aksi yang terakhir ini sangat penting bagi penderita DM tipe 1, karena perusakan sel- β menghilangkan efek penghambatan dalam pelepasan glukagon oleh insulin.

Sintesis dan pelepasan insulin berkurang saat kekurangan pangan dan selama periode trauma. Efek ini diperantarai oleh epineprin yang disekresi oleh *medulla adrenal* untuk merespon stres, trauma atau aktivitas fisik ekstrem. Epineprin mempunyai efek langsung terhadap metabolisme energi yang menyebabkan mobilisasi cepat pada bahan pembentuk energi, termasuk glukosa dari hati dan lemak dari jaringan adiposa. Epineprin juga dapat mengesampingkan pelepasan insulin secara normal dengan rangsangan glukosa. Jadi, dalam keadaan darurat, sistem syaraf simpatetik menggantikan konsentrasi plasma glukosa sebagai pengendali sekresi insulin oleh sel- β .

c. *Mekanisme kerja insulin*

Insulin berikatan dengan reseptor spesifik yang memiliki afinitas (reaktivitas) tinggi pada membran sel kebanyakan jaringan, termasuk hati, otot, dan adiposa. Ini merupakan tahap pertama aliran reaksi yang akhirnya menuju kepada susunan aksi biologis yang beranekaragam. Pengikatan insulin menimbulkan aksi luas. Respon yang paling cepat ialah peningkatan transpor glukosa ke dalam sel yang terjadi segera setelah insulin berikatan dengan reseptor membran (Champe & Harvey, 1994).

Sesaat setelah glukosa terserap dan masuk ke dalam sistem peredaran darah maka glukosa akan segera terdistribusi ke seluruh jaringan tubuh. Dampak tersebar nya glukosa ke seluruh tubuh akan meningkatkan keberadaan insulin pada jaringan tersebut. Mekanisme klasik kerja insulin ialah meningkatkan pemindahan glukosa darah menuju otot dan mencegah proses glikogenolisis, glukoneogenesis dalam hati, serta lipolisis pada jaringan adiposa (Bessesen, 2001).

Reseptor yang dikenali dan diikat oleh insulin, merupakan reseptor spesifik yang terdapat pada jaringan hati, otot dan adiposa. Reseptor insulin disintesis sebagai polipeptida tunggal. Reseptor tersebut diglikosilasi dan dipecah menjadi sub-unit α dan β , kemudian dirangkai menjadi ikatan tetramer oleh ikatan disulfida. Domain hidrofobik pada masing-masing sub-unit β merenggangkan membran plasma. Sub-unit α ekstraseluler mengandung sisi pengikat insulin (*insulin binding site*). Domain sistolik sub-unit β adalah tirosin kinase yang diaktifkan oleh insulin (Champe & Harvey, 1994; Rimbawan & Siagian, 2004).

Efek membran dari hadirnya insulin, yaitu meningkatnya transpor glukosa pada berbagai jaringan, seperti otot skeletal dan adiposa. Pengikatan insulin pada sub-unit α menginduksi perubahan konformasi yang ditransduksikan ke sub-unit β . Pengikatan ini mendorong autofosforilasi residu tirosin spesifik yang cepat dari setiap sub-unit β . Substrat insulin reseptor yang telah terfosforilasi akan menstimulasi *vesicle* yang mengandung glukosa transporter untuk dipindahkan ke membran sel. Keberadaan glukosa transporter akan memfasilitasi proses difusi glukosa untuk masuk ke dalam sel. Bessesen (2001) menyatakan bahwa masuknya glukosa ke dalam sel akan memberikan efek pertumbuhan dan metabolik.

d. Sekresi insulin pada kasus diabetes

DM tipe 1 dicirikan oleh kekurangan insulin absolut akibat dari kerusakan sel- β . Kerusakan tersebut disebabkan oleh autoimun secara besar-besaran. Proses perusakan ini membutuhkan stimulan dari luar (misal infeksi virus) dan determinan genetik. T-*lymphocyte* teraktifkan dan merembes ke pulau Langerhans sehingga menyebabkan suatu keadaan yang disebut insulinitis. Setelah beberapa tahun terserang autoimun, terjadi penurunan perlahan-lahan jumlah sel- β . Gejala akan nampak secara tiba-tiba ketika 80-90 % sel β telah rusak. Pada keadaan ini, pankreas gagal merespon glukosa dari makanan. Terapi insulin dibutuhkan untuk mengembalikan pengendalian metabolik (Champe & Harvey, 1994).

Pada DM tipe 2, pankreas menahan kapasitas sel- β yang mengakibatkan taraf insulin bervariasi dari di bawah normal sampai di atas normal. Namun, pada semua kasus, sel- β mengalami gangguan fungsi karena gagal mensekresikan insulin untuk memperbaiki hiperglikemia.

e. *Resistensi insulin*

Pandangan klasik pada aktivitas insulin, menganggap hormon ini sebagai pusat adaptasi berbagai organ terhadap zat gizi yang masuk ke dalam tubuh, terutama karbohidrat (Bessesen, 2001). Insulin merangsang pembuangan gula darah ke otot skeletal dan jaringan adiposa, serta menurunkan pembentukan glukosa oleh hati.

Resistensi insulin merupakan kelainan metabolik yang dicirikan oleh menurunnya sensitivitas jaringan terhadap insulin. Pada keadaan resistensi insulin, konsentrasi insulin yang dihasilkan normal, namun respon biologisnya rendah. Keadaan ini terjadi ketika jaringan gagal merespon insulin secara normal. DM tipe 2 sering disertai oleh resistensi insulin pada organ sasaran yang mengakibatkan penurunan responsivitas, baik terhadap insulin endogenous maupun eksogenous. Sebagai contoh, resistensi insulin di hati menyebabkan produksi glukosa hepatik (glukoneogenesis) tidak terkendali. Pada otot dan jaringan adiposa, resistensi insulin mengakibatkan penurunan ambilan glukosa oleh jaringan tersebut. Resistensi insulin yang berkembang secara terus-menerus akan mengakibatkan sekresi insulin oleh sel- β mengalami gangguan.

C. KOMPLIKASI DIABETES MELITUS

Kondisi hiperglikemik kronis dapat menyebabkan terjadinya komplikasi DM. Komplikasi yang mungkin terjadi antara lain: pengerasan kapiler dan vena-vena kecil, perubahan retina (kebutaan), pengerasan ginjal (nephosklerosis), pengapuran pembuluh darah besar yang berakibat pada terjadinya atherosklerosis.

Kondisi hiperglikemik kronis dapat mendorong produksi radikal bebas yang berlebihan dari proses autooksidasi glukosa, progresi protein dan terjadi perubahan kesetimbangan oksidan dan antioksidan tubuh. Pembentukan radikal bebas yang berlebih pada penderita DM dapat memicu penurunan kandungan antioksidan enzimatik tubuh dan kerusakan jaringan. Hal ini dapat mengakibatkan timbulnya atherosklerosis dan katarak (Szaleczky *et al.*, 1999; Ferrari & Torres, 2003)

Enzim antioksidan dalam tubuh mempunyai fungsi utama sebagai pertahanan sel dengan cara mendekomposisi spesies oksigen reaktif. Perubahan proses metabolisme yang terjadi pada DM akan mempengaruhi fungsi antioksidan tubuh. Tiga enzim antioksidan utama di dalam tubuh,

yaitu *Superoxide dismutase* (SOD), *Glutathione peroxidase* (Gpx) dan *Catalase* (Cat). Mekanisme perubahan keseimbangan antioksidan tubuh sebagai akibat DM, yaitu adanya induksi terhadap ekspresi antioksidan enzimatis saat fase transkripsi, meningkatnya pengikatan non-enzimatis glukosa terhadap protein serta gangguan ketersediaan mikronutrien (Szaleczky *et al.*, 1999).

Penderita DM mempunyai resiko terkena atherosklerosis 2-6 kali lipat lebih besar dibandingkan individu sehat. Faktor penyebab terjadinya atherosklerosis pada penderita DM yaitu akselerasi proliferasi sel otot halus arteri dan disfungsi platelet. Proliferasi sel otot halus mendorong pembentukan lesi atherosklerosis lanjut. Hiperinsulinemia dan hiperglikemia dapat menyebabkan akselerasi progresi atherosklerosis. Platelet merupakan salah satu komponen darah yang mempunyai fungsi untuk pembekuan darah. Pada kondisi DM, platelet mengalami disfungsi dan hiperaktif untuk membeku, dan mempunyai kecenderungan untuk menempel dan beragregasi dengan endotel.

D. INDEKS GLIKEMIK PANGAN

1. Pengertian dan Konsep Indeks Glikemik

Hasil penelitian tahun 1980-an menunjukkan bahwa kecepatan pencernaan karbohidrat di saluran pencernaan berpengaruh penting pada pemahaman peran karbohidrat bagi kesehatan. Tidak setiap karbohidrat bekerja dengan cara yang sama. Indeks glikemik (IG) memberi petunjuk kepada efek faali makanan pada kadar gula darah dan respon insulin (Rimbawan & Siagian, 2004). IG memberikan cara yang lebih mudah dan efektif dalam mengendalikan fluktuasi kadar glukosa darah.

