

Efek suplementasi probiotik terhadap kekuatan otot lanjut usia: *An evidence-based case report*

Rinrin Rina Estiana^{1,*}, Diyah Eka Andayani¹

¹ Departemen Ilmu Gizi Klinik Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia

*korespondensi email: rinrinrinaestiana@gmail.com

Naskah masuk: 07-08-2025, Naskah direvisi: 28-09-2025, Naskah diterima untuk diterbitkan: 21-10-2025

ABSTRAK

Sarkopenia merupakan kondisi yang ditandai dengan hilangnya massa otot secara progresif disertai penurunan fungsi pada lanjut usia (lansia), yang meningkatkan risiko jatuh, morbiditas, dan mortalitas. Prevalensinya mencapai 10–16% pada populasi lansia secara global, dengan angka di Asia berkisar antara 5,5–25,7%. Hingga saat ini belum tersedia terapi farmakologis khusus, sehingga pendekatan non-farmakologis tetap menjadi pilar utama penatalaksanaan. Konsep *gut-muscle axis* menjelaskan bahwa probiotik berpotensi memengaruhi kesehatan otot melalui modulasi mikrobiota usus dan produksi metabolit. Namun, bukti mengenai efek probiotik pada pasien lansia masih terbatas. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas suplementasi probiotik terhadap kekuatan otot pada pasien lansia dengan sarkopenia. Metode pencarian literatur dilakukan melalui basis data *PubMed*, *Scopus*, dan *Cochrane Library* hingga Juli 2025. Artikel yang diseleksi meliputi studi uji klinis acak dan tinjauan sistematik/meta-analisis. Proses seleksi mengikuti alur PRISMA (*preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses*) dan dinilai menggunakan pedoman *Oxford Center for Evidence-Based Medicine*. Studi ini didapatkan tiga meta-analisis memenuhi syarat untuk ditelaah. Ketiga studi menunjukkan suplementasi probiotik dapat meningkatkan kekuatan otot pada lansia dengan sarkopenia, terutama pada kekuatan genggam tangan. Efek lebih besar terlihat pada intervensi dengan durasi lebih dari 12 minggu, meskipun tidak signifikan pada semua parameter yang dinilai. Suplementasi probiotik berpotensi meningkatkan kekuatan otot pada lansia dengan sarkopenia. Hal ini menunjukkan bahwa probiotik, melalui mekanisme *gut-muscle axis*, dapat menjadi adjuvan non-farmakologis yang bernilai dalam penatalaksanaan sarkopenia.

Kata kunci: *gut-muscle axis*; kekuatan otot; lanjut usia; probiotik; sarkopenia

ABSTRACT

Sarcopenia involves progressive muscle loss and functional decline in the elderly, increases fall risk, morbidity, and mortality. It affects 10%–16% of older adults globally, with prevalence in Asia ranging from 5.5% to 25.7%. While non-pharmacological approaches are primary treatments, no specific drugs are approved. The gut-muscle axis proposes that probiotics can influence muscle health by modulating gut microbiota and producing beneficial metabolites. However, evidence on their effect in elderly patients remain limited. This study aimed to evaluate the effectiveness of probiotic supplementation on muscle strength in elderly patients with sarcopenia. A systematic search of PubMed, Scopus, and Cochrane Library up to July 2025. Eligible articles included randomized controlled trials and systematic reviews/meta-analyses. The selection process followed the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) framework and was appraised using the Oxford Center for Evidence-Based Medicine guidelines. Three meta-analyses were included. All three studies reported that probiotic supplementation improved muscle strength in older adults with sarcopenia, particularly in handgrip strength. Greater effects were observed with interventions lasting more than 12 weeks, although findings were not consistently significant across all assessed parameters. Probiotic supplementation may enhance muscle strength in elderly patients with sarcopenia. This suggests probiotics acting via the gut-muscle axis could be a valuable non-pharmacological adjunct to sarcopenia management.

