

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Tulang**

##### **1. Definisi**

Tulang merupakan jaringan ikat khusus yang berfungsi menunjang struktur berdaging, melindungi organ-organ vital seperti yang terdapat dalam kranium dan rongga dada, dan mengandung sumsum tulang, tempat sel-sel darah dibentuk. Tulang juga berfungsi sebagai cadangan kalsium, fosfat dan ion lain yang dapat dibebaskan atau ditimbun secara terkendali untuk mempertahankan konsentrasi ion-ion tersebut tetap dalam cairan tubuh (Junqueira dan Carneiro, 2005)

##### **2. Fisiologi**

Selanjutnya menurut Dempster (2006), fungsi tulang pada manusia ada lima, yaitu

- 1) Sebagai penyangga tubuh
- 2) Sebagai tempat penyimpanan kalsium, fosfat, natrium, dan magnesium
- 3) Tempat diproduksi sel-sel darah (eritrosit, leukosit, trombosit)
- 4) Melindungi organ tubuh
- 5) Tumpuan gaya mekanis yang diterima oleh tubuh

##### **3. Struktur**

Tulang merupakan komponen utama yang menyusun system musculoskeletal pada manusia. Sekitar 25% dari berat total tubuh manusia terdiri dari tulang, Tulang sendiri tersusun atas (Dempster, 2006; Bukka, *et al.*, 2004)

a) Matriks organic (35%)

Matriks organic tulang disusun oleh protein dan sel-sel tulang yaitu osteoblas, osteoklas dan osteosit. Sebagian besar berupa kolagen tipe I (90-95%), sisanya merupakan protein non kolagen (proteoglikan, glikoprotein).

b) Komponen anorganik (65%)

Komponen nonorganik yang menyusun tulang sebagian besar merupakan kalsium hidroksi apatit [ $3 \text{ Ca}_3 (\text{PO}_4)_2 \text{ Ca} (\text{OH})_2$ ]. yang membuat struktur tulang menjadi kuat dan keras. Kalsium hidroksi apatit ini selain berperan dalam menguatkan dan mengeraskan jaringan tulang juga dapat menyimpan 99% cadangan kalsium tubuh, 85% fosfat, dan 65% magnesium. Selain itu, tulang juga mengandung air sebesar 20% dari besar totalnya.

Dalam tubuh manusia terdapat 206 tulang yang dapat diklasifikasikan dalam empat kategori, antara lain (Smeltzer dan Bare, 2001)

a) Tulang panjang (misal: Femur)

Tulang femur berbentuk seperti tangkai atau batang panjang dengan ujung yang membulat. Batang (diafisis), terutama tersusun atas tulang kortikal, ujung tulang panjang (epifisis) tersusun oleh tulang spongiosa. Plat epifisis memisahkan epifisis dari diafisis dan merupakan pusat pertumbuhan longitudinal pada anak-anak. Sedangkan pada orang dewasa mengalami kalsifikasi. Ujung tulang panjang

ditutupi oleh kartilago artikular pada sendi-sendinya. Tulang panjang disusun untuk menyangga berat badan dan gerakan.

- b) Tulang pendek (misal: tulang tarsalia, metacarpal) terdiri dari inti yaitu tulang spongiosa dengan suatu lapisan luar yaitu tulang kortikal
- c) Tulang pipih (misal: sternum). Tulang pipih tersusun atas tulang spongiosa di antara dua tulang kortikal. Sternum merupakan tempat penting untuk hematopoiesis dan sering memberikan perlindungan bagi organ vital.
- d) Tulang tak teratur (misal: vertebra). Tulang jenis ini mempunyai bentuk unik sesuai dengan fungsinya masing-masing. Secara umum, struktur tulang tak teratur sama dengan struktur tulang pipih

Secara makroskopis, bentuk tulang yang berjumlah 206 buah tadi dibagi atas dua jenis, yaitu tulang kortikal atau tulang kompakta (*dense bone*) dan tulang trabekular atau tulang spongiosa (*cancellous bone*). Jumlah dan komposisi matriks ekstraseluler pada kedua jenis tulang tersebut sama, tetapi susunan sel osteosit, *canaliculli*, dan lamella nya berbeda. Perbedaan yang lain juga terdapat dalam hal kemampuan menahan beban mekanis yang diterima oleh tubuh. Tulang kortikal pada umumnya lebih tahan terhadap beban mekanis yang arahnya searah dengan sumbu tulang (*compression force*) dibandingkan dengan tulang spongiosa, tetapi kurang tahan terhadap beban yang tegak lurus dengan sumbu tulang (*tension force*). Tulang kortikal tersusun atas beberapa unit fungsional yang disebut *osteon* (*Haversian system*). Setiap osteon mengandung sel osteosit yang terdapat dalam suatu lacuna dan disusun secara melingkar pada lamella concentric membentuk suatu terowongan yang disebut central canal (*Haversian's canal*). Terowongan

ini biasanya mengandung banyak pembuluh darah kecil yang memberi nutrisi kepada osteosit yang terdapat di bagian luar jaringan tulang kortikal, sedangkan di bagian dalamnya dinutrisi oleh pembuluh darah yang mengalir melalui perforating canak (*canals of Volkman*). Hal ini berbeda dengan tulang spongiosa, dimana sel osteosit mendapatkan nutrisi melalui proses difusi yang terjadi di sepanjang canaliculli (Dempster, 2006; Robey & Boskey, 2006)

