

PANG4325
Edisi 2

MODUL 01

Evaluasi Nilai Gizi Karbohidrat

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

Daftar Isi

Modul 01	1.1
Evaluasi Nilai Gizi Karbohidrat	
Kegiatan Belajar 1	1.6
Aktivitas Hipoglikemik dan Indeks Glikemik Pangan	
Latihan	1.17
Rangkuman	1.17
Tes Formatif 1	1.19
Kegiatan Belajar 2	1.22
Pengujian Potensi Hipoglikemik Bahan Pangan dan Penurunan Risiko Diabetes	
Latihan	1.30
Rangkuman	1.31
Tes Formatif 2	1.32
Kunci Jawaban Tes Formatif	1.35
Daftar Pustaka	1.36



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. Selain itu, karbohidrat juga berperan penting dalam membentuk tekstur suatu makanan. Sebagai serat pangan, karbohidrat mampu mempengaruhi proses fisiologis.

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 (Asif *et al.*, 2011).

Monosakarida adalah bentuk karbohidrat yang paling sederhana, dan hanya memiliki satu molekul gula. Contoh monosakarida antara lain glukosa, fruktosa dan galaktosa. Glukosa adalah jenis monosakarida yang paling banyak dikenal masyarakat. 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 umum dikenal masyarakat ialah sukrosa dan laktosa. Sukrosa lazim disebut oleh masyarakat sebagai gula meja/gula pasir. Sukrosa terbentuk dari satu molekul glukosa dan satu molekul fruktosa. Sedangkan laktosa merupakan komponen gula utama yang terdapat pada susu. Laktosa terdiri atas satu molekul galaktosa dan satu molekul glukosa.

Contoh oligosakarida adalah raffinosa (3 molekul / trisakarida), stakhiosa (4 molekul / tetrasakarida), dan verbascosa (5 molekul / pentasakarida). Ketiganya dapat ditemui dalam biji kacang-kacangan dan di berbagai bagian pada tumbuhan. Polisakarida merupakan golongan karbohidrat yang banyak terdapat pada tanaman (seperti selulosa dan pati) dan hewan (seperti glikogen). Selulosa merupakan komponen struktur batang dan daun, sedangkan glikogen terdapat pada daging hewan. Pati banyak terdapat pada umbi-umbian (ubijalar, ubikayu, kentang, kimpul, suweg, dan lain-lain) serta pada biji-bijian (padi, jagung, gandum, sorgum, dan lain-lain).

Karakteristik unik lain yang dimiliki oleh karbohidrat sederhana adalah rasa manis. Akan tetapi, tingkat kemanisan setiap karbohidrat ternyata berbeda-beda. Tingkat kemanisan berbagai karbohidrat dan pemanis buatan lain dibandingkan sukrosa, dapat dilihat pada Tabel 1.1. Beberapa pemanis buatan memiliki intensitas rasa manis hingga ribuan kali dibandingkan sukrosa, contohnya sakarin dan siklamat.

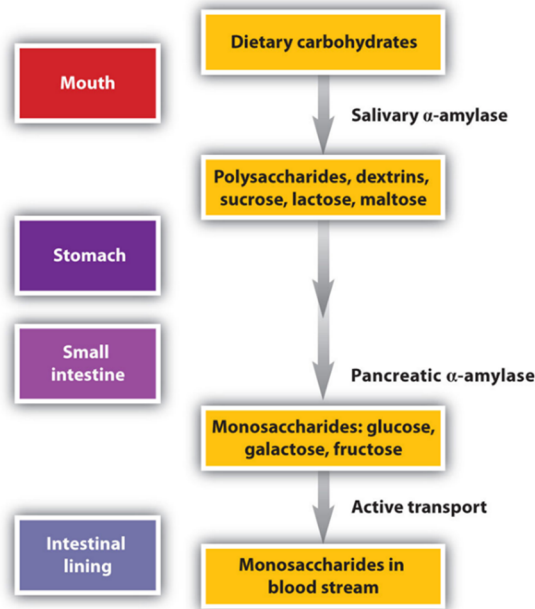
Tabel 1.1
Tingkat Kemanisan Relatif Berbagai Karbohidrat dan Pemanis Buatan

Jenis Karbohidrat / Pemanis	Kemanisan Relatif
Sukrosa (sebagai acuan)	1
Glukosa	0,56
Fruktosa	1,3
Maltosa	0,3 - 0,5
Laktosa	0,16
Galaktosa	0,4 – 0,6
Xilosa	0,59
Gula invert	0,85 – 1,0
Xilitol	1,01
AcesulfamateK	200
Aspartam	200
Siklamat	3.000 – 8.000
Sakarin	20.000 – 70.000

Sumber: Kusnandar (2010)

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, bihun, 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. Secara sederhana, proses pencernaan karbohidrat dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 1.1
Proses Pencernaan Karbohidrat

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 Potensi Glikemik dan Penurunan Risiko Diabetes dalam Bahan Pangan. Bagian ini akan lebih banyak membahas tentang cara-cara pengujiannya.

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

1. aktivitas hipoglikemik;
2. indeks glikemik pangan;
3. aktivitas penghambatan enzim pencernaan (enzim α -amilase, α -glukosidase, dan β -galaktosidase).

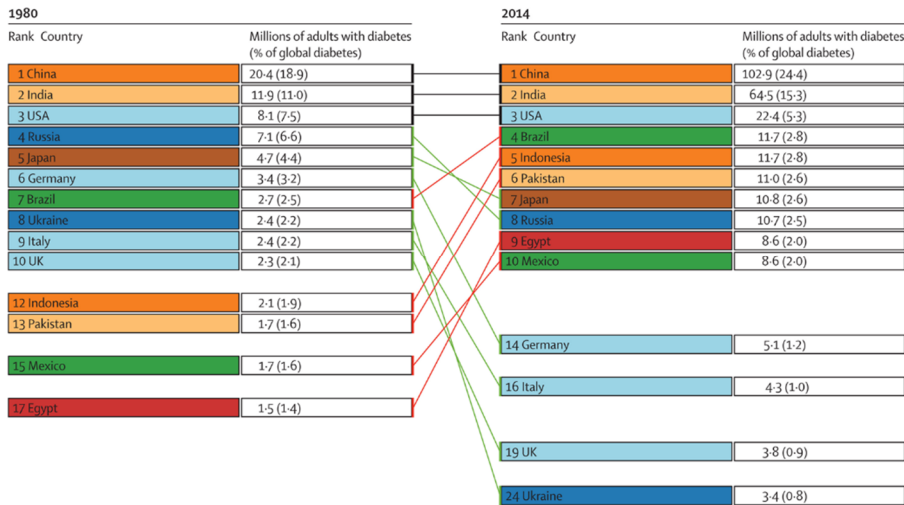
Aktivitas Hipoglikemik dan Indeks Glikemik Pangan

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 (*sedentary lifestyle*), 2) kurang aktivitas fisik (olah raga), dan 3) perubahan pola konsumsi pangan masyarakat (terutama di perkotaan) yang cenderung mengikuti pola makan ala Barat (WHO, 2016). 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*).

