

Literatur Review: Dampak konsumsi tempe terhadap modulasi sistem imun dalam meningkatkan IgA, menurunkan IgE, dan IL-6

Literature Review: The impact of tempeh consumption on immune system modulation in increasing IgA, decreasing IgE, and IL-6

SAGO: Gizi dan Kesehatan
2024, Vol. 5(3b) 1128-1136
© The Author(s) 2024



DOI <http://dx.doi.org/10.30867/gikes.v5i3b.1896>
<https://ejournal.poltekkesaceh.ac.id/index.php/gikes>



Poltekkes Kemenkes Aceh

Nadhira Rifani Putrianty^{1*}, Yessi Crosita Octaria²

Abstract

Background: Cases related to the immune system, such as infections, tend to increase because human life heavily depends on the activation and suppression of immune responses to combat various pathogens and disease factors. The nutritional content of tempeh is known to have the ability to regulate the immune system, either enhancing or inhibiting immune responses.

Objectives: This study aimed to determine the impact of consuming tempeh on immune system modulation specifically in increasing IgA, decreasing IgE and IL-6.

Methods: The type of research is a narrative review that utilizes articles from 2014 to 2024, sourced from Google Scholar, PubMed, and ScienceDirect. The reviewed articles were quasi-experimental and experimental studies on humans and animal models. Inclusion and exclusion criteria were guided by the PICOS framework. Data were processed and analyzed using the PRISMA approach to filter and identify relevant literature, followed by a narrative synthesis to interpret research findings.

Results: Tempeh consumption induces an increase in IgA production, reduces IgE levels, and lowers IL-6 concentrations. IgA secretion increased from 2098 ng/mL to 2573 ng/mL in males and from 2376 ng/mL to 2421 ng/mL in females after 25 days of tempeh intake. Combining tempeh consumption with resistance training for 2 weeks also elevated sIgA concentrations from 70.123 ng/mL to 77.216 ng/mL. In rats, tempeh Rs reduced plasma IgE levels from 1.2 µg/mL to 0.8 µg/mL after 14 days and decreased skin severity scores from 2.5 to 1.5.

Conclusion: Tempeh consumption positively influences immune modulation by increasing IgA levels, reducing IgE, and lowering IL-6 concentrations.

Keywords:

Immune response, immune system, tempeh

Abstrak

Latar Belakang: Kasus yang terkait dengan sistem kekebalan tubuh, seperti infeksi, cenderung meningkat karena kehidupan manusia sangat tergantung pada aktivasi dan penekanan respon imun sebagai cara untuk melawan berbagai patogen dan faktor penyakit. Kandungan gizi pada tempe diketahui memiliki kemampuan untuk mengatur sistem kekebalan tubuh yang menyebabkan meningkatnya atau menghambat respon imun.

Tujuan: Mengetahui dampak konsumsi tempe terhadap modulasi sistem imun dalam meningkatkan IgA, menurunkan IgE, dan IL-6.

Metode: Jenis penelitian merupakan *narrative review* yang menggunakan artikel 2014 hingga 2024 dengan menggunakan basis data publikasi *Google Scholar*, *PubMed*, dan *ScienceDirect*. Artikel yang ditelaah merupakan penelitian kuasi eksperimen dan eksperimen pada manusia serta hewan percobaan. Kriteria inklusi dan eksklusi menggunakan PICOS untuk mengarahkan fokus pada masalah. Data diolah dan dianalisis menggunakan pendekatan PRISMA untuk menyaring dan mengidentifikasi literatur yang relevan, diikuti dengan sintesis naratif sebagai metode dalam literature review untuk menginterpretasikan temuan penelitian.

¹ Program Studi Gizi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, Jakarta, Indonesia.
E-mail: nadhirarifani343@gmail.com

² Program Studi Gizi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, Jakarta, Indonesia.
E-mail: yessi@upnvj.ac.id

Penulis Koresponding:

Nadhira Rifani Putrianty: Program Studi Gizi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, Jakarta, Indonesia.
E-mail: nadhirarifani343@gmail.com

Hasil: Sekresi IgA pada laki-laki meningkat dari 2098 ng/mL menjadi 2573 ng/mL, dan pada perempuan dari 2376 ng/mL menjadi 2421 ng/mL setelah pemberian tempe selama 25 hari. Kombinasi konsumsi tempe dan latihan resistensi selama 2 minggu juga meningkatkan konsentrasi sIgA naik dari 70.123 ng/mL menjadi 77.216 ng/mL. Pada tikus, konsumsi tempe Rs menurunkan konsentrasi IgE plasma dari 1.2 µg/mL menjadi 0.8 µg/mL setelah 14 hari, dan skor keparahan kulit menurun dari 2.5 menjadi 1.5.

Kesimpulan: Konsumsi tempe dapat meningkatkan IgA. Peningkatan signifikan juga terlihat pada konsentrasi IgA setelah konsumsi tempe dan latihan resistensi.