Keywords: *elderly; gut-muscle axis; probiotics; muscle strength; sarcopenia*

PENDAHULUAN

Sarkopenia, kehilangan massa otot rangka secara progresif disertai penurunan fungsi, berdampak signifikan terhadap mobilitas, menurunkan kualitas hidup, serta meningkatkan kerentanan terhadap jatuh yang berujung pada perawatan rumah sakit dengan biaya tinggi maupun rehabilitasi jangka panjang.¹ Selain itu, sarkopenia juga berhubungan erat dengan peningkatan risiko mortalitas.² Sarkopenia memengaruhi 10–16% populasi lanjut usia (lansia) secara global dengan prevalensi di Asia berkisar antara 5,5–25,7%.^{3,4}

Otot rangka menyumbang sekitar 40% massa tubuh total dan memiliki peran penting dalam metabolisme energi serta protein, pergerakan fisik, mempertahankan postur, dan fungsi pernapasan.^{5,6} Sarkopenia primer terjadi akibat proses penuaan alami yang ditandai dengan penurunan massa dan fungsi otot terkait usia.⁵ Kedua jenis serat otot (tipe I/*slow-twitch* dan tipe II/*fast-twitch*) terdampak, namun serat tipe II lebih rentan terhadap degenerasi terkait usia, yang berkontribusi besar pada penurunan kekuatan dan fungsi otot.^{5,7} Deteriorasi kekuatan otot pada lansia disebabkan oleh mekanisme kompleks, termasuk resistensi anabolik, inflamasi kronis derajat rendah (*inflammaging*) yang menekan sintesis protein otot dan mempercepat atrofi otot,

peningkatan stres oksidatif, serta ketidakseimbangan hormonal.⁸⁻¹⁰

Faktor predisposisi sarkopenia mencakup usia lanjut, jenis kelamin, penurunan aktivitas fisik, serta keberadaan penyakit kronis seperti malnutrisi, diabetes melitus tipe 2, penyakit paru obstruktif kronik (PPOK), dan penyakit ginjal kronik.⁴ Walaupun penurunan massa dan kekuatan otot merupakan bagian normal dari proses penuaan, progresinya lebih cepat pada individu dengan sarkopenia sehingga mempercepat hilangnya fungsi dan massa otot. Perubahan patologis ini meningkatkan risiko jatuh dan fraktur, disabilitas, serta mortalitas.^{9,11}

Seiring bertambahnya usia, komposisi dan keragaman mikrobiota usus mengalami perubahan.¹⁰ Ketidakseimbangan mikrobiota (*dysbiosis*) dapat meningkatkan permeabilitas usus, sehingga endotoksin dan metabolit mikroba (misalnya indoksil sulfat) masuk ke sirkulasi. Setelah memasuki aliran darah, lipopolisakarida (LPS) dan komponen mikroba lain dapat mengaktifasi jalur inflamasi serta memengaruhi jaringan otot rangka.¹² Studi terkini menunjukkan bahwa mikrobiota usus berperan dalam memengaruhi fungsi dan integritas otot melalui mekanisme *gut-muscle axis* yang menekankan hubungan antara kesehatan

usus dengan fenotipe otot.^{12,13} Probiotik dapat memberikan pengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap berbagai proses fisiologis melalui modulasi komposisi mikrobiota usus dan produksi metabolit bioaktif. Beberapa studi menunjukkan probiotik mampu menekan inflamasi melalui pelepasan sitokin anti-inflamasi, mengurangi permeabilitas usus, serta meningkatkan produksi asam lemak rantai pendek yang mendukung anabolisme otot.¹⁰ Sejumlah uji klinis acak terkontrol telah mendokumentasikan manfaat probiotik dalam tata laksana sarkopenia.¹³ Berdasarkan uraian latar belakang, tujuan studi ini ialah mengevaluasi efektivitas suplementasi probiotik dalam meningkatkan kekuatan otot pada pasien lanjut usia dengan sarkopenia.

METODE STUDI

Pencarian literatur dilakukan secara independen pada tiga *database* yaitu *PubMed*, *SCOPUS*, dan *Cochrane Library*. Strategi pencarian dilakukan menggunakan *advanced searching* dengan menggabungkan kata kunci yang relevan beserta *MeSH terms*, sinonim, serta judul/abstrak dari setiap komponen PICO (*Population, Intervention, Comparison, Outcome*). Operator boolean “OR” digunakan untuk meningkatkan sensitivitas pencarian, sedangkan “AND” digunakan untuk meningkatkan spesifisitas. Populasi

studi ini ialah pasien lanjut usia dengan sarkopenia yang menerima suplementasi probiotik dibandingkan dengan kelompok yang mendapatkan plasebo. Luaran atau hasil yang dicari pada artikel terkait kekuatan otot. Kata kunci utama meliputi *geriatrics, probiotic, supplementation*, dan *sarcopenia*. **(Tabel 1)**