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 risiko komplikasi, 75-80% di antaranya berdampak pada kematian.

Berdasarkan sebuah artikel yang dipublikasikan di *Lancet* pada tahun 2016 oleh para peneliti yang tergabung dalam *NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC)*, mengenai negara-negara dengan penderita diabetes terbanyak di dunia diketahui bahwa urutan teratas masih ditempati oleh Cina dan diikuti oleh India dan Amerika Serikat (Gambar 1.2). Indonesia sendiri, pada tahun 1980 menduduki urutan ke 12 dengan 2,1 juta penderita diabetes. Akan tetapi, pada tahun 2014, peringkat Indonesia meningkat ke posisi 5 dengan penderita diabetes sebanyak 11,7 juta jiwa.

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 konsumsi pangannya.



Gambar 1.2
Negara-negara dengan Penderita Diabetes Terbanyak di Dunia

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 risiko yang besar bagi timbulnya DM tipe 2 (Wu *et al.*, 2014).

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, 2016). 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*), *gestational diabetes*, dan tipe diabetes spesifik yang disebabkan oleh penyebab lainnya seperti *monogenic diabetes syndromes* (*neonatal diabetes* dan *maturity-onset diabetes of the young* [MODY]), penyakit pankreas eksokrin (seperti *cystic fibrosis*), dan diabetes yang terinduksi obat atau bahan kimia (seperti *treatment* HIV/AIDS atau pasca transplantasi organ) (ADA, 2015).

DM tipe 1 dicirikan oleh kerusakan sel- β pankreas yang disebabkan oleh proses autoimun. Penderita DM tipe 1 sebelum usia 25 tahun jumlahnya 5-10% dari total populasi penderita DM, dengan prevalensi kejadian yang sama pada pria dan wanita.

DM tipe 2 dicirikan oleh resistensi insulin pada jaringan perifer dan gangguan sekresi insulin dari sel- β pankreas. DM tipe 2 adalah jenis penyakit diabetes yang paling lazim dan berkaitan dengan riwayat diabetes keluarga, usia lanjut, obesitas, perubahan pola makan dan aktivitas fisik yang kurang (Wu et al., 2014). Resistensi insulin dan hiperinsulinemia akan menyebabkan kerusakan toleransi glukosa. Sel- β yang rusak akhirnya menjadi lemah, selanjutnya mendorong intoleransi glukosa dan hiperglikemia (Olokoba, 2012). Penderita DM tipe 2 mencapai sekitar 90% dari total populasi penderita DM.

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*.

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 (Du et al., 2016).

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-storred state*) sehingga terjadi perasaan lapar yang berlebih (*polyphagia*). Oleh karena tubuh harus memecah protein atau lemak untuk memenuhi kebutuhan energinya, maka DM selalu berakibat pada terjadinya penurunan berat badan.

B. PANKREAS DAN INSULIN

Pankreas merupakan organ yang penting untuk proses pencernaan dengan fungsi sebagai penghasil enzim-enzim dan pensекреksi hormon terkait pencernaan. Di jaringan pankreas terdapat pulau Langerhans yang menghasilkan empat hormon berbentuk peptida, yaitu glukagon (dihasilkan oleh sel- α), insulin (dihasilkan oleh sel- β), somatostatin (dihasilkan oleh sel- δ), dan peptida pankreas (dihasilkan oleh sel-F). Glukagon dan insulin bekerja secara sinergis dan bertolak belakang, di mana fungsi glukagon sebagai hormon katabolik dan insulin sebagai hormon anabolik (Halban *et al.*, 2014).

Insulin merupakan salah satu hormon terpenting untuk fungsi anabolik dan koordinasi penggunaan energi dalam jaringan, seperti sintesis glikogen, triasilgliserol, dan protein. Secara alami, kebutuhan insulin di dalam tubuh dipenuhi dengan mensintesisnya (biosintesis) dari prekursor (bahan dasar insulin), yaitu preproinsulin dan proinsulin, yang berlangsung di sitoplasma sel- β pankreas (Fu *et al.*, 2013).

Homeostasis hormon insulin diatur oleh beberapa komponen seperti tingkat glukosa, asam amino, hormon gastrointestinal dan glukagon di dalam darah. Glukosa merupakan stimulan terpenting untuk sekresi insulin dan juga berperan sebagai penghambat glukagon. Pengaturannya sedemikian rupa sehingga laju pembentukan glukosa di hati sama dengan laju penggunaan glukosa oleh jaringan perifer (Halban *et al.*, 2014). Bahan lain non-glukosa juga mampu menstimulir pelepasan insulin dengan suatu mekanisme yang berbeda, antara lain beberapa asam-asam amino. Pada manusia, asam-asam amino, arginin, leusin, isoleusin, lisin, alanin, dan fenilalanin secara intravena merupakan bahan yang kuat untuk menstimulir pelepasan insulin (Kanetro & Astuti, 2013).

Mekanisme kerja insulin diawali oleh masuknya glukosa ke dalam darah setelah diserap oleh usus yang mengakibatkan terstimulasinya hormon insulin ke dalam darah dan menurunnya hormon glukagon. Insulin memiliki afinitas yang kuat pada membran sel jaringan, terutama hati, otot, dan adiposa. Insulin akan terikat pada *Insulin Receptor* yang ada pada membran sel dan merangsang pembentukan jalur masuk glukosa dari dalam sel yang difasilitasi oleh glukosa transporter, sehingga glukosa bisa diserap dan digunakan oleh sel (Qaid & Abdelrahman, 2016).

