

Milk Consumption Frequency and Bone Mineral Density Z-scores In Women Aged 20–35 Years: A Cross-sectional Study

Siti Ramadhoni Al Rasyid¹, Ratih Dwiarjanti Puspitadewi², Yulianto³
^{1,2,3} *Akademi Teknologi Radiologi Bogor, Indonesia*

Corresponding Author: Siti Ramadhoni Al Rasyid
e-mail: tyasrasyid26@gmail.com

ABSTRACT

Background: Optimizing peak bone mass in early adulthood is important for long-term skeletal health. Milk provides calcium and high-quality protein that may support bone mineral density (BMD). However, evidence regarding the association between milk consumption and BMD in young adult women, particularly in non-Western populations, remains limited. This study aimed to assess whether milk consumption frequency is associated with BMD Z-scores in women aged 20–35 years.

Methods: An analytical observational study with a cross-sectional design was conducted among 60 premenopausal women aged 20–35 years. Milk consumption frequency was categorized as non-consumers, 1–3 times/week, and >3 times/week. Lumbar spine (L1–L4) and femoral neck BMD were measured using Dual-Energy X-ray Absorptiometry (DXA) and expressed as Z-scores. Normality was assessed prior to analysis, and One-way ANOVA was used to compare mean Z-scores across groups ($\alpha = 0.05$), with additional sensitivity analysis using non-parametric testing due to imbalance in group sizes.

Results: Mean (SD) Z-scores were 0.068 (0.927) for lumbar spine and -0.528 (0.797) for femoral neck. There was no significant difference in lumbar spine Z-scores across milk consumption groups $F(2.57) = 0.479$; $p = 0.622$). Similarly, femoral neck Z-scores were not significantly different $F(2.57) = 2.673$; $p = 0.078$), although a trend toward higher Z-scores was observed among participants with more frequent milk consumption.

Conclusions: In this sample of women aged 20–35 years, milk consumption frequency was not significantly associated with lumbar spine or femoral neck BMD Z-scores. These findings suggest that milk consumption alone may be insufficient to influence BMD in this population without considering other determinants such as total calcium intake, vitamin D status, and physical activity. Further studies with larger, more balanced samples and improved control of potential confounders are warranted.

Keywords: milk consumption; bone mineral density; Z-score; DXA; young women

Pendahuluan

Osteoporosis merupakan gangguan skeletal kronis yang ditandai dengan penurunan kekuatan tulang dan peningkatan risiko fraktur fragilitas (Compston et al., 2019). Kekuatan tulang ditentukan oleh kepadatan mineral tulang (Bone Mineral Density/BMD) serta kualitas mikroarsitektur tulang, yang keduanya berperan dalam menentukan risiko fraktur. Massa tulang terbaik sebagian besar dicapai pada awal masa dewasa; oleh karena itu, faktor nutrisi dan gaya hidup pada usia 20–35 tahun dapat mempengaruhi kesehatan tulang jangka panjang dan risiko fraktur di masa depan (Hofmeister et al., 2024).

Pencegahan berbasis gaya hidup menekankan kecukupan asupan protein dan kalsium dari makanan, status vitamin D yang adekuat, serta

aktivitas fisik yang membebani tulang secara teratur (Rizzoli & Chevalley, 2024). Aktivitas fisik, khususnya *weight-bearing exercise*, diketahui dapat merangsang aktivitas osteoblas dan meningkatkan proses pembentukan tulang. Bukti dari uji klinis terkontrol acak juga menunjukkan bahwa kombinasi nutrisi yang tepat dengan latihan fisik dapat memberikan manfaat sinergis bagi kesehatan muskuloskeletal (Cheng & Josse, 2024).

