

Pengaruh Proses Pengolahan Tepung Beras, Nasi, dan Intip Terhadap Profil Glukosa Darah Tikur Wistar (*Rattus Norvegicus*) Diabetes Tipe 2 yang Diinduksi Streptozotocin-Nicotinamide (STZ-NA)

Nurchalisah Rustan Massinai

Universitas Halu Oleo, Indonesia

Email: nurchalisahrustanm@uho.ac.id

Abstrak

Diabetes mellitus tipe 2 merupakan penyakit kronis yang ditandai dengan peningkatan kadar glukosa darah akibat kerusakan sel beta pankreas. Salah satu strategi pengelolaan diabetes adalah modifikasi bahan pangan untuk menurunkan indeks glikemik melalui proses pengolahan yang dapat meningkatkan kandungan pati resisten. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh tepung beras, tepung nasi, dan tepung intip terhadap profil glukosa darah tikus Wistar diabetes tipe 2 yang diinduksi dengan STZ-NA (*Streptozotocin-Nicotinamide*). Metode penelitian menggunakan *true-experimental* dengan rancangan *randomized controlled group pre-posttest design*. Dua belas ekor tikus jantan galur Wistar berusia 2 bulan dengan berat 180-200 g dibagi menjadi empat kelompok: kontrol (pakan standar AIN-93M), kelompok tepung beras, kelompok tepung nasi, dan kelompok tepung intip. Tikus diinduksi diabetes dengan injeksi NA (110 mg/kg BB) dan STZ (45 mg/kg BB) secara intraperitoneal. Intervensi dilakukan selama 7 hari dengan pengukuran kadar glukosa darah menggunakan metode GOD-PAP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga kelompok perlakuan (tepung beras, nasi, dan intip) berhasil menurunkan kadar glukosa darah secara signifikan ($p < 0,05$) dibandingkan kelompok kontrol. Penurunan kadar glukosa darah pada kelompok tepung beras, nasi, dan intip berturut-turut adalah 88,08 mg/dL, 85,30 mg/dL, dan 97,04 mg/dL. Tepung intip menunjukkan efek hipoglikemik terbaik. Proses pengolahan bahan pangan berbasis beras melalui modifikasi fisik dapat meningkatkan kandungan pati resisten dan menurunkan kadar glukosa darah pada tikus diabetes.

Kata Kunci: *Diabetes Melitus Tipe 2, Indeks Glikemik, Pati Resisten, Tepung Beras, Tepung Intip, Tepung Nasi.*

The Effect of Rice Flour, Rice, and Intip Processing on the Blood Glucose Profile of Wistar Rats (*Rattus Norvegicus*) with Type 2 Diabetes Induced by Streptozotocin-Nicotinamide (STZ-NA)

Abstract

Type 2 diabetes mellitus is a chronic disease characterized by increased blood glucose levels due to damage to pancreatic beta cells. One strategy for managing diabetes is modifying food ingredients to lower the glycemic index through processing that can increase resistant starch content. This study aims to evaluate the effect of rice flour, rice flour, and intip flour on the blood glucose profile of type 2 diabetic Wistar rats induced with STZ-NA (*Streptozotocin-Nicotinamide*). The research method used a *true-experimental* with a *randomized controlled group pre-posttest design*. Twelve male Wistar rats

aged 2 months weighing 180-200 g were divided into four groups: control (standard AIN-93M feed), rice flour group, rice flour group, and intip flour group. Rats were induced with diabetes by intraperitoneal injection of NA (110 mg/kg BW) and STZ (45 mg/kg BW). The intervention was carried out for 7 days with blood glucose levels measured using the GOD-PAP method. The results showed that all three treatment groups (rice flour, rice, and intip) significantly reduced blood glucose levels ($p < 0.05$) compared to the control group. The reduction in blood glucose levels in the rice flour, rice, and intip groups was 88.08 mg/dL, 85.30 mg/dL, and 97.04 mg/dL, respectively. Intip flour showed the best hypoglycemic effect. The processing of rice-based food ingredients through physical modification can increase resistant starch content and reduce blood glucose levels in diabetic rats.

Keywords: *Diabetes Mellitus Type 2, Glycemic Index, Resistant Starch, Rice Flour, Intip Flour, Rice Flour.*

PENDAHULUAN

Diabetes mellitus adalah penyakit metabolik kronis yang kasusnya semakin meningkat di seluruh dunia (Antar et al., 2023; Dilworth, Facey, and Omoruyi, 2021). Berdasarkan data International Diabetes Federation (IDF) tahun 2021, penderita diabetes yang berusia 20-79 tahun di dunia mencapai 537 juta orang dan diperkirakan akan meningkat menjadi 643 juta pada tahun 2030 dan 783 juta pada tahun 2045 (Magliano and Boyko, 2021). Tahun 2021, Indonesia melaporkan 19.465 penderita diabetes dengan jumlah kematian akibat penyakit ini mencapai 236.711 jiwa, yang meningkat cukup signifikan dibandingkan dengan 149.872 jiwa pada tahun 2011 (Aditya Senaputra et al., 2024).