Kasus DM terjadi akibat adanya gangguan mekanisme kerja insulin. Pada DM tipe 1, sel- β mengalami kerusakan akibat autoimun dan stres oksidatif sehingga sekresi insulin menjadi terganggu. Sedangkan pada DM tipe 2, sel jaringan target dari hormon insulin tidak peka terhadap keberadaan hormon insulin di dalam darah atau terjadi

Insulin Resistant, sehingga sel jaringan tidak bisa menyediakan jalur masuk glukosa ke dalam sel dan glukosa dalam darah tidak bisa digunakan (Halban *et al.*, 2014).

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 (nephrosklerosis), 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 (WHO, 2016)

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 enzimatik saat fase transkripsi, meningkatnya pengikatan non-enzimatis glukosa terhadap protein serta gangguan ketersediaan mikronutrien (Liguori *et al.*, 2018).

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 faal 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 1.2. dan Tabel 1.3. 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 (Walleth *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 1.2
Indeks Glikemik Beberapa Pangan Sumber Karbohidrat

Jenis Pangan	Indeks Glikemik ¹	Ukuran Saji	Kadar KH g/Uk 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	-	-	-

Jenis Pangan	Indeks Glikemik ¹	Ukuran Saji	Kadar KH g/Uk saji	Beban glikemik
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)				
11. Roti terigu	42	50 g	33	14
12. Ubi kayu rebus (New Zealand)	56	30 g	20	11
13. Kentang panggang	29-45	150 g	36	13
14. Ubi jalar	73-97	150 g	30	26
15. <i>Barley</i>	54-68	150 g	28	17
16. <i>Millet</i> (dididihkan)	24-26	150 g	42	11
17. <i>Millet</i> (bubur tepung)	61-81	150 g	36	25
18. Beras Yasmin, dimasak dg <i>rice cooker</i> (Golden Food, Thailand)	107 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
Pasta				
25. Mi instan (masak 2 mnt)	6-48	180 g	40	19
26. Macaroni (dididihkan 5 mnt)	45	180 g	49	22
27. Spageti (putih-dididihkan 5 mnt)	32	180 g	48	15

Sumber: Foster-Powell (2002); Marsono (2002); Atkinson *et al* (2008)

¹ Pangsa acuan: Glukosa (IG = 100)

Tabel 1.3
Indeks Glikemik Buah-buahan, Kacang-kacangan, dan Beberapa Pangan Lain

Jenis Pangan	Indeks Glikemik ¹	Ukuran Saji	Kadar KH g/Uk saji	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
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

Jenis Pangan	Indeks Glikemik ¹	Ukuran Saji	Kadar KH g/Uk saji	Beban glikemik
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); Atkinson *et al* (2008)

¹ Pangan acuan: Glukosa (IG = 100)

2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Indeks Glikemik Pangan

IG pangan berkaitan dengan metabolisme komponen pangan di dalam tubuh, terutama saat proses pencernaan. Kandungan kimia dalam bahan pangan, proses pengolahan pangan, dan interaksi antar komponen pangan akan mempengaruhi IG nilai pangan.

a. Proses pengolahan

Proses Pengolahan mempengaruhi IG dalam bahan pangan. Proses penghilangan komponen non-karbohidrat akan meningkatkan nilai IG pangan, seperti penyosohan dan penghilangan kulit ari pada sumber karbohidrat biji dan sereal. Selain itu ukuran partikel dan proses gelatinisasi akan meningkatkan nilai IG, karena enzim pencernaan karbohidrat akan lebih mudah menghidrolisis bahan pangan. 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 (Fu *et al.*, 2013).

b. Kadar amilosa dan amilopektin

Kadar amilosa dan amilopektin dapat mempengaruhi nilai IG. Pati terdiri dari amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan polimer gula sederhana yang tidak bercabang. Amilopektin merupakan polimer gula sederhana yang mempunyai cabang dan memiliki ukuran molekul lebih besar dibandingkan dengan amilosa. Meskipun amilosa tidak bercabang dan memiliki ukuran molekul lebih kecil, dalam kenyataannya amilosa lebih sulit dicerna dibandingkan amilopektin. Hal tersebut dikarenakan strukturnya yang lurus bersifat sangat masif sehingga sulit dicerna oleh enzim amilase. Oleh karena itu beras yang pera (tinggi amilosa) lebih kecil nilai IG-nya dibandingkan beras pulen (tinggi amilopektin).

c. Kadar gula

Kadar dan komponen gula yang ada di dalam pangan juga dapat mempengaruhi nilai IG. Komponen gula non-glukosa ternyata juga ada yang tidak memiliki kemampuan menaikkan kadar glukosa secara cepat. Contohnya gula tebu (sukrosa) yang memiliki IG sedang (65) dan ternyata menaikkan kadar glukosa darah tidak lebih tinggi dibandingkan dengan karbohidrat kompleks lain, seperti roti. Contoh lain adalah

fruktosa. Fruktosa diserap dan diambil langsung ke hati. Di dalam hati fruktosa umumnya diubah secara perlahan menjadi glukosa. Oleh sebab itu, respon gula darah terhadap fruktosa murni sangat kecil, memiliki IG = 23 (Foster-Powell *et al.*, 2002)

d. *Kadar serat pangan*

Definisi terbaru diberikan oleh *Codex Alimentarius Commission* (CAC) pada tahun 2009 yang menyatakan bahwa serat pangan merupakan polimer karbohidrat (termasuk lignin dan senyawa lain sesuai AOAC 991.43) dengan monomer sejumlah 10 atau lebih (penentuan apakah mengenai karbohidrat yang memiliki DP 3-10 termasuk serat atau tidak ditentukan oleh negara), yang tidak terhidrolisis oleh enzim endogenus dalam usus halus manusia dan termasuk dalam kategori berikut, (1) polimer karbohidrat yang *edible* dan secara alami ada pada pangan, (2) polimer karbohidrat, yang didapatkan dari bahan pangan mentah secara fisik, enzimatis, dan kimiawi yang mampu menunjukkan manfaat fisiologis terhadap kesehatan yang telah dibuktikan dan diterima secara ilmiah, (3) polimer karbohidrat sintesis yang mampu menunjukkan manfaat fisiologis terhadap kesehatan yang telah dibuktikan dan diterima secara ilmiah.

