

NILAI INDEKS GLIKEMIK PRODUK PANGAN DAN FAKTOR-FAKTOR YANG MEMENGARUHINYA

Glycemic Index of Foods and Its Affecting Factors

Abdullah Bin Arif, Agus Budiyanto, dan Hoerudin

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian
Jalan Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114

Telp. (0251) 8321762, 8350920, Faks. (0251) 8321762

E-mail: bb-pascapanen@litbang.deptan.go.id, ab_arif.pascapanen@yahoo.co.id

Diajukan: 22 Februari 2013; Disetujui: 22 Juli 2013

ABSTRAK

Perubahan gaya hidup dan pola konsumsi pangan masyarakat telah berdampak terhadap peningkatan penyakit degeneratif, seperti diabetes melitus (DM) dan hipertensi. DM ditandai dengan kadar glukosa darah melebihi nilai normal dan gangguan metabolisme insulin. Indeks glikemik (IG) merupakan suatu ukuran untuk mengklasifikasikan pangan berdasarkan pengaruh fisiologisnya terhadap kadar glukosa darah. Nilai IG produk pangan dipengaruhi oleh sejumlah faktor, antara lain kadar serat pangan, kadar amilosa dan amilopektin, kadar lemak dan protein, daya cerna pati, dan cara pengolahan. Semakin tinggi nilai/kadar serat pangan total, rasio amilosa/amilopektin, serta lemak dan protein, maka nilai IG semakin rendah. Sementara itu, daya cerna pati yang tinggi menyebabkan nilai IG yang tinggi. Cara pengolahan produk pangan dapat menurunkan atau menaikkan nilai IG produk pangan tersebut. Pemahaman terhadap nilai IG bahan pangan sangat penting karena dapat menjadi landasan ilmiah dalam memilih jenis, bentuk asupan, dan jumlah karbohidrat yang dikonsumsi sesuai respons glikemik seseorang.

Kata kunci: Indeks glikemik, pangan, karbohidrat, glukosa darah, diabetes melitus

ABSTRACT

The changes in people's lifestyles and food consumption patterns have increased degenerative diseases, such as diabetes melitus (DM) and hypertension. DM is characterized by blood glucose higher than the normal level and insulin metabolism disorder. Glycemic index (GI) is a measure of classifying foods based on their immediate physiological effect on blood glucose concentration. GI values of foods are influenced by a number of factors, such as levels of dietary fiber, levels of amylose and amylopectin, levels of fat and protein, starch digestibility, and processing. The higher the levels of total dietary fiber, amylose to amylopectin ratio, fat and protein, the lower are the GI values. Meanwhile, high digestibility of starch leads to high GI values. Processing methods could decrease or increase GI values of food products. Understanding of GI values of foods is very important because they can be used as the scientific basis for selecting the type, form and amount of carbohydrates consumed according to someone's glycemic response.

Keywords: Glycemic index, foods, carbohydrate, blood glucose, diabetes melitus

PENDAHULUAN

Seiring dengan perubahan gaya hidup dan pola konsumsi pangan masyarakat serta paradigma sehat, yaitu dari pengobatan ke pencegahan, maka pengetahuan tentang pangan dan gizi sangat diperlukan. Perubahan gaya hidup dan pola konsumsi pangan masyarakat telah berdampak terhadap peningkatan penyakit degeneratif, seperti diabetes melitus (DM) dan hipertensi.

Diabetes melitus merupakan penyebab kematian nomor enam pada semua kelompok umur. Jumlah penderita DM meningkat dengan cepat di seluruh dunia dan penyakit ini sudah menjadi penyakit epidemi global (Sinaga dan Wirawanni 2012). Wild *et al.* (2004) memperkirakan pada tahun 2030 jumlah penderita DM di Indonesia mencapai 21,3 juta jiwa. Sementara Soewondo dan Laurentinus (2011) melaporkan prevalensi pra-diabetes di Indonesia sebesar 10%. Penderita diabetes yang berumur 20–79 tahun di dunia mencapai 382 juta orang (IDF 2013). Indonesia dengan prevalensi diabetes 154.062 penderita berada di urutan keempat setelah China (1.023.504 penderita), India (760.429 penderita), dan Amerika Serikat (223.937 penderita) (IDF 2013).

Diabetes melitus merupakan sekumpulan gejala yang timbul pada seseorang, ditandai dengan kadar glukosa darah yang melebihi nilai normal dan gangguan metabolisme insulin. Kadar glukosa darah meningkat sebagai akibat berkurangnya insulin. Perubahan ini akan diperburuk dengan meningkatnya sekresi glukagon oleh pankreas ke dalam tubuh (Brody 1999). Menurut Waspadji (2007), seseorang didiagnosis menderita DM jika dari hasil pemeriksaan kadar glukosa darah sewaktu ≥ 200 mg/dL, sedangkan kadar glukosa darah ketika puasa ≥ 126 mg/dL.

Penderita DM tidak mampu mensekresi insulin secara efektif. DM jangka panjang dapat menimbulkan rangkaian gangguan metabolis yang menyebabkan kelainan patologis makrovaskuler dan mikrovaskuler (Whitney *et al.* 2002). Pada tahun 1997, *Expert Committee on the Diagnosis dan Classification of Diabetes Melitus* (ECDCDM) menyepakati klasifikasi diabetes melitus

menjadi DM tipe 1 dan tipe 2 (Foster *et al.* 2002; Rimbawan dan Siagian 2004). DM tipe 1 adalah penderita penyakit DM yang sangat bergantung pada suntikan insulin. Kebanyakan penderitanya masih muda dan tidak gemuk. Gejala biasanya timbul pada masa kanak-kanak dan puncaknya pada masa akil balig (Dalimartha 2004). Penderita DM tipe 1 mempunyai ciri-ciri *polyuria* (sering kencing), *polydipsia* (rasa haus yang terus-menerus), dan *polyphagia* (perasaan lapar yang berlebih). DM tipe 2 adalah jenis penyakit diabet yang paling lazim dan berkaitan dengan riwayat diabetes keluarga, usia lanjut, obesitas, perubahan pola makan, dan aktivitas fisik yang kurang. Penderita DM tipe 2 dicirikan oleh resistensi insulin pada jaringan perifer dan gangguan sekresi insulin dari sel- β pankreas (Willet *et al.* 2002).

