



## ***Body Mass Index, Age, and Gender on Bone Mineral Density in the Elderly***

**Elita Halimsetiono**

Fakultas Kedokteran, Universitas Surabaya, Indonesia

Email: [elitahalims@staff.ubaya.ac.id](mailto:elitahalims@staff.ubaya.ac.id)

### **ARTICLE INFO**

#### ***Artikel Histori:***

Received date: January/10/2025

Revised date: April/11/2025

Accepted date: May/30/2025

**Keywords:** *Bone mineral density, body mass index, age, gender, elderly*

### **ABSTRACT/ABSTRAK**

***Introduction:*** Osteoporosis is a chronic bone disease caused by reduced bone mass and impaired bone structure. This disease is a widespread and serious public health problem. The most common consequences of this condition are hip and vertebral fractures, which can carry a substantial risk of premature morbidity and mortality. The best strategy to overcome osteoporosis is prevention by identifying risk factors and early diagnosis. This article aims to provide an overview of the influence of body mass index (BMI), age, and gender on bone mineral density (BMD) in the elderly. ***Methods:*** This article is a literature review with a search for literature sources using the keywords bone mineral density, body mass index, age, gender, and elderly in the Google Scholar, PubMed, PMC, Researchgate, and Sciencedirect databases. The inclusion criteria are online and full-text scientific articles in the last 10 years in international journals. ***Results:*** Several studies have shown that the prevalence of osteoporosis is higher in people with low BMI, but other studies have found a decrease in BMD in obese subjects; with increasing age there is a decrease in osteoblast differentiation and activity, increased osteoclastogenesis and osteoclast activity, and increased bone resorption; females are more susceptible to osteoporosis because decreased estradiol during menopause causes a sharp increase in bone turnover and resorption. ***Conclusion:*** There are mixed findings regarding the relationship between BMI and BMD. Age is a factor that needs to be considered because a person's chances of developing osteoporosis will increase with age. Females are more susceptible to osteoporosis.

---

**Kata Kunci:** Densitas mineral tulang, indeks massa tubuh, usia, jenis kelamin, lansia

**Pendahuluan:** Osteoporosis adalah penyakit tulang kronis yang disebabkan oleh berkurangnya massa tulang dan gangguan struktur tulang. Penyakit ini merupakan masalah kesehatan masyarakat yang meluas dan serius. Konsekuensi yang paling umum dari kondisi ini adalah patah tulang pinggul dan tulang belakang, yang dapat membawa risiko morbiditas dan mortalitas dini yang substansial. Strategi terbaik untuk mengatasi osteoporosis adalah melakukan pencegahan dengan mengidentifikasi faktor risiko penyebab dan diagnosis dini. Artikel ini bertujuan memberikan gambaran tentang pengaruh indeks massa tubuh (IMT), usia, dan jenis kelamin terhadap densitas mineral tulang (DMT) pada lansia. **Metode:** Artikel ini adalah telaah pustaka dengan penelusuran sumber pustaka menggunakan kata kunci *bone mineral density*, *body mass index*, *age*, *gender*, dan *elderly* pada *database* Google Scholar, PubMed, PMC, Researchgate, dan Scencedirect. Kriteria inklusi berupa artikel ilmiah *online* dan *full text* 10 tahun terakhir pada jurnal internasional. **Hasil:** Beberapa penelitian menunjukkan bahwa prevalensi osteoporosis lebih banyak dijumpai pada orang dengan IMT rendah, namun penelitian lain menemukan adanya penurunan DMT pada subyek dengan obesitas; seiring bertambahnya usia terjadi penurunan diferensiasi dan aktivitas osteoblas, peningkatan osteoklastogenesis dan aktivitas osteoklas, serta peningkatan resorpsi tulang; jenis kelamin wanita lebih rentan terhadap osteoporosis disebabkan penurunan estradiol saat menopause menyebabkan peningkatan tajam dalam pergantian dan resorpsi tulang. **Kesimpulan:** Terdapat temuan yang beragam mengenai hubungan antara IMT dan DMT. Usia merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan karena peluang seseorang untuk mengalami osteoporosis akan meningkat seiring bertambahnya usia. Jenis kelamin perempuan lebih rentan terhadap osteoporosis.

Copyright© 2025 Jurnal Kesehatan Primer  
All rights reserved

---

**Corresponding Author:**

Elita Halimsetiono  
Fakultas Kedokteran, Universitas Surabaya, Indonesia  
Email: [elitahalims@staff.ubaya.ac.id](mailto:elitahalims@staff.ubaya.ac.id)

---

## PENDAHULUAN

Osteoporosis adalah penyakit tulang kronis yang disebabkan oleh berkurangnya massa tulang dan gangguan struktur tulang (Tariq et al., 2017), yang keduanya dapat meningkatkan risiko patah tulang karena kerapuhan (Y. Li, 2022). Pada tahun 2030, diperkirakan akan terjadi peningkatan prevalensi osteoporosis dari sekitar 53 juta menjadi lebih dari 70 juta orang (Fasihi et al., 2021), sehingga penyakit ini merupakan masalah kesehatan masyarakat yang meluas dan serius, yang terutama terjadi di negara-negara industri dan berkembang. Konsekuensi yang paling umum dari kondisi ini adalah patah tulang pinggul dan tulang belakang, yang dapat membawa risiko morbiditas dan mortalitas dini yang substansial. Strategi terbaik untuk mengatasi osteoporosis adalah melakukan pencegahan dengan mengidentifikasi faktor risiko penyebab dan diagnosis dini (Escobio-Prieto et al., 2023). Indeks massa tubuh (IMT), usia lanjut, menopause, gaya hidup yang kurang gerak, merokok, dan penyakit seperti hipertiroidisme merupakan faktor risiko dari osteoporosis (Thulkar et al., 2016)

Diperkirakan 9 juta patah tulang yang berhubungan dengan osteoporosis terjadi setiap tahunnya di seluruh dunia (Xuan et al., 2020; Yen et al., 2021). Risiko patah tulang akibat kerapuhan adalah sekitar 50% pada wanita dan 25% pada pria berusia di atas 50 tahun (C. Li et al., 2022). Meningkatnya kerapuhan dan risiko jatuh juga disebabkan oleh osteoporosis (Escobio-Prieto et al., 2023; Nicholson et al., 2023), yang mengakibatkan tingginya biaya kesehatan dan berkurangnya kualitas hidup (Escobio-Prieto et al., 2023). Pada tahun 2050, prevalensi patah tulang akibat kerapuhan secara global diprediksi akan meningkat sebesar 310% pada pria dan 240% pada wanita, sehingga diperlukan skrining dan identifikasi dini untuk mengantisipasi masalah kesehatan masyarakat utama yang akan timbul akibat peningkatan yang mengkhawatirkan ini (C. Li et al., 2022).