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 rantai pendek (*short chain fatty acids*), serta gas-gas metan dan hidrogen (Menezes *et al.*, 2013). Jenis asam lemak rantai pendek yang dihasilkan adalah asam asetat, asam propional dan asam butirat. Ketiga asam lemak tersebut dapat diserap dan digunakan sebagai sumber energi, meskipun energi yang dihasilkannya sangat kecil sehingga sering diabaikan dan dianggap serat pangan tidak menghasilkan energi.

Efek fisiologis serat dalam suatu bahan pangan dapat mempengaruhi pengaturan energi, yaitu menurunkan kandungan energi per unit bobot pangan. Oleh karena itu, penambahan serat pangan pada diet efektif menurunkan kerapatan (densitas) energi, terutama serat yang bersifat 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 (Menezes *et al.*, 2013) sehingga meningkatkan rasa kenyang.

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. Namun, kecenderungan

tersebut tidak selalu sama, karena pengolahan dan varietas juga berpengaruh terhadap IG pangan. Hasil penelitian Astawan dan Widowati (2005) menunjukkan bahwa ubi jalar mempunyai IG yang berbeda, tergantung cara pengolahannya. IG ubi jalar yang direbus = 62, digoreng = 47 dan dipanggang = 80. Walaupun begitu, pengonsumsi pangan lemak tinggi juga harus memperhitungkan dampaknya kepada kenaikan berat badan supaya tidak terjadi obesitas yang juga akan meningkatkan risiko penyakit diabetes (WHO 2016).

f. Kadar antigizi pangan

Kadar antigizi dalam bahan pangan mampu menurunkan nilai IG pangan. Beberapa zat antigizi tersebut adalah antitripsin, antikomotripsin, saponin, hemagglutinin, fitat maupun polifenol. Fitat dikategorikan sebagai antigizi karena mempunyai bagian yang sifatnya sebagai pengkelat yang kuat yang mampu mengkelat mineral penting seperti Zn, Ca, Mg, dan Fe, menjadi bentuk yang tidak terlarut sehingga menurunkan bioavailabilitasnya di dalam saluran pencernaan. Pemanasan dapat menurunkan aktivitas antigizi. Namun, beberapa antigizi tetap aktif walaupun telah melalui proses pemasakan (Singhal *et al.*, 2013), misalnya fitat. Penurunan kadar fitat pada kedelai sangat ampuh dilakukan dengan cara memfermentasinya menjadi tempe. Selama proses pembuatan tempe, beberapa kapang pada ragi tempe dapat menghasilkan enzim fitase yang dapat menguraikan fitat sehingga kadarnya jauh menurun pada tempe.

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 penyebab penyakit degeneratif?
- 2) Apa yang dimaksud dengan penyakit diabetes melitus?
- 3) Terdapat beberapa jenis penyakit diabetes melitus. Jelaskan perbedaan dan ciri-ciri dari masing-masing jenis tersebut!
- 4) Apa kira-kira yang akan terjadi saat pengujian glukosa darah pada orang yang mengalami diabetes dan orang yang normal?
- 5) Apa yang dimaksud dengan gejala ketosis?
- 6) Jelaskan perbedaan antara *polyurea* dan *polydipsia* dan kaitan antara kedua hal tersebut!
- 7) Jelaskan persamaan dan perbedaan insulin dan glukagon!
- 8) Sebutkan senyawa apa saja yang mampu menstimulasi sekresi insulin!
- 9) Jelaskan apa saja dampak dari kondisi hiperglikemik yang kronis!
- 10) Jelaskan perbedaan konsep IG dan BG!

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 melitus (DM) dapat diklasifikasikan sebagai DM tipe 1, DM tipe 2, 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, defisiensi glukagon mengakibatkan hipoglikemik, sedangkan 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 peningkatan kadar glukosa darah. Pangan yang menaikkan glukosa darah dengan cepat, memiliki IG tinggi. Sebaliknya pangan yang menaikkan glukosa 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 per porsi 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!

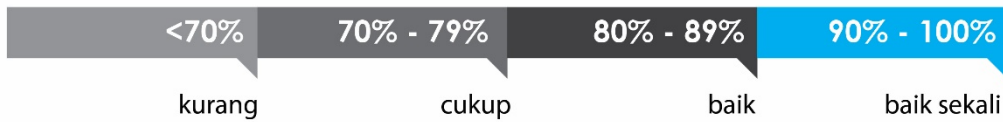
- 1) Jenis karbohidrat alami di bawah ini yang tingkat kemanisan relatifnya diatas 1 adalah
 - A. sukrosa dan fruktosa
 - B. fruktosa dan xilitol
 - C. siklalat dan fruktosa
 - D. sukrosa dan gula invert
- 2) Jenis karbohidrat berikut yang proses pencernaannya dimulai di mulut adalah
 - A. pati
 - B. selulosa
 - C. sukrosa
 - D. laktosa
- 3) Komponen gizi yang dapat meningkatkan IG adalah
 - A. lemak
 - B. karbohidrat (tidak termasuk pati resisten)
 - C. A dan B benar
 - D. A dan B salah
- 4) Secara normal, saat kadar glukosa darah meningkat, regulasi sekresi hormon yang akan terjadi adalah
 - A. glukagon meningkat dan insulin menurun
 - B. glukagon menurun dan insulin meningkat
 - C. glukagon dan insulin meningkat
 - D. glukagon dan insulin menurun
- 5) Kondisi hiperglikemik yang kronis akan menyebabkan berbagai kemungkinan komplikasi berikut, *kecuali*
 - A. pengerasan ginjal
 - B. kebutaan
 - C. pelunakan kapiler dan vena-vena kecil
 - D. pengapuran pembuluh darah yang berakibat terjadinya atherosklerosis

- 6) Berikut enzim-enzim antioksidan utama yang ada di dalam tubuh, *kecuali*...
- A. Superoxide dismutase (SOD).
 - B. Glucose oxidase
 - C. Glutathione peroxidase (GPX).
 - D. Catalase (Cat).
- 7) Faktor penyebab terjadinya atherosclerosis pada penderita DM adalah
- A. Disfungsi platelet.
 - B. Perlambatan proliferasi sel otot halus arteri
 - C. A dan B benar.
 - D. A dan B salah.
- 8) Proses pada pangan yang mampu meningkatkan nilai IG adalah....
- A. Penambahan komponen serat pangan
 - B. Proses pemasakan beras menjadi nasi.
 - C. Penambahan protein dan lemak
 - D. A dan B benar.
- 9) Berikut adalah zat antigizi yang ada pada kacang-kacangan, *kecuali*
- A. antitripsin.
 - B. saponin.
 - C. α -tokoferol.
 - D. Hemaglutinin.
- 10) Enzim yang diperlukan untuk menghidrolisis amilopektin adalah
- A. Enzim α -amilase.
 - B. Enzim β -amilase.
 - C. A dan B benar.
 - D. A dan B salah.

