KEKUATAN IMPAK TULANG MANDIBULA TIKUS WISTAR JANTAN YANG DIBERI DIET TAMBAHAN IKAN TERI (*Stolephorus sp.*)

SKRIPSI

Oleh

Rizka Ayu Mei Wulaningtyas
NIM 081610101045

FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI

UNIVERSITAS JEMBER

2012

KEKUATAN IMPAK TULANG MANDIBULA TIKUS WISTAR JANTAN YANG DIBERI DIET TAMBAHAN IKAN TERI (*Stolephorus sp.*)

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Kedokteran Gigi (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Kedokteran Gigi

Oleh
Rizka Ayu Mei Wulaningtyas
NIM 081610101045

FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI

UNIVERSITAS JEMBER

2012

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah S.W.T. dan Rasulullah Muhammad S.A.W.
2. Kedua orang tuaku, Ayahanda Irpan, S.Pd. dan Ibunda Asmaul Husnah, yang telah mendidik dan membesarkanku, selalu memberikan senyuman dan dukungan tiada henti, serta mendoakan dan memberikan kasih sayang yang berlimpah
3. Adikku Rizki Dwi Cahyani Wulandari, yang cantik, selalu memberikan senyuman dan menjadi semangat dalam hidupku
4. Muhammad Iqbal, yang selalu mengisi hari-hariku dengan senyuman dan menjadi semangatku selama ini
5. Guru-guruku tercinta sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi, yang telah mendidik dan memberiku ilmu
6. Almamater tercinta Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember

MOTTO

Dan Dia-lah, Allah yang menundukkan lautan (untukmu) agar kamu dapat memakan daripadanya daging yang segar (ikan), dan kamu mengeluarkan dari lautan itu perhiasan yang kamu pakai; dan kamu melihat bahtera berlayar padanya, dan supaya kamu mencari (keuntungan) dari karunia-Nya,dan supaya kamu bersyukur.
(QS. An Nahl ayat 14)[*)]

atau

Dihalalkan bagimu binatang buruan laut dan makanan (yang berasal) dari laut sebagai makanan yang lezat bagimu, dan bagi orang-orang yang dalam perjalanan; dan diharamkan atasmu (menangkap) binatang buruan darat, selama kamu dalam ihram. Dan bertakwalah kepada Allah Yang kepada-Nyalah kamu akan dikumpulkan.
(QS. Al-Maidah ayat 96)[*)]

[*)] Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumudosmoro Grafindo

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Rizka Ayu Mei Wulaningtyas

NIM : 081610101045

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Kekuatan Impak Tulang Mandibula Tikus Wistar Jantan yang Diberi Diet Tambahan Ikan Teri (*Stolephorus sp.*)" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari penyataan ini tidak benar.

Jember, 10 Februari 2012

Yang menyatakan,

Rizka Ayu Mei WN

NIM 081610101045

SKRIPSI

KEKUATAN IMPAK TULANG MANDIBULA TIKUS WISTAR JANTAN YANG DIBERI DIET TAMBAHAN IKAN TERI (*Stolephorus sp.*)

Oleh
Rizka Ayu Mei Wulaningtyas
NIM 081610101045

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama	: Dr. drg. IDA Susilawati, M. Kes
Dosen Pembimbing Anggota	: drg. Tecky Indriana, M. Kes

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Kekuatan Impak Tulang Mandibula Tikus Wistar Jantan yang Diberi Diet Tambahan Ikan Teri (*Stolephorus sp.*)" telah diuji dan disahkan pada:

hari : Jumat

tanggal : 10 Februari 2012

tempat : Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Dr. drg. IDA Susilawati, M. Kes
NIP 196109031986022001

Anggota I

drg. Tecky Indriana, M. Kes
NIP 196811261997022001

Anggota II

drg. Suhartini, M. Biotech
NIP 197909262006042002

Mengesahkan

Dekan,

drg. Hj. Herniyati, M. Kes
NIP 195909061985032001

RINGKASAN

Kekuatan Impak Tulang Mandibula Tikus Wistar Jantan yang Diberi Diet Tambahan Ikan Teri (*Stolephorus sp.*); Rizka Ayu Mei WN, 081610101045; 2012: 46 halaman; Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember.

Mandibula merupakan salah satu tulang yang sering mengalami fraktur. Trauma atau fraktur terjadi akibat beban benturan yang mengenainya. Tulang mempunyai kemampuan toleransi beban benturan dengan mengabsorbsi energi sebelum terjadi fraktur yang disebut *kekuatan impak*. Kekuatan impak dipengaruhi oleh kualitas (struktur/matriks tulang dan mikroarsitektur tulang) dan kuantitas tulang (kepadatan tulang). Usaha untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas tulang dapat dilakukan dengan memberikan asupan nutrisi dan mineral yang cukup. Salah satu sumber mineral dan nutrisi yang dibutuhkan tulang bisa didapatkan dari ikan teri. Ikan teri mengandung kalsium, protein dan fosfor yang tinggi. Kalsium dalam ikan teri berperan penting pada kekuatan tulang. Protein berperan dalam pembentukan kolagen. Fosfor berperan dalam menjaga massa tulang dan bekerjasama dengan kalsium. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh pemberian diet tambahan ikan teri terhadap kekuatan impak tulang mandibula tikus wistar jantan.

Jenis penelitian ini adalah eksperimental laboratoris invivo dengan rancangan *post test only control group design*. Penelitian dilakukan di Laboratorium Biomedik Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember Dan Laboratorium Material dan Metalurgi Fakultas Teknik ITS Surabaya pada bulan juli-agustus 2011. Sampel yang digunakan sebanyak 20 ekor tikus wistar jantan, berat 100-300 gr, dibagi 2 kelompok yaitu kontrol dan perlakuan. Kelompok kontrol diberi pakan standar dan aquades,

sedangkan kelompok perlakuan diberi diet tambahan ikan teri sebanyak 0,0062 gr x BB tikus per hari, secara sondase lambung selama 40 hari. Setelah itu, dilakukan dekaputasi dan tulang mandibula tikus diambil. Tulang mandibula diambil pada bagian korpus kiri dengan memotongnya menggunakan *carborundum*, pada 2 mm sebelah distal foramen mentale dengan ukuran 10x10x3 mm. Selanjutnya diukur kekuatan impaknya dengan *impact tester*. Data dianalisa secara statistik menggunakan *uji Independent T* dengan nilai signifikansi $p<0,05$.

Hasil penelitian menunjukkan, kekuatan impak tulang mandibula kelompok perlakuan lebih besar daripada kontrol ($p<0,05$). Hal ini berarti, kekuatan impak tulang mandibula kelompok tikus yang diberi diet tambahan ikan teri secara signifikan lebih besar dibanding kelompok kontrol.

Pemberian diet tambahan ikan teri dapat meningkatkan kekuatan impak tulang mandibula tikus wistar jantan. Peningkatan kekuatan impak diduga disebabkan oleh kandungan yang terdapat dalam ikan teri, antara lain kalsium, fosfor dan protein. Kalsium dan fosfor yang diabsorpsi di usus halus, kemudian memasuki aliran darah dan ditimbun di tulang sehingga diduga mampu menyempurnakan pembentukan matriks anorganik tulang. Protein ikan teri dicerna dalam lambung dan usus menghasilkan asam-asam amino yang kemudian diabsorbsi dan masuk ke dalam sel pembentuk tulang (osteoblas). Di dalam osteoblas asam-asam amino disekresi kembali menjadi kolagen yang diduga mampu menyempurnakan pembentukan kolagen tulang. Ikan teri banyak mengandung asam amino glisin yang merupakan salah satu asam amino utama penyusun kolagen sehingga hal tersebut menyebabkan tulang mandibula kelompok perlakuan mempunyai kualitas (*turn over*, geometri, ukuran) dan kuantitas (*Bone Mineral Density*) yang baik sehingga dapat mempengaruhi kekuatan impaknya. Penambahan diet dengan ikan teri kemungkinan bisa diaplikasikan pada manusia tetapi perlu dilakukan inovasi baru dalam pengolahan ikan teri agar menjadi lebih menarik, supaya bisa dikonsumsi semua kalangan. Ikan teri kemungkinan bisa digunakan sebagai sumber nutrisi alternatif

yang baik untuk pertumbuhan tulang bagi anak dan kemungkinan bisa meminimalkan terjadinya fraktur pada orang dewasa.

PRAKATA

Penulis memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Kekuatan Impak Tulang Mandibula Tikus Wistar Jantan yang Diberi Diet Tambahan Ikan Teri (*Stolephorus sp.*)". Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. drg. Hj. Herniyati, M. Kes, selaku Dekan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melakukan penelitian hingga selesainya penulisan skripsi ini
2. Dr. drg. IDA Susilawati, M. Kes, selaku Dosen Pembimbing Utama dan drg. Tecky Indriana, M. Kes., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan pengarahan dan bimbingan sejak awal hingga selesainya penulisan skripsi ini, drg. Suhartini, M. Biotech selaku Sekretaris Penguji yang telah memberikan saran demi kesempurnaan skripsi ini
3. drg. Amandia Dewi Permana Shita dan drg. Suhartini, M. Biotech, selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan motivasi dan nasehat selama ini
4. Kedua orang tuaku, Ayahanda Irpan, S.Pd. dan Ibunda Asmaul Husnah atas limpahan cinta dan kasih sayang, serta doa restu, nasehat dan dorongan semangat yang tidak pernah terhenti tercurah untukku

5. Adikku Rizki Dwi Cahyani Wulandari yang menjadi pelita hatiku dan penyemangatku selama ini
6. Muhammad Iqbal terima kasih atas perhatian, dukungan, bantuan, semangat dan motivasinya selama ini
7. Sahabat-sahabatku Ayung, Megen, Fani, Nana terima kasih kalian selalu ada untuk membantuku, membuatku tersenyum; dan partner penelitianku Rizal ”papi”, Sinta dan Taufiq terima kasih bantuannya selama penelitian
8. Shinta T.D, Ari Agustinawati dan seluruh teman-teman angkatan 2008 yang tidak dapat disebutkan satu persatu terima kasih atas semangat yang diberikan
9. Warga kost “AMARIN” terima kasih atas semangat yang diberikan
10. Mas Agus, terima kasih atas segala bantuan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian
11. Semua pihak yang terlibat baik langsung maupun tidak langsung yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari akan keterbatasan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan penulisan selanjutnya. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Amiin.

