Pengaruh Formula Tempe Bekatul Temulawak terhadap Berat Badan, Kolesterol Total, dan Tekanan Darah Tikus *Sprague Dawley* Hiperkolesterolemia

Hanifah Tsurraya Ayu Wardhani[1], Sufiati Bintanah[2]*

[1]Program Studi Teknologi Pangan Universitas Nahdatul Ulama Purwokerto
[2]Program Studi Gizi Universitas Muhammadiyah Semarang
*Email koresponden : sofi@unimus.ac.id

ABSTRACT

Hypercholesterolemia and elevated blood pressure are major risk factorsrdiovascular disease. Tempeh, rice bran, and Curcuma xanthorrhiza (Java turmeric) contain bioactive compounds that may influence lipid metabolism and cardiovascular function. However, evidence regarding the combined use of these three ingredients in a single formulation remains limited. This study aimed to analyze the effects of a combined tempeh, rice bran, and Java turmeric formulation on body weight, total cholesterol, and blood pressure in hypercholesterolemic Sprague–Dawley rats. This true experimental study employed a pretest–posttest randomized controlled group design. Thirty male Sprague–Dawley rats were included; 24 rats were induced with a high-fat high-fructose diet (HFFD), while 6 rats served as normal controls. After hypercholesterolemia was established, the rats were allocated to a hyperlipidemic control group, simvastatin group, tempeh–rice bran–Java turmeric functional beverage (MBTT) group, and Java turmeric group. Body weight, serum total cholesterol, and blood pressure were measured before and after the intervention. Total cholesterol was analyzed using the CHOD-PAP method with Randox CH3810, while blood pressure was measured using the CODA Non-Invasive Blood Pressure System. Data were analyzed using paired t*-test/Wilcoxon and ANOVA/Kruskal–Wallis tests. Baseline body weight did not differ significantly among groups (*p*=0.370), increased following induction (*p*<0.001), and decreased after intervention (*p*<0.001). Baseline total cholesterol levels were comparable among groups (*p*=0.328), increased following induction (*p*<0.001), and subsequently decreased in the intervention groups. The greatest reduction was observed in P4, by 128.10 mg/dL (56.8%). Changes in total cholesterol differed significantly among groups (*p*<0.001). Baseline blood pressure was comparable among groups (*p*=0.880), increased following induction, and decreased after intervention (*p*<0.001). The combined tempeh, rice bran, and Java turmeric formulation showed potential for reducing total cholesterol in hypercholesterolemic rats. The specific effects on body weight and blood pressure require confirmation through group × time interaction analysis.*

***Keywords**: tempeh; rice bran; Curcuma xanthorrhiza; hypercholesterolemia*

Submitted:2026-09-16 Accepted:2026-10-27 Published: November 2026 Pages: 195-212

PENDAHULUAN

Penyakit kardiovaskular (PKV) merupakan salah satu penyebab utama kematian di dunia. Menurut World Health Organization (WHO), sekitar 19,8 juta orang meninggal akibat PKV pada tahun 2022, yang mencakup sekitar 32% dari seluruh kematian global. Beban PKV juga tinggi di negara berpendapatan rendah dan menengah, termasuk Indonesia,

dengan penyakit tidak menular menyumbang sekitar 52,2% dari seluruh kematian. Besarnya beban tersebut berkaitan erat dengan faktor risiko yang dapat dimodifikasi, terutama pola makan tidak sehat, kelebihan berat badan/obesitas, kurang aktivitas fisik, hipertensi, dan dislipidemia. Oleh karena itu, pengendalian faktor risiko, khususnya melalui perbaikan pola makan dan status gizi, menjadi strategi penting dalam pencegahan PKV.

Dislipidemia yang ditandai dengan peningkatan kadar kolesterol, terutama kolesterol total dan LDL-kolesterol, berperan penting dalam proses aterosklerosis, sedangkan tekanan darah tinggi meningkatkan risiko terjadinya komplikasi kardiovaskular. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya pengembangan strategi berbasis pangan fungsional yang dapat membantu mengendalikan kadar kolesterol sekaligus faktor risiko kardiometabolik lainnya (World Health Organization, 2023).

Tempe merupakan pangan fermentasi berbasis kedelai yang mengandung protein, serat, isoflavon, peptida bioaktif, serta berbagai metabolit hasil fermentasi yang berpotensi memberikan efek fisiologis, termasuk dalam regulasi metabolisme lipid dan kolesterol (Bintsis et al., 2024). Proses fermentasi oleh *Rhizopus* spp. dapat meningkatkan ketersediaan senyawa bioaktif dan menghasilkan metabolit seperti peptida, asam organik, serta senyawa antioksidan yang mendukung potensi tempe sebagai pangan fungsional.

Bekatul merupakan hasil samping penggilingan beras yang kaya akan serat pangan, tokoferol, tokotrienol, γ-oryzanol, fitosterol, dan senyawa fenolik, yang berkontribusi terhadap aktivitas antioksidan, antiinflamasi, dan potensi modulasi metabolisme lipid (Manzoor et al., 2023; Stănciuc et al., 2023).

. Kandungan tersebut memberikan dasar biologis bagi penggunaan tempe dan bekatul sebagai bahan pangan fungsional untuk membantu mengendalikan kadar kolesterol. Penelitian Bintanah, Muis dan Purwanto (2018) menunjukkan bahwa kombinasi tepung tempe dan bekatul mengandung isoflavon dan vitamin E yang potensial untuk mendukung upaya perbaikan kadar lipid darah. Selanjutnya, Bintanah et al. (2019) menunjukkan bahwa kombinasi tepung tempe kedelai kuning dan bekatul putih dengan perbandingan 1:1 memiliki tingkat penerimaan yang baik, sehingga mendukung pengembangan kombinasi tersebut sebagai formula pangan fungsional.

Potensi bekatul dalam pengendalian kolesterol juga didukung oleh bukti yang lebih mutakhir. Meta-analisis terhadap 11 uji klinis dengan 572 peserta menunjukkan bahwa konsumsi bekatul dapat menurunkan trigliserida, kolesterol total, dan LDL-kolesterol secara signifikan, meskipun tidak menunjukkan perubahan bermakna pada HDL-kolesterol (Park et al., 2025). Temuan tersebut menunjukkan bahwa komponen

bioaktif dan serat dalam bekatul berpotensi memberikan kontribusi terhadap pengendalian kadar kolesterol, sehingga bekatul relevan digunakan sebagai salah satu komponen formula pangan fungsional.