Diabetes mellitus tipe 2 ditandai oleh kerusakan sel beta pankreas yang mengakibatkan produksi insulin tidak memadai atau penurunan efektivitas penggunaan insulin oleh tubuh (Antar et al., 2023). Kerusakan sel beta ini dapat dipicu oleh berbagai faktor, termasuk predisposisi genetik, infeksi mikroorganisme, asupan nutrisi yang tidak seimbang, paparan zat diabetogenik, serta radikal bebas melalui mekanisme stres oksidatif (Dinić et al., 2022; Ikegami, Babaya, and Noso, 2021; Singh et al., 2024). Kondisi hiperglikemia yang berlangsung kronis berpotensi menimbulkan komplikasi serius seperti nefropati, retinopati, dan neuropati diabetik (Kulkarni, Thool, and Daigavane, 2024; Młynarska et al., 2025).

Penatalaksanaan diabetes mellitus tidak semata-mata mengandalkan terapi farmakologis, tetapi juga menekankan pentingnya pendekatan non-farmakologis, salah satunya melalui perubahan gaya hidup dengan pengaturan pola makan (Alfaifi, 2023; Raveendran, Chacko, and Pappachan, 2018). Beras, sebagai makanan pokok mayoritas masyarakat Indonesia, memiliki indeks glikemik relatif tinggi dibandingkan dengan sumber karbohidrat lain, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan kadar glukosa darah postprandial ("Hypoglycemic Activity of Some Indonesian Rice Varieties," 2006; Jukanti, Pautong, Liu, and Sreenivasulu, 2020; Saleh, 2025). Konsumsi pangan dengan indeks glikemik tinggi dapat menjadi faktor risiko terjadinya diabetes mellitus sekaligus memperburuk kondisi penderita yang telah terdiagnosis (Jarvis, Cardin, Nisevich-Bede, and McCarter, 2023; Mavroeidi et al., 2024).

Salah satu pendekatan untuk menurunkan indeks glikemik bahan pangan adalah melalui peningkatan kandungan pati resisten (resistant starch) dengan modifikasi proses

pengolahan (Farooq and Yu, 2024; Pugh, Cai, Altieri, and Frost, 2023). Pati resisten merupakan fraksi pati yang tidak dapat diuraikan oleh enzim amilase di usus halus, sehingga tidak memicu lonjakan glukosa darah secara signifikan. Modifikasi pati dapat dilakukan melalui metode fisik, kimia, maupun enzimatik. Secara fisik, perlakuan pemanasan, pendinginan, dan retrogradasi terbukti mampu mengubah struktur pati sehingga meningkatkan pembentukan pati resisten (Compart, Singh, Fettke, and Apriyanto, 2023; Wang et al., 2023a).

Penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi pengaruh variasi proses pengolahan beras (tepung beras, tepung nasi, dan tepung intip) terhadap profil glukosa darah pada tikus Wistar diabetes tipe 2 yang diinduksi dengan STZ-NA.

METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan meliputi komposisi diet pakan standar AIN-93M, tepung beras komersial, tepung nasi yang dibuat dari beras yang dimasak kemudian dikeringkan dan digiling, dan tepung intip yang dibuat dari kerak nasi kering yang digiling. Bahan untuk pemeliharaan tikus adalah tikus jantan galur Wistar, STZ (Streptozotocin), NA (Nicotinamide), buffer sitrat, dan saline water. Analisis glukosa darah menggunakan Glucose GOD FS Kit produksi DiaSys Diagnostic Systems.

Peralatan yang digunakan antara lain penanak nasi, cabinet dryer, grinder, timbangan digital, kandang tikus individual, syringe 1 mL, mikrohematokrit, microtube 1,5 mL, centrifuge, mikropipet, vortex, dan spektrofotometer UV-Vis.

Subjek Penelitian

Subjek penelitian adalah 12 ekor tikus jantan galur Wistar berusia 2 bulan dengan berat badan 180-200 g yang diperoleh dari Lembaga Pengembangan dan Penelitian Terpadu (LPPT) UGM. Tikus dibagi menjadi empat kelompok secara acak: Kelompok A (kontrol) diberi pakan standar AIN-93M, Kelompok B diberi pakan dengan substitusi tepung beras, Kelompok C diberi pakan dengan substitusi tepung nasi, dan Kelompok D diberi pakan dengan substitusi tepung intip.