Indeks glikemik pangan merupakan tingkatan pangan menurut efeknya terhadap kadar gula darah. Pangan yang menaikkan gula darah dengan cepat, memiliki IG tinggi. Sebaliknya pangan yang menaikkan gula darah dengan lambat, memiliki IG rendah. Sebagai pembanding, IG glukosa murni ialah 100. IG beberapa bahan sumber karbohidrat disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Pengenalan karbohidrat berdasarkan efeknya terhadap kadar gula darah dan respon insulin, yaitu karbohidrat berdasarkan IG-nya, dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan jumlah dan jenis pangan sumber karbohidrat yang tepat untuk meningkatkan dan menjaga kesehatan.

Konsep IG pertama kali dikembangkan pada tahun 1981 oleh Dr. David Jenkins, seorang Profesor Gizi pada Universitas Toronto, Kanada, untuk membantu menentukan pangan yang paling baik bagi penderita diabet. Pada masa itu, diet bagi penderita DM didasarkan pada sistem porsi karbohidrat. Konsep ini menganggap semua pangan berkarbohidrat menghasilkan pengaruh yang sama pada kadar gula darah. Jenkins, salah seorang peneliti yang pertama kali mempertanyakan hal tersebut.

Jenkins *et al.* (1981) menguji IG berbagai jenis pangan (Wallett *et al.* 2002). Hasil yang diperoleh sangat menarik. Ternyata, es krim walaupun kaya akan gula, pengaruhnya terhadap kenaikan kadar gula darah lebih kecil dibandingkan dengan kenaikan gula darah akibat mengonsumsi roti biasa. Hingga 15 tahun kemudian, para peneliti medik dan ilmuwan di seluruh dunia menguji pengaruh berbagai jenis pangan terhadap kadar gula darah dan mengembangkan konsep baru dalam pengelompokan karbohidrat.

Indeks glikemik disusun untuk semua orang, baik orang sehat, penderita DM, olahragawan, maupun penderita obesitas. Banyak penderita DM menganggap bahwa dirinya telah melakukan cara yang benar untuk menurunkan kadar gula darah (sesuai konsep porsi karbohidrat), tetapi kadar gulanya masih tetap tinggi. Demikian pula, banyak orang yang merasa telah berusaha keras menurunkan berat badan dengan cara mengurangi konsumsi makanan, rela menahan lapar, tetapi hasilnya tidak sesuai yang diharapkan. Informasi IG pangan dapat membantu penderita DM dalam memilih makanan yang tidak menaikkan kadar gula darah secara drastis sehingga kadar gula darah dapat dikontrol pada tingkat yang aman. Makanan yang mempunyai IG rendah membantu orang untuk mengendalikan rasa lapar, selera makan dan kadar gula darah.

Tabel 1.3.
Indeks Glikemik Beberapa Pangan Sumber Karbohidrat

Jenis Pangan	Indeks Glikemik ¹	Ukuran Saji	Kadar KH g/Us saji	Beban glikemik
Bahan sumber karbohidrat				
1. Jagung manis (Kanada)	48-70	150 g	33	20
2. Beras putih, dididihkan (India)	69	150 g	43	30
3. Jagung	59	-	-	-
4. Beras Basmati putih, dididihkan	58	150 g	38	22
5. <i>Parboiled rice</i> , amilosa 12% (Bangladesh, var. BR2)	51	150 g	38	19
6. Ketan, amilosa 0-2% (Australia)	88	150 g	43	38
7. Beras Bangladesh, amilosa 28%	37	150 g	39	14
8. Beras putih instan, ditanak 1 mnt (Kanada)	46	150 g	42	19
9. Beras putih instan, ditanak 6 mnt (Australia)	87	150 g	42	36
10. Terigu, biji utuh (Kanada)	42	50 g	33	14
11. Roti terigu	56	30 g	20	11
12. Ubi kayu rebus (New Zealand)	29-45	150 g	36	13
13. Kentang panggang	73-97	150 g	30	26
14. Ubi jalar	54-68	150 g	28	17
15. <i>Barley</i>	24-26	150 g	42	11
16. <i>Millet</i> (dididihkan)	61-81	150 g	36	25
17. <i>Millet</i> (bubur tepung)	107	-	-	-
18. Beras Yasmin, dimasak dg <i>rice cooker</i> (Golden Food, Thailand)	99-119	150 g	42	46
19. Roti tepung beras (amilosa rendah, <i>Calrose rice</i>)	63-81	30 g	12	8
20. <i>Corn meal</i> (dididihkan dg air)	68	150 g	13	9
21. Roti <i>Oat bran</i> (Australia)	44	30 g	18	8
22. Talas	54-56	150 g	8	4
23. Yam	29-45	150 g	36	13
24. Tapioka (dikukus 1 jam, India)	60-80	250 g	18	12

Jenis Pangan	Indeks Glikemik ¹	Ukuran Saji	Kadar KH g/Usaji	Beban glikemik
Pasta				
25. Mi instan (masak 2 mnt)	6-48	180 g	40	19
26. Macaroni (didihkan 5 mnt)	45	180 g	49	22
27. Spageti (putih-didihkan 5 mnt)	32	180 g	48	15

Sumber: Foster-Powell (2002); Marsono (2002)

¹ Pangan acuan: Glukosa (IG = 100)

Tabel 1.4.
Indeks Glikemik Buah-buahan, Kacang-kacangan, dan Beberapa Pangan Lain

Jenis Pangan	Indeks Glikemik ¹	Ukuran Saji	Kadar KH g/Usaji	Beban glikemik
Kacang-kacangan				
1. Kedelai	42	50 g	33	14
2. Kacang hijau	56	30 g	20	11
3. Kacang tanah	29-45	150 g	36	13
4. Kacang merah	73-97	150 g	30	26
5. Kacang buncis, dididihkan 8 menit	24-32	150 g	25	7
Buah-buahan				
6. Apel	40	120 g	15	6
7. Nenas	51-67	120 g	16	8
8. Semangka	59-85	120 g	6	4
9. Pepaya	58-60	120 g	17	10
10. Pir	36-40	120 g	11	4
11. Strawberry (Australia)	33-47	120 g	3	1
12. Pisang	65-75	120 g	23	16
13. Aprikot (Italia)	57	120 g	9	5
Gula				
14. Fruktosa	17-24	10 g	10	2

Jenis Pangan	Indeks Glikemik ¹	Ukuran Saji	Kadar KH g/Uk saji	Beban glikemik
15. Glukosa	96-102	10 g	10	10
16. Madu	50-60	25 g	18	10
17. Laktosa	44-48	10 g	10	5
18. Maltosa	93-117	10 g	10	11
19. Sukrosa	63-73	10 g	10	7
Minuman, Jus				
20. Coca-cola, <i>soft drink</i> (Australia)	46-60	250 ml	26	14
21. Fanta, <i>soft drink</i> (Australia)	62-74	250 ml	34	23
22. Yakult	40-52	65 ml	12	6
23. Lucozade (<i>sparkling glucose drink</i> , UK)	85-105	250 ml	42	40
24. Jus wortel, segar	35-51	250 ml	23	10
25. Jus nenas	46	250 ml	34	16
26. Jus tomat	34-42	250 ml	9	4
27. Jus anggur	48	250 ml	31	16
28. Susu, <i>full fat</i>	23-31	250 ml	12	3
29. Susu skim (Kanada)	27-37	250 ml	13	4
30. Susu kental manis (Australia)	55-67	250 ml	136	83
31. Susu sapi fermentasi (Swedia)	11			

Sumber: Foster-Powell (2002).

¹ Pangan acuan: Glukosa (IG = 100)

2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Indeks Glikemik Pangan

Berbagai faktor dapat menyebabkan IG pangan yang satu berbeda dengan pangan lainnya. Bahkan, pangan jenis yang sama bila diolah dengan cara berbeda, dapat memiliki IG yang berbeda. Proses pengolahan dapat menyebabkan perubahan struktur dan komposisi kimia pangan. Dampak dari perubahan tersebut antara lain ialah perubahan daya serap zat gizi. Pengolahan pada umumnya meningkatkan daya cerna pangan. Semakin cepat karbohidrat dapat diserap tubuh maka IG-nya semakin tinggi. Sebagai contoh, beras mempunyai kisaran IG sangat luas, dari IG rendah (< 50) sampai IG tinggi (>70). Bahkan, beras Yasmin dari Thailand yang dimasak dengan *rice cooker* mempunyai IG lebih tinggi daripada glukosa (Foster-Powell *et al.*, 2002). Hal ini karena beras memiliki jenis varietas yang sangat

banyak. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap IG pangan, yaitu proses pengolahan, perbandingan amilosa dan amilopektin, kadar gula dan daya osmotik, kandungan serat, kandungan lemak dan protein serta kandungan zat antigizi.

a. Proses pengolahan

Pada awal perkembangan teknologi pengolahan pangan, masyarakat mengonsumsi pangan dengan pengolahan yang sangat sederhana, misalnya dengan membakar atau merebus. Mereka mengonsumsi pangan sumber karbohidrat dari sereal, kacang-kacangan dan umbi-umbian. Proses pengolahan sereal dan kacang-kacangan umumnya sangat sederhana, yaitu ditumbuk lalu dimasak (Miller *et al.*, 1996). Pangan yang diproses dengan cara tersebut akan dicerna dan diserap dengan lambat sehingga kadar gula meningkat secara perlahan.

