

## **Analisa Indeks Glikemik Sari Tebu Alami, Nira Serbuk, dan Gula Kristal Putih dengan Metode *In Vivo* dan Metode *In Vitro***

*In vivo and in Vitro Method for Analysis of Glicemic Index of Natural Sugarcane Juice, Sugarcane Juice Powder, and Plantation White Sugar*

Simping Yuliatun<sup>1)</sup>, Pius Pandu Bintang Wicaksono<sup>2)</sup> dan Achmad Ridwan Ariyantoro<sup>2)</sup>

1) Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI), Pasuruan

2) Universitas Sebelas Maret

Email: [simping7@gmail.com](mailto:simping7@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Informasi indeks glikemik (IG) dapat digunakan untuk membantu konsumen dalam memilih makanan dan mengurangi resiko terhadap penyakit diabetes. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui IG dan korelasi metode *in-vitro* dan *in-vivo* dalam penentuan IG pada sari tebu alami (STA), nira serbuk (NS) dan gula kristal putih (GKP). Analisa IG dengan metode *in vivo* dilakukan menggunakan partisipan (manusia). Respon gula darah selama 2 jam diukur setelah diberi asupan makanan contoh. Metode *in vitro* prediksi indeks glikemik dilakukan dengan membuat simulasi sistem pencernaan di luar tubuh. Glukosa yang dibebaskan dari contoh yang dicerna secara *in vitro* selama 2 jam di bandingkan acuan (glukosa). Analisis statistik dilakukan untuk uji t berpasangan dan korelasi indeks glikemik pada metode *in vivo* dan *in vitro*. Hasil penelitian menunjukkan nilai indeks glikemik secara *in vivo* dari contoh STA, NS dan GKP berturut-turut 57,96 (IG sedang); 77,37 (IG tinggi); dan 85,78 (IG tinggi). Pengujian *in vitro* dari contoh STA, NS dan GKP menunjukkan nilai indeks glikemik berturut-turut 62,6 (IG sedang), 76,7 (IG tinggi) dan 86,3 (IG tinggi). Hasil uji t menunjukkan metode *in vitro* dapat diterima untuk menggantikan metode *in vivo*. Pengujian IG metode *in vitro* dan *in vivo* memiliki korelasi kuat ( $r = 0,9188$ ) dan positif.

Kata kunci: tebu, respon glikemik, indeks glikemik, *in vivo*, *in vitro*

### **ABSTRACT**

The information of glycemic index may assist consumers to regulate nutrition content and manage blood glucose levels. The objective of this research to determine glycemic index (GI) and the relationship between the *in vivo* glycemic index (GI) and *in vitro* digestibility of natural sugarcane juice (STA), sugarcane juice powder (NS) and plantation white sugar (GKP). The *in vivo* glycemic index determination method, samples were tested for GI in healthy human (participants). The blood glucose responses measured for 2 hours. An *in vitro* method that predicts glycemic response proposed a simulated gastrointestinal digestion. Glucose liberated from samples digested *in vitro* were analysis and compared with glucose as reference. Statistical analysis using paired *t*-tests were conducted on glycemic index and correlation of *in vivo* and *in vitro* method. The result showed that GI values for *in vivo* method were STA 57.96 (medium GI); NS 77.37 (high GI); and GKP 85.78 (high GI). An *in vitro* method showed glycemic index for STA, NS and GKP respectively 62,6 (medium GI); 76,7 (high GI); and 86,3 (high GI). The *t* test results showed that the *in vitro* method was acceptable to replace the *in vivo* method. The GI values were strongly ( $r = 0,9188$ ) and positively correlated with an *in vivo* and *in vitro* methods for determining glycemic index.

Key words: sugarcane, glycemic response, glycemic index, *in vivo*, *in vitro*

## PENDAHULUAN

Angka penderita diabetes melitus seluruh dunia masih sangat tinggi dan cenderung meningkat setiap tahunnya. Tahun 2021 jumlah penderita diabetes mencapai 10,25% dari jumlah manusia dewasa (20-70 tahun) atau sebanyak 537 juta jiwa (International Diabetes Federation, 2021), dan diperkirakan jumlah ini meningkat menjadi 643 juta pada tahun 2030. Penyakit diabetes dan kegemukan (obesitas) terkait erat dengan kelebihan asupan makanan dengan indeks glikemik tinggi, peningkatan muatan glikemik (*glycemic load*) dan gaya hidup yang tidak aktif (Sagili *et al.* 2022).

Makanan karbohidrat akan memicu peningkatan kadar gula darah (Bellmann *et al.*, 2017, Shkembi and Huppert, 2023)). Indeks glikemik mengindikasikan pengaruh spesifik dari makanan tertentu terhadap peningkatan gula darah, sementara muatan glikemik merujuk pada kualitas dan kuantitas karbohidrat secara keseluruhan dalam makanan dan interaksinya. Konsumsi makanan yang mengandung indeks glikemik rendah berguna untuk mengatur *level* gula darah seseorang yang dalam kondisi menderita diabetes (Barclay *et al.*, 2021).