Induksi Diabetes Mellitus

Induksi diabetes dilakukan dengan injeksi nicotinamide (NA) 110 mg/kg berat badan dalam saline water secara intraperitoneal, diikuti dengan injeksi STZ 45 mg/kg berat badan dalam buffer sitrat 0,1 M pH 4,5 setelah 15 menit. Pemeriksaan kadar glukosa darah dilakukan 72 jam setelah induksi. Tikus dinyatakan diabetes jika kadar glukosa darah puasa >250 mg/dL.

Pengukuran Kadar Glukosa Darah

Pengambilan sampel darah dilakukan melalui retro orbital plexus menggunakan mikrohematokrit. Sampel darah disentrifugasi 4000 rpm selama 15 menit. Serum diambil 10 µL dan ditambahkan 1 mL reagen GOD-PAP, divortex 5 detik, diinkubasi 20 menit pada suhu 20-25°C. Absorbansi diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 500 nm.

Analisis Statistik

Data dianalisis menggunakan uji One Way ANOVA dilanjutkan dengan uji Duncan pada tingkat signifikansi $p < 0,05$. Untuk membandingkan data sebelum dan sesudah perlakuan pada masing-masing kelompok digunakan uji Paired T-Test.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pengaruh Jenis Pakan Terhadap Parameter Fisiologis Tikus

Parameter fisiologis seperti penambahan berat badan (*Body Weight Gain*/BWG), konsumsi pakan (*Feed Intake*/FI), dan rasio efisiensi pakan (*Feed Efficiency Ratio*/FER) merupakan indikator penting dalam menilai respon tikus terhadap perlakuan pakan yang diberikan. BWG menggambarkan perubahan berat badan sebagai akibat dari metabolisme energi dan nutrisi, FI menunjukkan jumlah pakan yang dikonsumsi, sedangkan FER mencerminkan kemampuan hewan uji dalam mengonversi pakan menjadi penambahan berat badan.

Dalam penelitian ini, tikus dibagi menjadi beberapa kelompok perlakuan yaitu kontrol negatif, pakan berbasis tepung beras, tepung nasi, dan tepung intip. Pengamatan dilakukan untuk mengetahui bagaimana jenis pakan tersebut memengaruhi kinerja fisiologis tikus, terutama dalam kondisi diabetes yang memengaruhi metabolisme energi. Hasil pengukuran ketiga parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh Jenis Pakan Terhadap

Body Weight Gain (BWG), *Feed Intake* (FI), dan *Feed Efficiency Ratio* (FER)

Jenis Perlakuan	Body Weight Gain (BWG) (%)	Feed Intake (FI) (g)	Feed Efficiency Ratio (FER) (g)
Kontrol (-)	$-2,13 \pm 1,09^a$	$138,33 \pm 11,37^a$	$-0,03 \pm 0,11^a$
Tepung beras	$3,61 \pm 0,83^b$	$144,00 \pm 4,00^a$	$0,05 \pm 0,11^b$
Tepung nasi	$3,21 \pm 0,50^b$	$127,67 \pm 4,95^a$	$0,04 \pm 0,06^b$
Tepung Intip	$3,51 \pm 0,75^b$	$136,00 \pm 0,00^a$	$0,05 \pm 0,09^b$

Data yang ditampilkan yaitu rata-rata dengan $\pm$ standar deviasi, ($n = 3$ untuk Kelompok Kontrol, Rice Flour, Intip Flour (Scorched Rice Flour); $n = 2$ untuk kelompok Cooked Rice Flour). Nilai dengan perbedaan superskrip menandakan perbedaan signifikan dengan $p < 0,05$.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelompok kontrol memiliki perbedaan signifikan ($p < 0,05$) pada parameter *Body Weight Gain* (BWG) dan *Feed Efficiency Ratio* (FER) dibandingkan kelompok perlakuan. BWG pada kelompok kontrol adalah $-2,13 \pm 1,09\%$, sedangkan kelompok tepung beras, nasi, dan intip berturut-turut menunjukkan BWG positif sebesar $3,61 \pm 0,83\%$, $3,21 \pm 0,50\%$, dan $3,51 \pm 0,75\%$.