Saat ini, di era modern pengolahan pangan sangat berbeda. Bahan pangan saat diproses sedemikian rupa sehingga bentuk dan ukurannya lebih mudah dicerna serta mempunyai rasa bervariasi dan tentunya jauh lebih enak. Proses penggilingan menyebabkan struktur pangan menjadi lebih halus, permukaan menjadi lebih luas sehingga pangan tersebut menjadi lebih mudah dicerna dan diserap. Penyerapan yang cepat mengakibatkan timbulnya rasa lapar secara cepat pula. Berbagai cara pengolahan dan pemberian variasi bahan tambahan dapat menghasilkan citarasa yang lebih enak sehingga orang cenderung untuk mengonsumsi lebih banyak (berlebih).

Pangan yang mudah dicerna dan diserap akan menaikkan kadar glukosa darah dengan cepat. Peningkatan kadar glukosa darah yang cepat ini akan menstimulasi pankreas untuk mensekresikan insulin lebih banyak. Oleh karena itu, kadar glukosa darah yang tinggi akan meningkatkan respon insulin (Ostman *et al.*, 2001).

Ukuran partikel dan tingkat gelatinisasi merupakan faktor-faktor pengolahan yang berpengaruh terhadap IG pangan. Ukuran partikel mempengaruhi proses gelatinisasi pati. Penumbukan dan penggilingan biji-bijian akan memperkecil ukuran partikel sehingga lebih mudah menyerap air. Semakin kecil ukuran butiran pati maka semakin mudah terdegradasi oleh enzim sehingga semakin mudah untuk dicerna dan diserap oleh tubuh. Oleh karena itu, semakin kecil ukuran partikel maka IG pangan semakin tinggi. Butiran utuh sereal, misalnya gandum, menghasilkan respon glukosa dan insulin yang rendah. Ketika butiran tersebut digiling sebelum direbus maka

respon glukosa dan insulin postprandial (setelah makan) akan mengalami peningkatan yang bermakna. Kenaikan kadar gula darah postprandial tepung terigu halus > tepung terigu kasar > biji gandum pecah > biji gandum utuh (Liljeberg *et al.*, 1992).

Pati pada bahan pangan mentah berada dalam bentuk granula yang tersusun rapat sehingga pangan mentah sulit dicerna. Pada umumnya pangan sumber karbohidrat memerlukan proses pengolahan/pemasakan sebelum dikonsumsi. Selama pemasakan, air dan panas memperbesar ukuran granula pati. Beberapa granula terpisah dari molekul pati. Apabila sebagian besar granula pati telah mengembang maka pati tersebut dinyatakan tergelatinisasi penuh. Granula pati yang telah mengembang dan molekul pati bebas sangat mudah dicerna karena enzim pencernaan pati (amilase) di dalam usus halus mendapatkan permukaan yang lebih luas untuk kontak dengan substrat. Reaksi cepat dari enzim ini menghasilkan peningkatan kadar glukosa darah yang cepat. Oleh karena itu, pangan yang mengandung pati tergelatinisasi penuh mempunyai IG tinggi (Rimbawan & Siagian, 2004).

b. *Kadar amilosa dan amilopektin*

Golongan karbohidrat yang paling banyak dikonsumsi oleh manusia ialah pati, polisakarida dan selulosa yang berasal dari tanaman serta glikogen yang berasal dari hewan. Amilosa merupakan salah satu parameter penting yang menentukan mutu tanak dan mutu rasa beras.

Pati dan glikogen dihidrolisis sempurna oleh aktivitas enzim amilase yang terdapat dalam saluran pencernaan, menjadi unit pembangunnya, yaitu D-glukosa bebas (Lehninger, 1982). Pati terdiri dari amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan polimer gula sederhana yang tidak bercabang. Struktur yang lurus ini membuat amilosa dapat dihidrolisis sempurna oleh satu enzim saja (α -amilase), dengan kata lain mudah dicerna. Sedangkan amilopektin merupakan polimer gula sederhana yang mempunyai cabang dan memiliki ukuran molekul lebih besar dibandingkan dengan amilosa. Oleh karena itu, untuk menghidrolisis amilopektin diperlukan dua enzim (α -amilase dan β -amilase) sehingga lebih sulit dan lama dicerna (Lehninger, 1982).

c. *Kadar gula*

Orang awam sering menganggap sukrosa (gula meja/gula tebu) dapat menaikkan kadar glukosa darah secara cepat. Hal ini ditunjang oleh beberapa publikasi populer yang menyatakan bahaya konsumsi gula tebu (Willett *et*

al., 2002). Padahal gula tebu memiliki IG sedang (65) dan ternyata menaikkan kadar glukosa darah tidak lebih tinggi dibandingkan dengan karbohidrat kompleks lain, seperti roti. Sukrosa merupakan disakarida yang dibentuk oleh satu molekul fruktosa dan satu molekul glukosa. Dalam pencernaan, disakarida diuraikan oleh enzim-enzim yang terletak di bagian luar lapisan sel-sel epitel yang membatasi usus halus. Sukrosa dihidrolisis menjadi D-glukosa dan D-fruktosa oleh enzim sukrase atau invertase (Lehninger, 1982). Fruktosa diserap dan diambil langsung ke hati. Di dalam hati kebanyakan fruktosa diubah secara perlahan menjadi glukosa. Oleh sebab itu, respon gula darah terhadap fruktosa murni sangat kecil, memiliki IG = 23 (Foster-Powell *et al.*, 2002). Hal ini mengakibatkan respon gula darah terhadap 50 gram gula meja sekitar setengah dari responnya terhadap pati yang tergelatinisasi penuh (hampir seluruh molekulnya adalah glukosa)

Pangan yang mengandung sukrosa dalam jumlah besar memiliki IG mendekati 60. Madu (sebagian besar sukrosa) memiliki IG = 58, namun ada jenis madu yang mempunyai IG di atas gula meja, yaitu 87. Hal ini kemungkinan terjadi karena jenis madunya tidak murni, misal telah dicampur dengan sirup glukosa. Beberapa jenis buah memiliki IG rendah, misalnya cerri (IG = 22), apel dan pear (IG = 38), serta plum (IG = 39). Namun ada juga buah yang memiliki IG relatif tinggi (semangka, IG = 72).

d. Kadar serat pangan

Serat pangan didefinisikan sebagai dinding sel tumbuhan yang tahan terhadap hidrolisis oleh enzim di dalam usus halus manusia, meliputi polisakarida bukan pati (*non starch polysaccharide*) dan lignin (Trowell *et al.*, 1976, diacu dalam Marsono, 2004). Definisi tersebut telah mengalami beberapa kali perubahan karena tinjauan struktur kimia maupun efek fisiologis serat pangan.

Definisi terbaru diberikan oleh *The American Association of Cereal Chemistry* (AACC) pada tahun 2001, yang menyatakan bahwa serat pangan adalah bagian tumbuhan yang dapat dimakan atau analog dengan karbohidrat, yang tahan terhadap pencernaan dan absorpsi di dalam usus halus manusia dan mengalami fermentasi sebagian atau seluruhnya di dalam usus besar.

Serat pangan meliputi polisakarida, karbohidrat analog, oligosakarida, lignin, dan bahan yang terkait dengan dinding sel tanaman (Marsono, 2004). Komponen tersebut dapat dikelompokkan menjadi serat larut dan tidak larut, atau terfermentasi dan tidak terfermentasi. Kelompok terfermentasi berkaitan

dengan bisa-tidaknya serat diuraikan oleh bakteri anaerob. Fermentasi berlangsung di dalam usus besar untuk menghasilkan asam lemak berantai pendek, yang dapat diserap dan digunakan sebagai sumber energi, serta gas-gas metan dan hidrogen.

Efek fisiologis serat, ada yang diperkirakan mempengaruhi pengaturan energi. Kandungan energi per unit bobot pangan adalah rendah. Oleh karena itu, penambahan serat pangan pada diet efektif menurunkan kerapatan (densitas) energi, terutama serat larut karena serat tersebut mengikat air. Pangan berserat tinggi juga meningkatkan distensi (pelebaran) lambung yang berkaitan dengan peningkatan rasa kenyang. Serat terfermentasi juga mendorong produksi hormon usus, seperti *glucagon-like peptide-1* yang berkaitan dengan sinyal lapar. Jadi, beberapa serat, terutama yang lebih larut (misalnya serat terfermentasi dari buah dan sayur) menurunkan penyerapan lemak dan protein.