Susu dan produk susu menyediakan kalsium dengan bioavailabilitas tinggi dan protein berkualitas tinggi (Rizzoli, 2022). Kalsium berperan dalam proses mineralisasi tulang, sedangkan protein berkontribusi dalam pembentukan matriks kolagen sebagai kerangka dasar jaringan tulang. Meta-analisis terkini dari uji klinis terkontrol acak menunjukkan bahwa suplementasi susu dapat memperbaiki beberapa indeks kesehatan tulang

pada orang dewasa (Hidayat et al., 2022). Bukti mengenai suplementasi protein berbasis susu juga telah dirangkum dalam berbagai studi, dengan hasil yang secara umum menunjukkan tidak adanya dampak merugikan terhadap kesehatan tulang serta adanya potensi manfaat yang bersifat terbatas pada kondisi tertentu (Papageorgiou et al., 2023). Namun, kepastian dan besaran hubungan antara asupan produk susu dan luaran tulang dapat berbeda berdasarkan jenis produk susu dan populasi (Sharifan et al., 2025).

Selain faktor nutrisi, terdapat faktor lain yang berperan penting dalam menentukan kepadatan mineral tulang, seperti aktivitas fisik, indeks massa tubuh, paparan sinar matahari, serta faktor genetik. Faktor-faktor ini berperan dalam regulasi metabolisme tulang melalui mekanisme kompleks yang melibatkan keseimbangan antara aktivitas osteoblas (pembentukan tulang) dan osteoklas (resorpsi tulang). Interaksi antar faktor tersebut dapat mempengaruhi metabolisme tulang secara kompleks, sehingga hubungan antara konsumsi susu dan kepadatan tulang tidak selalu bersifat linier.

Pada wanita usia 20–35 tahun, kondisi hormonal yang relatif stabil menjadikan periode ini sebagai fase penting dalam mempertahankan peak bone mass. Pada fase ini, kadar estrogen yang optimal berperan dalam menjaga keseimbangan remodeling tulang dan mencegah resorpsi tulang yang berlebihan. Namun demikian, perubahan gaya hidup modern seperti rendahnya aktivitas fisik dan kurangnya asupan kalsium dapat meningkatkan risiko penurunan massa tulang lebih dini.

Bukti khusus pada wanita dewasa muda di Indonesia masih terbatas, dan pola konsumsi susu dapat berbeda secara signifikan dari populasi Barat. Perbedaan ini meliputi frekuensi konsumsi, jenis produk susu yang dikonsumsi, serta faktor budaya dan ekonomi yang mempengaruhi pola makan sehari-hari. Selain itu, variasi paparan sinar matahari di wilayah tropis seperti Indonesia juga dapat memengaruhi status vitamin D, yang berperan penting dalam absorpsi kalsium.

Selain itu, penelitian mengenai hubungan konsumsi susu dengan nilai Z-score BMD pada lokasi spesifik seperti tulang belakang lumbar dan leher femur masih jarang dilakukan, padahal kedua lokasi tersebut merupakan area yang paling sering mengalami penurunan kepadatan tulang dan berisiko tinggi terhadap fraktur. Penggunaan skor-Z pada populasi usia muda juga lebih tepat karena mencerminkan perbandingan terhadap kelompok

usia yang sama, bukan terhadap populasi dewasa tua.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji apakah frekuensi konsumsi susu berhubungan dengan skor-Z BMD (*Bone Mineral Density*) pada tulang belakang lumbar dan leher femur pada wanita berusia 20–35 tahun. Penelitian ini diharapkan dapat mengisi kesenjangan bukti pada populasi wanita dewasa muda di Indonesia serta memberikan dasar ilmiah bagi strategi pencegahan osteoporosis berbasis nutrisi sejak usia dini. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam upaya pencegahan osteoporosis sejak usia muda, khususnya pada populasi wanita di Indonesia.

Metode

Penelitian ini merupakan studi analitik observasional dengan desain cross-sectional. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode consecutive convenience sampling, yaitu seluruh pasien wanita usia 20–35 tahun yang menjalani pemeriksaan bone mineral density (BMD) menggunakan dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) di rumah sakit selama periode Januari hingga Desember 2025 direkrut sesuai ketersediaan.

Desain *cross-sectional* dipilih karena memungkinkan evaluasi hubungan antara paparan (frekuensi konsumsi susu) dan luaran (BMD) dalam satu waktu pengamatan secara efisien, namun memiliki keterbatasan dalam menentukan hubungan kausal sehingga hasil diinterpretasikan sebagai asosiasi. Selain itu, desain ini sesuai untuk penelitian eksploratif awal sebelum dilakukan studi longitudinal yang lebih komprehensif.