Indeks massa tubuh (IMT) adalah alat ukur antropometri yang populer dan dapat diandalkan untuk menilai status gizi dan kesehatan seseorang, serta mengukur obesitas pada pria dan wanita dewasa (Aryal, 2020). IMT adalah ukuran numerik sederhana untuk menentukan apakah seseorang gemuk atau kurus. IMT digunakan untuk menentukan kategori berat badan dan menyaring masalah kesehatan yang berhubungan dengan berat badan, sehingga IMT juga digunakan dalam menentukan kebijakan kesehatan masyarakat. Skala IMT mengkategorikan seseorang sebagai kurang berat badan, normal, kelebihan berat badan, obesitas, atau obesitas berat (Mohajan & Mohajan, 2023). IMT juga dianggap sebagai indikator malnutrisi. Seseorang yang terlalu kurus karena kurang berat badan dapat membahayakan kesehatan, karena orang yang kurang berat badan umumnya rentan terhadap infeksi dan osteoporosis (Mohajan & Mohajan, 2023).

Seiring dengan meningkatnya harapan hidup, jumlah orang lanjut usia juga meningkat dan prevalensi osteoporosis juga meningkat, yang sangat terkait dengan penuaan, sehingga osteoporosis menjadi penyakit ketujuh yang paling sering terjadi di seluruh dunia (C. Li et al., 2022). Salah satu penyebab utama nyeri tulang, patah tulang, kecacatan, dan kematian akibat patah tulang pada orang lanjut usia adalah osteoporosis (Kim et al., 2018; C. Li et al., 2022). Peningkatan risiko patah tulang akibat penuaan terjadi karena berkurangnya massa, kualitas, dan kekuatan tulang (Karma et al., 2021). Peningkatan risiko patah tulang sekunder tambahan dapat terjadi akibat berkurangnya densitas mineral tulang (DMT) (Watts & Manson, 2017), sehingga perubahan DMT perlu diperhitungkan dalam memprediksi risiko patah tulang akibat osteoporosis pada orang lanjut usia (Escobio-Prieto et al., 2023).

Pada wanita berusia antara 40 tahun dan menopause, kehilangan fisiologis tulang kortikal dan trabekular tahunan masing-masing sekitar 0,3% hingga 0,5% untuk tulang belakang dan

0,5% untuk tulang paha proksimal (Kopiczko, 2020). Wanita setelah menopause rentan mengalami osteoporosis karena penurunan kadar hormon estrogen yang bertanggung jawab untuk keseimbangan kalsium dalam tubuh. Studi di Eropa menunjukkan bahwa lebih dari 300 juta orang mengalami osteoporosis pada usia pascamenopause, dan 3,79 juta orang telah mengalami kejadian patah tulang (Majeed et al., 2019). Setelah menopause, proses kehilangan massa tulang akan meningkat hingga 2%–3% per tahun, dan pada wanita dengan faktor risiko osteoporosis, proses kehilangan tulang akan lebih dominan daripada proses produksi tulang (Majeed et al., 2019).

Banyak penelitian menemukan bahwa strategi terbaik untuk mengatasi osteoporosis adalah melakukan pencegahan dengan mengidentifikasi faktor risiko penyebab dan diagnosis dini. Sehubungan dengan hal itu, maka penulis ingin memberikan gambaran tentang pengaruh indeks massa tubuh (IMT), usia, dan jenis kelamin terhadap densitas mineral tulang (DMT) pada lansia.

## METODE

Artikel ini adalah telaah pustaka dengan penelusuran sumber pustaka menggunakan kata kunci *bone mineral density*, *body mass index*, *age*, *gender*, dan *elderly* pada database Google Scholar, PubMed, PMC, Researchgate, dan Scencedirect. Kriteria inklusi berupa artikel ilmiah *online* dan *full text* 10 tahun terakhir pada jurnal internasional. Sumber pustaka yang sesuai kriteria inklusi dan bertemakan tentang IMT, usia, dan jenis kelamin terhadap DMT pada lansia berjumlah 58 artikel.

## HASIL

Tabel 1. Hasil Telaah Artikel Indeks Massa Tubuh, Usia, dan Jenis Kelamin terhadap Densitas Mineral Tulang pada Lansia

| No. | Judul, Peneliti, dan Tahun  | Hasil Penelitian  |
|-----|---|---|
| 1.  | Gender Disparities in Osteoporosis (Alswat, 2017)   | Wanita mulai kehilangan tulang pada usia lebih dini dan pada tingkat yang lebih cepat daripada pria. Wanita berusia $\geq 50$ tahun memiliki tingkat osteoporosis empat kali lebih tinggi dan tingkat osteopenia dua kali lebih tinggi, dan mereka cenderung mengalami patah tulang 5 - 10 tahun lebih awal dibandingkan dengan pria. |
| 2.  | The association between body mass index and bone mineral density in older adults: a cross-sectional study of community population in Beijing (Cui et al., 2024) | Terdapat korelasi positif yang kuat antara IMT dan DMT leher lumbar/femoral menurut model regresi linier multivariat. Mempertahankan IMT yang tepat tetapi tidak berlebihan dapat meningkatkan DMT.   |
| 3.  | Effects of age on bone mineral density in active men (Fasihi et al., 2021)  | DMT menurun dengan cepat seiring bertambahnya usia. Setelah berusia 50 tahun, penurunan jumlah DMT semakin cepat. Pada orang tua, fungsi osteoblas berkurang dengan konsekuensi penurunan pembentukan tulang.   |
| 4.  | Association between Adiposity and Bone Mineral Density in Adults: Insights from a National Survey Analysis (Jiao et al., 2023)                                  | Hubungan antara DMT dan obesitas bersifat dua arah dan mencakup berbagai faktor termasuk beban mekanis, kadar estrogen, faktor metabolik, serta perbedaan jenis kelamin dan usia.   |