Jenis serat berpengaruh terhadap IG pangan. Dalam bentuk utuh, serat dapat bertindak sebagai penghambat fisik pada pencernaan. Akibatnya, IG cenderung lebih rendah. Hal ini merupakan alasan mengapa kacang-kacangan memiliki IG rendah (30-40). Serat terlarut dapat menurunkan respon glikemik pangan secara nyata. Serat kasar mempertebal kerapatan atau ketebalan campuran makanan dalam saluran pencernaan. Hal ini akan memperlambat lewatnya makanan pada saluran pencernaan dan menghambat pergerakan enzim. Oleh karena itu, proses pencernaan menjadi lambat sehingga respon glukosa darah juga rendah.

e. Kadar lemak dan protein pangan

Pangan yang mengandung lemak dan protein tinggi cenderung memperlambat laju pengosongan lambung sehingga pencernaan makanan di usus halus juga diperlambat. Oleh karena itu, pangan berkadar lemak tinggi cenderung mempunyai IG lebih rendah daripada pangan sejenis yang berlemak rendah. Misalnya kentang goreng IG-nya lebih rendah (IG = 44–58) dibandingkan dengan kentang panggang/bakar (IG = 73-97); susu *full fat* Italy (IG = 11) dan susu *skim* Kanada (IG = 27-37) (Foster-Powell *et al.*, 2002).

Namun, kecenderungan tersebut tidak selalu sama, karena pengolahan dan varietas juga berpengaruh terhadap IG pangan. Hasil penelitian terakhir menunjukkan bahwa ubi jalar mempunyai IG yang berbeda, tergantung cara pengolahannya. IG ubi jalar klon BB00105.10 yang direbus = 62, digoreng =

47 dan dipanggang = 80 (Astawan dan Widowati, 2005). Walaupun demikian, pangan berlemak tinggi, apapun jenis dan IG-nya (rendah maupun tinggi) perlu dikonsumsi secara bijaksana.

f. Kadar antigizi pangan

Bahan pangan secara alami ada yang mengandung senyawa-senyawa yang bersifat toksik bila dikonsumsi dalam jumlah besar, misalnya sianida pada ubi kayu (terutama jenis pahit). Beberapa bahan pangan mengandung senyawa yang berpotensi menyebabkan efek merugikan status gizi, yang disebut sebagai zat antigizi. Kacang-kacangan mengandung antigizi, antara lain antitripsin, saponin, hemaglutinin, fitat maupun polifenol. Efek antitripsin dan fitat yang terkandung dalam kedelai menyebabkan jenis kacang-kacangan ini dapat digunakan sebagai pangan antidiabetes (Noor, 2003).

Asam fitat (myo-inositol heksafosfat) merupakan bentuk utama fosfat yang tersimpan dalam biji-bijian dan serbuk sari. Asam fitat dikategorikan sebagai antigizi karena mempunyai bagian yang sifatnya sebagai pengkelat yang kuat. Asam fitat membentuk ikatan dengan mineral-mineral penting, seperti Zn, Ca, Mg, dan Fe, menjadi bentuk yang tidak terlarut sehingga menurunkan bioavailabilitasnya di dalam saluran pencernaan. Asam fitat membentuk garam-garam kompleks yang disebut fitin. Pada biji-bijian, fitin terlokalisasi di dalam aleuron dan endosperm, sedangkan pada kacang-kacangan terdapat pada kotiledon.

Pemanasan dapat menurunkan aktivitas antigizi. Namun, beberapa antigizi tetap aktif walaupun telah melalui proses pemasakan. Zat antigizi pada biji-bijian dapat memperlambat pencernaan karbohidrat dalam usus halus sehingga IG pangan tersebut turun. Hal ini dapat menerangkan kenapa IG kacang-kacangan umumnya rendah. Sebagai contoh, IG kacang merah 24-32, IG kedelai 15-21, IG kacang tanah 23 dan IG kacang hijau 32 (Foster-Powell *et al.*, 2002; Marsono *et al.*, 2002). Hal ini diperkuat dengan daya cerna kacang-kacangan yang juga rendah (50-65).

3. Beban Glikemik

Indeks glikemik hanya memberikan informasi yang berkaitan dengan kecepatan perubahan karbohidrat menjadi gula darah. IG tidak memberikan informasi mengenai banyaknya karbohidrat yang terkandung di dalam bahan pangan dan dampaknya terhadap kadar gula darah. Oleh karena itu, untuk

mengetahui jenis pangan dan pengaruhnya terhadap kesehatan (khususnya yang berhubungan dengan gula darah) perlu informasi IG dan sekaligus kandungan karbohidrat dari bahan pangan tersebut.

Kenyataannya, kandungan karbohidrat masing-masing jenis pangan tidak sama. Sebagai contoh, wortel termasuk bahan pangan yang mempunyai IG sangat tinggi (IG wortel = 131). Berdasarkan hal tersebut, apakah wortel tidak baik untuk kita konsumsi? Wortel kaya akan vitamin A dan zat gizi mikro lainnya. Tentu saja tidak bijak untuk tidak mengonsumsi wortel hanya karena bahan pangan ini ber-IG tinggi. Pengetahuan tentang Beban Glikemik (BG) akan menjawab masalah tersebut.

BG bertujuan untuk menilai dampak konsumsi karbohidrat dengan memperhitungkan IG pangan. BG didefinisikan sebagai IG pangan yang dikalikan dengan kandungan karbohidrat dari pangan tersebut. Oleh karena itu, BG mencerminkan kualitas dan kuantitas karbohidrat dan interaksinya di dalam bahan pangan. BG lebih mencerminkan ukuran saji, jadi lebih realistis dibandingkan IG.

Sebagai contoh, wortel mempunyai IG = 131, namun kandungan karbohidrat wortel hanya sekitar 4%. Dalam menentukan IG, didasarkan pada konsumsi karbohidrat sebesar 50 g. Berarti, untuk mencapai 50 g karbohidrat wortel harus dikonsumsi sekitar 1250 g sekali makan. Suatu hal yang tidak masuk akal!! Pada umumnya orang mengonsumsi wortel 50-100 g sekali makan.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Apa yang Anda ketahui tentang penyakit degeneratif?
- 2) Jelaskan apa yang dimaksud dengan insulin resisten!
- 3) Ada berapa jenis diabetes melitus dan sebutkan ciri masing-masing!
- 4) Apa yang dimaksud dengan poliurea, polidipsia dan poliphagia, jelaskan bagaimana mekanisme terjadinya!
- 5) Apa fungsi utama pankreas?

- 6) Sebutkan dua jenis hormon yang sangat berperan dalam metabolisme karbohidrat dan bagaimana cara kerjanya dalam pengendalian kadar gula darah!
- 7) Dimana letak perbedaan struktur insulin manusia dan insulin sapi/babi?
- 8) Bagaimana mekanisme sekresi insulin kaitannya dengan pengendalian kadar gula darah?
- 9) Sebutkan komplikasi yang sering terjadi pada penderita diabetes!
- 10) Faktor apa saja yang mempengaruhi IG bahan pangan?

Petunjuk Jawaban Latihan

Agar Anda dapat menjawab soal-soal dalam latihan ini, Anda harus mempelajari kembali seluruh materi Kegiatan Belajar 1 secara teliti dan cermat.



RANGKUMAN

1. Karbohidrat merupakan molekul organik yang paling banyak ditemukan di alam, berfungsi sebagai sumber energi utama bagi sebagian besar makhluk hidup dan merupakan cadangan energi tubuh serta komponen membran sel yang berperan sebagai perantara berbagai komunikasi antar sel.
2. Berdasarkan jumlah molekul gula sederhana penyusunnya, karbohidrat dapat digolongkan menjadi empat, yaitu monosakarida (1 molekul), disakarida (2 molekul), oligosakarida (3-10 molekul), dan polisakarida (> 10 molekul).
3. Karbohidrat kompleks mempunyai ukuran yang besar sehingga sulit untuk menembus dinding usus halus dan masuk ke aliran darah. Oleh karena itu, perlu dilakukan pencernaan dengan tujuan utama yaitu memperkecil ukuran sehingga dapat diserap melewati dinding usus. Selain itu, pencernaan juga digunakan untuk persiapan proses metabolisme.
4. Penyakit degeneratif antara lain dapat disebabkan oleh:
a) perubahan gaya hidup yang cenderung santai, b) kurang aktivitas fisik (olah raga), c) perubahan pola konsumsi masyarakat yang tinggi lemak dan kalori, kurang vitamin, mineral dan serat pangan, serta d) konsumsi pangan yang berlebihan.
5. Diabetes dapat diklasifikasikan sebagai DM tipe 1 (yang sebelumnya disebut IDDM atau *juvenil diabetes*), DM tipe 2

(sebelumnya disebut NIDDM atau *adult-onset*) dan *gestational diabetes* yaitu diabetes yang diderita pada masa kehamilan.