Indeks glikemik merupakan salah satu parameter kualitas karbohidrat (Gourineni *et al.*, 2019), yang dapat digunakan untuk memperingkat dampak dari karbohidrat tersedia terhadap peningkatan kadar gula darah (Barclay *et al.*, 2021). Secara fisiologi indeks glikemik menerangkan bagaimana dampak makanan karbohidrat terhadap peningkatan glukosa darah (Sun *et al.*, 2022; Koseoglu dan Celikel, 2022). Indeks glikemik dari suatu makanan digunakan untuk memonitor *level* gula darah dari sekelompok orang tertentu. Indeks glikemik menyatakan presentase area di bawah kurva respon gula darah bila mengkonsumsi sejumlah tertentu karbohidrat glukosa. Hal ini untuk

menjelaskan bagaimana dampak terhadap asupan makanan yang mengandung karbohidrat terhadap gula darah.

Nilai glikemik indeks berkisar antara 1 hingga 100 (Sun *et al.*, 2022). Nilai indeks glikemik  $\leq 55$  tergolong rendah, nilai indeks glikemik 56-69 dalam kelompok indeks glikemik sedang. Nilai indeks glikemik  $\geq 70$  dikelompokkan ke dalam indeks glikemik tinggi (Atkinson *et al.*, 2021; Barclay *et al.*, 2021). Makanan yang tergolong memiliki indeks glikemik tinggi memiliki respon meningkatkan nilai kadar gula darah lebih tinggi daripada makanan dengan indeks glikemik rendah.

Informasi nilai indeks glikemik dalam suatu makanan dapat membantu konsumen dalam memilih makanan bagi penderita diabetes maupun bagi mereka yang ingin mencegah diabetes dan menjaga kesehatannya (Whelan *et al.*, 2010). Indeks glikemik idealnya ditentukan secara *in vivo* dengan mengamati tingkat kadar gula darah pada manusia yang mengasup makanan tersebut. Respon gula darah dari makanan yang dikonsumsi dibandingkan dengan makanan acuan dalam periode waktu tertentu dan indeks glikemik dapat ditentukan.

Hasil pengujian indeks glikemik secara *in vivo* lebih realistis (Miller, 2004; Sun *et al.*, 2022). Namun demikian, analisa indeks glikemik secara *in vivo* sangat kompleks dan menimbulkan masalah etika karena menggunakan subyek manusia, membutuhkan biaya besar, dan waktu yang lama (Bohn *et al.*, 2018; Koseoglu dan Celikel, 2022). Engelyst *et al.* (1999) telah mengembangkan protokol pengujian secara *in vitro* untuk memprediksi indeks glikemik dengan melibatkan pengukuran glukosa yang dibebaskan oleh makanan selama inkubasi pada 37 °C dengan melibatkan enzim-enzim pencernaan.

Metode *in vitro* digunakan dengan mensimulasikan pencernaan makanan (Brodkorb *et al.*, 2019). Secara umum, model pencernaan *in vitro* meniru kondisi *in*

*vivo* seperti bahan kimia yang terlibat, kondisi lingkungan reaksi, bahan dan pergerakan makanan. Menurut Nurhayati *et al.* (2019), penentuan indeks glikemik dengan metode *in vitro* oleh Argyri *et al.* (2016) mendekati nilai yang diperoleh dari indeks glikemik secara *in vivo*.

Penelitian indeks glikemik pada produk sari tebu alami dan nira serbuk belum pernah dilaporkan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui indeks glikemik sari tebu alami, nira serbuk dan gula kristal putih dengan pangan acuan berupa glukosa, serta korelasi metode pengujiannya secara *in vitro* terhadap metode *in vivo*.

## METODE

### Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pasca Panen, Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) Pasuruan. Waktu penelitian yaitu pada bulan September – Desember 2021.

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sari tebu alami (STA) diperoleh dari Laboratorium Pasca Panen, Pusat Penelitian perkebunan Gula Indonesia (P3GI). Nira serbuk dari hasil *spray drying* nira tebu yang dilakukan di laboratorium Pasca Panen, P3GI. Gula kristal putih diperoleh dari pasaran dengan merk Rose Brand. Glukosa teknis, dinitro salisilic acid, kalium natrium tartarat, natrium hidroksida, enzim alfa-amilase, enzim alfa-glukosidase, HCl, buffer fosfat, etanol.

Alat yang digunakan adalah pipet volume, tabung reaksi, oven, *waterbath*, pH meter, termometer, *stopwatch*, neraca analitik, *vortex*, rak dan tabung reaksi, pengaduk magnetik, panci dan spektrofotometer, glucometer dengan merk *On Call Plus, stripe, lancet*.