Kata Kunci:

Respon imun, sistem imun, tempe

Pendahuluan

Tempe menjadi produk pangan fermentasi kedelai kaya akan gizi yang berasal dari Indonesia sudah mendapatkan pengakuan luas karena mempunyai manfaat terhadap kesehatan (Romulo & Surya, 2021). Proses fermentasi tempe melibatkan mikroorganisme seperti strain-strain dari spesies *Rhizopus*, yang mencakup *Rhizopus oligosporus*, *R. oryzae*, *R. stolonifer* (kapang roti), atau *R. arrhizus*. Di antara spesies tersebut, *R. oligosporus* dan *R. oryzae* merupakan yang paling dominan dan berperan utama dalam fermentasi tempe (Sine & Soetarto, 2018). Masyarakat banyak menggemari makanan ini karena kandungan gizinya yang berlimpah. Dalam setiap 100 gram tempe, terdapat sekitar 20.8 gram protein, 13.5 gram karbohidrat, 8.8 gram lemak, 0.19 miligram vitamin B1, 155 miligram kalsium, serta sedikit serat (Jubaidah et al., 2016). Berbagai macam antioksidan penting ada pada tempe seperti vitamin E, vitamin B2, beta karoten, isoflavon, asam lemak tak jenuh jamak (PUFA). Selain itu ada berbagai mineral seperti besi (Fe), tembaga (Cu), seng (Zn), selenium (Se), dan kromium (Cr) (Agung, 2016).

Kasus yang terkait dengan sistem kekebalan tubuh, seperti infeksi, cenderung meningkat karena kehidupan manusia sangat tergantung pada aktivasi dan penekanan respon imun sebagai cara untuk melawan berbagai patogen dan faktor penyakit (Aoki et al., 2020). Secara umum, sistem imun terdiri dari dua lini utama: imunitas alamiah dan imunitas adaptif. Imunitas alamiah berfungsi sebagai pertahanan pertama dengan mekanisme non-spesifik (tidak bergantung pada antigen) untuk melawan dan mengatasi patogen yang masuk ke dalam tubuh (Ilyas et al., 2024). Pada sistem imun spesifik akan dapat mengenali patogen atau mitogen asing yang pernah terpapar sebelumnya sehingga dapat memberikan respon imun yang

lebih baik karena melibatkan sel memori (Erniati & Riri, 2020).

Cara kerja imunitas adaptif jika sel B memori tidak mengenali agen infeksi sebagai patogen, maka agen tersebut dianggap sebagai antigen atau zat asing yang tidak dikenal oleh tubuh (Campbell et al., 2018). Proses ini dimulai ketika sel-sel penyaji antigen (seperti sel dendritik) mengenali dan memproses antigen tersebut, lalu menampilkan informasi kepada sel T dan B. Sel T kemudian mengaktifkan sel B untuk memproduksi antibodi yang spesifik terhadap antigen tersebut. Jika patogen berhasil melewati pertahanan awal tubuh dan tidak dikenali oleh sel B memori pada pertemuan pertama, sistem kekebalan akan mencoba melawan patogen dengan memicu respons inflamasi dan mengaktifkan berbagai mekanisme pertahanan lainnya (Rastogi et al., 2022). Beberapa penelitian telah melaporkan bahwa tempe memiliki berbagai manfaat bagi kesehatan manusia. Adanya antioksidan pada tempe dapat meningkatkan sistem kekebalan tubuh, memperbaiki kesehatan usus, menurunkan tekanan darah tinggi, melindungi hati, mengontrol diabetes, memiliki sifat antimikroba, dan mengurangi proses penuaan (Aryanta, 2020).

Mayoritas dari manfaat ini terkait erat dengan keberadaan peptida bioaktif dan isoflavon dalam tempe (Rizzo, 2020). Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh (Gholami et al., 2021) bahwa konsumsi isoflavon dan protein kedelai dalam dosis yang cukup tinggi (lebih dari 84 mg/hari) dapat mengurangi tingkat inflamasi ditandai dengan penurunan IL-6. Hal tersebut menjadikan potensi kedelai pada tempe dalam diet sebagai agen antiinflamasi, terutama pada kondisi atau penyakit yang ditandai oleh inflamasi kronis.

Tempe biasanya dikonsumsi setelah dimasak terlebih dahulu. Namun, panas menyebabkan probiotik menjadi tidak aktif (paraprobiotik). Meskipun paraprobiotik adalah bakteri yang dinonaktifkan, paraprobiotik dalam tempe memiliki banyak manfaat kesehatan (Subali et al., 2023). Pada penelitian Stephanie et al. (2017) bahwa tempe diakui sebagai sumber yang sangat baik dari paraprobiotik, yaitu sebagai sel mikroba tidak aktif atau tidak hidup yang dapat memberikan manfaat seperti meningkatkan sekresi IgA (Stephanie et al., 2017). Paraprobiotik dapat membantu mengatur sistem kekebalan adaptif dan bawaan, memiliki sifat antioksidan, antiinflamasi, dan antiproliferatif, serta memberikan efek antagonis terhadap patogen (Kumar et al., 2023). Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Soka et al. (2015) juga menemukan bahwa kehadiran mikroorganisme non-aktif dalam tempe yang telah dimasak dapat merangsang respons kekebalan, seperti produksi IgA 1130system1130 di dalam usus tikus.

