

E-ISSN: 2579-4523



JURNAL TEKNOLOGI DAN INDUSTRI PANGAN UNISRI

<http://ejurnal.unisri.ac.id/index.php/jtp/index>

Terakreditasi sinta 3 sesuai dengan SK No.
152/E/KPT/2023 tanggal 25 September 2023
<https://sinta.kemdikbud.go.id/journals/profile/7556>



Microbial profile of digesta in diabetic experimental animals feed with parboiled rice

Profil mikroba digesta hewan coba diabet yang diberi beras pratanak

M. H. Azhad¹, D. Puji Mulyani^{1*}, dan W.A. Yulianto¹

¹Program Studi Magister Ilmu Pangan, Fakultas Agroindustri, Universitas Mercu Buana Yogyakarta

*Corresponding author: dwiyati@mercubuana-yogya.ac.id

Article info

Keywords:
parboiled rice,
lactic acid bacteria,
diabetes mellitus,
fortification

Abstract

Rice is a staple food for nearly two-thirds of the world's population, including Indonesians. Rice generally has a high glycemic index (GI) and cannot be consumed by diabetics. Pratanak rice has a low GI, so it is recommended for diabetics. The study aimed to evaluate the effect of parboiled rice on the amount of LAB (Lactic Acid Bacteria), pH, and SCFA (Short-Chain Fatty Acids) of diabetic experimental animals. The research method consisted of 6 groups of rats with groups 1 (Cr and Mg fortified parboiled rice), 2 (Cr, Mg and cinnamon fortified parboiled rice), 3 (nonfortified parboiled rice), 4 (ciherang rice), 5 (standard feed for healthy rats), 6 (diabetic rats). All groups of rats were adapted for 3 days with standard feed and treatment for 14 days. LAB, pH, and SCFA were analyzed, statistical tests using One Way Anova if significantly different, followed by DMRT test. Giving chromium, magnesium, and cinnamon fortified rice gave a significant difference in the amount of LAB, pH, and SCFA feces between the treatment group and the control group. Thus, pre-cooked rice fortified with Cr, Mg, and cinnamon has the potential to be a healthier food option for individuals with diabetes.

Abstrak

Kata kunci: beras parboiled, bakteri asam laktat, diabetes mellitus, fortifikasi,

Beras merupakan makanan pokok hampir 2/3 di dunia termasuk masyarakat Indonesia. Beras secara umum memiliki indeks glikemik (IG) yang tinggi dan tidak bisa dikonsumsi bagi penderita diabetes. Beras pratanak memiliki IG yang rendah sehingga disarankan bagi penderita diabetes. Tujuan penelitian yaitu untuk mengevaluasi pengaruh pemberian beras pratanak terhadap jumlah BAL (Bakteri Asam Laktat), pH dan SCFA (Asam Lemak Rantai Pendek) hewan coba diabetes. Metode penelitian terdiri dari 6 kelompok tikus dengan kelompok 1 (beras pratanak terfortifikasi Cr dan Mg), 2 (beras pratanak terfortifikasi Cr, Mg dan kayu manis), 3 (beras pratanak non fortifikasi), 4 (beras ciherang), 5 (pakan standar untuk tikus sehat), 6 (tikus diabetes). Semua kelompok tikus diadaptasi selama 3 hari dengan diberi pakan standar serta perlakuan selama 14 hari. Analisis BAL, pH, dan SCFA pada feses tikus, data yang diperoleh diuji statistik menggunakan One Way Anova jika beda nyata dilanjutkan uji DMRT. Pemberian beras yang ditambah CR, Mg, kayu manis memberikan perbedaan jumlah BAL, pH, dan SCFA feses tikus menunjukkan beda nyata antara. Kelompok perlakuan dan kelompok kontrol pada analisis BAL, pH, dan SCFA feses tikus. Dengan demikian, beras pratanak yang difortifikasi Cr, Mg, dan kayu manis berpotensi menjadi pilihan makanan yang lebih sehat bagi penderita diabetes.