|  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| 5. Bone mineral density in old age: the influence of age at menarche, menopause status and habitual past and present physical activity (Kopiczko, 2020)          | Peluang yang jauh lebih rendah untuk DMT normal ditemukan pada wanita dengan status hormonal tertua.  | 10. Effect of Body Mass Index on Bone Mineral Density: A Retrospective Review (Onuoha et al., 2023)  | IMT yang lebih rendah merupakan indikasi DMT yang rendah. Jenis kelamin wanita lebih rentan terhadap osteoporosis. Usia merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan karena subyek setengah baya dan lanjut usia lebih berisiko terkena osteoporosis.                      |
| 6. Association between obesity and bone mineral density in middle-aged adults (Li, 2022)   | Diduga terdapat manfaat untuk meningkatkan IMT secara tepat guna meningkatkan DMT. Namun, dengan mempertimbangkan hubungan berbentuk U terbalik, IMT yang berlebihan dapat membahayakan kesehatan tulang pada wanita dan orang kulit hitam. | 11. Bone Aging, Cellular Senescence, and Osteoporosis (Pignolo et al., 2021)   | Perubahan substansial dalam arsitektur tulang terjadi seiring bertambahnya usia, termasuk penurunan ketebalan dan jumlah trabekular, kehilangan tulang kortikal dan porositas, serta peningkatan adipositas sumsum tulang.  |
| 7. The Saturation Effect of Body Mass Index on Bone Mineral Density for People Over 50 Years Old: A Cross-Sectional Study of the US Population (Ma et al., 2021) | Ditemukan hubungan antara nilai saturasi IMT dan DMT pada orang yang berusia di atas 50 tahun. Mempertahankan nilai IMT pada sedikit kelebihan berat badan (sekitar 26 kg/m <sup>2</sup> ), dapat menyebabkan DMT yang optimal.             | 12. Obesity, Type 2 Diabetes and Bone in Adults (Walsh & Vilaca, 2017)   | DMT pada orang gemuk lebih tinggi di semua lokasi, pergantian tulang lebih rendah, dan ukuran kekuatan tulang menunjukkan bahwa obesitas baik untuk kekuatan tulang, tetapi kekuatan tulang tampaknya tidak meningkat cukup untuk melindungi terhadap semua patah tulang. |
| 8. The Comparison of the Total Body Mass between Pre and Postmenopausal Women in Mosul City (Majeed et al., 2019)  | Skor-T pada kelompok premenopause dan pascamenopause berasal dari kelas osteopenia, tetapi secara signifikan lebih rendah pada kelompok pascamenopause.   | 13. Body Mass Index may Positively Correlate with Bone Mineral Density of Lumbar Vertebra and Femoral Neck in Postmenopausal Females (Wu & Du, 2016) | Berat badan dan IMT merupakan faktor penting yang memengaruhi DMT. Wanita pascamenopause dengan IMT rendah lebih mungkin mengalami osteopenia, dan cenderung mengalami osteoporosis.  |
| 9. Relationship between bone mineral density and body mass index among patients with diabetes mellitus in Bahrain (Naser et al., 2023)                           | DMT berhubungan positif dengan IMT, tetapi berhubungan negatif dengan usia.   | 14. The Evaluation of  | Korelasi negatif yang   |

|  |   |
|--|---|
| Bone Mineral Density based on Age and Anthropometric Parameters in Southeast Chinese Adults: A Cross-Sectional Study (Xuan et al., 2020) | signifikan ditemukan antara DMT dan usia pada peserta wanita. Beberapa perbandingan antar kelompok menunjukkan bahwa wanita dalam kelompok osteoporosis dan osteopenia secara signifikan lebih tua daripada wanita dalam kelompok normal. |
|--|---|

### Densitas Mineral Tulang (DMT)

Densitas mineral tulang (DMT) adalah massa materi anorganik (mineral) per unit volume tulang (Gomez & Tinoco, 2017). DMT merupakan faktor risiko independen untuk fraktur kerapuhan, dan prediktor risiko fraktur pada kasus osteopenia (Escobio-Prieto et al., 2023). DMT merupakan standar emas untuk mendiagnosis osteoporosis (Fasihi et al., 2021). Deteksi penyakit ini sebelum terjadinya fraktur kini lebih mudah dilakukan dengan teknologi diagnostik dan fasilitas penilaian yang lebih baik (Fasihi et al., 2021). Beberapa metode, seperti *dual X-ray absorptiometry* (DXA) dan *quantitative ultrasound* (QUS), dapat digunakan untuk mengukur DMT (Annamalai & Lal, 2018). DXA saat ini diakui sebagai standar emas untuk menilai DMT secara kuantitatif (Hammad, 2016; Xuan et al., 2020).

QUS merupakan alat yang berguna untuk pre-skrining dan diagnosis dini osteoporosis (C. Li et al., 2022), serta dalam mengevaluasi osteoporosis (Kang & Hong, 2022). QUS sering digunakan untuk menghitung DMT kerangka perifer (Annamalai & Lal, 2018; Xuan et al., 2020). Jika dibandingkan dengan DXA sebagai alat ukur *gold standard* dari DMT, QUS merupakan alat deteksi non-invasif yang portabel, relatif murah, dan tidak menggunakan radiasi pengion untuk menentukan risiko patah tulang (Chen et al., 2021; Kranioti et al., 2019; Yen et al., 2021). Lebih jauh lagi, pengoperasian

perangkat ini juga sederhana karena tidak memerlukan teknisi profesional, sehingga cocok untuk penggunaan klinis yang luas (Chen et al., 2021; C. Li et al., 2022). Penelitian telah menunjukkan bahwa QUS sama sensitifnya dengan DXA, sehingga menjadikannya pengganti yang berguna untuk menentukan prevalensi osteoporosis pada populasi yang cukup besar (Annamalai & Lal, 2018).

Satu-satunya lokasi anatomi yang dikenali untuk penilaian QUS dan direkomendasikan untuk skrining osteoporosis adalah kalkaneus (Subramaniam et al., 2020). Hal ini dikarenakan kalkaneus sebagian besar terdiri dari tulang trabekular/kanular, dan memiliki sedikit jaringan lunak serta dua permukaan lateral yang dapat memfasilitasi gelombang ultrasound, sehingga memudahkan pengukuran (Krueger et al., 2018; Y. Li, 2022; Yen et al., 2021). DMT dihitung berdasarkan skor-T setiap individu sesuai dengan kriteria yang ditetapkan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), yaitu osteoporosis jika skor-T  $\leq -2,5$ ; osteopenia jika skor-T antara -1 dan -2,5; dan normal jika skor-T  $\geq -1$  (Y. Li, 2022).