Setelah pencarian awal, artikel yang diperoleh diseleksi untuk menghindari duplikasi dengan bantuan program Covidence. Jika didapatkan hasil pencarian berupa SR/MA maka *reviewer* akan mengeluarkan artikel yang sudah termasuk di dalam SR/MA untuk menghindari duplikasi. Artikel yang didapat kemudian diseleksi berdasarkan judul dan abstrak sesuai dengan elemen PICO, serta dinilai kesesuaiannya dengan pertanyaan klinis dan kriteria eligibilitas yang telah ditentukan. Artikel yang memenuhi kriteria selanjutnya dilakukan telaah kritis. Alat penilaian kritis dan tingkat bukti mengacu pada *Oxford Center for Evidence-Based Medicine*. Kriteria inklusi dalam telaah ini mencakup penelitian dengan subjek berusia 65 tahun atau lebih yang mengalami atau berisiko mengalami sarkopenia, dengan intervensi berupa pemberian suplementasi probiotik. Luaran utama yang dinilai adalah kekuatan otot. Jenis penelitian yang dipertimbangkan terbatas pada tinjauan sistematis atau meta analisis yang dipublikasikan dalam kurun waktu 2020-2022, serta ditulis dalam bahasa

Inggris. Adapun kriteria eksklusi meliputi penelitian *in vitro* maupun *in vivo* pada hewan, studi yang melibatkan pemberian probiotik bersamaan dengan suplemen

nutrisi lain, artikel yang tidak tersedia dalam bentuk teks lengkap, serta publikasi dalam bahasa selain Inggris.

