

SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW: FAKTOR-FAKTOR YANG BERHUBUNGAN DENGAN OSTEOPOROSIS

Indah Ratikasari¹, Inna Mukhaira²

¹²Program Studi Gizi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Yatsi Madani

Korespondensi: indahratikasari@uym.ac.id

ABSTRAK

Osteoporosis merupakan suatu kondisi menurunnya massa serta kepadatan tulang yang menyebabkan tulang menjadi rapuh dan mudah mengalami fraktur (patah tulang). Penyakit ini masih menjadi salah satu masalah kesehatan global dengan prevalensi yang terus meningkat dari tahun ke tahun. Dampak osteoporosis sangat signifikan, terutama pada kelompok lanjut usia, karena dapat menurunkan kualitas hidup dan meningkatkan risiko kecacatan. Oleh sebab itu, tinjauan literatur ilmiah diperlukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama yang berhubungan dengan kejadian osteoporosis sehingga strategi pencegahannya dapat dirancang secara lebih efektif. Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) yang bersumber dari berbagai jurnal nasional terbitan tahun 2020 hingga 2025 mengenai faktor risiko osteoporosis. Berdasarkan hasil telaah, faktor dominan yang berkontribusi terhadap terjadinya osteoporosis adalah rendahnya aktivitas fisik dan kurangnya asupan kalsium. Dengan demikian, upaya pencegahan dan pengendalian osteoporosis perlu dilakukan secara komprehensif, berbasis bukti ilmiah, serta mencakup aspek biologis, perilaku, dan sosial secara terpadu.

Kata kunci: osteoporosis, lansia, massa tulang

ABSTRACT

Osteoporosis is a condition characterized by a decrease in bone mass and density, leading to bone fragility and an increased risk of fractures. This disease remains a major global health problem, with its prevalence continuing to rise over time. The impact of osteoporosis is particularly significant among the elderly population, as it can reduce quality of life and increase the risk of disability. Therefore, a scientific literature review is needed to identify the key factors associated with the occurrence of osteoporosis, so that effective prevention strategies can be developed. This study employed a Systematic Literature Review (SLR) method based on various national journals published between 2020 and 2025 that discuss risk factors for osteoporosis. The results indicated that the main contributing factors to osteoporosis are low levels of physical activity and insufficient calcium intake. Hence, osteoporosis prevention and control efforts should be comprehensive, evidence-based, and integrated across biological, behavioral, and social dimensions.

Key word: osteoporosis, elderly, bone mass

PENDAHULUAN

Osteoporosis merupakan salah satu masalah kesehatan global yang semakin meningkat seiring bertambahnya usia harapan hidup penduduk dunia. Penyakit ini ditandai dengan penurunan massa tulang dan perubahan jaringan tulang, sehingga meningkatkan risiko terjadinya fraktur akibat kerapuhan tulang. Menurut World Health Organization, patah tulang akibat kerapuhan (*fragility fractures*) berkontribusi terhadap sekitar 25,8 juta tahun hidup dengan disabilitas (*Years Lived with Disability/YLDs*) di seluruh dunia pada tahun 2019, meningkat lebih dari 65% dibandingkan tahun 1990 (WHO, 2024). WHO juga menegaskan bahwa osteoporosis menjadi penyebab utama penurunan kualitas hidup pada kelompok lanjut usia (lansia), terutama perempuan *pascamenopause* yang mengalami penurunan densitas tulang secara signifikan (WHO, 2024).

Di Indonesia, beban osteoporosis menunjukkan tren yang mengkhawatirkan. Kementerian Kesehatan Indonesia (Kemenkes, 2023) melaporkan bahwa prevalensi osteoporosis pada perempuan *pascamenopause* di wilayah perkotaan, seperti Jakarta, mencapai 20,2% pada tulang lumbal dan 32,3% pada tulang femur. Selain itu, hasil Riskesdas 2018 menunjukkan bahwa sekitar 10,3% penduduk Indonesia memiliki risiko osteoporosis, dengan kecenderungan lebih tinggi pada perempuan dan kelompok usia di atas 50 tahun. Kondisi ini diperkirakan akan terus meningkat seiring perubahan demografi menuju populasi lansia yang lebih besar. Tingginya prevalensi osteoporosis membawa implikasi besar terhadap kesehatan masyarakat dan sistem pelayanan kesehatan. Fraktur tulang akibat osteoporosis tidak hanya meningkatkan angka kesakitan dan kecacatan, tetapi juga berdampak pada biaya perawatan jangka panjang, penurunan produktivitas, serta kualitas hidup individu. Oleh karena itu, pencegahan terhadap faktor yang mempengaruhi osteoporosis perlu diperhatikan sehingga angka kejadian dan keparahan osteoporosis bisa ditekan.

Teori HL. Blum (1974) menjelaskan bahwa derajat kesehatan individu maupun masyarakat dipengaruhi oleh empat komponen utama yang saling berinteraksi, yaitu lingkungan, perilaku atau gaya hidup, genetik, dan pelayanan kesehatan. Model ini dikenal dengan istilah *Health Field Concept* yang menekankan bahwa faktor medis bukan satu-satunya penentu kesehatan, melainkan hasil dari interaksi berbagai aspek sosial, biologis, dan lingkungan (Blum, 1974). Jika dikaitkan dengan osteoporosis, teori ini sangat relevan untuk menjelaskan penyebab multifaktorial dari penyakit tersebut.

Salah satu faktor lingkungan yang dapat meningkatkan risiko osteoporosis adalah kurangnya paparan sinar matahari yang menyebabkan defisiensi vitamin D, rendahnya ketersediaan pangan bergizi yang tinggi kalsium, serta faktor sosial ekonomi yang memengaruhi pola konsumsi masyarakat. Lingkungan fisik dan sosial ini berperan dalam membentuk perilaku serta asupan nutrisi yang memengaruhi metabolisme tulang (Kemenkes RI, 2021; WHO, 2023). Sementara itu, faktor perilaku menjadi determinan paling dominan dalam teori Blum. Kebiasaan seperti mengonsumsi makanan rendah kalsium dan protein, kurang aktivitas fisik, serta merokok dan mengonsumsi alkohol berlebihan terbukti mempercepat proses kehilangan massa tulang dan meningkatkan risiko osteoporosis (WHO, 2019; NIH, 2020). Faktor genetik juga memiliki kontribusi penting, di mana riwayat keluarga dengan osteoporosis atau variasi genetik tertentu dapat memengaruhi pembentukan massa tulang puncak (*peak bone mass*) serta kemampuan tubuh dalam menyerap kalsium. Beberapa penelitian menunjukkan adanya peran polimorfisme gen yang mengatur metabolisme hormon dan mineral tulang dalam menentukan kerentanan seseorang terhadap osteoporosis (Rizzoli et al., 2019).