Selain tempe dan bekatul, temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*) merupakan bahan pangan lokal yang mengandung kurkuminoid dan senyawa bioaktif lainnya dengan aktivitas antioksidan dan antiinflamasi. Aktivitas tersebut secara teoritis dapat berkontribusi terhadap pengendalian gangguan metabolisme kolesterol. Bukti klinis mengenai curcumin/turmeric menunjukkan adanya potensi perbaikan kadar kolesterol. Meta-analisis terhadap 64 uji klinis menunjukkan bahwa suplementasi curcumin/turmeric berhubungan dengan penurunan kolesterol total, trigliserida, dan LDL-kolesterol serta peningkatan HDL-kolesterol, meskipun kualitas bukti untuk beberapa outcome masih rendah (Dehzad et al., 2023). Dengan demikian, temulawak berpotensi melengkapi peran tempe dan bekatul dalam suatu formula pangan fungsional yang ditujukan untuk membantu mengendalikan hiperkolesterolemia.

Kadar kolesterol dan tekanan darah merupakan faktor risiko kardiometabolik yang saling berkaitan dalam perkembangan penyakit kardiovaskular. Selain potensi terhadap metabolisme kolesterol, komponen bioaktif temulawak juga telah diteliti terkait dengan tekanan darah. Meta-analisis mengenai curcumin menunjukkan bahwa efek keseluruhan terhadap tekanan darah sistolik dan diastolik belum konsisten. Namun, penurunan tekanan darah diastolik ditemukan pada intervensi dengan durasi ≥12 minggu, sedangkan beberapa analisis subkelompok perempuan menunjukkan penurunan tekanan darah sistolik dan diastolik (Karimi et al., 2023). Temuan tersebut memberikan dasar bahwa temulawak berpotensi memberikan manfaat lebih luas terhadap faktor risiko kardiometabolik, meskipun efektivitasnya masih memerlukan pembuktian melalui penelitian eksperimental.

Meskipun bukti mengenai manfaat tempe, bekatul, dan temulawak terus berkembang, penelitian mengenai formula kombinasi ketiga bahan tersebut masih terbatas. Penelitian sebelumnya dari Bintanah dan kolega memberikan dasar mengenai kandungan bioaktif dan penerimaan kombinasi tempe–bekatul, sedangkan penelitian yang lebih baru menunjukkan potensi bekatul dan curcumin dalam membantu mengendalikan kadar kolesterol. Namun, sebagian besar penelitian masih mengevaluasi bahan secara individual atau hanya mengombinasikan tempe dan bekatul. Belum banyak penelitian yang mengintegrasikan tempe, bekatul, dan temulawak dalam satu formula

dan mengujinya pada model hewan hiperkolesterolemia dengan evaluasi kadar kolesterol total dan tekanan darah secara bersamaan.

Permasalahan penelitian ini terletak pada terbatasnya bukti eksperimental mengenai efektivitas formula kombinasi tempe, bekatul dan temulawak terhadap kondisi hiperkolesterolemia, khususnya dalam kaitannya dengan perubahan berat badan, kadar kolesterol total, dan tekanan darah.

Kebaruan penelitian ini adalah pengembangan dan pengujian formula pangan fungsional yang mengintegrasikan tiga bahan lokal, yaitu tempe, bekatul, dan temulawak, dalam satu intervensi dengan mengevaluasi tiga parameter kardiometabolik, yaitu berat badan, kadar kolesterol total, dan tekanan darah. Pendekatan ini memperluas penelitian sebelumnya yang umumnya berfokus pada satu bahan atau kombinasi tempe–bekatul. Istilah "kombinasi" digunakan untuk menunjukkan integrasi ketiga bahan dalam satu formula dan tidak dimaksudkan untuk menyatakan adanya efek sinergis, karena sinergisme harus dibuktikan melalui analisis interaksi secara statistik.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemberian formula kombinasi tempe, bekatul, dan temulawak terhadap berat badan, kadar kolesterol total, dan tekanan darah pada tikus *Sprague Dawley* dengan hiperkolesterolemia.

METODE PENELITIAN

Rancangan penelitian dan hewan coba

Jenis penelitian adalah *true experimental research* dengan desain *Pretest-Posttest Randomized Control Group Design* . Sampel sebanyak 30 ekor tikus jantan galur *Sprague–Dawley* berusia 2 bulan dengan berat badan 150–200 g diperoleh dari Laboratorium Hewan Coba, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia. Tikus diaklimatisasi selama 3 hari sebelum penelitian dan Tikus ditempatkan dalam kandang plastik dengan tutup terbuat dari kawat ram, diberi makan Comfeed AD II 10- 20 g/hari dan air minum secara *ad libitium*. Lingkungan kandang dipertahankan agar tidak lembab, suhu kandang dijaga sekitar 25-27°C, dan ada pertukaran gelap dan terang setiap 12 jam. Masing-masing kelompok tikus diletakkan dalam kandang tersendiri dan dijaga sehingga tidak saling berinteraksi dan kesehatan tikus dipantau setiap hari (Def Primal, 2022).

Protokol penelitian telah memperoleh persetujuan etik dari Komite Etik Penelitian Fakultas Ilmu-Ilmu Kesehatan, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia,

dengan nomor persetujuan etik 1023/EC/KEPK/II/2023. Seluruh prosedur penelitian yang melibatkan hewan coba dilaksanakan sesuai dengan pedoman institusional yang berlaku mengenai perawatan dan penggunaan hewan untuk penelitian.

Subjek dan Aklimatisasi Hewan Coba

Subjek penelitian terdiri atas 30 ekor tikus putih (*Rattus norvegicus*) jantan galur Wistar, berumur 2–3 bulan dengan berat badan 150–200 g. Sebelum penelitian dimulai, seluruh tikus diaklimatisasi selama 7 hari dalam kondisi laboratorium dengan pemberian pakan standar dan air minum secara *ad libitum*. Selama periode aklimatisasi, kondisi umum dan berat badan tikus dipantau secara berkala.