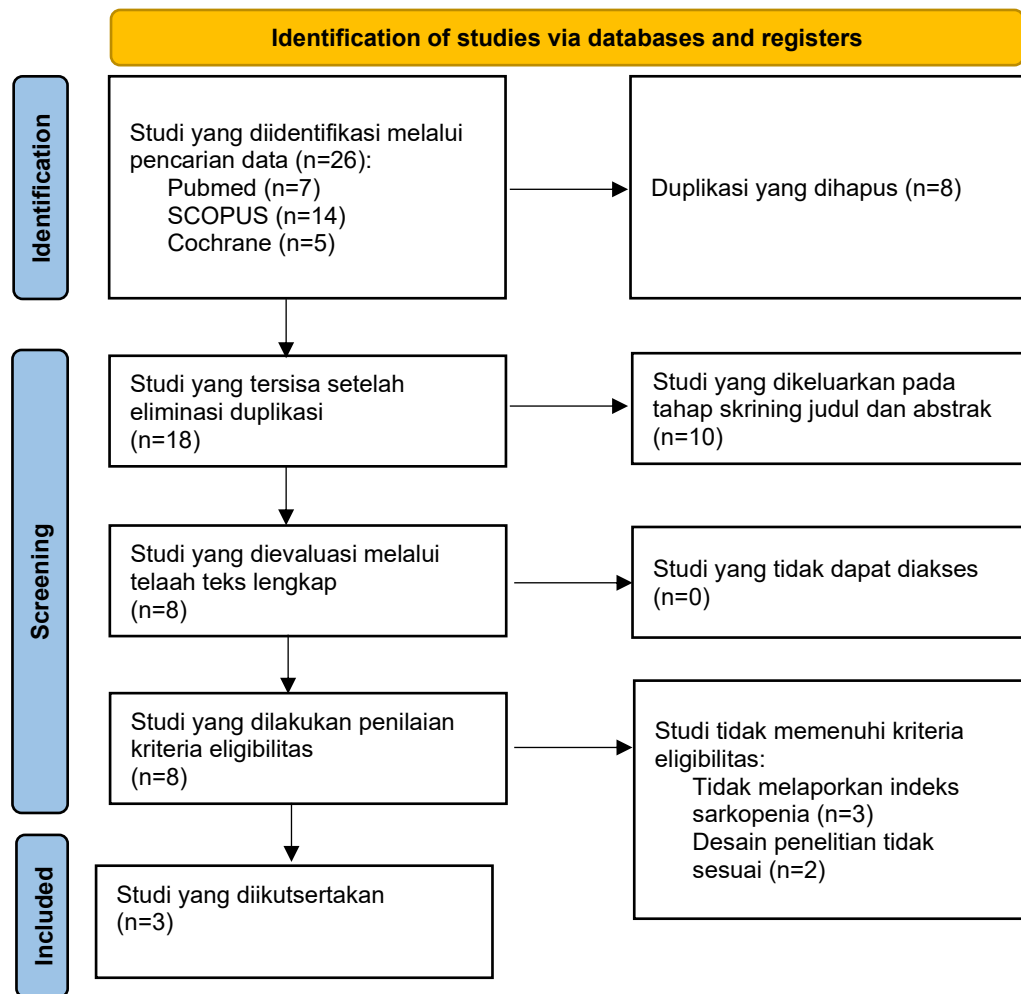
Tabel 1. Hasil dan strategi pencarian

Basis data	Terminologi	Jumlah artikel	Artikel terpilih
Pubmed	"Aged"[Mesh] AND "Probiotics"[Mesh] AND "Sarcopenia"[Mesh] AND "Muscle Strength"[Mesh] TITLE-ABS-KEY (('aged' OR 'elderly' OR 'geriatric' OR 'older adult' OR 'age-related') AND 'probiotic' AND 'sarcopenia' AND 'muscle strength') AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , "final")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Sarcopenia") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Probiotic Agent") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Aged") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Muscle Mass")) #1 MeSH descriptor: [Aged] explode all trees #2 MeSH descriptor: [Probiotics] explode all trees #3 MeSH descriptor: [Sarcopenia] explode all trees #4 MeSH descriptor: [Muscle Strength] explode all trees #5 #1 AND #2 AND #3 AND #4	7	1
SCOPUS		14	2
Cochrane		5	0

HASIL STUDI

Pencarian literatur yang dilakukan pada tiga basis data meliputi *PubMed*, *SCOPUS*, dan *Cochrane Library* menghasilkan 26 artikel (**Gambar 1**). Setelah eliminasi duplikasi sebanyak delapan artikel, tersisa 18 artikel untuk disaring lebih lanjut. Pada tahap peninjauan judul dan abstrak, sepuluh artikel dieliminasi karena tidak sesuai dengan kriteria eligibilitas yang telah ditentukan. Selanjutnya, dari delapan artikel yang masuk tahap telaah penuh, tiga artikel dikeluarkan karena tidak melaporkan luaran terkait indeks sarkopenia, sementara dua

artikel lainnya dieksklusi karena desain studinya tidak sesuai dengan kriteria yang ditetapkan. Oleh karena itu, didapatkan tiga artikel meta-analisis yang memenuhi seluruh kriteria inklusi berhasil diidentifikasi dan dianalisis lebih lanjut. Data yang relevan dari ketiga studi tersebut kemudian diekstraksi dan disajikan dalam tabel karakteristik studi pada **Tabel 2**. **Tabel 3** menunjukkan tingkat evidensi masing masing studi. Seluruh studi yang relevan untuk menjawab pertanyaan klinis disajikan dalam **Tabel 4**.



Gambar 1. Proses pencarian dan pemilihan artikel

Tabel 2. Karakteristik Studi

Penulis	Desain studi	Karakteristik populasi	Intervensi	Perbandingan	Hasil
Handajani, dkk. (2024) ¹⁴	Meta-analisis uji klinis acak terkontrol	Lansia ≥ 60 tahun dengan diagnosis atau risiko sarkopenia	Suplementasi probiotik atau produk yang diperkaya probiotik	Plasebo	Kekuatan otot: Suplementasi probiotik meningkatkan kekuatan otot secara bermakna (SMD 1,037; 95% CI 0,077–1,996; $p = 0,03$), namun terdapat heterogenitas yang sangat tinggi ($I^2 = 89,9\%$)
Besora-Moreno, dkk. (2024) ¹⁵	Meta-analisis uji klinis acak terkontrol	Lansia ≥ 60 tahun	Konsumsi probiotik	Plasebo atau tanpa konsumsi	Kekuatan otot: Suplementasi probiotik meningkatkan kekuatan otot secara signifikan (MD 2,50; 95% CI 1,33–3,66; $p < 0,001$) dengan heterogenitas rendah ($I^2 = 0\%$)
Shokri-Mashhadi. (2023) ¹⁶	Meta-analisis studi intervensi	Lansia ≥ 55 tahun	Pemberian probiotik tunggal	Plasebo atau non-probiotik	Kekuatan otot: Efek positif suplementasi probiotik terhadap kekuatan otot secara keseluruhan, dengan <i>weighted mean difference</i> (WMD) sebesar 0,72 (95% CI: 0,1–1,44; $p=0,02$; $I^2=73,46\%$). Analisis subkelompok menunjukkan peningkatan lebih besar pada intervensi yang berlangsung lebih dari 12 minggu (WMD: 1,16; 95% CI: 0,88–1,44; $I^2=0,0\%$; $p=0,77$)