Kriteria inklusi meliputi wanita usia 20–35 tahun yang bersedia mengikuti penelitian dengan menandatangani informed consent tertulis. Kriteria eksklusi adalah riwayat penyakit tulang metabolik, gangguan hormonal, atau kondisi lain yang dapat memengaruhi metabolisme tulang. Selain itu, subjek dengan riwayat penggunaan obat-obatan yang memengaruhi metabolisme tulang seperti kortikosteroid jangka panjang (>3 bulan), terapi hormonal, atau obat lain yang memengaruhi densitas tulang juga dikeluarkan untuk meminimalkan bias. Kriteria eksklusi tambahan mencakup kehamilan, riwayat fraktur dalam 6 bulan terakhir, serta konsumsi rutin suplemen kalsium atau vitamin D dosis tinggi.

Penelitian ini menggunakan data pasien yang menjalani pemeriksaan klinis rutin, dan seluruh partisipan telah memberikan *informed consent* tertulis sebelum pengambilan data. Pelaksanaan

penelitian mengacu pada prinsip etika penelitian manusia sesuai Deklarasi Helsinki. Data yang dikumpulkan dianonimkan menggunakan kode numerik unik, dan hanya peneliti yang memiliki akses terhadap data lengkap untuk menjaga kerahasiaan subjek.

Frekuensi konsumsi susu diperoleh melalui kuesioner dan dikategorikan menjadi tiga kelompok: tidak mengonsumsi (0 kali/minggu), 1–3 kali/minggu, dan >3 kali/minggu. Instrumen kuesioner bersifat semi-kuantitatif dan dirancang untuk menilai pola konsumsi dalam satu bulan terakhir guna merepresentasikan kebiasaan konsumsi responden.

Pengukuran BMD dilakukan pada tulang belakang lumbar (L1–L4) dan leher femur menggunakan DXA, dengan hasil dinyatakan dalam skor-Z, yaitu perbandingan terhadap populasi referensi berdasarkan usia dan jenis kelamin. Pemeriksaan dilakukan oleh tenaga radiografer terlatih sesuai standar operasional prosedur. Kalibrasi alat dilakukan secara berkala serta disertai quality control harian menggunakan phantom standar untuk menjamin validitas dan konsistensi hasil pengukuran.

Pengukuran BMD dilakukan menggunakan alat DXA GE Lunar Prodigy (GE Healthcare, Madison, WI, USA) dengan koefisien variasi (CV) <1% untuk lumbar dan femoral neck, yang menunjukkan presisi dan reliabilitas pengukuran yang tinggi. Analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik. Data numerik disajikan dalam bentuk rerata dan simpangan baku, sedangkan data kategorik dalam bentuk frekuensi dan persentase. Perbedaan skor-Z antar kelompok dianalisis menggunakan uji one-way ANOVA. Sebelum analisis, dilakukan uji asumsi berupa uji normalitas (Shapiro–Wilk) dan homogenitas varians (Levene test).

Apabila asumsi tidak terpenuhi, digunakan uji non-parametrik Kruskal–Wallis sebagai alternatif. Mengingat ketimpangan ukuran kelompok yang cukup besar ($n=21$, 37, dan 2), dilakukan analisis tambahan (analisis sensitivitas) dengan penggabungan kategori menjadi dua kelompok (non-konsumen dan konsumen ≥ 1 kali/minggu) untuk meningkatkan stabilitas hasil. Nilai $p < 0.05$ dianggap bermakna secara statistik.

Selain itu, dilakukan evaluasi deskriptif terhadap distribusi data untuk mengidentifikasi kemungkinan outlier. Analisis korelasi (Pearson atau Spearman, sesuai distribusi data) digunakan untuk menilai hubungan antara frekuensi konsumsi susu dan skor-Z BMD sebagai variabel kontinu.

Untuk meningkatkan validitas hasil, dilakukan pertimbangan analisis multivariat menggunakan regresi linear dengan memasukkan variabel perancu seperti usia, indeks massa tubuh (IMT), dan aktivitas fisik apabila tersedia, sehingga hubungan yang diperoleh lebih terkontrol secara statistik.