### Indeks Massa Tubuh (IMT)

Secara global, obesitas merupakan masalah kesehatan masyarakat yang serius yang berhubungan dengan sejumlah penyakit (Y. Li, 2022). IMT digunakan sebagai metrik untuk mengevaluasi obesitas, di mana IMT yang tinggi berkorelasi kuat dengan DMT baik pada pria maupun pada wanita (Y. Li, 2022). Cara pengukuran IMT adalah sebagai berikut: peserta diukur tinggi dan berat badannya dalam keadaan berdiri dan bertelanjang kaki. Tinggi badan diukur menggunakan pita pengukur stadiometer dengan ketelitian  $\pm 5$  mm. Berat badan diukur menggunakan timbangan elektronik digital yang dikalibrasi hingga ketelitian  $\pm 100$  gram. IMT dihitung menggunakan rumus  $IMT = \text{kg}/\text{m}^2$ , yaitu rasio berat badan (dalam kilogram) terhadap tinggi badan (dalam meter kuadrat), dan dinilai menurut kriteria yang ditetapkan oleh *Centers for*

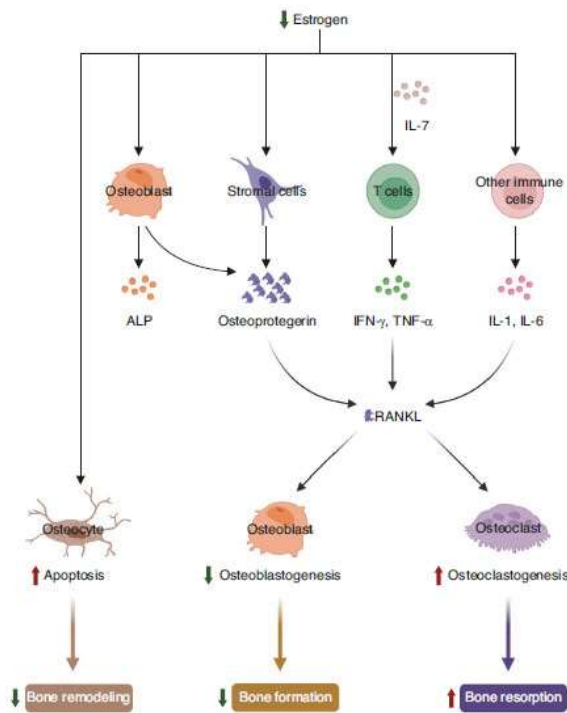
*Disease Control and Prevention*, yaitu berat badan kurang, jika nilai IMT  $\leq 18,4$  kg/m<sup>2</sup>; berat badan normal, jika nilai IMT 18,5 - 24,9 kg/m<sup>2</sup>; kelebihan berat badan, jika nilai IMT 25,0 - 39,9 kg/m<sup>2</sup>; dan obesitas, jika nilai IMT  $\geq 40,0$  kg/m<sup>2</sup> (Zierle-Ghosh & Jan, 2024).

Di sisi lain, apakah obesitas bersifat protektif terhadap osteoporosis masih diperdebatkan (Fassio et al., 2018). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa prevalensi osteoporosis lebih banyak dijumpai pada orang dengan IMT yang rendah, dan peningkatan DMT lebih banyak dijumpai pada orang dengan IMT yang tinggi, namun penelitian lain menemukan adanya penurunan DMT pada subyek dengan obesitas (Wu & Du, 2016).

Dari beberapa penelitian terdahulu, terdapat beberapa kemungkinan mekanisme yang dapat menjelaskan hubungan positif antara IMT dan DMT pada lansia. Pertama, penumpukan lemak yang berlebihan dan berat badan yang tinggi dapat memberikan beban mekanik statis yang lebih besar pada tulang, sehingga jaringan tulang akan menghasilkan serangkaian perubahan akibat gaya mekanik yang diberikan oleh tubuh (Fang et al., 2019; Ma et al., 2021). Pembebanan jaringan tulang menunda apoptosis osteosit, dan sinyal stres akan mendorong diferensiasi osteoblas sekaligus menekan fungsi osteoklas (Jiao et al., 2023). Kedua, hormon-hormon seperti estrogen, leptin, dan insulin akan disintesis dan dilepaskan dalam jumlah yang lebih besar pada individu yang kelebihan berat badan atau obesitas. Hormon-hormon ini memiliki efek positif pada DMT karena dapat mencegah remodeling dan resorpsi tulang (Devlin et al., 2016; Krishnan & Muthusami, 2017). Ketiga, androgen jaringan adiposa akan diubah menjadi estrogen, yang akan meningkatkan massa tulang (Ma et al., 2021).

Jalur molekuler yang kompleks mendasari peran estrogen dalam homeostasis tulang. Efek estrogen pada sel tulang dewasa telah menjadi subyek pada beberapa penelitian, yang membantu menjelaskan bagaimana osteoporosis

diperburuk oleh kekurangan estrogen (Laurent et al., 2019; Plotkin & Bruzzaniti, 2019). Pertama, ada sitokin pro-osteoklastik penting yang diproduksi sel-T dan ditekan oleh estradiol, yang mengurangi peradangan (Pietschmann et al., 2016). Sebagai respons terhadap kekurangan estrogen, ada korelasi antara peningkatan pelepasan sitokin dan peningkatan perkembangan dan aktivitas osteoklas serta resorpsi tulang (Amarasekara et al., 2018; Yao et al., 2022). Dengan menghambat jalur faktor- $\kappa$ B nuklir (NF- $\kappa$ B), estradiol juga mengurangi peradangan (Zhang et al., 2024). Kedua, estrogen menyebabkan lebih banyak osteoklas penyerap tulang mengalami apoptosis. Melalui pengikatan ke ER $\alpha$ , estradiol menstimulasi tingkat transkripsi ekspresi ligan Fas (FasL) dalam osteoblas. Apoptosis osteoklas akan terjadi karena aktivasi sinyal Fas/FasL pada jaringan tulang (Zhang et al., 2024). Estradiol juga menurunkan jumlah dan aktivitas osteoklas untuk mencegah osteoklastogenesis (Zhang et al., 2024). Ketiga, dengan meningkatkan protein antiapoptotik limfoma sel B-2 (Bcl-2), aktivitas pro-osteoblastik estradiol mendorong pertumbuhan tulang baru (Zhang et al., 2024). 17 $\beta$ -estradiol menurunkan faktor transkripsi terkait runt 2 (RUNX2) dan meningkatkan ekspresi miR-320-3p, sehingga kerusakan oksidatif pada osteoblas dapat dikurangi (Xu et al., 2021). Lebih jauh lagi, indikator perkembangan osteoblas, seperti alkali fosfatase dan alkali fosfatase spesifik tulang, dan peningkatan langsungnya oleh estradiol, menghasilkan peningkatan osteoblas dan produksi tulang baru (Zhang et al., 2024).