Tabel 3. Kriteria Validitas

	Pertanyaan terfokus	PICO inklusi	Pencarian bukti relevan	Telaah kritis	Inklusi studi berkualitas tinggi	Ringkasan tabel/grafik	Heterogenitas	Level bukti *
Handajani dkk. (2024) ¹⁴	+	+	-	+	-	+	+	1b
Besore-Moreno dkk. (2024) ¹⁵	+	+	-	+	-	+	+	1a
Shokri-Mashhadi. (2023) ¹⁶	+	+	-	+	-	+	-	1a

* Tingkat bukti menurut Oxford Centre for Evidence-Based Medicine (CEBM), <http://www.cebm.net>²⁶

Tabel 4. Kriteria Relevansi

Artikel	Kesamaan populasi	Kesamaan penentu faktor	Kesamaan luaran
Handajani dkk.(2024) ¹⁴	+	+	+
Besora-Moren dkk.(2024) ¹⁵	+	+	+
Shokri-Mashhadi.(2023) ¹⁶	+	+	+

PEMBAHASAN

Studi kasus berbasis bukti ini bertujuan untuk mengevaluasi efek suplementasi probiotik terhadap kekuatan otot pada pasien geriatri dengan sarkopenia atau yang berisiko mengalaminya. Berdasarkan hasil penelusuran literatur, diperoleh tiga meta-analisis yang menilai dampak suplementasi probiotik terhadap kekuatan otot dengan hasil yang relatif konsisten. Meta-analisis oleh Handajani dkk.¹⁰ terhadap empat uji klinis acak terkontrol menunjukkan adanya peningkatan bermakna pada kekuatan otot kelompok intervensi probiotik, dengan *standardized mean difference* (SMD) sebesar 1,037 (95% CI: 0,077 – 1,996;

$p=0,03$), meskipun heterogenitas cukup tinggi ($I^2=89,9\%$; $p<0,01$). Temuan serupa dilaporkan oleh Besora-Moreno dkk.¹¹ yang menelaah empat uji klinis acak ($n=286$) dan menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada kekuatan genggam tangan sebesar 2,50 kg (95% CI: 1,33–3,66; $p<0,001$), tanpa heterogenitas ($I^2=0\%$; $p=0,86$), meski terdapat indikasi bias publikasi (Egger's $p=0,062$). Sementara itu, meta-analisis oleh Shokri-Mashhadi.¹² terhadap tujuh studi ($n=701$) melaporkan efek positif suplementasi probiotik terhadap kekuatan otot secara keseluruhan, dengan *weighted mean difference* (WMD) sebesar

0,72 (95% CI: 0,1–1,44; $p=0,02$; $I^2=73,46\%$). Analisis subkelompok menunjukkan peningkatan lebih besar pada intervensi yang berlangsung lebih dari 12 minggu (WMD: 1,16; 95% CI: 0,88–1,44; $I^2=0,0\%$; $p=0,77$).

Etiologi sarkopenia bersifat multifaktorial, melibatkan faktor lingkungan, penyakit kronis, aktivasi jalur inflamasi, disfungsi mitokondria, degradasi *neuromuscular junction*, berkurangnya sel satelit otot, serta perubahan hormonal.^{3,13,14} Di antara faktor-faktor tersebut, inflamasi kronis tingkat rendah berperan penting. Sitokin proinflamasi seperti *tumor necrosis factor- α* (TNF- α) dan *interleukin-1* (IL-1) dapat memicu katabolisme otot dengan menghambat jalur pensinyalan protein kinase B (Akt)/*mammalian target of rapamycin* (mTOR), sehingga menurunkan sintesis protein otot.^{15,16} Upaya penelitian farmakoterapi berjalan lambat, dan beberapa kandidat terapi yang menjanjikan gagal dibuktikan efektivitasnya melalui uji klinis acak berskala besar.¹⁷