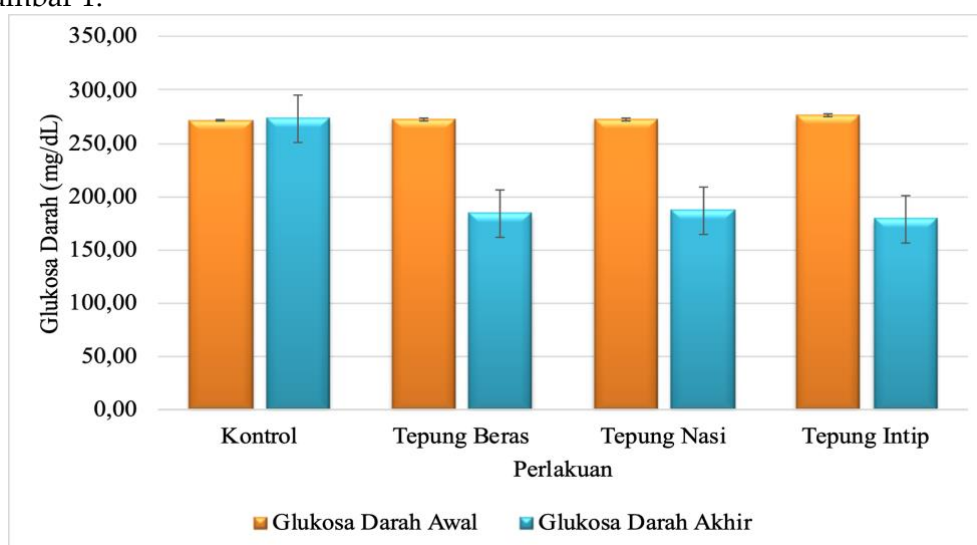
Penurunan berat badan pada kelompok kontrol disebabkan oleh kondisi diabetes yang mengakibatkan gangguan metabolisme karbohidrat, protein, dan lemak (Banday, Sameer, and Nissar, 2020; Jensen et al., 2022). Defisiensi insulin menyebabkan tubuh tidak dapat menggunakan glukosa sebagai sumber energi utama, sehingga terjadi lipolisis dan proteolisis untuk memenuhi kebutuhan energi (Adeva-Andany, Funcasta-Calderón,

Fernández-Fernández, Castro-Quintela, and Carneiro-Freire, 2019; Dimitriadis, Maratou, Kountouri, Board, and Lambadiari, 2021). Sebaliknya, peningkatan berat badan pada kelompok perlakuan mengindikasikan adanya perbaikan metabolisme glukosa akibat kandungan pati resisten dalam pakan yang diberikan (Birt et al., 2013; Pugh et al., 2023).

FER pada kelompok kontrol menunjukkan nilai negatif ($-0,03 \pm 0,11$ g/g), sedangkan kelompok perlakuan menunjukkan nilai positif yang tidak berbeda signifikan antar kelompok ($0,05 \pm 0,11$ g/g untuk tepung beras, $0,04 \pm 0,06$ g/g untuk tepung nasi, dan $0,05 \pm 0,09$ g/g untuk tepung intip). Nilai FER yang positif pada kelompok perlakuan menunjukkan efisiensi penggunaan pakan yang lebih baik dibandingkan kelompok kontrol.

Pengaruh Jenis Pakan Terhadap Kadar Glukosa Darah

Kadar glukosa darah merupakan salah satu parameter utama dalam menilai kondisi fisiologis tikus diabetes serta efektivitas perlakuan pakan yang diberikan (Aini, Sustriawan, Wahyuningsih, and Mela, 2022; Hitchen, Norwood, Gault, and Leslie, 2021). Stabilitas atau penurunan kadar glukosa darah setelah intervensi dapat mencerminkan adanya perbaikan metabolisme karbohidrat (Sakuma et al., 2009; Zafar et al., 2019). Pada penelitian ini, kadar glukosa darah diukur sebelum dan sesudah perlakuan untuk membandingkan efek dari pakan tepung beras, tepung nasi, dan tepung intip terhadap kondisi hiperglikemia yang diinduksi. Perubahan kadar glukosa darah pada setiap kelompok perlakuan ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh Jenis Pakan Terhadap Kadar Glukosa Darah (Rata-rata+SD)

Hasil yang paling signifikan terlihat pada parameter kadar glukosa darah. Kelompok kontrol menunjukkan kadar glukosa darah yang relatif stabil selama periode intervensi (271,36 mg/dL menjadi 273,03 mg/dL), sedangkan ketiga kelompok perlakuan menunjukkan penurunan kadar glukosa darah yang signifikan.

Kelompok tepung beras mengalami penurunan dari 272,56 mg/dL menjadi 184,48 mg/dL (penurunan 88,08 mg/dL). Kelompok tepung nasi mengalami penurunan dari 272,32 mg/dL menjadi 187,02 mg/dL (penurunan 85,30 mg/dL). Kelompok tepung intip

menunjukkan penurunan terbesar dari 276,05 mg/dL menjadi 179,01 mg/dL (penurunan 97,04 mg/dL).