Hasil dan Pembahasan

Sebanyak 60 wanita usia 20–35 tahun dianalisis dalam penelitian ini. Karakteristik dasar partisipan disajikan pada Tabel 1. Rerata usia partisipan adalah $26,98 \pm 4,61$ tahun, dengan rerata indeks massa tubuh (BMI) sebesar $22,47 \pm 3,19$ kg/m². Seluruh partisipan berada dalam status pramenopause (100%), sehingga variasi hormonal relatif homogen dan kecil kemungkinannya bertindak sebagai faktor perancu utama. Kondisi ini memperkuat validitas internal penelitian dalam mengevaluasi hubungan antara konsumsi susu dan kepadatan tulang.

Tabel 1. Karakteristik dasar partisipan ($n=60$).

Variabel	n
Usia (tahun), rerata $\pm$ SD	$26,98 \pm 4,61$
BMI (kg/m ²), rerata $\pm$ SD	$22,47 \pm 3,19$
Status menstruasi, n (%)	60 (100%) pramenopause

Sebagian besar partisipan melaporkan konsumsi susu sebanyak 1–3 kali per minggu (61,7%), diikuti oleh kelompok bukan konsumen (35,0%) dan kelompok dengan konsumsi >3 kali/minggu (3,3%). Distribusi ini menunjukkan ketidakseimbangan ukuran sampel antar kelompok, terutama pada kelompok konsumsi tinggi, yang berpotensi menurunkan kekuatan uji statistik (statistical power).

Tabel 2. Distribusi Frekuensi konsumsi susu.

Kelompok Konsumsi Susu	n	%
Bukan Konsumen	21	35.0
1–3 kali/minggu	37	61.7
>3 kali/minggu	2	3.3

Rerata skor-Z berdasarkan kelompok konsumsi susu disajikan pada tabel 3. Pada tulang belakang lumbar, rerata skor-Z cenderung meningkat seiring dengan frekuensi konsumsi susu, dengan nilai tertinggi pada kelompok >3 kali/minggu. Namun, perbedaan antar kelompok tidak signifikan secara statistik ($p = 0.622$).

Pada leher femur, kelompok bukan konsumen menunjukkan rerata skor-Z terendah, sedangkan kelompok dengan konsumsi lebih tinggi

menunjukkan nilai yang relatif lebih baik, dengan nilai p yang mendekati signifikansi ($p = 0.078$).

Meskipun tidak mencapai signifikansi statistik, pola ini menunjukkan adanya kecenderungan hubungan positif antara frekuensi konsumsi susu dan kepadatan tulang, terutama pada lokasi leher femur yang lebih sensitif terhadap perubahan metabolik tulang.

Tabel 3. Skor – Z BMD berdasarkan kelompok konsumsi susu.

Kelompok	n	Lumbar spine Z-score (rerata $\pm$ SD)	Femoral neck Z-score (rerata $\pm$ SD)
Bukan Konsumen	21	- 0.052 $\pm$ 0.928	- 0.843 $\pm$ 0.866
1–3 kali/minggu	37	0.111 $\pm$ 0.931	- 0.354 $\pm$ 0.727
>3 kali/minggu	2	0.550 $\pm$ 1.202	- 0.450 $\pm$ 0.495

Uji ANOVA menunjukkan tidak terdapat perbedaan bermakna antar kelompok konsumsi susu, baik pada lumbar ($p = 0.622$) maupun leher femur ($p = 0.078$).

Hasil uji asumsi statistik menunjukkan bahwa distribusi residual untuk skor-Z lumbar (Shapiro-Wilk $p = 0.234$) dan leher femur (Shapiro-Wilk $p = 0.187$) memenuhi asumsi normalitas. Uji Levene menunjukkan bahwa varians antar kelompok untuk skor-Z lumbar ($p = 0.312$) dan leher femur ($p = 0.245$) bersifat homogen. Berdasarkan hasil tersebut, ANOVA satu arah digunakan untuk analisis utama.

Mengingat ukuran sampel kelompok >3 kali/minggu sangat kecil ($n=2$), dilakukan analisis tambahan dengan menggabungkan kategori paparan menjadi dua kelompok, yaitu bukan konsumen ($n=21$) dan konsumen (≥ 1 kali/minggu, $n=39$), serta menggunakan uji non-parametrik (Kruskal–Wallis). Hasil analisis tambahan menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang bermakna ($p > 0.05$), sehingga konsisten dengan hasil analisis utama.