Pencegahan penyakit DM dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu secara primer, sekunder, dan tersier. Pencegahan secara primer bertujuan untuk mencegah terjadinya diabetes. Pencegahan primer dapat dilakukan dengan mengatur pola makan yang seimbang, olahraga teratur, mempertahankan berat badan dalam batas normal, tidur yang cukup, menghindari stres, dan menghindari obat-obatan yang menimbulkan diabetes. Pencegahan sekunder bertujuan agar DM yang ada tidak menimbulkan komplikasi penyakit lain, menghilangkan gejala dan keluhan penyakit. Pencegahan DM sekunder dilakukan dengan diet seimbang dan sehat, menjaga berat badan tetap normal, memantau gula darah, dan berolahraga secara teratur. Pencegahan penyakit diabetes tersier bertujuan untuk mencegah terjadinya cacat seperti buta, gagal ginjal, dan *stroke*.

Pengaruh konsumsi pangan terhadap kadar glukosa darah selama periode tertentu disebut respons glikemik. Pemahaman yang baik terhadap respons glikemik sangat diperlukan, baik bagi orang sehat untuk menghindari DM, maupun penderita DM. Hal tersebut diperlukan untuk memilih jenis, bentuk asupan, dan jumlah karbohidrat/bahan pangan yang dikonsumsi (Sheard *et al.* 2004).

Jenkins *et al.* (1981) pertama kali memperkenalkan konsep indeks glikemik (IG) dengan mengelompokkan bahan pangan berdasarkan efek fisiologisnya terhadap kadar glukosa darah setelah pangan dikonsumsi. Bahan pangan dicerna dengan kecepatan berbeda-beda, sehingga respons kadar glukosa darah juga berbeda. IG dapat memberikan petunjuk kepada efek faali makanan terhadap kadar glukosa darah dan respons insulin serta cara yang mudah dan efektif untuk mengendalikan fluktuasi glukosa darah. Secara umum, pangan yang menaikkan kadar glukosa darah dengan cepat memiliki IG tinggi, sedangkan pangan yang menaikkan kadar gula darah dengan lambat memiliki IG rendah (Ragnhild *et al.* 2004; Rimbawan dan Siagian 2004; Atkinson *et al.* 2008). Menurut Miller *et al.* (1992) dan Pruett (2010), nilai IG dapat dikelompokkan menjadi tiga kelas, yaitu IG rendah (<55), sedang (55–70), dan tinggi (>70).

Makalah ini membahas nilai IG produk pangan dan faktor-faktor yang memengaruhinya berdasarkan hasil-

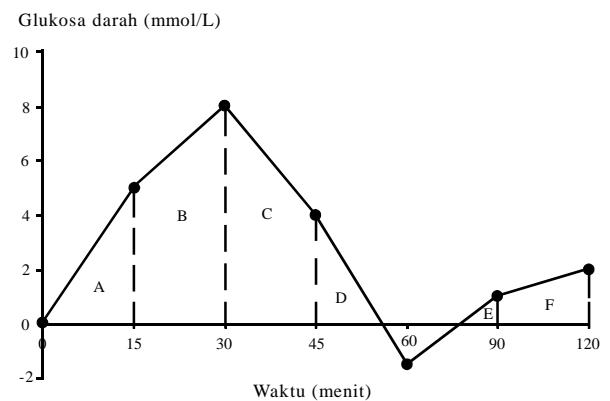
hasil penelitian yang sudah dipublikasi secara nasional maupun internasional. Informasi tersebut diharapkan dapat menjadi landasan bagi penderita DM maupun orang sehat dalam memilih makanan. Nilai IG setiap produk pangan dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain kadar serat pangan, kadar amilosa dan amilopektin, daya cerna pati, dan cara pengolahan. Faktor-faktor tersebut dapat dijadikan acuan oleh penderita DM maupun orang sehat untuk memprediksi nilai IG produk pangan.

RESPONS GLIKEMIK DAN NILAI INDEKS GLIKEMIK

Respons glikemik merupakan kondisi fisiologis kadar glukosa darah selama periode tertentu setelah seseorang mengonsumsi pangan. Menurut Frei *et al.* (2003), karbohidrat yang berasal dari tanaman yang berbeda mempunyai respons glikemik yang berbeda pula. Perbedaan respons glikemik juga mungkin terjadi pada karbohidrat yang berasal dari tanaman yang sama namun berbeda varietas.

Seperti dijelaskan sebelumnya, pangan yang menaikkan kadar glukosa darah dengan cepat memiliki IG tinggi, sebaliknya pangan yang menaikkan kadar glukosa darah dengan lambat memiliki IG rendah (Ragnhild *et al.* 2004; Rimbawan dan Siagian 2004; Atkinson *et al.* 2008). Nilai IG dihitung berdasarkan perbandingan antara luas kurva kenaikan glukosa darah setelah mengonsumsi pangan yang diuji dengan kenaikan glukosa darah setelah mengonsumsi pangan rujukan terstandar, seperti glukosa (Marsono *et al.* 2002) atau roti tawar (Brouns *et al.* 2005). Respons glikemik ditunjukkan oleh kurva fluktuasi dari penyerapan glukosa dalam darah. Kurva fluktuasi dan area di bawah kurva tersebut dijadikan acuan dalam perhitungan nilai IG suatu produk pangan (Gambar 1).

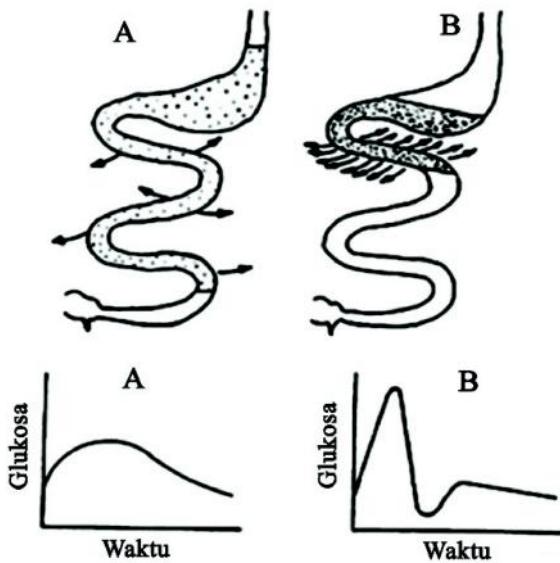
Menurut Hoerudin (2012), pangan ber-IG rendah dan tinggi dapat dibedakan berdasarkan kecepatan pencernaan dan penyerapan glukosa serta fluktuasi



Gambar 1. Kurva fluktuasi glukosa darah. Area di bawah kurva respons glukosa darah merupakan jumlah A, B, C, D, E, F. Area di bawah garis dasar tidak diperhitungkan (FAO/WHO 1998, Arvidsson-Lenner *et al.* 2004, Brouns *et al.* 2005, Hoerudin 2012).