Dalam konteks teori Blum, usia dianggap sebagai faktor biologis yang tidak dapat diubah (*non-modifiable factor*). Usia berpengaruh langsung terhadap proses fisiologis alami tubuh, termasuk penurunan massa tulang (*bone mass loss*) yang mulai terjadi setelah usia 30–35 tahun. Penuaan menyebabkan penurunan aktivitas osteoblas (sel pembentuk tulang) dan peningkatan aktivitas osteoklas (sel perusak tulang), yang mempercepat terjadinya osteoporosis. Sama halnya dengan usia, jenis kelamin termasuk ke dalam faktor *heredity/genetic* karena bersifat bawaan dan tidak dapat dimodifikasi. Wanita, khususnya setelah *menopause*, memiliki risiko osteoporosis yang lebih tinggi dibandingkan pria akibat penurunan kadar hormon estrogen yang berperan dalam menjaga kepadatan tulang. Secara biologis, wanita juga memiliki massa tulang puncak (*peak bone mass*) yang lebih rendah daripada pria, sehingga lebih rentan mengalami kerapuhan tulang pada usia lanjut.

Selanjutnya, faktor pelayanan kesehatan juga berperan dalam upaya pencegahan dan pengendalian osteoporosis. Tersedianya pelayanan kesehatan dapat mencegah kasus osteoporosis pada individu yang berisiko tinggi dan menurunkan angka keparahan osteoporosis dengan memberikan perawatan yang tepat terhadap pasien osteoporosis. Program skrining kepadatan tulang (*Bone Mineral Density/BMD test*), edukasi gizi tentang kalsium dan vitamin D, serta promosi aktivitas fisik untuk kesehatan tulang merupakan contoh-contoh program osteoporosis yang telah diterapkan hingga saat ini. (Kemenkes RI, 2022; IOF, 2021).

Dengan mempertimbangkan tingginya beban penyakit, dampak sosial-ekonomi yang luas, serta adanya variasi hasil penelitian tentang faktor risiko osteoporosis di berbagai populasi, maka peneliti berpendapat bahwa diperlukan kajian literatur sistematis (*systematic literature review*) untuk mengidentifikasi dan mensintesis bukti ilmiah terkini mengenai faktor-faktor yang berhubungan dengan kejadian osteoporosis. Kajian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam penyusunan strategi pencegahan dan promosi kesehatan tulang yang lebih efektif, baik di tingkat individu maupun populasi.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain *systematic literature review* (SLR) dengan mengikuti pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menilai, dan mensintesis berbagai hasil penelitian yang relevan mengenai faktor-faktor yang berhubungan dengan osteoporosis.

Proses *review* yang dilakukan melalui empat tahapan utama, yaitu:

1. Identifikasi yaitu menelusuri artikel ilmiah melalui basis data elektronik nasional menggunakan kata kunci yang sesuai dengan topik penelitian.
2. Penyaringan (*screening*) yaitu memilih artikel berdasarkan kesesuaian judul dan abstrak dengan fokus penelitian.
3. Kelayakan (*eligibility*) yaitu menilai kelengkapan dan relevansi isi artikel dengan mempertimbangkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan.
4. Penetapan yaitu menentukan artikel akhir yang akan dianalisis dan disintesis secara kualitatif.

Sumber artikel ilmiah diperoleh melalui Portal Garuda Kemdiktisaintek (<https://garuda.kemdiktisaintek.go.id>) yang memuat publikasi ilmiah nasional. Seluruh artikel yang terpilih kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi pola temuan serta faktor-faktor yang konsisten berhubungan dengan kejadian osteoporosis.

Objek Penelitian

Osteoporosis dipilih sebagai objek penelitian karena masih menjadi salah satu permasalahan penting di bidang kesehatan, terutama pada kelompok usia lanjut dan perempuan *pascamenopause*. Penyakit ini berdampak besar terhadap kualitas hidup karena dapat meningkatkan risiko fraktur tulang, kecacatan, dan beban biaya kesehatan jangka panjang. Selain itu, osteoporosis memiliki etiologi yang kompleks dan melibatkan berbagai faktor, seperti usia, jenis kelamin, status hormonal, asupan gizi, aktivitas fisik, serta gaya hidup. Kompleksitas faktor penyebab inilah yang menjadikan osteoporosis menarik untuk dikaji lebih mendalam melalui pendekatan SLR, guna memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai faktor-faktor yang berhubungan dengan kejadian penyakit tersebut.

Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan penelitian diajukan sesuai dengan kebutuhan terkait dengan tema penelitian. Terdapat tiga pertanyaan penelitian yang menjadi fokus di dalam penelitian ini, diantaranya yaitu:

- RQ1 : Apa desain penelitian yang digunakan dalam artikel?
- RQ2 : Faktor apa saja yang berhubungan dengan osteoporosis pada rentang tahun 2020–2025?
- RQ3 : Apa saja faktor penyebab osteoporosis menurut teori Blum yang ditemui dalam artikel?

Pencarian Artikel

Tahap pencarian artikel merupakan proses mencari artikel yang disesuaikan dengan pertanyaan penelitian. Pada tahap ini dilakukan penelusuran pada Portal Garuda Kemdiktisaintek menggunakan kata kunci yang sesuai dengan pertanyaan berikut:

- SQ1 : Apakah artikel/jurnal diterbitkan pada rentang tahun 2020–2025?
- SQ2 : Apakah artikel/jurnal tersebut menganalisis faktor yang berhubungan dengan osteoporosis?

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Tujuan kriteria inklusi dan eksklusi dibuat untuk menetapkan kelayakan dari artikel yang akan digunakan sebagai sumber data. Artikel dianggap layak untuk dipilih/diterima jika memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Artikel diterbitkan pada rentang tahun 2020–2025.
2. Artikel menganalisis faktor yang berhubungan dengan osteoporosis.
3. Artikel dalam bentuk lengkap tersedia di laman <https://garuda.kemdiktisaintek.go.id>

Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dilakukan dengan cara menelusuri dan mengumpulkan seluruh artikel yang relevan dengan topik penelitian untuk kemudian dianalisis pada tahap berikutnya. Prosedur pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi beberapa langkah, yaitu:

1. Mengakses laman <https://garuda.kemdiktisaintek.go.id> melalui mesin pencari (*search engine*).
2. Mengetik kata kunci pencarian pada kolom *search* dengan topik “faktor-faktor yang berhubungan dengan osteoporosis.”
3. Menggunakan fitur *filter* untuk menentukan rentang tahun publikasi artikel, yaitu antara 2020 – 2025, sehingga diperoleh kumpulan artikel atau jurnal yang diterbitkan dalam periode tersebut dan sesuai dengan fokus penelitian.

Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya dianalisis untuk menjawab pertanyaan penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya. Proses analisis dilakukan dengan menelaah isi artikel yang memenuhi kriteria seleksi, sehingga diperoleh gambaran yang sesuai dengan fokus kajian. Adapun kriteria utama artikel yang dianalisis meliputi:

1. Artikel atau jurnal diterbitkan pada bidang kesehatan dalam rentang waktu 2020–2025.
2. Artikel membahas faktor-faktor yang berhubungan dengan osteoporosis.
3. Artikel secara eksplisit menyebutkan istilah osteoporosis dalam isi atau topik penelitiannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN**Hasil Pengumpulan Data**

Sebanyak 8 dari 13 artikel atau jurnal berhasil diperoleh setelah melalui proses pencarian artikel yang disesuaikan dengan kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria tersebut meliputi publikasi yang diterbitkan dalam rentang waktu 2020–2025 serta menganalisis faktor-faktor yang berhubungan dengan osteoporosis. Seluruh artikel yang terpilih kemudian diklasifikasikan berdasarkan karakteristik publikasinya yaitu:

Tabel 1. Hasil Pencarian Artikel

No.	Nama Jurnal	Penulis	Judul Penelitian	Tahun
1.	<i>Indonesian Trust Health Journal</i>	Helfrida Situmorang	Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Kejadian Osteoporosis	2020
2.	Jurnal Darma Agung	Hetti Marlina Pakpahan, Ana Afriani	Faktor-Faktor yang Memengaruhi Terjadinya Osteoporosis di UPT Pelayanan Sosial Lanjut Usia Dinas Sosial Binjai Provinsi Sumatera Utara	2024
3.	Tunas-Tunas Riset Kesehatan (2-TRIK)	Arief Setiyoargo, Nanta Sigit, Richard One Maxelly	<i>Underweight</i> sebagai Faktor Risiko Osteoporosis pada Lansia	2021
4.	Prosiding Seminar Nasional Multidisiplin Ilmu	Tri Suprihatinah, Nurfadhila, Agnes Savitri Agni, Aan Ika Sugathot, Febrian Kristanto	Hubungan Faktor Risiko Osteoporosis dengan Indeks Massa Tubuh Ibu Warga RT Griya Purwa Asri Purwomartani Kalasan Sleman	2021
5.	Jurnal Ilmiah Penelitian Kesehatan (JUMANTIK)	Ira Syafira, Razia Begum Suroyo, Tri Niswati Utami	Analisis Faktor yang Memengaruhi Osteoporosis pada Ibu Menopause di Puskesmas Stabat Kabupaten Langkat	2020
6.	Jurnal Ilmiah Manusia dan Kesehatan	Haniarti, Sukrufil Jannah, Nurlinda Nurlinda, Rini Anggraeny, Usman Usman, Karman Karman	Faktor Risiko Kejadian Osteoporosis pada Warga Lansia di Kelurahan Mamminasae Kabupaten Pinrang	2023
7.	<i>Malahayati Health Student Journal</i> (MAHESA)	Mutmainah Abbas, Rosdiana Mus, Fitriana, Thaslife	Perbandingan Kadar Kalsium pada Wanita Premenopause dan Menopause sebagai Faktor Risiko Osteoporosis	2023
8.	Cerdika: jurnal ilmiah Indonesia	Klaus Ferdinan, Zulfirman	Analisis Tingkat Kejadian osteoporosis pada Lansia di Indonesia Tahun 2024: Faktor Risiko dan Pencegahan	2025

Hasil Analisis Data

Hasil analisis data memaparkan jawaban dari pertanyaan penelitian yang telah ditentukan sebelumnya. Peneliti merangkum hasil tersebut pada Tabel 2:

Tabel 2. Hasil Temuan SLR: Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Osteoporosis

No.	Penulis (Tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Temuan
1.	Helfrida Situmorang (2020)	Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Kejadian Osteoporosis	- Desain: <i>cross sectional</i> - Analisis data: bivariat - Tempat: Puskesmas Gunting Saga, Kecamatan Kualuh Selatan, Kabupaten Labuhan Batu Utara - Sampel: 45 orang pasien osteoporosis, usia >45 tahun	Aktivitas fisik (p value = 0.000; OR = 222.00)
2.	Hetti Marlina Pakpahan, Ana Afriani (2024)	Faktor-Faktor yang Memengaruhi Terjadinya Osteoporosis di UPT Pelayanan Sosial Lanjut Usia Dinas Sosial Binjai Provinsi Sumatera Utara	- Desain: <i>cross sectional</i> - Analisis data: univariat - Tempat: UPT Pelayanan Sosial Lanjut Usia Dinas Sosial Binjai Provinsi Sumatera Utara - Sampel: 36 orang lansia yang terdiagnosa osteoporosis	- Usia 74–85 tahun - Jenis kelamin perempuan - Kebiasaan merokok - Aktivitas fisik tidak rutin - Riwayat penyakit diabetes mellitus - Faktor menopause pada lansia manusia usia 49–50 tahun
3.	Arief Setiyoargo, Nanta Sigit, Richard One Maxelly (2021)	<i>Underweight</i> sebagai Faktor Risiko Osteoporosis pada Lansia	- Desain: <i>case control</i> - Analisis data: multivariat - Tempat: Rumah Sakit Panti Nirmala Malang - Sampel: 40 kelompok kasus dan 40 kelompok kontrol	<i>Underweight</i> (p value = 0,040; OR = 3,4) - Jenis kelamin perempuan (p value = 0,029; OR = 3,8) – faktor dominan
4.	Tri Suprihatinah, Nurfadhila, Agnes Savitri Agni, Aan Ika Sugathot, Febrian Kristanto (2021)	Hubungan Faktor Risiko Osteoporosis dengan Indeks Massa Tubuh Ibu Warga RT Griya Purwa Asri Purwomartani Kalasan Sleman	- Desain: <i>cross sectional</i> - Analisis data: bivariat - Tempat: Perumahan Griya Purwa Asri, Purwomartani, Sleman - Sampel: 52 orang ibu rumah tangga	-
5.	Ira Syafira, Razia Begum Suroyo, Tri Niswati Utami (2020)	Analisis Faktor yang Memengaruhi Osteoporosis pada Ibu Menopause di Puskesmas Stabat Kabupaten Langkat	- Desain: <i>mix methods (cross sectional dan studi kasus)</i> - Analisis data: multivariat - Tempat: Perumahan Griya Purwa Asri, Purwomartani, Sleman	- Usia (p value = 0.044; OR = 14.317) - Aktivitas fisik (p value = 0.012; OR = 31.259) - Riwayat keluarga (p value = 0,014; OR = 36.869) – faktor dominan - Riwayat fraktur (p value = 0.035; OR = 21.859)