Gambar 1. Mekanisme Kerja Estrogen pada Sel-sel Tulang (Zhang et al., 2024).

Leptin, yang diproduksi oleh sel adiposit, merupakan salah satu sitokin terpenting dalam jaringan lemak, yang memiliki efek besar pada regenerasi tulang karena dapat merangsang sel osteoblastik dan menghambat osteoklastogenesis (Naser et al., 2023; Onuoha et al., 2023). Leptin juga berperan dalam aromatisasi androgen, sumber utama estrogen, yang melindungi tulang dari osteoporosis (Walsh & Vilaca, 2017).

Namun, terdapat temuan yang beragam dalam penelitian mengenai hubungan antara IMT dan DMT; di mana beberapa penelitian melaporkan bahwa memiliki IMT yang tinggi dapat melindungi terhadap osteoporosis, sementara penelitian lain tampaknya bertentangan dengan temuan ini (Y. Li, 2022). Osteoblas dan adiposit dibedakan dari sel punca mesenkimal, obesitas dapat merangsang

perkembangan sel punca mesenkimal menjadi adiposit (Khan et al., 2020). Akumulasi adiposit sumsum tulang yang tidak tepat dalam sistem rangka dapat menyebabkan ketidakseimbangan aktivitas osteosit dan penurunan pergantian tulang. Hal ini dapat menjelaskan hubungan negatif antara IMT dan DMT. Alasan lain yang mungkin adalah peradangan yang disebabkan oleh obesitas (Savvidis et al., 2018). Proliferasi adiposit dalam lingkungan mikro sumsum tulang mempercepat pelepasan zat proinflamasi dan imunoregulatori, yang mempercepat produksi dan aktivasi osteoklas (Krishnan & Muthusami, 2017), sekaligus mengurangi diferensiasi osteoblas dan menginduksi osteoklas (Cui et al., 2024).

## Usia

Penelitian sebelumnya, menemukan usia merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan karena peluang seseorang untuk mengalami osteoporosis akan meningkat seiring bertambahnya usia (Onuoha et al., 2023). Perubahan terkait usia menyebabkan pengeroposan tulang pada kedua jenis kelamin dan penurunan DMT yang stabil seiring bertambahnya usia (Segheto et al., 2020). Lansia memiliki pergantian tulang yang lebih tinggi dan ketidakseimbangan dalam remodeling tulang karena penurunan diferensiasi dan aktivitas osteoblas, peningkatan osteoklastogenesis dan aktivitas osteoklas, dan peningkatan resorpsi tulang. Hal ini menyebabkan penurunan pembentukan tulang baru, peningkatan resorpsi tulang, dan pengeroposan tulang, yang menurunkan massa tulang dan meningkatkan risiko patah tulang (Kenkre & Bassett, 2018).

Baik tulang kortikal maupun tulang trabekular dipengaruhi oleh perubahan tulang yang berkaitan dengan usia (Corrado et al., 2020). Untuk kedua jenis kelamin, hilangnya tulang trabekular pada manusia dimulai pada dekade ketiga kehidupan dan secara progresif meningkat selama era perimenopause (Corrado

et al., 2020). Penurunan kadar estrogen dan testosteron berdampak langsung pada proses ini, yang dapat mengakibatkan hilangnya tulang dan osteoporosis (Pignolo et al., 2021). Jaringan kanalikular dipertahankan oleh protein yang disebut connexin-43; seiring bertambahnya usia, penurunan protein ini akan meningkatkan kematian sel osteosit dan pembentukan lakuna kosong, serta perubahan dalam perekrutan osteoklas dan karakteristik material tulang (Davis et al., 2017). Hubungan yang jelas antara adipositas sumsum tulang yang lebih tinggi dan penurunan DMT; di mana osteoporosis dan patah tulang dikaitkan dengan adipositas sumsum tulang yang lebih tinggi (Pignolo et al., 2021).

Osteoporosis terkait usia sebagian disebabkan oleh peningkatan spesies oksigen reaktif (ROS) yang terkait usia, yang berkorelasi negatif dengan penurunan DMT dan kekuatan tulang terkait usia (Zhang et al., 2024). Gangguan metabolik terkait usia tertentu, seperti hiperglikemia dan resistensi insulin pada penderita diabetes tipe 2, dapat meningkatkan kadar ROS (Zhang et al., 2024). ROS merupakan elemen penting yang mengendalikan diferensiasi osteoklas (Zhang et al., 2024). ROS dapat meningkatkan stres oksidatif pada osteoblas dan menghambat osteoblastogenesis. Osteoporosis berkembang sebagian sebagai akibat dari stres oksidatif (Bădilă et al., 2022). Osteoporosis dapat diperburuk oleh paparan stres oksidatif yang berkepanjangan, yang dapat mengganggu homeostasis tulang (Zhu & March, 2022). Pengurangan aktivitas osteoblas dan peningkatan aktivitas osteoklas disebabkan oleh stres oksidatif yang disebabkan oleh penuaan (Agidigbi & Kim, 2019). Stres oksidatif meningkatkan produksi sitokin proinflamasi dan miRNA yang dapat menurunkan osteoblastogenesis dan meningkatkan osteoklastogenesis (Iantomasi et al., 2023).

## Jenis Kelamin

Penelitian sebelumnya menemukan bahwa jenis kelamin wanita lebih rentan terhadap osteoporosis (Onuoha et al., 2023). Salah satu kemungkinan mekanisme yang menjelaskan hal ini adalah bahwa penurunan estradiol saat menopause menyebabkan peningkatan tajam dalam pergantian tulang dan peningkatan resorpsi tulang, yang akhirnya mengakibatkan pengeroposan tulang (Migliorini et al., 2021). Selain itu, terjadi pengurangan pada pembentukan jaringan rangka sebagai respons terhadap rangsangan mekanis (Kranioti et al., 2019).