Jember, 10 Februari 2012 Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PERSEMBAHAN ii
HALAMAN MOTTO iii
HALAMAN PERNYATAAN iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN v
HALAMAN PENGESAHAN vi
RINGKASAN vii
PRAKATA x
DAFTAR ISI xii
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR GAMBAR xvi
DAFTAR LAMPIRAN xvii
BAB 1. PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
BAB. 2 TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Tulang 4
2.1.1 Sel-sel Tulang 4
2.1.2 Matriks Tulang 6
2.1.3 Struktur Tulang 9
2.1.4 Biomekanika Tulang 9

2.2 Metabolisme Kalsium dan Fosfor 10
2.3 Metabolisme Protein 13
2.4 Faktor yang Mempengaruhi Metabolisme Kalsium dan Fosfor .. 14
2.4.1 Hormon Paratiroid (PTH) 14
2.4.2 Hormon Kalsitonin 15
2.4.3 Vitamin D 16
2.4.4 Hormon lain dan Zat-zat Humoral 17
2.5 Mandibula 18
2.6 Kekuatan Impak 19
2.7 Ikan Teri (*Stolephorus sp.*) 19
2.7.1 Klasifikasi Ikan Teri (*Stolephorus sp.*) 19
2.7.2 Morfologi Ikan teri (*Stolephorus sp.*) 20
2.7.3 Habitat dan Penyebaran Ikan Teri (*Stolephorus sp.*) 20
2.7.4 Kandungan Gizi Ikan Teri (*Stolephorus sp.*) 20
2.8 Hipotesa 24
BAB 3. METODE PENELITIAN 25
3.1 Jenis dan Rancangan Penelitian 25
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian 25
3.2.1 Tempat Penelitian 25
3.2.2 Waktu Penelitian 25
3.3 Sampel Penelitian 25
3.4 Variabel Penelitian 27
3.4.1 Variabel Bebas 27
3.4.2 Variabel Terikat 27
3.4.3 Variabel Terkendali 27
3.5 Definisi Operasional 27
3.5.1 Ikan Teri (*Stolephorus sp.*) 27
3.5.2 Kekuatan Impak Tulang Mandibula 28
3.6 Alat dan Bahan Penelitian 28

3.6.1 Alat Penelitian 28
3.6.2 Bahan Penelitian 29
3.7 Prosedur Penelitian 30
3.7.1 Persiapan Sampel Penelitian 30
3.7.2 Persiapan Bahan Perlakuan 30
3.7.3 Perlakuan Sampel Penelitian 32
3.7.4 Koleksi Sampel Mandibula 32
3.7.5 Pengukuran Kekuatan Impak 32
3.8 Analisis Data 33
3.9 Diagram Pembuatan Sediaan Ikan Teri 34
3.10 Diagram Alur Penelitian 35
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN 36
4.1 Hasil Penelitian 36
4.2 Pembahasan 38
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN 45
5.1 Kesimpulan 45
5.2 Saran 45
DAFTAR PUSTAKA 47
LAMPIRAN 52

DAFTAR TABEL

Halaman

2.1 Kandungan Gizi Ikan Teri (*Stolephorus sp.*) segar per 100 gram..... 21

3.1 Pembagian Kelompok Penelitian 27

4.1 Nilai Kekuatan Impak Tulang Mandibula Tikus Wistar Jantan..... 36

4.2 Hasil Uji *Independent T* Kekuatan Impak Tulang Mandibula Tikus Wistar Jantan.....38

DAFTAR GAMBAR

Halaman

2.1 Struktur Kolagen Tipe I..... 7
2.2 Anatomi Mandibula..... 18
2.2 Ikan Teri (*Stolephorus sp.*)..... 20
3.1 Diagram Pembuatan Sediaan Ikan Teri (*Stolephorus sp.*).....34
3.2 Diagram Alur Penelitian.....35
4.1 Diagram Batang Nilai Kekuatan Impak Tulang Mandibula Tikus Wistar Jantan.....37

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

A. Tabel Hasil Perhitungan Kekuatan Impak Mandibula Tikus Wistar Jantan 52
B. Uji Normalitas Kolmogorov Smirnov Kekuatan Impak Tulang Mandibula Tikus Wistar Jantan..... 54
C. Uji Homogenitas *Levene Test* Kekuatan Impak Tulang Mandibula Tikus Wistar jantan.....55
D. Uji Beda *Independent T Test* Kekuatan Impak Tulang Mandibula Tikus Wistar Jantan..... 56
E. Foto Alat Dan Bahan Penelitian.....57
F. Gambar Mandibula Tikus.....62

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tulang adalah jaringan yang keras dan harus kuat. Tulang merupakan jaringan yang memberi bentuk tubuh dan dapat menyebabkan pergerakan tubuh karena merupakan perlekatan otot-otot. Tulang terdiri dari matriks kolagen tulang, bahan organik dan mineral tulang. Mineral tulang berfungsi merekatkan serat-serat kolagen matriks tulang yang satu dengan lainnya dan juga sebagai cadangan isi kalsium dalam tubuh (Rachman, 2004). Mineral tulang sebagian besar terdiri dari hidroksiapatit (95%) yaitu suatu kristal kalsium fosfat dan sebagian kecil terdiri dari magnesium, sodium, hidroksil, karbonat, dan fluor (Rasjad, 2007). Kolagen dan mineral tulang sangat berperan untuk memperkuat tulang. Kolagen memberikan kekuatan *tensile* (kekuatan tarikan tulang) sedangkan kalsium memberikan kekuatan kompresi (kekuatan tekan tulang) (Yustisia, 2007).

Mandibula merupakan bagian dari tulang wajah yang sering mengalami cedera karena posisinya yang menonjol, dan merupakan sasaran pukulan dan benturan. Trauma yang sering didapati adalah fraktur mandibula. Trauma ini sering terjadi akibat kecelakaan transportasi, kecelakaan kerja, olahraga maupun aktifitas rekreasi. Tulang wajah yang paling sering mengalami fraktur adalah mandibula (61%), diikuti zygoma (27%), dan tulang hidung (19,5%) (Ajmal, 2007). Fraktur tulang dapat terjadi karena gaya tegang tulang berada dibawah nilai *static* dan *impact load* (beban benturan). *Impact load* adalah kemampuan tulang untuk mentoleransi beban benturan tiba-tiba yang mengenainya. Untuk mencegah dan meminimalkan terjadinya fraktur tulang maka kita perlu mengetahui batas toleransi tulang ketika mendapatkan beban benturan, dengan mengukur *impact strength*-nya (Barrer, 1986).

Kekuatan impak *(impact strength)* adalah daya tahan suatu benda terhadap benturan yang tiba-tiba, misalnya terjatuh pada permukaan yang keras (Noort, V.R, 1994). Uji kekuatan impak disebut dengan uji mengukur keuletan suatu bahan yaitu

kemampuan mineral menyerap energi sebelum terjadi fraktur (Razak,1995). Kekuatan impak dipengaruhi oleh kualitas (struktur / matriks tulang dan mikroarsitektur tulang) dan kuantitas tulang (*Bone Mineral Density*) (Viquet, 2006). Kualitas tulang ditentukan oleh tiga faktor penting yaitu ukuran tulang, pergantian tulang (*bone turnover*) dan geometri tulang (mikroarsitektur) (Priyana, 2007). Sedangkan kuantitas tulang ditentukan oleh densitas tulang yaitu jumlah mineral dalam gram per volume (Permana, 2011). Pergantian tulang atau remodeling terdiri dari resorpsi tulang oleh osteoklas dan pembentukan tulang oleh osteoblas. Pergantian tulang yang meningkat akan mempercepat porositas tulang. Kombinasi pembentukan dan resorpsi tulang akan menentukan massa tulang (Priyana, 2007). Salah satu usaha untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas tulang dapat dilakukan dengan memberikan asupan nutrisi dan mineral yang cukup. Mineral utama yang membantu dalam meningkatkan kualitas dan kuantitas tulang yaitu kalsium.

Ikan teri (*Stolephorus sp.*) diduga dapat menjadi sumber gizi alternatif untuk menghasilkan asupan nutrisi dan mineral yang baik untuk perkembangan tulang. Menurut Direktorat Gizi Departemen Kesehatan RI (1996), kandungan kalsium dalam ikan teri jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan kalsium pada ikan lain. Hal ini karena ikan teri dikonsumsi utuh dengan tulangnya, sedangkan ikan lain hanya dikonsumsi dagingnya saja. Ikan teri (*Stolephorus sp.*) memiliki kandungan kalsium, protein dan fosfor yang tinggi yang diduga dapat meningkatkan kekuatan impak. Kalsium memegang peranan penting bagi tulang, yaitu menjadi regulator remodeling tulang, fungsi ini memegang kontribusi penting pada kekuatan tulang (Aradea, 2011). Fosfor berperan dalam menjaga massa tulang dan bekerjasama dengan kalsium. Protein memegang peranan dalam pembentukan kolagen. Kolagen sebagai pemegang peran utama dalam menentukan *toughness* tulang. Dengan berbagai kandungan ikan teri tersebut diduga dapat meningkatkan sifat mekanik tulang sehingga dapat meningkatkan kekuatan impak tulang. Dengan demikian resiko fraktur dapat diminimalkan.