PENDAHULUAN

Beras (*Oryza sativa* L.) merupakan makanan pokok yang dikonsumsi oleh dua per tiga masyarakat dunia termasuk di Indonesia (Budijanto, 2017). Penderita diabetes melitus (DM) pada umumnya menghindari konsumsi nasi karena beras mempunyai indeks glikemik (IG) tinggi. DM merupakan kondisi kronis dengan kadar glukosa darah tinggi. Salah satu penyebab DM adalah produksi insulin dari pankreas yang tidak normal. Hal ini karena pada pankreas terjadi radang sehingga menghasilkan insulin dalam jumlah sedikit. Berdasarkan laporan *International Diabetes Federation* (IDF) pada 2024, jumlah penduduk Indonesia yang menderita diabetes mencapai 20 juta yang menempati peringkat ke-5 tertinggi di dunia.

Penderita DM lebih sehat dengan konsumsi pangan nabati (Nikparast *et al.*, 2025). Konsumsi makanan dengan IG rendah dapat menurunkan kadar darah puasa (Kusumastuty *et al.*, 2021). Darah puasa adalah sampel darah yang diambil setelah seseorang tidak makan atau minum (kecuali air) selama minimal 8 jam. Beberapa produk pangan yang memiliki IG rendah adalah beras pratanak, ubi jalar, dan gandum utuh. Individu dengan diabetes melitus umumnya menunjukkan kadar kromium (Cr) dan magnesium (Mg) yang lebih rendah dibandingkan populasi non-diabetik karena terjadi defisiensi mikronutrien. Kekurangan magnesium pada penderita diabetes menyebabkan resistensi insulin, karena magnesium membantu metabolisme glukosa dan insulin melalui aktivitas reseptor insulin tirosin kinase (Piuri *et al.*, 2021). Kayu manis (*Cinnamomum verum*) mengandung senyawa aktif polifenol dan *cinnamaldehyde* yang diketahui memiliki

potensi antioksidan, antidiabetik, dan efek prebiotik. Kayu manis dapat membantu menurunkan kadar glukosa darah, meningkatkan sensitivitas insulin, serta mendukung fermentasi serat dan pati resisten dalam usus, yang berperan penting dalam pembentukan asam lemak rantai pendek (SCFA) dan menjaga keseimbangan mikrobiota.

Beras pratanak yang ditambahkan Cr, Mg, dan kayu manis dengan perendaman pada 65 °C dengan IG rendah sebesar 20,03 (Yulianto *et al.*, 2023). Pati resisten difermenasi oleh bakteri probiotik yang menghasilkan *Short-Chain Fatty Acids* (SCFA) yang dapat menurunkan pH usus (Niu *et al.*, 2025).

Oleh karena itu perlu diteliti tentang beras pratanak yang difortifikasi Cr, Mg, dan kayu manis pada tikus diabetes. Tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi pengaruh pemberian beras pratanak terhadap jumlah BAL, pH dan SCFA hewan coba tikus diabetes.

METODE PENELITIAN

Bahan dan alat

Beras pratanak yang dibuat menggunakan beras ciherang (CIHERANG SS, Sleman, Yogyakarta) yang diperoleh di toko pertanian Yogyakarta, Cr dan Mg yang diperoleh dari toko kimia Yogyakarta, dan kayu manis yang diperoleh dari Pasar Gamping Yogyakarta. Reagen kimia meliputi Asam sulfat, NaOH, Na-thio sulfat, asam borat, *methyl red*, bromkesol, dan akuades diperoleh di toko kimia Yogyakarta. Pengujian *in vivo* dilakukan dengan hewan coba tikus wistar jantan (*Rattus norvegicus*) dengan usia 60 hari dengan berat 190 g diperoleh dari LPPT UGM. Reagen *Streptozotocin-Nicotinamide*

(STZ-NA) digunakan untuk injeksi diabetes pada tikus percobaan. Pembuatan beras pratanak menggunakan alat baskom, panci perebus, kompor, nampan, termometer suhu, *freezer*, dan *cabinet dryer*. Alat kimia meliputi gelas ukur (Iwaki), pipet tetes, spatula, *kurs* porselin, labu kjeldahl (Iwaki), alat destilasi, timbangan, desikator, dan oven (Memmert).