Wanita pascamenopause sering dikaitkan dengan osteoporosis karena harapan hidup mereka yang lebih panjang dan penurunan drastis kadar estrogen yang mereka miliki (Brown, 2017; Levin et al., 2018). Pengaturan massa tulang pada wanita secara signifikan dipengaruhi oleh estrogen, yang mencapai puncaknya pada usia 20-an dan menurun setelah menopause (Zhang et al., 2024). Ciri utama osteoporosis pascamenopause, yang juga dikenal sebagai osteoporosis trabekular, adalah hilangnya tulang trabekular secara cepat. Hilangnya tulang ini disebabkan oleh penurunan estrogen dan biasanya muncul 5 hingga 15 tahun setelah menopause (Zhang et al., 2024). Kehilangan DMT tahunan yang dialami oleh wanita perimenopause dan pascamenopause selama beberapa tahun pertama menopause berkisar antara 2% hingga 5%. Dalam sepuluh tahun sejak menopause dimulai, kehilangan DMT ini meningkat secara signifikan, mencapai 30%–40% di tulang belakang dan 20%–30% di leher tulang paha (Zhang et al., 2024).

Selain status hormonal pada wanita saat menopause, osteoporosis juga disebabkan oleh massa tulang puncak yang lebih rendah pada wanita saat pubertas (Alswat, 2017; Fasihi et al., 2021). Massa tulang puncak terjadi pada usia yang berbeda tergantung pada lokasi rangka, di mana usia termuda adalah 14-18,5 tahun di

lokasi pinggul pada kedua jenis kelamin. Dibandingkan dengan wanita, pria sering mencapai massa tulang puncaknya di kemudian hari (Alswat, 2017). 40% dari massa rangka pria dan wanita bertambah pada usia antara 12 dan 16 tahun. Namun, pada akhir masa remaja, akan ada sedikit peningkatan DMT pada batang femur tengah dan tulang belakang lumbar pada pria, sedangkan wanita tidak (Kranioti et al., 2019).

Kehilangan tulang yang dialami oleh pria tidak secepat yang dialami oleh wanita pascamenopause; mereka mengalami kehilangan tulang yang lebih lambat seiring bertambahnya usia (Fasihi et al., 2021). Pria mulai kehilangan tulang pada dekade keenam mereka, seringkali pada tingkat 0,5% hingga 1,0% setiap tahunnya (Fasihi et al., 2021; Kranioti et al., 2019).

## KESIMPULAN

Terdapat temuan yang beragam mengenai hubungan antara IMT dan DMT. Usia merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan karena peluang seseorang untuk mengalami osteoporosis akan meningkat seiring bertambahnya usia. Jenis kelamin perempuan lebih rentan terhadap osteoporosis.

## DAFTAR PUSTAKA

Agidigbi, T. S., & Kim, C. (2019). Reactive oxygen species in osteoclast differentiation and possible pharmaceutical targets of ROS-mediated osteoclast diseases. *Int J Mol Sci*, *20*(14), 1–16. <https://doi.org/10.3390/ijms20143576>

Alswat, K. A. (2017). Gender disparities in osteoporosis. *J Clin Med Res*, *9*(5), 382–387. <https://doi.org/10.14740/jocmr2970w>

Amarasekara, D. S., Yun, H., Kim, S., Lee, N., Kim, H., & Rho, J. (2018). Regulation of osteoclast differentiation by cytokine networks. *Immune Netw*, *18*(1), 1–18. <https://doi.org/10.4110/in.2018.18.e8>

Annamalai, R., & Lal, J. S. (2018). Correlation of anthropometric measurements with bone mineral density in south Indian population. *Int J Orthop Sci*, *4*(1), 221–224. <https://doi.org/10.22271/ortho.2018.v4.i1d.31>

Aryal, B. (2020). Awareness of weight and situation of body mass Index and hypertension in Nepalese teachers. *J Health Promot*, *8*, 5–14.

Bădilă, A. E., Rădulescu, D. M., Ilie, A., Niculescu, A. G., Grumezescu, A. M., & Rădulescu, A. R. (2022). Bone regeneration and oxidative stress: An updated overview. *Antioxidants*, *11*(2), 1–22. <https://doi.org/10.3390/antiox11020318>

Brown, C. (2017). Osteoporosis: Staying strong. *Nature*, *550*(7674), S15–S17.

Chen, Z., Luo, W., Zhang, Q., Lei, B., Wang, T., Chen, Z., Fu, Y., Guo, P., Li, C., Ma, T., Liu, J., & Ding, Y. (2021). Osteoporosis diagnosis based on ultrasound radio frequency signal via multi-channel convolutional neural network. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 832–835.

Corrado, A., Cici, D., Rotondo, C., Maruotti, N., & Cantatore, F. P. (2020). Molecular basis of bone aging. *Int J Mol Sci*, *21*(10), 1–17. <https://doi.org/10.3390/ijms21103679>

Cui, P., Wang, W., Wang, Z., Hu, X., Liu, X., Kong, C., & Lu, S. (2024). The association between body mass index and bone mineral density in older adults: a cross-sectional study of community population in Beijing. *BMC Musculoskelet Disord*, *25*(655), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07782-7>

Davis, H. M., Pacheco-Costa, R., Atkinson, E. G., Brun, L. R., Gortazar, A. R., Harris, J., Hiasa, M., Bolarinwa, S. A., Yoneda, T., Ivan, M., Bruzzaniti, A., Bellido, T., & Plotkin, L. I. (2017). Disruption of the Cx43/miR21 pathway leads to osteocyte apoptosis and increased osteoclastogenesis with aging.