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMENGARUHI INDEKS GLIKEMIK

Faktor-faktor yang memengaruhi IG pada pangan antara lain adalah kadar serat, perbandingan amilosa dan amilopektin (Rimbawan dan Siagian 2004), daya cerna pati, kadar lemak dan protein, dan cara pengolahan (Ragnhild *et al.* 2004). Masing-masing komponen bahan pangan memberikan kontribusi dan saling berpengaruh hingga menghasilkan respons glikemik tertentu (Widowati 2007).



Gambar 2. Skema penyerapan glukosa dari pangan yang memiliki indeks glikemik (IG) rendah (A) atau tinggi (B) pada saluran pencernaan (atas) beserta kurva respons glukosa dalam darah (bawah) (Jenkins *et al.* 2002, Hoerudin 2012).

kadarnya dalam darah. Pangan ber-IG rendah mengalami proses pencernaan lambat, sehingga laju pengosongan perut pun berlangsung lambat. Hal ini menyebabkan suspensi pangan (*chyme*) lebih lambat mencapai usus kecil, sehingga penyerapan glukosa pada usus kecil menjadi lambat. Akhirnya, fluktuasi kadar glukosa darah pun relatif kecil yang ditunjukkan dengan kurva respons glikemik yang landai (Gambar 2A). Sebaliknya, pangan ber-IG tinggi mencirikan laju pengosongan perut, pencernaan karbohidrat, dan penyerapan glukosa yang berlangsung cepat, sehingga fluktuasi kadar glukosa darah juga relatif tinggi. Hal tersebut karena penyerapan glukosa sebagian besar hanya terjadi pada usus kecil bagian atas (Gambar 2B).

Kadar Serat Pangan

Serat pangan merupakan komponen utama penyusun dinding sel tanaman seperti pada buah-buahan, sayuran, sereal, dan aneka umbi. Komponen serat pangan meliputi polisakarida yang tidak dapat dicerna, seperti selulosa, hemiselulosa, oligosakarida, pektin, gum, dan *waxes* (Englyst dan Cummings 1985; Sardesai 2003; Astawan dan Wresdiyati 2004; Marsono 2004). Hasil-hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa terdapat hubungan negatif antara kadar serat pangan dengan nilai IG pangan tersebut. Secara umum, buah-buahan yang mengandung kadar serat pangan tinggi memiliki nilai IG yang rendah, misalnya kadar serat pangan jambu biji 5,6 g/100 g dengan nilai IG 19 (Tabel 1).

Keberadaan serat pangan dapat memengaruhi kadar glukosa darah (Fernandes *et al.* 2005). Secara umum, kandungan serat pangan yang tinggi berkontribusi pada nilai IG yang rendah (Trinidad *et al.* 2010). Dalam bentuk utuh, serat dapat bertindak sebagai penghambat fisik pada pencernaan. Serat dapat memperlambat laju makanan pada saluran pencernaan dan menghambat aktivitas enzim sehingga proses pencernaan khususnya pati menjadi lambat dan respons glukosa darah pun akan lebih rendah. Dengan demikian IG-nya cenderung lebih rendah.

Hasil penelitian Indrasari *et al.* (2008) menunjukkan beras yang mengandung serat pangan tinggi menurunkan

Tabel 1. Kadar serat pangan dan nilai indeks glikemik (IG) buah-buahan.

Buah-buahan	Jumlah serat (g/100 g)	Nilai IG	Referensi
Jambu biji	5,6	19	Nainggolan dan Adimunca (2005); Atkinson <i>et al.</i> (2008)**
Stroberi	6,5	40	Nainggolan dan Adimunca (2005); Atkinson <i>et al.</i> (2008)**
Jeruk	2,0	37	Nainggolan dan Adimunca (2005); Atkinson <i>et al.</i> (2008)**
Pisang	0,6	59	Waspadji (1990) dalam Kusharto (2006)*; Atkinson <i>et al.</i> (2008)**
Pepaya	0,7	55	Nainggolan dan Adimunca (2005); Atkinson <i>et al.</i> (2008)**
Anggur	1,7	53	Nainggolan dan Adimunca (2005); Atkinson <i>et al.</i> (2008)**
Apel	0,7	41	Nainggolan dan Adimunca (2005); Atkinson <i>et al.</i> (2008)**
Mangga	0,4	52	Nainggolan dan Adimunca (2005); Atkinson <i>et al.</i> (2008)**
Melon	0,3	56	Nainggolan dan Adimunca (2005); Atkinson <i>et al.</i> (2008)**
Semangka	0,5	64	Waspadji (1990) dalam Kusharto (2006)*; Atkinson <i>et al.</i> (2008)**

*Untuk kadar serat, ** Untuk nilai IG.

respons glikemik sehingga indeks glikemiknya cenderung rendah. Beras varietas Ketonggo memiliki nilai IG 79 dengan kadar serat pangan larut 3,19%, dan beras varietas Aek Sibundong memiliki nilai IG 59 dengan kadar serat pangan larut 3,76%. Widowati *et al.* (2009) melaporkan beras giling dengan kadar serat pangan tak larut 3,64% memiliki nilai IG 54–97, lebih tinggi dibandingkan dengan nilai IG beras pratanak (44–76) yang memiliki kadar serat pangan tak larut 6,64%. Sementara itu Nisviaty (2006) melaporkan *brownies* kukus ubi jalar memiliki nilai IG yang lebih rendah dibandingkan dengan bolu kukus ubi jalar. Hal ini karena nilai serat pangan total *brownies* kukus ubi jalar lebih tinggi daripada bolu kukus ubi jalar (Tabel 2). Tabel 2 juga menunjukkan bahwa biskuit tepung pisang dan serbuk walur dengan kadar total serat pangan yang relatif tinggi (berturut-turut 32,27% dan 11,27%) memiliki nilai IG yang rendah, masing-masing 21 (Nurdjanah *et al.* 2011) dan 17 (Lukitaningsih *et al.* 2012). Lebih lanjut, Richana *et al.* (2012) melaporkan beras jagung memiliki IG yang tergolong rendah (50) dan diduga berkaitan dengan kadar serat pangannya yang relatif tinggi (6,9–8,01%).

Peran serat pangan dalam membantu menurunkan nilai IG diduga berkaitan dengan fungsi fisiologis dari komponen-komponennya. Komponen serat pangan dapat dikelompokkan menjadi serat larut dan tidak larut, atau terfermentasi dan tidak terfermentasi. Serat pangan tidak larut diartikan sebagai serat pangan yang tidak dapat larut dalam air panas maupun air dingin (Muchtadi 2001). Fungsi utama serat pangan tidak larut yaitu mencegah penyakit yang berhubungan dengan saluran pencernaan.

