

BAB IV

FISIOLOGI TULANG

Tujuan

Menjelaskan fungsi tulang, proses pertumbuhan dan perkembangan tulang serta remodeling tulang.

Tulang atau kerangka adalah penopang tubuh vertebrata. Tanpa tulang, pasti tubuh kita tidak bisa tegak berdiri. Tulang mulai terbentuk sejak bayi dalam kandungan, berlangsung terus sampai dekade kedua dalam susunan yang teratur. Tulang merupakan jaringan kompleks yang terdiri atas sel dan matriks. Matriks tulang dibentuk oleh serat-serat dan substansi dasar yang mengandung garam-garam mineral (Subagyo, 2010).

4.1 Bentuk-bentuk Tulang

Tulang bila diklasifikasikan berdasarkan bentuk dan perbedaan ukuran antara lain: tulang panjang, tulang pendek, tulang pipih dan tulang ireguler (Graaff, 1998).

1. Tulang panjang (*long bone*)

Tulang panjang berbentuk seperti pipa tetapi pada ujung-ujungnya lebih besar jika dibandingkan pada bagian tengahnya. Di dalam tulang panjang ini terdapat sumsum tulang. Tulang panjang terdapat pada lengan dan tungkai misalnya tulang humerus, radius, ulna, metakarpal, femur, tibia, fibula dan metatarsal yang biasanya tumbuh dalam satu arah.

2. Tulang pendek (*short bone*)

Tulang pendek berbentuk pendek dan bulat. Tulang pendek ini dibentuk dari jaringan kompakta, sehingga memiliki kekuatan yang mampu menunjang kapasitas pergelangan tangan dan kaki. Jenis tulang ini terdapat pada tulang-tulang pangkal tangan (karpal) dan tulang pangkal kaki (tarsal).

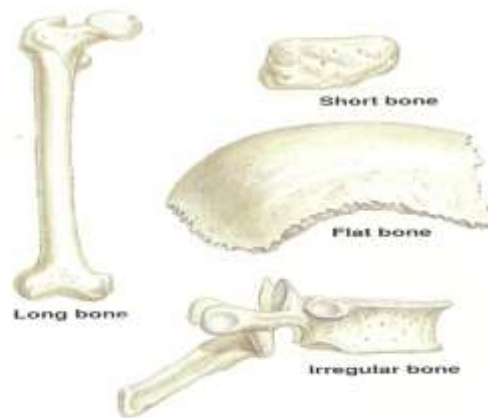
3. Tulang pipih (*flat bone*)

Tulang pipih memiliki permukaan luas yang dapat melindungi organ-organ penting. Bentuk tulang ini pipih dan terdapat pada tulang skapula, tulang sternum, dan tulang kosta.

4. Tulang ireguler (*Irregular bone*)

Tulang ireguler memiliki bentuk yang bervariasi dan banyak fitur permukaannya yang berguna untuk artikulasi otot. contoh tulang ini adalah tulang

vertebra, beberapa tulang kepala. Carola (1992) menyatakan tulang ireguler menyangga *spinal cord* dan melindunginya dari kuatnya tekanan pada vertebrata