Manfaat lain dari tempe adalah dapat mengurangi potensi alergi (hipoalergenik). Berdasarkan penelitian oleh Huang., et al (2019) fermentasi tempe dengan kombinasi jamur *R. oligosporus* dan *A. elegans* menghasilkan pengurangan tertinggi dalam reaksi alergi (imunoreaktivitas IgE) untuk semua sampel serum yang digunakan. Sebagian besar studi tentang dampak tempe dalam modulasi 1130system imun masih banyak dilakukan pada model hewan atau *in vitro* sedangkan uji klinis pada manusia masih terbatas. Berdasarkan hal tersebut ulasan ini dilakukan dengan tujuan untuk secara kritis merangkum pengetahuan dan pemahaman saat ini tentang dampak konsumsi tempe dalam modulasi 1130 ystem imun dalam meningkatkan IgA, menurunkan IgE dan IL-6. Diharapkan ulasan ini dapat memberikan wawasan mendalam dan mengidentifikasi kebutuhan penelitian lebih lanjut di bidang ini.

Metode

Jenis penelitian ini adalah *narrative review*, yang merupakan sebuah kajian yang menggunakan sumber data sekunder yang diperoleh dari literatur yang dapat diakses melalui *database* daring seperti *Google Scholar*, *PubMed*, dan *ScienceDirect* dari tahun 2014 hingga 2024 dapat diakses *fulltext* dan

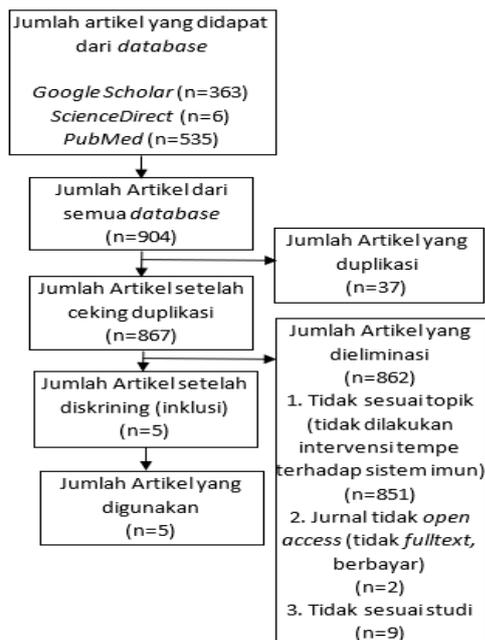
artikel dalam bahasa Indonesia dan Inggris. Metode pencarian artikel atau jurnal menggunakan kata kunci dan operator boolean (*AND*, *OR*, dan *NOT*) memungkinkan pencarian yang lebih luas atau spesifik sesuai kebutuhan.

Kata kunci yang digunakan dalam pencarian literatur ini adalah "*tempeh*" *AND* "*immune system*" *OR* "*immunity*" *AND* "*elisa*". Kata kunci "*elisa*" ditambahkan karena metode ELISA sering digunakan dalam penelitian untuk mengevaluasi dampak konsumsi tempe terhadap sistem imun. Pencarian literatur berdasarkan kata kunci tersebut menjadi lebih terarah pada studi-studi yang menggunakan metode ELISA sebagai teknik analisis utama untuk mengukur respons imun, seperti tingkat antibodi atau sitokin. Pemilihan artikel yang akan ditelaah ditetapkan berdasarkan kriteria inklusi menggunakan PICOS yang terdiri dari (*Problem, Intervention, Comparator, Outcome, Study Design*).

Tabel 1. Framework PICOS

<i>Problem</i>	Efek konsumsi tempe atau komponennya terhadap modulasi sistem imun
<i>Intervention</i>	Studi yang melibatkan konsumsi tempe atau produk berbasis tempe sebagai bagian dari intervensi.
<i>Comparatior</i>	Kelompok kontrol atau pembanding yang tidak mengonsumsi tempe atau mengonsumsi produk non-tempe.
<i>Outcome</i>	Mengukur efek konsumsi tempe yang berfokus pada perubahan parameter imunologi seperti tingkat antibodi, sitokin atau indikator imun lainnya yang diukur menggunakan teknik seperti elisa.
<i>Study Design</i>	Kuasi-eksperimen dan eksperimen pada manusia maupun hewan.

Pencarian literatur yang dilakukan melalui database Google Scholar, Science Direct, dan PubMed antara tahun 2014 hingga 2024 menghasilkan sejumlah studi yang relevan dengan variabel penelitian tentang sistem imun sebanyak 5 artikel. Fokus penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi pengaruh konsumsi tempe terhadap sistem imun.



Gambar 1. Alur diagram PRISMA

Dari hasil pencarian tersebut, ditemukan 5 artikel yang sesuai dengan kriteria inklusi. Artikel-artikel ini kemudian dikategorikan berdasarkan jenis subjek yang digunakan dalam studi, yakni manusia dan hewan percobaan. Dua dari lima artikel melibatkan manusia sebagai subjek intervensi, sementara tiga lainnya menggunakan tikus sebagai model hewan percobaan.