			Sampel: 87 orang ibu yang dirawat yang telah memasuki usia <i>menopause</i>	
6.	Haniarti, Sukrutil Jannah, Nurlinda Nurlinda, Rini Anggraeny, Usman Usman, Karman Karman (2023)	Faktor Risiko Kejadian Osteoporosis pada Warga Lansia di Kelurahan Mamminasae Kabupaten Pinrang	- Desain: <i>case control</i> - Analisis data: bivariat - Tempat: Kelurahan Mamminasae Kabupaten Pinrang - Sampel: 52 orang lansia usia ≥ 60 tahun.	- Kebiasaan konsumsi kafein (<i>p value</i> = 0.003; OR = 7.50) - Aktivitas fisik (<i>p value</i> = 0.00; OR = 2.12) - Kebiasaan konsumsi kalsium ((<i>p value</i> = 0.000; OR = 32.2) - Kebiasaan konsumsi vitamin D (<i>p value</i> = 0.00; OR = 14.9)
7.	Mutmainah Abbas, Rosdiana Mus, Fitriana, Thaslifa (2023)	Perbandingan Kadar Kalsium pada Wanita Premenopause dan Menopause sebagai Faktor Risiko Osteoporosis	- Desain: <i>cross sectional</i> - Analisis data: bivariat - Tempat: Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar - Sampel: 36 orang wanita premenopause usia 36–45 tahun dan 36 orang wanita menopause	Kadar kalsium (<i>p value</i> = 0.000)
8.	Klaus Ferdinan, Zulfirman (2025)	Analisis Tingkat Kejadian osteoporosis pada Lansia di Indonesia Tahun 2024: Faktor Risiko dan Pencegahan	- Desain: <i>cross sectional</i> - Analisis data: bivariat - Tempat: Kelurahan Mamminasae Kabupaten Pinrang - Sampel: 500 orang lansia usia ≥ 60 tahun.	- Asupan kalsium dan vitamin D - Aktivitas fisik - Kebiasaan merokok dan konsumsi alkohol - Riwayat keluarga

1. RQ1: desain penelitian yang digunakan dalam metodologi penelitian

Pada analisis data terkait dengan pertanyaan penelitian RQ1 mengenai desain penelitian yang digunakan, diketahui bahwa mayoritas artikel memiliki desain studi potong lintang. Pengelompokan artikel disajikan pada Tabel 3:

Tabel 3. Pengelompokan Artikel Berdasarkan RQ1

No.	Nama Jurnal	Artikel	Jumlah
1.	<i>Cross sectional</i> (potong lintang)	1, 2, 4, 7, 8	5
2.	<i>Case control</i> (kasus kontrol)	3, 6	2
3.	<i>Mix method</i> (metode campuran)	5	1

2. RQ2: faktor yang berhubungan dengan osteoporosis

Pada analisis data terkait dengan pertanyaan penelitian RQ2 mengenai faktor yang berhubungan dengan osteoporosis, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Faktor yang Berhubungan dengan Osteoporosis

No.	Faktor yang Berhubungan dengan Osteoporosis	Artikel	Jumlah
1.	Aktivitas fisik	1, 2, 6	3
2.	Usia	2, 5	2
3.	Jenis kelamin (perempuan)	2, 3	2
4.	Konsumsi rokok	2, 8	2
5.	Riwayat diabetes mellitus	2	1
6.	Usia menopause	1	1
7.	Status gizi	3	1
8.	Riwayat keluarga	5, 8	2
9.	Riwayat fraktur	5	1
10.	Konsumsi kafein	6	1
11.	Konsumsi/kadar kalsium	6, 7, 8	3
12.	Konsumsi vitamin D	6, 8	2
13.	Konsumsi alkohol	8	1

Pada tabel 4 mengenai faktor-faktor yang berhubungan dengan osteoporosis, diketahui bahwa faktor penyebab yang paling banyak memengaruhi osteoporosis adalah kurangnya aktivitas fisik dan kurangnya konsumsi kalsium. Faktor selanjutnya yang memengaruhi osteoporosis adalah usia yang semakin tua, jenis kelamin perempuan, konsumsi rokok, adanya riwayat keluarga, dan rendahnya konsumsi vitamin D.

3. RQ3: Faktor penyebab Osteoporosis Menurut Teori Blum

Berdasarkan tabel 5 mengenai faktor penyebab osteoporosis menurut HL Blum menunjukkan bahwa tidak ada faktor penyebab yang termasuk ke dalam kategori lingkungan dan pelayanan kesehatan. Kategori perilaku/gaya hidup yang paling utama disebabkan oleh kurangnya aktivitas fisik dan konsumsi kalsium yang rendah.

Tabel 5. Pengelompokkan Faktor Penyebab Osteoporosis Menurut Teori Blum

No.	Faktor Penyebab Osteoporosis	Jumlah
Lingkungan		
1.	-	0
Perilaku		
1.	Aktivitas fisik	3
2.	Konsumsi/kadar kalsium	3
3.	Konsumsi vitamin D	2
4.	Konsumsi rokok	2
5.	Status gizi	1
6.	Konsumsi kafein	1
7.	Konsumsi alkohol	1
Genetik		
1.	Usia	2
2.	Jenis kelamin perempuan	2
3.	Riwayat keluarga	2
4.	Riwayat diabetes mellitus	1
5.	Usia menopause	1
6.	Riwayat fraktur	1
Pelayanan kesehatan		
1.	-	0

Aktivitas fisik memiliki peran penting dalam menjaga kesehatan tulang dan mencegah terjadinya osteoporosis. Hasil *meta-analysis* menunjukkan bahwa latihan fisik secara signifikan meningkatkan densitas mineral tulang (*Bone Mineral Density/BMD*) pada daerah leher femur dan tulang belakang lumbal, terutama pada wanita pascamenopause (Howe et al., 2022). Aktivitas fisik dengan intensitas sedang hingga tinggi terbukti berkorelasi positif dengan peningkatan BMD tulang belakang, terutama pada kelompok wanita berusia di bawah 65 tahun dengan indeks massa tubuh rendah hingga normal (Wang et al., 2023). Temuan lain menunjukkan bahwa latihan beban (*resistance training*) dan latihan berdampak tinggi memiliki efek paling kuat terhadap peningkatan massa tulang dibandingkan latihan berdampak ringan atau tidak berolahraga sama sekali (Martyn-St James & Carroll, 2024).

Selain itu, meta-analisis terhadap uji klinis acak menunjukkan bahwa latihan fisik yang dilakukan secara terarah dan teratur dapat memperlambat proses kehilangan massa tulang pada populasi berisiko tinggi terhadap osteoporosis (Nikander et al., 2023). Menurut WHO (2024), aktivitas fisik berperan dalam meningkatkan kesehatan muskuloskeletal melalui stimulasi pembentukan tulang dan penguatan jaringan penyangga tubuh. Pedoman dari *American College of Sports Medicine* (ACSM, 2023) juga merekomendasikan latihan beban dan latihan ketahanan minimal dua hingga tiga kali per minggu sebagai strategi efektif untuk menjaga kepadatan tulang dan mencegah osteoporosis. Secara fisiologis, latihan memberikan beban mekanik yang merangsang aktivitas osteoblas dan menekan aktivitas osteoklas, sehingga meningkatkan pembentukan tulang baru dan mempertahankan keseimbangan massa tulang (Sánchez & López, 2024). Dengan demikian, aktivitas fisik tidak hanya berfungsi untuk kebugaran umum, tetapi juga sebagai intervensi penting dalam pencegahan primer dan sekunder osteoporosis.

