

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Tulang

2.1.1.1 Arsitektur Tulang

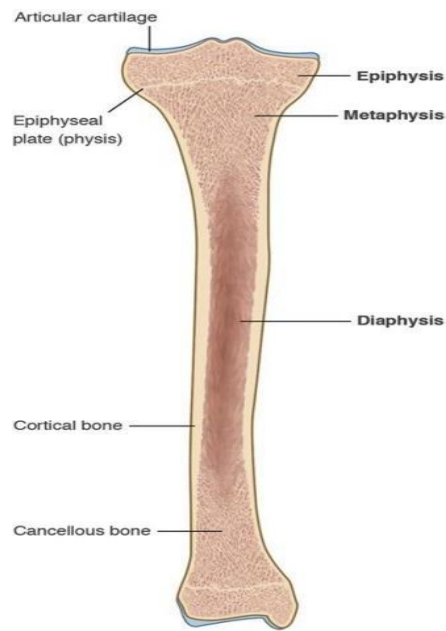
Tulang memiliki struktur kompleks yang membentuknya menjadi kuat dan ringan, serta mampu menahan berbagai jenis beban (Hart, *et al.*, 2020). Terdapat dua struktur utama yang bisa diidentifikasi melalui X-ray dan biopsi tulang, yaitu:

a. Tulang kompak/kortikal

Tulang ini membentuk lapisan luar dari tulang panjang. Tulang ini 90% terkalsifikasi, sehingga memiliki karakteristik sangat padat, keras, dan memiliki tingkat metabolisme yang lambat (Muñoz, *et al.*, 2020). Karakteristik tersebut yang menyebabkan tulang kortikal diserap dan dirombak lebih lambat daripada tulang trabekular. Lapisan tulang kortikal dari tulang tubular panjang (femur, humerus) terdiri dari osteon atau Sistem Haversian. Sistem Haversian merupakan silinder longitudinal yang panjangnya sekitar 5 mm dan terdiri dari 5-20 cincin (Ozaki, *et al.*, 2020).

b. Tulang spons/trabekular/kanselus

Sekitar 80% dari tulang adalah tulang kortikal dan 20% tulang trabekular. Secara inspeksi mengungkapkan bahwa trabekular berada di sepanjang garis traksi (garis tegangan dan penahan beban), menghasilkan struktur seperti spons dan kisi (lattice). Semakin dekat jarak antara simpul trabekular, maka akan semakin besar stabilitas dan kekuatan tulang (Oftadeh, *et al.*, 2015). Lempeng trabekular (trabecular plates) berfungsi sebagai sifat elastis tulang trabekular. Sekitar 25% dari tulang kanselus mengalami perombakan tahunan dibandingkan dengan tulang kortikal yang hanya 2,5% (Silva, *et al.*, 2014).



Gambar 2. 1 Topografi tulang panjang

Sumber: (Hart, *et al.*, 2020)

Kerangka tubuh (skeleton) dibagi menjadi dua kompartemen utama, yaitu kerangka aksial dan kerangka apendikular. Kerangka aksial merujuk pada tulang belakang (spine) dan femur proksimal. Tulang ini terutama terdiri dari tulang trabekular dengan perombakan yang tinggi. Sementara itu, kerangka apendikular merujuk pada tulang panjang di kaki dan lengan. Tulang ini terutama terdiri dari tulang kortikal dengan perombakan yang rendah (Aspray dan Hill, 2019).

Tulang panjang memiliki empat bagian topografi utama. Pertama, epifisis merupakan ujung dari tulang tubular yang terletak di antara lempeng pertumbuhan dan tulang rawan artikular. Kedua, lempeng pertumbuhan atau fisis adalah daerah tempat terjadi pemanjangan tulang pada anak-anak. Ketiga, metafisis merupakan bagian yang melebar dari tulang yang berada di antara diafisis silindris dan lempeng pertumbuhan. Keempat, diafisis atau batang merupakan bagian tengah silindris dari tulang panjang yang memiliki korteks tebal dan ruang sumsum di tengahnya (Hart, *et al.*, 2020).

2.1.1.2 *Modelling dan Remodelling Tulang*

Tulang merupakan organ dinamis yang terus menerus beradaptasi terhadap tekanan mekanis. Tulang terus terbentuk secara perlahan dari jaringan ikat yang kemudian berubah menjadi komponen lamelar yang keras. Pertumbuhan tulang berakhir pada masa pubertas ditandai dengan terjadinya osifikasi pada lempeng pertumbuhan (growth plates) (Hart, *et al.*, 2020).