Berdasarkan telaah meta-analisis terbaru, suplementasi probiotik dengan strain dari genus *Lactobacillus* dan *Bifidobacterium* (baik tunggal maupun kombinasi, seperti *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei* Shirota, *Lactobacillus paracasei*, dan *Bifidobacterium longum*) pada dosis antara 1×10^9 hingga 1×10^{11} CFU per hari selama 8–24 minggu terbukti dapat meningkatkan

kekuatan dan massa otot lansia dengan sarkopenia.^{10,12} Khususnya jika intervensi diberikan minimal 12 minggu, sebagaimana diperkuat analisis subkelompok pada meta-analisis Shokri-Mashhadi dan Handajani dkk.^{10,12} Selain itu, meta-analisis Besora-Moreno dan Wang menunjukkan bahwa manfaat terbesar dicapai pada kekuatan otot (misal genggam tangan), dengan efek signifikan pada uji dynamometer serta peningkatan kecepatan gait, meski pengaruh pada massa otot lebih bervariasi.^{9,11} Namun, heterogenitas antarpopulasi masih tinggi akibat variasi dosis, strain, durasi, dan profil klinis subjek, serta sebagian besar studi memiliki keterbatasan jumlah sampel dan rentang usia. Oleh karena itu, dibutuhkan uji klinis acak lebih luas dan representatif untuk menentukan kombinasi optimal, rekomendasi dosis, serta keamanan jangka panjang pada lansia dengan sarkopenia.^{9,11}

Meta-analisis oleh Prokopidis dkk.¹⁷ juga mendukung temuan tersebut, dengan menunjukkan peningkatan signifikan pada kekuatan otot global setelah pemberian suplementasi probiotik dibandingkan plasebo ($k=6$; SMD: 0,69; 95% CI: 0,33–1,06; $p=0,0002$), meskipun terdapat heterogenitas sedang ($I^2=64\%$). Konsisten dengan hal tersebut, Shokri-Mashhadi.¹² menemukan bahwa suplementasi probiotik selama lebih dari 12 minggu memberikan manfaat lebih besar dibandingkan penggunaan jangka pendek, kemungkinan

melalui mekanisme adaptasi mikrobiota usus. Walau demikian, variasi durasi intervensi pada tiap penelitian menimbulkan ketidakpastian terkait lamanya waktu suplementasi yang paling optimal.¹⁸⁻¹⁹ Beberapa penelitian bahkan melaporkan hasil yang minimal atau tidak signifikan pada intervensi kurang dari 12 minggu, sehingga kepatuhan pasien lansia dan kesinambungan terapi menjadi aspek penting dalam penerapan klinis.^{17,20}

Selain pada sarkopenia, uji klinis probiotik pada penyakit kronis lain yang berkaitan, seperti diabetes melitus tipe 2, penyakit ginjal kronik, dan penyakit paru obstruktif kronik juga menunjukkan penurunan penanda inflamasi.^{19,21} Toshimitsu dan Irie.¹⁹ melaporkan bahwa suplementasi probiotik dapat memperbaiki kontrol glikemik, ditunjukkan dengan penurunan HbA1c, *C-reactive protein* (CRP), serta kadar sitokin proinflamasi seperti IL-6, yang memperkuat potensi peran probiotik dalam mengurangi inflamasi sistemik.

KESIMPULAN

Suplementasi probiotik berpotensi meningkatkan kekuatan otot pada lansia dengan sarkopenia, terutama pada intervensi berdurasi lebih panjang, sehingga mendukung peran probiotik sebagai adjuvan non-farmakologis melalui mekanisme *gut-muscle axis*. Kombinasi strain *Lactobacillus*

dan *Bifidobacterium* dengan dosis 1×10^9 hingga 1×10^{11} CFU per hari selama minimal 12 minggu menunjukkan hasil paling konsisten dalam meningkatkan kekuatan otot pada lansia dengan sarkopenia. Namun, penelitian lebih lanjut masih diperlukan untuk menentukan dosis, durasi optimal, strain paling efektif, serta aspek keamanan penggunaan jangka panjang dan manfaat berkelanjutan di populasi lansia.