- Aging Cell*, 16(3), 551–563. <https://doi.org/10.1111/acer.12586>
- Devlin, M., Brooks, D., Conlon, C., van Vliet, M., Louis, L., Rosen, C., & Bouxsein, M. (2016). Daily leptin blunts marrow fat but does not impact bone mass in calorie restricted mice. *J Endocrinol*, 229(3), 295–306. <https://doi.org/10.1530/JOE-15-0473>
- Escobio-Prieto, I., Blanco-Díaz, M., Pinero-Pinto, E., Rodriguez-Rodriguez, A. M., Ruiz-Dorantes, F. J., & Albornoz-Cabello, M. (2023). Quantitative ultrasound and bone health in elderly people, a systematic review. *Biomedicines*, 11(4), 1–13. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11041175>
- Fang, J., Gao, J., Gong, H., Zhang, T., Zhang, R., & Zhan, B. (2019). Multiscale experimental study on the effects of different weight-bearing levels during moderate treadmill exercise on bone quality in growing female rats. *Biomed Eng Online*, 18(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s12938-019-0654-1>
- Fasihi, L., Tartibian, B., & Eslami, R. (2021). Effects of age on bone mineral density in active men. *7th International Conference on Health, Treatment and Health Promotion*, 1–6.
- Fassio, A., Idolazzi, L., Rossini, M., Gatti, D., Adami, G., Giollo, A., & Viapiana, O. (2018). The obesity paradox and osteoporosis. *Eat Weight Disord*, 23(3), 293–302. <https://doi.org/10.1007/s40519-018-0505-2>
- Gomez, J. P., & Tinoco, H. A. (2017). Bone mineral density (BMD). *Curr Trends Biomedical Eng & Biosci*, 2(1), 1–2. <https://doi.org/10.19080/ctbeb.2017.02.555576>
- Hammad, L. F. (2016). Measurements of bone mineral density and stiffness index in young Saudi females. *Pak J Med Sci*, 32(2), 399–402. <https://doi.org/10.12669/pjms.322.9757>
- Iantomasi, T., Romagnoli, C., Palmmini, G., Donati, S., Falsetti, I., Miglietta, F., Aurilia, C., Marini, F., Giusti, F., & Brandi, M. L. (2023). Oxidative stress and inflammation in osteoporosis: Molecular mechanisms involved and the relationship with microRNAs. *Int J Mol Sci*, 24(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijms24043772>
- Jiao, Y., Sun, J., Li, Y., Zhao, J., & Shen, J. (2023). Association between adiposity and bone mineral density in adults: Insights from a national survey analysis. *Nutrients*, 15(15), 1–13. <https://doi.org/10.3390/nu15153492>
- Kang, J. H., & Hong, S. W. (2022). Risk factors of frailty in patients with distal radius fractures. *Geriatr Orthop Surg Rehabil*, 13, 1–8. <https://doi.org/10.1177/21514593221094736>
- Karma, B., Ada-Katrin, B., & Händler-Schuster, D. (2021). Exploring health-related needs of elderly people (70+) at home: A qualitative study from Switzerland. *J Prim Care Community Health*, 12, 1–7. <https://doi.org/10.1177/21501327211055635>
- Kenkre, J., & Bassett, J. (2018). The bone remodelling cycle. *Ann Clin Biochem*, 55(3), 308–327. <https://doi.org/10.1177/0004563218759371>
- Khan, A. U., Qu, R., Fan, T., Ouyang, J., & Dai, J. (2020). A glance on the role of actin in osteogenic and adipogenic differentiation of mesenchymal stem cells. *Stem Cell Res Ther*, 11(283), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s13287-020-01789-2>
- Kim, H. S., Jeong, E. S., Yang, M. H., & Yang, S. O. (2018). Bone mineral density assessment for research purpose using dual energy x-ray absorptiometry. *Osteoporos Sarcopenia*, 4(3), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.afos.2018.09.003>
- Kopiczko, A. (2020). Bone mineral density in old age: The influence of age at menarche, menopause status and habitual past and

- present physical activity. *Arch Med Sci*, 16(3), 657–665. <https://doi.org/10.5114/aoms.2019.81314>
- Kranioti, E. F., Bonicelli, A., & García-Donas, J. G. (2019). Bone-mineral density: Clinical significance, methods of quantification and forensic applications. *Res Rep Forensic Med Sci*, 9, 9–21. <https://doi.org/10.2147/rrfms.s164933>
- Krishnan, A., & Muthusami, S. (2017). Hormonal alterations in PCOS and its influence on bone metabolism. *J Endocrinol*, 232(2), R99–R113. <https://doi.org/10.1530/JOE-16-0405>
- Krueger, D., Binkley, N., & Morgan, S. (2018). Dual-energy x-ray absorptiometry quality matters. *J Clin Densitom*, 21(2), 155–156. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2017.10.002>
- Laurent, M. R., Dedeysne, L., Dupont, J., Mellaerts, B., Dejaeger, M., & Gielen, E. (2019). Age-related bone loss and sarcopenia in men. *Maturitas*, 122, 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2019.01.006>
- Levin, V. A., Jiang, X., & Kagan, R. (2018). Estrogen therapy for osteoporosis in the modern era. *Osteoporos Int*, 29(5), 1049–1055. <https://doi.org/10.1007/s00198-018-4414-z>
- Li, C., Sun, J., & Yu, L. (2022). Diagnostic value of calcaneal quantitative ultrasound in the evaluation of osteoporosis in middle-aged and elderly patients. *Medicine*, 101(2), 1–6. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000028325>
- Li, Y. (2022). Association between obesity and bone mineral density in middle-aged adults. *J Orthop Surg Res*, 17, 1–6. <https://doi.org/10.1186/s13018-022-03161-x>
- Ma, M., Feng, Z., Liu, X., Jia, G., Geng, B., & Xia, Y. (2021). The saturation effect of body mass index on bone mineral density for people over 50 years old: A cross-sectional study of the US population. *Front Nutr*, 8, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.763677>
- Majeed, K. G., Thanon, H. A., Dhannoon, B. I., & Fathi, H. B. (2019). The comparison of the total body mass between pre and postmenopausal women in Mosul city. *Iraqi J Sci*, 60(6), 1197–1205. <https://doi.org/10.24996/ij.s.2019.60.6.3>
- Migliorini, F., Maffulli, N., Spiezia, F., Tingart, M., Maria, P. G., & Riccardo, G. (2021). Biomarkers as therapy monitoring for postmenopausal osteoporosis: A systematic review. *J Orthop Surg Res*, 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02474-7>
- Mohajan, D., & Mohajan, H. K. (2023). Body mass index (BMI) is a popular anthropometric tool to measure obesity among adults. *J Innov Med Res*, 2(4), 25–33. <https://doi.org/10.56397/jimr/2023.04.06>
- Naser, M. S., Hassan, A. B., Naser, W. S., Almarabheh, A., Abdalla, H. A., Mohamed, S. J., Hasan, S. khalid, & Butt, A. J. (2023). Relationship between bone mineral density and body mass index among patients with diabetes mellitus in Bahrain. *Obes Med*, 37, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.obmed.2022.100472>
- Nicholson, T. A., Sagmeister, M., Wijesinghe, S. N., Farah, H., Hardy, R. S., & Jones, S. W. (2023). Oligonucleotide therapeutics for age-related musculoskeletal disorders: Successes and challenges. *Pharmaceutics*, 15(1), 1–19. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15010237>
- Onuoha, K., Ajiboye, K., Ekwe, K., & Ogedegbe, F. (2023). Effect of body mass index on bone mineral density: A retrospective review. *Int J Health Sci Res*, 13(5), 11–19. <https://doi.org/10.52403/ijhsr.20230502>
- Pietschmann, P., Mechtcheriakova, D., Meshcheryakova, A., Föger-Samwald, U., & Ellinger, I. (2016). Immunology of