Selama masa dewasa, terdapat proses perombakan (remodelling) terus-menerus yang mempertahankan tulang, sehingga tulang dapat beradaptasi terhadap perubahan keadaan eksternal. Seiring bertambahnya usia, tulang kehilangan sebagian kekuatan dan elastisitasnya, sehingga lebih mudah rapuh dan patah. Hal ini disebabkan oleh hilangnya mineral dan perubahan matriks tulang. Tulang mengalami proses pengangkatan dan penggantian yang konstan, sehingga komponen-komponen tulang ditukar secara berkala (Peng, *et al.*, 2020). Proses ini disebut *remodelling* dan memiliki tujuan-tujuan tertentu, antara lain:

- a. Mobilisasi kalsium dalam kerangka homeostasis kalsium.
- b. Penggantian jaringan tulang lama.
- c. Adaptasi kerangka secara keseluruhan dan individu lokal terhadap beban, penahan beban, dan tekanan yang berbeda.
- d. Perbaikan tulang yang rusak, baik secara mikroskopis maupun makroskopis.

Sel tulang membentuk sistem sel tulang khusus yang bertanggung jawab untuk perbaikan, pemeliharaan, dan adaptasi tulang:

- a. Osteoklas

Osteoklas adalah sel multinukleat yang berasal dari monosit sumsum tulang dengan umur hingga 7 minggu. Fungsi utama osteoklas adalah menghancurkan tulang tua dan retak dengan melepaskan enzim proteolitik maupun zat lain yang melarutkan mineral dan matriks tulang (Hart, *et al.*, 2020). Osteoklas juga melepaskan proton melalui H⁺-ATPase yang menyebabkan asidifikasi dan pelarutan mineral tulang. Osteoklastogenesis terjadi dipengaruhi

oleh reseptor RANKL yang akan berikatan dengan reseptor prekursor di permukaan osteoklas sehingga memicu osteoklastogenesis. Osteoklas dapat memutuskan trabekula dari jaringan trabekular jika cukup tipis, sehingga melemahkan area tulang secara permanen (Kim J. *et al.*, 2020).

b. Osteoblas

Osteoblas berasal dari mesenkimal sumsum tulang berupa sel kuboid yang membentuk lapisan kontinu di permukaan tulang. Osteoblas memproduksi tulang baru secara perlahan dalam beberapa minggu untuk menggantikan tulang yang diresorpsi oleh osteoklas (Kim J. *et al.*, 2020). Fungsi utama osteoblas adalah mensintesis matriks tulang terutama kolagen tipe I, osteokalsin, osteonektin, dan *Bone Morphogenetic Protein* (BMP) (Hart, *et al.*, 2020). Selain itu, osteoblas juga mensekresikan *Receptor Activator of Nuclear Factor Kappa-B Ligand* (RANKL) untuk osteoklastogenesis dan Osteoprotegerin (OPG) sebagai *decoy receptor* terhadap RANKL (Kemenkes RI, 2019).

c. Osteosit

Osteosit adalah sel tulang yang paling banyak di antara sel-sel tulang lainnya yang berkembang dari osteoblas dan terperangkap dalam matriks tulang yang baru terbentuk. Osteosit kehilangan kemampuan untuk mengeluarkan matriks tulang dan memiliki reseptor untuk berbagai hormon, termasuk *Parathyroid Hormone* (PTH) dan hormon seks. Kedua hormon ini terlibat dalam transmisi sinyal yang dipicu oleh beban fisik dan memainkan peran penting dalam adaptasi fungsional tulang serta perbaikan mikrofraktur (Kim J. *et al.*, 2020). Osteosit juga berperan sebagai sel mekanosensor yang mendeteksi kebutuhan untuk peningkatan atau penurunan tulang dengan memproduksi zat sclerostin dan dickkop (Hart, *et al.*, 2020).

d. Sel pelapis endosteal

Sel pelapis endosteal adalah sel-sel datar yang meliputi 80-95% permukaan internal tulang. Sel ini berkembang dari osteoblas yang

tidak aktif dan membentuk lapisan pelindung, serta sistem pengawasan untuk tulang. Sel-sel ini terhubung dengan membran kolagen tipis yang menutupi permukaan tulang mineralisasi, celah osteositik, dan kanalikuli (Hart, *et al.*, 2020). Sel lapisan endosteal dapat berpartisipasi dalam aktivasi osteoklas dan perombakan tulang yakni dengan menghilangkan fragmen kolagen tulang yang tersisa oleh osteoklas (Kim J. *et al.*, 2020).