#### 4. Sel Tulang

Sel yang membentuk tulang berasal dari sel mesenkim dan sel stem hematopoetik. Melalui proses proliferasi dan diferensiasi, kedua sumber sel tulang ini menghasilkan berbagai jenis sel yang berfungsi untuk membentuk dan menyerap jaringan tulang secara terus-menerus. Selain itu, sel tulang yang dihasilkan dari proses diferensiasi tersebut mempunyai peran untuk menjaga keseimbangan mineral dan reparasi tulang. Proliferasi dan diferensiasi sel mesenkim dan sel stem hematopoetik ini menjadi berbagai jenis sel tulang yang terjadi secara terus-menerus dan dirangsang oleh berbagai sitokin dan factor pertumbuhan (*growth factor*) yang disekresi oleh platelet, makrofag, dan sel tulang itu sendiri (Gerstenfeld dan Eihorn, 2006).

Menurut Price & Wilson (2006), tulang adalah suatu jaringan dinamis yang tersusun dari tiga jenis sel : **osteoblas, osteosit, dan osteoklas.**

Osteoblas membangun tulang dengan membentuk kolagen tipe I dan proteoglikan sebagai matriks tulang atau jaringan osteoid melalui suatu proses yang disebut osifikasi. Ketika sedang aktif menghasilkan jaringan osteoid, osteoblas mensekresi sejumlah besar alkaline fosfatase, yang memegang peranan

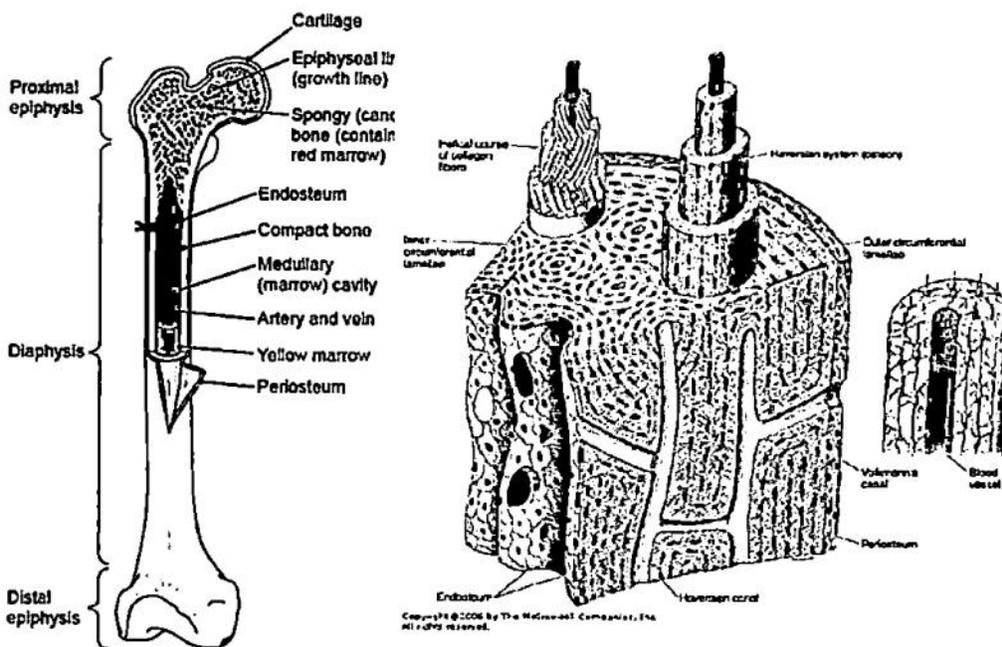
penting dalam mengendapkan kalsium dan fosfat ke dalam matriks tulang. Sebagian alkaline fosfatase di dalam darah dapat menjadi indikator yang baik tentang tingkat pembentukan tulang setelah mengalami patah tulang.

Osteosit adalah sel-sel tulang dewasa yang bertindak sebagai suatu lintasan untuk pertukaran kimiawi melalui tulang yang padat, dan terlibat dalam pemeliharaan fungsi tulang dan terletak di dalam osteon (inti matriks tulang).

Osteoklas adalah sel-sel besar multinuclear (berinti banyak) yang memungkinkan mineral dan matriks tulang dapat diabsorpsi. Tidak seperti osteoblas dan osteosit, osteoklas mengikis tulang. Sel-sel ini menghasilkan enzim-enzim proteolitik yang memecahkan matriks dan beberapa asam yang melarutkan mineral tulang, sehingga kalsium dan fosfat terlepas ke dalam aliran darah. Osteoklas ini berperan dalam penghancuran, resorpsi dan remodeling tulang (Smeltzer dan Bare, 2001)