Pembuatan beras pratanak

Proses pembuatan beras pratanak dibagi menjadi beberapa tahapan. Tahap pertama yaitu gabah ciherang dilakukan perendaman selama 150 menit dengan suhu 65 °C. Saat perendaman ditambahkan Cr sebanyak 10 mg/L, Mg sebanyak 1,8 g/L dan kayu manis 10% dari berat gabah. Selanjutnya direbus pada suhu 100 °C selama 20 menit. Selanjutnya dilakukan pendinginan dengan waktu 12 jam pada suhu 0 °C. Pengeringan dilakukan menggunakan *cabinet dryer* bersuhu 50 °C selama 5 jam atau kadar air mencapai 14%. Gabah kering kemudian digiling untuk menghilangkan kulit gabah sehingga diperoleh beras pratanak.

Pengujian beras pratanak ke tikus

Pemberian diet pada hewan coba mengacu pada diet pakan standar AIN93 modifikasi (Pujimulyani *et al.*, 2022; Yulianto *et al.*, 2023). Formulasi pakan diet yang akan diberikan pada hewan coba disajikan pada Tabel 1, 2, 3, dan 4.

Tikus wistar jantan berumur 60 hari sebanyak 24 ekor untuk 6 kelompok (4 ekor tiap kelompok) dengan berat badan ±190 g. Tikus diadaptasi selama 3 hari dengan

diberikan pakan standar. Pada hari ke-3, tikus dilakukan pengukuran kadar glukosa darah. Pada hari ke-4 dilakukan induksi NA dengan dosis 110 mg/kg BB dan 15 menit kemudian diinduksi STZ dengan dosis 45 mg/kg BB. Pemberian ransum tikus dilakukan selama 4 minggu setelah tikus terpapar diabetes. Pada hari ke-7 dilakukan pengukuran glukosa darah, insulin, kolesterol, HDL, LDL, trigliserida dan malonaldehida. Pada hari ke-14 dan ke-28 dilakukan pengamatan kadar glukosa dan profil lipida dan malonaldehid. Asupan pakan dipantau setiap hari sedangkan berat badan tikus dicatat setiap minggu sekali. Kelompok perlakuan tikus wistar yaitu:

1. Tikus induksi NA (*Nicotinamide*) 110 mg/kg BB dan STZ (*Streptozotocin*) 45 mg/kg BB dengan diberikan beras pratanak terfortifikasi kromium, magnesium.
2. Tikus Induksi NA 110 mg/kg BB dan STZ 45 mg/kg BB dengan diberikan beras pratanak terfortifikasi kromium, magnesium dan kayu manis.
3. Tikus induksi NA 110 mg/kg BB dan STZ 45 mg/kg BB dengan diberikan beras pratanak non fortifikasi.
4. Tikus induksi NA 110 mg/kg BB dan STZ 45 mg/kg BB dengan diberikan beras ciherang murni.
5. Tikus normal
6. Tikus induksi NA 110 mg/kg BB dan STZ 45 mg/kg BB dengan diberikan pakan standar

Tabel 1. Formulasi pakan AIN93 modifikasi beras pratanak dengan fortifikasi Cr dan Mg

Bahan	Kkal/g	% Komponen	Berat (g)		Kalori (kkal)	
			AIN 93	Modif BP	AIN 93	Modif BP
Maizena	3,75		620,7	215	2327,63	806,25
Beras	3,54		0	559,28	0	1979,85
Kasein (85% protein)	4	11,56	140	75,35	560	301,4
Sukrosa	2,4		100	100	240	240
Minyak kedelai	9,4	1,69	40	30,54	360	274,86
Serat	2	8,94	50	0	100	0
Mineral mix			35	35		
Vitamin mix			10	10		
L-cystin			1,8	1,8		
<i>Cholin bitartrate</i>			2,5	2,5		
Total			1000	1029,47	3603,63	3602,36

Tabel 2. Formulasi pakan AIN93 modifikasi beras pratanak fortifikasi Cr, Mg dan kayu manis

Bahan	Kkal/g	Berat (g)		Kalori (kkal)	
		AIN 93	Modif BP	AIN 93	Modif BP
Maizena	3,75	620,7	218	2327,63	817,5
beras	3,55	0	587,54	0	2085,76
kasein (85% protein)	4	11,23	140	74,02	560
Sukrosa	2,4		100	50	240
minyak kedelai	9,4	1,43	40	31,59	360
Serat	2	8,51	50	0	100
mineral mix			35	35	
vitamin mix			10	10	
L-cystin			1,8	1,8	
<i>cholin bitartrate</i>			2,5	2,5	
Total		1000	1010,45	3603,63	3603,65