Efek hipoglikemik yang diamati pada ketiga kelompok perlakuan dapat dijelaskan melalui mekanisme aksi pati resisten (Birt et al., 2013; Hu et al., 2025; Noraidah, Mansoor, Zainol, Ahmad Hazim, and Hasmadi, 2023). Proses pengolahan yang berbeda pada masing-masing tepung menghasilkan kandungan pati resisten yang berbeda pula (Candal and Erbas, 2019). Tepung beras diperoleh melalui penggilingan langsung tanpa pemanasan, sehingga struktur pati relatif tidak berubah (Paul Van Leeuwen et al., 2021; Qiu, Li, Li, Corke, and Sui, 2019). Tepung nasi mengalami proses gelatinisasi selama pemasakan, pengeringan, dan penggilingan yang dapat meningkatkan pembentukan pati resisten melalui proses retrogradasi (Hasjim, Li, and Dhital, 2013; Yu et al., 2024b). Tepung intip, yang merupakan kerak nasi, mengalami proses pemanasan yang lebih intensif sehingga berpotensi memiliki kandungan pati resisten tertinggi (Aini, Dewi, Asyifa, and Sofyan, 2020; Lee, No, Lee, and Shin, 2020).

Pati resisten berperan sebagai serat fungsional yang tidak dapat dicerna oleh enzim amilase di usus halus (Birt et al., 2013; Bojarczuk, Skapska, Mousavi Khaneghah, and Marszałek, 2022b; Wang et al., 2023a). Fermentasi pati resisten oleh mikrobiota kolon menghasilkan asam lemak rantai pendek (SCFA) seperti asetat, propionat, dan butirat (Chen et al., 2024; Deleu, Machiels, Raes, Verbeke, and Vermeire, 2021). SCFA dapat meningkatkan sekresi GLP-1 (*Glucagon-Like Peptide-1*) yang berperan dalam homeostasis glukosa melalui stimulasi sekresi insulin, peningkatan sensitivitas insulin, dan preservasi fungsi sel beta pankreas (Hasjim et al., 2013; Puddu, Sanguineti, Montecucco, and Viviani, 2014; Rustan Massinai, Wahyuni, Massinai, and Febryansyah Pagala, 2025).

Induksi STZ-NA menyebabkan kerusakan selektif pada sel beta pankreas melalui mekanisme oksidasi DNA dan deplesi NAD⁺ (Szkudelski, 2012; Zhu, 2022). Pemberian pakan dengan kandungan pati resisten dapat memberikan efek protektif terhadap sel beta pankreas melalui beberapa mekanisme. Pertama, penurunan beban glikemik postprandial mengurangi stres oksidatif pada sel beta pankreas. Kedua, SCFA hasil fermentasi pati resisten memiliki efek anti-inflamasi yang dapat melindungi sel beta pankreas dari kerusakan lebih lanjut (Bojarczuk et al., 2022b; Dong, Perreau, Thabuis, Yu, and Hasjim, 2025; Pugh et al., 2023).

Penelitian ini menunjukkan bahwa konsumsi beras dengan karakteristik tertentu dapat memengaruhi respon glikemik dan berpotensi mendukung pengelolaan diabetes. Meta-analisis diet beras merah tidak secara signifikan memperbaiki kadar HbA1c dan gula darah puasa dibandingkan beras putih (Abdul Rahim, Norhayati, and Zainudin, 2021), namun dapat menurunkan berat badan dan meningkatkan kadar HDL-kolesterol. Sementara itu, Sri Widowati et al., (2006), melaporkan bahwa beberapa varietas lokal Indonesia, terutama Cisokan dan Batang Piaman, memiliki aktivitas hipoglikemik lebih baik dibanding varietas lain, yang dipengaruhi oleh kandungan amilosa, pati resisten, dan serat pangan.