Induksi Hiperkolesterolemia

Setelah periode aklimatisasi, sebanyak 24 ekor tikus diberikan induksi hiperkolesterolemia menggunakan pakan tinggi kolesterol berbasis bubur otak sapi, sedangkan 6 ekor tidak diberikan induksi dan digunakan sebagai kelompok kontrol normal (K1). Sebelum induksi, kadar kolesterol total serum diukur sebagai nilai *baseline*. Bubur otak sapi dibuat dengan mencuci otak sapi menggunakan air mengalir, kemudian mengukusnya hingga matang dan menghaluskannya menggunakan blender dengan penambahan aquadest hingga diperoleh suspensi homogen. Suspensi otak sapi diberikan sebanyak 3 mL/ekor/hari secara oral menggunakan sonde selama 14 hari, mengacu pada metode induksi hiperkolesterolemia yang telah dilaporkan sebelumnya (Naufalina & Nuryanto, 2014).

Setelah periode induksi selama 14 hari, kadar kolesterol total serum kembali diperiksa untuk mengevaluasi keberhasilan induksi. Tikus dinyatakan mengalami hiperkolesterolemia apabila kadar kolesterol total serum >130 mg/dL. Pemeriksaan kadar kolesterol total sebelum dan sesudah induksi dilakukan untuk memastikan adanya perubahan status lipid akibat proses induksi.

Randomisasi dan Pembagian Kelompok

Setelah induksi dan konfirmasi kondisi hiperkolesterolemia, 24 ekor tikus yang memenuhi kriteria induksi dialokasikan secara acak ke dalam empat kelompok dengan jumlah masing-masing 6 ekor. Kelompok K1 terdiri atas 6 ekor tikus yang tidak diinduksi dan digunakan sebagai kontrol normal. Kelompok K2 terdiri atas 6 ekor tikus hiperkolesterolemia yang tidak diberikan intervensi dan digunakan sebagai kontrol hiperkolesterolemia. Kelompok K3 terdiri atas 6 ekor tikus hiperkolesterolemia yang diberikan simvastatin sebagai kontrol positif dengan dosis 0,18 mg/200 gBB/hari**.** Kelompok K4 terdiri atas 6 ekor tikus hiperkolesterolemia yang diberikan minuman

fungsional MBTT yang terdiri atas bekatul, temulawak, dan tempe dengan dosis 540 mg/200 gBB/hari. Kelompok K5 terdiri atas 6 ekor tikus hiperkolesterolemia yang diberikan temulawak konvensional dengan dosis 540 mg/200 gBB/hari, apabila dosis tersebut merupakan dosis yang telah ditetapkan dalam protokol penelitian.

Pemberian Intervensi

Seluruh intervensi diberikan secara oral menggunakan sonde dan diberikan terpisah dari pakan standar. Pemberian melalui sonde dilakukan untuk memastikan bahwa dosis intervensi yang telah ditentukan masuk ke tubuh setiap tikus secara terukur dan tidak dipengaruhi oleh variasi konsumsi sukarela. Dosis intervensi disesuaikan dengan berat badan masing-masing tikus dan diberikan setiap hari selama periode intervensi sesuai protokol penelitian.

Pakan standar dan air minum tetap diberikan secara *ad libitum* selama periode intervensi. Karena intervensi diberikan menggunakan sonde, jumlah intervensi yang masuk ke tubuh tikus tidak ditentukan berdasarkan konsumsi sukarela sehingga tidak diperlukan pengukuran sisa intervensi untuk memastikan keterpaparan dosis. Konsumsi pakan standar dapat dipantau dengan mencatat jumlah pakan yang diberikan dan sisa pakan pada setiap periode pengamatan. Berat badan tikus ditimbang secara berkala untuk menyesuaikan dosis intervensi berdasarkan berat badan dan memantau perubahan status fisiologis selama penelitian.

Pengukuran parameter penelitian

Pengukuran Parameter Penelitian

Parameter penelitian meliputi kadar kolesterol total serum, berat badan, dan tekanan darah. Pengukuran dilakukan sebelum dan setelah periode intervensi menggunakan prosedur dan kondisi pengukuran yang sama pada seluruh kelompok.

Kadar kolesterol total**.** Tikus dipuasakan selama 12 jam sebelum pengambilan sampel darah, dengan tetap diberikan akses terhadap air minum. Sampel darah diambil melalui *orbital sinus* menggunakan prosedur pengambilan darah yang sesuai untuk hewan coba. Sampel darah selanjutnya diproses untuk memperoleh serum. Kadar kolesterol total serum dianalisis menggunakan metode enzimatik kolorimetri *cholesterol oxidase–phenol aminophenazone* (CHOD-PAP) dengan *Randox Total Cholesterol Reagent*, CH3810. Hasil pemeriksaan dinyatakan dalam mg/dL. Pemeriksaan dilakukan menggunakan prosedur analitik yang sama pada seluruh kelompok dan waktu pengukuran.

Berat badan tikus diukur secara individual menggunakan timbangan digital dengan kapasitas maksimum 2 kg dan ketelitian 0,1 g. Penimbangan dilakukan pada waktu yang telah ditentukan dengan prosedur yang sama pada seluruh kelompok. Hasil pengukuran dinyatakan dalam gram.

Pengukuran Tekanan Darah

Tekanan darah tikus diukur secara noninvasif menggunakan CODA Non-Invasive Blood Pressure System (Kent Scientific Corporation, USA) dengan metode *tail-cuff* berbasis *Volume Pressure Recording* (VPR)**.** Parameter yang diukur meliputi *systolic blood pressure* (SBP) dan *diastolic blood pressure* (DBP)**.** Metode *tail-cuff* merupakan metode noninvasif yang dapat digunakan untuk pengukuran tekanan darah pada hewan coba, meskipun pengukuran perlu dilakukan secara konsisten dan dengan proses aklimatisasi yang memadai untuk meminimalkan pengaruh stres terhadap hasil pengukuran (Kurtz et al., 2005; Harrison et al., 2024).

Sebelum pengukuran, tikus ditempatkan dalam *restrainer* dan diberikan waktu aklimatisasi hingga hewan berada dalam kondisi tenang. Ekor tikus dikeluarkan melalui bagian belakang *restrainer*. Ekor kemudian ditempatkan pada sistem *tail-cuff* CODA yang terdiri atas *occlusion cuff* dan *VPR cuff/sensor*. Pemanasan ringan pada ekor dilakukan sesuai prosedur alat untuk meningkatkan aliran darah perifer dan membantu memperoleh sinyal yang adekuat. *Occlusion cuff* dipasang pada bagian proksimal ekor, sedangkan sensor VPR ditempatkan pada bagian distal ekor.