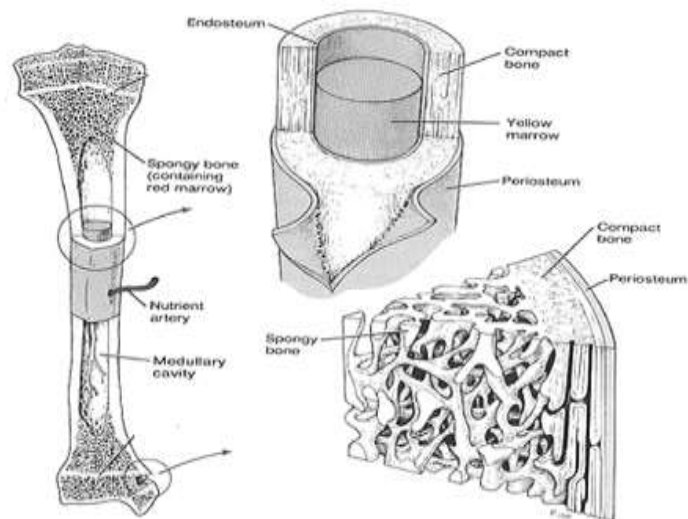


Gambar 4.1 Bentuk-bentuk tulang

4.2 Struktur Tulang secara Makroskopik

Lesson (1996) menjelaskan pengamatan secara makroskopik pada tulang dalam potongan melintang memperlihatkan dua bentuk tulang yaitu: tulang spongiosa (*cancellous*) dan tulang kompakta (padat). Tulang spongiosa terdiri atas trabekula atau balok tulang langsing, tidak teratur, bercabang dan saling berhubungan membentuk anyaman. Celah-celah diantara anyaman itu ditempati oleh sumsum tulang. Tulang kompakta tampak padat, kecuali dilihat dibawah mikroskop. Unsur histologik pada keduanya sama, kecuali pada beberapa tempat. Tulang spongiosa dan kompakta terdapat dalam setiap tulang tetapi jumlah dan penyebarannya sangat berbeda.

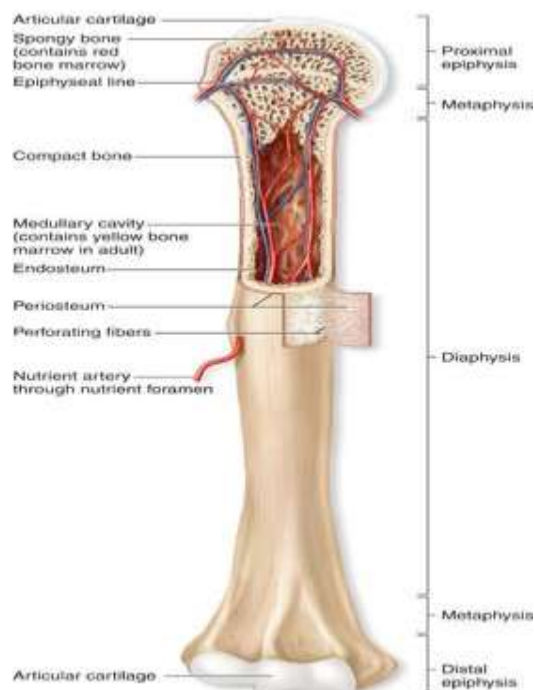
Borer (2005) menjelaskan keseluruhan masa tulang manusia 80% merupakan tulang kompakta dan 20% spongiosa, namun proporsi dan penyebarannya pada setiap jenis tulang berbeda. Tulang kompakta proporsi terbesar berada pada diaphysis tulang panjang (>90%), radius dan ulna memiliki 95% tulang kompakta dan 5% tulang spongiosa sedangkan tulang belakang (vertebra) memiliki 62-70% tulang spongiosa. Sebagian besar tulang ireguler terdiri atas tulang spongiosa yang dibungkus selapis tipis tulang kompakta. Tulang yang mengandung banyak tulang spongiosa berarti mempunyai keaktifan metabolik yang lebih dibandingkan dengan tulang kompakta, oleh karena itu tulang trabekula lebih sering mengalami perubahan mineral sehingga mempunyai predisposisi untuk terjadinya kekurangan massa tulang



Gambar 4.2. struktur makroskopik tulang

4.3 Bagian-bagian tulang

Thibodeu (1994) menjelaskan setiap tulang akan terdiri atas *diaphysis*, *medullary cavity*, *epiphysis*, *metaphysis*, *articular cartilage*, *periosteum* dan *endosteum*. Bagian-bagian ini akan lebih mudah dibedakan pada tulang panjang seperti gambar berikut:



Gambar 4.3 bagian-bagian tulang panjang

1. *Diaphysis* atau *shaf* adalah bagian tulang yang berbentuk pipa berlubang dan sebagian besar terdiri dari tulang kompakta, karena strukturnya yang kuat dan keras sehingga mempermudah gerakan.
2. *Medulla cavity* adalah ruang yang berkembang di dalam *diaphysis* tulang, berisi sumsum tulang berwarna kuning.
3. *Epiphysis* atau ujung tulang yang terdiri atas tulang spongiosa yang dibungkus selapis tipis tulang kompakta dan didalam tulang spongiosa ini terdapat sumsum tulang berwarna merah.
4. *Metaphysis* mempunyai daerah yang luas dan memberikan petunjuk yang baik terhadap mineralisasi dan kondisi struktur jaringan tulang.
5. *Articular cartilage* merupakan penutup lapisan tulang yang tipis di ujung tulang, mempunyai fungsi sebagai pelindung karet pada ujung tulang.
6. *Periosteum* adalah serabut membran yang menutup tulang panjang kecuali pada permukaan sendi yang ditutup oleh *articular cartilage*.
7. *Endosteum* merupakan serabut membran yang segaris dengan *medullary cavity*.