1.2 Rumusan Masalah

Ikan teri mempunyai kandungan kalsium, protein dan fosfor tinggi yang diduga dapat memperkuat tulang. Oleh karena itu dirumuskan suatu permasalahan: apakah pemberian diet tambahan ikan teri dapat meningkatkan kekuatan impak pada tulang mandibula tikus wistar jantan?

1.3 Tujuan Penelitian

Menganalisis pengaruh pemberian diet tambahan ikan teri terhadap kekuatan impak tulang mandibula tikus wistar jantan.

1.4 Manfaat Penelitian

a. Penelitian ini diharapkan mampu memberi informasi mengenai gizi pada masyarakat luas untuk mengonsumsi ikan teri guna meningkatkan kesehatan tulang
b. Diharapkan, konsumsi ikan teri dapat menurunkan resiko fraktur tulang
c. Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai pertimbangan untuk penelitian lebih lanjut dengan menggunakan ikan yang dipresto dan diawetkan dengan metode pengasinan.

BAB 2.TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tulang

Tulang merupakan jaringan ikat yang berperan menyediakan integritas bagi sistem lokomotor, melindungi organ vital, sebagai cadangan mineral dalam proses homeostatis. Selain itu, tulang juga berperan sebagai bagian dari sistem imun yaitu pada sumsum tulang. Sumsum tulang merupakan tempat pengolahan limfosit yang dipersiapkan untuk membentuk antibodi (Seeman & Delmas, 2006 dan Guyton & Hall, 2007).

Tulang tersusun atas sel dan matriks seluler. Matriks seluler memiliki komponen organik dan anorganik sebagai penyusunnya. Ditinjau dari beratnya, jaringan tulang tersusun atas 70% mineral (matriks anorganik), 20-25% matriks organik dan 5-8% air, tetapi terdapat variasi utama pada derajat mineralisasi matriks bergantung pada fungsinya. Komponen anorganik terdiri dari campuran kalsium dan pospor dalam kristal hidroksiapatit yang merupakan mineral terbanyak (95%) dalam kristal. Matriks organik terdiri dari 90% kolagen tipe I yang tersusun dari proteoglikan dan protein non kolagen (Seeman & Delmas, 2006).

2.1.1 Sel-Sel Tulang

A. Osteoblas

Osteoblas adalah sel yang berperan pada pembentukan tulang. Osteoblas berasal dari diferensiasi sel pembentuk tulang sel stromal di sumsum tulang (Seeman & Delmas, 2006). Osteoblas dijumpai dipermukaan luar tulang dan dalam rongga tulang. Sejumlah kecil aktivitas osteoblastik terjadi secara terus menerus pada semua tulang hidup (kira-kira 4 persen dari seluruh permukaan tulang orang dewasa pada setiap waktu, sehingga secara konstan sedikitnya ada pembentukan beberapa tulang

baru) (Guyton & Hall, 1997). Osteoblas memiliki kemampuan mensintesis komponen organik dari matriks tulang (kolagen tipe I, proteoglikan, glikoprotein) dan berperan penting dalam proses remodeling tulang (Junquiera *et al*., 1995 dan Seeman & Delmas, 2006).

B. Osteoklas

Osteoklas merupakan sel multinukleat raksasa dengan ukuran berkisar antara 20 µm-100µm dengan inti sampai mencapai 50 buah yang berperan meresorbsi tulang (Karina, 2010). Selama resorbsi tulang, osteoklas memproduksi serta mengeluarkan enzim lisosom, proton hidrogen, radikal bebas dalam celah antar tulang yang akan melarutkan mineral serta mendegradasi matriks tulang (Duhe, 2003).

C. Osteosit

Osteosit merupakan komponen sel utama dalam jaringan tulang. Mempunyai peranan penting dalam pembentukan matriks tulang dengan cara membantu pemberian nutrisi pada tulang (Anonim, 2006). Osteosit terhubung satu sama lain dengan osteoblas dan *linning cells* melalui jaringan sitoplasmik dalam kanalikuli diantara lakuna matriks tulang termineralisasi. Osteosit bertugas memantau jumlah tekanan dan tarikan (*tensile*) sekitar tulang yang terkena beban mekanis dan memberi informasi pada *linning cells* di permukaan tulang terdekat dari beban, menginisiasi remodeling tulang di daerah lokal beban (Laurney *et al*., 2010).

D. Sel pelapis atau *linning cells*

Sel pelapis merupakan sel yang menyisakan sel tidak aktif pada permukaan tulang yang mengalami pembentukan maupun resorbsi tetapi terlibat dalam remodeling tulang. Sel pelapis bersama osteosit mengeluarkan faktor lokal yang melawan sel dari darah dan sumsum tulang ke dalam daerah remodeling, tempat osteoklastogenesis terjadi (Seeman & Delmas, 2006).

2.1.2 Matriks Tulang

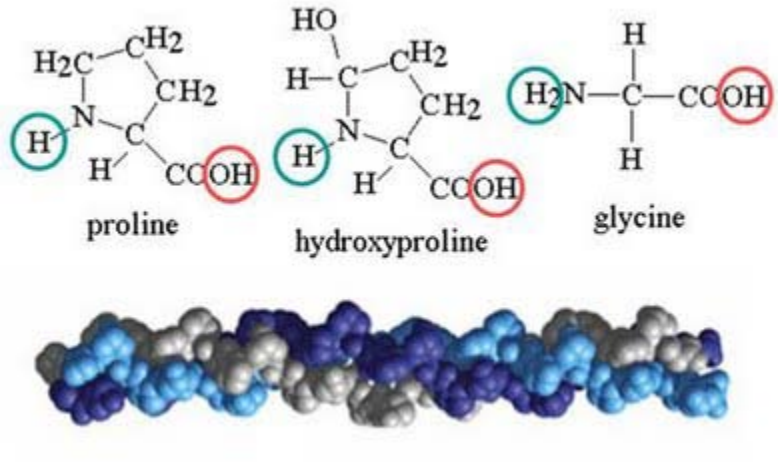
Berdasarkan beratnya, matriks tulang yang merupakan substansi interseluler terdiri dari ± 70% garam anorganik dan 30% matriks organik. 95% komponen organik dibentuk dari kolagen, sisanya terdiri dari substansi dasar proteoglikan dan molekul-molekul non kolagen yang tampaknya terlibat dalam pengaturan mineralisasi tulang. Kolagen yang dimiliki oleh tulang adalah kurang lebih setengah dari total kolagen tubuh, strukturnya pun sama dengan kolagen pada jaringan ikat lainnya. Hampir seluruhnya adalah kolagen tipe I. Ruang pada struktur tiga dimensinya yang disebut sebagai *hole zones*, merupakan tempat bagi deposit mineral. Kontribusi substansi dasar proteoglikan pada tulang memiliki proporsi yang jauh lebih kecil dibandingkan pada kartilago, terutama terdiri atas *chondroitin sulphate* dan asam hialuronat. Substansi dasar mengontrol kandungan air dalam tulang, dan kemungkinan terlibat dalam pengaturan pembentukan fiber kolagen. Materi organik non kolagen terdiri dari osteokalsin (Osla protein) yang terlibat dalam pengikatan kalsium selama proses mineralisasi, osteonektin yang berfungsi sebagai jembatan antara kolagen dan komponen mineral, sialoprotein (kaya akan asam salisilat) dan beberapa protein. Matriks anorganik merupakan bahan mineral yang sebagian besar terdiri dari kalsium dan fosfat dalam bentuk kristal-kristal *hydroxyapatite*. Kristal – kristal tersebut tersusun sepanjang serabut kolagen. Bahan mineral lain yaitu ion sitrat, karbonat, magnesium, natrium, dan potassium. Kekerasan tulang tergantung dari kadar bahan anorganik dalam matriks, sedangkan dalam kekuatannya tergantung dari bahan-bahan organik khususnya serabut kolagen (Anonim, 2010).

A. Kolagen Tulang

Kolagen adalah salah satu protein yang penting untuk tulang (Anonim, 2012). Kolagen memberikan elastisitas tulang dan kemampuan untuk menyerap energi saat deformasi mekanik (Laurney *et al.*, 2010). Lebih dari 27 macam kolagen dibentuk pada jaringan tubuh, diantaranya kolagen tipe I, II, III, V dan XI, yang menyusun fibril dan pada jaringan berfungsi sebagai penahan terhadap *tensile*, *shear*,

compression force pada tulang. Tipe kolagen terbanyak dalam tulang adalah kolagen tipe I (Carrin *et al*., 2005).

Kolagen merupakan protein yang bertanggung jawab menjaga integritas struktur tulang. Kolagen tersusun dari tiga polipeptida yang membentuk ikatan *triple-helix*. Struktur *triple-helix* ini tersusun dari ikatan Gly-X-Y berulang, dengan Gly merupakan asam amino glisin, X merupakan asam amino prolin dan Y tersusun oleh hidroksiprolin. Glisin merupakan asam amino yang tersusun pada rantai ketiga struktur kolagen yang didahului oleh prolin dan hidroksiprolin karena asam amino ini merupakan asam amino terkecil yang dapat mengisi tempat tersisa pada bagian tengah struktur *triple-helix* (Carrin *et al*., 2005 dan Murray *et al*., 2003).