Pengukuran dilakukan secara otomatis melalui proses pengembangan dan pengempisan (*inflation–deflation*) manset. Selama proses tersebut, sistem CODA mendeteksi perubahan volume darah pada ekor dan menghitung nilai SBP dan DBP. Beberapa siklus pengukuran dilakukan pada setiap hewan. Siklus awal digunakan sebagai tahap adaptasi, sedangkan hasil dari siklus pengukuran yang valid dan konsisten digunakan untuk menentukan nilai tekanan darah. Pengukuran dilakukan pada kondisi lingkungan, waktu, posisi hewan, dan prosedur yang sama untuk seluruh kelompok penelitian guna mengurangi variasi akibat faktor lingkungan dan stres.

Tekanan darah diukur sebelum pemberian intervensi (pre-intervention) dan setelah periode intervensi (post-intervention)**.** Nilai SBP dan DBP yang diperoleh dicatat dalam satuan mmHg**.** Perubahan tekanan darah selanjutnya dihitung berdasarkan perbedaan nilai sebelum dan sesudah intervensi, yaitu: Δ tekanan darah = nilai post-intervention − nilai pre-intervention. Persentase perubahan dihitung menggunakan rumus: % perubahan = [(nilai post-intervention − nilai pre-intervention) / nilai pre-

intervention] × 100%**.** Hasil pengukuran SBP dan DBP selanjutnya digunakan untuk membandingkan perubahan tekanan darah antar kelompok penelitian.

Analisis data meliputi uji normalitas dan uji beda. Uji normalitas menggunakan *Shapiro-Wilk*. Uji beda untuk mengetahui perbedaan data sebelum dan sesudah intervensi menggunakan uji *Paired T Test* dan uji *Wilcoxon*. Untuk mengetahui perbedaan data masing-masing kelompok menggunakan uji *One Way ANOVA*, *Kruskal wallis*,

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat Badan Tikus

Rerata berat badan tikus dari minggu awal sampai minggu terakhir tercantum pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. Berat badan tikus pada kondisi awal, setelah induksi, dan setelah intervensi

Kelompok	Awal, Mean ± SD (g)	Post-PTL, Mean ± SD (g)	Pascaintervensi, Mean ± SD (g)	*p* Awal vs Post-PTL	*p* Post-PTL vs Intervensi
P1	190,0 ± 2,8	203,0 ± 2,8	195,0 ± 2,8	<0,001	<0,001
P2	199,7 ± 2,8	233,2 ± 2,9	215,3 ± 2,7	<0,001	<0,001
P3	201,8 ± 2,8	226,5 ± 3,6	217,0 ± 3,5	<0,001	<0,001
P4	201,2 ± 3,1	226,3 ± 3,4	216,3 ± 3,4	<0,001	<0,001
P5	201,8 ± 2,9	230,2 ± 2,9	217,2 ± 2,9	<0,001	<0,001
p antar-kelompok†	0,370	<0,001	<0,001		

Perubahan Berat Badan

Berat badan tikus menunjukkan perubahan yang bermakna selama periode penelitian. Pada kondisi awal, tidak terdapat perbedaan berat badan antar kelompok (p = 0,370), yang menunjukkan bahwa karakteristik berat badan hewan uji relatif sebanding sebelum induksi. Kesetaraan kondisi awal ini penting untuk memastikan bahwa perubahan berat badan yang diamati selama penelitian lebih mungkin berkaitan dengan respons terhadap induksi dan intervensi, bukan disebabkan oleh perbedaan berat badan pada awal penelitian.

Setelah periode induksi menggunakan pakan tinggi lemak seluruh kelompok mengalami peningkatan berat badan yang signifikan dibandingkan kondisi awal (p < 0,001). Peningkatan tersebut menunjukkan adanya respons pertumbuhan dan perubahan keseimbangan energi selama periode induksi. Diet tinggi lemak dan fruktosa dapat meningkatkan densitas energi dan memengaruhi regulasi homeostasis energi, metabolisme lipid, serta deposisi jaringan adiposa. Pada model

tikus *Sprague–Dawley*, pemberian diet tinggi lemak dan fruktosa juga dilaporkan berkaitan dengan peningkatan berat badan dan asupan energi serta munculnya perubahan fenotipik yang berhubungan dengan gangguan metabolik (Rachmawati et al., 2022). Penelitian eksperimental lainnya menunjukkan bahwa HFFD dapat meningkatkan berat badan disertai perubahan profil lipid dan metabolisme glukosa, sehingga diet tersebut dapat digunakan untuk membentuk model gangguan metabolik pada hewan coba (Mustika et al., 2024).

Meskipun demikian, berat badan pada akhir periode induksi berbeda secara signifikan antar kelompok ($p < 0{,}001$). Kelompok P2 memiliki berat badan tertinggi (233,2 ± 2,9 g), sedangkan P1 memiliki berat badan terendah (203,0 ± 2,8 g). Perbedaan ini menunjukkan bahwa respons terhadap induksi HFFD tidak sepenuhnya homogen antar kelompok. Variabilitas berat badan setelah induksi dapat dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk perbedaan respons biologis individual terhadap diet, konsumsi energi, efisiensi pemanfaatan energi, durasi induksi, serta karakteristik fisiologis hewan. Oleh karena itu, perbedaan berat badan pascainduksi perlu dipertimbangkan dalam interpretasi perubahan selama periode intervensi dan tidak secara langsung diatribusikan sebagai efek perlakuan.

Setelah periode intervensi, seluruh kelompok mengalami penurunan berat badan yang signifikan dibandingkan dengan kondisi *Post-PTL* ($p < 0{,}001$). Penurunan absolut terbesar ditemukan pada P2, yaitu sekitar 17,9 g, diikuti P5 sebesar 13,0 g, P4 sebesar 10,0 g, P3 sebesar 9,5 g, dan P1 sebesar 8,0 g. Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan berat badan tidak hanya terjadi selama fase induksi, tetapi juga berlanjut selama periode intervensi. Namun, besarnya penurunan berat badan antar kelompok perlu ditafsirkan berdasarkan analisis *group* × *time interaction* atau perbandingan perubahan berat badan (*Δ body weight*), karena perbedaan berat badan akhir saja belum dapat membuktikan adanya efek spesifik intervensi.