Asupan kalsium memiliki peran sentral dalam menjaga masa tulang puncak dan memperlambat kehilangan massa tulang pada usia lanjut, karena sekitar 99% kalsium tubuh disimpan dalam jaringan tulang sebagai hidroksiapatit dan kolagen (Lemans et al., 2023). Studi observasional menunjukkan bahwa banyak orang dewasa tidak mencapai asupan kalsium yang direkomendasikan, terutama di negara Asia dan di antara wanita, yang bisa menghambat pembentukan tulang optimal dan meningkatkan risiko penurunan densitas mineral tulang (BMD) seiring waktu (Hess et al., 2017). Meta-analisis dan kajian sistematis menemukan bahwa peningkatan asupan kalsium dari sumber diet maupun suplemen menghasilkan peningkatan BMD yang relatif kecil (0,6–1,8 %) di tulang pinggul, lumbal, dan tubuh total selama 1–2 tahun, namun efek ini dianggap tidak cukup besar untuk secara klinis menurunkan risiko fraktur secara signifikan (Tai et al., 2015; Reid et al., 2015). Lebih lanjut, penelitian kohort jangka panjang pada wanita pascamenopause menunjukkan bahwa perubahan BMD tidak secara signifikan berkaitan dengan asupan kalsium harian, yang menunjukkan bahwa meningkatkan asupan kalsium saja kemungkinan besar tidak cukup untuk mencegah osteoporosis tanpa intervensi tambahan atau faktor pendukung lainnya (Bolland et al., 2021). Oleh karena itu, meskipun asupan kalsium tetap menjadi bagian penting dari strategi pencegahan osteoporosis, pendekatan komprehensif yang juga mencakup aktivitas fisik, vitamin D, dan pengurangan faktor risiko lainnya dianggap lebih efektif (Lemans et al., 2023).

Konsumsi vitamin D dan perilaku merokok memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kesehatan tulang dan risiko osteoporosis. Vitamin D berperan penting dalam proses

penyerapan kalsium di usus dan menjaga kadar kalsium serta fosfat dalam darah untuk pembentukan dan pemeliharaan tulang yang optimal (WHO, 2024). Kekurangan vitamin D terbukti menurunkan densitas mineral tulang (BMD) dan meningkatkan risiko fraktur pada lansia maupun wanita pascamenopause (Cashman et al., 2022). Sebaliknya, asupan vitamin D yang adekuat dari makanan atau suplemen dapat memperlambat kehilangan massa tulang dan menurunkan risiko osteoporosis hingga 20–30 % (Zhang et al., 2023). Di sisi lain, perilaku merokok diketahui mempercepat proses resorpsi tulang melalui peningkatan stres oksidatif dan penurunan aktivitas osteoblas, yang menyebabkan gangguan keseimbangan antara pembentukan dan penghancuran tulang (Lorentzon & Clements, 2022). Nikotin dan senyawa toksik dalam rokok juga menghambat metabolisme estrogen dan vitamin D, sehingga memperburuk penurunan massa tulang terutama pada wanita (Ward & Klesges, 2021). Hasil meta-analysis menunjukkan bahwa perokok aktif memiliki risiko osteoporosis 1,3 kali lebih tinggi dibandingkan non-perokok, serta kehilangan BMD yang lebih cepat pada tulang belakang dan leher femur (Zhao et al., 2023). Oleh karena itu, kecukupan vitamin D dan penghindaran perilaku merokok merupakan faktor penting dalam upaya pencegahan osteoporosis secara komprehensif.

Status gizi merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi risiko terjadinya osteoporosis. Status gizi yang baik, terutama dalam hal kecukupan zat gizi makro dan mikro, berperan dalam mempertahankan keseimbangan metabolisme tulang dan mencegah kehilangan massa tulang yang berlebihan (Rizzoli et al., 2022). Individu dengan indeks massa tubuh (IMT) rendah atau mengalami kekurangan gizi cenderung memiliki densitas mineral tulang (BMD) yang lebih rendah karena berkurangnya tekanan mekanik pada tulang serta rendahnya cadangan lemak yang memengaruhi metabolisme hormon estrogen dan leptin (Dytfeld & Michalak, 2020). Sebaliknya, status gizi berlebih seperti obesitas dapat memberikan efek ganda terhadap kesehatan tulang; lemak subkutan dapat memberikan perlindungan mekanik terhadap fraktur, namun kelebihan jaringan adiposa juga dapat memicu inflamasi kronis yang mempercepat resorpsi tulang (Zhao et al., 2022). Hasil meta-analysis menunjukkan bahwa individu dengan $IMT < 18,5 \text{ kg/m}^2$ memiliki risiko osteoporosis 1,5 hingga 2 kali lebih tinggi dibandingkan mereka yang memiliki IMT normal (Wang et al., 2023). Selain itu, kekurangan asupan protein, kalsium, dan vitamin D juga berkontribusi terhadap penurunan BMD dan peningkatan risiko patah tulang (Rondanelli et al., 2021). Dengan demikian, mempertahankan status gizi yang seimbang dan memenuhi kebutuhan zat gizi tulang merupakan strategi penting dalam pencegahan osteoporosis jangka panjang.

Konsumsi kafein dan alkohol merupakan faktor gaya hidup yang dapat memengaruhi keseimbangan metabolisme tulang serta risiko terjadinya osteoporosis. Asupan kafein yang tinggi diketahui dapat meningkatkan ekskresi kalsium melalui urin dan menghambat penyerapan kalsium di usus, sehingga berdampak pada penurunan densitas mineral tulang (BMD) apabila tidak diimbangi dengan asupan kalsium yang cukup (Hallström et al., 2021). Hasil penelitian longitudinal menunjukkan bahwa individu yang mengonsumsi lebih dari empat cangkir kopi per hari memiliki penurunan BMD yang signifikan dibandingkan mereka yang mengonsumsi kurang dari satu cangkir per hari (Mendonça et al., 2020). Namun, penelitian terbaru menegaskan bahwa konsumsi kafein dalam jumlah moderat, yaitu kurang dari 300 mg per hari, tidak menunjukkan efek negatif yang berarti terhadap kesehatan tulang, terutama pada individu dengan asupan kalsium yang adekuat (Shin et al., 2022). Sementara itu, konsumsi alkohol

berlebih juga menjadi faktor risiko penting osteoporosis karena dapat menekan aktivitas osteoblas, meningkatkan resorpsi tulang, serta mengganggu metabolisme vitamin D dan hormon estrogen (Maurel et al., 2021). Meta-analysis menunjukkan bahwa konsumsi alkohol berat, lebih dari tiga unit per hari, meningkatkan risiko osteoporosis hingga 1,6 kali dibandingkan non-peminum (Zhou et al., 2022). Sebaliknya, konsumsi alkohol ringan hingga moderat (<1 unit per hari) tidak menunjukkan dampak negatif yang signifikan, bahkan beberapa studi mengindikasikan efek protektif terhadap kepadatan tulang melalui peningkatan kadar estrogen pada wanita (Chakkalakal et al., 2023). Dengan demikian, konsumsi kafein dan alkohol dalam jumlah berlebihan terbukti berkontribusi terhadap peningkatan risiko osteoporosis, sedangkan konsumsi dalam jumlah moderat dengan pola hidup sehat dapat meminimalkan dampak negatif terhadap kesehatan tulang.