Setiap artikel dianalisis untuk menilai metodologi yang digunakan, populasi atau sampel yang dipilih, intervensi yang dilakukan, serta hasil yang diperoleh terkait pengaruh tempe terhadap sistem imun. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa keseluruhan artikel mendukung potensi tempe dalam memengaruhi sistem imun, baik pada manusia maupun model hewan percobaan. Seleksi studi yang dilakukan studi literatur review ini menggunakan diagram PRISMA dengan skema sebagai berikut:

Hasil

Tabel 1. Hasil review 5 artikel terkait dampak konsumsi tempe terhadap modulasi sistem imun

Penulis dan Tahun Terbit	Jenis Penelitian	Metodelogi Penelitian	Hasil Penelitian
Stephanie, 2017	Kuasi-Eksperimental	Populasi dan Intervensi: 8 wanita dan 8 pria sehat berusia 20-23 tahun. Intervensi dirancang selama 24 hari. Pada hari 0 hingga 8, para relawan mengonsumsi 200 mL susu UHT (<i>Ultra High Temperature</i>) setiap hari. Pada hari 9 hingga 24, para relawan mengonsumsi 100 gram tempe EMP yang telah dikukus selama 10 menit. Perbandingan: Susu Indikator: IgA	Hasil menunjukkan pada pria adanya peningkatan sekresi IgA yang lebih tinggi pada hari ke-25 dibandingkan dengan hari ke-9 (2573 ng/mL vs. 2098 ng/mL). Sementara itu, pada wanita juga menunjukkan peningkatan, namun dalam jumlah yang lebih kecil (2421 ng/mL pada hari ke-25 vs. 2376 ng/mL pada hari ke-9) dan terdapat peningkatan populasi <i>Akkermansia muciniphila</i> setelah intervensi tempe, yang menunjukkan kemungkinan adanya modulasi mikrobiota usus oleh konsumsi tempe. Berbeda setelah intervensi susu (hari ke-9), kadar IgA pada pria hanya sebesar 2.098 ng/mL dan pada wanita 2.376 ng/mL. Ini menunjukkan bahwa susu juga memberikan peningkatan IgA, tetapi lebih rendah dibandingkan dengan konsumsi tempe. Oleh karena itu, tempe memiliki efek tambahan dalam meningkatkan respon imun melalui IgA dibandingkan hanya dengan konsumsi susu.
Ananta, 2023	Eksperimental	Populasi dan Intervensi: 19 subjek laki-laki yang tidak banyak bergerak berusia 20-23 tahun direkrut dan dibagi menjadi 2 kelompok berdasarkan jenis latihan, daya tahan (n=9), dan resistensi (n=10). Para subjek mengonsumsi 200 gram tahu kukus setiap hari selama dua minggu pertama, lalu mengonsumsi 200 gram tempe kukus setiap hari selama dua minggu berikutnya. Perbandingan: Tahu Indikator: IgA	Hasil menunjukkan konsumsi tempe sebanyak 200 gram per hari selama 2 minggu, dikombinasikan dengan latihan resistensi intensitas sedang (sekitar 60% dari kapasitas 1-RM), menghasilkan peningkatan signifikan pada konsentrasi sIgA saliva pada subjek manusia. Konsentrasi sIgA meningkat dari 70.123 ng/mL (baseline) menjadi 77.216 ng/mL setelah latihan resistensi dan konsumsi tempe.

Soka, 2015	Eksperimental- <i>Animal Study</i>	Populasi dan Intervensi: 6 ekor tikus SD betina dibagi menjadi 3 kelompok yang terdiri dari 2 ekor tikus. Kelompok kontrol hanya diberi diet standar. Kelompok kedua menerima diet standar yang ditambahkan tempe mentah sebanyak 5% dari massa diet standar, sementara kelompok ketiga menerima diet standar yang ditambahkan tempe matang dengan jumlah yang sama. Perbandingan: tempe mentah dan tempe matang Indikator: IgA	Hasil menunjukkan pada kelompok tempe mentah, ekspresi gen IgA meningkat 1.18 kali, dan konsentrasi protein IgA meningkat dari 1.500 ng/mg (kontrol) menjadi 3.815 ng/mg sedangkan pada kelompok tempe matang ekspresi gen IgA meningkat 1 dan konsentrasi protein IgA meningkat dari 1.500 ng/mg (kontrol) menjadi 3.225 ng/mg. Hal tersebut menunjukkan bahwa baik tempeh mentah maupun matang dapat merangsang sekresi IgA, yang merupakan penanda penting dalam sistem kekebalan mukosa.
Aoki, 2020	Eksperimental- <i>Animal Study</i>	Populasi dan Intervensi: Tikus kemudian dibagi menjadi kontrol dan kelompok tempe Rs (n = 10 per kelompok). Studi ini membandingkan komponen bioaktif (genistein, polifenol, dan serat makanan larut dengan berat molekul rendah (LMWSDF) pada tiga jenis tempe yang difermentasi dengan <i>R. oligosporus</i> (tempe Rm), <i>R. oryzae</i> (tempe Ro), dan <i>R. stolonifer</i> (tempe Rs). Perbandingan: <i>R. oligosporus</i> (tempe Rm), <i>R. oryzae</i> (tempe Ro), dan <i>R. stolonifer</i> (tempe Rs). Indikator: IgE	Hasil menunjukkan konsentrasi IgE plasma tikus menurun dari 1.2 µg/mL pada hari 0 menjadi 0.8 µg/mL setelah 14 hari pemberian tempe Rs yang dihubungkan dengan kandungan polifenol dan LMWSDF yang tinggi dalam tempeh Rs dan skor keparahan kulit tikus pada kedua telinga menurun dari 2.5 (skor rata-rata) pada hari 0 menjadi 1.5 setelah 14 hari
Farid, 2023	Eksperimental- <i>Animal Study</i>	Populasi dan Intervensi: Tikus jantan Wistar yang dikelompokkan dalam 4 perlakuan berbeda: normal (N), diabetes mellitus (K-), pemberian glibenclamide (K+), dan pemberian ekstrak tempe kedelai hitam (P1). Tikus diabetes mellitus tipe 2 (DMT2) diinduksi diet tinggi lemak (HFD) serta pemberian injeksi Streptozotocin (STZ) sampai mencapai kadar glukosa darah sebesar 200 mg/dL. Perbandingan: Glibenclamide Indikator: IL-6	Hasil menunjukkan rata-rata kadar IL-6 pada kelompok tikus yang diberi ekstrak tempe kedelai hitam adalah 150.6 pg/ml. Ini menunjukkan penurunan yang signifikan dibandingkan kelompok tikus diabetes tanpa pengobatan yang memiliki kadar IL-6 sebesar 168.6 pg/ml. Namun, penurunan IL-6 dengan kelompok yang diberi glibenclamide lebih signifikan, yaitu mencapai 148.6 pg/ml. Meskipun demikian, kedua perlakuan ini, menandakan bahwa tempe kedelai hitam dapat menjadi alternatif alami yang efektif.