2.1.1.3 Mekanisme Kontrol dan Regulasi *Remodelling* Tulang

Satu siklus perombakan membutuhkan waktu sekitar 120 hari yang terdiri dari 6 fase, yaitu:

a. Fase *Quiescence*

Sel pelapis endosteal di atas selaput kolagen tipis yang menutupi permukaan tulang (Bartl, 2020).

b. Fase *Activation*

Fase ini melibatkan penarikan sel lapisan endosteal dan pengangkatan selaput kolagen tipis yang menutupi permukaan tulang. Matriks metaloproteinase yang diproduksi oleh osteoblas terlibat dalam proses ini (Bartl, 2020).

c. Fase *Resorption*

Rekrutmen dan fusi dari prekursor osteoklastik, persiapan osteoklas untuk resorpsi dan pengerutan membran; osteoklas menyerap tulang kembali yang mengarah pada pembentukan kekosongan atau lubang; osteoklas bermigrasi secara perlahan atau mengalami apoptosis (Bartl, 2020).

d. Fase *Reversal*

Progenitor osteoblas tertarik ke lubang resorpsi, sementara monosit dan sel lapisan endosteal mempersiapkan permukaan lubang resorpsi untuk produksi tulang baru dengan membuang debris yang ditinggalkan oleh osteoklas (Bartl, 2020).

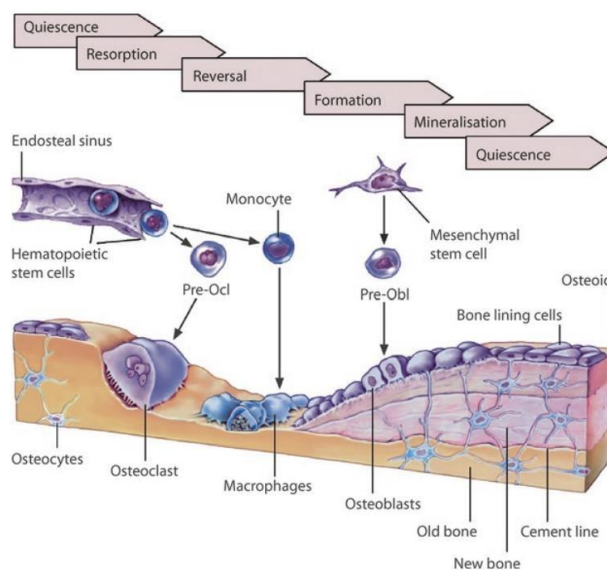
e. Fase *Formation*

Osteoblas yang aktif memproduksi osteoid, yaitu bahan organik

matriks tulang yang belum termineralisasi (Bartl, 2020).

f. Fase *Mineralisation*

Penggabungan mineral (kalsium, fosfor, dan lain-lain) pada lokasi matriks tulang organik yang baru terbentuk (osteoid). Mineralisasi tulang menyebabkan peningkatan kepadatan fisik tulang pada tingkat material (Bartl, 2020).



Gambar 2. 2 Tahap *remodelling* tulang

Sumber: (Bartl, 2020)

Tulang memiliki sistem yang dikendalikan oleh umpan balik efisien yang secara terus menerus mengintegrasikan sinyal maupun respons yang bersama-sama mempertahankan fungsinya untuk menyalurkan kalsium ke dalam sirkulasi sambil mempertahankan kekuatannya sendiri (Bilezikian, *et al.*, 2019). Terdapat lima kelompok mekanisme yang mengatur massa tulang, yakni:

1) *Systemic hormones*

Hormon sistemik yang paling penting meliputi *Parathyroid Hormone* (PTH), kalsitonin, hormon tiroid T3, insulin, *Growth Hormone* (GH), dan *Growth Factor* (GF) berupa insulin-1 (IGF-1) yang mengatur banyak efek pertumbuhan dan massa tulang, kortison, serta *Sex Hormone* (Salamat, *et al.*, 2016).

2) *Local cytokines and signals*

Sel-sel tulang mensintesis sitokin, seperti IL-1, IL-6, Beta-2-microglobulin, IGF-1, IGF-2, TGF-Beta, BMPs, PDGF, dan FGFs yang banyak memengaruhi proses pembentukan dan pertumbuhan tulang (Salamat, *et al.*, 2016).

3) *Mechanical loading*

Latihan fisik dapat meningkatkan massa dan kekuatan tulang pada anak-anak dan remaja. Namun, potensi osteogenik menurun pada akhir masa pubertas dan pertumbuhan longitudinal tulang. Tulang dewasa hanya responsif terhadap beban mekanis (Salamat, *et al.*, 2016).