Gambar 2.1 Struktur kolagen tipe 1
(Matsebatlela, 2009)

B. Kalsium Tulang

Kalsium merupakan mineral terbanyak dalam tubuh yaitu kurang lebih 1000 gram. Kalisum dibutuhkan untuk mineralisasi tulang dan penting untuk pengaturan proses fisiologik dan biokimia. Kalsium diperlukan untuk memaksimalkan masa tulang dan mempertahankan densitas tulang yang normal (Groff and Gropper, 2000). Asupan kalsium yang normal berkisar 1000 – 1500 mg / hari, dan akan diekskresikan

juga tidak jauh berbeda dengan asupan tersebut, melalui feces (800 mg) dan urin (200 mg). Dalam perjalanannya kalsium akan mempunyai peran penting dalam remodeling tulang, yaitu sebanyak 300 – 500 mg yang berasal dari kalsium ekstra seluler. Artinya dalam proses remodeling tulang, kalsium tersebut diperlukan kadar antara 300- 500 mg. Jumlah inilah yang akan ditambahkan dalam asupan kalsium dari luar, jadi berkisar 1000 – 1500 mg, sehingga kalsium serum berada dalam keadaan homeostatis (seimbang) (Permana, 2011).

Di Amerika, kebutuhan yang dianjurkan lebih tinggi daripada negara-negara lain, termasuk Asia dan Afrika. Angka kebutuhan kalsium perhari untuk usia 19 sampai 50 tahun di Amerika Serikat adalah 1000 mg, sementara untuk usia diatas 50 tahun mencapai 1200 mg. Di Inggris, kebutuhan kalsium rata-rata perhari berkisar 900 mg untuk pria dan 750 mg untuk wanita. Tapi dari survei diet dan nutrisi yang dilakukan di Inggris menunjukkan bahwa beberapa kelompok populasi, khususnya anak-anak sekolah dan orang tua gagal mencapai angka kebutuhan yang dianjurkan tersebut (Mason, 2002). Angka kecukupan rata-rata sehari untuk kalsium bagi orang Indonesia pada bayi dan anak-anak adalah 300-500 mg, pada remaja dan dewasa berkisar 500-800 mg, sedangkan pada ibu hamil dan menyusui berkisar 900-1200 mg (Almatsier, 2004).

Diperkirakan jumlah kalsium yang dibutuhkan oleh tikus untuk pertumbuhan maksimal dan perkembangan tulang bervariasi mulai dari 0,55 sampai 1,2 mmol kalsium perhari. Salah satu lembaga penelitian merekomendasikan asupan kalsium harian minimum , 1,5 mmol kalsium perhari , dan kebanyakan makanan hewan jenis roden menyediakan banyak kalsium daripada yang dibutuhkan. Dengan perkiraan bahwa cairan ekstraseluler tikus adalah kira-kira 20% dari berat badan tikus., dengan konsentrasi kalsium kira-kira 2 mmol, maka tikus yang mempunyai berta badan 250 gram, mempunyai kira-kira 0,1 mmol kalsium dalam cairan ekstraseluler (Tordoff, 2001).

2.1.3 Struktur Tulang

Secara garis besar tulang dikenal ada dua tipe yaitu tulang korteks (kompak) dan tulang trabekular (berongga = *spongy* = *cancelous*). Bagian luar kedua tulang tersebut merupakan tulang padat yang disebut korteks tulang dan bagian dalamnya adalah tulang trabekular yang tersusun seperti bunga karang (Buckwalter, 1995 dan Riis, 1996).

Tulang korteks merupakan bagian terbesar (80%) penyusun kerangka, mempunyai fungsi mekanik, modulus elastisitas yang tinggi dan mampu menahan tekanan mekanik berupa beban tekukan dan puntiran yang berat. Tulang korteks terdiri dari lapisan padat kolagen yang mengalami mineralisasi, tersusun konsentris sejajar dengan permukaan tulang. Tulang korteks terdapat pada tulang panjang ekstremitas dan vertebra. Tulang spongiosa atau *canselous* atau trabekular mempunyai elastisitasnya lebih kecil dari tulang korteks, mengalami proses resorpsi lebih cepat dibandingkan dengan tulang korteks. Tulang spongiosa terdapat pada daerah metafisis dan epifisis tulang panjang serta pada bagian dalam tulang pendek (Buckwalter, 1995 dan Cusharon, 1998).

2.1.4 Biomekanika Tulang

Tulang adalah jaringan yang tersusun oleh sel dan didominasi oleh matrix kolagen ekstraselular (kolagen tipe I) yang disebut sebagai osteoid (Joehanezharther, 2011). Tulang merupakan objek yang sering terkena beban eksternal sehingga memicu perubahan pada ketahanan internal tulang tersebut. Ketahanan internal yang mengenainya disebut *stress*. *Stress* adalah gaya per unit area yang dapat berupa *compresive*, *shear*, *tension* maupun kombinasinya. Gaya eksternal ini memicu terjadinya perubahan bentuk dan ukuran pada tulang yang disebut dengan *strain*. *Strain* adalah perubahan perbandingan dimensi pada panjang tulang yang dapat berupa fraksi, persentase maupun *microstrain*. Sifat mekanik tulang tergantung dari nilai rata-rata *strain* sebab tulang adalah material yang bersifat viskoelastis. Tulang dapat bertahan terhadap tekanan pada tingkatan *strain* terbesar ketika rata-rata *strain*

meningkat. Bahkan pada rata-rata *strain* yang sangat tinggi tulang dapat menjadi lebih getas (Vainionpaa, 2007).

Sifat mekanik tulang merupakan kombinasi antara kekuatan (*strength*) yaitu stress yang dapat ditahan tulang tanpa menimbulkan fraktur, keuletan (*toughness*) yaitu jumlah energi yang dapat diserap oleh tulang sebelum fraktur, kekakuan (*stiffness*) yaitu kemampuan tulang untuk bertahan terhadap deformasi akibat gaya yang mengenainya, dan keletihan (*fatigue*) yaitu kemampuan tulang untuk bertahan terhadap beban yang berulang (Laurney *et al.*, 2010). Sifat mekanik tulang juga bergantung pada jumlah material yang mencukupi. Sifat material tulang di tingkat jaringan dan sifat struktural di tingkat organ, berhubungan erat dengan sifat geometris tulang. Umumnya sifat material dari tulang ditentukan oleh kalsifikasi matriks tulang dan faktor mikrostruktur seperti kristal dan komposisi serabut kolagen. Kekakuan dan kekerasan tulang ditentukan oleh matriks anorganik tulang, sedangkan komponen organik menentukan elastisitas tulang. Sifat geometris tulang berhubungan dengan masa dan distribusi dari ukuran dan desain arsitektur dari material terkalsifikasi. Sifat struktural tulang yaitu seperti kepadatan dan kekuatan struktural yang merupakan kombinasi dari sifat material dan sifat geometris tulang (Vainionpaa, 2007).

2.2 Metabolisme Kalsium dan Fosfor

Kalsium mempunyai peran penting didalam tubuh, yaitu dalam pembentukan tulang dan gigi. Diet kalsium bisa didapatkan dari makanan maupun suplemen tambahan. Asupan kalsium tiap hari yaitu sebanyak kira-kira 1000 mg tiap hari akan diabsorpsi didalam usus halus, direabsorpsi di ginjal, dan dibutuhkan sebagai pembentukan tulang dan gigi (Guyton & Hall, 2007).

Penyerapan Ca^{2+} terjadi didalam usus. Sebanyak 30-80 % kalsium yang dimakan diserap. Transpor aktif Ca^{2+} keluar dari lumen usus terjadi terutama di usus halus bagian atas, dan terjadi sedikit penyerapan melalui difusi pasif. Transpor aktif difasilitasi oleh 1,25-dihidroksikolekalsiferol, metabolit vitamin D yang dibentuk di

ginjal. Kecepatan pembentukan 1,25-dihidroksikolekalsiferol meningkat bila kadar Ca^{2+} plasma menurun dan berkurang bila kadar Ca^{2+} plasma naik. Akibatnya, penyerapan Ca^{2+} disesuaikan dengan kebutuhan tubuh. Penyerapan meningkatkan pada defisiensi Ca^{2+} dan menurun pada kelebihan Ca^{2+}. Penyerapan Ca^{2+} juga difasilitasi oleh protein (Ganong, 2002).

Penyerapan kalsium dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kekurangan vitamin D dalam bentuk aktif yaitu 1,25-dihidroksikolekalsiferol, bahan-bahan yang membentuk garam tidak larut dengan kalsium misal, oksalat atau alkali yang terdapat dalam kakao, bayam dan sayuran lain yang mendorong pembentukan sabun kalsium tidak larut. Serta konsumsi tinggi serat juga dapat menurunkan absorpsi, diduga karena serat menurunkan waktu transit makanan dalam saluran cerna sehingga mengurangi kesempatan untuk absorpsi (Ganong, 2002 dan Almatsier, 2004).

Sejumlah besar kalsium disaring dalam ginjal, tetapi 98-99 % kalsium yang disaring akan diserap kembali (Ganong, 2002). Sekitar 90 % reabsorbsi terjadi di tubulus proksimal dan sisanya di pars asendens lengkung henle dan tubulus distalis. Kemudian di bagian akhir tubulus distal dan bagian duktus kolektikus, proses reabsorpsi untuk sisa kalsium sebesar 10 %, sangat selektif, yang bergantung pada konsentrasi ion kalsium dalam darah (Guyton & Hall, 2007).

Ketika konsentrasi ion kalsium rendah, reabsorpsi meningkat, sehingga hampir tidak ada kalsium yang terbuang lewat urin. Sebaliknya, bahkan dengan sedikit peningkatan konsentrasi ion kalsium dalam darah yang melebihi normal akan sangat meningkatkan ekskresi kalsium secara nyata. Reabsorbsi di tubulus distalis, juga yang mengatur kecepatan ekskresi kalsium adalah hormon paratiroid (Ganong, 2002 dan Guyton & Hall, 2007).