Pembahasan

Tempe adalah produk fermentasi kedelai, yang merupakan protein nabati dari kelompok kacang-kacangan (Larasati, 2017). Saat fermentasi, kapang tempe memiliki kemampuan untuk menghasilkan enzim fitasi, yang berfungsi dalam pemecahan asam fitat (yang memiliki kemampuan untuk mengikat beberapa mineral) menjadi fosfor dan inositol. Ketika asam fitat telah terurai, mineral-mineral tertentu seperti kalsium, besi, seng, dan magnesium menjadi lebih mudah diserap oleh tubuh (Tamang et al., 2016). Selain itu, tempe bersifat probiotik, prebiotik dan para-probiotik, artinya walaupun tempe telah dimasak namun tetap memberikan manfaat bagi tubuh. Kombinasi probiotik dan prebiotik dapat merangsang aktivitas bakteri yang

membawa manfaat bagi saluran pencernaan, yang bisa memperkuat sistem imun tubuh (Kojima et al., 2016).

Banyak penelitian tentang manfaat tempe berfokus pada satu indikator modulasi imun utama, yaitu Immunoglobulin A (IgA). Beberapa artikel yang sudah dikaji menunjukkan bahwa dari 5 penelitian terkait pemberian tempe terhadap modulasi sistem imun terdapat 2 studi pada manusia dan 1 studi dilakukan pada tikus yang berdampak terhadap IgA. IgA menjadi salah satu elemen kunci dalam sistem pertahanan tubuh yang ditemukan dalam sekresi mukosa seperti air liur, air mata, dan cairan gastrointestinal (Meilani et al., 2023). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Stephanie et al. (2017) pada manusia bahwa pemberian suplementasi tempe membuktikan sekresi IgA

terlihat lebih tinggi pada hari ke-25 dibandingkan hari ke-9, yaitu 2.497 ng/mL vs 2.237 ng/mL karena tempe dapat berperan sebagai agen paraprobiotik sehingga tempe dapat meningkatkan produksi IgA dan jumlah *A. muciniphila* dalam saluran pencernaan manusia. Peningkatan IgA dan *A. muciniphila* menunjukkan bahwa tempe dapat memperkuat pertahanan mukosa usus terhadap patogen dan mengatur keseimbangan mikrobiota. Bakteri *A. muciniphila* dapat menghasilkan metabolit seperti asam lemak rantai pendek (SCFA) yang memiliki efek anti-inflamasi dan dapat mempengaruhi ekspresi gen yang terkait dengan respon imun (You et al., 2022).

Sejalan dengan teori penelitian yang dilakukan oleh Shahina (2020) bahwa paraprobiotik memberikan manfaat kesehatan kepada konsumen melalui berbagai mekanisme. Ini termasuk modulasi sistem kekebalan tubuh (dengan senyawa dinding sel yang dapat meningkatkan fungsi imun), peningkatan adhesi pada sel usus (yang mencegah pertumbuhan patogen), serta sekresi berbagai metabolisme. Teori dari Yang & Palm (2020) menjelaskan produksi IgA dapat secara tidak langsung membantu pertumbuhan beberapa organisme dengan membatasi pertumbuhan pesaing mereka dan dengan begitu juga meningkatkan keragaman mikroba di usus. Kelemahan dari penelitian Stephanie et al. (2017) adalah tidak menjelaskan bagaimana komponen bioaktif dalam tempe berinteraksi dengan sel-sel imun untuk meningkatkan produksi IgA.