Pendekatan ini dilakukan untuk meningkatkan stabilitas analisis dan mengurangi bias akibat ketimpangan distribusi sampel, meskipun konsekuensinya adalah berkurangnya detail variasi antar kategori konsumsi. Pada penelitian ini, frekuensi konsumsi susu tidak menunjukkan hubungan yang signifikan dengan skor-Z BMD pada tulang belakang lumbar maupun leher femur pada wanita usia 20–35 tahun. Meskipun terdapat kecenderungan nilai skor-Z yang lebih tinggi pada kelompok dengan konsumsi susu lebih sering,

perbedaan tersebut tidak mencapai signifikansi statistik.

Kecenderungan peningkatan nilai BMD pada kelompok dengan konsumsi susu lebih tinggi secara biologis masih dapat dijelaskan melalui peran kalsium dan protein dalam proses mineralisasi dan remodeling tulang, meskipun efek tersebut mungkin tidak terdeteksi secara statistik dalam ukuran sampel yang terbatas.

Kalsium berperan sebagai komponen utama hidroksiapatit dalam tulang, sedangkan protein berkontribusi terhadap pembentukan matriks kolagen yang menjadi dasar deposisi mineral. Interaksi kedua komponen ini sangat penting dalam mempertahankan kekuatan dan struktur tulang.

Temuan ini kemungkinan dipengaruhi oleh keterbatasan kekuatan statistik, terutama karena ukuran kelompok konsumsi tinggi yang sangat kecil. Selain itu, keterbatasan dalam pengukuran paparan yang hanya didasarkan pada frekuensi konsumsi tanpa mempertimbangkan jumlah porsi atau total asupan kalsium—serta tidak dikendalikannya faktor perancu seperti pola makan keseluruhan, status vitamin D, dan aktivitas fisik, juga dapat memengaruhi hasil penelitian ini (Marín-Cascales et al., 2022).

Selain itu, kemungkinan terjadinya bias recall pada pengisian kuesioner juga dapat memengaruhi akurasi data paparan konsumsi susu. Ketidakseimbangan distribusi sampel antar kelompok juga berpotensi meningkatkan risiko kesalahan tipe II (*type II error*), sehingga interpretasi hasil perlu dilakukan secara hati-hati. Tidak ditemukannya hubungan yang signifikan dalam penelitian ini tidak serta-merta meniadakan potensi manfaat biologis dari asupan kalsium yang adekuat selama periode pembentukan massa tulang puncak (Liu et al., 2022). Hal ini sejalan dengan literatur yang menekankan pentingnya nutrisi sebagai strategi pencegahan osteoporosis sepanjang siklus kehidupan (Rizzoli & Chevalley, 2024). Selain itu, kemungkinan adanya efek ambang (*threshold effect*), di mana manfaat konsumsi susu terhadap BMD hanya terlihat pada tingkat konsumsi tertentu, juga perlu dipertimbangkan dalam interpretasi hasil.

Sejumlah penelitian sebelumnya umumnya mendukung peran konsumsi produk susu terhadap kesehatan tulang. Meta-analisis uji klinis terkontrol pada populasi dewasa menunjukkan bahwa suplementasi susu dapat meningkatkan beberapa parameter kesehatan tulang, meskipun hasilnya bervariasi tergantung pada jenis luaran dan durasi penelitian (Hidayat et al., 2022). Perbedaan hasil

antar studi juga dapat disebabkan oleh variasi desain penelitian, karakteristik populasi, serta metode pengukuran paparan dan luaran yang digunakan. Selain itu, tinjauan literatur juga menekankan peran kalsium dan protein dalam proses remodeling dan pemeliharaan tulang (Rizzoli, 2022; Papageorgiou et al., 2023).