Selulosa dan hemiselulosa merupakan serat pangan tidak larut dan bersifat kaku sehingga berperan dalam pembentukan struktur buah (keragaan fisik buah). Tekstur buah yang lunak dan berjus tinggi cenderung mudah dikunyah, memiliki dinding sel yang tipis dan mudah pecah serta konsentrasi padatan terlarut (*osmolality*) yang rendah, sehingga mempermudah terlepasnya gula dari sel dan meningkatkan penyerapan (Hoerudin 2012). Dengan demikian, struktur makanan dapat memengaruhi nilai IG.

Fungsi serat pangan larut terutama adalah memperlambat pencernaan di dalam usus, memberikan rasa

kenyang lebih lama, dan memperlambat laju peningkatan glukosa darah sehingga insulin yang dibutuhkan untuk mentransfer glukosa ke dalam sel-sel tubuh dan mengubahnya menjadi energi semakin sedikit. Pektin merupakan salah satu contoh serat pangan yang larut dalam air dan menentukan viskositas serat pangan (Guevarra dan Panlasigui 2000). Oleh karena itu, fungsi serat pangan yang larut tersebut sangat dibutuhkan oleh penderita DM karena dapat mereduksi absorpsi glukosa pada usus kecil (Proskey dan De Vries 1992; Sardesai 2003).

Kadar Amilosa dan Amilopektin

Granula pati terdiri atas dua fraksi, yakni amilosa dan amilopektin yang keduanya dapat dipisahkan dengan air panas. Amilosa disebut sebagai fraksi terlarut, sedangkan amilopektin sebagai fraksi tidak larut. Amilosa merupakan polimer rantai lurus glukosa yang dihubungkan oleh ikatan α -(1,4)-glikosidik. Amilopektin merupakan polimer gula sederhana, bercabang, dan struktur terbuka (BeMiller dan Whistler 1996). Amilopektin pada dasarnya mirip amilosa, namun memiliki ikatan α -(1,6)-glikosidik pada titik percabangannya. Amilopektin bersifat lebih rapuh (*amorphous*) dibanding amilosa yang struktur kristalnya cukup dominan. Kandungan amilosa yang lebih tinggi menyebabkan pencernaan menjadi lebih lambat karena amilosa merupakan polimer glukosa yang memiliki struktur tidak bercabang (struktur lebih kristal dengan ikatan hidrogen yang lebih ekstensif). Amilosa juga mempunyai ikatan hidrogen yang lebih kuat dibandingkan dengan amilopektin, sehingga lebih sukar dihidrolisis oleh enzim-enzim pencernaan (Behall dan Hallfrisch 2002). Struktur yang tidak bercabang ini membuat amilosa terikat lebih kuat sehingga sulit tergelatinisasi dan akibatnya sulit dicerna (Rimbawan dan Siagian 2004). Selain itu, amilosa mudah bergabung dan mengkristal sehingga mudah mengalami retrogradasi yang bersifat sulit untuk dicerna (Meyer 1973).

Amilosa sangat berperan pada proses gelatinisasi dan lebih menentukan karakteristik pasta pati. Kadar

Tabel 2. Nilai serat pangan tak larut, serat pangan larut, serat pangan total, dan indeks glikemik (IG) pada beras, biskuit, serbuk walur, dan beberapa produk ubi jalar.

Produk pangan	Nilai IG	Serat pangan			Referensi
		Tak larut (%)	Larut (%)	Total (%)	
Beras giling	54–97	2,27–5,68	1,68–2,95	3,95–8,63	Widowati <i>et al.</i> (2009)
Beras pratanak	44–76	5,41–8,65	1,40–3,83	6,81–12,48	Widowati <i>et al.</i> (2009)
Bolu kukus ubi jalar	46	2,77	1,33	4,10	Nisviaty (2006)
<i>Brownies</i> kukus ubi jalar	29	3,50	2,31	5,81	Nisviaty (2006)
Sebuk walur*	17	-	-	11,27	Nurdjanah <i>et al.</i> (2011)
Bolu kukus ubi jalar	46	2,77	1,33	4,10	Lukitaningsih <i>et al.</i> (2012)
<i>Brownies</i> kukus ubi jalar	29	3,50	2,31	5,81	Lukitaningsih <i>et al.</i> (2012)

*Komposisi tepung pisang dan terigu 85:15.

amilosa yang tinggi memberikan kontribusi yang signifikan terhadap perubahan kekuatan ikatan hidrogen sehingga pati membutuhkan energi yang lebih besar untuk gelatinisasi. Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa pangan yang memiliki proporsi amilosa lebih tinggi dibanding amilopektin memiliki nilai IG yang lebih rendah, begitu juga sebaliknya. Hubungan kadar amilosa dan IG pada beberapa varietas padi dan jagung disajikan pada Tabel 3.

International Rice Research Institute (IRRI) mengklasifikasikan beras menjadi tiga kategori berdasarkan kandungan amilosanya, yaitu rendah (< 20%), sedang (20–25%), dan tinggi (>25%). Khush *et al.* (1986) membagi kadar amilosa beras menjadi tiga golongan, yaitu beras pera (kadar amilosa 25–30%), sedang (20–25%), dan pulen (< 20%). Hasil penelitian Indrasari *et al.* (2008) menunjukkan beras berkadar amilosa rendah cenderung mempunyai IG tinggi, beras beramilosa sedang memiliki IG sedang, dan beras beramilosa tinggi mempunyai IG rendah. Hasil serupa dilaporkan Hu *et al.* (2004), bahwa varietas padi dengan amilosa semakin tinggi mempunyai IG yang semakin rendah (Tabel 3).

Kadar amilosa yang tinggi pada beras dapat memperlambat pencernaan pati sehingga menyebabkan IG rendah (Frei *et al.* 2003). Laju pencernaan yang lebih lambat setelah mengonsumsi nasi dari beras berkadar amilosa tinggi diduga karena pada saat pengolahan atau pemanasan, amilosa membentuk kompleks dengan lipid, sehingga menurunkan kerentanan terhadap hidrolisis enzimatis (Yusof *et al.* 2005). Beras beramilosa tinggi

mempunyai tekstur pera dan rasa nasi yang kurang enak, namun memiliki nilai IG yang cenderung rendah.

Jagung merupakan sereal lain yang sering dikonsumsi sebagai sumber karbohidrat. Secara umum, jagung varietas lokal mempunyai kadar amilosa tinggi dan nilai IG yang rendah (Richana *et al.* 2012). Semakin tinggi rasio amilosa amilopektin maka jagung akan menghasilkan berasan yang keras (pera), dan rasio yang semakin rendah akan menghasilkan berasan yang pulen atau lengket (*waxy maize*). Oleh karena itu, jagung berkadar amilosa tinggi cenderung memiliki IG yang rendah.