Kalsium dalam tulang terdiri dari dua tipe yaitu cadangan yang cepat dipertukarkan dan cadangan kalsium stabil yang jauh lebih besar yang dipertukarkan secara lambat. Terdapat dua sistem hemoestatik yang independen tetapi saling berinteraksi yang mempengaruhi kalsium dalam tulang. Salah satunya adalah sistem yang mengatur Ca^{2+} plasma. Dalam operasi sistem ini, sekitar 500 mmol Ca^{2+} per hari

berpindah masuk dan keluar dari cadangan yang mudah dipertukarkan. Sistem lain adalah sistem yang berperan dalam remodeling tulang melalui resorpsi dan deposisi tulang yang konstan, yang pada orang dewasa menentukan 95 % pembentukan tulang (Ganong, 2002).

Fosfor tubuh total adalah 500-800 gr, 85-90% berada dalam kerangka. Fosfor plasma total adalah sekitar 12 mg/Dl, dengan dua pertiga dari total ini berada sebagai senyawa organik dan sisanya fosfor inorganik (Pi). Jumlah fosfor yang secara normal masuk ke dalam tulang adalah sekitar 3 mg/kg/hari, dengan jumlah yang sama meninggalkan tulang melalui reabsorpsi. Penyerapan fosfor juga terjadi di dalam usus (Ganong, 2002).

Fosfor diserap di duodenum dan usus halus oleh transpor aktif dan difusi pasif. Namun, tidak seperti penyerapan kalsium, penyerapan fosfor secara linear setara dengan masukan makanan (Ganong, 2002). Jadi hampir semua fosfor dalam makanan akan diabsorpsi ke dalam darah dari usus dan kemudian diekskresikan ke dalam urin kecuali bentuk fosfor yang terekskresi dalam tinja dalam bentuk terikat dengan kalsium yang tidak tercerna (Guyton & Hall, 2007).

Fosfor dalam plasma disaring dalam glomerulus, dan 85-90% dari fosfor yang disaring akan direabsorpsi. Transpor aktif di tubulus proksimal merupakan penyebab utama reabsorpsi, dan proses transpor aktif ini dihambat dengan kuat oleh hormon paratiroid (PTH) (Ganong, 2002). Ekskresi fosfor ginjal diatur oleh suatu mekanisme *overflow* yaitu bila konsentrasi fosfor dalam plasma menurun dibawah nilai kritis sebesar 1 mmol/L, semua fosfor dalam filtrat glomerulus akan direabsorpsi dan tidak ada fosfor yang terbuang dalam urin. Namun bila konsentrasinya melebihi nilai kritis tersebut, kecepatan pembuangan fosfor akan berbanding lurus dengan jumlah penambahannya. Jadi, ginjal mengatur konsentrasi fosfor dalam cairan ekstraseluler dengan cara mengubah kecepatan ekskresi fosfor dengan memperhatikan konsentrasi fosfor plasma dan kecepatan filtrasi fosfor oleh ginjal (Guyton & Hall, 2007).

2.3 Metabolisme Protein

Protein dalam makanan adalah rantai panjang dari asam-asam amino yang diikat bersama oleh *ikatan peptida*. Protein akan dicerna dalam lambung oleh pepsin. Pepsin merupakan enzim peptik lambung yang paling penting dan aktif pada Ph kira-kira 2,0-3,0 dan tidak aktif pada Ph 5,0. Sekresi asam hidroklorida oleh sel-sel parietal dalam kelenjar akan menyebabkan Ph dalam lambung 2,0-3,0 ketika sehingga pepsin dapat aktif mencerna protein. Pepsin mencerna protein melalui proses hidrolisis pada ikatan peptida pada asam amino, biasanya hanya menghasilkan 10-20% dari pencernaan protein total untuk mengubah protein menjadi proteosa, pepton dan sedikit polipeptida (Guyton & Hall, 2007).

Protein yang mencapai usus halus bagian atas akan dicerna oleh enzim-enzim utama pankreas yaitu *tripsin, kimotripsin, karboksifolipeptidase,* dan *proelastase*. Enzim *tripsin* dan *kimotripsin* akan memecah molekul-molekul protein menjadi polipeptida-polipeptida kecil, *karboksifolipeptidase* kemudian memecahkan asam-asam amino tunggal dari ujung karboksil polipeptida (Guyton & Hall, 2007).

Tahap terakhir pencernaan protein di dalam lumen usus dicapai oleh enterosit yang melapisi vili usus halus, terutama di dalam duodenum dan yeyunum. Sel-sel ini memiliki suatu *brush border* yang mengandung beratus-ratus mikrovili yang menonjol dari permukaan masing-masing sel. Pada membran sel dari masing-masing mikrovili ini terdapat banyak *peptidase* yang menonjol keluar melalui membran, tempat peptidase berkontak dengan cairan usus (Guyton & Hall, 2007).

Enzim aminopolipeptidase dan beberapa dipeptidase, dua jenis enzim peptidase yang sangat penting bertugas memecahkan sisa polipeptida-polipeptida yang besar menjadi bentuk tripeptida dan dipeptida serta beberapa menjadi asam-asam amino. Akhirnya di dalam sitosol enterosit terdapat banyak peptidase lain yang spesifik untuk jenis ikatan antara asam amino yang masih tertinggal, dalam waktu beberapa menit akan dicerna sampai tahap akhir untuk membentuk asam amino tunggal, kemudian asam amino tunggal tersebut dihantarkan ke sisi lain dari enterosit dan dari tempat itu ke dalam darah. Setelah asam amino masuk ke dalam darah,

semua molekul asam amino masuk ke dalam sel melalui transpor aktif yang menggunakan mekanisme pembawa. Hal ini dikarenakan molekul asam amino terlalu besar untuk berdifusi dengan mudah melalui pori-pori membran sel. Kemudian asam amino bergabung satu sama lain dengan ikatan peptida untuk membentuk protein sel (Guyton & Hall, 2007).

Salah satu dari protein sel adalah protein kolagen. Pembentukan kolagen di dalam tulang diperankan oleh sel osteoblas. Mekanisme pembentukan kolagen oleh sel osteoblas diduga sama dengan pembentukan kolagen oleh sel fibroblas (Alif, 2008). Sintesis kolagen secara berurutan meliputi kombinasi dari asam amino ke bentuk rantai yang bergabung membentuk molekul dan kemudian bergabung untuk membentuk *fibril-fibril* yang menyatu dalam *bundle*. Tahap pertama sintesis berada pada intraseluler, untuk menghasilkan molekul prokolagen dimana dalam keadaan aktif berada di ruang ekstraseluler. Sintesis di intraseluler menghasilkan tiga rantai α yang identik sebagai kolagen tipe III dan tiga rantai yang berbeda sebagai tipe I. Prokolagen selanjutnya meninggalkan sel, kemudian beberapa asam amino dipotong secara enzimatik membentuk tropokolagen yang disebut molekul kolagen (Triyono, 2005). Molekul kolagen berpolimerisasi dengan cepat untuk membentuk serat kolagen dan jaringan yang terbentuk disebut osteoid. Osteoid ini yang nantinya berperan dalam proses pembentukan tulang (Guyton & Hall, 2007).

2.4 Faktor yang Mempengaruhi Metabolisme Kalsium danFosfor

2.4.1 Hormon Paratiroid (PTH)

Absorpsi kalsium dan fosfor sangat dipengaruhi oleh hormon paratiroid (PTH). PTH mempunyai dua efek pada tulang dalam menimbulkan absorpsi kalsium dan fosfor. Tahap pertama yaitu tahap cepat yang dimulai dalam waktu beberapa menit dan meningkat secara progresif dalam beberapa jam. Tahap ini disebabkan oleh aktivasi sel-sel tulang yang sudah ada (terutama osteosit) untuk meningkatkan absorpsi kalsium dan fosfor. Tahap kedua yaitu tahap yang lambat, dan

membutuhkan waktu beberapa hari atau bahkan beberapa minggu untuk menjadi berkembang penuh (Guyton & Hall, 2007).

Tahap cepat absorpsi kalsium dan fosfor terjadi dalam waktu beberapa menit. PTH akan terikat dengan sel osteoblas dan osteosit. PTH dapat mengaktifkan pompa kalsium dengan kuat, sehingga menyebabkan pemindahan garam-garam kalsium fosfat dengan cepat dari kristal tulang amorf yang terletak dekat dengan sel. Selanjutnya pompa kalsium di sisi lain dari membran sel memindahkan ion kalsium yang tersisa tadi ke dalam cairan ekstraseluler (Guyton & Hall, 2007).

Tahap lambat absorpsi kalsium dan fosfor terjadi selama beberapa hari atau beberapa minggu. PTH bekerja melalui mekanisme peningkatan pembentukan dan aktivitas osteoklas. Aktivitas sistem osteoklastik terjadi dalam dua tahap yaitu aktivitas yang berlangsung dari osteoklas yang sudah terbentuk dan melalui pembentukan osteoklas baru. Peningkatan aktivitas osteoklas terutama terjadi pada *ruffled border* dan *sealing zone*, sehingga resorpsi matriks tulang meningkat. Sel osteoklas tidak mempunyai reseptor spesifik terhadap PTH, maka hormon ini tidak dapat bekerja secara langsung terhadap osteoklas. Hormon ini bekerja secara langsung terhadap osteoblas dengan cara menghambat aktivitas osteoblas dalam pembentukan tulang dan mendorong osteoblas untuk menghasilkan faktor stimulasi osteoklas yang mengaktivasi osteoklas. Osteoklas yang teraktivasi akan meresorpsi tulang dan melepaskan kalsium untuk mengembalikan kalsium darah yang normal (Derek *et al*., 2007).