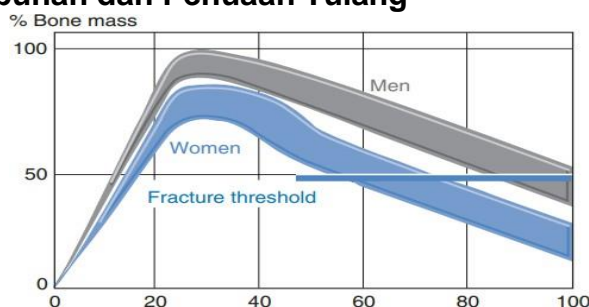
4) *Transcriptional regulation and genes*

Faktor transkripsi Osterix (Osx), Runt-2 (Runx2), dan Sex Determining Region Y-box 9 (Sox9) merupakan regulator utama osteogenesis (Bilezikian, 2019). Gen-gen baru yang bertanggung jawab atas gangguan skeletal hereditas dapat memberikan peluang terapi baru. Sebagai contoh, identifikasi LRP5 sebagai molekul kunci dalam regulasi tulang baru-baru ini telah terbukti meningkatkan diferensiasi osteoblas (Salamat, *et al.*, 2016).

5) *Vitamin and minerals*

Sel-sel tulang serta sistem sel di sekitarnya juga dipengaruhi oleh berbagai vitamin, mineral, dan faktor lainnya. Vitamin D, K, C, B6, dan A diperlukan untuk metabolisme normal kolagen dan mineralisasi osteoid (Salamat, *et al.*, 2016).

2.1.1.4 Pertumbuhan dan Penuaan Tulang



Gambar 2.3 Perubahan massa tulang berdasarkan umur

Sumber: (Bartl, 2019)

Osteoblas berasal dari sel-sel mesenkimal dan memproduksi osteoid, matriks organik tulang, melalui dua proses utama:

a. Osifikasi *Intramembrane*

Osteoid disekresikan langsung dalam jaringan ikat vaskular longgar. Mineralisasi osteoid terjadi cepat setelah deposisi membentuk "tulang primitif". Contohnya adalah mandibula, dan klavikula (Ozaki, *et al.*, 2020).

b. Osifikasi Endokondral

Sebagian besar rangka terbentuk melalui proses ini, yakni osteoid dideposisikan pada tulang rawan yang sudah ada. Ini terjadi terutama di lempeng epifisis untuk pertumbuhan tulang longitudinal. Tahap awal dikenal sebagai "spongiosa primer" yang kemudian digantikan oleh tulang lamel matang (Ozaki, *et al.*, 2020).

Pada lempeng epifisis, pembentukan tulang endokondral diatur secara ketat dengan empat zona morfologis berbeda, yakni zona cadangan, proliferasi, hipertrofi, dan osifikasi endokondral. Plat epifisis menutup pada berbagai waktu selama masa remaja, seperti femur distal dan tibia proksimal menutup pada usia 16 hingga 19 tahun. Lempeng terakhir yang menutup adalah krista iliaka dan klavikula medial (Muñoz, *et al.*, 2020).

Tulang mencapai puncak kepadatan tulang maksimal atau massa tulang puncak pada usia 25–30 tahun. Periode pertumbuhan sebelum itu memberikan peluang maksimal untuk membangun massa tulang puncak, sebanyak 60–80% ditentukan oleh faktor genetik, sementara 20–40% sisanya oleh faktor lain seperti nutrisi dan olahraga. Setelah itu, dimulai sekitar usia 30 tahun, keseimbangan negatif tulang terjadi, sehingga rata-rata 1% tulang hilang setiap tahunnya tidak tergantung pada jenis kelamin (Bi, *et al.*, 2020). Ambang batas fraktur akibat osteoporosis terjadi pada usia 50 tahun. Pengukuran densitas tulang trabekular antara usia 20 hingga 80 tahun menunjukkan penurunan

densitas sekitar 50% (Albrahim, 2018).

2.1.2 Bone Mineral Density (BMD)

2.1.2.1 Definisi Bone Mineral Density (BMD)

Bone Mineral Density (BMD) adalah ukuran jumlah mineral terutama kalsium yang terkandung dalam suatu volume tulang. *Bone Mineral Density* (BMD) sering digunakan sebagai indikator kepadatan dan kekuatan tulang (Bartl, 2019). Nilai *Bone Mineral Density* (BMD) yang tinggi menunjukkan tulang yang lebih padat dan lebih kuat, sementara nilai *Bone Mineral Density* (BMD) yang rendah menunjukkan tulang yang lebih rapuh dan berisiko lebih tinggi untuk mengalami fraktur. *Bone Mineral Density* (BMD) sering dinyatakan dalam bentuk gram per sentimeter persegi (g/cm^2) dan merupakan parameter utama dalam diagnosis osteoporosis dan penilaian risiko fraktur (Bartl, 2019).