4.4 Fungsi Tulang

Tulang sebagai unsur pokok kerangka tubuh memiliki fungsi antara lain untuk memberi bentuk tubuh, menyangga tubuh, sebagai pengungkit (tuas) dalam pergerakan sendi. melindungi organ dalam, sebagai cadangan kalsium dan fosfat, tempat melakatnya otot, alat gerak pasif yang bergerak dengan bantuan otot, memiliki sumsum tulang sebagai tempat pembentukan sel darah (Burns,1999; Junqueira, 2007).

Junqueira (2007), menyatakan bahwa tulang selain memberikan bentuk tubuh, juga memiliki fungsi lain yang penting untuk tubuh yaitu:

(1) Penyangga

Tulang sebagai kerangka yang menyangga seluruh organ lunak didalam tubuh. Contohnya tulang tungkai berfungsi sebagai pilar untuk menyangga tubuh ketika kita berdiri dan tulang rusuk untuk menyangga dinding thoraks.

(2) Pelindung

Tulang tengkorak menjaga otak agar tetap aman diposisinya. Vertebra yang mengelilingi spinal cord dan tulang rusuk yang membantu melindungi organ vital dalam thoraks.

(3) Pergerakan

Otot skeletal terkait pada tulang melalui tendon dan menggunakan tulang sebagai tuas untuk menggerakkan tubuh. Sehingga kita dapat berjalan, meraih sesuatu dan dapat bernafas. Tulang dikenal sebagai alat gerak pasif yang bergerak dengan bantuan otot

(4) Penyimpanan

Mineral paling penting yang disimpan adalah kalsium dan fosfat, namun potasium, sodium, sulfur, magnesium dan *copper* juga disimpan dalam matriks tulang. Tulang disebut juga depokalsium karena merupakan penyimpanan kalsium terbesar bagi tubuh.

(5) Pembentukan sel darah

Pembentukan sel darah (*hematopoiesis*) terjadi di dalam rongga kavitas sumsum tulang tertentu.

4.5 Komponen Pembentuk Tulang

Tjokroprawiro (2000) menjelaskan secara mikroskopik tulang terdiri dari bahan organik 30% dan mineral 70%. Bahan organik mempunyai komposisi yang terdiri atas matriks (98%) dan sel tulang (2%). Matriks terdiri atas kolagen (95%) dan protein non kolagen (5%). Protein non kolagen antara lain osteokalsin, osteonektin, proteoglikan, sikloprotein, protein morfogenik, proteolipid, dan fosfoprotein. Sel tulang yang menyusun bahan organik tulang sebesar 2% dan terdiri atas osteoblas, osteosit dan osteoklas.

Salah satu penyusun utama tulang dihasilkan dari proses mineralisasi tulang adalah hidroksiapatit (95%). Hidroksiapatit merupakan suatu kristal yang terbentuk dari kalsium dan fosfat. Mineral tulang juga mengandung bikarbonat, sitrat, magnesium, kalsium dan natrium, selain itu kalsium amorf (nonkristal) juga cukup banyak dijumpai di mineral tulang.

4.6 Sel-sel Tulang

Leeson (1996) menjelaskan tulang dapat dibedakan atas lima jenis yaitu sel osteoprogenitor, osteoblas, osteosit, osteoklas dan *lining* sel.

1. Osteoprogenitor (*osteogenic*)

Sel osteoprogenitor merupakan populasi sel induk yang berkembang dari mesenkim. Sel ini biasa ditemukan pada permukaan tulang periosteum, endosteum

dan dalam saluran vaskuler tulang kompakta. Sel ini merespon trauma seperti patah tulang dengan meningkatkan pembentukan tulang. Ada dua jenis osteoprogenitor yaitu preosteoblas dan preosteoklas. (Graaff, 1998; Leeson, 1996).

2. Osteoblas

Lesson (1996) osteoblas bertanggung jawab untuk sintesa komponen matrik tulang (kolagen tipe I, proteoglikan, dan glikoprotein). Osteoblas hanya terdapat pada permukaan tulang dan biasanya ditemukan dalam kelompok-kelompok. Beberapa osteoblas secara berangsur dikelilingi oleh matriks yang baru terbentuk dan bila telah berada di dalam matrik yang baru disintesa osteoblas akan menjadi osteosit.