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



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.

Pengujian Potensi Hipoglikemik Bahan Pangan dan Penurunan Risiko Diabetes

Kegiatan Belajar

2

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

Pengujian aktivitas hipoglikemik suatu bahan pangan umumnya dapat dilakukan menggunakan hewan model (*in vivo*). 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 (*clinical study*). 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 dipuaskan 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.

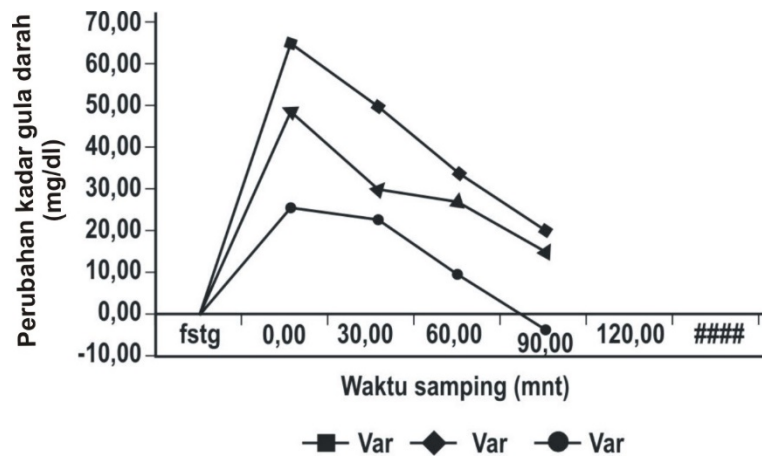
Tabel 1.4 menunjukkan contoh hasil pengujian kadar gula darah pada tikus percobaan yang diberi ekstrak pati dari 3 varietas bahan pangan uji. Selanjutnya dihitung perubahan kadar gula darah relatif terhadap kadar gula darah puasa, kemudian diplot pada kurva (Gambar 1.1).

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 1.3 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 1.4
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 1.3
Kurva Aktivitas Hipoglikemik Pangan

B. PENGUKURAN KADAR GLUKOSA DARAH

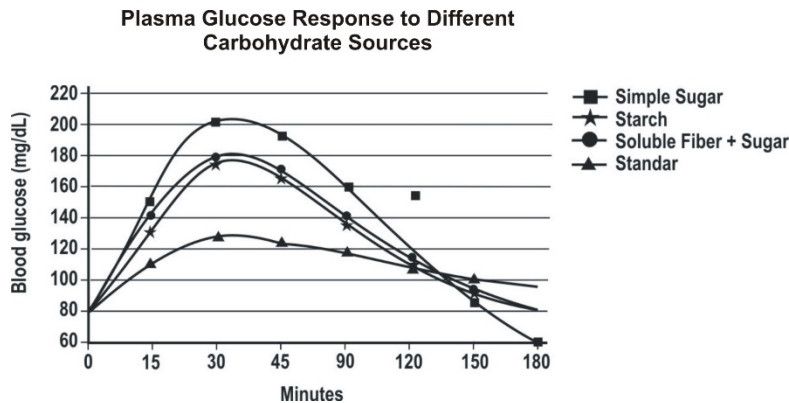
1. Kadar glukosa darah ditentukan menggunakan metode *glucose oxidase biosensor*, dengan alat glukometer.
2. Darah diambil dari ekor tikus, dengan cara ekor tikus uji dibersihkan lalu ditekan-tekan/diurut, kemudian ditusuk dengan jarum (*lancet*). Darah yang keluar ditempelkan pada strip glukometer. 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 pukul 20.00 sampai pukul 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).

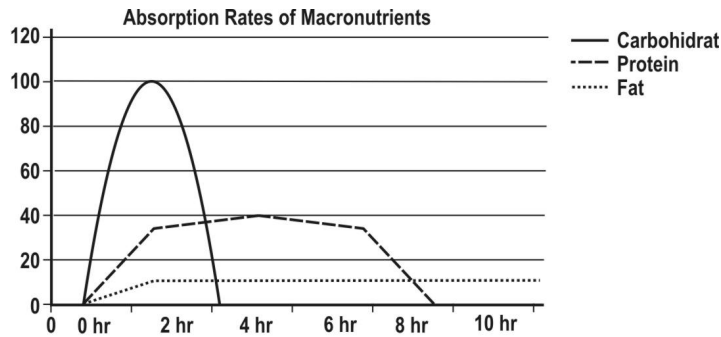
4. Selang 3 hari, hal yang sama dilakukan dengan memberikan 50 g glukosa murni (sebagai pangan acuan) kepada relawan. Hal ini dilakukan sebanyak dua kali (dilakukan pada lain hari, minimal tiga hari setelah perlakuan pertama) untuk mengurangi efek keragaman gula darah dari hari ke hari.
5. Kadar gula 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 1.4. 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 1.4 menunjukkan bahwa respon glikemik tertinggi adalah gula sederhana, selanjutnya pati dan yang paling rendah adalah campuran gula dengan serat pangan terlarut.



Gambar 1.4
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 1.5. Komponen gizi yang paling cepat diserap adalah karbohidrat, kemudian protein, dan yang paling lama diserap adalah lemak.



Gambar 1.5
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 1.5. IG pangan campuran menunjukkan bobot karbohidrat dari masing-masing komponennya. Secara umum, IG pangan campuran berada di antara IG pangan tertinggi dan IG pangan terendah dari komponen campuran pangan tersebut.

Tabel 1.5
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 1.6, sedangkan klasifikasi pangan menurut IG dan BG-nya disajikan pada Tabel 1.7. 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 1.6 menunjukkan bahwa konsumsi wortel dengan takaran saji normal (150 g) maka BG-nya termasuk dalam kategori rendah (sesuai Tabel 7). 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 1.6
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
Strawbery (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 1.7
Kategori Pangan Menurut Indeks Glikemik dan Beban Glikemiknya

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

F. UJI PENGHAMBATAN ENZIM α -AMILASE

Aktivitas hipoglikemik bahan pangan juga dapat dilihat dari kemampuan bahan pangan tersebut menghambat kerja enzim pencernaan karbohidrat, salah satunya enzim α -amilase. Enzim α -amilase merupakan enzim pencernaan karbohidrat yang dikeluarkan oleh pankreas dan saliva yang akan memutuskan ikatan glikosidik α -1,4 dari pati. Beberapa bahan pangan memiliki kemampuan untuk menghambat enzim ini sehingga karbohidrat tidak mudah dicerna dan diserap ke dalam tubuh. Hal ini menyebabkan respon kenaikan kadar glukosa darah akan terkontrol dengan baik.