Daya Cerna Pati

Daya cerna pati adalah tingkat kemudahan suatu jenis pati untuk dihidrolisis oleh enzim pemecah pati menjadi unit-unit yang lebih sederhana (Mercier dan Colonna 1988). Enzim pemecah pati dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu endo-amilase dan ekso-amilase. Enzim alfa-amilase termasuk ke dalam golongan endo-amilase yang bekerja memutus ikatan di dalam molekul amilosa dan amilopektin (Tjokroadikoesoemo 1986).

Proses pencernaan pati dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor intrinsik dan faktor ekstrinsik (Tharanthan dan Mahadevamma 2003). Faktor intrinsik menyebabkan pati dicerna pada usus halus. Faktor intrinsik berkaitan erat dengan sifat alami pati, seperti ukuran granula, keberadaannya pada matrik pangan, serta jumlah dan ukuran pori pada permukaan pati.

Tabel 3. Kadar amilosa dan indeks glikemik (IG) beberapa varietas padi dan jagung.

Komoditas	Varietas	Kriteria kadar amilosa	Kadar amilosa (%)	Nilai IG	Referensi
Padi	Setail	Rendah	7,74	74	Indrasari <i>et al.</i> (2008)
	Ketonggo	Rendah	7,45	79	Indrasari <i>et al.</i> (2008)
	Aek Sibundong	Sedang	21,99	59	Indrasari <i>et al.</i> (2008)
	Cigeulis	Sedang	21,11	64	Indrasari <i>et al.</i> (2008)
	Martapura	Tinggi	26,41	50	Indrasari <i>et al.</i> (2008)
	Air Tenggulang	Tinggi	28,62	50	Indrasari <i>et al.</i> (2008)
	Batang Lembang	Tinggi	27,61	34	Indrasari <i>et al.</i> (2008)
	Margasari	Tinggi	25,04	39	Indrasari <i>et al.</i> (2008)
	Cisokan	Tinggi	26,68	34	Indrasari <i>et al.</i> (2008)
	Yunono No. 1	Rendah	1,10	106	Hu <i>et al.</i> (2004)
	J1N1	Rendah	13,90	89	Hu <i>et al.</i> (2004)
	Fenyouxiangzan	Rendah	14,30	92	Hu <i>et al.</i> (2004)
	Xiungshui 11	Sedang	20,10	69	Hu <i>et al.</i> (2004)
	Xieyou 46	Sedang	21,60	63	Hu <i>et al.</i> (2004)
	ZF201		26,80	56	Hu <i>et al.</i> (2004)
	J1N3		25,80	54	Hu <i>et al.</i> (2004)
Jagung	Telogo Mulyo	Tinggi	28,31	33	Richana <i>et al.</i> (2012)
	Bisi	Tinggi	26,19	35	Richana <i>et al.</i> (2012)
	Hanoman	Tinggi	29,37	36	Richana <i>et al.</i> (2012)
	Tretep	Tinggi	25,38	37	Richana <i>et al.</i> (2012)
	Srikandi Putih	Tinggi	29,02	41	Richana <i>et al.</i> (2012)

Ukuran granula pati berkaitan dengan luas penampang permukaan totalnya. Semakin kecil ukuran granula pati, semakin besar luas permukaan total granula pati tersebut. Dengan luas permukaan yang lebih besar, enzim pemecah pati memiliki area yang lebih luas untuk menghidrolisis pati menjadi glukosa. Semakin mudah enzim bekerja, semakin cepat pencernaan dan penyerapan karbohidrat pati. Dhital *et al.* (2010) melaporkan terdapat korelasi negatif antara ukuran granula pati dengan koefisien laju pencernaan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses hidrolisis pati terjadi melalui mekanisme difusi terkendali (*diffusion-controlled*) atau permukaan terkendali (*surface-controlled*). Dengan kata lain, luas permukaan granula pati berperan dalam mengendalikan laju pencernaan. Oleh karena itu, jika ukuran granula pati kecil, maka pati tersebut diduga akan memberikan nilai IG tinggi.

Sebagai faktor intrinsik, struktur matriks bahan pangan dapat mengganggu akses enzim amilase. Granula pati yang terperangkap di dalam matriks pangan lebih sulit diakses sehingga lebih lambat dicerna. Jumlah dan ukuran pori merupakan faktor intrinsik lain yang dapat memengaruhi daya cerna pati. Granula pati dari tanaman yang berbeda dapat memiliki jumlah dan ukuran pori yang berbeda. Sebagai contoh, Dhital *et al.* (2010) melaporkan pati kentang memiliki struktur permukaan yang halus dan tidak terdapat banyak pori. Sementara itu, pati jagung memiliki permukaan yang lebih kasar, jumlah pori yang lebih banyak, dan ukuran pori yang lebih besar dibandingkan dengan pati kentang. Koefisien difusi α -amilase dalam menghidrolisis pati jagung ($7,40 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{detik}$) lima kali lebih cepat dibandingkan dengan koefisien difusi pada pati kentang ($7,40 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{detik}$). Karbohidrat yang diserap secara lambat akan menghasilkan puncak kadar glukosa darah yang rendah dan berpotensi mengendalikan daya cerna pati beras yang dipengaruhi oleh komposisi amilosa/amilopektin (Foster *et al.* 2002; Willet *et al.* 2002).

Faktor ekstrinsik yang memengaruhi pencernaan pati antara lain adalah lamanya waktu pencernaan dalam lambung (*transit time*), aktivitas amilase pada usus, jumlah pati, dan keberadaan komponen pangan lainnya seperti zat antigizi. Faktor-faktor ekstrinsik tersebut saling berinteraksi sangat kompleks/rumit.

Daya cerna pati yang rendah berarti hanya sedikit jumlah pati yang dapat dihidrolisis oleh enzim pencernaan dalam waktu tertentu. Dengan demikian, kadar glukosa dalam darah tidak mengalami kenaikan secara drastis sesaat setelah makanan tersebut dicerna dan dimetabolisme oleh tubuh. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Argasmita (2008) dan Hasan *et al.* (2011) yang menunjukkan bahwa pangan dengan daya cerna pati tinggi menghasilkan nilai IG yang tinggi pula (Tabel 4). Lebih jauh, Chung *et al.* (2006) melaporkan bahwa pati bahan pangan yang tergelatinisasi sebagian memiliki daya cerna pati yang rendah. Dengan demikian, pati yang tergelatinisasi sebagian relatif lebih tahan terhadap

Tabel 4. Hubungan nilai daya cerna pati dengan nilai indeks glikemik (IG) pada produk pangan.

Produk pangan	Daya cerna pati (%)	Nilai IG	Referensi
Padi varietas Ciasem	76,82	147	Argasmita (2008)
Oyek garut	24,47	40	Hasan <i>et al.</i> (2011)
Oyek suweg	28,75	42	Hasan <i>et al.</i> (2011)
Tiwul garut	22,76	41	Hasan <i>et al.</i> (2011)
Tiwul suweg	26,76	40	Hasan <i>et al.</i> (2011)

hidrolisis enzim sehingga nilai IG-nya cenderung lebih rendah.