6. Insulin dan glukagon merupakan hormon penting yang diproduksi oleh pankreas, sangat berperan dalam metabolisme karbohidrat. Insulin bersifat anabolik, sedangkan glukagon bersifat katabolik. Sel- β pankreas merupakan sel yang paling sensitif dengan keberadaan glukosa di dalam darah. Defisiensi insulin mengakibatkan hiperglikemik, sedangkan defisiensi glukagon mengakibatkan hipoglikemik dan kelebihan glukagon menyebabkan DM semakin buruk. Penderita DM akan mengalami perubahan morfologi pada sel- β pankreas, baik dalam ukuran maupun jumlahnya.
7. Jumlah relatif insulin dan glukagon yang dilepaskan oleh pankreas diatur sehingga laju pembentukan glukosa di dalam hati dijaga agar sama dengan laju penggunaan glukosa oleh jaringan perifer. Secara khusus, sekresi insulin ditingkatkan oleh glukosa, asam amino, hormon gastrointestinal dan glukagon.
8. Mekanisme kerja insulin, yaitu berikatan dengan reseptor spesifik yang memiliki afinitas tinggi pada membran sel kebanyakan jaringan, termasuk hati, otot, dan adiposa.
9. Indeks Glikemik (IG) pangan merupakan tingkatan pangan menurut efeknya terhadap kadar gula darah. Pangan yang menaikkan gula darah dengan cepat, memiliki IG tinggi. Sebaliknya pangan yang menaikkan gula darah dengan lambat, memiliki IG rendah. Informasi IG bermanfaat untuk semua orang, baik orang sehat, olah ragawan, penderita DM, maupun obesitas.
10. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap IG pangan, yaitu proses pengolahan, perbandingan amilosa dan amilopektin, kadar gula dan daya osmotik, kandungan serat, kandungan lemak dan protein serta kandungan zat antigizi.
11. Beban Glikemik (BG) bertujuan untuk menilai dampak konsumsi karbohidrat dengan memperhitungkan IG pangan. BG didefinisikan sebagai IG pangan yang dikalikan dengan kandungan karbohidrat dari pangan tersebut. Oleh karena itu, BG mencerminkan kualitas dan kuantitas karbohidrat dan interaksinya di dalam bahan pangan. BG lebih mencerminkan ukuran saji sehingga lebih realistis dibandingkan IG.

**TES FORMATIF 1**

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Bahan pangan/jenis karbohidrat di bawah ini mempunyai urutan tingkat kemanisan dari yang terendah sampai tertinggi adalah
 - A. galaktosa, glukosa, dan fruktosa
 - B. sorbitol, sukrosa, dan fruktosa
 - C. laktosa, molase, dan sirup jagung
 - D. galaktosa, sorbitol, dan sirup jagung

- 2) Hasil pencernaan karbohidrat yang siap diserap melalui usus halus ialah
 - A. glukosa, fruktosa dan galaktosa
 - B. glukosa, laktosa dan galaktosa
 - C. fruktosa, galaktosa dan sukrosa
 - D. fruktosa, laktosa, dan sukrosa

- 3) Salah satu penyebab penyakit degeneratif adalah
 - A. terlalu banyak aktivitas fisik
 - B. perubahan pola konsumsi pangan masyarakat
 - C. gaya hidup yang kurang santai
 - D. terlalu sedikit mengkonsumsi lemak

- 4) Hormon yang disekresikan pankreas, adalah
 - A. glukagon, insulin, dan glutathion
 - B. glukagon, insulin, dan somatostatin
 - C. glukagon, insulin, dan peroksidase
 - D. glukagon dan insulin

- 5) Pengolahan dapat meningkatkan indeks glikemik, karena
 - A. pengolahan dapat mengubah struktur kimia sehingga lebih mudah diserap dan daya cernanya menurun
 - B. daya cernanya meningkat
 - C. pengolahan dapat mengubah struktur kimia sehingga lebih mudah diserap dan daya cernanya meningkat
 - D. pengolahan tidak mengubah struktur kimia sehingga daya cernanya menurun

- 6) Mengapa susu skim mempunyai IG lebih tinggi dibandingkan dengan susu full krim?
- Karena susu skim teksturnya lebih kasar sehingga susah dicerna.
 - Karena susu skim kandungan lemaknya sangat rendah sehingga laju pengosongan lambungnya lebih cepat dibandingkan dengan susu full krim.
 - Karena susu skim teksturnya lebih halus
 - Karena susu skim lebih lama tinggal di lambung.
- 7) Mengapa Beban Glikemik (BG) dianggap lebih realistis dibandingkan dengan IG?
- Karena BG mencerminkan kualitas dan kuantitas karbohidrat dan interaksinya di dalam bahan pangan. BG lebih mencerminkan ukuran saji.
 - IG memberikan informasi mengenai banyaknya karbohidrat yang terkandung di dalam bahan pangan dan dampaknya terhadap kadar gula darah.
 - A dan B benar.
 - A dan B salah.
- 8) Untuk mengendalikan kadar gula darah maka dianjurkan untuk mengonsumsi pangan yang mempunyai IG rendah. Wortel mempunyai IG tinggi (131). Menurut pendapat Anda manakah dari pernyataan di bawah ini yang paling tepat.
- Penderita DM harus menghindari makan wortel karena dapat meningkatkan kadar gula darah dengan cepat.
 - Meskipun IG wortel tinggi, namun kandungan karbohidratnya rendah (4%). Untuk mencapai IG = 131, wortel harus dikonsumsi lebih dari 1 Kg sekali makan. Pada takaran saji normal (50-100 g), wortel tetap aman dikonsumsi.
 - Wortel baik dikonsumsi karena kandungan vitamin A nya tinggi. Tidak ada batasan untuk mengonsumsi wortel.
 - IG wortel rendah, dengan kandungan karbohidrat tinggi.
- 9) Mengapa IG kacang-kacangan umumnya rendah (kurang dari 40)?
- Karena kandungan karbohidrat kacang-kacangan rendah.
 - Karena kandungan vitamin dan mineral kacang-kacangan tinggi.
 - Karena kacang-kacangan umumnya mengandung zat antigizi.
 - Karena kacang-kacangan mengandung karbohidrat tinggi

- 10) Di antara jagung pipilan utuh, jagung grit, tepung jagung halus dan tepung jagung instan, manakah yang mempunyai IG paling tinggi dan sebutkan alasannya.
- Jagung pipilan utuh. Karena kadar lemak dan proteinnya paling tinggi
 - Tepung jagung halus. Karena permukaannya luas sehingga lebih banyak bagian yang terhidrolisis oleh enzim pencernaan
 - Tepung jagung instan. Karena tepung jagung instan komponen patinya telah tergelatinasi sehingga lebih mudah dicerna. Selain itu ukuran granula yang kecil akan lebih mudah dicerna.
 - Jagung segar sehabis hujan.

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Pengujian Aktivitas Hipoglikemik dan Indeks Glikemik Pangan

Jenis pangan hipoglikemik adalah bahan pangan atau produk olahannya yang apabila dikonsumsi respon glikemiknya rendah. Dengan kata lain, kenaikan kadar gula darah akibat mengonsumsi bahan pangan tersebut rendah. Pangan jenis ini merupakan terapi diet bagi diabetesi untuk mengendalikan kadar gula darahnya.

Pengujian aktivitas hipoglikemik suatu bahan pangan umumnya dapat dilakukan menggunakan hewan model. Hewan model yang digunakan biasanya tikus putih, tetapi bisa juga menggunakan mencit maupun kelinci. Pengujian aktivitas hipoglikemik yang dilakukan langsung terhadap manusia sangat jarang dilakukan, karena membutuhkan sampel yang sangat banyak dan mahal biayanya.

Berbeda dengan pengujian aktivitas hipoglikemik, penentuan Indeks Glikemik (IG) pangan harus dilakukan langsung terhadap manusia. Relawan yang mengikuti uji IG harus dalam keadaan sehat, umur sebaiknya antara 20-45 tahun dan bersedia mengikuti seluruh jadwal yang sudah ditentukan serta bersedia menghabiskan seluruh pangan uji yang disajikan.

Glukometer adalah alat yang sangat penting dalam pengujian aktivitas hipoglikemik maupun dalam penentuan IG pangan. Alat semacam ini banyak dijual di pasar bebas dan saat ini sudah banyak dimiliki oleh para diabetesi secara individu. Cara penggunaannya sangat mudah sehingga kapan saja merasa tidak nyaman dan perlu mengukur kadar gula darahnya maka penderita dapat segera mengukurnya sendiri. Alat tersebut sangat membantu saat melakukan pengujian aktivitas hipoglikemik, karena dalam waktu yang sangat singkat (5-30 detik, tergantung jenis alatnya) nilai kadar gula darah sudah dapat diketahui. Keunggulan lain dari alat yang *portable* ini ialah, dapat digunakan secara cepat untuk menyortir tikus percobaan yang sebelum diperlakukan sudah tidak normal (kadar gula di atas normal, terdapat ketone, dan lain-lain).