Tabel 3. Formulasi pakan AIN93 modifikasi beras pratanak non fortifikasi

Bahan	Kkal/g	% Komp	berat (g)		kalori (kkal)	
			AIN 93	Modif BP	AIN 93	Modif BP
Maizena	3,75		620,7	163	2327,63	611,25
Beras	3,49		0	656,16	0	2289,99
Kasein (85% protein)	4	10,53	140	70,91	560	283,64
Sukrosa	2,4		100	50	240	120
Minyak kedelai	9,4	1,02	40	33,3	360	299,7
Serat	2	7,62	50	0	100	0
Mineral mix			35	35		
Vitamin mix			10	10		
L-cystin			1,8	1,8		
<i>Cholin bitartrate</i>			2,5	2,5		
Total			1000	1022,67	3603,63	3604,58

Tabel 4. Formulasi pakan AIN 93 modifikasi beras ciherang

Bahan	Kkal/ g	% Komp	Berat (g)		Kalori (kkal)	
			AIN 93	Modif BC	AIN 93	Modif BC
Maizena	3,75		620,7		2327,63	
Beras	3,53		0	899,28	0	3174,45
Kasein (85% protein)	4	9,41	140	55,38	560	221,52
Sukrosa	2,4		100	30	240	72
Minyak kedelai	9,4	0,88	40	32,08	360	288,72
Serat	2	5,56	50	0	100	0
Mineral mix			35	35		
Vitamin mix			10	10		
L-cystin			1,8	1,8		
<i>Cholin bitartrate</i>			2,5	2,5		
Total			1000	1066,04	3603,63	3756,69

Analisis yang dilakukan

a. Analisis jumlah BAL

Analisis mikrobia digesta dilakukan pada minggu ke-4 (*post only*). Semua kelompok tikus dianastesi selanjutnya pengambilan digesta pada *Caecum* untuk dilakukan pengujian populasi mikrobia Bakteri Asam Laktat (BAL). Digesta ditimbang 0,5 g, ditambah larutan NaCl 0,85% sebanyak 4,5 ml. Pengenceran dilakukan dengan kelipatan 10 hingga didapati larutan bening dan tidak keruh. Tiga pengenceran terakhir dilakukan pembiakan menggunakan media agar Rogosa agar (Oxoid-Inggris) dicampur dengan 1,32 mL/L asam cuka glasial untuk *Lactobacili*. Inkubasi secara aerob dan jumlah sel dihitung sebagai log 10 CFU/g.

b. Analisis nilai pH

Analisis nilai pH dilakukan dengan melarutkan feses dengan larutan eosin 2%. Ujung elektroda pH meter dimasukkan ke dalam larutan sampel untuk selanjutnya nilai pH dibaca pada pH meter elektronik.

c. Analisis kadar SCFA

Analisis kadar SCFA menggunakan *gas chromatography* (GC). Pengambilan sampel sebanyak 1 µl menggunakan *microsiringe* untuk diinjeksikan ke dalam injektor GC. Selanjutnya sampel akan bergerak melewati kolom menuju *detector* yang kemudian senyawa akan teridentifikasi secara otomatis dalam bentuk kromatogram.

d. Analisis statistik

Analisis menggunakan software SPSS versi 25.0 dengan *One Way Anova* dengan taraf signifikansi 95%, jika terdapat beda nyata dilanjutkan dengan uji DMRT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah BAL

Pada penelitian ini setelah 14 hari perlakuan selanjutnya dilakukan analisis jumlah BAL feses. Sampel diambil dalam sekum melalui proses pembedahan. Hasil BAL feses tikus disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Jumlah BAL feses tikus

Kelompok	Rerata Jumlah BAL (CFU/g)
Beras pratanak fortifikasi Cr, Mg	$6,8 \times 10^8 \pm 4,24^c$
Beras pratanak fortifikasi Cr, Mg, dan kayu manis	$8,5 \times 10^8 \pm 6,36^d$
Beras pratanak	$4 \times 10^8 \pm 6,36^b$
Beras ciherang	$8,6 \times 10^7 \pm 0,35^a$
Tikus normal	$3,7 \times 10^8 \pm 4,95^b$
Tikus diabetes	$1,8 \times 10^8 \pm 5,66^a$

Keterangan: angka yang diikuti dengan notasi yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan ada beda nyata pada signifikansi (95%).