Kadar Lemak dan Protein

Lemak merupakan sumber energi bagi tubuh yang lebih efektif daripada karbohidrat dan protein. Satu gram lemak menghasilkan 9 kkal energi, sedangkan karbohidrat dan protein hanya menghasilkan energi 4 kkal. Protein adalah sumber asam amino yang mengandung unsur-unsur C, H, O, dan N. Fungsi utama protein adalah untuk membentuk jaringan baru dan mempertahankan jaringan yang telah ada. Protein juga berfungsi sebagai zat pengatur proses metabolisme tubuh.

Pangan dengan kadar lemak yang tinggi cenderung memperlambat laju pengosongan lambung, sehingga laju pencernaan makanan pada usus halus juga lambat. Sementara itu, kadar protein yang tinggi diduga merangsang sekresi insulin (Jenkins *et al.* 1981) sehingga glukosa dalam darah tidak berlebihan dan terkendali. Oleh karena itu, pangan dengan kandungan lemak dan protein tinggi cenderung memiliki IG lebih rendah dibandingkan dengan pangan sejenis yang berkadar lemak dan protein rendah (Jenkins *et al.* 1981; Rimbawan dan Siagian 2004). Hubungan nilai kadar protein, lemak, dan IG beberapa produk pangan disajikan pada Tabel 5. Oku *et al.* (2010) menyatakan bahwa pangan dengan IG rendah dapat menghasilkan banyak energi jika mengandung banyak lemak dan protein. Namun, pangan berlemak harus dikonsumsi secara bijaksana. Total konsumsi lemak tidak boleh melebihi 30% dari total energi dan total konsumsi lemak jenuh tidak melebihi 10% dari total energi (Nisviaty 2006).

Cara Pengolahan

Salah satu faktor yang memengaruhi nilai IG suatu produk pangan adalah cara pengolahan, seperti pemanasan (pengukusan, perebusan, penggorengan) dan penggilingan (penepungan) untuk memperkecil ukuran partikel. Cara pengolahan dapat mengubah sifat

fisikokimia suatu bahan pangan seperti kadar lemak dan protein, daya cerna, serta ukuran pati maupun zat gizi lainnya.

Pemanasan pati dengan air berlebihan mengakibatkan pati mengalami gelatinisasi dan perubahan struktur. Pemanasan kembali dan pendinginan pati yang telah mengalami gelatinisasi juga mengubah struktur pati lebih lanjut yang mengarah pada terbentuknya kristal baru yang tidak larut, berupa pati teretrogradasi, sehingga menyebabkan terjadinya perubahan nilai IG (Haliza et al. 2006).

Tabel 6 menyajikan nilai IG beberapa produk pangan dan olahannya. Nilai IG beras pratanak (56) dan beras fungsional (49) varietas Membramo lebih rendah dibanding nilai IG beras giling varietas Membramo (67). Hal ini karena proses produksi beras fungsional, yakni pada proses pratanak maupun instanisasi menggunakan ekstrak teh hijau akan terbentuk kompleks antara pati dan polifenol. Akibatnya enzim pencernaan menjadi tidak dapat mengenali sisi atau bagian pati yang secara normal dihidrolisis oleh enzim tersebut. Semakin banyak ikatan pati dengan polifenol, semakin banyak sisi yang tidak

dapat dikenali oleh enzim pencernaan, sehingga kemampuan hidrolisis pati menurun atau daya cerna pati menjadi rendah (Widowati et al. 2007).

Nilai IG jagung manis rebus, tumis, dan bakar tergolong rendah hingga sedang (Amalia et al. 2011). Produk olahan hotong, bubur instan hotong memiliki nilai IG paling tinggi dibanding mi instan dan snack hotong (Prasetyo 2008). Hal ini diduga karena ukuran pati bubur hotong lebih kecil, sehingga nilai IG-nya lebih tinggi. Dari beberapa hasil penelitian yang dipublikasi dapat disimpulkan bahwa proses pengolahan dapat mengubah ukuran partikel khususnya ukuran pati yang dapat mengubah nilai IG (Tabel 6).

KESIMPULAN

Nilai IG produk pangan dipengaruhi oleh sejumlah faktor, antara lain kadar serat pangan, kadar amilosa dan amilopektin, kadar lemak dan protein, dan cara pengolahan. Pengaruh faktor-faktor tersebut umumnya tidak

Tabel 5. Kadar protein dan lemak serta indeks glikemik (GI) beberapa produk pangan.

Produk pangan	Protein (%)	Lemak (%)	Nilai IG	Referensi
Jagung manis rebus (basis kering)	19,69	9,89	41,22	Amalia et al. (2011)
Jagung manis bakar (basis kering)	23,11	10,50	55,31	Amalia et al. (2011)
Sukun rebus	3,20	0,73	89,00	Rakhmawati et al. (2011)
Sukun kukus	2,11	0,61	85,00	Rakhmawati et al. (2011)
Bolu kukus	4,93	1,45	46,00	Nisviaty (2006)
Beras pratanak	7,23	0,83	60,32	Widowati et al. (2009)

Tabel 6. Nilai indeks glikemik (IG) beberapa produk pangan dan olahannya.

Produk pangan	Nilai IG	Referensi
Jagung	28,66–41,37	Richana et al. (2012)
Jagung manis	55,00–62,00	Mendosa (2008)
Jagung manis rebus	41,94	Amalia et al. (2011)
Jagung manis tumis*	23,13	Amalia et al. (2011)
Jagung manis bakar	58,54	Amalia et al. (2011)
Beras giling Membramo	67,00	Widowati et al. (2007, 2008)
Beras pratanak Membramo	56,00	Widowati et al. (2007, 2008)
Beras fungsional	49,00	Widowati et al. (2007, 2008)
Beras varietas Batang Piaman	86,00	Purwani et al. (2007)
Beras Batang Piaman <i>parboiled</i>	59,00	Purwani et al. (2007)
Beras varietas IR36	45,00	Purwani et al. (2007)
IR36 <i>parboiled</i>	123,00	Purwani et al. (2007)
Sukun goreng*	82,00	Rakhmawati et al. (2011)
Sukun kukus	89,00	Rakhmawati et al. (2011)
Sukun rebus	85,00	Rakhmawati et al. (2011)
Kukis sukun*	80,00	Rakhmawati et al. (2011)
Mi instan hotong	48,45	Prasetyo (2008)
Bubur instan hotong	59,57	Prasetyo (2008)
Snack hotong (camilan hotong)	45,31	Prasetyo (2008)

* = ditambahkan lemak.

berdiri sendiri, tetapi saling berinteraksi sehingga sulit menentukan faktor yang paling dominan memengaruhi nilai IG akhir.