Permukaan luar dan dalam tulang ditutupi oleh lapisan sel-sel pembentuk tulang dan jaringan ikat yang disebut **periosteum** dan **endosteum**. Periosteum terdiri atas lapisan luar yaitu serat-serat kolagen dan fibroblast. Berkas serat-serat kolagen periosteum yang disebut serat *sharpey*, menerobos matriks tulang dan melekatkan periosteum pada tulang. Periosteum juga berfungsi untuk tempat perlekatan tendon dan ligament, dan mengandung saraf, pembuluh darah, dan limfatik. Lapis dalam yang lebih selular dari periosteum terdiri atas sel-sel gepeng dengan potensi membelah melalui mitosis dan berdiferensiasi menjadi osteoblas yang berperan dalam proses pertumbuhan transversal tulang panjang. Endosteum melapisi semua lapisan rongga di dalam tulang dan terdiri atas selapis sel

osteoprogenitor gepeng dan sedikit sekali jaringan ikat. Osteoklas yang melarutkan utlang untuk memelihara rongga sumsum, terletak di dekat endosteum dan dalam lacuna Howship (cekungan pada permukaan tulang). Fungsi utama periosteum dan endosteum adalah nutrisi jaringan tulang dan persediaan secara tetap osteoblas baru untuk keperluan perbaikan atau pertumbuhan tulang. Oleh karena itu diperlukan perhatian khusus untuk mempertahankan periosteum dan endosteum selama pembedahan tulang (Junqueira dan Cornerio, 2005).



**Gambar 1. Struktur Sel Tulang**

(Junqueira dan Cornerio, 2005)

Jaringan tulang dapat berbentuk tulang anyaman (*primer/immature/woven bone*) atau tulang lamellar (*sekunder/mature*). Tulang anyaman/*primer* adalah jaringan tulang yang pertama kali terbentuk selama perkembangan embrional, proses reparasi patah tulang dan penyembuhan yang lain. Ciri khas dari tulang anyaman ini adalah berkas-berkas serabut kolagen tersusun tidak teratur, serat-

seratnya jauh lebih kasar, matriks organik tercat basofil tidak merata, mineral lebih sedikit dibanding tulang lamellar. Tulang anyaman adalah jaringan yang bersifat sementara, melalui proses *remodeling* tulang ini berubah menjadi tulang lamellar. Tulang lamellar (tulang sekunder) merupakan tulang utama skleton dewasa. Ciri khas dari tulang ini adalah lacuna pipih, tersebar teratur dalam matriks, serabut kolagen juga tersusun teratur membentuk lamella. Tulang lamellar mungkin terdapat dalam bentuk massa padat, yang disebut dengan tulang kompak atau terdapat, dalam bentuk mirip spons, disebut tulang spons (*cancellosa/trabekula*) (Junqueira dan Carneiro, 2005)

## 5. Osteogenesis

Tulang dapat dibentuk melalui dua cara, yaitu melalui mineralisasi langsung pada matriks yang disekresi oleh osteoblas (*osifikasi intramembranosa*) atau melalui penimbunan matriks tulang pada matriks tulang rawan sebelumnya (*osifikasi endokondral*). (Junqueira dan Carneiro, 2005).

Pada kedua proses itu, jaringan tulang yang pertama kali dibentuk adalah primer atau muda. Tulang primer adalah jaringan yang bersifat sementara dan tidak lama kemudian diganti oleh jenis tulang berlamela yang tetap, disebut sebagai tulang sekunder. Selama pertumbuhan tulang, tampak daerah tulang primer, daerah resorpsi, dan daerah tulang berlamela bersebelahan. Kombinasi sintesis dan perombakan (*remodeling*) tulang ini tidak hanya terdapat pada tulang yang sedang tumbuh namun juga sepanjang hidup orang dewasa, meskipun kecepatan perubahan itu lebih lambat.

### Osifikasi Intramembranosa

Osifikasi intramembranosa, sumbernya hampir semua adalah tulang pipih, disebut demikian karena berlangsung di daerah-daerah pematatan jaringan mesenkim. Tulang frontal dan perietal tengkorak dibentuk melalui osifikasi membranosa. Selain itu, osifikasi intramembranosa juga mengatur pertumbuhan tulang-tulang pendek dan penebalan tulang-tulang panjang.

Dalam lapis padat mesenkim, titik awal osifikasi disebut pusat osifikasi primer. Proses ini dimulai bila kelompok sel-sel berdeferensiasi menjadi osteoblas. Matriks tulang yang baru terbentuk dan diikuti kalsifikasi, mengakibatkan terkurungnya beberapa osteoblas, yang kemudian menjadi osteosit. Pulau-pulau tulang yang sedang berkembang ini dikenal sebagai spikul karena penampakan mereka pada sediaan histologis; mereka adalah bagian dinding yang melukiskan kavitas panjang yang mengandung kapiler, sel-sel sumsum tulang, dan sel-sel pra-kembang. Beberapa kelompok demikian timbul hampir serentak pada pusat osifikasi, sehingga peleburan spikul-spikul ini memberitulang ini perangai spons. Jaringan ikat yang tertinggal diantara spikul tulang dimasuki oleh pembuluh-pembuluh darah serta sel-sel mesenkim prakembang tambahan, menghasilkan sel-sel sumsum tulang.

Sel-sel jaringan mesenkim padat membelah, menghasilkan lebih banyak osteoblas, yang berfungsi melanjutkan pertumbuhan pusat osifikasi. Berbagai pusat osifikasi tulang tumbuh secara radial dan akhirnya menyatu mengganti jaringan ikat yang ada di situ. Pada bayi baru lahir misalnya, fontanel merupakan daerah lunak pada tengkorak yang sesuai dengan bagian jaringan ikat yang belum mengalami penulangan. Bagian lapisan jaringan ikat yang tidak mengalami

osifikasi akan menjadi endosteum dan periosteum dari tulang intramembranosa. (Junqueira dan Carneiro, 2005).