Berdasarkan Tabel 5 terdapat perbedaan yang nyata antara kelompok perlakuan beras pratanak dan kelompok tikus normal ($p<0,05$). Dari data tersebut jumlah BAL paling banyak terdapat pada kelompok tikus injeksi STZ-NA yang diberikan beras pratanak fortifikasi Cr, Mg, dan kayu manis yaitu sebesar $8,5 \times 10^8$ CFU/g. Sedangkan total BAL terendah pada kelompok beras ciherang yaitu $8,6 \times 10^7$ CFU/g. Total BAL pada feses tikus kelompok perlakuan beras pratanak lebih tinggi dibandingkan kelompok tikus normal dan diabetes. Pemberian beras pratanak dengan fortifikasi Cr, Mg, dan kayu manis menunjukkan efek positif terhadap mikrobiota usus dan perbaikan peradangan jaringan. Kesehatan usus yang baik dapat mengurangi translokasi lipopolisakarida (LPS) ke dalam peredaran darah sehingga tidak terjadi resistensi insulin yang menyebabkan penyakit seperti diabetes (Candelli *et al.*, 2021; Dmytriv *et al.*, 2024).

Sebelumnya dilakukan analisis kadar pati resisten pada beras yang diberikan ke tikus. Hasilnya menunjukkan bahwa kadar pati resisten beras A (pratanak fortifikasi kromium, magnesium) adalah 5,0%, kadar pati resisten beras B (pratanak fortifikasi kromium, magnesium dan kayu manis) sebesar 5,2%, kadar pati resisten beras C (pratanak non fortifikasi) sebesar 5,0%, dan beras D (ciherang) kadar pati resistennya

adalah 1,6%. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa fortifikasi kayu manis meningkatkan kadar pati resisten meskipun hanya 0,2%. Peningkatan kadar pati resisten ini kemungkinan disebabkan oleh kandungan senyawa bioaktif dalam kayu manis, seperti polifenol, yang diketahui dapat memengaruhi proses retrogradasi pati serta mengurangi aksesibilitas enzim terhadap molekul pati (Deng *et al.*, 2021).

Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa fortifikasi kromium, magnesium dan kayu manis memiliki jumlah BAL paling tinggi. Hal ini dimungkinkan karena kadar pati resisten yang tinggi dalam beras tersebut. Menurut Yulianto, (2024) proses produksi beras fungsional yaitu pada proses pratanak dari teh hijau, zat polifenol akan membentuk kompleks dengan pati. Proses pendinginan pada tahap pratanak akan mengikatkan granula pati mengalami retrogradasi dan mengikatkan terbentuknya pati yang tahan cerna atau akan berpengaruh terhadap daya cerna pati. Retrogradasi pada pati menyebabkan perubahan struktur kristalnya menjadi bentuk yang lebih stabil dan tidak mudah larut.

Serat dapat memodulasi mikroflora usus hingga pada tingkat genus dan spesies seperti *Bifidobacterium* sehingga dapat menjadi diet bagi penderita DM tipe 2

(Setiarto & Widhyastuti, 2022). Pati resisten secara positif memengaruhi fungsi saluran pencernaan, mikrobia, indeks glikemik dan membantu dalam penanggulangan diabetes (Solihah & Wijaya, 2020).