### Metode

Analisis Nilai Indeks Glikemik secara *In Vivo* (Metode Brouns *et al.*, 2005)

Pengujian indeks glikemik *in vivo* dilakukan dengan metode Brouns *et al.* (2005). Penentuan subyek atau partisipan. Partisipan dalam hal ini adalah orang yang menjalani uji penentuan glikemik indeks untuk produk makanan. Partisipan dengan jenis kelamin perempuan berusia antara 18-23 tahun. Kondisi partisipan harus sehat dengan berat badan normal dengan indeks massa tubuh (*body mass index/BMI*) sekitar 19-21, tidak memiliki alergi terhadap makanan, tidak memiliki penyakit diabetes atau penyakit kronis lainnya, dan tidak dalam masa pengobatan atau tidak mengkonsumsi obat-obatan yang bisa mempengaruhi kadar glukosa darah.

Penentuan nilai indeks glikemik pada produk STA, nira serbuk dan gula kristal putih (GKP) dilakukan dengan memberikan sampel uji kepada partisipan untuk dikonsumsi. Partisipan diwajibkan berpuasa sekurang-kurangnya 8 jam sebelum mengkonsumsi contoh yang diberikan. Jumlah contoh yang dikonsumsi sebanyak 50 gram pada setiap partisipan. Pengambilan sampel darah dari partisipan pada menit ke-0 untuk mengetahui kadar glukosa darah puasa dilakukan menggunakan alat *finger prick capillary blood*. Pengambilan sampel darah berikutnya dilakukan pada interval waktu 40 menit selama 120 menit setelah mengkonsumsi makanan yang diujikan. Nilai kadar glukosa darah ditunjukkan dari alat *glucometer On Call Plus*. Luasan area bawah kurva (*area under curve/AUC*) diperoleh dari kurva yang terbentuk antara waktu pengambilan contoh darah *versus* kadar glukosa darah. Perhitungan nilai indeks glikemik diperoleh dari perbandingan antara luasan area bawah kurva dari contoh pangan yang diujikan dibanding luasan area bawah kurva dari pangan acuan. Pangan acuan yang digunakan adalah glukosa (Brouns *et al.*, 2005). Persamaan penentuan nilai indeks glikemik pangan yang diuji sebagai berikut:

### Prosedur Pengujian Indeks Glikemik secara *In-Vitro*

Prosedur pengujian indeks glikemik secara *in-vitro* menggunakan Metode Nurhayati (2019) dan Argyri *et al.* (2016). Sebanyak 250 mg bahan ditambahkan akuades 10 ml dan diaduk hingga homogen. Selanjutnya campuran ditambahkan enzim  $\alpha$ -amilase 185 unit/g. Campuran didiamkan selama 2 menit pada suhu 37°C. Kemudian campuran ditambahkan asam klorida 0,5M hingga pH 2,5 dan tambahkan 2 ml larutan buffer fosfat 0,1M pH 6,5. Selanjutnya campuran di-inkubasi pada 37 °C selama 30 menit, dan ditambahkan 0,5 ml larutan enzim amiloglukosidase 3260 unit/ml. Inkubasi dilanjutkan kembali pada 37 °C selama 2 jam. Penentuan kadar glukosa menggunakan metode DNS dilakukan setiap 40 menit yaitu menit ke 0, 40, 80, 120 setelah inkubasi. Pengujian *in vitro* pada sampel dilakukan dalam 3 kali ulangan. Luasan area bawah kurva (*area under curve/AUC*) diperoleh dari kurva yang terbentuk antara waktu pengambilan contoh *versus* kadar glukosa contoh. Perhitungan nilai indeks glikemik diperoleh dari perbandingan antara luasan area bawah kurva dari contoh pangan yang diujikan dibanding luasan area bawah kurva dari pangan acuan.

Analisa kuantitatif gula reduksi dengan metode Dinitro Salicylic Acid (DNS) (Milner, 1959)

Larutan contoh sebanyak 1 ml diencerkan sampai 10 ml. Ambil 1 ml larutan contoh dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan tambahkan 1 ml pereaksi DNS 1M dikocok homogen. Tutup bagian mulut tabung reaksi dengan aluminium foil dan panaskan hingga mendidih selama 15 menit hingga larutan berwarna merah kecoklatan. Selanjutnya tambahkan 1 ml larutan kalium natrium tartarat 40%. Tabung reaksi didinginkan dan ditambahkan akuades

hingga volume 8 ml dan kocok sampai rata. Larutan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 575 nm. Pembuatan kurva standar kalibrasi menggunakan larutan glukosa dengan konsentrasi 0, 200, 400, 800 dan 1000 ppm.