### **Osifikasi Endokondral**

Osifikasi endokondral ini terutama bertugas membentuk tulang-tulang panjang dan pendek. Pada dasarnya, osifikasi endokondral terbagi dalam dua tahap. Tahap pertama mencakup hipertrofi dan destruksi kondrosit dari model tulang, hingga akhirnya terjadi lakuna melebar yang dipisahkan oleh septa matriks tulang rawan yang mengapur. Pada tahap kedua, sebuah kuncup osteogenik terdiri atas sel-sel osteoprogenitor dan kapiler-kapiler darah menerobos ke dalam celah-celah yang ditinggalkan oleh kondrosit yang berdegenerasi. Sel osteoprogenitor menghasilkan osteoblas, yang menutupi septa tulang rawan dengan matriks tulang. Septa jaringan tulang rawan yang mengapur berfungsi sebagai penunjang bagi awal osifikasi. (Junqueira dan Carneiro, 2005).

## **B. Fraktur Tulang**

### **1. Definisi**

Fraktur adalah putusnya kontinuitas tulang, tulang rawan epifisis atau tulang rawan sendi (Reksoprodjo, 2000). Menurut Smeltzer and Bare (2001) fraktur adalah terputusnya kontinuitas tulang dan ditentukan sesuai jenis dan luasnya

### **2. Etiologi**

Penyebab fraktur adalah trauma. Trauma ini bisa bersifat langsung atau tidak langsung. Trauma langsung berarti benturan pada tulang dan mengakibatkan

fraktur di tempat itu, trauma tidak langsung bilamana titik tumpu benturan dengan terjadinya fraktur berjauhan. (Reksoprodjo, 2000)

Fraktur terjadi jika tulang dikenai stress yang lebih besar dari yang dapat diabsorpsinya. Fraktur dapat disebabkan oleh pukulan langsung, gaya meremuk, gerakan puntir mendadak, dan bahkan kontraksi otot ekstrim. Meskipun tulang patah, jaringan sekitarnya juga akan terpengaruh, mengakibatkan edema jaringan lunak, perdarahan ke otot dan sendi, dislokasi sendi, ruptur tendo, kerusakan saraf, dan kerusakan pembuluh darah. Organ tubuh dapat mengalami cedera akibat gaya yang disebabkan oleh fraktur atau akibat fragmen tulang (Smeltzer dan Bare, 2001).

Fraktur tulang juga bisa disebabkan oleh penyakit yang berasal di dalam atau di luar tulang, yang disebut fraktur patologik. Penyebab yang paling sering dari fraktur-fraktur semacam ini adalah tumor primer atau tumor metastatis (Price dan Wilson, 2006)

### 3. Klasifikasi

Menurut Reksoprodjo (2000), fraktur diklasifikasikan menjadi :

#### a. Komplit dan tidak komplit

- Fraktur komplit
- Fraktur tidak komplit, antara lain
  - *Hairline fracture*
  - *Buckle fracture*
  - *Greenstick fracture*

#### b. Bentuk grasi patah dan hubungannya dengan mekanisme trauma

- Garis patah melintang
  - Garis patah oblique
  - Garis patah spiral
  - Fraktur kompresi
  - Fraktur avulsi
- c. Jumlah garis patah
- Fraktur kominutif
  - Fraktur segmental
  - Fraktur multipel
- d. Bergeser-tidak bergeser
- Fraktur undisplaced (tidak bergeser)
  - Fraktur displaced (bergeser)
    - *Dislokasi ad longitudinam cum contractionum*
    - *Dislokasi ad axim*
    - *Dislokasi ad latus*
- e. Terbuka-tertutup
- Fraktur terbuka
  - Fraktur tertutup

#### 4. Manifestasi Klinis

Manifestasi klinis fraktur adalah berupa nyeri, hilangnya fungsi, deformitas, pemendekan ekstremitas, krepitus, pembengkakan lokal dan perubahan warna.

Nyeri terus menerus dan bertambah beratnya sampai fragmen tulang diimobilisasi. Spasme otot yang menyertai fraktur merupakan bentuk bidai alamiah yang dirancang untuk meminimalkan gerakan antar fragmen tulang.

Pergeseran fragmen pada fraktur lengan atau tungkai menyebabkan deformitas ekstermitas yang bisa diketahui dengan membandingkan dengan ekstermitas normal. Ekstermitas tidak dapat berfungsi dengan baik karena fungsi normal otot bergantung pada integritas tulang tempat melengketnya otot.

Pada fraktur panjang, terjadi pemendekan tulang yang sebenarnya karena kontraksi otot yang melekat di atas dan bawah tempat fraktur.

Saat ekstermitas diperiksa dengan tangan, teraba adanya krepitasi yang diakibatkan gesekan antara fragmen satu dengan yang lainnya.