Tabel 6. Kadar pH dan SCFA feses tikus

Kelompok tikus	Rerata Nilai pH	Rerata	Rerata	Kadar	Rerata Kadar
		Kadar Asam	Asam	Asam	Asam
		Asetat	Propionat	Propionat	Butirat
		Rerata ± SD	Rerata ± SD	Rerata ± SD	Rerata ± SD
Beras pratanak fortifikasi Cr, Mg	6,19 ± 0,06 ^a	6,75 ± 0,07 ^{bc}	1,54 ± 0,00 ^a	0,50 ± 0,01 ^b	
Beras pratanak fortifikasi Cr, Mg, dan kayu manis	5,98 ± 0,38 ^a	8,77 ± 0,03 ^d	1,96 ± 0,01 ^c	0,59 ± 0,01 ^c	
Beras pratanak	6,10 ± 0,00 ^a	6,48 ± 0,03 ^{bc}	1,56 ± 0,01 ^a	0,41 ± 0,00 ^a	
Beras ciherang	5,99 ± 0,07 ^a	5,91 ± 0,30 ^a	2,01 ± 0,10 ^c	0,43 ± 0,01 ^a	
Tikus normal	7,01 ± 0,06 ^b	6,45 ± 0,01 ^b	1,72 ± 0,00 ^b	0,44 ± 0,02 ^a	
Tikus diabetes	6,34 ± 0,13 ^a	6,93 ± 0,04 ^c	1,75 ± 0,02 ^b	0,62 ± 0,01 ^c	

Keterangan: angka yang diikuti dengan notasi yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan ada beda nyata pada signifikansi (95%).

Penelitian ini menunjukkan beda nyata terhadap nilai pH antara kelompok perlakuan beras pratanak dengan kelompok kontrol ($p<0,05$). Nilai pH tertinggi ditunjukkan pada kelompok tikus normal yaitu 7,01 sedangkan kelompok yang lainnya menunjukkan pH yang lebih rendah. Nilai pH rendah dapat mendorong pertumbuhan bakteri yang menguntungkan dan dapat menekan pertumbuhan bakteri patogen di dalam usus. Kondisi ini berdampak positif bagi penderita diabetes melitus karena adanya mikrobia sehingga mampu menyeimbangkan komposisi *microbiota* usus yang dapat membantu dalam regulasi glukosa dan lipid. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh McNabney & Henagan (2017) yang menunjukkan bahwa diet tinggi serat dan pati resisten dapat menurunkan pH kolon melalui produksi SCFA yang berperan penting dalam memperbaiki profil

Nilai pH dan Kadar SCFA

Nilai pH dan SCFA pada feses tikus percobaan disajikan pada Tabel 6.

metabolik. Penelitian sebelumnya juga menyebutkan bahwa asupan substrat fermentasi seperti pati resisten berperan dalam peningkatan keragaman mikrobiota usus dan modulasi metabolisme inang, khususnya dalam konteks penyakit metabolik seperti diabetes (Chen *et al.*, 2024).

Tabel 6 menunjukkan kadar SCFA feses baik asam asetat, asam propionat, dan asam butirat terdapat beda nyata ($p<0,05$). Namun demikian, dapat diketahui bahwa jumlah asam asetat paling tinggi terdapat pada kelompok B, asam propionat paling tinggi pada kelompok D dan asam butirat paling tinggi terdapat pada kelompok B. Kadar SCFA berbeda antar kelompok karena karakteristik dan fermentabilitas substrat yang dikonsumsi, sehingga memengaruhi dominasi mikrobiota usus dan jalur metabolisme SCFA yang dihasilkan. Kelompok B cenderung menghasilkan asam asetat dan butirat lebih tinggi, sedangkan

kelompok D lebih mendukung pembentukan asam propionat. SCFA merupakan zat utama yang dihasilkan oleh *microflora* di dalam kolon. Pati resisten merupakan prebiotik, sehingga dapat dimanfaatkan untuk menjaga usus. Produk fermentasi karbohidrat tidak dapat dicerna meliputi pati resisten dan asam lemak rantai pendek, terutama asam asetat, asam propionat dan asam butirat. Pati resisten yang terdapat dalam kolon dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon dalam proses fermentasi oleh mikroba kolon dan meningkatkan konsentrasi SCFA, khususnya asam asetat, asam propionat dan asam butirat. Pati resisten ini berpotensi untuk kesehatan kolon karena dapat menurunkan pH, mencegah kanker dan peradangan kolon.