Bone Mineral Density (BMD) dapat memberikan informasi sebagai berikut: (Qiao, *et al.*, 2020).

- a. Mendeteksi osteopenia dan/atau osteoporosis sebelum terjadinya fraktur.
- b. Memprediksi risiko perkembangan osteoporosis di masa mendatang.
- c. Menunjukkan laju kehilangan perkembangan tulang dalam pengukuran berkala.
- d. Mendokumentasikan efektivitas atau kegagalan terapi.
- e. Meningkatkan kepatuhan baik dari dokter maupun pasien.

2.1.2.2 Instrumentasi Pengukuran *Bone Mineral Density* (BMD)

Presisi dan akurasi pengukuran *Bone Mineral Density* (BMD) bergantung pada: (Bartl, 2019).

- a. Jenis instrumen.
- b. Pemeriksaan dan pengaturan instrumen secara rutin.
- c. Kerja sama pasien.
- d. Penyesuaian instrumen yang tepat oleh peneliti.
- e. Tingkat osteoporosis.

Instrumen pengukuran *Bone Mineral Density* (BMD) yang diakui sebagai “*gold standard*” adalah menggunakan *Dual-Energy X-Ray Absorptiometry* (DXA) dengan berbagai keunggulan yang dimilikinya. Selain itu, instrumen yang juga bisa digunakan untuk pengukuran *Bone Mineral Density* (BMD) adalah *Quantitative Computed Tomography* (QCT), *Single Energy X-Ray Absorptiometry* (SXA), dan *Quantitative Ultrasound* (QUS) (Black dan Rosen, 2016).

Tabel 2. 1 Perbandingan Instrumentasi Pengukuran BMD

Metode	Presisi (%)	Akurasi (%)	Waktu Pemeriksaan (Menit)	Radiasi (mrems)
DXA	1-2	3-5	2-8	1-3
<i>Distal Radius</i>				
<i>Proximal Radius</i>				
<i>Proximal Femur</i>				
<i>Lumbar Spine AP</i>				
<i>Lumbar Spine Lateral</i>				
<i>Total Body</i>				
QCT	2-10	5-20	10-15	100-1000
<i>Radius</i>				
<i>Lumbar Spine</i>				
QUS	-	2-8	5-10	0

Sumber: (Bartl, 2019)

Hasil pemeriksaan *Dual-Energy X-Ray Absorptiometry* (DXA) menggunakan dua komponen penilaian, yaitu T-Score dan Z-Score. Hasil dari dua komponen tersebut bergantung pada standar deviasi (SD) untuk pengukurannya. Standar deviasi (SD) mewakili variabilitas normal dalam suatu pengukuran dalam populasi: perbedaan antara persentil ke-5 dan ke-95 dari sebuah kelompok mencakup sekitar 4 SD. 1 SD dari *Bone Mineral Density* (BMD) pinggul atau tulang belakang setara dengan sekitar 10–15%

dari nilai rata-rata. Diagnosis *Bone Mineral Density* (BMD) normal menggunakan *Dual-Energy X-Ray Absorptiometry* (DXA) berdasarkan T-Score adalah >-1.0 SD, untuk osteopenia adalah antara -1.0 hingga -2.5 SD, sedangkan diagnosis osteoporosis didasarkan pada T-Score adalah <-2.5 SD (Bartl, 2019).

2.1.3 *Quantitative Ultrasound* (QUS)

2.1.3.1 Definisi *Quantitative Ultrasound* (QUS)



Gambar 2. 4 Instrumen QUS, CM-200 (CMDS)

Sumber: (Furuno Electric, 2015)

Quantitative Ultrasound (QUS) adalah teknik non-invasif yang digunakan untuk mengukur kepadatan mineral tulang dan kualitas tulang. Metode ini memanfaatkan gelombang suara berfrekuensi tinggi yang dikirimkan melalui tulang untuk mengevaluasi kecepatan dan atenuasi gelombang suara tersebut. *Quantitative Ultrasound* (QUS) biasanya digunakan pada tulang-tulang perifer seperti tumit, tibia, dan falang karena mudah diakses dan memberikan hasil yang representatif mengenai kondisi tulang secara keseluruhan (Chen, *et al.*, 2021).