### Analisa statistik

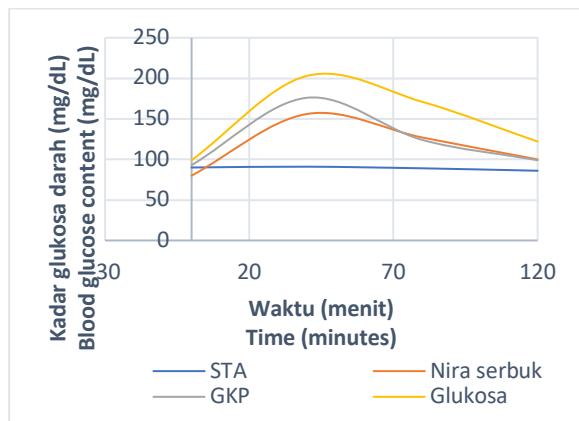
Analisa statistik dilakukan pada data hasil pengujian indeks glikemik dengan metode *in vivo* dan *in vitro*. Data diolah dengan *software* Statistic 8 untuk mendapatkan uji beda nyata dua perlakuan berpasangan, serta untuk memperoleh koefisien korelasi Pearson's.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Respon glikemik pada pengujian secara *in vivo*

Respon glikemik mengindikasikan seberapa cepat suatu karbohidrat dicerna dan terjadi peningkatan kadar glukosa darah. Kecepatan dan puncak peningkatan gula darah ini dibandingkan dengan respon glikemik dari pangan acuan yang biasanya glukosa. Respon glikemik setelah mengkonsumsi sari tebu alami, nira serbuk, gula kristal putih dan glukosa (sebagai makanan acuan) disajikan pada Gambar 1.

Gambar 1. menunjukkan peningkatan kadar gula darah paling tinggi terjadi setelah mengkonsumsi glukosa, selanjutnya gula kristal putih (GKP), nira serbuk dan terakhir sari tebu alami (STA). Kurva perubahan kadar glukosa pada Gambar 1 menunjukkan respon glikemik dari makanan yang diuji terhadap makanan acuan. Respon peningkatan gula darah yang bervariasi ini dapat disebabkan oleh banyaknya karbohidrat yang terkandung dalam makanan yang dikonsumsi, juga oleh jenis monosakarida di dalamnya (Donaldson, 2001, Hamli, 2013). Respon enzim terhadap pencernaan bahan pada usus halus dan absorpsi glukosa hasil pencernaan melewati dinding usus akan mempengaruhi peningkatan kadar gula darah (Sadakiyo *et al.*, 2017)



Gambar 1. Respon glikemik secara *in vivo* dari sari tebu alami, nira serbuk, gula kristal putih dan glukosa (makanan acuan)

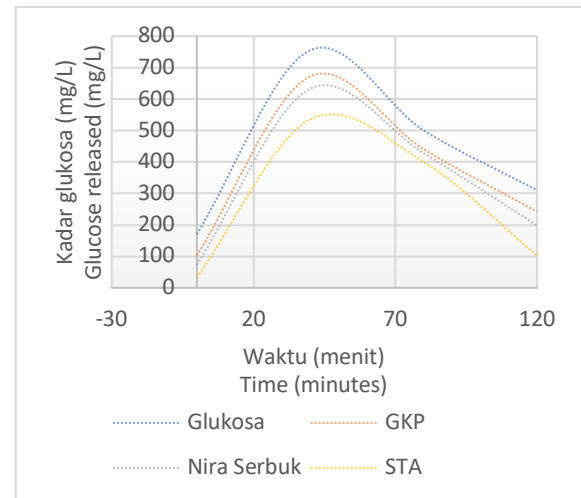
Figure 1. Glycemic response by *in vivo* of natural sugarcane juice, sugarcane juice powder, white sugar plantation and glucose as reference food

### Penentuan respon glikemik secara *in vitro*

Respon glikemik dipelajari secara *in vitro* dengan membuat simulasi sistem pencernaan di luar makhluk hidup. Peningkatan glukosa setelah mengkonsumsi makanan dapat terjadi karena pemecahan dan absorpsi karbohidrat di usus. Penentuan indeks glikemik secara *in vitro* untuk sari tebu alami, nira serbuk dan gula kristal putih disajikan pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan jumlah glukosa yang dibebaskan selama proses inkubasi diamati dalam kurun waktu 0 hingga 120 menit dari sampel sari tebu alami, nira serbuk dan gula kristal putih, dibandingkan dengan dektrosa (glukosa) sebagai acuan. Jumlah glukosa yang dibebaskan dari sampel tersebut bervariasi pada titik pengamatan waktu yang sama. Respon glikemik digambarkan sebagai banyaknya glukosa yang dibebaskan dari sampel dibandingkan dengan yang dilepas dari glukosa sebagai standar (Goni *et al.*, 1997). Respon glikemik dari penelitian ini

diurutkan dari yang paling kecil ke paling besar adalah sari tebu alami < nira serbuk < gula kristal putih < glukosa.