2.4.2 Hormon Kalsitonin

Salah satu hormon yang juga mempengaruhi absorpsi kalsium dan fosfor dalam tulang yaitu kalsitonin. Kalsitonin memiliki efek yang berlawanan dengan PTH yaitu menurunkan konsentrasi kalsium darah yang berlebihan. Kalsitonin mengurangi konsentrasi kalsium plasma dengan dua cara yaitu mengurangi kerja absorpsi osteoklas dengan segera yang menyebabkan penurunan ukuran *sealing zone* sehingga hambatan resorpsi tulang dan melalui penurunan pembentukan osteoklas

yang baru. Sel osteoklas memiliki sejumlah reseptor spesifik terhadap kalsitonin pada permukaan selnya, oleh karena itu kalsitonin dapat bekerja secara langsung terhadap osteoklas. Hambatan resorpsi tulang akibat efek terjadinya pelepasan kalsium ke dalam darah dan konsentrasi kalsium dapat turun ke normal (Derek *et al*., 2007).

2.4.3 Vitamin D

Vitamin D memiliki efek yang poten untuk meningkatkan absorpsi kalsium dari usus serta memiliki efek yang penting bagi pembentukan dan absorpsi tulang. Vitamin D_3 yang juga disebut *kolekalsiferol* dibentuk di kulit akibat radiasi *7-dehidrokolesterol*, yaitu suatu zat yang normalnya dijumpai dikulit, oleh sinar matahari yang sesuai mencegah terjadinya defisiensi vitamin D (Guyton & Hall, 2007). Reaksi yang terjadi meliputi pembentukan cepat pravitamin D_3, yang kemudian diubah lambat menjadi vitamin D_3 (*kolekalsiferol*) (Ganong, 2002).

Kolekalsiferol mengalami pengubahan menjadi *25-hidroksikolekalsiferol* di dalam hati. Proses ini ada batasnya, karena 25-hidroksikolekalsiferol memiliki efek umpan balik penginhibisi pada reaksi pengubahan. Selanjutnya *25-hidroksikolekalsiferol* mengalami perubahan menjadi *1,25-dihidroksikolekalsiferol* di tubulus proksimal ginjal. *1-25- dihidroksikolekalsiferol* berfungsi sebagai suatu jenis "hormon" untuk meningkatkan absorpsi kalsium oleh usus. Zat ini melakukannya terutama dengan meningkatkan pembentukan protein pengikat kalsium di sel epitel usus selama periode sekitar 2 hari. Protein ini berfungsi di *brush burder* sel-sel tersebut untuk mengangkut kalsium ke dalam sitoplasma sel, dan selanjutnya kalsium bergerak melalui membran basolateral sel dengan cara difusi terfasilitasi. *1,25-dihidroksikolekalsiferol* juga menyebabkan pembentukan ATPase terstimulasi kalsium di *brush border* sel epitel dan suatu alkaline fosfatase di sel epitel. Vitamin D juga meningkatkan absorpsi fosfat oleh usus. Meski fosfat diabsorpsi dengan mudah, aliran-masuk fosfat melalui epitel saluran cerna akan diperkuat oleh vitamin D. Vitamin D juga meningkatkan absorpsi kalsium dan fosfat oleh sel epitel tubulus

ginjal, sehingga cenderung untuk mengurangi ekskresi zat-zat ini dalam urin (Guyton & Hall, 2007).

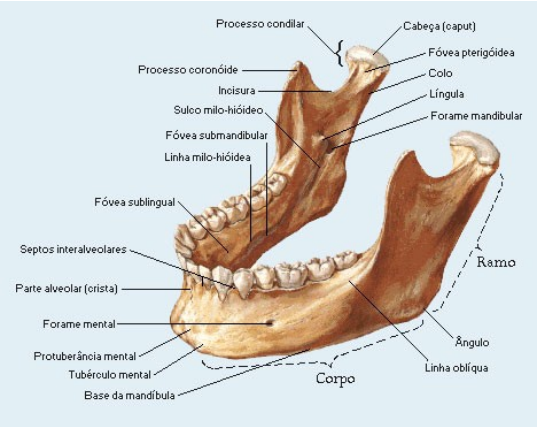
Vitamin D berperan penting dalam absorpsi tulang dan pembentukan tulang. Pemberian vitamin D dalam jumlah yang ekstrem mengakibatkan absorpsi tulang. Bila tidak ada vitamin D, efek PTH dalam menimbulkan absorpsi tulang akan sangat berkurang atau bahkan dapat dicegah. Mekanisme kerja vitamin D ini tidak diketahui, namun diyakini terjadi akibat efek 1,25-dihidroksikolekalsiferol untuk meningkatkan transpor kalsium melalui membran sel. Vitamin D dengan jumlah yang lebih kecil meningkatkan kalsifikasi tulang. Salah satu cara untuk melakukan hal tersebut adalah dengan meningkatkan absorpsi kalsium dan fosfat dari usus. Mekanisme ini juga belum diketahui dengan pasti, namun kemungkinan disebabkan oleh kemampuan 1,25-dihidroksikolekalsiferol untuk menimbulkan transpor ion kalsium melalui membran sel, tetapi pada keadaan ini, kemungkinan dengan arah yang berlawanan melalui membran osteoblas atau membran sel osteosit (Guyton & Hall, 2007).

2.4.4 Hormon lain dan zat-zat humoral

Metabolisme kalsium dipengaruhi oleh berbagai hormon selain vitamin D, PTH, dan kalsitonin antara lain glukokortikoid, hormon pertumbuhan dan IGF-I. Glukokortikoid menurunkan kadar plasma dengan menghambat pembentukan dan aktivitas osteoklas, tetapi dalam jangka panjang bahan ini menyebabkan osteoporosis dengan menurunkan pembentukan tulang dan meningkatkan resorpsi tulang. Glukokortikoid menurunkan pembentukan tulang dengan menghambat sintesis protein di osteoblas. Glukokortikoid juga menurunkan absorbsi Ca^{2+} dan PO_4^{3-} dari usus dan meningkatkan ekskresi ion-ion ini di ginjal. Hormon pertumbuhan meningkatkan ekskresi kalsium di kemih tetapi hormon ini juga meningkatkan penyerapan kalsium di usus, dan efek ini mungkin lebih besar daripada efek pada ekskresi, sehingga terjadi keseimbangan kalsium yang positif. IGF-1 yang terbentuk oleh kerja hormin pertumbuhan merangsang sintesis protein di tulang (Ganong, 2002).

2.5 Mandibula

Mandibula merupakan tulang muka yang paling besar dan paling kuat. Mandibula berfungsi sebagai tempat dari gigi dan perlekatan otot-otot pengunyahan. Mandibula dibentuk oleh dua bagian simetris, yang mengadakan fusi dalam tahun pertama kehidupan. Tulang ini terdiri dari korpus yaitu suatu lengkungan tapal kuda dan sepasang ramus yang pipih dan lebar, yang mengarah keatas pada bagian belakang dari korpus. Pada ujung dari masing-masing ramus didapatkan dua buah penonjolan disebut prosesus kondiloideus dan prosesus koronoideus. Prosesus kondiloideus terdiri dari kaput dan kolum. Permukaan luar dari korpus mandibula pada garis median, didapatkan tonjolan tulang halus yang disebut simfisis mentum, yang merupakan tempat pertemuan embriologis dari dua buah tulang. Bagian atas korpus mandibula membentuk tonjolan disebut prosesus alveolaris, yang mempunyai 16 buah lubang untuk tempat gigi. Bagian bawah korpus mandibula mempunyai tepi yang lengkung dan halus. Pada pertengahan korpus mandibula, kurang lebih 1 inci dari simfisis, didapatkan foramen mentalis yang dilalui oleh vasa dan nervus mentalis. Permukaan dalam dari korpus mandibula cekung dan didapatkan linea milohiodea yang merupakan pertemuan antara tepi belakang ramus mandibula. Angulus mandibula terletak subkutan dan mudah diraba pada 2-3 jari di bawah lobulus aurikularis (Bajpai, 1991).



Gambar 2.2 Anatomi Mandibula (Netter, 2000)

2.6 Kekuatan Impak

Kekuatan impak adalah daya tahan suatu bahan terhadap benturan yang tiba-tiba, misalnya terjatuh pada permukaan yang keras (Noort, V.R, 1994). Kekuatan impak suatu bahan bisa diketahui dengan cara pemberian beban secara tiba-tiba pada suatu bahan. Pengukuran kekuatan impak ini dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut: spesimen dengan ukuran tertentu diletakkan pada alat penguji impak yang mempunyai lengan pemukul yang dapat diayunkan. Hasil dari pengurangan amplitudo ayunan pemukul tersebut terus kemudian diukur. Dari sini energi yang dibutuhkan untuk mematahkan bahan tadi dapat dihitung (Combe, 1992).

Kekuatan impak pengaruhi oleh kualitas tulang dan kuantitas tulang. Kualitas yaitu ukuran (massa) tulang, kandungan mineral, dan mikroarsitektur tulang Kuantitas yaitu densitas tulang (BMD) merupakan jumlah mineral dalam gram per volume (Permana, 2011). BMD (*Bone Mineral Density*) dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu indeks massa tubuh (IMT), asupan kalsium, vitamin D, vitamin C, dan protein (Trihapsari, 2009).

2.7 Ikan Teri (*Stolephorus sp*.)

2.7.1 Klasifikasi Ikan Teri (*Stolephorus sp*.)

Klasifikasi ikan Teri (*Stolephorus sp*.) berdasarkan ikan yang termasuk *cartilaginous* (bertulang rawan) atau *bony* (bertulang keras), menurut Young (1962) dan De Bruin *et al*., (1994) adalah sebagai berikut:

Filum : *Chordata*
Sub-Filum : *Vertebrae*
Class : *Actinopterygii*
Ordo : *Clupeiformes*
Famili : *Engraulididae*
Genus : *Stolephorus*
Species : *Stolephorus sp*.