Quantitative Ultrasound (QUS) memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode lain. Selain tidak menggunakan radiasi ion, *Quantitative Ultrasound* (QUS) juga portabel, lebih murah, dan mudah digunakan dalam *setting* klinis maupun lapangan (Furuno Electric, 2015). Hal ini membuat *Quantitative Ultrasound* (QUS) menjadi alat yang berguna untuk skrining osteoporosis secara cepat, terutama di daerah dengan akses terbatas ke teknologi canggih. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan instrumen *Quantitative Ultrasound* (QUS) dengan jenis CM-200 (CMDS)

untuk pengukuran *Bone Mineral Density* (BMD) pada personel militer Batalyon Infanteri Mekanis 203/Arya Kemuning, Jaya Sakti.

2.1.3.2 Interpretasi *Quantitative Ultrasound* (QUS)

Interpretasi hasil *Quantitative Ultrasound* (QUS) jenis CM-200 (CMDS) melibatkan analisis *Speed Of Sound* (SOS), *T-Score*, dan *Z-Score*.

a. *Speed Of Sound* (SOS)

Kecepatan gelombang suara yang melewati tulang. Kecepatan yang lebih tinggi menunjukkan kepadatan tulang yang lebih tinggi dan struktur tulang yang lebih baik. Nilai *Speed Of Sound* (SOS) yang rendah dapat mengindikasikan adanya penurunan kepadatan tulang atau perubahan mikroarsitektur tulang (Nguyen Minh, *et al.*, 2020).

b. *T-Score*

Analisis ini menunjukkan seberapa jauh nilai pengukuran berbeda dari rata-rata nilai orang dewasa muda yang sehat. Nilai *T-Score* diaplikasikan untuk mendiagnosis osteopenia dan osteoporosis. Rentang nilai *T-Score* dari -1.0 hingga -2.5 menunjukkan osteopenia, sementara nilai *T-Score* -2.5 atau lebih rendah menunjukkan osteoporosis (McCarthy dan Frassica, 2014).

c. *Z-Score*

Penilaian ini menunjukkan seberapa jauh nilai pengukuran berbeda dari rata-rata nilai orang dengan usia, jenis kelamin, dan etnis kelompok yang sama. *Z-Score* digunakan untuk menentukan kepadatan tulang seseorang sesuai dengan ekspektasi untuk kelompok mereka (McCarthy dan Frassica, 2014).

Pada penelitian kali ini, peneliti menggunakan *Speed Of Sound* (SOS) sebagai parameter utama dalam skrining dan diagnosis *Bone Mineral Density* (BMD) pada tulang personel militer Batalyon Infanteri Mekanis 203/Arya Kemuning, Jaya Sakti. Adapun interpretasi penilaian klasifikasi *Bone Mineral Density* (BMD) menggunakan *Speed Of Sound* (SOS) adalah tulang normal dengan nilai *Speed Of Sound* (SOS) >1505 m/s, kemudian

osteopenia dengan nilai *Speed Of Sound* (SOS) 1456 – 1505 m/s, dan osteoporosis dengan nilai *Speed Of Sound* (SOS) <1456 m/s (McCarthy dan Frassica, 2014).

2.1.4 Body Fat

2.1.4.1 Definisi dan Instrumentasi pengukuran *Body Fat*

Body fat merupakan komponen penting dari total massa tubuh yang terdiri dari jaringan adiposa (Goossens, 2017). *Body fat* memainkan peranan penting dalam berbagai fungsi fisiologis, termasuk isolasi termal, perlindungan organ vital, dan penyimpanan energi dengan menghasilkan hormon leptin untuk mengatur nafsu makan dan metabolisme. Menurut *World Health Organization* (WHO), proporsi lemak tubuh yang sehat berbeda berdasarkan jenis kelamin dan usia (Kemenkes RI, 2017). Namun, jumlah lemak tubuh yang berlebihan atau defisit dapat berdampak negatif terhadap kesehatan. Sebaliknya, defisit lemak tubuh yang ekstrem dapat menyebabkan malnutrisi, penurunan fungsi imun, dan gangguan hormonal.

Pengukuran *body fat* seringkali digunakan untuk penilaian status kesehatan dan risiko penyakit. Beberapa metode yang umum digunakan untuk mengukur *body fat* antara lain *Bioelectrical Impedance Analysis* (BIA), *Dual-Energy X-Ray Absorptiometry* (DXA), dan *skinfold measurements* (Goossens, 2017). Pada penelitian kali ini, peneliti menggunakan *Bioelectrical Impedance Analysis* (BIA) sebagai instrumentasi utama dalam pengukuran *body fat*.