Prinsip analisis aktivitas penghambatan enzim α -amilase adalah dengan mereaksikan sampel, enzim, dan substrat enzim kemudian diamati aktivitas enzimnya dengan melihat seberapa banyak jumlah substrat yang terpecah atau produk yang terbentuk.

Metode untuk menguji aktivitas penghambatan enzim α -amilase sesuai dengan yang dilakukan Poovitha dan Parani (2015).

1. Siapkan sampel dan kontrol (berupa penghambat enzim *acarbose*) masing-masing sebesar 100 μ L dengan konsentrasi 2-20 mg/mL.
2. Campurkan dengan 100 μ L enzim α -amilase (1 U/mL) dan 200 μ L buffer Na-fosfat pH 6,9 hingga konsentrasi larutan berada pada rentang 0,5 - 5,0 mg/mL.
3. Sampel dan kontrol di pre-inkubasi pada suhu 25°C selama 10 menit
4. Tambahkan substrat berupa 200 μ L pati 1% yang dilarutkan dalam 20 mL buffer Na-fosfat pH 6,9
5. Inkubasikan pada suhu 25°C selama 10 menit
6. Tambahkan 1 mL *dinitrosalicylic acid* (DNS) untuk menghentikan reaksi
7. Didihkan larutan selama 5 menit, lalu dinginkan hingga suhu ruang
8. Ukur absorbansi sampel dan kontrol pada panjang gelombang 540 nm

Persentase penghambatan enzim α -amilase dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini dan nilai IC_{50} dari bahan pangan tersebut bisa didapatkan dengan mencari pada konsentrasi berapa aktivitas enzim α -amilase dapat dihambat sebesar 50%.

$$\% \text{ Penghambatan enzim } \alpha\text{-amilase} = (\text{Abs kontrol} - \text{Abs perlakuan}) / (\text{Abs kontrol}) \times 100$$

G. UJI PENGHAMBATAN ENZIM α -GLUKOSIDASE

Potensi sifat hipoglikemik bahan pangan juga dapat dilihat dari aktivitas penghambatan enzim α -glukosidase. Enzim α -glukosidase merupakan enzim yang berada pada lapisan terluar usus halus yang berfungsi memecah karbohidrat rantai sedang menjadi karbohidrat rantai pendek dan gula. Apabila enzim ini dihambat oleh suatu inhibitor yang ada pada bahan pangan, substrat karbohidrat rantai sedang tidak akan tercerna dan terserap dengan baik, yang kemudian berakibat pada lambatnya laju kenaikan kadar glukosa darah dalam tubuh.

Analisis aktivitas penghambatan enzim α -glukosidase dapat dilakukan sesuai metode berikut (Poovitha dan Parani, 2015).

1. Siapkan sampel dan *acarbose* (sebagai control) dengan masing-masing volumenya 100 μ L dengan konsentrasi 2-20 mg/mL.
2. Tambahkan 50 μ L enzim α -glukosidase (1 U/mL) dalam larutan buffer fosfat (0,1 M pH 6,9) dan tepatkan konsentrasinya hingga 0,5 – 5,0 mg/mL dengan buffer fosfat.
3. Lakukan tahap pre-inkubasi pada suhu 37°C selama 20 menit.
4. Tambahkan 10 μ L substrat p-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside (pNPG) konsentrasi 10 mM yang dilarutkan dalam 0,1 M buffer fosfat (pH 6,9)
5. Inkubasi pada suhu 37 °C selama 30 menit.
6. Hentikan reaksi dengan penambahan 650 μ L natrium karbonat 1 M.
7. Ukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 405 nm.

Aktivitas penghambatan enzim α -glukosidase dapat diukur dengan persamaan di bawah ini. Nilai IC_{50} sampel terhadap enzim ini juga bisa dicari dengan metode yang sama pada aktivitas penghambatan enzim α -amilase

$$\% \text{ Penghambatan enzim } \alpha\text{-glukosidase} = (\text{Abs control} - \text{Abs perlakuan}) / (\text{Abs kontrol}) \times 100$$

H. UJI PENGHAMBATAN ENZIM β -GALAKTOSIDASE

Enzim β -galaktosidase merupakan enzim pencernaan karbohidrat yang memecah galaktosida menjadi monosakarida, contohnya laktosa menjadi galaktosa dan glukosa. Enzim ini disekresi oleh pankreas dan bekerja pada saluran usus halus. Beberapa bahan pangan ternyata mampu menghambat enzim ini sehingga galaktosida tidak bisa dipecah menjadi monomernya yang kemudian mampu menurunkan laju penyerapannya dan menghambat respon kenaikan kadar glukosa darah.

Metode analisis aktivitas penghambatan enzim β -galaktosidase dapat dilakukan menurut Omari *et al.* (2019).

1. Campur sampel sebanyak 150 μ L dengan beberapa seri konsentrasi (0.5 – 5 mg/mL) dengan campuran 100 μ L buffer Na-fosfat 0,1 M (pH=7,6) dan enzim β -galactosidase (0.1 U/mL)
2. Lakukan tahap pre-inkubasi pada suhu 37°C selama 10 menit.
3. Tambahkan 200 μ L *gala solution* dengan konsentrasi 1 mM dalam buffer Na-fosfat 0,1 M (pH=7,6) ke dalam larutan sampel.
4. Lakukan tahap inkubasi pada suhu 37°C selama 30 menit
5. Tambahkan sebanyak 1 mL Na_2CO_3 dengan konsentrasi 0,1 M untuk menghentikan reaksi hidrolisis
6. Ukur absorbansi sampel pada panjang gelombang 405 nm menggunakan instrumen spektrofotometer
7. Lakukan tahapan yang sama pada kontrol positif berupa Quercetin