DAFTAR PUSTAKA

1. Larsson L, Degens H, Li M, Salviati L, Lee Y Il, Thompson W, et al. Sarcopenia: Aging-related loss of muscle mass and function. *Physiological Reviews*. 2019;99(1):427–511.
2. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, Boirie Y, Bruyère O, Cederholm T, et al. Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*. 2019;48(1):16–31.
3. Yuan S, Larsson SC. Epidemiology of sarcopenia: Prevalence, risk factors, and consequences. *Metabolism: Clinical and Experimental*. 2023;144:155533.
4. Chen LK, Woo J, Assantachai P, Auyeung TW, Chou MY, Iijima K, et al. Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 Consensus Update on Sarcopenia Diagnosis and Treatment. *Journal of the American Medical Directors Association*. 2020;21(3):300-307.
5. Papadopoulou SK. Sarcopenia: A contemporary health problem among older adult populations. *Nutrients*. 2020;12(5):1293.
6. Zhu J, Peng F, Yang H, Luo J, Zhang L, Chen X, et al. Probiotics and muscle health: the impact of *Lactobacillus* on sarcopenia through the gut-muscle axis. *Frontiers in Microbiology*. 2025;16(March):1–16.
7. Lochlainn MN, Bowyer RCE, Steves CJ. Dietary protein and muscle in aging people: The potential role of the gut microbiome. *Nutrients*. 2018;10(7):1–19.
8. Grosicki GJ, Fielding RA, Lustgarten MS. Gut Microbiota Contribute to Age-Related Changes in Skeletal Muscle Size, Composition, and Function: Biological Basis for a Gut-Muscle Axis. *Calcified Tissue International*. 2018;102(4):433–42.

9. Wang Y, Lei P. Efficacy of probiotic supplements in the treatment of sarcopenia: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*. 2025;20(2):e0317699.
10. Handajani YS, Turana Y, Hengky A, Hamid G, Schroeder-Butterfill E, Kristian K. Probiotics supplementation or probiotic-fortified products on sarcopenic indices in older adults: systematic review and meta-analysis from recent randomized controlled trials. *Frontiers in Aging*. 2024;5(February).
11. Besora-Moreno M, Llauroadó E, Valls RM, Pedret A, Solà R. Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Sarcopenia Parameters in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrition Reviews*. 2025;83(7):e1693–708.
12. Shokri-Mashhadi N, Navab F, Ansari S, Rouhani MH, Hajhashemy Z, Saraf-Bank S. A meta-analysis of the effect of probiotic administration on age-related sarcopenia. *Food Science and Nutrition*. 2023;11(9):4975–87.
13. Ticinesi A, Lauretani F, Tana C, Nouvenne A, Ridolo E, Meschi T. Exercise and immune system as modulators of intestinal microbiome: Implications for the gut-muscle axis hypothesis. *Exercise Immunology Review*. 2019;25(96):84–95.
14. Lustgarten MS. The Role of the Gut Microbiome on Skeletal Muscle Mass and Physical Function: 2019 Update. *Frontiers in Physiology*. 2019;10(November):1–4.
15. Argilés JM, Campos N, Lopez-Pedrosa JM, Rueda R, Rodriguez-Mañas L. Skeletal Muscle Regulates Metabolism via Interorgan Crosstalk: Roles in Health and Disease. *Journal of the American Medical Directors Association*. 2016;17(9):789–96.
16. Costamagna D, Costelli P, Sampaolesi M, Penna F. Role of Inflammation in Muscle Homeostasis and Myogenesis. *Mediators of Inflammation*. 2015;2015:805172.
17. Prokopenko K, Giannos P, Kirwan R, Ispoglou T, Galli F, Witard OC, et al. Impact of probiotics on muscle mass, muscle strength and lean mass: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2023;14(1):30–44.
18. Picca A, Fanelli F, Calvani R, Mulè G, Pesce V, Sisto A, et al. Gut Dysbiosis and Muscle Aging: Searching for Novel Targets against Sarcopenia. *Mediators Inflamm*. 2018;2018:7026198.
19. Toshimitsu T, Irie J. An update and overview of the various health-related benefits of probiotics: A focus on clinical trials demonstrating efficacy, tolerability and use in patients with impaired glucose tolerance and type 2 diabetes. *Wiley*. 2025;27(1):15–22.
20. Sayer AA, Cruz-Jentoft A. Sarcopenia definition, diagnosis and treatment: consensus is growing. *Age and Ageing*. 2022;51:1–5.
21. Pei C, Wu Y, Wang X, Wang F, Liu L. Effect of probiotics, prebiotics and synbiotics for chronic bronchitis or chronic obstructive pulmonary disease: A protocol for systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2020;99(45):e23045..