Penurunan berat badan selama periode intervensi dapat mencerminkan perubahan keseimbangan energi dan metabolisme sebagai respons terhadap kondisi pascainduksi maupun pemberian perlakuan. Dalam model hewan dengan gangguan metabolik, perubahan berat badan dapat dipengaruhi oleh konsumsi pakan, efisiensi penggunaan energi, metabolisme lipid, deposisi jaringan adiposa, serta perubahan fungsi jaringan metabolik. Oleh karena itu, interpretasi perubahan

berat badan sebaiknya tidak hanya didasarkan pada jumlah pakan, tetapi juga mempertimbangkan parameter metabolik lain yang diukur dalam penelitian.

Temuan penelitian ini memiliki kesesuaian dengan beberapa penelitian eksperimental mengenai intervensi berbasis pangan dan komponen bioaktif. Lee et al. (2023) melaporkan bahwa pemberian saus kedelai pada tikus yang mendapat diet tinggi lemak dapat menurunkan *body-weight gain* dan ekspresi gen yang berkaitan dengan lipogenesis, tanpa perubahan bermakna pada konsumsi pakan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa perubahan berat badan dapat terjadi melalui perubahan regulasi metabolisme dan deposisi lipid, bukan semata-mata akibat perubahan jumlah makanan yang dikonsumsi.

Hasil serupa juga dilaporkan pada beberapa intervensi pangan fungsional lainnya. Pada tikus yang memperoleh diet tinggi lemak dan tinggi fruktosa, pemberian minuman berbasis murbei dan *Hippophae* selama delapan minggu dilaporkan dapat memperbaiki peningkatan berat badan yang diinduksi diet obesogenik. Selain itu, kombinasi *heat-killed Bifidobacterium longum* dan inulin selama 12 minggu dilaporkan menurunkan *weight gain*, massa lemak tubuh, dan berat jaringan adiposa pada tikus yang mendapat diet tinggi lemak, meskipun konsumsi pakan tidak berbeda bermakna antar kelompok. Temuan tersebut mendukung kemungkinan bahwa perubahan berat badan dapat berkaitan dengan perubahan metabolisme energi, deposisi lipid, dan interaksi antara komponen pangan dengan mikrobiota usus.

Penelitian Yan et al. (2024) juga menunjukkan bahwa pemberian *wheat bran oil* pada tikus dengan obesitas yang diinduksi diet tinggi lemak dapat menurunkan pertambahan berat badan dan akumulasi lipid serta memperbaiki steatosis dan inflamasi hati. Efek tersebut diduga berkaitan dengan komponen bioaktif dalam *wheat bran* serta modulasi mikrobiota usus dan metabolit yang berperan dalam metabolisme hati. Temuan tersebut memberikan dasar biologis yang relevan untuk membahas potensi bahan berbasis bekatul dalam penelitian ini, mengingat bekatul merupakan sumber serat pangan dan berbagai senyawa bioaktif yang berpotensi memengaruhi metabolisme lipid dan homeostasis energi (Yan et al., 2024).

Kombinasi tempe dan bekatul yang digunakan dalam penelitian ini secara teoritis dapat memberikan efek metabolik melalui beberapa mekanisme yang saling berkaitan. Tempe merupakan sumber protein dan komponen bioaktif hasil fermentasi kedelai, sedangkan bekatul mengandung serat pangan, senyawa fenolik,

dan komponen bioaktif lainnya. Serat pangan berpotensi memengaruhi rasa kenyang, absorpsi nutrien, metabolisme lipid, serta komposisi dan aktivitas mikrobiota usus, sementara komponen bioaktif dapat berkontribusi terhadap regulasi metabolisme lipid dan status oksidatif. Namun, karena penelitian ini tidak secara langsung mengukur asupan energi, komposisi tubuh, massa jaringan adiposa, atau perubahan mikrobiota usus sebagai mediator, mekanisme tersebut perlu dipandang sebagai kemungkinan biologis dan tidak dapat disimpulkan secara kausal berdasarkan perubahan berat badan saja.

Secara keseluruhan, peningkatan berat badan yang terjadi selama induksi menunjukkan adanya respons terhadap pemberian HFFD, sedangkan penurunan berat badan pada seluruh kelompok selama periode intervensi menunjukkan adanya perubahan fenotipik selama fase perlakuan. Namun, karena berat badan pascainduksi berbeda antar kelompok dan seluruh kelompok mengalami penurunan berat badan, interpretasi efek spesifik intervensi sebagai salah satu indikator fenotipik pendukung, sedangkan keberhasilan intervensi dalam memperbaiki gangguan metabolik perlu dinilai secara terpadu bersama biomarker kolesterol total dan tekanan darah.

Tabel 2. Perubahan kadar kolesterol

Kelompok	Awal, Mean ± SD	Post-PTL, Mean ± SD	Pasca intervensi, Mean ± SD	Δ Awal–Post-PTL	Δ Post-PTL–Intervensi	Δ Awal–Intervensi	p *
P1	92,49 ± 2,30	94,20 ± 2,33	95,31 ± 2,23	+1,71	+1,11	+2,82	<0,001
P2	90,38 ± 4,91	224,94 ± 3,84	224,45 ± 3,75	+134,56	−0,49	+134,07	<0,001
P3	90,49 ± 4,12	223,72 ± 3,35	105,43 ± 3,91	+133,23	−118,29	+14,94	<0,001
P4	90,84 ± 4,18	225,51 ± 3,24	97,41 ± 2,03	+134,67	−128,10	+6,56	<0,001
P5	94,37 ± 2,82	151,7 ± 22,47	152,96 ± 3,87	+120,80	−62,21	+58,59	<0,001
p antar-kelompok†	0,328	<0,001	<0,001	**<0,001**	**<0,001**	**<0,001**	

Kadar kolesterol total pada awal penelitian tidak menunjukkan perbedaan yang bermakna antar kelompok (p = 0,328), dengan rerata berkisar antara 90,38 ± 4,91 hingga 94,37 ± 2,82 mg/dL. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi awal kadar kolesterol antar kelompok relatif sebanding sebelum dilakukan induksi.

Setelah periode induksi PTL, terdapat perbedaan kadar kolesterol total yang bermakna antar kelompok (p < 0,001). Kelompok P2, P3, P4, dan P5 menunjukkan peningkatan kadar kolesterol yang besar dibandingkan kondisi awal, masing-masing sebesar 134,56; 133,23; 134,67; dan 120,80 mg/dL. Kadar kolesterol tertinggi setelah induksi ditemukan pada P4 (225,51 ± 3,24 mg/dL), diikuti P2

(224,94 ± 3,84 mg/dL), P3 (223,72 ± 3,35 mg/dL), dan P5 (215,17 ± 22,47 mg/dL). Sementara itu, P1 hanya mengalami peningkatan sebesar 1,71 mg/dL.