3. Osteosit

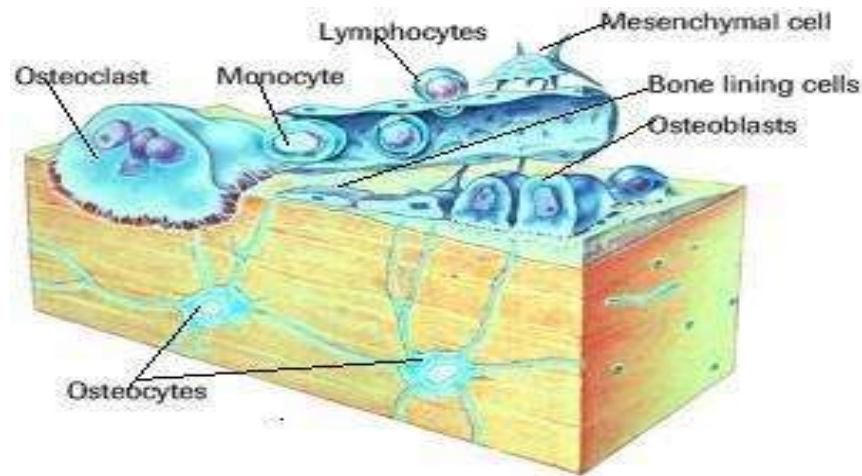
Menurut Junqueira (2007) Osteosit adalah sel osteoblas yang tertanam dalam matrik yang termineralisasi. Osteosit mampu mensintesis matrik tulang walaupun kemampuannya tidak sebaik osteoblas. Interkoneksi antara osteosit, osteoblas dan *bone lining cell* memungkinkan jaringan sel ini mengalami perubahan bentuk tulang, mengkoordinasi pembentukan dan resorpsi tulang, pengaliran ion-ion mineral antara matrik tulang dan cairan ekstrasel.

4. Osteoklas

Osteoklas adalah sel yang dapat bergerak (motil) dan sangat besar. Permukaan tulang disekitar sel osteoklas sering mengalami pengurangan mineral, hal ini mungkin mengindikasikan sel-sel ini terlibat dalam resorpsi tulang. Setelah proses resorpsi tulang, osteoklas menghilang mungkin berdegenerasi atau berubah lagi menjadi sel asalnya (Junqueira, 2007).

5. Sel lining (*bone-lining cells*)

Sel *lining* banyak ditemukan pada permukaan tulang yang sudah dewasa. Sel ini dipercaya berasal dari osteoblas yang berhenti melakukan aktivitas fisiologis dan berbentuk pipih atau gepeng pada permukaan tulang. Sel ini memiliki beberapa fungsi, dapat berfungsi sebagai sel osteogenik yang dapat berkembang dan berdiferensiasi menjadi osteoblas. Sel *lining* juga berperan sebagai ion pembatas pada jaringan tulang. Ion pembatas ini membantu mengatur pergerakan kalsium dan fosfat keluar dan masuk kedalam matrik tulang, dan membantu mengontrol endapan hidroksiapatit pada jaringan tulang. Aktivasi remodeling tulang terjadi pada permukaan tulang tidak aktif, sel lining mungkin terlibat dalam penyebaran sinyal aktivasi yang memulai resorpsi tulang dan remodeling tulang (Carola, 1992).



Gambar 4.4 sel-sel tulang

4.7 Pertumbuhan dan Perkembangan Tulang

Peningkatan pembentukan tulang karena latihan fisik lebih terlihat pada masa pertumbuhan tulang dibandingkan dengan saat dewasa. Mekanisme biologis untuk fenomena ini belum sepenuhnya dipahami, tetapi mungkin terkait dengan fakta bahwa selama masa pertumbuhan, permukaan tulang ditutupi oleh osteoblas aktif yang lebih banyak daripada masa dewasa. Perluasan periosteal terjadi terutama selama masa pertumbuhan, sehingga masa anak-anak dan remaja memberikan kesempatan untuk secara signifikan meningkatkan pertumbuhan periosteal dengan olahraga. Sehingga dapat disimpulkan olahraga selama pertumbuhan dan dewasa muda juga dapat mengurangi risiko patah tulang dan osteoporosis. Lebih lanjut Junqueira (2007) menjelaskan tulang dapat dibentuk dengan dua cara yaitu: mineralisasi langsung dari matriks yang disekresi osteoblas (osifikasi intramembranosa) atau deposisi matriks tulang pada matriks tulang rawan yang sudah ada (osifikasi endokondral).