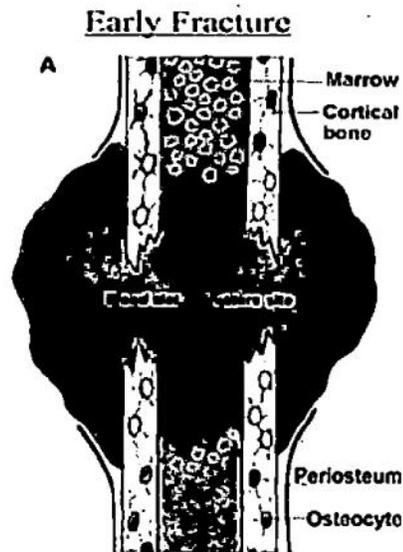
Pembengkakan dan perubahan warna lokal pada kulit terjadi sebagai akibat trauma dan perdarahan yang mengikuti fraktur. Tanda ini bisa baru terjadi setelah beberapa jam atau hari setelah cedera. (Smeltzer dan Bare, 2001)

## **5. Penyembuhan Tulang**

Kebanyakan patah tulang sembuh melalui osifikasi endokondral. Ketika tulang mengalami cedera, fragmen tulang tidak hanya ditambal dengan jaringan parut. Namun tulang mengalami regenerasi sendiri. Ada beberapa tahapan dalam penyembuhan tulang (Smeltzer dan Bare, 2001)

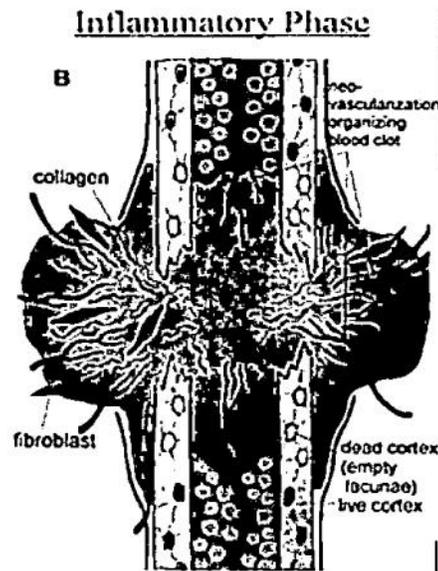
- (1) Inflamasi
- (2) Proliferasi sel
- (3) Pembentukan kalus
- (4) Penulangan kalus

- (5) Remodelling menjadi tulang dewasa



**Gambar 2. Gambaran Tahap Awal Fraktur**  
(Gibson, 2004)

**Inflamasi.** Dengan adanya patah tulang, tubuh mengalami respons yang sama dengan bila ada cedera di lain tempat dalam tubuh. Terjadi perdarahan dalam jaringan yang cedera dan terjadi pembentukan hematoma pada tempat patah tulang. Ujung fragmen tulang mengalami devitalisasi karena terputusnya pasokan darah. Tempat cedera kemudian akan diinvasi oleh makrofag (sel darah putih besar), yang akan membersihkan daerah tersebut. Terjadi inflamasi, pembengkakan dan nyeri. Tahap inflamasi berlangsung beberapa hari dan hilang dengan berkurangnya pembengkakan dan nyeri. (Smeltzer dan Bare, 2001)



**Gambar 3. Gambaran Tahap Inflamasi**

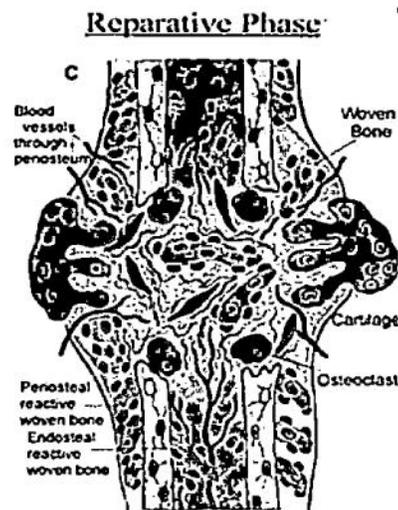
(Gibson, 2004)

**Proliferasi sel.** Dalam sekitar 5 hari, hematoma akan mengalami organisasi. Terbentuk benang-benang fibrin dalam jendalan darah, membentuk jaringan untuk revaskularisasi dan invasi fibroblast dan osteoblast.

Fibroblast dan osteoblas (berkembang dari osteosit, sel endotel, dan sel periosteum) akan menghasilkan kolagen dan proteoglikan sebagai matriks kolagen pada patahan tulang. Terbentuk jaringan ikat fibrous dan tulang rawan (osteoid). Dari periosteum, tampak pertumbuhan melingkar. Kalus tulang rawan tersebut dirangsang oleh gerakan mikro minimal pada tempat patah tulang. Tetapi, gerakan yang berlebihan akan merusak struktur kalus. Tulang yang sedang aktif tumbuh menunjukkan potensial elektronegatif. (Smeltzer dan Bare, 2001)

**Pembentukan kalus.** Pertumbuhan jaringan berlanjut dan lingkaran tulang rawan tumbuh mencapai sisi lain sampai celah sudah terhubung. Fragmen patahan tulang digabungkan dengan jaringan fibrous, tulang rawan dan tulang

serat imatur. Bentuk kalus dan volume yang dibutuhkan untuk menghubungkan defek secara langsung berhubungan dengan jumlah kerusakan dan pergeseran tulang. Perlu waktu 3 sampai 4 minggu agar fragmen tulang tergabung dalam tulang rawan atau jaringan fibrous. Secara klinis, fragmen tulang tak bisa lagi digerakkan. (Smeltzer dan Bare, 2001)