2.7.2 Morfologi Ikan Teri (*Stolephorus sp.*)

Ikan Teri (*Stolephorus sp.*) mempunyai ciri-ciri umum yaitu badan seperti cerutu, sedikit silindris, bagian perut membulat, kepala pendek, moncong nampak jelas dan meruncing (Anas, 2008), mempunyai panjang 7-16 cm (De Bruin, 1994), sisiknya tipis dan warna pucat bila sisik terlepas, linie lateral terletak antara sirip dada dan sirip perut dan berwarna keperakan (Saanin, 1984).

Gambar 2.3 Ikan Teri (*Stolephorus sp.*) (Anonim, 2011)

2.7.3 Habitat dan Penyebaran Ikan Teri (*Stolephorus sp.*)

Ikan Teri (*Stolephorus sp.*) merupakan salah satu dari kelompok ikan pelagis yang menghuni perairan pantai serta mempunyai sebaran yang sangat luas (Nontji, 1987). Ikan teri (*Stolephorus sp.*) hampir dapat dijumpai di seluruh lautan kecuali daerah kutub mulai dari Samudra Atlantik, Samudra Hindia, dan Samudra Pasifik dan lebih senang berada di perairan yang beriklim sedang (Anonim, 2010). Ikan Teri (*Stolephorus sp.*) banyak dihasilkan di daerah pesisir pantai indonesia dan makanan utamanya adalah plankton (Keenleyside 1979 dan Wootton 1992).

2.7.4 Kandungan Gizi Ikan Teri (*Stolephorus sp.*)

Ikan teri (*Stolephorus sp.*) merupakan sumber kalsium yang tahan dan tidak mudah larut dalam air. Ikan teri (*Stolephorus sp.*) juga sebagai bahan pangan yang

mempunyai nilai gizi tinggi dengan kandungan mineral, vitamin, lemak tak jenuh dan protein yang tersusun dalam asam-asam amino esensial yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tubuh dan kecerdasan manusia (Lubis, 1987). Menurut dr Endang Darmoutomo MD MS, ahli gizi klinik (suara pembaruan, 2008) yang terbaik dari ikan teri (*Stolephorus sp.*) sebagai sumber kalsium adalah tulangnya, jadi bukan hanya dagingnya. Sebenarnya semua ikan bisa menjadi sumber kalsium, namun karena tulang pada ikan, selain teri, besar dan keras, maka tidak mungkin dikonsumsi. Sedangkan pada ikan teri (*Stolephorus sp.*) tulangnya empuk dan enak dimakan (Koral AUP/STP Papua, 2008).

Tabel 2.1 Kandungan Gizi Ikan Teri *(Stolephorus sp.)* segar per 100 gram

Komponen	**Jumlah per 100 gram ikan teri segar**	**Satuan**
Kalori	170	Kal
Protein	33,4	mg
Lemak	3,0	mg
Karbohidrat	0	mg
Kalsium	1200	mg
Fosfor	1500	mg
Besi	3,6	mg
Vitamin A	210	SI
Vitamin B1	0,15	mg
Vitamin C	0	mg
Air	37,8	g

(Anonim, 2007)

A. Kandungan Ikan Teri (*Stolephorus sp.*) Bagi Tulang

(1) Protein

Protein adalah sumber asam-asam amino yang mengandung unsur C, H, 0, dan N. Unsur nitrogen adalah unsur utama protein, karena terdapat di dalam semua protein akan tetapi tidak terdapat di dalam karbohidrat dan lemak. Kekurangan protein dalam waktu lama dapat mengganggu berbagai proses dalam tubuh dan menurunkan daya tahan tubuh terhadap penyakit (Winarno, 1992).

Protein dibedakan berdasarkan fungsi biologinya, protein dapat diklasifikasikan sebagai enzim (dehidrogenase, kinase), protein penyimpanan (feritin, mioglobin), protein pengatur (protein pengikat-DNA, hormon peptida), protein struktural (kolagen, proteoglikan), protein pelindung (faktor pembekuan darah, imunoglobin), protein pengangkut (hemoglobin, lipoprotein plasma) dan protein kontraktil/motil (aktin, tubulin) (Murray *et al*., 2003).

Ikan teri (*Stolephorus sp.*) mengandung banyak asam amino esensial dan asam amino non esensial. Asam amino esensial yang paling banyak yaitu isoleusin, leusin, lisin dan valin. Asam amino non esensial yang diduga banyak pada ikan teri adalah asam glutamat, asam aspartat dan glisin (Ja'far, 2010). Ikan teri (*Stolephorus sp.*) mengandung protein yang bermanfaat untuk pembentukan kolagen.

(2) Lemak

Lemak meningkatkan waktu transit makanan melalui saluran cerna, karena lemak akan meninggalkan lambung secara lambat, yaitu 3,5 jam setelah dikonsumsi, dengan demikian memberikan waktu lebih banyak untuk absorpsi kalsium.

(3) Kalsium

Kalsium sangat bermanfaat bagi pembentukan gigi dan tulang. Kalsium mempunyai dua peran penting pada tulang, yaitu menyediakan regulator tak langsung bagi proses remodeling tulang dan sebagai sumber kation untuk konstruksi mineral tulang.

(4) Fosfor

Fosfor bersama-sama dengan kalsium adalah penyusun tulang dan gigi yang sangat penting. Peran fosfor dalam tulang adalah dalam menjaga masa tulang dan bekerjasama dengan kalsium. Fosfor juga terdapat dalam semua sel hidup dan diperlukan untuk pelepasan energi. Energi yang dihasilkan oleh oksidasi glukosa disimpan di dalam sel dalam bentuk senyawa fosfat berenergi tinggi. Pada saat dibutuhkan, senyawa-senyawa ini akan dipecah untuk mendapatkan energi.

(5) Besi

Besi berfungsi untuk mengangkut oksigen dan karbondioksida melalui hemoglobin, sehingga sangat esensial untuk metabolisme energi. Dalam saluran pencernaan, besi mengalami reduksi dari ferri menjadi ferro. Bentuk ferro (Fe tereduksi) ini lebih mudah diserap dibanding bentuk ferri (Fe teroksidasi). Proses reduksi ini dibantu oleh HCL lambung atau vitamin C. Kemudian setelah diserap oleh usus, Fe diangkut oleh darah dan didistribusikan keseluruh tubuh dalam keadaan terikat dengan protein (Muchtadi, 2009).

(6) Vitamin A

Vitamin A merupakan vitamin larut lemak yang diperlukan dalam penglihatan, pertumbuhan, daya tahan tubuh terhadap infeksi dan remodeling tulang (Nieves, 2005). Defisiensi vitamin A menyebabkan pertumbuhan tulang terganggu akan tetapi kelebihan vitamin A dapat mempercepat resorbsi tulang, kerapuhan tulang dan terjadinya fraktur tulang (Wimalawansa, 2004).

(7) Vitamin B1

Vitamin B1 (thiamin) mengandung sulfur yang juga terkandung dalam bagian tubuh seperti jaringan ikat, kulit, kuku dan rambut. Sulfur merupakan

bagian penting dari mukopolisakarida, misalnya pada kondroitin sulfat tulang rawan, tendon, tulang, kulit dan klep-klep jantung (Winarno, 1992).

2.8 Hipotesa

Pemberian diet tambahan ikan teri (*Stolephorus sp.*) dapat meningkatkan kekuatan impak tulang mandibula tikus wistar jantan.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Rancangan Penelitian

Jenis penelitian ini adalah eksperimental laboratorius secara invivo, rancangan penelitian yang digunakan adalah *post test only control group design* yaitu dengan melakukan pengukuran sesudah perlakuan diberikan dan hasilnya dibandingkan dengan kelompok kontrol (Praktiknya, 2003 dan Notoatmodjo, 2005).

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Biomedik Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember dan Laboratorium Material dan Metalurgi Fakultas Teknik ITS Surabaya.

3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli – Agustus 2011

3.3 Sampel Penelitian

a. Kriteria Sampel Penelitian

Sampel penelitian ini adalah tikus putih galur wistar jantan (*Rattus norvegicus* L.) dengan kriteria sebagai berikut:

(1) Tikus jantan
(2) Berat badan 100-300 gr

(3) Usia 2-3 bulan

(4) Sehat

b. Jumlah dan Pengelompokan Sampel Penelitian

25

Besar sampel yang dalah berdasarkan rumus (Steel & Torie, 1995) sebagai berikut:

$$n = \frac{(Z\alpha + Z\beta)^2 \sigma^2_D}{\delta^2}$$

n = Jumlah sampel minimal
Zα = Batas atas nilai konversi pada tabel distribusi normal untuk batas kemakmuran (1,96)
Zβ = Batas bawah nilai konversi pada tabel distribusi normal untuk batas kemakmuran (0,85)
σ = Tingkat signifikan (0,05)
β = 0,20
σ^2_D / δ^2 = 1 → diasumsikan $\sigma^2_D = \delta^2$

maka, hasil perhitungan sampel minimal adalah sebagai berikut:

$$n = \frac{(1{,}96 + 0{,}85)^2 \sigma^2_D}{\delta^2}$$

$$= (2{,}81)^2 = 7{,}9 \approx \mathbf{8}$$

Berdasarkan rumus tersebut, jumlah sampel minimal adalah 8 ekor tikus. Penelitian ini menggunakan sampel sebanyak 10 ekor, untuk menghindari terjadinya drop out pada sampel.