Gambar 2. Respon glikemik *in vitro* terhadap sari tebu alami, nira serbuk, gula kristal putih dan makanan acuan (glukosa)

Figure 2. Glycemic response by *in vitro* of natural sugarcane juice, sugarcane juice powder, white sugar plantation and glucose as reference food

### Perbandingan indeks glikemik metode *in vivo* terhadap metode *in vitro*

Respon glikemik dan indeks glikemik memiliki hubungan yang erat. Indeks glikemik merupakan perbandingan luasan area bawah kurva dari sampel makanan dibandingkan dengan luasan area bawah kurva dari makanan acuan yang mana kurva tersebut terbentuk dari respon glikemik selama 2 jam setelah mengkonsumsi makanan sebanyak 50 gram (Sadler, 2011).

Hasil penentuan nilai indeks glikemik untuk sari tebu alami, nira serbuk dan gula kristal putih disajikan pada Tabel 1. Nilai indeks glikemik sari tebu secara *in vivo* adalah  $57,95 \pm 4,11$  dan secara *in vitro* sebesar  $62,67 \pm 2,08$ . Nilai ini tergolong dalam kategori IG sedang. Kedua metode pengujian menempatkan pada kategori yang

sama meskipun nilai nominal indeks glikemik sari tebu alami secara *in vitro* lebih tinggi dibandingkan metode *in vivo*.

Tabel 1 Nilai glikemik indeks dengan metode *in vivo* dan metode *in vitro*

Table 1. Value of glycemic index using *in vivo* and *in vitro* methods

Nama produk Name of product	Nilai indeks glikemik Value of glycemic index		Kategori Classification
	Metode <i>in vivo</i> In vivo method	Metode <i>in vitro</i> In vitro method	
Sari Tebu Alami Natural Sugarcane Juice	57,95 ± 4,11	62,67 ± 2,08	Sedang Medium
Nira Serbuk Sugarcane Juice Powder	77,90 ± 1,30	76,67 ± 1,52	Tinggi High
Gula Kristal Putih Plantation White Sugar	85,4 ± 4,22	84,00 ± 1,00	Tinggi High

Tabel 1 juga menunjukkan nilai indeks glikemik nira serbuk sebesar 77,90 ± 1,30 untuk hasil pengujian secara *in vivo* dan 76,67 ± 1,52 untuk hasil pengujian *in vitro*. Nilai tersebut berada dalam kategori tinggi karena lebih dari 70 dan kedua metode baik *in vivo* maupun *in vivo* menunjukkan ke dalam kelompok yang sama.

Nilai indeks glikemik untuk gula kristal putih sebesar 85,4 ± 4,22 menggunakan metode *in vivo* dan 84,00 ± 1,00 menggunakan metode *in vivo*. Indeks glikemik contoh gula kristal putih dengan menggunakan metode *in vivo* dan *in vitro* masuk dalam kategori tinggi atau lebih dari

70. Nilai indeks glikemik sukrosa (gula kristal putih) beragam dalam kisaran 62 sampai dengan 87,4. Hal tersebut dilaporkan GI sukrosa berikut: 87,4 ± 6,3 (Lee dan Wolever, 1998); 77,6 ± 3,1 (Lee *et al.*, 2013); 65,43 (Livesey, 2003); 62 (Rytz *et al.*, 2019).

Indeks glikemik suatu bahan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Menurut Barclay *et al.* (2021), faktor-faktor tersebut antara lain: persentase karbohidrat tersedia (*available carbohydrate*) seperti gula atau pati, jenis gula (misalnya fruktosa, glukosa, sukrosa, maltose), tanaman sumber dari pati dan karakteristik fisiko-kimianya (misalnya derajat gelatinisasi, kadar amilosa, kadar amilopektin), ukuran partikel dari makanan, adanya interaksi antara protein-pati dan lemak-pati, adanya serat yang *viscous*, adanya enkapsulasi oleh dinding sel (*fibre matrix*), komposisi dan struktur makanan secara individu dan proses pengolahan pada makanan.

#### Uji t dua perlakuan dan Korelasi

Pengujian indeks glikemik secara *in vivo* dan *in vitro* pada sari tebu alami, nira serbuk, gula kristal putih dan glukosa diuji untuk mengetahui hubungan kedua metode tersebut. Secara statistik pada pengujian 2 perlakuan yang berpasangan diperoleh seperti pada Tabel 2. Hipotesis nol ( $H_0$ ) menyatakan bahwa kedua perlakuan yaitu metode *in vivo* dan *in vitro* adalah sama atau tidak berbeda nyata. Tabel 2 menunjukkan nilai  $P > 0,05$  dan  $t$  hitung  $<$  dari  $t$  tabel. Tabel 2 menunjukkan nilai  $p = 0,3061$ ,  $t$  hitung = -1,09 dan  $t$  tabel = 1,86. Kriteria ini menunjukkan bahwa hipotesis awal ( $H_0$ ) diterima, sementara hipotesis alternatif ( $H_a$ ) ditolak. Hipotesis awal ( $H_0$ ) diterima artinya kedua perlakuan tersebut, metode *in vivo* dan metode *in vitro* dalam penentuan nilai glikemik indeks tidak berbeda nyata. Korelasi Pearson menunjukkan nilai 0,9188. Hal ini berarti korelasi yang kuat dan positif pada kedua metode tersebut.