**Gambar 4. Gambaran Pembentukan Kalus**

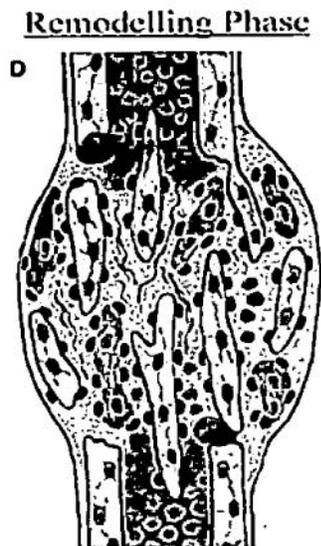
(Gibson, 2004)

**Osifikasi.** Pembentukan kalus mulai mengalami penulangan dalam 2 sampai 3 minggu patah tulang melalui proses penulangan endokondral. Mineral terus menerus ditimbun sampai tulang benar-benar telah bersatu dengan keras. Permukaan kalus tetap bersifat elektronegatif. Pada patah tulang panjang orang dewasa normal, penulangan memerlukan waktu 3 sampai 4 bulan. (Smeltzer dan Bare, 2001)

**Remodeling.** Tahap akhir perbaikan patah tulang meliputi pengambilan jaringan mati dan reorganiasi tulang baru ke susunan struktural sebelumnya.

Remodeling memerlukan waktu berbulan-bulan sampai bertahun-tahun tergantung modifikasi tulang yang dibutuhkan, fungsi tulang dan stres fungsional pada tulang. Tulang spongiosus mengalami penyembuhan dan remodeling lebih cepat daripada tulang kortikal kompak, khususnya pada titik kontak langsung. Ketika remodeling telah sempurna, muatan permukaan patah tulang tidak lagi negatif.

Proses penyembuhan tulang dapat dipantau dengan pemeriksaan radiologi. Imobilisasi harus memadai hingga tampak tanda-tanda adanya kalus pada gambaran sinar-x. (Smeltzer dan Bare, 2001)



**Gambar 5. Gambaran Tahap Remodelling**  
(Gibson 2004)

#### **6. Faktor yang mempengaruhi penyembuhan fraktur**

Tulang yang fraktur tidak selalu dapat bersatu kembali sesuai dengan waktu yang diharapkan. Sebuah studi menyatakan bahwa beberapa kasus fraktur pada

tulang membutuhkan waktu lebih lama (*delayed union*) atau menyambung tetapi tidak sesuai dengan posisi anatomi yang diharapkan (*malunion*), bahkan fragmen yang fraktur tidak terjadi penyambungan sama sekali (*nonunion*). Hal ini dapat terjadi karena penyembuhan fraktur tulang dipengaruhi oleh beberapa faktor (Joseph, 2000)

Faktor yang mempercepat penyembuhan fraktur:

- Imobilisasi fragmen tulang
- Kontak fragmen tulang maksimal
- Asupan darah yang memadai
- Nutrisi yang baik
- Latihan-pembebanan berat badan untuk tulang panjang
- Hormon-hormon pertumbuhan, tiroid, kalsitonin, vitamin D, steroid anabolik
- Potensial listrik pada patahan tulang

Faktor yang menghambat penyembuhan fraktur :

- Trauma lokal ekstensif
- Kehilangan tulang
- Imobilisasi tak memadai
- Rongga atau jaringan di antara fragmen tulang
- Infeksi
- Keganasan lokal
- Penyakit tulang metabolik
- Radiasi tulang

- Usia (lansia sembuh lebih lama)
- Kortikosteroid (menghambat kecepatan perbaikan)

(Smeltzer dan Bare 2001)

Berdasarkan penjelasan di atas, salah satu faktor yang mempengaruhi penyembuhan patah tulang adalah nutrisi. Pada penderita malnutrisi, penyembuhan fraktur tulang lebih lama sembuh karena protein yang diperlukan untuk mensintesa faktor pertumbuhan tidak tersedia sehingga aktivitas metabolisme sel tulang menjadi terganggu. Yahiro (2001), juga mengungkapkan bahwa salah satu hal yang terpenting dalam penyembuhan fraktur tulang adalah nutrisi, itu sebabnya sangat diperlukan kalsium dan vitamin D yang cukup pada proses penyembuhannya.

Tulang sensitif terhadap beberapa faktor nutrisi, terutama sekali selama pertumbuhan. Pemasukan protein makanan yang tidak mencukupi menyebabkan kekurangan asam amino, yang berakibat penurunan sintesis kolagen oleh osteoblas. Defisiensi kalsium menyebabkan pengapuran tidak sempurna dari matriks organik tulang; keadaan ini dapat disebabkan oleh kurangnya kalsium dalam makanan atau kekurangan vitamin D yang penting untuk penyerapan kalsium dan fosfat oleh usus kecil. Vitamin lain yang bekerja pada tulang secara langsung adalah vitamin C, yang penting untuk sintesis kolagen oleh osteoblas dan osteosit. Defisiensi vitamin C mempengaruhi pertumbuhan tulang dan mengganggu proses perbaikan fraktur dengan mengubah penimbunan kolagen (Junqueira dan Carneiro, 2005).