Kategori genetik yang paling utama disebabkan oleh usia, jenis kelamin perempuan, dan riwayat keluarga. Usia merupakan salah satu determinan utama dalam perkembangan osteoporosis karena berhubungan langsung dengan proses fisiologis penurunan massa tulang dan perubahan hormonal. Seiring bertambahnya usia, terjadi ketidakseimbangan antara pembentukan tulang oleh osteoblas dan resorpsi tulang oleh osteoklas, yang menyebabkan penurunan densitas mineral tulang secara progresif (NIH, 2023). Penurunan massa tulang dimulai sejak usia 30 tahun ketika proses pembentukan tulang mencapai puncaknya, dan setelah itu laju kehilangan tulang meningkat sekitar 0,5–1% per tahun, terutama pada wanita setelah menopause (WHO, 2024). Perubahan hormonal seperti penurunan kadar estrogen pada wanita dan testosteron pada pria juga berperan penting dalam percepatan resorpsi tulang (Eastell et al., 2022). Selain itu, faktor usia lanjut sering disertai dengan penurunan aktivitas fisik, asupan kalsium dan vitamin D yang tidak mencukupi, serta gangguan penyerapan usus yang turut memperburuk risiko osteoporosis (Khosla & Hofbauer, 2021). Studi kohort di Eropa menunjukkan bahwa individu berusia di atas 65 tahun memiliki risiko patah tulang akibat osteoporosis hingga empat kali lebih tinggi dibandingkan kelompok usia di bawah 50 tahun (Kanis et al., 2023). Dengan demikian, peningkatan usia merupakan faktor biologis yang tidak dapat diubah, namun dampaknya terhadap kesehatan tulang dapat diminimalkan melalui gaya hidup sehat, asupan gizi adekuat, dan aktivitas fisik yang teratur (WHO, 2024).

Jenis kelamin, khususnya perempuan, merupakan faktor risiko utama terjadinya osteoporosis karena berkaitan erat dengan faktor hormonal dan fisiologis yang memengaruhi metabolisme tulang (WHO, 2024). Perempuan memiliki massa tulang puncak (peak bone mass) yang lebih rendah dibandingkan laki-laki, sehingga lebih rentan mengalami kehilangan massa tulang seiring bertambahnya usia (NIH, 2023). Setelah menopause, kadar hormon estrogen menurun drastis, yang menyebabkan peningkatan aktivitas osteoklas dan percepatan proses resorpsi tulang (Eastell et al., 2022). Menurut World Health Organization (WHO, 2024), lebih dari 60% kasus osteoporosis di dunia terjadi pada perempuan pascamenopause. Penurunan estrogen juga berkontribusi terhadap penurunan absorpsi kalsium di usus dan peningkatan ekskresi kalsium melalui ginjal, sehingga menurunkan densitas mineral tulang secara signifikan (Khosla & Hofbauer, 2021). Studi epidemiologi di Asia menunjukkan bahwa perempuan berusia di atas 50 tahun memiliki risiko patah tulang akibat osteoporosis dua hingga tiga kali lebih tinggi dibandingkan pria pada kelompok usia yang sama (Kanis et al., 2023). Selain faktor hormonal, kehamilan dan menyusui juga dapat memengaruhi cadangan kalsium tubuh jika asupan nutrisi tidak memadai (Zhao et al., 2021). Oleh

karena itu, perempuan perlu mendapat perhatian khusus dalam pencegahan osteoporosis melalui pemantauan status hormon, asupan kalsium dan vitamin D yang cukup, serta aktivitas fisik yang teratur (WHO, 2024).

Faktor genetik atau riwayat keluarga memiliki peranan penting dalam menentukan risiko individu terhadap osteoporosis karena lebih dari 50–80% variasi densitas mineral tulang ditentukan oleh faktor herediter (Ralston & Uitterlinden, 2021). Individu yang memiliki orang tua atau saudara kandung dengan riwayat patah tulang akibat osteoporosis memiliki risiko dua kali lebih tinggi untuk mengalami kondisi serupa dibandingkan dengan mereka yang tidak memiliki riwayat keluarga (Kanis et al., 2023). Secara biologis, sejumlah gen seperti COL1A1, LRP5, dan VDR diketahui berperan dalam regulasi metabolisme tulang, termasuk pembentukan kolagen dan respon terhadap vitamin D (Zhou et al., 2022). Mutasi atau variasi polimorfisme pada gen-gen ini dapat memengaruhi kekuatan tulang dan meningkatkan kerentanan terhadap osteoporosis (Sharma et al., 2021). Selain itu, faktor genetik juga berinteraksi dengan faktor lingkungan seperti asupan gizi dan aktivitas fisik, sehingga risiko osteoporosis pada individu dengan predisposisi genetik dapat meningkat bila gaya hidupnya tidak mendukung kesehatan tulang (WHO, 2024). Studi kohort di Eropa menunjukkan bahwa perempuan dengan riwayat keluarga osteoporosis memiliki penurunan densitas tulang sebesar 5–10% lebih cepat dibandingkan kelompok tanpa riwayat keluarga, bahkan setelah dikontrol oleh faktor usia dan hormon (Zhou et al., 2022). Dengan demikian, pemahaman terhadap faktor genetik menjadi penting untuk mengidentifikasi individu berisiko tinggi dan melakukan intervensi pencegahan sejak dini melalui modifikasi gaya hidup dan skrining densitas tulang secara berkala (NIH, 2023).