Penderita DM dapat memilih produk pangan yang akan dikonsumsi yang memiliki IG rendah. Produk pangan yang IG-nya rendah antara lain dicirikan oleh tingginya nilai/kadar serat pangan total, rasio amilosa/amilopektin, serta kadar lemak dan protein.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, S.N., Rimbawan, dan M. Dewi. 2011. Nilai indeks glikemik beberapa jenis pengolahan jagung manis (*Zea mays saccharata* Sturt). *Jurnal Gizi dan Pangan* 6(1): 36–41.
- Argasasmita, T.U. 2008. Karakterisasi sifat fisikokimia dan indeks glikemik varietas beras beramilosa rendah dan tinggi. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor. 84 hlm.
- Arvidsson-Lenner, R., N.G. Asp, M. Axelsen, S. Bryngelsson, E. Haapa, A. Järvi, B. Karlström, A. Raben, A. Sohlström, I. Thorsdottir, and B. Vessby. 2004. Glycemic index. *Scandinavian J. Nutr.* 48(2): 84–89.
- Astawan, M. dan T. Wresdiyati. 2004. Diet sehat dengan makanan berserat. Tiga Serangkai Pustaka Mandiri, Solo.
- Atkinson, F.S., K. Foster-Powell, and J.C. Brand Miller. 2008. International tables of glycemic index and glycemic load values: 2008. *Diabetes Care* 31: 2281–2283.
- Behall, K.M. and J. Hallfrisch. 2002. Plasma glucose and insulin reduction after consumption of bread varying in amylose content. *Eur. J. Clin. Nutr.* 56(9): 913–920.
- BeMiller, J.N. and R.L. Whistler. 1996. Carbohydrates. pp. 157–224. *In* O.R. Fennema (Ed.). *Food Chemistry* 3rd Ed. Marcel Dekker Inc., New York.
- Brody, T. 1999. *Nutritional Biochemistry*. Academic Press, San Diego.
- Brouns, F., I. Bjorck, K.N. Frayn, A.L. Gibbs, V. Lang, G. Slama, and T.M.S. Wolever. 2005. Glycemic index methodology. *Nutr. Res. Rev.* 18(1): 145–171.
- Chung, H.J., H.S. Lim, and S.T. Lim. 2006. Effect of partial gelatinization and retrogradation on the enzymatic digestion of waxy rice starch. *J. Cereal Sci.* 43: 353–359.
- Dalimartha, S. 2004. *Ramuan Tradisional untuk Pengobatan Diabetes Melitus*. Penebar Semangat, Jakarta.
- Dhital, S., A.K. Shrestha, and M.J. Gidley. 2010. Relationship between granule size and *in vitro* digestibility of maize and potato starches. *Carbohydrate Polymers* 82(2): 480–488.
- Englyst, H.N. and J.H. Cummings. 1985. Digestion of the polysaccharides of some cereal foods in the human small intestine. *Am. J. Clin. Nutr.* 34: 211–217.
- FAO/WHO. 1998. Carbohydrates in human nutrition: the role of the glycemic index in food choice. *FAO Food and Nutrition Paper-66*, Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation, Rome, 14–18 April 1997.
- Fernandes, G.A. Velangi, and T.M.S. Wolever. 2005. Glycemic index of potatoes commonly consumed in North America. *J. Am. Diet. Assoc.* 105: 557–562.
- Foster, P.K.F., S.H.A. Holt, and J.C.B. Miller. 2002. International table of glycemic index and glycemic load values. *Am. J. Clin. Nutr.* 76(1): 45–56.
- Frei, M., P. Siddhuraju, and K. Becker. 2003. Studies on the *in vitro* starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. *Food Chem.* 83(2003): 395–402.
- Guevarra, M.T.B. and L.N. Panlasigui. 2000. Blood glucose responses of diabetes mellitus type II patients to some local fruits. *Asia Pacific J. Clin. Nutr.* 9: 202–208.
- Haliza, W., E.Y. Purwani, dan S. Yuliani. 2006. Evaluasi kadar pati tahan cerna dan nilai indeks glikemik mi sagu. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan* XVII(2): 149–152.
- Hasan, V., S. Astuti, dan Susilawati. 2011. Indeks glikemik dari umbi garut, suweg, dan singkong. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian* 16(1): 34–50.
- Hoerudin. 2012. Indeks glikemik buah dan implikasinya dalam pengendalian kadar glukosa darah. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian* 8(2): 80–98.
- Hu, P., H. Zhao, Z. Duan, Z. Linlin, and D. Wu. 2004. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing of amylase content. *J. Cereal Sci.* 40: 231–237.
- IDF (International Diabetes Federation). 2013. *Diabetes Atlas*. Sixth Edn. www.idf.org.
- Indrasari, S.D., E.Y. Purwani, P. Wibowo, dan Jumali. 2008. Nilai indeks glikemik beras beberapa varietas padi. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 27(3): 127–134.
- Jenkins, D.J.A., T.M.S. Wolever, R.H. Taylor, H. Barker, H. Fielden, J.M. Baldwin, A.C. Bowling, H.C. Newman, A.L. Jenkins, and D.V. Goff. 1981. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am. J. Clin. Nutr.* 34: 362–366.
- Jenkins, D.J.A., C.W.C. Kendall, L.S.A. Augustin, S. Franceschi, M. Hamidi, A. Marchie, A.L. Jenkins, and M. Axelsen. 2002. Glycemic index: overview of implications in health and disease. *Am. J. Clin. Nutr.* 76(Suppl.): 266S–273S.
- Khush, G.S., C.M. Paule, and N.M. de la Cruz. 1986. *Rice Grain Quality Evaluation and Improvement at IRRI*. 17th GEU Training. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Kusharto, C.M. 2006. Serat makanan dan peranannya bagi kesehatan. *Jurnal Gizi dan Pangan* 1(2): 45–54.
- Lukitaningsih, E., Rumiayati, I. Puspitasari, and M. Christina. 2012. Analysis of macronutrient content, glycemic index and calcium oxalate elimination in *Amorphopallus campanulatus* (Roxb). *J. Nat.* 12(2): 1–8.
- Marsono, Y., P. Wiyono, dan Z. Noor. 2002. Indeks glikemik kacang-kacangan. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan* 13(3): 13–20.
- Marsono, Y. 2004. Serat pangan dalam perspektif ilmu gizi. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar pada Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2 Juni 2004.
- Mendoza, D. 2008. Revised International Table of Glycemic Index (GI) and Glycemic Load (GL) Values.
- Mercier, C. and P. Colonna. 1988. *Starch and enzymes: Innovations in the products, process and uses*. Biofuture Chimic. p. 55–60.
- Meyer, L.H. 1973. *Food Chemistry*. Affiliated East-West PVT. Ltd., New Delhi.
- Miller, J.B., E. Pang, and L. Bramall. 1992. Rice: a high or low glycemic food. *Am. J. Clin. Nutr.* 56: 1034–1036.
- Muchtadi, D. 2001. Sayuran sebagai sumber serat untuk mencegah timbulnya penyakit degeneratif. *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian* 21: 61–71.
- Nainggolan, O. dan C. Adimunca. 2005. Diet sehat dengan serat. *Cermin Dunia Kedokteran* no 147. Departemen Kesehatan RI, Jakarta.
- Nisviaty, A. 2006. Pemanfaatan tepung ubi jalar klon bb00105.10 sebagai bahan dasar produk olahan kukus serta evaluasi mutu