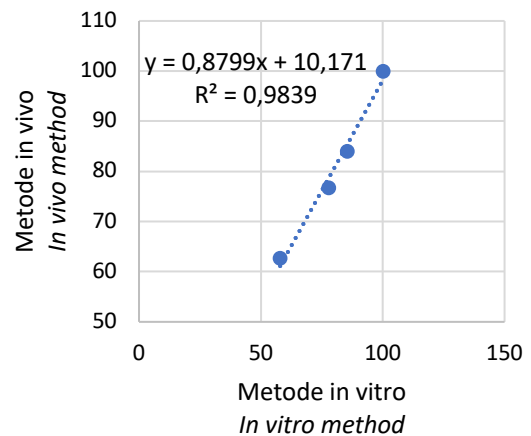
Tabel 2. Statistik untuk uji t berpasangan pada pengujian *in vitro* dan *in vivo* untuk sari tebu alami, nira serbuk dan gula kristal putih

Table 2. Statistic for t test paired on *in vitro* and *in vivo* test of sugarcane juice, sugarcane juice powder and plantation white sugar

Kriteria	Nilai
Criteria	Value
T	-1.09
P	0.3061
t Table	1.860
Korelasi Pearson	0,9188
Pearson's Correlation	0.9188

Penentuan indeks glikemik secara *in vitro* tanpa menyertakan aspek dinamik pencernaan di tubuh disebut model statis *in vitro*. Bohn *et al.* (2018) menyatakan bahwa model statis *in vitro* ini bisa saja terjadi relevan secara fisiologis. Pada pencernaan karbohidrat memiliki korelasi yang sangat baik untuk pengujian *in vitro* dan *in vivo*. Nilai indeks glikemik secara *in vitro* berkorelasi kuat dengan nilai indeks glikemik secara *in vivo* (Cairano *et al.*, 2022), meskipun demikian korelasi signifikan ini juga tergantung dari formulasi produk makanan.

Analisis korelasi merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui keeratan hubungan antara beberapa variabel. Biasanya uji korelasi berhubungan dengan uji regresi yang menunjukkan apakah masing-masing variabel saling mempengaruhi. Korelasi yang menghubungkan kedua metode *in vivo* dan *in vitro* dalam analisa indeks glikemik juga dapat dijelaskan dalam Gambar 3. Hasil rata-rata yang diperoleh dalam pengujian *in vivo* maupun *in vitro* memiliki nilai  $R^2$  sebesar 0,9839 dalam persamaan  $y = 0,8799x + 10,171$  merupakan korelasi yang baik antara keduanya.



Gambar 3. Hubungan analisa indeks glikemik menggunakan metode *in vivo* dan *in vitro*

Figure 3. Correlation of analysis of glycemic index using *in vivo* and *in vitro* methods

Menurut Monro dan Mishra (2022), nilai indeks glikemik secara *in vitro* akurat untuk memprediksikan nilai indeks glikemik *in vivo* untuk bubur nasi dengan nilai  $R^2 = 0,97$  dengan persamaan;  $y = 1,11x + 2,83$ . Namun demikian korelasi antara nilai IG *in vitro* dan IG *in vivo* untuk semua pengujian makanan berkarbohidrat dari nasi dan gandum memiliki nilai  $R^2 = 0,88$ , dengan persamaan  $y = 1,11x + 2,31$ . Analisis *in vitro* dapat menjadi alat yang akurat dan ekonomis dalam pengembangan pra klinis produk gandum utuh.

Garsetti *et al* (2005) juga telah melaporkan hubungan antara indeks glikemik secara *in vivo* dan daya cerna (*digestibility*) secara *in vitro* berkorelasi signifikan pada biskuit manis *plain*. Penentuan daya cerna secara *in vitro* menggunakan metode Engelyst *et al.*, 1999. Karakteristik indeks glikemik berkorelasi dengan pencernaan pati dan bergantung pada jenis pengolahannya.

Goni *et al.* (1997) melaporkan prediksi indeks glikemik dilakukan dengan metode *in vitro* memiliki koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,909 terhadap nilai indeks glikemik metode *in vivo*. Prediksi nilai indeks glikemik dari pangan berkarbohidrat

diperoleh dengan persamaan indeks glikemik (IG) =  $39,21 + 0,803H_{(90)}$ . Simbol H menyatakan derajat hidrolisis atau *hydrolysis index* yaitu persentase glukosa yang dibebaskan dari contoh dibandingkan dengan yang dilepaskan dari glukosa standar. Angka 90 menunjukkan waktu hidrolisis hingga 90 menit.