A. PROSEDUR PENENTUAN AKTIVITAS HIPOGLIKEMIK

1. Persiapkan tikus putih (*Ratus norvegicus*) strain Sprague-Dawley jantan dengan berat badan 150-200 g. Untuk setiap kelompok pangan yang akan diuji aktivitas hipoglikemiknya, digunakan 6-10 ekor tikus.
2. Tikus dipuasakan selama satu malam, tetapi tetap diberi minum secara *ad libitum* (sepuasnya). Keesokan harinya, kadar glukosa darah tikus diukur menggunakan glukometer. Kadar glukosa darah yang diperoleh disebut kadar gula darah puasa.
3. Selanjutnya tikus diberi sampel ekstrak pati dari bahan pangan yang akan diuji aktivitas hipoglikemiknya secara oral (4,5 g/kg berat badan). Setelah 30 menit, tikus diberi larutan D-glukosa 10% sebanyak 1 ml secara oral.
4. Tiga puluh menit kemudian, kadar glukosa darah tikus diukur dengan glukometer (pengukuran menit ke-30). Pengukuran kadar glukosa yang sama dilakukan pada menit ke-60, 90 dan 120. Hasil pengukuran kadar glukosa darah seluruh sampel pangan yang diuji, dihitung nilai perubahannya terhadap kadar gula darah puasa. Hasilnya di plot dalam kurva.

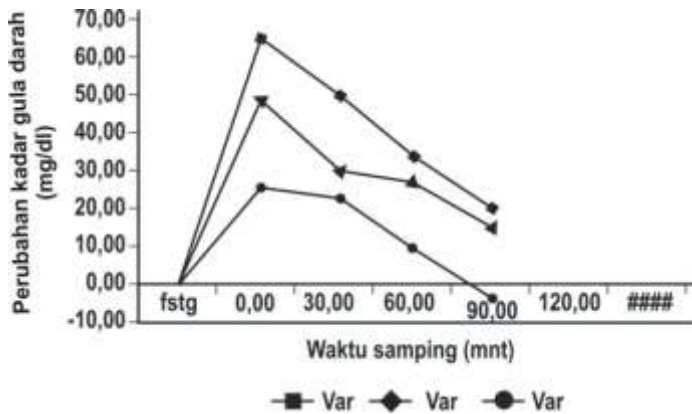
Tabel 1.5 menunjukkan contoh hasil pengujian kadar gula darah pada tikus percobaan yang diberi ekstrak pati dari 3 varietas bahan pangan uji. Selanjutnya dihitung perubahan kadar gula darah relatif terhadap kadar gula darah puasa, kemudian diplot pada kurva (Gambar 1.1).

Efek glikemik seperti yang ditunjukkan pada kurva tersebut mengacu pada kondisi respon gula darah terhadap pangan, meliputi: 1) laju penyerapan glukosa setelah seseorang mengonsumsi makanan, 2) Seberapa tinggi kadar gula darah meningkat akibat konsumsi makanan, dan 3) Seberapa cepat kadar gula darah kembali pada keadaan normal.

Berdasarkan kurva pada Gambar 1.1 dapat ditentukan bahwa varietas 3 mempunyai aktivitas hipoglikemik tertinggi atau peningkatan kadar gula darahnya terendah, diikuti oleh varietas 2 dan 1. Dapat diartikan bahwa di antara ketiga varietas tersebut, yang paling sesuai untuk konsumsi diabetesi adalah varietas 3.

Tabel 1.5.
 Profil Gula Darah Puasa dan Selama Dua Jam Setelah Pemberian Ekstrak Pati Pangan Uji secara Oral pada Tikus Percobaan

No	Varietas	Kadar glukosa Puasa	Kadar Glukosa Menit ke			
			30	60	90	120
1	Varietas 1	77	139	126	111	101
2	Varietas 2	69	117	96	95	86
3	Varietas 3	78	102	97	86	74



Gambar 1.1.
 Kurva Aktivitas Hipoglikemik Pangan

B. PENGUKURAN KADAR GLUKOSA DARAH

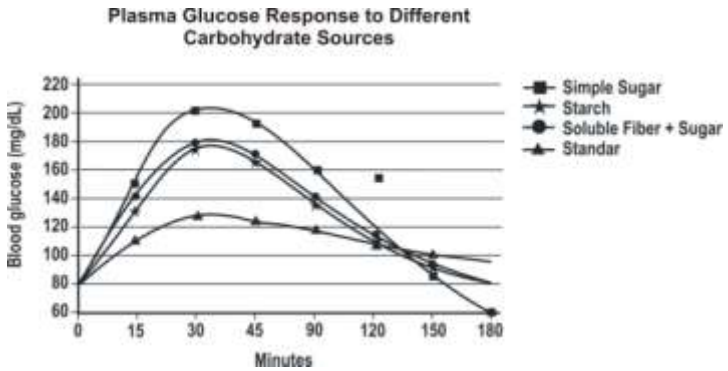
1. Kadar glukosa darah ditentukan menggunakan metode *glucose oxidase biosensor*, dengan alat glukometer.
2. Darah diambil dari ekor tikus, dengan cara ekor tikus uji dibersihkan lalu ditekan-tekan/diurut, kemudian ditusuk dengan jarum (*lancet*). Darah yang keluar ditempelkan pada strip glukometer. Hal yang perlu diperhatikan yaitu pada saat menempelkan darah pada jendela strip, alat glukometer harus dalam keadaan siap yang ditandai dengan nampaknya gambar tetesan darah pada layar.

3. Kadar glukosa darah akan terukur pada alat setelah lima detik (atau tergantung jenis alatnya), dinyatakan dalam mg/dl.

C. PENENTUAN INDEKS GLIKEMIK (Miller *et. al.*, 1996)

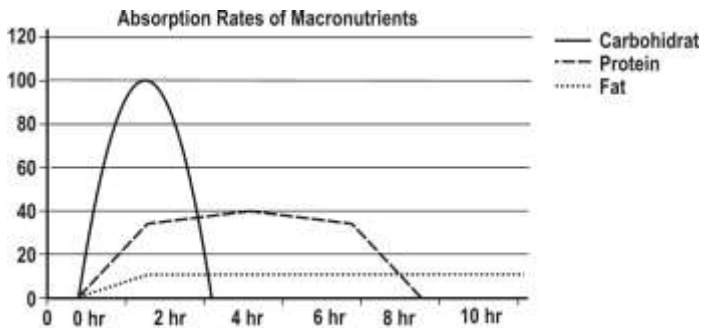
1. Pangan tunggal yang akan ditentukan IG-nya (mengandung 50g karbohidrat) diberikan kepada relawan yang telah menjalani puasa penuh (kecuali air) selama semalam (sekitar pk 20.00 sampai pk 08.00 besoknya). Relawan yang digunakan ialah individu normal, sehat, tidak menderita diabetes, sebanyak 10 orang (5 laki-laki dan 5 wanita). Sebagai contoh, untuk menentukan IG ubijalar rebus, sampel yang diberikan kepada relawan sekitar 170 g (untuk mendapatkan 50 g karbohidrat, karena kadar karbohidrat ubijalar 30%).
2. Pagi hari dilakukan pengukuran kadar gula darah puasa, kemudian relawan diminta untuk mengonsumsi hingga habis pangan yang akan diuji IG-nya
3. Selama dua jam pasca konsumsi sampel, darah diukur kadar gulanya setiap 30 menit (pengukuran menit ke-30, ke-60, ke-90 dan ke-120).
4. Selang 3 hari, hal yang sama dilakukan dengan memberikan 50 g glukosa murni (sebagai pangan acuan) kepada relawan. Hal ini dilakukan sebanyak dua kali (dilakukan pada lain hari, minimal tiga hari setelah perlakuan pertama) untuk mengurangi efek keragaman gula darah dari hari ke hari.
5. Kadar gula darah (pada waktu setiap pengambilan sampel) di plot pada dua sumbu, yaitu sumbu waktu (X) dan sumbu kadar gula darah (Y).
6. Indeks Glikemik ditentukan dengan membandingkan luas daerah di bawah kurva antara pangan yang diukur IG-nya dengan pangan acuan.

Respon glikemik dipengaruhi oleh kandungan serat pangan terlarut. Profil dari pengaruh tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.2. Adanya serat pangan terlarut akan menurunkan IG pangan. Hal ini karena di dalam lambung, serat pangan terlarut tidak dicerna sehingga dapat memperpanjang laju pengosongan lambung. Gambar 1.2 menunjukkan bahwa respon glikemik tertinggi adalah gula sederhana, selanjutnya pati dan yang paling rendah adalah campuran gula dengan serat pangan terlarut.