Studi observasional juga melaporkan adanya hubungan positif antara konsumsi susu dan yogurt dengan BMD, khususnya pada tulang panggul, meskipun hasilnya tidak selalu konsisten untuk luaran lain seperti risiko fraktur (Sahni et al., 2013). Bukti yang lebih baru menunjukkan bahwa hubungan antara konsumsi produk susu dan kesehatan tulang dapat bervariasi tergantung jenis produk dan karakteristik populasi, dengan tingkat kepastian bukti yang masih beragam (Sharifan et al., 2025). Bahkan, beberapa tinjauan sistematis terbaru menunjukkan bahwa konsumsi yogurt memiliki efek minimal terhadap BMD dan tidak berhubungan dengan risiko fraktur panggul, yang mencerminkan masih adanya ketidakpastian dalam bidang ini (Mayo et al., 2025).

Pendekatan epidemiologi genetik memberikan perspektif tambahan. Studi Mendelian randomization menunjukkan bahwa konsumsi susu yang diprediksi secara genetik mungkin berhubungan dengan BMD pada leher femur pada wanita, yang sejalan dengan kecenderungan yang terlihat dalam penelitian ini, namun masih memerlukan konfirmasi lebih lanjut melalui studi dengan desain yang lebih kuat dan populasi yang lebih beragam (Chen et al., 2022). Dari sisi metodologi, pemeriksaan BMD menggunakan DXA tetap merupakan standar dalam penilaian densitas tulang.

Pedoman terbaru menekankan pentingnya standarisasi dalam akuisisi, analisis, dan pelaporan data, termasuk interpretasi skor-Z pada populasi usia muda (Slart et al., 2025; Krueger et al., 2024). Namun demikian, interpretasi skor-Z pada populasi usia muda memerlukan kehati-hatian, karena nilai tersebut lebih mencerminkan perbandingan relatif terhadap populasi referensi dibandingkan risiko fraktur secara langsung implikasi klinis dari penelitian ini adalah pentingnya pendekatan komprehensif dalam menjaga kesehatan tulang pada usia muda, yang tidak hanya berfokus pada konsumsi susu, tetapi juga mencakup aktivitas fisik, paparan sinar matahari, serta pola makan seimbang secara keseluruhan.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan ukuran sampel yang lebih besar dan distribusi kelompok yang lebih seimbang, serta

mengukur secara kuantitatif asupan kalsium dan vitamin D. Selain itu, pengendalian faktor perancu seperti aktivitas fisik dan paparan sinar matahari juga penting. Desain longitudinal lebih direkomendasikan untuk mengevaluasi hubungan kausal antara konsumsi susu dan perubahan BMD dari waktu ke waktu. Penggunaan metode dietary recall atau food frequency questionnaire (FFQ) yang tervalidasi juga dapat meningkatkan akurasi pengukuran paparan nutrisi. Selain itu, integrasi pemeriksaan biomarker seperti kadar vitamin D serum dan penanda turnover tulang (*bone turnover markers*) dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai status metabolisme tulang pada responden.

Kesimpulan

Frekuensi konsumsi susu tidak menunjukkan hubungan yang bermakna secara statistik dengan skor-Z BMD pada tulang belakang lumbar maupun leher femur pada wanita usia 20–35 tahun dalam penelitian ini. Meskipun demikian, terdapat kecenderungan peningkatan nilai BMD seiring dengan frekuensi konsumsi susu, terutama pada leher femur, namun hubungan tersebut belum mencapai signifikansi statistik.

Tidak signifikannya hasil ini kemungkinan dipengaruhi oleh keterbatasan kekuatan uji (statistical power), khususnya akibat ukuran sampel yang kecil dan ketidakseimbangan distribusi antar kelompok, terutama pada kelompok konsumsi tinggi yang sangat terbatas. Selain itu, keterbatasan pengukuran paparan yang hanya berbasis frekuensi konsumsi (tanpa kuantifikasi asupan), serta tidak dikendalikannya faktor perancu utama seperti asupan kalsium total, status vitamin D, dan aktivitas fisik, dapat menyebabkan tidak terdeteksinya hubungan yang sebenarnya (residual confounding).

Secara biologis, kecenderungan hubungan positif yang ditemukan tetap sejalan dengan peran kalsium dan protein dalam proses mineralisasi dan remodeling tulang, sebagaimana telah dibahas pada bagian sebelumnya, meskipun efek tersebut belum dapat dibuktikan secara statistik dalam penelitian ini.

Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut dengan jumlah sampel yang lebih besar dan distribusi kelompok yang lebih seimbang untuk meningkatkan kekuatan inferensi statistik dan stabilitas hasil. Penelitian selanjutnya juga disarankan menggunakan desain longitudinal, pengukuran asupan nutrisi secara kuantitatif (misalnya melalui FFQ tervalidasi atau dietary recall), serta pengendalian faktor perancu dan/atau

integrasi biomarker seperti kadar vitamin D dan penanda turnover tulang, agar dapat memberikan gambaran hubungan kausal yang lebih kuat antara konsumsi susu dan perubahan BMD dari waktu ke waktu.

Daftar Pustaka

- Compston, J. E., McClung, M. R., & Leslie, W. D. (2019). Osteoporosis. *The Lancet*, 393(10169), 364–376. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32112-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32112-3)
- Hofmeister, M., Inglis, T., Martin, M., et al. (2024). Peak bone mass: A systematic review. *JPOSNA*, 6(2), 100031. <https://doi.org/10.1016/j.jposna.2024.100031>
- Rizzoli, R., & Chevalley, T. (2024). Nutrition and osteoporosis prevention. *Current Osteoporosis Reports*. <https://doi.org/10.1007/s11914-024-00892-0>
- Cheng, N., & Josse, A. R. (2024). Dairy and exercise for bone health: Evidence from randomized controlled trials and recommendations for future research. *Current Osteoporosis Reports*. <https://doi.org/10.1007/s11914-024-00882-2>
- Rizzoli, R. (2022). Dairy products and bone health. *Aging Clinical and Experimental Research*, 34(1), 9–24. <https://doi.org/10.1007/s40520-021-01970-4>
- Hidayat, K., Chen, J.-S., Wang, T.-C., et al. (2022). The effects of milk supplementation on bone health indices in adults: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Advances in Nutrition*, 13, 1186–1199. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab136>
- Papageorgiou, M., Elliott-Sale, K. J., Parsons, A., et al. (2023). The skeletal safety of milk-derived proteins: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Osteoporosis International*, 34, 1937–1949. <https://doi.org/10.1007/s00198-023-06840-5>
- Sharifan, P., Roustaei, R., Shafiee, M., et al. (2025). Dairy consumption and risk of cardiovascular and bone health outcomes in adults: An umbrella review and updated meta-analyses. *Nutrients*, 17(17), 2723. <https://doi.org/10.3390/nu17172723>
- Slart, R. H. J. A., et al. (2025). Updated practice guideline for dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 52(2), 539–563. <https://doi.org/10.1007/s00259-024-06912-6>
- Krueger, D., Tanner, S. B., Szalat, A., et al. (2024). DXA reporting updates: 2023 official positions of the International Society for Clinical Densitometry. *Journal of Clinical Densitometry*, 27(1), 101437. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2023.101437>
- Liu, Y., Le, S., Liu, Y., et al. (2022). The effect of calcium supplementation in people under 35 years old: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *eLife*, 11, e79002. <https://doi.org/10.7554/eLife.79002>
- Chen, S., Zheng, C., Chen, T., et al. (2022). Genetically predicted milk intake increased femoral neck bone mineral density in women but not in men. *Frontiers in Endocrinology*, 13, 900109. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.900109>
- Mayo, B., Malagón-Rojas, J., Agahi, F., et al. (2025). Impact of yogurt consumption on bone health markers in adults with or without osteoporosis: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1660505. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1660505>
- Marín-Cascales, E., Rubio-Arias, J. Á., Alcaraz, P. E., et al. (2022). Effects of different exercise intensity on bone mineral density in adults: A comparative systematic review and meta-analysis. *Osteoporosis International*, 33, 1005–1024. <https://doi.org/10.1007/s00198-022-06329-7>
- Sahni, S., Tucker, K. L., Kiel, D. P., et al. (2013). Milk and yogurt consumption are linked with higher bone mineral density but not with hip fracture: The Framingham Offspring Study. *Archives of Osteoporosis*, 8, 119. <https://doi.org/10.1007/s11657-013-0119-2>