Aktivitas penghambatan enzim β -galactosidase diinterpretasikan dengan persentase penghambatan dengan rumus dibawah ini dan nilai IC_{50} dari bahan pangan tersebut bisa didapatkan dengan cara yang sama seperti pada aktivitas penghambatan enzim

$$\% \text{ Penghambatan enzim } \beta\text{-galaktosidase} = (\text{Abs control} - \text{Abs perlakuan}) / (\text{Abs kontrol}) \times 100$$



Latihan

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

- 1) Mengapa hewan coba dipuasakan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian aktivitas hipoglikemik?
- 2) Apa pengaruh adanya serat dalam bahan pangan terhadap IG pangan tersebut? Jelaskan!
- 3) Pada jenis pangan yang sama, pangan yang mengandung lemak lebih banyak (pangan A) cenderung memiliki indeks glikemik lebih rendah daripada pangan yang mengandung lemak lebih sedikit (B). Apakah pangan A lebih direkomendasikan untuk pencegahan penyakit diabetes daripada pangan B? Jelaskan!
- 4) Suatu bahan pangan memiliki IG 55. Bahan pangan tersebut biasa dikonsumsi sebanyak 80 gram per porsi saji. Apabila terdapat 15 gram karbohidrat dalam 100 gram bahan pangan tersebut, berapakah beban glikemik pangan tersebut?

- 5) Jelaskan perbedaan serat pangan larut dan serat pangan tak larut serta manfaat kedua jenis serat tersebut terhadap kesehatan!
- 6) Bahan pangan B memiliki beban glikemik 28 dimana pangan B sering disajikan sebanyak 80 gram dengan 50 gram karbohidrat di dalamnya. Berapakah IG pangan B?
- 7) Apakah IG pangan yang rendah akan memiliki beban glikemik yang rendah juga? Jelaskan alasannya!
- 8) Apakah pangan dengan IG yang rendah baik untuk semua orang? Apakah ada golongan orang yang membutuhkan pangan dengan IG tinggi? Jelaskan!
- 9) Apabila seseorang mengonsumsi ubi jalar rebus (IG 58, karbohidrat 28 gram/ukuran saji), pisang (IG 70, karbohidrat 23 g/ukuran saji), dan teh manis (IG 20, karbohidrat 10 gram/ukuran saji), berapakah IG campuran pangan tersebut?

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 glukosa 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 (*dietary fiber*). Serat pangan umumnya akan menurunkan respon glikemik
5. Laju penyerapan antar zat gizi makro di dalam tubuh berlangsung dengan kecepatan yang berbeda-beda. Karbohidrat mempunyai laju penyerapan yang paling cepat dibandingkan dengan protein dan lemak
6. Konsep lama dalam pengendalian kadar glukosa darah hanya didasarkan pada jumlah asupan karbohidrat. Kenyataannya, sumber karbohidrat yang berbeda akan memberikan respon glikemik yang berbeda pula. Karbohidrat sederhana

akan memberikan respon slikemik 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 penderita 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 sajinnya.
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.
11. Prinsip analisis aktivitas penghambatan enzim α -amilase, α -glukosidase, dan β -galaktosidase adalah dengan mereaksikan sampel dan enzim. Selanjutnya pada kompleks substrat enzim diamati aktivitas enzimnya dengan melihat seberapa banyak jumlah substrat yang terpecah atau produk yang terbentuk.



Tes Formatif 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

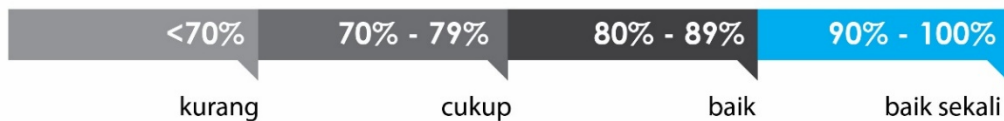
- 1) Menurut nilai IG, pengkategorian pangan yang tepat adalah
 - A. $IG \geq 70$, pangan IG tinggi
 - B. $IG 11-70$, pangan IG sedang
 - C. $IG \leq 70$, pangan IG rendah
 - D. jawaban A dan C benar
- 2) Menurut nilai BG, pengkategorian pangan yang tepat adalah
 - A. $BG \geq 20$, pangan BG tinggi
 - B. $BG \leq 10$, pangan BG rendah
 - C. $BG 11-19$, pangan BG sedang
 - D. jawaban A, B dan C benar

- 3) Berikut adalah beberapa hal yang benar mengenai enzim α -amilase, *kecuali*
- A. merupakan enzim yang menghidrolisis ikatan glikosidik α -1,4 dari pati
 - B. disekresikan di dalam lambung
 - C. aktivitasnya dapat dihambat oleh *acarbose*
 - D. reaksi hidrolisisnya dapat dihentikan oleh senyawa DNS dan suhu tinggi
- 4) Berikut adalah beberapa hal yang benar mengenai enzim α -glukosidase, yaitu
- A. memiliki fungsi yang sama dengan enzim α -amilase.
 - B. disekresikan di dalam lambung.
 - C. enzim ini berfungsi untuk mencerna lemak
 - D. semua jawaban benar
- 5) Berikut adalah beberapa hal yang benar mengenai enzim β -galaktosidase, yaitu
- A. reaksi hidrolisis laktosa oleh laktase menghasilkan glukosa dan galaktosa
 - B. reaksi hidrolisis berlangsung di usus halus
 - C. perlu penambahan natrium karbonat untuk menghentikan reaksi hidrolisis pada pengujian aktivitas penghambatannya
 - D. semua jawaban benar
- 6) Berikut adalah beberapa hal yang benar mengenai enzim α -amilase, α -glukosidase, dan β -galaktosidase adalah
- A. merupakan enzim pencernaan karbohidrat
 - B. bekerja optimal di usus halus
 - C. bekerja pada pH A dan B benar
 - D. A dan B salah
- 7) Berikut adalah beberapa hal yang benar mengenai pengukuran aktivitas penghambatan enzim pencernaan karbohidrat, yaitu
- A. semua enzim pencernaan karbohidrat dapat disekresikan melalui saliva
 - B. dapat dihitung nilai IC_{50} untuk mengetahui konsentrasi senyawa yang dibutuhkan untuk menghambat aktivitas enzim sebesar 50%
 - C. A dan B benar
 - D. A dan B salah
- 8) Pemodelan hewan yang mengidap penyakit diabetes dilakukan dengan cara
- A. menyuntikkan senyawa alloxan
 - B. menyuntikkan senyawa insulin
 - C. menyuntikkan senyawa streptozotocin (STZ)
 - D. jawaban A dan C benar