Sifat probiotik, prebiotik dan paraprobiotik pada tempe juga dibuktikan oleh penelitian Soka et al. (2015) bahwa sekresi protein IgA dalam jaringan ileum tikus pada dua kelompok perlakuan berbeda, yaitu yang menerima tempe mentah dan tempe matang, masing-masing sebesar 3.815 ng/mg dan 3.225 ng/mg. Hasil gen IgA ini pada tingkat transkripsi juga diikuti oleh sekresi protein IgA yang lebih tinggi pada tingkat translasi pada kelompok yang diberikan suplemen tempe dan tidak diberikan suplemen tempe. Tingginya sekresi protein IgA pada tempe mentah disebabkan sistem kekebalan tubuh masih dapat mengenali sel-sel mati sebagai antigen, merespons dengan peningkatan sitokin Th2 (IL-4, dan IL-10), dan inhibisi IL-12 menyebabkan peningkatan produksi IgA. Konsep ini disebut efek paraprobiotik (Stephanie et al., 2017). Temuan tersebut menunjukkan bahwa tempe bisa digunakan sebagai suplemen diet untuk meningkatkan kesehatan usus dan imunitas mukosa

pada manusia, terutama bagi mereka dengan gangguan pencernaan atau penyakit usus inflamasi. Kekurangan dari penelitian ini adalah hanya melibatkan 6 tikus betina Sprague Dawley yang dibagi menjadi tiga kelompok kecil. Ukuran sampel yang sangat kecil dapat mempengaruhi validitas hasil dan membuat hasilnya kurang representatif.

Hasil penelitian oleh Ananta et al. (2023) juga ditemukan bahwa tempe lebih efektif dalam meningkatkan konsentrasi IgA dibandingkan dengan latihan ketahanan dan konsumsi tahu. Hal ini disebabkan oleh proses fermentasi yang membuat tempe memiliki sifat paraprobiotik, dan protein kedelai yang sulit dicerna dipecah menjadi asam amino yang lebih mudah dicerna (Asbur & Khairunnisyah, 2021). Oleh karena itu, kombinasi latihan ketahanan intensitas sedang dengan konsumsi 200 gr tempe selama 2 minggu lebih efektif dalam meningkatkan konsentrasi IgA dibandingkan dengan latihan ketahanan dan konsumsi tahu. Bagi individu yang sering mengalami infeksi saluran pernafasan atas, mengonsumsi tempe secara teratur dapat membantu meningkatkan imunitas mukosa dan mengurangi frekuensi infeksi. Namun, pada penelitian ini tidak ada kelompok kontrol yang hanya melakukan latihan tanpa konsumsi tempe atau tahu. Ini membuat sulit untuk menentukan apakah efek peningkatan IgA disebabkan oleh tempe atau oleh latihan itu sendiri.

Dampak konsumsi tempe juga dapat menurunkan konsentrasi IgE. Immunoglobulin E terkait dengan berbagai manifestasi penyakit alergi dan memainkan peran utama dalam kondisi atopik dengan menginduksi reaksi hipersensitivitas langsung (Hostoffer RW, 2023). Jenis kapang pada tempe ternyata juga berpengaruh terhadap konsentrasi IgE yang dihasilkan. Pada penelitian oleh Aoki et al. (2020) bahwa konsumsi tempe dengan kapang *Rhizopus stolonifer* menghasilkan penurunan konsentrasi imunoglobulin E pada tikus percobaan dan skor keparahan kulit yang signifikan kedua telinga. Ini terjadi karena tempe *Rs* mengandung komponen-komponen bioaktif tertentu, seperti aglikon isoflavon, polifenol total, dan serat makanan larut berbobot molekul rendah, yang telah terbukti memiliki efek imunomodulator. Menurut Erniati & Ezraneti (2020) imunomodulator memiliki manfaat dalam menstimulasi mekanisme sistem kekebalan tubuh, termasuk sistem kekebalan yang spesifik (adaptif) dan yang tidak spesifik (alamiah) mampu meningkatkan ketahanan tubuh secara menyeluruh. Komponen-komponen ini dapat mengatur respon sistem kekebalan tubuh yang

berkontribusi menekan produksi IgE yang berlebihan pada perkembangan dermatitis atopik dan kondisi alergi lainnya. Penelitian ini menggunakan tikus model dengan lesi kulit mirip dermatitis atopik yang diinduksi secara eksperimental. Meskipun model ini membantu memahami mekanisme tertentu, hasilnya mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan respons imun manusia yang lebih kompleks.

Selain modulasi lewat imunoglobulin, tempe juga dapat mempengaruhi sistem imun melalui sitokin, interleukin-6 (IL-6). Berdasarkan hasil satu studi pada tikus oleh penelitian Farid et al. (2023) bahwa pemberian ekstrak tempe kedelai hitam pada kelompok tikus menunjukkan kadar IL-6 sebesar 150,60 pg/ml, yang menandakan adanya pengaruh terhadap penurunan kadar interleukin 6 (IL-6) pada tikus dengan diabetes mellitus tipe 2 (DMT2). IL-6 dikenal sebagai salah satu sitokin pro-inflamasi utama yang berperan dalam merangsang respon inflamasi dalam tubuh (Rahajeng et al., 2021). IL-6 juga berperan dalam pengembangan antibodi IgA. Kadar IgA cenderung meningkat ketika kadar IL-6 rendah. Sebaliknya, tingkat IL-6 yang tinggi dapat mengindikasikan tingkat alergi yang lebih tinggi (Ariani, 2019).