- osteoporosis: A mini-review. *Gerontology*, 62(2), 128–137. <https://doi.org/10.1159/000431091>
- Pignolo, R. J., Law, S. F., & Chandra, A. (2021). Bone aging, cellular senescence, and osteoporosis. *JBMR Plus*, 5(4), 1–14. <https://doi.org/10.1002/jbm4.10488>
- Plotkin, L. I., & Bruzzaniti, A. (2019). Molecular signaling in bone cells: Regulation of cell differentiation and survival. *Adv Protein Chem Struct Biol*, 116, 237–281. <https://doi.org/10.1016/bs.apcsb.2019.01.002>
- Savvidis, C., Tournis, S., & Dede, A. D. (2018). Obesity and bone metabolism. *Hormones*, 17(2), 205–217. <https://doi.org/10.1007/s42000-018-0018-4>
- Segheto, K. J., Juvanhol, L. L., de Carvalho, C. J., da Silva, D. C. G., Kakehasi, A. M., & Longo, G. Z. (2020). Factors associated with bone mineral density in adults: A cross-sectional population-based study. *Rev Esc Enferm USP*, 54(e03572), 1–10. <https://doi.org/10.1590/S1980-220X2018039903572>
- Subramaniam, S., Chan, C. Y., Soelaiman, I. N., Mohamed, N., Muhammad, N., Ahmad, F., Ng, P. Y., Jamil, N. A., Aziz, N. A., & Chin, K. Y. (2020). The performance of a calcaneal quantitative ultrasound device, CM-200, in stratifying osteoporosis risk among Malaysian population aged 40 years and above. *Diagnostics*, 10(4), 1–13. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10040178>
- Tariq, S., Tariq, S., & Lone, K. P. (2017). Relationship of anthropometric measures with bone mineral density in postmenopausal non-osteoporotic, osteopenic and osteoporotic women. *J Pak Med Assoc*, 67(4), 590–594. [https://www.researchgate.net/publication/316157859\\_Relationship\\_of\\_anthropometric\\_measures\\_with\\_bone\\_mineral\\_density\\_in\\_postmenopausal\\_non-](https://www.researchgate.net/publication/316157859_Relationship_of_anthropometric_measures_with_bone_mineral_density_in_postmenopausal_non-osteoporotic_osteopenic_and_osteoporotic_women)
- [osteoporotic\\_osteopenic\\_and\\_osteoporotic\\_women](https://www.researchgate.net/publication/316157859_Relationship_of_anthropometric_measures_with_bone_mineral_density_in_postmenopausal_non-osteoporotic_osteopenic_and_osteoporotic_women)
- Thulkar, J., Singh, S., Sharma, S., & Thulkar, T. (2016). Preventable risk factors for osteoporosis in postmenopausal women: Systematic review and meta-analysis. *J Midlife Health*, 7(3), 108–113. <https://doi.org/10.4103/0976-7800.191013>
- Walsh, J. S., & Vilaca, T. (2017). Obesity, type 2 diabetes and bone in adults. *Calcif Tissue Int*, 100(5), 528–535. <https://doi.org/10.1007/s00223-016-0229-0>
- Watts, N. B., & Manson, J. E. (2017). Osteoporosis and fracture risk evaluation and management shared decision making in clinical practice. *JAMA*, 317(3), 253–254. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.panoramaortho.com/wp-content/uploads/2017/06/Osteoporosis-and-Fracture-Risk-Evaluation-and-Management.pdf](https://www.panoramaortho.com/wp-content/uploads/2017/06/Osteoporosis-and-Fracture-Risk-Evaluation-and-Management.pdf)
- Wu, S. F., & Du, X. J. (2016). Body mass index may positively correlate with bone mineral density of lumbar vertebra and femoral neck in postmenopausal females. *Med Sci Monit*, 22, 145–151. <https://doi.org/10.12659/MSM.895512>
- Xu, Y., Xu, H., Yin, X., Liu, X., Ma, Z., & Zhao, Z. (2021). 17  $\beta$ -estradiol alleviates oxidative damage in osteoblasts by regulating miR-320/RUNX2 signaling pathway. *J Biosci*, 46, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s12038-021-00236-5>
- Xuan, R., Song, Y., Baker, J. S., & Gu, Y. (2020). The evaluation of bone mineral density based on age and anthropometric parameters in southeast Chinese adults: A cross-sectional study. *Med Sci Monit*, 26, e923603-1-e923603-7. <https://doi.org/10.12659/MSM.923603>
- Yao, Z., Getting, S. J., & Locke, I. C. (2022). Regulation of TNF-induced osteoclast differentiation. *Cells*, 11(1), 1–23. <https://doi.org/10.3390/cells11010132>

- Yen, C. C., Lin, W. C., Wang, T. H., Chen, G. F., Chou, D. Y., Lin, D. M., Lin, S. Y., Chan, M. H., Wu, J. M., Tseng, C. D., Huang, Y. J., & Lee, T. F. (2021). Pre-screening for osteoporosis with calcaneus quantitative ultrasound and dual-energy x-ray absorptiometry bone density. *Sci Rep*, *11*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95261-7>
- Zhang, Y. Y., Xie, N., Sun, X. D., Nice, E. C., Liou, Y. C., Huang, C., Zhu, H., & Shen, Z. (2024). Insights and implications of sexual dimorphism in osteoporosis. *Bone Res*, *12*(8), 1–30. <https://doi.org/10.1038/s41413-023-00306-4>
- Zhu, J., & March, L. (2022). Treating osteoporosis: Risks and management. *Aust Prescr*, *45*(5), 150–157. <https://doi.org/10.18773/austprescr.2022.054>
- Zierle-Ghosh, A., & Jan, A. (2024). *Physiology, body mass index*. StatPearls Publishing LLC.