Secara statistik nilai indeks glikemik secara *in vitro* memungkinkan untuk pendekatan dalam penentuan indeks glikemik (Hamli, 2013). Penggunaan indeks glikemik secara *in vitro* ini bermanfaat untuk menghilangkan kebutuhan akan subyek manusia atau analisis darah untuk mengukur indeks glikemik dalam makanan multi komponen.

### KESIMPULAN

Hasil analisis indeks glikemik secara *in vivo* didapatkan nilai rerata sebagai berikut: sari tebu alami 57,96; nira serbuk 77,37; gula kristal putih 85,78. Hasil analisis indeks glikemik secara *in vitro* didapatkan hasil rerata sebagai berikut: sari tebu alami 62,69 ; nira serbuk 76,68 ; dan gula kristal putih 86,72. Uji t dari dua perlakuan metode *in vivo* dan *in vitro* untuk pengujian indeks glikemik menunjukkan kedua metode tersebut tidak berbeda nyata dan nilai korelasi sebesar 0,9188. Hasil pengujian *in vitro* dibandingkan dengan *in vivo* menunjukkan bahwa metode *in vitro* dapat digunakan substitusi dari metode *in vivo*.

### DAFTAR PUSTAKA

Argyri, K., Anthnasatou, A., Binga, M., and Kapsokefalou, M. (2016) 'The potential of an in vitro digestion method for predicting glycemic response of foods and meal', *Nutrients*, 8 (4): p209-20.

Atkinson, F.S., Miller, JCB., Powell, KF., Buyken, AE. and Goletzke, J. (2021) 'International tables of glycemic index and glycemic load values 2021: a systematic review',

*American Journal of Clinical Nutrition*, 00: p1-8.

- Barclay, A.W., Augustin, LSA., Brighenti, F., Delpont, E., Henry, C.J., Sievenpiper, J.L., Usic, K., Yuexin, Y., Zurbau, A., Wolever, TMS., Astrup, A., Bulló, M., et al (15 authors) (2021) 'Review: Dietary glycaemic index labelling: A global perspective, *Nutrients*, 13(3244):1-22.
- Bellmann, S., Minekus, M., Sanders, P., Bosgra, S. and Havenaar, R. (2017) 'Human glycemic response curves after intake of carbohydrate foods are accurately predicted by combining in vitro gastrointestinal digestion with in silico kinetic modeling', *Clinical Nutrition Experimental*, 30: p1-15.
- Bohn, T., Carriere, F., Day, L., Deglaire, A., Egger, D., Golding, M., Le-Feunteun, A., Menard, O., Miralles, B., Moscovici, A., Portman, R., Recio, I., Remond, D., Choutelier, VS., Wooster, T, Lesmes, U, Machie, A., Dupont. (2018) 'Correlation between in vitro and in vivo data on food digestion. What can we predict with static in vitro digestion models?' *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58 (13). p2239-2261. ISSN 1040-8398.
- Brodkorb, A, Egger, L, Alminger, M., Alvito, P., Assuncao, R., Ballance, S., Bohn, T., Lacanal, C.B., Boutrou, R., Carrière, F. *et al.* (25 more authors) (2019) 'INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion', *Nature Protocols*, 14 (4): p991-1014. ISSN 1754-2189 <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>
- Brouns, F., Bjorck, I., Frayn, K.N., Gibbs, A.L., Lang, V., Slama, G. and Wolever, T.M.S. (2005) 'Glycaemic index methodology,