Prinsip kerja *Bioelectrical Impedance Analysis* (BIA) adalah dengan mengukur resistensi tubuh terhadap aliran listrik kecil. *Body fat* memiliki resistensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan massa bebas lemak. Akurasi dari pengukuran dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yakni suhu kulit, hidrasi tubuh, dan aktivitas fisik sebelum pengukuran (Ward, 2019).

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Pada kajian hasil penelitian terdahulu ini diambil dari beberapa sumber sebagai pedoman penulis dalam merumuskan penelitian ini.

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

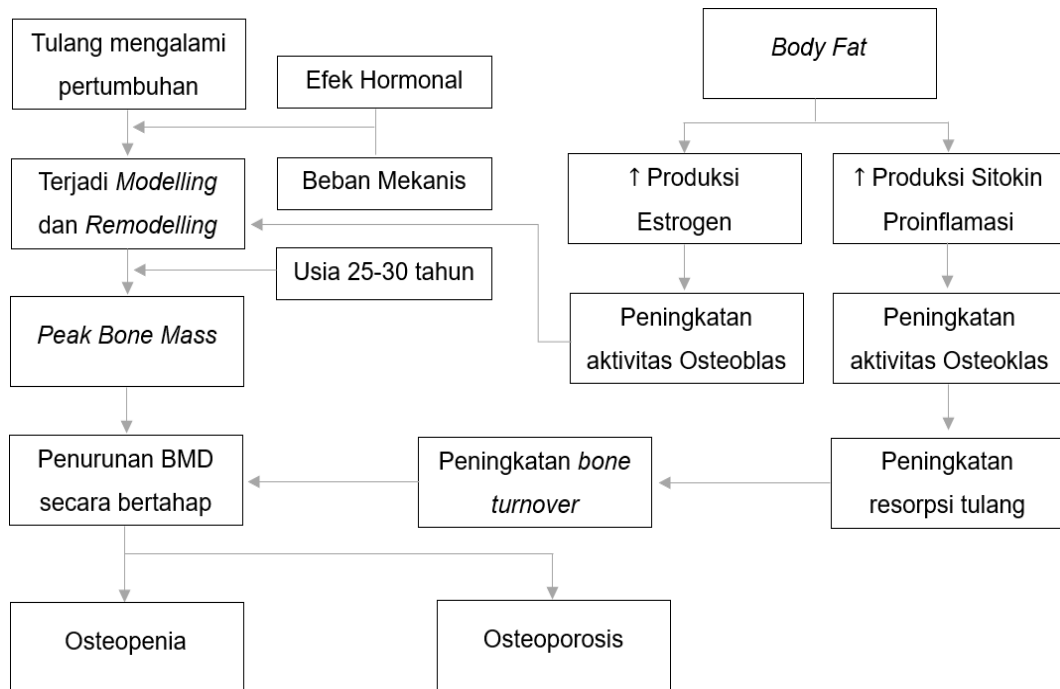
No	Penulis/ Tahun	Tujuan	Metode	Hasil	Persamaan	Perbedaan
1	S. Adami, <i>et. al</i> / 2003	Meneliti hubungan antara profil lipid dan kepadatan mineral tulang (BMD) pada pria dan wanita.	Studi observasional dengan pengukuran BMD menggunakan DXA, analisis lipid serum, dan penyesuaian terhadap BMI dan berat badan.	Terdapat hubungan negatif antara HDL dengan BMD, sedangkan LDL dan trigliserida berhubungan positif dengan BMD.	<ul style="list-style-type: none"> • Hubungan komposisi tubuh dengan BMD • Menyesuaikan variabel antropometrik 	<ul style="list-style-type: none"> • Profil lipid • Subjek penelitian adalah orang tua dan wanita <i>menopause</i> • DXA
2	Dong-Hyun Kim, <i>et. al</i> / 2019	Menilai hubungan antara persentase lemak tubuh dan BMD pada orang dewasa Korea dengan berat badan normal.	Studi observasional dengan pengukuran BMD dan lemak tubuh menggunakan DXA, analisis regresi linear, serta analisis kovarians.	Persentase lemak tubuh berhubungan negatif dengan BMD, terutama pada pria.	<ul style="list-style-type: none"> • Hubungan antara lemak tubuh dan BMD • Metode statistik regresi 	<ul style="list-style-type: none"> • Subjek penelitian yakni dewasa Korea dengan berat badan normal • DXA
3	Han Seok	Meneliti hubungan	Studi observasional	Lemak <i>visceral</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Hubungan 	<ul style="list-style-type: none"> • Penelitian ini