Penelitian sebelumnya oleh Velanie et al., (2017) juga melaporkan efek hipoglikemik tepung beras merah pada tikus diabetes, yang mendukung temuan penelitian ini. Namun, penelitian ini memberikan kontribusi baru dengan membandingkan efek tiga jenis pengolahan beras yang berbeda dan menunjukkan bahwa tepung intip memiliki efek hipoglikemik terbaik.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa proses pengolahan beras menjadi tepung beras, tepung nasi, dan tepung intip dapat menurunkan kadar glukosa darah pada tikus Wistar diabetes tipe 2 yang diinduksi STZ-NA. Tepung intip menunjukkan efek hipoglikemik terbaik dengan penurunan kadar glukosa darah sebesar 97,04 mg/dL, diikuti tepung beras (88,08 mg/dL) dan tepung nasi (85,30 mg/dL). Efek ini diduga berkaitan dengan peningkatan kandungan pati resisten akibat proses pengolahan yang dapat memperbaiki homeostasis glukosa dan fungsi sel beta pankreas. Modifikasi proses pengolahan bahan pangan berbasis beras berpotensi dikembangkan sebagai strategi dietary intervention untuk pengelolaan diabetes mellitus tipe 2.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Rahim, A. F., Norhayati, M. N., and Zainudin, A. M. (2021). The effect of a brown-rice diets on glycemic control and metabolic parameters in prediabetes and type 2 diabetes mellitus: A meta-analysis of randomized controlled trials and controlled clinical trials. *PeerJ*, 9. <https://doi.org/10.7717/peerj.11291>
- Adeva-Andany, M. M., Funcasta-Calderón, R., Fernández-Fernández, C., Castro-Quintela, E., and Carneiro-Freire, N. (2019, March 1). Metabolic effects of glucagon in humans. *Journal of Clinical and Translational Endocrinology*, Vol. 15, pp. 45–53. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jcte.2018.12.005>
- Aditya Senaputra, M., Patologi Klinik, D., Kedokteran, F., Ariningrum, D., Savitri, S., and Murti Sutantyo, K. (2024). Peningkatan Pengetahuan Penderita Diabetes Melitus tentang Modifikasi Lifestyle di RSUD Dr. Moewardi Surakarta. In *SSEJ* (Vol. 4).
- Aini, N., Dewi, S., Asyifa, S. N., and Sofyan, A. (2020). *Review The Utilization of Resistant Starch in Aking Rice Flour as Anti-Diabetic Food Ingredients*.
- Aini, N., Sustriawan, B., Wahyuningsih, N., and Mela, E. (2022). Blood Sugar, Haemoglobin and Malondialdehyde Levels in Diabetic White Rats Fed a Diet of Corn Flour Cookies. *Foods*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/foods11121819>
- Alfaifi, A. (2023). Association between non-pharmacological therapy and healthcare use and expenditure of patients with diabetes mellitus. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 31(8). <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2023.06.018>
- Antar, S. A., Ashour, N. A., Sharaky, M., Khattab, M., Ashour, N. A., Zaid, R. T., ... Al-Karmalawy, A. A. (2023, December 1). Diabetes mellitus: Classification, mediators, and complications; A gate to identify potential targets for the development of new effective treatments. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, Vol. 168. Elsevier Masson s.r.l. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115734>
- Banday, M. Z., Sameer, A. S., and Nissar, S. (2020). Pathophysiology of diabetes: An overview. *Avicenna Journal of Medicine*, 10(04), 174–188. https://doi.org/10.4103/ajm.ajm_53_20
- Birt, D. F., Boylston, T., Hendrich, S., Jane, J. L., Hollis, J., Li, L., ... Whitley, E. M. (2013). Resistant starch: Promise for improving human health. *Advances in Nutrition*, Vol. 4, pp. 587–601. American Society for Nutrition. <https://doi.org/10.3945/an.113.004325>

- Bojarczuk, A., Skąpska, S., Mousavi Khaneghah, A., and Marszałek, K. (2022, June 1). Health benefits of resistant starch: A review of the literature. *Journal of Functional Foods*, Vol. 93. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105094>
- Candal, C., and Erbas, M. (2019). The effects of different processes on enzyme resistant starch content and glycemic index value of wheat flour and using this flour in biscuit production. *Journal of Food Science and Technology*, 56(9), 4110–4120. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03880-w>
- Chen, Z., Liang, N., Zhang, H., Li, H., Guo, J., Zhang, Y., ... Shi, N. (2024). Resistant starch and the gut microbiome: Exploring beneficial interactions and dietary impacts. *Food Chemistry: X*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101118>
- Compart, J., Singh, A., Fettke, J., and Apriyanto, A. (2023, August 1). Customizing Starch Properties: A Review of Starch Modifications and Their Applications. *Polymers*, Vol. 15. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/polym15163491>
- Deleu, S., Machiels, K., Raes, J., Verbeke, K., and Vermeire, S. (2021, April 1). Short chain fatty acids and its producing organisms: An overlooked therapy for IBD? *EBioMedicine*, Vol. 66. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2021.103293>
- Dilworth, L., Facey, A., and Omoruyi, F. (2021, July 2). Diabetes mellitus and its metabolic complications: The role of adipose tissues. *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 22. MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijms22147644>
- Dimitriadis, G. D., Maratou, E., Kountouri, A., Board, M., and Lambadiari, V. (2021, January 1). Regulation of postabsorptive and postprandial glucose metabolism by insulin-dependent and insulin-independent mechanisms: An integrative approach. *Nutrients*, Vol. 13, pp. 1–33. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu13010159>
- Dinić, S., Arambašić Jovanović, J., Uskoković, A., Mihailović, M., Grdović, N., Tolić, A., ... Vidaković, M. (2022, September 23). Oxidative stress-mediated beta cell death and dysfunction as a target for diabetes management. *Frontiers in Endocrinology*, Vol. 13. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.1006376>
- Dong, K., Perreau, C., Thabuis, C., Yu, S., and Hasjim, J. (2025, September 1). Physicochemical properties and health benefits of resistant starch, resistant dextrin, and polydextrose: Similarities and differences. *Grain and Oil Science and Technology*, Vol. 8, pp. 221–234. KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2025.04.001>
- Farooq, M. A., and Yu, J. (2024, September 1). Recent Advances in Physical Processing Techniques to Enhance the Resistant Starch Content in Foods: A Review. *Foods*, Vol. 13. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/foods13172770>
- Hasjim, J., Li, E., and Dhital, S. (2013). Milling of rice grains: Effects of starch/flour structures on gelatinization and pasting properties. *Carbohydrate Polymers*, 92(1), 682–690. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.09.023>
- Hitchen, B., Norwood, K., Gault, V. A., and Leslie, J. C. (2021). Behavioural evaluation of mouse models of type 2 diabetes. *Learning and Motivation*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.lmot.2021.101730>