1. Osifikasi intramembranosa

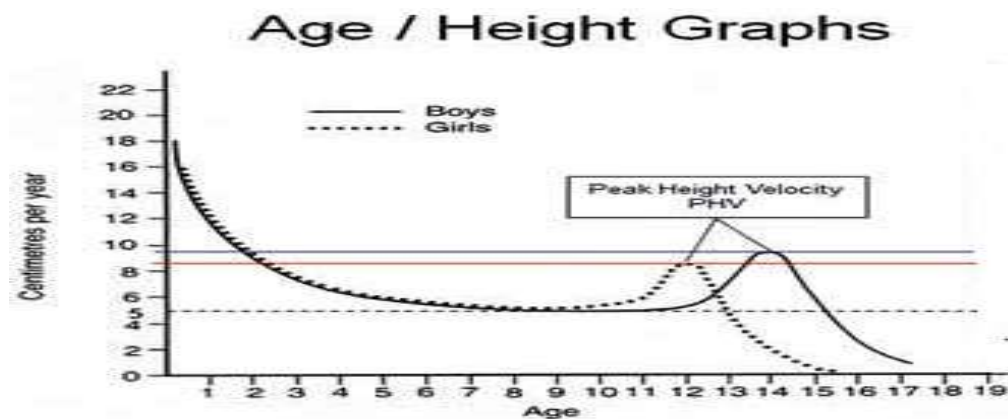
Proses osifikasi intramembranosa terjadi didalam kondensasi jaringan mensekim. Membran mensekim menjadi vaskular dan sejumlah sel mulai berkembang menjadi sel osteoprogenitor. Sel-sel ini membesar menjadi sel osteoblas. Sel osteoblas mulai membentuk matriks tulang baru yang belum mengapur dan merupakan unsur organik tulang yang disebut osteoid. Matriks itu

kemudian mengalami transformasi sehingga dapat mengalami pengapuran dan menjadi keras. Mineral yang merupakan kristal halus diendapkan secara beraturan dengan serat kolagen. Sekeliling osteoblas yang telah mengapur terbentuk lakuna dan kanalikuli, pada keadaan ini osteoblas telah menjadi osteosit. Aktivitas osteoblas ini menyebabkan terjadi penambahan penebalan tulang.

2. Osifikasi endokondral

Proses osifikasi endokral merupakan proses yang mencakup pergantian tulang rawan dengan tulang, paling jelas terlihat pada tulang panjang. Pembentukan tulang diawali pada daerah perikondrium yang melingkari bagian tengah diafisis. Perikondrium berfungsi osteogenik dan menjadi osteoblas yang mulai membentuk tulang secara intramembranosa. Pada tahap berikut tulang rawan mengalami proses degeneratif kemudian osteoblas melekat pada matriks tulang yang telah mengapur dan menghasilkan lapisan-lapisan tulang primer yang mengelilingi sisa matriks tulang rawan. Pada proses selanjutnya terbentuk pusat osifikasi primer dan kemudian muncul pusat osifikasi sekunder di bagian ujung yang membesar pada epifisis. Selama perluasan dan remodeling berlangsung pusat osifikasi sekunder dan primer membentuk rongga yang secara berangsur diisi dan dipenuhi oleh sumsum tulang. Pertumbuhan memanjang tulang terjadi melalui proliferasi kondrosit dalam lempeng epifisis, pada waktu yang bersamaan kondrosit pada diafisis mengalami hipertropi kemudian matriksnya mengalami pengapuran. Osteoblas meletakkan selapis tulang primer pada matriks yang mengapur tersebut.

Pada saat bayi dan remaja, tulang panjang bertumbuh memanjang sepenuhnya oleh karena pertumbuhan pada lempeng pertumbuhan epifisis dan semua pertumbuhan tulang yang menebal terjadi akibat suatu proses yang disebut *appositional growth* (proses pertumbuhan dimana ketebalan tulang meningkat). Hampir semua tulang pertumbuhannya berhenti saat masa remaja atau menginjak dewasa. Pertumbuhan pesat tulang terjadi pada saat manusia mengalami pubertas, untuk lebih jelasnya pertumbuhan tulang digambarkan oleh grafik berikut.