	Choi, <i>et. al /</i> 2010	antara adipositas <i>visceral</i> dan subkutan dengan BMD serta faktor metabolik yang terkait.	dengan pengukuran lemak tubuh menggunakan CT scan dan BMD dengan DXA.	berhubungan negatif dengan BMD, sedangkan lemak subkutan tidak menunjukkan hubungan signifikan.	distribusi lemak tubuh dengan BMD.	memisahkan lemak <i>visceral</i> dan subkutan <ul style="list-style-type: none"> • CT-Scan • Populasi umum Korea
4	Hermas tuti, A., dan Isnawati,M . / 2012	Meneliti hubungan antara BMI, massa lemak tubuh, asupan kalsium, aktivitas fisik, dan kepadatan tulang pada wanita dewasa muda.	Studi <i>cross-sectional</i> dengan pengukuran lemak tubuh menggunakan BIA dan BMD dengan ultrasound densitometry.	Tidak ditemukan hubungan signifikan antara BMI, lemak tubuh, dan BMD, tetapi ada hubungan positif antara asupan kalsium dan BMD.	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumen QUS • Instrumen BIA 	<ul style="list-style-type: none"> • Subjek penelitian yakni wanita muda usia 18– 23 tahun • Tambahan analisis variabel asupan kalsium dan aktivitas fisik

Sumber: (diolah oleh peneliti, 2024)

2.3 Kerangka Berpikir

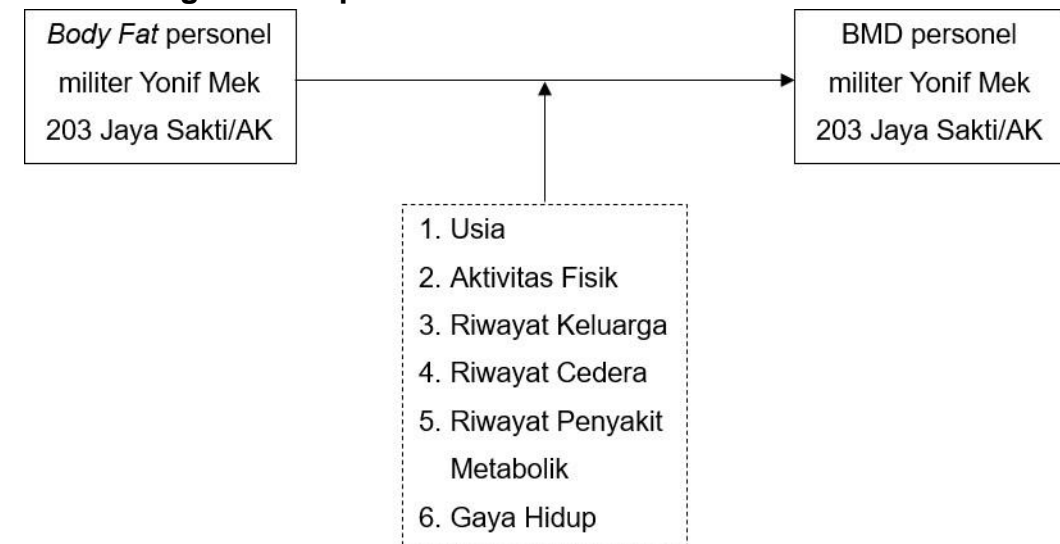
2.3.1 Kerangka Teori



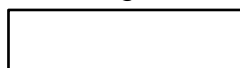
Gambar 2. 5 Kerangka Teori Penelitian

Sumber: (diolah oleh peneliti, 2024)

2.3.2 Kerangka Konsep



Keterangan:



: Variabel yang diteliti



: Variabel perancu/tidak diteliti

Gambar 2. 6 Kerangka Konsep Penelitian

Sumber: (diolah oleh peneliti, 2024)

2.4 Hipotesis

Hipotesis alternatif (H_1): Terdapat hubungan signifikan antara kadar *body fat* dengan *Bone Mineral Density* (BMD) yang diukur melalui *Speed of Sound* (SOS) pada personel militer Batalyon Infanteri Mekanis 203/Arya Kemuning, Jaya Sakti.

Hipotesis nol (H_0): Tidak terdapat hubungan signifikan antara kadar *body fat* dengan *Bone Mineral Density* (BMD) yang diukur melalui *Speed of Sound* (SOS) pada personel militer Batalyon Infanteri Mekanis 203/Arya Kemuning, Jaya Sakti.