Penelitian tersebut menunjukkan bahwa ekstrak tempe kedelai hitam, yang mengandung antioksidan seperti isoflavin genistein dan daidzein, memiliki efek antidiabetik dengan melindungi sel beta pankreas dari stres oksidatif. Selain itu, ekstrak tempe kedelai hitam juga meningkatkan aktivitas antioksidan, yang kemudian mengakibatkan penurunan sitokin proinflamasi IL-6 (Herawati et al., 2014). Namun, tempe yang digunakan dalam studi ini diproduksi melalui proses tertentu (*EMP tempe*) sehingga variasi dalam bahan baku dan proses fermentasi dapat mempengaruhi komposisi mikrobiota dan kandungan bioaktif dalam tempe. Hal tersebut dapat menyebabkan hasil yang tidak konsisten jika studi diulang dengan jenis tempe yang berbeda.

Kesimpulan

Kesimpulan dari studi literatur ini menunjukkan bahwa konsumsi tempe membantu modulasi sistem kekebalan tubuh, yaitu dapat menginduksi peningkatan produksi IgA, antibodi penting dalam kekebalan mukosal, serta menurunkan konsentrasi IgE yang terlibat dalam respons alergi. Selain itu, tempe mampu menurunkan kadar interleukin-6 (IL-

6) dimana sitokin pro-inflamasi yang memiliki peran kunci dalam regulasi peradangan, berpotensi mengurangi risiko penyakit inflamasi dan mengurangi risiko terjadinya penyakit yang terkait dengan disfungsi sistem kekebalan tubuh.

Deklarasi Konflik Kepentingan

Penelitian ini tidak mencakup konflik kepentingan antara penulis dan potensi konflik kepentingan lembaga sehubungan dengan penelitian yang telah dilakukan, berdasarkan kepengarangan dan publikasi.

Daftar Rujukan

- Ainul Fuadi, N., & Aisyah Sijid, S. (2021). Patofisiologi Penyakit Pada Berbagai Sistem Organ Manusia. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 7(1), 53–58. <https://doi.org/10.24252/psb.v7i1.23060>
- Ananta, A., Dijaya, R., Subali, D., Kartawidjajaputra, F., & Antono, L. (2023). Effect of Processed Soybeans (Tofu and Tempeh) Consumption, and Exercise on Upper Respiratory Tract Immunity. *Reports of Biochemistry & Molecular Biology*, 11(4), 720 – 729. <https://doi.org/10.52547/rbmb.11.4.720>
- Annisa Putri Larasati, & Debby Endayani Safitri. (2017). Pemanfaatan Tepung Tempe Dalam Pembuatan Cookies Kaya Protein dan Serat. *ARGIPA*, 2(1), 9–5.
- Aoki, H., Chuma, S., Iba, Y., Tashiro, H., Watanabe, N., & Oyama, H. (2020). Comparison of bioactive components in tempeh produced by three different rhizopus starters and immunomodulatory effect of tempeh on atopic dermatitis mice. *Food Science and Technology Research*, 26(5), 665–672. <https://doi.org/10.3136/fstr.26.665>
- Ariani. (2019). *Analisis Efek Proteksi Masker Herbal Nephrolepis exaltata terhadap Kadar Tumor Necrosis Factor- α dan Interleukin 6 Karyawan Industri Tekstil*. Universitas Diponegoro.
- Aryanta, I. (2020). Manfaat Tempe Untuk Kesehatan. *Widya Kesehatan*, 2(1), 44–50. <https://doi.org/doi.org/10.32795/widyakesehatan.v2i1.609>
- Asbur, Y., & Khairunnisyah, D. (2021). Tempe sebagai sumber antioksidan: Sebuah Telaah