KESIMPULAN

Pemberian beras pratanak terfortifikasi Cr, Mg dan kayu manis memberikan perbedaan jumlah BAL, pH dan SCFA feses secara nyata. Nilai pH terendah, BAL dan SCFA tertinggi dimiliki oleh kelompok diabetes yang diberi beras pratanak dengan fortifikasi Cr, Mg dan kayu manis. Dengan demikian, beras pratanak yang difortifikasi berpotensi menjadi pilihan makanan yang lebih sehat bagi penderita diabetes.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Kemdiktisaintek yang telah memberikan dukungan dana pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bimo Setiarto, R. H., & Widhyastuti, N. (2022). Kajian pustaka: probiotik dan prebiotik meningkatkan imunitas untuk mencegah infeksi virus covid 19. *Jurnal Veteriner*, 23(1).
- Budijanto, S. (2017). Pengembangan bekatul sebagai pangan fungsional:

- Peluang, hambatan, dan tantangan. *Jurnal Pangan*, 26(2), 167–176.
- Candelli, M., Franzia, L., Pignataro, G., Ojetti, V., Covino, M., Piccioni, A., Gasbarrini, A., & Franceschi, F. (2021). Interaction between lipopolysaccharide and gut microbiota in inflammatory bowel diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(12). <https://doi.org/10.3390/ijms22126242>
- Chen, Z., Liang, N., Zhang, H., Li, H., Guo, J., Zhang, Y., Chen, Y., Wang, Y., & Shi, N. (2024). Resistant starch and the gut microbiome: Exploring beneficial interactions and dietary impacts. *Food Chemistry: X*, 21, 101118.
- Deng, N., Deng, Z., Tang, C., Liu, C., Luo, S., Chen, T., & Hu, X. (2021). Formation, structure and properties of the starch-polyphenol inclusion complex: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 667–675.
- Dmytriv, T. R., Storey, K. B., & Lushchak, V. I. (2024). Intestinal barrier permeability: The influence of gut microbiota, nutrition, and exercise. *Frontiers in Physiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1380713>
- Kusumastuty, I., Handayani, D., Affandy, Y. I. K. D., Attamimi, N., Innayah, A. M., & Puspitasari, D. A. (2021). Kepatuhan diet berbasis beras coklat terhadap glukosa darah dan lemak tubuh pasien diabetes mellitus. *Indonesian Journal of Human Nutrition*, 8(2), 182–194. <https://doi.org/10.21776/ub.ijhn.2021.008.02.9>
- McNabney, S. M., & Henagan, T. M. (2017). Short chain fatty acids in the colon and peripheral tissues: A focus

- on butyrate, colon cancer, obesity and insulin resistance. *Nutrients*, 9(12), 1348.
- Nikparast, A., Mirzaei, P., Tadayoni, Z. S., & Asghari, G. (2025). The association between overall, healthy, and unhealthy plant-based diet index and risk of prediabetes and type 2 diabetes mellitus: A systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *Nutrition Reviews*, 83(2), e157–e177. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuae049>
- Niu, Y., Wang, L., Gong, H., Jia, S., Guan, Q., Li, L., & Cheng, H. (2025). Nutrition and gut health: preparation and efficacy of resistant starch. *Foods*, 14(3), 471.
- Piuri, G., Zocchi, M., Della Porta, M., Ficara, V., Manoni, M., Zuccotti, G. V., Pinotti, L., Maier, J. A., & Cazzola, R. (2021). Magnesium in obesity, metabolic syndrome, and type 2 diabetes. *Nutrients*, 13(2), 320. <https://doi.org/10.3390/nu13020320>
- Pujimulyani, D., Yulianto, W. A., Setyowati, A., Prastyo, P., Windrayahya, S., & Maruf, A. (2022). White saffron (*Curcuma mangga* Val.) attenuates diabetes and improves pancreatic β -cell regeneration in streptozotocin-induced diabetic rats. *Toxicology Reports*, 9, 1213–1221. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.05.014>
- Solihah, I., & Wijaya, D. P. (2020). *Pati umbi-umbian dan resisten starch sebagai prebiotik untuk kesehatan*. Penerbit NEM.
- Yulianto, W. A. (2024). *Pati tahan cerna: retrogradasi, pembentukan, dan manfaatnya bagi kesehatan*. Deepublish.
- Yulianto, W. A., Wulandari, W., & Pujimulyani, D. (2023). Probiotic potential of the Indonesian local variety of fermented parboiled rice(tape) improved the metabolic syndrome of diabetic rats. *Food Research*, 7(2), 96–106. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.7\(2\).845](https://doi.org/10.26656/fr.2017.7(2).845)