### C. Kalsium

Kalsium merupakan mineral yang paling banyak terdapat di dalam tubuh, yaitu 1,5-2% dari berat badan orang dewasa. Di dalam tubuh manusia terdapat kurang lebih 1 kg kalsium (Granner, 2003). Dari jumlah ini, 99% berada di dalam jaringan keras, yaitu tulang dan gigi terutama dalam bentuk hidroksiapatit  $\{(3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2)\}$ . Kalsium tulang berada dalam keadaan seimbang dengan kalsium plasma pada konsentrasi kurang lebih 2,25-2,60 mmol/l (9-10,4 mg/100ml). Densitas tulang berbeda menurut umur, meningkat pada bagian pertama kehidupan dan menurun secara berangsur setelah dewasa. Selebihnya kalsium tersebar luas didalam tubuh. Di dalam cairan ekstraselular dan intraselular kalsium memegang peranan penting dalam mengatur fungsi sel, seperti untuk transmisi saraf, kontraksi otot, penggumpalan darah dan menjaga permeabilitas membran sel. Kalsium juga mengatur pekerjaan hormon-hormon dan faktor pertumbuhan (Almatsier, 2004)

Kalsium mempunyai peran penting di dalam tubuh, yaitu dalam pembentukan tulang dan gigi; dalam pengaturan fungsi sel pada cairan ekstraselular dan intraselular, seperti untuk transmisi saraf, kontraksi otot, penggumpalan darah, dan menjaga permeabilitas membran sel. Selain itu, kalsium juga mengatur pekerjaan hormon-hormon dan faktor pertumbuhan.

Almatsier (2004) menyebutkan bahwa kalsium dalam tulang mempunyai dua fungsi : (a) sebagai bagian integral dari struktur tulang, (b) sebagai tempat menyimpan kalsium.

Proses pembentukan tulang dimulai pada awal perkembangan janin, dengan membentuk matriks yang kuat, tetapi masih lunak dan lentur yang merupakan cikal bakal tulang tubuh. Matriks yang merupakan sepertiga bagian dari tulang terdiri atas serabut yang terbuat dari kolagen yang diselubungi oleh bahan gelatin

Segera setelah lahir matriks mulai menjadi kuat dan mengeras melalui proses kalsifikasi, yaitu terbentuknya kristal mineral yang mengandung senyawa kalsium. Kristal ini terdiri atas kalsium fosfat atau kombinasi kalsium fosfat dan kalsium hidroksida dinamakan hidroksiapatit  $\{(3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2)\}$ . Karena kalsium merupakan mineral yang utama dalam ikatan ini, keduanya harus berada dalam jumlah yang cukup di dalam cairan yang mengelilingi matriks tulang.

Batang tulang yang merupakan bagian keras matriks mengandung kalsium, fosfat, magnesium, seng, natrium bikarbonat, dan fluor, selain hidroksiapatit (Almatsier, 2004).

Diet harus didasarkan pada berbagai macam makanan, baik untuk memenuhi kebutuhan yang sudah diketahui maupun untuk menyediakan nutrisi lain yang kebutuhannya pada manusia masih belum bisa ditentukan secara tepat. Sumber utama kalsium adalah susu dan produk olahannya, seperti keju, yoghurt, kefir, es krim, serta ikan terutama ikan duri halus. Enam studi Randomized Controlled Trial pada orang dewasa dan anak-anak yang menggunakan produk olahan susu sebagai sumber utama kalsium, seluruhnya menunjukkan efek positif bermakna yang memiliki paling sedikit efek yang sama kuat dengan suplemen kalsium. Hal ini membuktikan bahwa susu dan produk olahannya adalah sumber nutrisi yang baik yang dibutuhkan untuk perkembangan dan mempertahankan tulang (Heaney,

2000). Sereal, kacang-kacangan dan hasil kacang-kacangan, tahu dan tempe, dan sayuran hijau merupakan sumber kalsium yang baik juga, tetapi bahan makanan ini banyak mengandung zat yang menghambat penyerapan kalsium seperti serat, fitat, dan oksalat. Susu nonfat merupakan sumber terbaik kalsium, karena ketersediaannya biologisnya yang tinggi. Kebutuhan kalsium akan terpenuhi bila kita makan makanan yang seimbang setiap hari (Almatsier, 2004).

Berdasarkan penelitian yang sudah ada, sumber kalsium juga banyak dijumpai di alam, antara lain pada cangkang telur, ganggang laut, dan batu koral. (Prabakaran, Balamurugan dan Rajeswari, 2005)

#### **D. Cangkang Telur**

Cangkang telur adalah lapisan terluar dari telur dan merupakan lapisan berkapur (calcareous) yang menyusun 9-12% berat telur total. Cangkang terdiri dari bahan organik yang berupa kerangka dari serabut-serabut yang teranyam halus dan granula-granula serta substansi interstitial yang tersusun dari campuran garam-garam organik. Saat ini sudah banyak penelitian yang menyatakan bahwa cangkang telur adalah salah satu sumber alam dari kalsium. Adapun di bawah ini adalah komposisi cangkang telur ayam yang dikeringkan dengan penempelan albumin. (Ockerman dan Hansen, 2007)

**Tabel 1. Kandungan Cangkang Telur**

(Ockerman and Hansen,1999)