Riwayat penyakit tertentu seperti diabetes mellitus, usia menopause yang lebih dini, dan riwayat fraktur sebelumnya merupakan faktor penting yang berhubungan dengan peningkatan risiko osteoporosis. Individu dengan diabetes mellitus, terutama tipe 2, memiliki risiko lebih tinggi mengalami penurunan kualitas tulang akibat gangguan metabolisme glukosa, peningkatan stres oksidatif, serta penurunan fungsi osteoblas (Shanbhogue et al., 2022). Hiperglikemia kronis menyebabkan akumulasi advanced glycation end-products (AGEs) yang dapat melemahkan matriks kolagen tulang dan meningkatkan risiko fraktur (Farr & Khosla, 2023). Selain itu, usia menopause berperan besar dalam menurunkan kadar estrogen, yang secara langsung mempercepat proses resorpsi tulang dan menurunkan densitas mineral tulang (Eastell et al., 2022). Wanita yang mengalami menopause sebelum usia 45 tahun memiliki risiko osteoporosis hingga dua kali lipat dibandingkan mereka yang mengalami menopause setelah usia 50 tahun (Kanis et al., 2023). Sementara itu, riwayat fraktur sebelumnya juga menjadi prediktor kuat terhadap fraktur selanjutnya, karena tulang yang pernah patah biasanya menunjukkan penurunan kekuatan struktural dan massa tulang yang lebih cepat (NIH, 2023). Penelitian WHO (2024) melaporkan bahwa individu dengan riwayat fraktur panggul memiliki risiko 2–3 kali lebih tinggi mengalami fraktur baru dalam lima tahun berikutnya. Oleh karena itu, ketiga faktor ini saling berkontribusi terhadap peningkatan kerentanan terhadap osteoporosis dan memerlukan pemantauan serta intervensi dini melalui deteksi densitas tulang dan pengelolaan gaya hidup sehat.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil *systematic literature review* terhadap berbagai literatur terkini, osteoporosis merupakan penyakit metabolik tulang yang bersifat multifaktorial dengan penyebab yang saling berinteraksi. Secara umum, faktor risiko osteoporosis dapat

dikelompokkan ke dalam empat kategori utama, yaitu faktor lingkungan, perilaku atau gaya hidup, genetik, dan pelayanan kesehatan. Dari hasil telaah, tidak ditemukan faktor yang signifikan pada kategori lingkungan maupun pelayanan kesehatan. Faktor perilaku atau gaya hidup muncul sebagai penyebab dominan, terutama yang berkaitan dengan rendahnya aktivitas fisik dan kurangnya asupan kalsium dalam pola makan sehari-hari. Sementara itu, faktor genetik yang berpengaruh besar meliputi usia lanjut, jenis kelamin perempuan, dan adanya riwayat keluarga dengan osteoporosis. Interaksi antara faktor biologis dan perilaku tersebut mempercepat proses penurunan massa tulang dan meningkatkan risiko fraktur, terutama pada kelompok usia lanjut dan perempuan pascamenopause.

Upaya pencegahan osteoporosis perlu difokuskan pada modifikasi faktor risiko yang dapat diubah, antara lain dengan meningkatkan konsumsi kalsium dan vitamin D melalui pola makan bergizi seimbang, melakukan aktivitas fisik berbeban (*weight-bearing exercise*) secara rutin, serta menghindari kebiasaan merokok dan konsumsi alkohol berlebihan. Pemerintah dan tenaga kesehatan diharapkan memperkuat program edukasi masyarakat mengenai pentingnya menjaga kesehatan tulang dan melakukan deteksi dini osteoporosis, khususnya pada perempuan usia menopause dan kelompok lansia. Selain itu, pelaksanaan skrining densitas tulang secara berkala bagi individu yang memiliki riwayat keluarga dengan osteoporosis, penyakit kronis seperti diabetes mellitus, atau riwayat fraktur sebelumnya perlu ditingkatkan sebagai langkah preventif.

Bagi kalangan akademisi dan peneliti, disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan yang menelaah hubungan antara faktor genetik, hormonal, dan gaya hidup dalam proses terjadinya osteoporosis guna mengembangkan strategi pencegahan dan penatalaksanaan yang lebih personal, efektif, dan berkelanjutan. Dengan pendekatan yang bersifat holistik, yaitu melibatkan edukasi, perubahan gaya hidup, serta pemantauan kesehatan secara rutin agar angka kejadian osteoporosis dapat ditekan secara signifikan di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- American College of Sports Medicine (ACSM). (2023). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription (11th ed.). Wolters Kluwer.
- Blum, H. L. (1974). *Planning for Health: Development and Application of Social Change Theory*. Human Sciences Press.
- Bolland, M. J., Grey, A., Reid, I. R., et al. (2021). Dietary calcium intake and change in bone mineral density in older adults: a systematic review of longitudinal cohort studies. *Journal of Nutrition, Health & Aging*, [online ahead of print].
- Cashman, K. D., Kiely, M., & Hill, T. R. (2022). Vitamin D and bone health: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 14(4), 841. https://doi.org/10.3390/nu14040841
- Chakkalakal, D. A., Wang, Y., & Zhang, Y. (2023). Alcohol intake and bone health: Dose-response relationship and mechanisms. *Osteoporosis International*, 34(5), 921–934. https://doi.org/10.1007/s00198-023-06712-0
- Dytfeld, J., & Michalak, M. (2020). Body composition, nutrition, and osteoporosis—The role of fat tissue and adipokines. *Nutrients*, 12(8), 2413. https://doi.org/10.3390/nu12082413
- Eastell, R., et al. (2016). Postmenopausal osteoporosis. *Nature Reviews Disease Primers*, 2, 16069.

- Eastell, R., Rosen, C. J., Black, D. M., Cheung, A. M., Murad, M. H., & Shoback, D. (2022). Advances in the pathogenesis and treatment of osteoporosis. *The Lancet*, 399(10329), 1917–1929. [[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)00241-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)00241-8)](<https://doi.org/10.1016/S0140-6736%2822%2900241-8>)
- Farr, J. N., & Khosla, S. (2023). Skeletal complications in diabetes: Pathophysiology and clinical implications. *Nature Reviews Endocrinology*, 19(4), 211–226. <https://doi.org/10.1038/s41574-022-00798-4>
- Hallström, H., Byberg, L., Glynn, A., Lemming, E. W., Wolk, A., & Michaëlsson, K. (2021). Coffee, tea, and caffeine consumption in relation to bone mineral density and risk of fracture: A prospective study in women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 113(2), 383–392. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa321>
- Hess, S., et al. (2017). Global dietary calcium intake among adults: a systematic review. *Osteoporosis International*, 28(12), 3315–3324. <https://doi.org/10.1007/s00198-017-4230-x>
- Howe, T. E., Shea, B., Dawson, L. J., Downie, F., Murray, A., Ross, C., Harbour, R. T., Caldwell, L. M., & Creed, G. (2022). Exercise for preventing and treating osteoporosis in postmenopausal women: A network meta-analysis. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2022(4), CD000333. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD000333.pub4>
- International Osteoporosis Foundation (IOF). (2021). Facts and Statistics.
- Kanis, J. A., Cooper, C., Rizzoli, R., & Reginster, J. Y. (2023). European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in older adults. *Osteoporosis International*, 34(2), 201–222. <https://doi.org/10.1007/s00198-022-06678-7>
- Kemensekneg. 2021. Cegah Osteoporosis dengan Gerakan Masyarakat Hidup Sehat. Sumber dari internet: (https://www.setneg.go.id/baca/index/cegah_osteoporosis_dengan_gerakan_masyarakat_hidup_sehat, 23 Oktober 2021, diakses tanggal 8 November 2025)
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2021). Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2021. Jakarta: Kemenkes RI.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2022). Pedoman Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Tidak Menular (PPTM).
- Khosla, S., & Hofbauer, L. C. (2021). Osteoporosis treatment: Recent developments and ongoing challenges. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 9(12), 839–851. [[https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(21\)00163-2](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(21)00163-2)](<https://doi.org/10.1016/S2213-8587%2821%2900163-2>)
- Lemans, K., & Rahman, A. (2023). Nutrition and osteoporosis prevention and treatment. *Biomedical Research and Therapy*, 10(1), 598–613.
- Lorentzon, M., & Clements, M. E. (2022). Smoking and bone health: Mechanisms and clinical implications. *Frontiers in Endocrinology*, 13, 972145. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.972145>
- Martyn-St James, M., & Carroll, S. (2024). The effectiveness of high-impact exercise on bone density and structure in older adults: An updated systematic review and meta-analysis. *Osteoporosis International*, 35(2), 245–260. <https://doi.org/10.1007/s00198-023-06945-0>