- Hu, J., Huang, R., Guo, J., Li, J., Yang, X., Deng, X., ... Gu, Z. (2025). Hypoglycemic effect of *Trichosanthis Radix* resistant starch combined with rutin on diabetic mice. *Food Bioscience*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105609>
- Hypoglycemic activity of some Indonesian rice varieties. (2006). In *Indonesian Journal of Agricultural Science* (Vol. 7).
- Ikegami, H., Babaya, N., and Noso, S. (2021, September 1). β -Cell failure in diabetes: Common susceptibility and mechanisms shared between type 1 and type 2 diabetes. *Journal of Diabetes Investigation*, Vol. 12, pp. 1526–1539. John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/jdi.13576>
- Jarvis, P. R. E., Cardin, J. L., Nisevich-Bede, P. M., and McCarter, J. P. (2023, September 1). Continuous glucose monitoring in a healthy population: understanding the post-prandial glycemic response in individuals without diabetes mellitus. *Metabolism: Clinical and Experimental*, Vol. 146. W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2023.155640>
- Jensen, N. J., Wodschow, H. Z., Skytte, M. J., Samkani, A., Astrup, A., Frystyk, J., ... Thomsen, M. N. (2022). Weight-loss induced by carbohydrate restriction does not negatively affect health-related quality of life and cognition in people with type 2 diabetes: A randomised controlled trial. *Clinical Nutrition*, 41(7), 1605–1612. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2022.05.005>
- Jukanti, A. K., Pautong, P. A., Liu, Q., and Sreenivasulu, N. (2020, December 1). Low glycemic index rice—a desired trait in starchy staples. *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 106, pp. 132–149. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.006>
- Kulkarni, A., Thool, A. R., and Daigavane, S. (2024). Understanding the Clinical Relationship Between Diabetic Retinopathy, Nephropathy, and Neuropathy: A Comprehensive Review. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.56674>
- Lee, C. E., No, J., Lee, K., and Shin, M. (2020). Improvement of resistant starch content and baking quality of cross-linked soft rice flour. *Food Science and Biotechnology*, 29(12), 1695–1703. <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00826-3>
- Magliano, Dianna., and Boyko, E. J. . (2021). *IDF diabetes atlas*. International Diabetes Federation.
- Mavroeidi, I., Manta, A., Asimakopoulou, A., Syrigos, A., Paschou, S. A., Vlachaki, E., ... Peppas, M. (2024, February 1). The Role of the Glycemic Index and Glycemic Load in the Dietary Approach of Gestational Diabetes Mellitus. *Nutrients*, Vol. 16. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/nu16030399>
- Młynarska, E., Czarnik, W., Dzieża, N., Jędraszak, W., Majchrowicz, G., Prusinowski, F., ... Franczyk, B. (2025, February 1). Type 2 Diabetes Mellitus: New Pathogenetic Mechanisms, Treatment and the Most Important Complications. *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 26. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ijms26031094>
- Noraidah, H., Mansoor, A. H., Zainol, M. K., Ahmad Hazim, A. A., and Hasmadi, M. (2023, October 1). A review on the effects of resistant starch on the postprandial glycaemic response and the influence of processing conditions on the formation of resistant