Kandungan Cangkang Telur	(%Berat)	Kandungan Cangkang Telur	(%Berat)
Air	29-35	Arginine	0,56-0,57
Protein	1,4-4	Aspartic Acid	0,83-0,87
Lemak Murni	0,10-0,20	Cystine	0,37-0,41
Abu	89,9-91,1	Glutamic Acid	1,22-1,26
Kalsium	35,1-36,4	Glycine	0,48-0,51
CaCO <sub>3</sub>	90,9	Histidine	0,25-0,30
Fosfor	0,12	Isoleucine	0,34
Sodium	0,15-0,17	Leucine	0,57
Magnesium	0,37-0,40	Lysine	0,37
Potassium	0,10-0,13	Methionine	0,28-0,29
Sulfur	0,09-0,19	Phenilalanine	0,38-0,46
Alanine	0,45	Proline	0,54-0,62
Tyrosin	0,25-0,26	Serine	0,64-0,65
Valine	0,54-0,55	Thereonine	0,45-0,47

#### **E. Nanoteknologi**

Definisi nanoteknologi didasarkan pada kata awal "nano" dari bahasa Yunani yang berarti "kerdil". Dalam istilah yang lebih teknis, kata "nano" berarti  $10^{-9}$  atau sepermilyar. Kata nanoteknologi umumnya digunakan ketika mengacu pada bahan-bahan dengan ukuran 1 sampai 100 nanometer (Greiner, 2009). Teknologi nano adalah suatu desain, karakterisasi, produksi dan penerapan struktur, perangkat dan sistem dengan mengontrol bentuk dan ukuran pada skala nanometer (Park, *et al*, 2007)

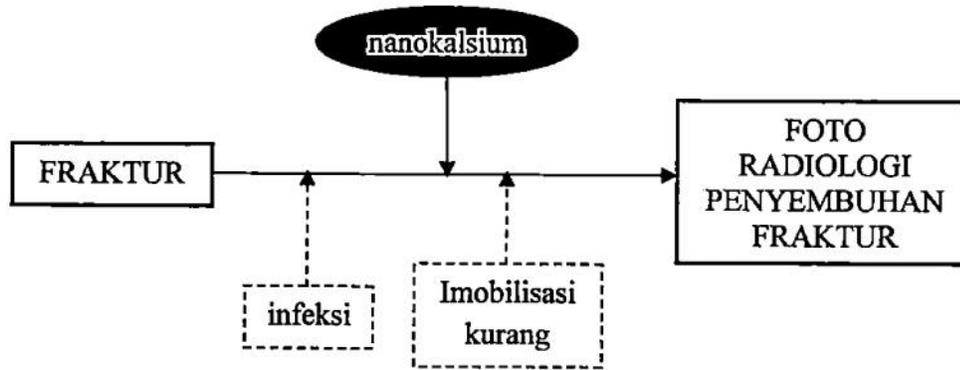
Saat ini aplikasi nanoteknologi sudah bisa dirasakan di sektor pangan yang salah satunya meliputi meningkatkan penyerapan serta bioavailabilitas nutrisi dan

senyawa bioaktif (Greiner, 2009). Selanjutnya juga sudah bisa dirasakan di bidang elektronik dan industri otomotif.

Nanopartikel dapat diproduksi dengan berbagai metode, diantaranya sintesis plasma, *wet-phase processing*, presipitasi kimia, *sol-gel processing*, pengolahan mekanik, sintesis *mechanochemical*, *high-energy ball milling*, *chemical vapour deposition* dan ablasi laser (Park, *et al*, 2007). Selanjutnya beberapa metode untuk sintesis nanopartikel adalah *co-precipitation*, *ultrasound irradiation*, elektrokimia, dan sintesis hidrotermal (Kosa, Nagy dan Posfai, 2009). Ada dua metode yang dapat digunakan dalam sintesis nanomaterial, yaitu secara *top down* dan *bottom up*. *Top down* merupakan pembuatan struktur nano dengan memperkecil material yang besar, sedangkan *bottom-up* merupakan cara merangkai atom atau molekul dan menggabungkannya melalui reaksi kimia untuk membentuk nano struktur (Greiner, 2009). Contoh metode *top down* adalah penggerusan dengan alat *milling*, sedangkan teknologi *bottom up* yaitu menggunakan teknik sol-gel, presipitasi kimia, dan aglomerasi fasa gas (Dutta dan Hofmann, 2005)

Terdapat salah satu penelitian yang telah berhasil membuat nanopartikel kalsium menggunakan teknik *spray drying* dengan penggunaan *two-liquid nozzle*, yaitu oleh (Sun, Chow dan Frukhtbeyn, 2010). Menurut Suptijah (2009), nanokalsium adalah mineral prodigestif yang sangat efisien dalam memasuki sel tubuh dikarenakan ukurannya yang super kecil, sehingga dapat diabsorpsi dengan cepat dan sempurna. Pada tikus yang diberikan nanokalsium, ternyata memiliki buangan kalsium yang rendah pada feses dan urin dibanding pada tikus yang diberi pakan mikrokalsium (Gao, *et al*, 2007).

## F. Kerangka Konsep



### Keterangan:

- Variabel diteliti ———
- Variabel tidak diteliti - - - - -

## G. Hipotesis

Hipotesis yang diajukan pada penelitian ini adalah pemberian nanokalsium dari cangkang telur akan mempengaruhi penyembuhan fraktur pada tikus putih ditinjau dari gambaran radiologi.