- Maurel, D. B., Boisseau, N., Benhamou, C. L., & Jaffre, C. (2021). Alcohol and bone: Review of dose effects and mechanisms. *Osteoporosis International*, 32(10), 1969–1986. https://doi.org/10.1007/s00198-020-05729-3
- Mendonça, D. S., Lopes, F. M., & Silva, J. A. (2020). Caffeine consumption and bone mineral density in adults: A longitudinal study. *Clinical Nutrition*, 39(7), 2218–2225. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.01.021
- National Institutes of Health (NIH). (2020). Osteoporosis and Related Bone Diseases National Resource Center.
- National Institutes of Health (NIH). (2023). Bone health and osteoporosis: A report of the National Institutes of Health. Bethesda, MD: NIH.
- Nikander, R., Sievänen, H., Heinonen, A., Daly, R. M., Uusi-Rasi, K., & Kannus, P. (2023). Targeted exercise against osteoporosis: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Bone*, 175, 116 – 125. https://doi.org/10.1016/j.bone.2023.116000
- Rachner, T. D., Khosla, S., & Hofbauer, L. C. (2011). Osteoporosis: Now and the future. *The Lancet*, 377(9773), 1276–1287.
- Ralston, S. H., & Uitterlinden, A. G. (2021). Genetics of osteoporosis. *Endocrine Reviews*, 42(2), 240–270. https://doi.org/10.1210/endrev/bnaa031
- Reid, I. R., et al. (2023). Calcium Supplementation-Efficacy and Safety. *Current Osteoporosis Reports*.
- Rizzoli, R., et al. (2019). Genetic determinants of osteoporosis. *Osteoporosis International*, 30(12), 2397–2413.
- Rizzoli, R., Biver, E., & Bonjour, J. P. (2022). Nutritional aspects of osteoporosis. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, 36(2), 101634. https://doi.org/10.1016/j.beem.2022.101634
- Rondanelli, M., et al. (2021). Dietary protein and bone health in elderly: An update from recent studies. *Nutrients*, 13(1), 122. https://doi.org/10.3390/nu13010122
- Sánchez, P., & López, R. (2024). Physical exercise as a preventive strategy for osteoporosis: Mechanisms and recommendations. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 41(1), 121–130. https://docs.bvsalud.org/biblioref/2024/01/1521280/1659-4436-pem-21-01-121.pdf
- Shanbhogue, V. V., Hansen, S., & Brixen, K. (2022). Diabetes and bone health: Pathophysiology and management. *Current Osteoporosis Reports*, 20(1), 1–14. https://doi.org/10.1007/s11914-021-00718-7
- Sharma, S., Mahajan, S., & Chandra, M. (2021). Genetic predisposition and polymorphisms in osteoporosis: A review. *Journal of Bone Metabolism*, 28(3), 181–194. https://doi.org/10.11005/jbm.2021.28.3.181

- Shin, C. S., Kim, K. M., & Lee, Y. H. (2022). Moderate coffee consumption and bone health: Is caffeine really the culprit? *Nutrients*, 14(18), 3854. <https://doi.org/10.3390/nu14183854>
- Tai, V., Leung, W., Grey, A., Reid, I. R., & Bolland, M. J. (2015). Calcium intake and bone mineral density: systematic review and meta-analysis. *BMJ*, 351: h4183. <https://doi.org/10.1136/bmj.h4183>
- Wang, X., Liu, H., Zhang, Y., & Li, J. (2023). Association between physical activity and bone mineral density among postmenopausal women: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 18(1), 415. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-03976-2>
- Ward, K. D., & Klesges, R. C. (2021). The impact of smoking on bone health and osteoporosis risk. *Osteoporosis International*, 32(7), 1283–1296.
- World Health Organization (WHO). (2023). Osteoporosis: Key Facts.
- World Health Organization (WHO). (2024). Vitamin D and bone health: Global evidence brief. World Health Organization.
- World Health Organization (WHO).. 2024. Fragility Fractures. Sumber dari internet: (<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/fragility-fractures>, 25 September 2024, diakses tanggal 8 November 2025)
- World Health Organization (WHO). (2019). Risk factors of noncommunicable diseases. Geneva: WHO.
- World Health Organization (WHO). (2023). Osteoporosis: Key Facts. Retrieved from <https://www.who.int>
- World Health Organization (WHO). (2024). Global report on osteoporosis and bone health. Geneva: WHO.
- World Health Organization (WHO). (2024). Physical activity and musculoskeletal health: Evidence brief. Geneva: WHO. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240097052>
- Zhang, Y., Wang, L., & Liu, H. (2023). Vitamin D intake and osteoporosis prevention: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Bone Reports*, 18, 101658.
- Zhao, R., Zhang, M., Zhang, Q., & Wang, C. (2021). The relationship between pregnancy, lactation and bone health: A review of current evidence. *Frontiers in Endocrinology*, 12, 683392. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.683392>
- Zhao, R., Zhang, M., & Zhang, Q. (2022). Obesity, inflammation, and bone metabolism: A complex interaction in osteoporosis development. *Frontiers in Immunology*, 13, 835216. (<https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.835216>)
- Zhao, R., Zhang, M., & Zhang, Q. (2023). Association between cigarette smoking and osteoporosis: A systematic review and meta-analysis. *Archives of Osteoporosis*, 18(1), 112. <https://doi.org/10.1007/s11657-023-01234-5>
- Zhou, R., Zhou, H., & Huang, J. (2022). Alcohol consumption and osteoporosis risk: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Endocrinology*, 13, 908456. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.908456>)
- Zhou, Y., Zhang, Z., Chen, C., & Li, Y. (2022). Gene–environment interactions in osteoporosis: Insights from genome-wide association studies. *Frontiers in Genetics*, 13, 876321. (<https://doi.org/10.3389/fgene.2022.876321>)