- Pustaka Tempe as a source of antioxidants: A Review. *AGRILAND Jurnal Ilmu Pertanian*, 9(3), 183–192. <https://doi.org/10.30743/agr.v9i3.5034>
- Campbell, Neil, Reece, Jane, Mitchell, & Lawrence. (2018). *BIOLOGI JILID I* (8th ed.). Erlangga.
- Childs, C. E., Calder, P. C., & Miles, E. A. (2019). Diet and immune function. *Nutrients*, 11(8), 1–9. <https://doi.org/10.3390/nu11081933>
- Debi Meilani, Anggraeni Sih Prabandari, Abbas Mahmud, Khoirin Maghfiroh, Anisa Dwirizky Abdullah, Rizki Nisfi Ramdhini, Romauli Anna Teresia Marbun, Nita Andriani Lubis, Larasti Putri Umizah, & Liza Mutia. (2023). *Imunologi Dasar* (Matias Julyus Fika Sirait, Ed.; 1st ed., Vol. 1). Yayasan Kita Menulis.
- Erniati, E., & Ezraneti, R. (2020). Aktivitas imunomodulator ekstrak rumput laut. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 7(2), 79. <https://doi.org/10.29103/aa.v7i2.2463>
- Farid, U. M., Romdhani, A. M., & Khalil, M. (2023). Efektivitas Ekstrak Tempe Kedelai Hitam terhadap Kadar Interleukin 6 pada Tikus Wistar Diabetes Mellitus Tipe 2. *Jurnal Jeumpa*, 10(2), 195–203. <https://doi.org/10.33059/jj.v10i2.8118>
- Gholami, A., Baradaran, H. R., & Hariri, M. (2021). Can soy isoflavones plus soy protein change serum levels of interleukin-6? A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. In *Phytotherapy Research* (Vol. 35, Issue 3, pp. 1147–1162). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/ptr.6881>
- Gusti Ayu Ari Agung, I. (2016). Tempeh Juice As Potential Health Support Culinary Tourism. *Journal Of Business On Hospitality And Tourism*, 2(1), 363–366. <https://doi.org/10.22334/jbhost.v2i1.69>
- Hachimura, S., Totsuka, M., & Hosono, A. (2018). Immunomodulation by food: Impact on gut immunity and immune cell function. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 82(4), 584–599. <https://doi.org/10.1080/09168451.2018.1433017>
- Herawati, Sutrisno, & Nurdiana. (2014). Penurunan Kadar TNF- α dan IL-6 pada Kultur Sel Endometriosis Melalui Pemberian Genistein. *Majalah Obstetri & Ginekologi*, 22(2), 58–65.
- Hostoffer RW, J. N. (2023). *Immunoglobulin E*. StatPearls Publishing.
- Ilyas, M. Y., Rasak, A., & Ode Roni Setiawan, L. (2024). Review article: The role of cluster of differentiation-8 (cd8) in the immune system. *Jurnal Riset Ilmiah*, 1(2), 70–79. <https://doi.org/10.62335>
- Jubaidah, S., Nurhasnawati, H., Wijaya, H., & Samarinda, A. F. (2016). Penetapan Kadar Protein Tempe Jagung (*Zea Mays* L.) Dengan Kombinasi Kedelai (*Glycine Max* (L.) Merrill) Secara Spektrofotometri Sinar Tampak. *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 2(1), 111–119. <https://doi.org/10.51352/jim.v2i1.55>
- Kojima, Y., Ohshima, T., Seneviratne, C. J., & Maeda, N. (2016). Combining prebiotics and probiotics to develop novel synbiotics that suppress oral pathogens. *Journal of Oral Biosciences*, 58(1), 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.job.2015.08.004>
- Kumar, H., Schütz, F., Bhardwaj, K., Sharma, R., Nepovimova, E., Dhanjal, D. S., Verma, R., Kumar, D., Kuča, K., & Cruz-Martins, N. (2023). Recent advances in the concept of paraprobiotics: Nutraceutical/functional properties for promoting children health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(19), 3943–3958. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1996327>
- Rahajeng, H., Prasetyo, A., Susilaningsih, N., Sadhana, U., Maharani, N., & Asri, H. (2021). Perbedaan Kadar IgA dan IL6 Pada Penumpang 'Biosmart and Safety Bus' pada Memakai Masker Herbal dan Masker Medis. 10(1), 96–108.
- Rizzo, G. (2020). The antioxidant role of soy and soy foods in human health. *Antioxidants*, 9(7), 1–25. <https://doi.org/10.3390/antiox9070635>
- Romulo, A., & Surya, R. (2021). Tempe: A traditional fermented food of Indonesia and its health benefits. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 26, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100413>
- Shahina Akter, Jong-Hyun Park, & Hoo Kil Jung. (2020). Potential Health-Promoting Benefits of Paraprobiotics, Inactivated Probiotic Cells. *Food Microbiology and Biotechnology (FMB)*, 30(4), 477–481. <https://doi.org/10.4014/jmb.1911.11019>
- Sine, Y., & Soetarto, E. S. (2018). Isolasi dan identifikasi kapang *Rhizopus* pada tempe gude (*Cajanus cajan* L.). *Savana Cendana*,

- 3(4), 67–68.
<https://doi.org/10.32938/sc.v3i04.487>
- Singh, D. N., Bohra, J. S., Dubey, T. P., Shivahre, P. R., Singh, R. K., Singh, T., & Jaiswal, D. K. (2023). Common foods for boosting human immunity: A review. *Food Science and Nutrition*, 11(11), 6761–6774.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.3628>
- Soka, S. U., Suwanto, A., Rusmana, Sajuthi, D., Iskandriati, & Jessica, K. (2015). Analysis Of Intestinal Mucosal Immunoglobulin A In Sprague Dawley Rats Supplemented With Tempeh. *Hayati Journal Of Biosciences*, 22(1), 48–52.
<https://doi.org/10.4308/Hjb.22.1.48>
- Stephanie, Ratih, Soka, S., & Suwanto, A. (2017). Effect Of Tempeh Supplementation On The Profiles Of Human Intestinal Immune System and Gut Microbiota. *Microbiology Indonesia*, 11(1), 11–17.
<https://doi.org/10.5454/mi.11.1.2>
- Subali, D., Christos, R. E., Givianty, V. T., Ranti, A. V., Kartawidjajaputra, F., Antono, L., Dijaya, R., Taslim, N. A., Rizzo, G., & Nurkolis, F. (2023). Soy-Based Tempeh Rich in Paraprobiotics Properties as Functional Sports Food: More Than a Protein Source. *Nutrients*, 15(11).
<https://doi.org/10.3390/nu15112599>