Setelah periode intervensi, terdapat perbedaan kadar kolesterol total yang bermakna antar kelompok ($p < 0,001$). P2 menunjukkan perubahan yang minimal, yaitu dari 224,94 ± 3,84 menjadi 224,45 ± 3,75 mg/dL (Δ = −0,49 mg/dL). Sebaliknya, kadar kolesterol menurun pada P3 dari 223,72 ± 3,35 menjadi 105,43 ± 3,91 mg/dL (Δ = −118,29 mg/dL), P4 dari 225,51 ± 3,24 menjadi 97,41 ± 2,03 mg/dL (Δ = −128,10 mg/dL), dan P5 dari 215,17 ± 22,47 menjadi 152,96 ± 3,87 mg/dL (Δ = −62,21 mg/dL). P1 menunjukkan sedikit peningkatan kadar kolesterol dari 94,20 ± 2,33 menjadi 95,31 ± 2,23 mg/dL.

Penurunan kadar kolesterol dari *Post-PTL* hingga pascaintervensi masing-masing sebesar 52,9% pada P3, 56,8% pada P4, dan 28,9% pada P5. Penurunan terbesar secara absolut maupun relatif ditemukan pada P4. Sebaliknya, P2 relatif tidak mengalami perubahan. Perbedaan perubahan kadar kolesterol antar kelompok juga menunjukkan hasil yang bermakna ($p < 0,001$).

Peningkatan kadar kolesterol total setelah induksi pada kelompok P2–P5 menunjukkan bahwa diet induksi berhasil menghasilkan perubahan metabolisme lipid yang diperlukan untuk membentuk model hiperkolesterolemia. Diet tinggi lemak dan fruktosa dapat meningkatkan ketersediaan substrat lipid serta mengganggu homeostasis lipid dan fungsi metabolik hati, sehingga dapat digunakan untuk menghasilkan fenotipe gangguan metabolik pada hewan coba (Mustika et al., 2024).

Setelah intervensi, kadar kolesterol total menunjukkan respons yang berbeda antar kelompok. P3, P4, dan P5 mengalami penurunan masing-masing sebesar 118,29; 128,10; dan 62,21 mg/dL, sedangkan P2 relatif tidak berubah (−0,49 mg/dL). Penurunan terbesar secara numerik ditemukan pada P4, yaitu 56,8% dari kadar *Post-PTL*. Pola ini menunjukkan bahwa pemberian formula intervensi berpotensi memperbaiki peningkatan kolesterol akibat induksi, meskipun besarnya efek berbeda antar formula. Interpretasi efektivitas antar kelompok perlu terutama didasarkan pada *group* × *time interaction* dan perbandingan perubahan (*Δ*) antar kelompok, bukan semata-mata *p*-value perubahan dalam kelompok.

Secara biologis, efek tersebut dapat dikaitkan dengan kombinasi komponen bioaktif bekatul, tempe, dan temulawak. Bekatul mengandung serat pangan,

fitosterol, γ-oryzanol, tokoferol, tokotrienol, dan senyawa fenolik yang berpotensi menurunkan absorpsi kolesterol intestinal, meningkatkan ekskresi sterol dan asam empedu, serta memodulasi metabolisme lipid. Bukti klinis terbaru menunjukkan bahwa konsumsi *rice bran* berhubungan dengan penurunan kolesterol total dan LDL-kolesterol, meskipun besarnya efek bervariasi antar penelitian (Nascimento et al., 2025).

Tempe juga berpotensi memberikan kontribusi melalui isoflavon, peptida bioaktif, dan metabolit hasil fermentasi. Studi terbaru pada tepung tempe menunjukkan aktivitas pengikatan kolesterol dan anti-lipase yang lebih tinggi dibandingkan tepung kedelai, serta mengidentifikasi berbagai metabolit bioaktif yang berpotensi mendukung aktivitas hipokolesterolemik (2025). Sementara itu, temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) mengandung kurkuminoid dan xanthorrhizol yang memiliki aktivitas biologis terkait stres oksidatif dan metabolisme lipid. Bukti meta-analisis menunjukkan bahwa suplementasi kurkumin/kunyit dapat memperbaiki beberapa parameter lipid, termasuk kolesterol total, trigliserida, dan LDL-kolesterol (Dehzad et al., 2023). Namun, bukti tersebut tidak dapat disamakan secara langsung dengan efek temulawak utuh karena komposisi dan matriks bahan berbeda.

Dengan demikian, penurunan kolesterol pada kelompok intervensi kemungkinan mencerminkan kontribusi multipel komponen bioaktif, terutama melalui pengaruh terhadap absorpsi kolesterol, metabolisme lipid, dan keseimbangan oksidatif. Temuan pada bahan *bran* dan pangan berbasis kedelai pada model hewan juga mendukung plausibilitas biologis tersebut (Yan et al., 2024; Lee et al., 2023). Namun, penelitian ini tidak dirancang untuk memisahkan efek masing-masing bahan sehingga belum dapat membuktikan adanya efek sinergistik antara bekatul, tempe, dan temulawak. Selain itu, kandungan spesifik γ-oryzanol, fitosterol, isoflavon, kurkuminoid, dan xanthorrhizol tidak diukur secara langsung.

Secara keseluruhan, formula intervensi menunjukkan potensi dalam menurunkan kadar kolesterol total pada tikus dengan hiperkolesterolemia yang diinduksi, dengan penurunan terbesar secara deskriptif ditemukan pada P4. Temuan ini mendukung potensi kombinasi bahan pangan lokal sebagai pangan fungsional untuk modulasi metabolisme lipid, tetapi kekuatan kesimpulan

mengenai efek intervensi harus ditentukan berdasarkan analisis *group* × *time interaction* dan perbandingan *Δ* antar kelompok.