Gambar 1.2.
Respon Glikemik Berbagai Sumber Karbohidrat

Kandungan protein dan lemak tinggi pada pangan uji juga dapat menurunkan IG-nya. Hal ini karena laju penyerapan dan pengosongan lambung kedua komponen tersebut lebih lama dibandingkan dengan karbohidrat. Profil laju penyerapan dari ketiga zat gizi makro dapat dilihat pada Gambar 1.3. Komponen gizi yang paling cepat diserap adalah karbohidrat, kemudian protein, dan yang paling lama diserap adalah lemak.



Gambar 1.3.
Laju Absorpsi Zat Gizi Makro

D. IG PANGAN CAMPURAN

Diet sehari-hari secara riil terdiri dari berbagai jenis pangan, bukan hanya pangan tunggal. Meskipun pengujian IG dilakukan terhadap pangan

tunggal, tetapi kita dapat menerapkan konsep IG pada menu makan sehari-hari. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan kadar gula darah dapat diperkirakan dari makanan yang mengandung beberapa jenis pangan dengan IG yang berbeda. Hal yang utama harus diketahui ialah kandungan karbohidrat total dan kontribusi masing-masing jenis pangan tersebut terhadap karbohidrat total.

Contoh perhitungan IG pangan campuran disajikan pada Tabel 1.6. IG pangan campuran menunjukkan bobot karbohidrat dari masing-masing komponen pangannya. Secara umum, IG pangan campuran berada di antara IG pangan tertinggi dan IG pangan terendah dari komponen campuran pangan tersebut.

Tabel 1.6.
Indeks Glikemik Pangan Campuran

Jenis pangan	Kadar KH (g)	% KH total	IG	Sumbangan terhadap IG
1 gelas susu (150 ml)	7	13,20	27	$13,20\% \times 27 = 3,56$
5 keping biskuit (40 g)	32	60,37	69	$60,37 \times 69 = 41,65$
1 potong pepaya (140 g)	14	26,41	56	$26,41 \times 56 = 14,79$
Total	53	100,00		IG campuran = 60

Sumber: Rimbawan dan Siagian (2004). Ket: KH = karbohidrat, IG = indeks glikemik

E. PENGHITUNGAN BEBAN GLIKEMIK

Beban Glikemik (BG) merupakan IG pangan dikalikan dengan kadar karbohidrat pangan tersebut. Jadi, dengan mengetahui BG, konsumsi pangan dan interaksinya terhadap kenaikan kadar gula darah lebih realistis. Hal ini karena BG mencerminkan ukuran saji, atau sesuai dengan jumlah riil pangan yang kita konsumsi. BG dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$BG = IG \times KH$$

Dimana: BG = beban glikemik

IG = indeks glikemik

KH = kadar karbohidrat

Berdasarkan rumus BG tersebut maka untuk bahan pangan yang mempunyai IG yang sama nilai BG-nya akan semakin tinggi bila kandungan karbohidratnya semakin tinggi. Dengan kata lain, setiap unit BG

mencerminkan 1 g karbohidrat dari pangan tersebut. Jenis pangan dan BG-nya dapat dilihat pada Tabel 1.7, sedangkan klasifikasi pangan menurut IG dan BG-nya disajikan pada Tabel 1.8. Dengan mengetahui IG pangan dan kandungan karbohidratnya kita dapat memilih dan menentukan jumlah yang sebaiknya dikonsumsi. Meskipun pangan mempunyai IG tinggi (contohnya wortel), namun kandungan karbohidratnya rendah, jadi dalam takaran saji normal akan memberikan IG yang rendah.

Tabel 1.7 menunjukkan bahwa konsumsi wortel dengan takaran saji normal (150 g) maka BG-nya termasuk dalam kategori rendah (sesuai Tabel 8). Sebaliknya, konsumsi cookies coklat dengan takaran saji normal (110 g), walaupun IG-nya rendah, namun memberikan beban glikemik yang tinggi karena kandungan karbohidratnya tinggi.

Tabel 1.7.
Indeks Glikemik dan Beban Glikemik Berbagai Jenis Pangan

Jenis pangan	Indeks Glikemik	Ukuran Saji		Beban Glikemik
		Total (g)	KH (g)	
Kentang panggang	85	150	150	25,5
Strawberry (segar)	40	120	4	1,6
Jus tomat	38	250	9	3,4
Wortel	131	150	6	7,9
Cookies coklat	41	110	52	21,3

Tabel 1.8.
Kategori Pangan Menurut Indeks Glikemik dan Beban Glikemiknya

Kategori	Indeks glikemik	Beban glikemik
Tinggi	≥ 70	20
Sedang	56-69	11-19
Rendah	≤ 55	≤ 10



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Mengapa penentuan indeks glikemik harus langsung dilakukan terhadap manusia, sedangkan pengujian aktivitas hipoglikemik dapat menggunakan hewan percobaan?
- 2) Faktor apa saja yang mempengaruhi besarnya IG?
- 3) Jelaskan, mengapa laju penyerapan lemak paling lambat dibandingkan dengan karbohidrat dan protein!
- 4) Suatu bahan pangan mengandung 20 persen karbohidrat dan IG-nya 51. Berapa beban glikemik bahan pangan tersebut, bila disajikan dengan ukuran 150 g?
- 5) Apakah hanya serat pangan terlarut saja yang berpengaruh terhadap kesehatan? Jelaskan pendapat Anda tersebut!
- 6) Segelas susu coklat (250 ml) mempunyai BG = 3. Apabila kandungan karbohidratnya 26 g/ukuran saji. Berapa IG susu coklat tersebut?
- 7) Sebutkan jenis-jenis pangan yang mempunyai IG rendah, sedang dan tinggi, masing-masing 10 buah!
- 8) Jelaskan bagaimana konsep IG tidak hanya diperuntukkan bagi diabetisi, tetapi juga disusun bagi orang sehat-normal, olahragawan, dan penderita obesitas!
- 9) Hitunglah IG pangan campuran yang terdiri atas satu mangkuk mi instan (180 g), satu gelas coca-cola dan satu buah pisang (120 g)!
- 10) Madu umumnya mempunyai IG 55-65. Bila Anda akan membeli madu, namun madu tersebut memiliki IG 90, apakah Anda jadi membelinya? Berikan alasannya!

Petunjuk Jawaban Latihan

Agar Anda dapat menjawab soal-soal dalam latihan ini, Anda harus mempelajari kembali seluruh materi Kegiatan Belajar 2 secara teliti dan cermat.



RANGKUMAN

1. Aktivitas hipoglikemik suatu bahan pangan dapat diuji menggunakan hewan model. Hewan model yang digunakan biasanya tikus putih, tetapi bisa juga menggunakan mencit maupun kelinci. Penentuan indeks glikemik (IG) pangan harus dilakukan langsung terhadap manusia. Relawan yang mengikuti uji IG harus dalam keadaan sehat, umur sebaiknya antara 20-45 tahun dan bersedia mengikuti seluruh jadwal yang sudah ditentukan.
2. Penentuan kadar gula secara konvensional dengan spektrofotometer memerlukan waktu yang cukup lama. Pengukuran kadar gula darah dapat dilakukan menggunakan glukometer, yang dalam waktu 5-30 detik hasilnya sudah dapat diketahui. Alat yang *portable* ini sangat membantu dalam pengujian aktivitas hipoglikemik dan secara cepat dapat digunakan untuk menyeleksi bahan pangan berdasarkan respon glikemiknya.
3. Puncak respon glikemik bahan pangan sumber karbohidrat umumnya dicapai setelah 30 menit pasca konsumsi. Namun, jenis pangan tertentu puncak respon glikemiknya tercapai saat 60 menit pasca konsumsi.
4. Respon glikemik dipengaruhi oleh adanya serat pangan. Serat pangan umumnya akan menurunkan respon glikemik
5. Laju penyerapan antar zat gizi makro berbeda-beda. Karbohidrat mempunyai laju penyerapan yang paling cepat dibandingkan dengan protein dan lemak
6. Konsep lama dalam pengendalian kadar gula darah hanya didasarkan pada jumlah asupan karbohidrat. Kenyataannya, sumber karbohidrat yang berbeda akan memberikan respon glikemik yang berbeda pula. Karbohidrat sederhana akan memberikan respon glikemik yang lebih tinggi dibandingkan dengan karbohidrat kompleks.
7. Pengujian IG umumnya dilakukan terhadap pangan tunggal. IG pangan campuran dapat dihitung berdasarkan IG pangan tunggal penyusunnya. IG pangan campuran berada di antara IG terendah dan tertinggi dari IG pangan tunggal penyusunnya.
8. Keterbatasan pengetahuan atau informasi tentang IG, sering menyebabkan pangan ber-IG tinggi dihindari secara total. Padahal, IG tidak menunjukkan ukuran saji. Pangan dengan IG yang tinggi, namun kandungan gizi yang lain juga tinggi masih