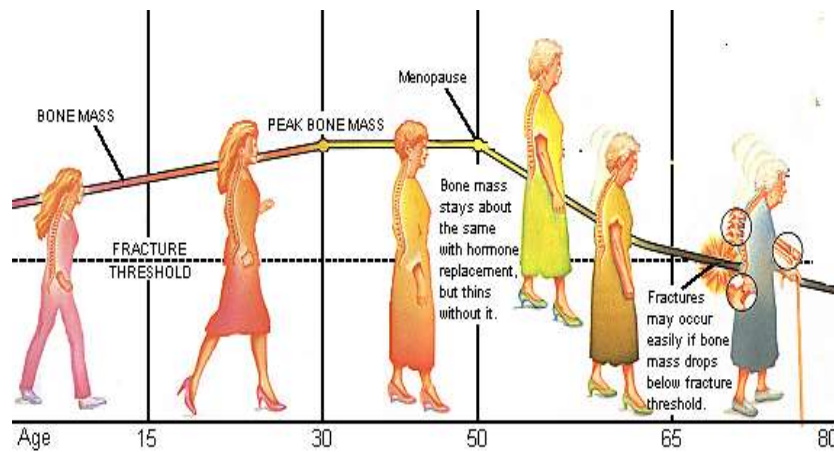


Gambar 4.5 Grafik pertumbuhan tulang

4.8 Remodeling Tulang

Ganong (2008) menjelaskan tulang secara terus menerus mengalami proses remodeling yaitu matrik diserap dan dibentuk lagi yang memungkinkan tulang berespons terhadap stres dan tekanan yang mengenainya. Sel yang berperan membentuk tulang adalah osteoblas dan sel yang berperan menyerap tulang adalah osteoklas. Osteoblas normal mampu meletakkan kolagen tipe I dan membentuk tulang baru, sedangkan osteoklas mengikis dan menyerap tulang yang sudah terbentuk.

Proses remodeling tulang terus terjadi pada manusia sejak dilahirkan dan diatur oleh tubuh sehingga remodeling terjadi secara seimbang. Proses ini juga akan mempengaruhi proses osifikasi intramembranosa yang artinya juga mempengaruhi proses penebalan dan pemadatan tulang. Tulang yang mengalami gangguan remodeling akan mempengaruhi kepadatan tulang. Apabila proses resorpsi yang terjadi lebih sering dibandingkan proses pembentukan kembali maka lama kelamaan tulang yang terus-menerus diambil mineralnya akan mengalami pengurangan mineral sehingga tulang tidak lagi padat atau mengeropos. Tulang akan mengalami gangguan ini rata-rata ketika seseorang berada di usia 30 tahun, hal ini terjadi karena tulang memasuki fase degeneratif.



Gambar 4.6 Perkembangan tulang

Rangkuman

Tulang merupakan jaringan kompleks yang terdiri atas sel dan matriks. Matriks tulang dibentuk oleh serat-serat dan substansi dasar yang mengandung garam-garam mineral. Tulang sebagai unsur pokok kerangka tubuh memiliki fungsi antara lain untuk memberi bentuk tubuh, menyangga tubuh, sebagai pengungkit (tuas) dalam pergerakan sendi, melindungi organ dalam, sebagai cadangan kalsium dan fosfat, tempat melakatnya otot, alat gerak pasif yang bergerak dengan bantuan otot, memiliki sumsum tulang sebagai tempat pembentukan sel darah. Tulang dapat dibedakan atas lima jenis yaitu sel osteoprogenitor, osteoblas, osteosit, osteoklas dan *lining* sel. Masing-masing sel memiliki peranan tersendiri dalam proses perkembangan dan pertumbuhan sel. Tulang dapat dibentuk dengan dua cara yaitu: mineralisasi langsung dari matriks yang disekresi osteoblas (osifikasi intramembranosa) atau deposisi matriks tulang pada matriks tulang rawan yang sudah ada (osifikasi endokondral). Perkembangan tulang memadat terjadi secara intramembranosa sedangkan pertumbuhan tulang memanjang terjadi secara endokondral. Tulang secara terus menerus mengalami proses remodeling yaitu matrik diserap dan dibentuk lagi yang memungkinkan tulang berespons terhadap stres dan tekanan yang mengenainya. Sel yang berperan membentuk tulang adalah osteoblas dan sel yang berperan menyerap tulang adalah osteoklas.

Latihan

Jawablah pertanyaan di bawah ini!

1. Jelaskan fungsi-fungsi tulang!
2. Apa yang dimaksud tulang sebagai depokalsium dan alat gerak pasif dalam proses pergerakan manusia?
3. Jelaskan bagaimana proses tulang tumbuh memanjang?

4. Bagaimana mengoptimalakan pertumbuhan tulang dan kapan waktu yang tepaik untuk mengoptimalkannya?
5. Jelaskan bagaimana tulang memajang dan menjadi padat?
6. Bagaimanakah proses remodeling tulang terjadi?