Tabel 3. Perubahan tekanan darah selama penelitian

Kelompok	Awal	Post-PTL	Pascaintervensi	*p* Awal vs Post-PTL	*p* Post-PTL vs Intervensi
K1	190,0 ± 2,8	203,0 ± 2,8	195,0 ± 2,8	<0,001	<0,001
K2	199,7 ± 2,8	233,2 ± 2,9	215,3 ± 2,7	<0,001	<0,001
K3	201,8 ± 2,8	226,5 ± 3,6	217,0 ± 3,5	<0,001	<0,001
K4	201,2 ± 3,1	226,3 ± 3,4	216,3 ± 3,4	<0,001	<0,001
K5	201,8 ± 2,9	230,2 ± 2,9	217,2 ± 2,9	<0,001	<0,001
p	0,880	<0,001	<0,001		

Perubahan Tekanan Darah Selama Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan darah awal tidak berbeda bermakna antar kelompok (p = 0,880), menunjukkan kondisi basal yang relatif homogen. Setelah induksi PTL, tekanan darah meningkat secara signifikan pada seluruh kelompok (p < 0,001), yang mengindikasikan bahwa model diet berhasil menghasilkan perubahan hemodinamik. Diet tinggi lemak dan/atau fruktosa dapat meningkatkan tekanan darah melalui peningkatan stres oksidatif, gangguan bioavailabilitas *nitric oxide* (NO), aktivasi sistem renin–angiotensin–aldosteron, serta gangguan homeostasis natrium. Pada tikus *Sprague-Dawley*, diet tinggi fruktosa dilaporkan meningkatkan tekanan darah disertai gangguan ekskresi natrium, sedangkan diet tinggi karbohidrat dan lemak dapat meningkatkan tekanan darah, dislipidemia, kekakuan arteri, dan remodeling vaskular (Kukongviriyapan et al., 2017).

Setelah intervensi, tekanan darah menurun secara signifikan pada seluruh kelompok (p < 0,001). Penurunan terbesar ditemukan pada K2 sebesar 17,9 mmHg (7,7%), diikuti K5 sebesar 13,0 mmHg (5,6%), K4 sebesar 10,0 mmHg (4,4%), K3 sebesar 9,5 mmHg (4,2%), dan K1 sebesar 8,0 mmHg (3,9%). Secara deskriptif, penurunan yang lebih besar pada kelompok intervensi menunjukkan potensi efek antihipertensi pangan yang diberikan.

Hasil penelitian yang terjadi pada kelompok K2 menunjukkan peningkatan tekanan darah paling besar setelah induksi PTL, dibandingkan kelompok lainnya.

Tingginya tekanan darah K2 setelah induksi dapat berkaitan dengan respons terhadap PTL akibat peningkatan stres oksidatif, disfungsi endotel, peningkatan resistensi vaskular, dan perubahan sistem pengaturan tekanan darah. Diet tinggi lemak dapat meningkatkan stres oksidatif dan mengganggu fungsi endotel, sehingga keseimbangan antara faktor vasodilator dan vasokonstriktor menjadi terganggu. Selain itu, perubahan sistem renin–angiotensin dapat meningkatkan pembentukan angiotensin II yang memiliki efek vasokonstriktor dan dapat berkontribusi terhadap peningkatan tekanan darah (Triebel and Castrop, 2024).

K2 merupakan kelompok kontrol positif yang mendapatkan pakan standar dan simvastatin. Simvastatin digunakan untuk memperbaiki metabolisme lipid melalui inhibisi HMG-CoA *reductase*. Statin juga dapat memberikan efek vaskular tambahan, termasuk kemungkinan peningkatan bioavailabilitas NO dan modulasi fungsi endotel. Namun, efek penurunan tekanan darah statin relatif kecil dibandingkan efek obat antihipertensi utama (Padmanabhan et al., 2020; Liu et al., 2023).

Hasil Meta-analisis uji terkontrol secara acak menunjukkan bahwa statin dapat menurunkan tekanan darah, tetapi besarnya efek relatif kecil. Liu et al. (2023) melaporkan adanya penurunan tekanan darah pada penggunaan statin dibandingkan kontrol, tetapi efek tersebut tidak cukup besar untuk menempatkan statin sebagai terapi utama hipertensi sehingga pada kelompok K2 memiliki respons tekanan darah pasca-PTL paling tinggi sehingga meskipun terjadi penurunan selama periode intervensi, nilai akhirnya masih relatif tinggi.

Potensi efek tersebut secara biologis dapat dikaitkan dengan komponen bioaktif bekatul, tempe, dan temulawak**.** Bekatul mengandung peptida bioaktif, senyawa fenolik, tokoferol, dan tokotrienol yang berpotensi memberikan aktivitas antioksidan dan kardiovaskular. Pada tikus hipertensi, *rice bran protein hydrolysate* dilaporkan menurunkan tekanan darah, aktivitas ACE, produksi superoksida, dan MDA serta meningkatkan nitrat/nitrit dan ekspresi eNOS, sehingga menunjukkan keterlibatan jalur ACE–NO dan stres oksidatif dalam efek antihipertensinya (Kukongviriyapan et al., 2015; Kukongviriyapan et al., 2017). Temuan tersebut relevan dengan penelitian ini, khususnya karena SOD dan MDA juga digunakan sebagai indikator stres oksidatif.

Tempe berpotensi memberikan efek tambahan melalui peptida hasil fermentasi, isoflavon, dan GABA. Fermentasi kedelai oleh *Rhizopus* meningkatkan ketersediaan komponen bioaktif dan dapat menghasilkan peptida

yang memiliki aktivitas penghambatan ACE. Produk kedelai fermentasi juga dilaporkan memiliki aktivitas antihipertensi melalui modulasi ACE, NO, dan sistem antioksidan (Zhang et al., 2022). Dengan demikian, protein dan metabolit hasil fermentasi tempe dalam formulasi intervensi berpotensi berkontribusi terhadap regulasi tekanan darah melalui mekanisme yang melibatkan ACE dan fungsi vaskular.

Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*) juga berpotensi memperkuat efek tersebut melalui kandungan kurkuminoid, terutama kurkumin, yang memiliki aktivitas antioksidan dan antiinflamasi. Pada model tikus hipertensi, kurkumin dilaporkan memperbaiki fungsi endotel, meningkatkan bioavailabilitas NO dan ekspresi eNOS, serta menurunkan aktivitas ACE, produksi superoksida, dan stres oksidatif (Boonla et al., 2014). Oleh karena itu, kombinasi bekatul, tempe, dan temulawak secara teoritis dapat memberikan efek komplementer melalui penurunan stres oksidatif, modulasi ACE, dan pemeliharaan fungsi endotel.