- Nutrition Research Reviews*, 18: 145–171.
- Cairano, M.D., Magaia, F.L.T., Condelli, N., Cela, N., Ojo, C.C., Radecka, I., Dunmore, S. and Galgano, F. (2022) ‘Glycemic index of gluten-free biscuits with resistant starch and sucrose replacers: An in vivo and in vitro comparative study’, *Foods*, 11, 3253.  
<https://doi.org/10.3390/foods11203253>.
- Donaldson, M., (2001) ‘The effect of carrot juice on blood glucose level’ *Hallelujah Acres Foundation*. p1-9.
- Englyst, K., Englyst, H., Hudson, G., Cole, T., and Cummings, J: (1999) ‘Rapidly available glucose in foods: an in vitro measurement that reflects the glycemic response. *Am J Clin Nutr*, 69: p448–454.
- Garsetti, M., Vinoy, S., Lang, V., Holt, S., Loyer, S., Miller, J.C.B. (2005) ‘The glycemic and insulinemic index of plain sweet biscuits: relationships to in vitro starch digestibility’, *Journal of the American College of Nutrition*, 24(6): p441–447.
- Goni, I., Alonso, A.G. and Calixto, F.S. (1997) ‘A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index’, *Nutrition Research*, 17(3): p427-437.
- Gourineni, V., Stewart, M.L., Skorge, R. and Wolever, T. (2019) ‘Glycemic Index of Slowly Digestible Carbohydrate Alone and in Powdered Drink-Mix’, *Nutrients*, 11(1228): 1-9.  
doi:10.3390/nu11061228
- Hamli, S (2013) ‘Prediction of the glycaemic index of simple and composite dishes’, *Disertation of PhD*, University of Leeds.
- International Diabetes Federation (2021) *IDF Diabetes Atlas*, 10th ed. International Diabetes Federation: Brussels, Belgium.
- Jones, J.M. (2007). Glycemic response definitions. *AACC International*. 27 (2): 54-55.
- Koseoglu, S.Z.A. and Celikel, S. (2022) ‘In vitro digestibility and predicted glycemic index of commonly consumed some Turkish traditional foods’, *Food Science and Technology*, 42: 1-8.
- Lee, K., Moon, S., Jung, S., Je Park, Y., Yoon, S., Choe, K., and Yang, C. (2013) ‘Glycemic index of sucrose with d-xylose (XF) in human’, *Current Topics in Nutraceutical Research*, 11(1/2): p35-40.
- Lee, BM. and Wolever, TMS. (1998) ‘Effect of glucose, sucrose and fructose on plasma glucose and insulin responses in normal humans: comparison with white bread’, *European Journal of Clinical Nutrition*, 52: p924-928.
- Leoro, M.G.V., Clerici, M.T.P.S., Chang, Y.K. and Steel, C.J. (2010) ‘Evaluation of the in vitro glycemic index of a fiber-rich extruded breakfast cereal produced with organic passion fruit fiber and corn flour’, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30(4): p964–68.
- Livesey, G. (2003) ‘Health potential of polyols as sugar replacers, with emphasis on low glycaemic properties’, *Nutrition Research Reviews*, 16: p163–191.
- Miller, G.L. (1959) ‘Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar’, *Journal of Analytical Chemistry*, 31, 426-428.
- Miller, J.C.B. (2004) ‘Testing the glycaemic index of foods: in vivo, not in vitro’, *European Journal of Clinical Nutrition*, 58: p700–701.  
doi:10.1038/sj.ejcn.1601856.
- Monro, J. and Mishra, S. (2022) ‘In vitro digestive analysis of digestible and resistant starch fractions, with concurrent glycemic index determination, in whole grain wheat

- products minimally processed for reduced glycaemic impact', *Foods*, 11(1904): 1-12, <https://doi.org/10.3390/foods11131904>.
- Nurhayati, A.D., Rimbawan, R., Anwar, F. dan Winarto, A. (2019) 'Potensi penggunaan metode in vitro dalam memperkirakan pemeringkatan indeks glikemik in vivo pada beberapa varietas beras yang dimasak', *Indonesian Journal of Human Nutrition*, 6(2): hlm. 119 – 138.
- Rytz, A., Adeline, D., Lê, K.A., Tan, D., Lamothe, L., Roger, O. and Macé, K. (2019) 'Predicting glyceimic index and glyceimic load from macronutrients to accelerate development of foods and beverages with lower glucose responses', *Nutrients*, 11(1172): p1-11. doi:10.3390/nu11051172.
- Sadakiyo, T., Ishida, Y., Inoue, S., Taniguchi, Y., Sakurai, T., Takagaki, R., Kurose, M., Mori, T., Yamashita, A.Y., Mitsuzumi, H., Kubota, M., Watanabe, H. and Fukuda, S. (2017) 'Attenuation of postprandial blood glucose in humans consuming isomaltodextrin: carbohydrate loading studies', *Food & Nutrition Research*, 61: p1-10.
- Sadler, M (2011) 'Food, Glycaemic Response and Health', *ILSI Europe Consice Monograph series*, International Life Science Institute, Brussels, Belgium, pp 1-28.
- Sagili, V.S., Chakrabarti, P., Jayanty, S., Kardile, H. and Sathuvalli, V. (2022) 'Review: The glyceimic index and human health with an emphasis on potatoes', *Foods*, 11, 2302. <https://doi.org/10.3390/foods11152302>
- Shkempi, B. and Huppertz, T. (2023) 'Glyceimic responses of milk and plant-based drinks: food matrix effects', *Foods*, 12(453): p1-18.
- Sun, Y., Zhong, C., Zhou, Z., Lei, Z. and Langris, T.A.G. (2022) 'Review. A review of in vitro methods for measuring the glyceimic index of single foods: Understanding the interaction of mass transfer and reaction engineering by dimensional analysis', *Processes*, 10(759): p1-17.
- Whelan, W.J., Hollar, D., Agatston, A., Dodson, H.J. and Tahal, D.S. (2010) 'The glyceimic response is a personal attribute' *Life*, 62(8): p637–641.
- World Health Organization, (1998) 'Carbohydrate in human nutrition: the role of the glyceimic index in food choice