- starch. *Food Research*, Vol. 7, pp. 119–131. Rynnye Lyan Resources. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.7\(5\).944](https://doi.org/10.26656/fr.2017.7(5).944)
- Paul Van Leeuwen, M., Toutounji, M. R., Mata, J., Ward, R., Gilbert, E. P., Castignolles, P., and Gaborieau, M. (2021). *Assessment of starch branching and lamellar structure in rice flours*. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2021.100201i>
- Puddu, A., Sanguineti, R., Montecucco, F., and Viviani, G. L. (2014). Evidence for the gut microbiota short-chain fatty acids as key pathophysiological molecules improving diabetes. *Mediators of Inflammation*, Vol. 2014. Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2014/162021>
- Pugh, J. E., Cai, M., Altieri, N., and Frost, G. (2023). A comparison of the effects of resistant starch types on glycemic response in individuals with type 2 diabetes or prediabetes: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Nutrition*, Vol. 10. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1118229>
- Qiu, C., Li, P., Li, Z., Corke, H., and Sui, Z. (2019). Combined speed and duration of milling affect the physicochemical properties of rice flour. *Food Hydrocolloids*, 89, 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.042>
- Raveendran, A. V., Chacko, E. C., and Pappachan, J. M. (2018). *TOUCH MEDICAL MEDIA Review Diabetes Non-pharmacological Treatment Options in the Management of Diabetes Mellitus*.
- Rustan Massinai, N., Wahyuni, S., Massinai, R., and Febryansyah Pagala, dan. (2025). Konjac Glucomannan: A Functional Dietary Fiber for Gut Health, Metabolic Regulation, and Clinical Applications-A Comprehensive Review. *Jurnal Teknologi Pengolahan Pertanian*, 7(1), 1–18.
- Sakuma, M., Arai, H., Mizuno, A., Fukaya, M., Matsuura, M., Sasaki, H., ... Takeda, E. (2009). Improvement of glucose metabolism in patients with impaired glucose tolerance or diabetes by long-term administration of a palatinose-based liquid formula as a part of breakfast. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 45(2), 155–162. <https://doi.org/10.3164/jcbn.09-08>
- Saleh, R. (2025). Glucose Content and Glycemic Index of Indonesian Local Foods as Alternative Carbohydrate Sources for Diabetic Patients: Article Review. *Jambura Medical and Health Science Journal*, 4(2). <https://doi.org/10.37905/jmhsj.v4i2.33565>
- Singh, S., Kriti, M., K.S., A., Sarma, D. K., Verma, V., Nagpal, R., ... Kumar, M. (2024). Deciphering the complex interplay of risk factors in type 2 diabetes mellitus: A comprehensive review. *Metabolism Open*, 22, 100287. <https://doi.org/10.1016/j.metop.2024.100287>
- Sri Widowati, Made Astawan, Deddy Muchtadi, and Tutik Wresdiyati. (2006). Hypoglycemic activity of some Indonesian rice varieties. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 7(2), 57–66.
- Szkudelski, T. (2012, May). Streptozotocin-nicotinamide-induced diabetes in the rat. Characteristics of the experimental model. *Experimental Biology and Medicine*, Vol. 237, pp. 481–490. <https://doi.org/10.1258/ebm.2012.011372>
- Velanie, C. S., Diarti, M. W., Pauzi, I., Jurusan, A., Kesehatan, K., and Mataram, I. (2017). PEMBERIAN TEPUNG BERAS MERAH (*Oryza nivara*) TERHADAP PENURUNAN

KADAR GLUKOSA DARAH PADA HEWAN COBA TIKUS PUTIH (*Rattus norvegicus*) GALUR WISTAR. *Jurnal Analis Medika Bio Sains*, 4(2), 81–86.

- Wang, Z., Wang, S., Xu, Q., Kong, Q., Li, F., Lu, L., ... Wei, Y. (2023, September 1). Synthesis and Functions of Resistant Starch. *Advances in Nutrition*, Vol. 14, pp. 1131–1144. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2023.06.001>
- Yu, T., Jing, S., Jiabin, L., Aixin, W., Mengzi, N., Xue, G., ... Litao, T. (2024, January 1). Effects of Milling Methods on Rice Flour Properties and Rice Product Quality: A Review. *Rice Science*, Vol. 31, pp. 33–46. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.11.002>
- Zafar, M. I., Mills, K. E., Zheng, J., Regmi, A., Hu, S. Q., Gou, L., and Chen, L. L. (2019). Low-glycemic index diets as an intervention for diabetes: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Clinical Nutrition*, 110(4), 891–902. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz149>
- Zhu, B. T. (2022). Pathogenic Mechanism of Autoimmune Diabetes Mellitus in Humans: Potential Role of Streptozotocin-Induced Selective Autoimmunity against Human Islet β -Cells. *Cells*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/cells11030492>