Secara keseluruhan, penurunan tekanan darah setelah intervensi kemungkinan berkaitan dengan aktivitas multi-komponen bioaktif dari bekatul, tempe, dan temulawak.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Formula berbasis bekatul, tempe, dan temulawak menurunkan berat badan, kadar kolesterol, dan tekanan darah secara bermakna pada tikus *Sprague-Dawley* yang diinduksi PTL, sehingga berpotensi memperbaiki kondisi metabolik dan kardiovaskular.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi efek pangan fungsional berbasis bekatul, tempe, dan temulawak dengan jumlah sampel yang lebih besar dan periode intervensi yang lebih panjang, serta mengukur biomarker yang berkaitan dengan mekanisme antihipertensi dan metabolisme lipid, seperti ACE, NO, dan penanda fungsi endotel. Penelitian lanjutan juga perlu membandingkan dosis atau komposisi formulasi untuk menentukan formulasi yang paling efektif dalam memperbaiki berat badan, tekanan darah, dan kadar kolesterol.

DAFTAR PUSTAKA

Bintanah, S., Muis, S. F., Purwanto, A. P., & Kusuma, H. S. (2019). The acceptability of a tempe and rice bran flour combination formula for anti-hyperlipidemia and antioxidative stress. *Pakistan Journal of Nutrition, 18*(4), 301–307. https://doi.org/10.3923/pjn.2019.301.307

Bintsis, T., et al. (2024). *A review on health benefits and processing of tempeh with outlines on its functional microbes*. Future Foods, 9, 100330. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100330.

Boonla, O., Kukongviriyapan, U., Pakdeechote, P., Kukongviriyapan, V., Pannangpetch, P., Prachaney, P., & Greenwald, S. E. (2014). Curcumin improves endothelial dysfunction and vascular remodeling in 2K-1C hypertensive rats by raising nitric oxide availability and reducing oxidative stress. *Nitric Oxide, 42*, 44–53. https://doi.org/10.1016/j.niox.2014.09.001

Boonloh, K., Kukongviriyapan, V., Kongyingyoes, B., Kukongviriyapan, U., Thawornchinsombut, S., & Pannangpetch, P. (2015). Rice bran protein hydrolysates improve insulin resistance and decrease pro-inflammatory cytokine gene expression in rats fed a high carbohydrate-high fat diet. *Nutrients, 7*(8), 6313–6329. https://doi.org/10.3390/nu7085292

Dehzad, M. J., Ghalandari, H., Amini, M. R., & Askarpour, M. (2023). Effects of curcumin/turmeric supplementation on lipid profile: A GRADE-assessed systematic review and dose-response meta-analysis of randomized controlled trials. *Complementary Therapies in Medicine, 75*, 102955. https://doi.org/10.1016/j.ctim.2023.10295

Karimi, A., Moini Jazani, A., Darzi, M., Nasimi Doost Azgomi, R., & Vajdi, M. (2023). Effects of curcumin on blood pressure: A systematic review and dose-response meta-analysis. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, 33*(11), 2089–2101. https://doi.org/10.1016/j.numecd.2023.07.003

Harrison DG, Bader M, Lerman LO, Fink G, Karumanchi SA, Reckelhoff JF, Sequeira-Lopez MLS, Touyz RM**.** Tail-Cuff Versus Radiotelemetry to Measure Blood Pressure in Mice and Rats. *Hypertension*. 2024;81(1):3–5. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.123.22329

Kurtz TW, Griffin KA, Bidani AK, Davisson RL, Hall JE**.** Recommendations for blood pressure measurement in humans and experimental animals: Part 2: Blood pressure measurement in experimental animals. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. 2005;25(3):e22–e33. doi:10.1161/01.ATV.0000158419.98675.27

Lee, E.-J., Song, J., Park, C.-H., Mun, E.-G., Wang, J., Han, A., Park, J. E., & Cha, Y.-S. (2023). Soy sauce lowers body weight and fat mass in high-fat diet-induced obese rats. *Journal of Medicinal Food, 26*(11), 858–867. https://doi.org/10.1089/jmf.2022.K.0125

Liu, Z., Liu, X., Ma, Z., & Guan, T. (2023). Phytosterols in rice bran and their health benefits. Frontiers in Nutrition, 10, 1287405. https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1287405

Manzoor, A., Pandey, V. K., Dar, A. H., et al. (2023). Rice bran: Nutritional, phytochemical, and pharmacological profile and its contribution to human health promotion. Food Chemistry Advances, 2, 100296. https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100296.

Mustika, S., Handayani, D., Rudijanto, A., Santosaningsih, D., Mariyatun, M., Gatya, M., Pramesi, P. C., Rahayu, E. S., & Fajar, J. K. (2024). Comparative analysis of short-chain fatty acid levels in non-alcoholic steatohepatitis rat model: Impact of high-fat high-fructose (HFHF), high fat, and Western diets. *Narra Journal, 4*(1), e670. https://doi.org/10.52225/narra.v4i1.670.

Park, S.-Y., Kim, Y., Park, M. J., & Kim, J. Y. (2025). Rice bran consumption improves lipid profiles: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrients, 17*(1), 114. https://doi.org/10.3390/nu17010114

Senaphan, K., Sangartit, W., Pakdeechote, P., Kukongviriyapan, V., Pannangpetch, P., Thawornchinsombut, S., Greenwald, S. E., & Kukongviriyapan, U. (2018). Rice bran protein hydrolysates reduce arterial stiffening, vascular remodeling and oxidative stress in rats fed a high-carbohydrate and high-fat diet. *European Journal of Nutrition, 57*(1), 219–230. https://doi.org/10.1007/s00394-016-1311-0.

Stănciuc, N., et al. (2023). Rice bran: From waste to nutritious food ingredients. Nutrients, 15(11), 2503. https://doi.org/10.3390/nu15112503

World Health Organization. (2023). *Reducing sodium intake to reduce blood pressure and risk of cardiovascular diseases in adults*. https://www.who.int/tools/elena/interventions/sodium-cvd-adults.

Yan, H., Kuerbanjiang, M., Muheyati, D., Yang, Z., & Han, J. (2024). Wheat bran oil ameliorates high-fat diet-induced obesity in rats with alterations in gut microbiota and liver metabolite profile. *Nutrition & Metabolism, 21*, 84. https://doi.org/10.1186/s12986-024-00861-5

.