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



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) D
- 2) D
- 3) B
- 4) A
- 5) D
- 6) C
- 7) B
- 8) D

Daftar Pustaka

- Astawan, M., & Widowati, S. (2005). *Evaluasi mutu gizi dan indeks glikemik ubijalar sebagai dasar pengembangan pangan fungsional*. Lap. Akhir RUSNAS Diversifikasi Pangan Pokok 2005. Bogor: IPB.
- Abunasef, K.S., Amin, H.A., & Hamid, G.A.A. (2014). A histological and immunohistochemical study of beta cells in streptozotocin diabetic rats treated with caffeine. *Folia Histochem Cytobiol.* 52(10): 42-50.
- Atkinson, M.A., Eisenbarth, G.S., & Michels, A.W. (2014). Type 1 diabetes. *Lancet.* 383 (9911): 69-82.
- Atkinson, F.S., Powell, K.F, & Miller, J.C.B. (2008). International table of glycemic index and glycemic load value: 2008. *Diabetes Care.* 31(12): 2281-2283.
- [ADA]. (2015). 2. Classification and diagnosis of diabetes. *American Diabetes Association.* 38(1): S8-S16.
- Asif, H.M., Akram, M., Saeed, T., Khan, M.I., Akhtar, N., Rehman, R.U., Shah, S.M., Ahmed, K., & Shaheen, G. (2011). Carbohydrates. *International Research Journal of Biochemistry and Bioinformatics.* 1(1): 001-005.
- Bessesen, D.H. (2001). The role of carbohydrate in insulin resistance. *J. Nutr* 131:2782-2786.
- Butler, A.E., Janson, J., Weir, S.B., Ritzel, R., Rizza, R.A., & Butler, P.C. (2001). β -cell deficit and increased β -cell apoptosis in humans with type 2 diabetes. *Diabetes* 32: 102-110.
- Champe, P.C., & Harvey, R.A. (1994). *Lippincott's illustrated reviews: Biochemistry*. Ed ke-2. Philadelphia: J.B. Lippincott Co.
- Du, S., Yang, X., Shi, D., Su, Q. (2016). Characteristic of type 2 diabetes with ketosis in Baoshan. *J Diabetes Res.* 7854294. 1-5. Yunnan of China.
- Ferrari, C.K.B., & Torres, E.A.E.S. (2003). Biochemical pharmacology of functional foods and prevention of chronic diseases of aging. *Biomed Pharm* 57: 251-260.
- Fu, Z., Gilbert, E.R., Liu, D. (2013). Regulation of insulin synthesis and secretion and pancreatic beta-cell dysfunction in diabetes. *Curr Diabetes Rev.* 9(1): 25-53.
- Powell, K.F.F, Holt, S.H.A., & Miller, J.C.B. (2002). International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am J Clin Nutr* 76: 5-56.

- Halban, P.A., Polonsky, K.S., Bowden, D.W., Hawkins, M.A., Ling, C., Mather, K.J., Powers, A.C., Rhodes, C.J., Sussel, L., & Weir, G.C. (2014). Beta cell failure in type 2 diabetes: postulated for prevention and treatment. *Diabetes Care*. 4 (37): 1751-1758.
- Jones, J.M. (2014). CODEX-aligned dietary fiber definitions help to bridge the 'fiber gap'. *Nutrition Journal*. 13(34): 1-10.
- Kusnandar, F. (2010). *Kimia pangan komponen makro*. Jakarta: Dian Rakyat.
- Lehninger, A.L. (1982). *Principles of biochemistry (Dasar-dasar biokimia jilid 1, diterjemahkan oleh M. Thenawidjaya)*. Jakarta: Erlangga.
- Liguori, I., Russo, G., Curcio, F., Bulli, G., Aran, L., Morte, D.D., Gargiulo, G., Testa, G., Cacciatore, F., Bonaduce, D., & Abete, P. (2018). Oxidative stress, aging, and diseases. *Clin Interv Aging*. 13: 757-772.
- Marsono, Y. (2002). Indeks glikemik umbi-umbian. *Agritech* 22(1): 13-16.
- Miller, J.B., Powel, K.F., & Colagiuri, S. (1996). *The GI factor: The GI solution*. Hodder and Stoughton. Hodder Headline `Australia Pty Limited.
- NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). (2016). Worldwide trends in diabetes since 1980: a pooled analysis of 751 population-based studies with 4.4 million participants. *The Lancet*, 387(10027), 1513-1530.
- Olokoba, A.B., Obateru, O.A., & Olokoba, L.B. (2012). Type 2 diabetes mellitus: a review of current trends. *Oman Med J*. 27(4): 269-273.
- Omari, N.E., Sayah, K., Fettach, S., Blidi, O.E., Bouyahya, A., Faozi, M.E.A., Kamal, R., & Barkiyu, M. (2019). Evaluation of in vitro antioxidant and antidiabetic activities of *Aristolochia longa* extracts. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2019. 1-9
- Poovitha, S., & Parani, M. (2016). In vitro dan in vivo α -amylase dan α -glucosidase inhibiting activities of protein extracts from two varieties of bitter gourd (*Momordica charantia* L.). *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 16(1): 185-200.
- Qaid, M.M., Abdelrahman, M.M. (2016). Role of insulin and other related hormones in energy metabolism. *Coagent Food and Agriculture*. 2: 1-18.
- Rimbawan, S.A. (2004). *Indeks glikemik pangan*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Singhal, P., Kaushik, G., & Manthur, P. (2013). Antidiabetic potential of commonly consumed legumes: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 54 (5): 655-672.

[WHO]. (2016). *Global report on diabetes*. Paris (FR): World Health Organization.

Wresdiyati, T., Astawan, M., Kesenja, R., Lestari, P.A. (2008). Pengaruh pemberian tepung buah pare (*Mamordica charantia* L.) pada sel bera dan SOD pankreas tikus diabetes mellitus. *Hayati J Biosci.* 10(2): 61-65.

Wu, Y., Ding, Y., Tanaka, Y., Zhang, W. (2014). Risk factors contributing to type 2 diabetes and recent advances in the treatment and prevention. *Int.J. Med. Sci.* 11(11): 1185-1200.