- gizi dan indeks glikemiknya. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor. 110 hlm.
- Nurdjanah, S., N. Nusita, dan D. Indriani. 2011. Karakteristik biskuit coklat dari campuran tepung pisang batu dan tepung terigu pada berbagai tingkat substitusi. *Jurnal Teknologi dan Industri Hasil Pertanian* 16(1): 51–62.
- Oku, Tsuneyuki, N. Mariko, and N. Sadako. 2010. Consideration of the validity of glycemic index using blood glucose and insulin levels and breath hydrogen. *Int'l. J. Diabetes Melitus* (2): 88–94.
- Prasetyo, R. 2008. Evaluasi mutu gizi dan indeks glikemik produk olahan hotong (*Setaria etalica*). Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor. 80 hlm.
- Prosky, L. and J.W. de Vries. 1992. *Controlling Dietary Fiber in Food Product*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Pruett, A. 2010. A comparison of the glycemic index of sorghum and other commonly consumed grains. Thesis. Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Purwani, E.Y., S. Yuliani, S.D. Indrasari, S. Nugraha, dan R. Thahir. 2007. Sifat fisikokimia beras dan indeks glikemiknya. *J. Teknologi dan Industri Pangan* XVIII(1): 59–66.
- Ragnhild, A.L., N.L. Asp, M. Axelsen, and A. Raben. 2004. Glycemic index relevance for health, dietary recommendations, and nutritional labeling. *Scandinavian J. Nutr.* 48(2): 84–94.
- Rakhmawati, F.K.R., Rimbawan, dan L. Amalia. 2011. Nilai indeks glikemik berbagai produk olahan sukun (*Artocarpus altilis*). *Jurnal Gizi dan Pangan* 6(1): 28–35.
- Richana, N., Ratnaningsih., A.B. Arif, and M. Hayuningtyas. 2012. Characterization of varieties of maize with a low glycemic index to support food security. *International Maize Conference in Gorontalo*.
- Rimbawan dan A. Siagian. 2004. *Indeks Glikemik Pangan*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Sardesai, V.M. 2003. *Introduction to Clinical Nutrition*. Marcel Dekker Inc., New York. pp. 339–354.
- Sheard, N., N. Clark, J. Brand-Miller, M. Franz, FX. Pi-Sunyer. E. Mayer-davis, K. Kulkarni, and P. Geil. 2004. Dietary carbohydrate (amount and type) in the prevention and management of diabetes: a statement by the American Diabetes Association. *Diabetes Care* 27(9): 2266–2271.
- Sinaga, E. dan Y. Wirawanni. 2012. Pengaruh pemberian susu kedelai terhadap kadar glukosa darah puasa pada wanita prediabetes. *J. Nutr. Coll.* 1(1): 563–579.
- Soewondo, P. and A.P. Laurentinus. 2011. Prevalences, characteristics and predictor of prediabetes in Indonesia. Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine, University of Indonesia. Jakarta. pp. 283–293.
- Tharanthan, R.N. and S. Mahadevamma. 2003. Grain legumes, a boon to human nutrition. *Trends Food Sci. Technol.* 14(12): 507–518.
- Tjokroadikoesoemo, P.S. 1986. *HFS dan Industri Ubi Kayu Lainnya*. PT Gramedia, Jakarta.
- Trinidad, T.P., A.C. Mallillin, R.S. Sagum, and R.R. Encabo. 2010. Glycemic index of commonly consumed carbohydrate foods in the Philippines. *J. Functional Foods* 2: 271–274.
- Waspadji, S. 2007. *Diabetes melitus. Dalam Penatalaksanaan Diabetes Melitus Terpadu*. Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Jakarta.
- Whitney, E., S.R. Rolfes, and K. Pinna. 2002. *Nutrition and diabetes mellitus. Understanding Normal and Clinical Nutrition*. 7th ed. Belmont, Wadsworth. pp. 790–816.
- Widowati, S. 2007. Pemanfaatan ekstrak teh hijau (*Camellia sinensis* O. Kuntze) dalam pengembangan beras fungsional untuk penderita diabetes melitus. Disertasi. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Widowati, S., M. Astawan, D. Mughtadi, dan T. Wresdiyati. 2007. Pemanfaatan ekstrak teh hijau (*Camellia sinensis* O. Kuntze) dalam pengembangan beras pratanak fungsional. hlm. 975–987. *Prosiding Seminar Nasional PATPI 2007*, Bandung, 17–18 Juli 2007.
- Widowati, S., M. Astawan, D. Mughtadi, dan T. Wresdiyati. 2008. Pemanfaatan ekstrak teh hijau dalam pengembangan beras instan fungsional. hlm. 517–531. *Dalam* A.K. Makarim, B. Suprihatno, Z. Zaini, A. Widjono, I.N. Widiarta, Hermanto, dan H. Kasim (Ed.). *Inovasi Teknologi Tanaman Pangan. Prosiding Simposium Tanaman Pangan V, Buku 2. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor*.
- Widowati, S., B.A.S. Santosa, M. Astawan, dan Akhyar. 2009. Penurunan indeks glikemik berbagai varietas beras melalui proses pratanak. *Jurnal Pascapanen Pertanian* 6(1): 1–9.
- Wild, S., G. Roglic, A. Green, R. Sicree, and H. King. 2004. Global prevalence of diabetes: Estimates for the year 2000 and projections for 2030. *Diabetes Care* 27(10): 47–53.
- Willet, W., J. Manson, and S. Liu. 2002. Glycemic index, glycemic load and risk of type 2 diabetes. *Am. J. Clin. Nutr.* 76(1): 274S–280S.
- Yusof, B.N.M., R.A. Talib, and N.A. Karim. 2005. Glycemic index of eighth types of commercial rice. *Mal. J. Nutr.* 11(2): 151–163.