- tetap perlu dikonsumsi, meskipun bagi diabetes, asalkan ukuran saji disesuaikan dengan kebutuhan.
9. Informasi tentang BG memberikan gambaran riil dari pangan yang kita konsumsi. BG dapat dihitung dengan mengalikan nilai IG dan kandungan karbohidrat per ukuran saji.
 10. Bahan pangan yang secara alami maupun telah melalui proses pengolahan sehingga kandungan lemaknya tinggi, akan mempunyai IG yang relatif rendah. Meskipun demikian, konsumsi pangan berlemak tinggi harus tetap memperhatikan ambang batas agar kesehatan tetap terjaga.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Kelompok pangan mana yang mempunyai IG rendah
 - A. kedelai, kacang merah, *barley*
 - B. susu kental manis, beras yasmin, kacang hijau
 - C. kedelai, susu sapi segar, jus jeruk
 - D. kedelai, beras yasmin, *barley*
- 2) Kelompok pangan mana yang mempunyai IG tinggi
 - A. kacang tanah, wortel, nenas
 - B. nenas, strawberry, semangka
 - C. semangka, wortel, *cornflake*
 - D. semangka, wortel, nenas
- 3) Dengan ukuran saji yang sama, jenis pangan mana yang mempunyai BG paling rendah
 - A. satu mangkuk *cornflake*
 - B. satu mangkuk wortel
 - C. satu mangkuk jagung manis
 - D. satu mangkuk nasi
- 4) Bila Anda seorang penderita diabetes, sumber energi mana di antara pangan berikut yang Anda pilih untuk sarapan pagi?
 - A. Satu mangkuk mie rebus.
 - B. Satu nasi yasmin putih.
 - C. Satu mangkuk jagung manis.
 - D. Satu piring biskuit.

- 5) Bila Anda seorang olahragawan, sumber energi mana di antara pangan berikut yang Anda pilih pada saat akan bertanding?
 - A. Satu mangkuk mie rebus.
 - B. Satu nasi yasmin putih.
 - C. Satu mangkuk jagung manis.
 - D. Satu piring biskuit.

- 6) IG pangan campuran besarnya
 - A. Di atas IG tertinggi dari IG pangan tunggal penyusunnya.
 - B. Di bawah IG terendah dari IG pangan tunggal penyusunnya.
 - C. Di antara IG terendah dan IG tertinggi pangan tunggal penyusunnya.
 - D. Tidak tentu.

- 7) Pangan yang mengandung lemak tinggi cenderung menurunkan IG-nya. Berdasarkan informasi tersebut, pendapat mana yang akan dipilih untuk menjaga kesehatan Anda?
 - A. Bebas mengonsumsi lemak karena lemak memberikan energi/satuan berat yang paling tinggi dibandingkan dengan karbohidrat dan protein
 - B. Meskipun lemak dapat menurunkan IG pangan dan memberikan sumbangan energi/satuan berat yang tinggi, namun lemak harus tetap dikonsumsi secara bijak
 - C. Meskipun lemak dapat menurunkan IG, tetapi banyak penyakit yang dapat ditimbulkan akibat kelebihan konsumsi lemak. Oleh karena itu, makanan berlemak tidak perlu dikonsumsi.
 - D. Mengonsumsi lemak sesuai keinginan, karena sangat diperlukan oleh tubuh.

- 8) Di antara zat gizi makro berikut ini, mana yang mempunyai laju pengosongan lambung paling cepat?
 - A. Karbohidrat.
 - B. Lemak.
 - C. Protein.
 - D. Mineral.

- 9) Menurut Anda, urutan penyerapan zat gizi makro dari yang paling cepat sampai yang paling lambat adalah
 - A. lemak – protein – karbohidrat
 - B. protein – karbohidrat – lemak
 - C. karbohidrat – protein – lemak
 - D. lemak – karbohidrat - protein

- 10) Informasi IG pangan sangat diperlukan dalam upaya pengendalian kadar gula darah. Namun, pengetahuan tentang BG lebih diperlukan. Mengapa?
- Untuk mengendalikan kadar gula darah, diabetesi hanya diperbolehkan mengonsumsi pangan dengan IG rendah saja, berapa pun jumlahnya tidak menjadi masalah. Jadi sebenarnya informasi BG tidak diperlukan
 - Informasi BG lebih realistis, karena menggambarkan ukuran saji. Jadi, diabetesi tetap dapat mengonsumsi pangan yang mempunyai mutu gizi tinggi meskipun IG-nya juga tinggi, asalkan BG-nya rendah
 - Apapun katagori IG-nya, pangan berkarbohidrat tinggi harus dihindari oleh diabetesi.
 - Informasi BG tidak perlu, karena hanya menggambarkan jumlah makanan yang dikonsumsi.

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) B
- 2) A
- 3) B
- 4) B
- 5) C
- 6) B
- 7) A
- 8) B
- 9) C
- 10) C

Tes Formatif 2

- 1) A
- 2) C
- 3) B
- 4) A
- 5) B
- 6) C
- 7) B
- 8) A
- 9) C
- 10) B

Daftar Pustaka

- Astawan, M dan S. Widowati. (2005). *Evaluasi Mutu Gizi dan Indeks Glikemik Ubijalar sebagai Dasar Pengembangan Pangan Fungsional*. Lap. Akhir RUSNAS Diversifikasi Pangan Pokok 2005. IPB, Bogor.
- Bessesen DH. (2001). *The Role of Carbohydrate in Insulin Resistance*. *J. Nutr* 131:2782-2786.
- Butler AE, Janson J, Bonner-Weir S, Ritzel R, Rizza RA, Butler PC. 2001. *β -Cell Deficit and Increased β -cell Apoptosis in Humans with Type 2 Diabetes*. *Diabetes* 32: 102-110.
- Champe PC, Harvey RA. (1994). *Lippincott's Illustrated Reviews: Biochemistry*. Ed ke-2. Philadelphia: J.B. Lippincott Co.
- Ferrari CKB, Torres EAES. (2003). *Biochemical Pharmacology of Functional Foods and Prevention of Chronic Diseases of Aging*. *Biomed Pharm* 57: 251-260.
- Foster-Powell KF, Holt SHA, Miller JCB. (2002). *International Table of Glycemic Index and Glycemic Load Values: 2002*. *Am J Clin Nutr* 76: 5-56.
- Guz Y, Nasir I, Teitelman G. (2001). *Regeneration of Pancreatic β -cell from intra Islet Precursor Cells in an Experimental Model of Diabetes*. *Endocrin* 142:4956-4968.
- Hui YH. (1985). *Principle and Issues in Nutrition*. Wadsworth Health Sciences Division, Monterey California.
- Krisetiana H, Noor Z, Tranggono. (2001). *Pengaruh Arginin terhadap Sekresi Insulin Pankreas Tikus secara in vitro*. *Bul Agro Indus* 11: 10-15.

- Lehninger AL. (1982). *Principles of Biochemistry (Dasar-dasar Biokimia Jilid 1, diterjemahkan oleh M. Thenawidjaya)*. Jakarta: Erlangga.
- Liljeberg H, Granfeldt Y, Bjork I. (1992). *Metabolic Responses to Starch in Bread Containing Intact Kernels Versus Milled Flour*. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46:561-575
- Mandrup-Poulsen T. (1998). *Diabetes*. *British Med J* 316:1221-1225.
- Marsono Y. (2002). *Indeks Glikemik Umbi-umbian*. *Agritech* 22(1): 13-16
- Marsono, Y. (2004). *Serat Pangan dalam Perspektif Ilmu Gizi*. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar pada Fak. Teknol. Pertanian – UGM. Yogyakarta, 2 Juni 2004
- Mayfield J. (1998). *Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus: New Criteria*. Published by the American Academy of Family Physician.
- Miller JB, Foster-Powel K, Colagiuri S. (1996). *The GI Factor: The GI Solution*. Hodder and Stoughton. Hodder Headline `Australia Pty Limited
- Noor Z. (2003). *The Potential of Legume as Functional Food for Insulin Independent Diabetes Mellitus*. Paper presented at *Internat. Conference on Functional and Health Foods: Market, Technology & Health Benefit*. Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada Univ. August 26-27, 2003
- Ostman EM, Elmstahl HGML, Bjorck IME. (2001). *Inconsistency Between Glycemic and Insulinemic Responses to Regular and Fermented Milk Products*. *Am J Nutr* 74 (1): 96-100.
- Rimbawan, Siagian A. (2004). *Indeks Glikemik Pangan*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Szaleczky E, Prechl J, Feher J, Somogyi A. (1999). *Alterations In Enzymatic Antioxidants Defence in Diabetes Mellitus [a Rational Approach]*. *Postgrad Med. J* 75:13-17.

Tsujii S. dan H. Kuzuya. (2004). *The Significance of Lifestyle as a Risk Factor for the Metabolic Syndrome*. Nippon Rinsho. Jun; 62 (6):1047-52

Willett W, Manson J, Liu S. (2002). *Glycemic Index, Glycemic Load and Risk of Type 2 Diabetes*. *Am J Clin Nutr* 76(1):274S-280S.