Pada penelitian ini menggunakan 20 ekor tikus yang dibagi secara acak menjadi 2 kelompok percobaan, yaitu kelompok kontrol dan perlakuan (Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Pembagian Kelompok Penelitian

Pemberian Diet pada Kelompok Percobaan	
Kontrol	**Perlakuan**
Pakan standar Minum air aquades *ad libitum*	Pakan standar Minum air aquades *ad libitum* Tambahan diet ikan teri dengan dosis 0,0062 gr/hari x BB tikus

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Ikan teri (*Stolephorus sp.*)

3.4.2 Variabel Terikat

Kekuatan impak tulang mandibula

3.4.3 Variabel Terkendali

a. Makanan dan minuman tikus

b. Tempat dan cara pemeliharaan tikus

c. Pemberian dan dosis ikan teri (*Stolephorus sp.*)

e. Prosedur pembuatan sediaan ikan teri (*Stolephorus sp.*)

f. Prosedur pengambilan preparat

g. Prosedur pengukuran kekuatan impak

3.5 Definisi Operasional

3.5.1 Ikan Teri (*Stolephorus sp.*)

Ikan teri (*Stolephorus sp.*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah ikan teri segar yang diambil di perairan puger, Jember, Jawa timur. Ikan teri (*Stolephorus sp.*) diperoleh dengan cara menghaluskan ikan teri (*Stolephorus sp.*) dengan blender. Ikan teri (*stolephorus sp.*) diberikan pada tikus dengan sondase lambung dalam bentuk sediaan semipadat dengan dosis 0,0062 gr x BB tikus per hari.

3.5.2 Kekuatan Impak

Besarnya daya tahan tulang mandibula ketika diberi benturan tiba-tiba dengan *impact tester* yang memiliki bandul seberat 65 gram dan panjang lengan 610 mm. Tulang mandibula yang diambil adalah bagian korpus mandibula yang diperoleh dengan memotongnya menggunakan *carborundum*, pada 2 mm sebelah distal foramen mentale dengan ukuran 10 x 5 x 3 mm. Hal ini bertujuan untuk homogenitas sampel penelitian.

Metode Pengukurannya spesimen tulang mandibula diletakkan pada *impact tester* yang memiliki bandul seberat 65 gram dan panjang lengan pemukul 610 mm yang dapat diayunkan. Pemukul tersebut kemudian diayunkan hingga membentur dan mematakan spesimen. Hasil dari pengukuran amplitudo ayunan tersebut kemudian diukur dan energi yang dibutuhkan untuk mematahkan bahan spesimen tadi dapat dihitung.

3.6 Alat dan Bahan Penelitian

3.6.1 Alat Penelitian

a. Alat untuk perlakuan hewan uji

(1) kandang yang disekat-sekat, terbuat dari plastik (Lion Star, *Indonesia*)

(2) tempat makan dan minum tikus

(3) timbangan untuk menimbang tikus (neraca Ohaus, *Germany*)

(4) sarung tangan (Senstouch, *Indonesia*) dan masker (J-Spin, *Indonesia*)

(5) sonde lambung untuk pemberian ikan teri (*Stolephorus sp.*)

(6) gelas ukur (One Lab, *Indonesia*)

(7) tissue (Multi, *Indonesia*)

b. Alat untuk membuat sediaan ikan teri (*Stolephorus sp.*)

(1) timbangan digital

(2) baskom untuk tempat mencuci ikan teri (*Stolephorus sp.*)

(3) toples kedap udara (Lion star, *Indonesia*)

(4) blender (Philips, *Indonesia*)

(5) penyaring

c. Alat untuk dekaputasi dan pengambilan sampel

(1) toples kedap udara (Lion star, *Indonesia*)

(2) gunting (SDI, *Indonesia*)

(3) gunting bedah (Dentica)

(4) pinset sirurgis (Medica Stainless)

(5) skalpel (Meiden Stainless, *Japan*)

(6) mata pisau skalpel (Meiden Stainless, *Japan*)

(7) pot obat

(8) masker (J-Pin, *Indonesia*)

(9) sarung tangan (Sentouch, *Indonesia*)

c. Alat untuk mengukur kekuatan impak

(1) *impact tester* (*Mini Impact Tester*, Germany) yang telah dimodifikasi

(2) kaliper (jangka sorong)

3.6.2 Bahan Penelitian

(1) tikus wistar jantan dengan berat 100-300 gram

(2) ikan teri (*Stolephorus sp.*) yang diperoleh dari pasar tradisional di Puger, Jember

(3) akuades steril (Aditama Raya Farmindo, *Indonesia*)

(4) formalin 10 %

(5) eter

(6) asam pikrat

(7) pakan standar tikus (Turbo, *Indonesia*)

(8) sekam padi

(9) alkohol 70 %

3.7 Prosedur Penelitian

3.7.1 Persiapan Sampel Penelitian

(1) Memilih tikus putih wistar jantan sebanyak 20 ekor

(2) Melakukan penimbangan berat badan tikus dengan neraca Ohauss (berat badan tikus 100-300 gram)

(3) Menyiapkan kandang tikus dan mengadaptasi tikus tersebut di dalam kandang dengan ukuran 30 cm x 30 cm dengan jumlah tikus sebanyak 5 ekor dalam satu kandang selama 7 hari dan diletakkan di ruang perawatan hewan.

3.7.2 Persiapan Bahan Perlakuan

a. Pembuatan Sediaan Ikan Teri (*Stolephorus sp.*)

Pembuatan sediaan ikan teri dilakukan dengan cara menghaluskan ikan teri (*Stolephorus sp.*). Berikut ini langkah-langkah pembuatannya:

1. Menimbang 100 gr ikan teri (*Stolephorus sp.*) segar
2. Mencuci ikan teri (*Stolephorus sp.*) sampai bersih
3. Ikan teri (*Stolephorus sp.*) ditiriskan untuk mengurangi kadar air
4. Ikan teri (*Stolephorus sp.*) dihaluskan dengan menggunakan blender
5. Hasil dari penghalusan dimasukkan dalam toples kedap udara

b. Konversi Perhitungan Dosis Sediaan Ikan Teri (*Stolephorus sp.*)

Kebutuhan asupan makanan yang cukup bagi anak-anak harus lebih diperhatikan. Terutama kebutuhan asupan nutrisi dan mineral bagi tulang karena anak-anak masih dalam masa pertumbuhan. Penelitian ini menggunakan hewan coba, sehingga dilakukan konversi perhitungan dosis sediaan ikan teri yang akan diberikan pada hewan coba. Konversi Perhitungan dosisnya sebagai berikut:

Manusia = tikus = Konsumsi 2x/hari (pagi dan sore)

Kebutuhan Ca manusia dewasa = 800 mg

Kebutuhan Ca anak-anak (<12tahun) = 1000 mg

Analisa Ca per gram ikan teri = 8 mg

Berapa kebutuhan ikan anak-anak perhari untuk memenuhi kebutuhan Ca anak-anak 1000 mg?

$$\frac{\text{kebutuhan Ca anak} - \text{anak perhari}}{\text{kebutuhan ikan perhari pada anak} - \text{anak}} = \frac{\text{8 mg Ca}}{\text{1 gr ikan teri}}$$

$$\frac{\text{1000 mg}}{\text{X (gr)}} = \frac{\text{8 mg}}{\text{1 gr}}$$

$$X = \frac{1000}{8}$$

Maka, kebutuhan ikan pada anak perhari untuk memenuhi kebutuhan Ca 1000 mg adalah 125 gr/ hari

Rumus Dosis :

$$\frac{\text{BB anak} - \text{anak}}{\text{kebutuhan ikan pada anak perhari}} = \frac{\text{BB tikus}}{\text{kebutuhan ikan pada tikus perhari}}$$

$$\frac{\text{20 kg}}{\text{125 gr}} = \frac{\text{BB tikus}}{\text{Y}}$$

$$Y = \frac{125\ gr}{20.000\ gr} \times BB\ tikus$$

$$Y = 0{,}0062\ gr/hari \times BB\ tikus$$

Didapatkan konversi dosis sediaan ikan teri yang diberikan pada hewan uji tiap harinya adalah 0,0062 gr/hari x BB tikus.

3.7.3 Perlakuan Sampel Penelitian

(1) Sebanyak 20 ekor tikus dibagi menjadi 2 kelompok (point 3.3.b dan tabel 3.1). Setelah dilakukan pengelompokkan, sampel penelitian diberi tanda menggunakan asam pikrat untuk membedakan tikus pada masing-masing kelompok.

(2) Setiap ekor tikus pada masing-masing kelompok dihitung berat badan tikus setiap satu minggu sekali sebagai panduan pemberian dosis sediaan ikan teri (*Stolephorus sp.*).

(3) Masing-masing kelompok diberi perlakuan selama 40 hari, pemberian sediaan ikan teri (*Stolephorus sp.*) diberikan secara peroral dengan sondase lambung.

3.7.4 Koleksi Sampel Mandibula

a. Setelah 40 hari tikus diberi perlakuan, tikus pada seluruh kelompok percobaan di dekaputasi menggunakan eter yang diteteskan pada lembaran kapas yang kemudian dimasukkan kedalam sebuah toples kedap udara yang memiliki pengunci di bagian samping. Setelah kapas mengandung eter dimasukkan dalam toples, kemudian tikus dimasukkan dan ditunggu beberapa menit hingga tanda vital pada tikus tidak terdeteksi (denyut jantung, pernapasan). Apabila tikus telah benar-benar mati, maka dilakukan pembedahan dan pengambilan sampel tulang mandibula.

b. Pengawetan Sampel

Sebelum pengukuran, terlebih dahulu sampel dimasukkan dalam larutan formalin 10% sampai akan dilakukan pengukuran.

c. Pengeringan Sampel

Sebelum dilakukan pengukuran sampel dikeringkan dengan cara diangin-anginkan atau dibiarkan terbuka pada suhu ruang selama ± 2 jam.

3.7.5 Pengukuran Kekuatan Impak

(1) Spesimen uji diukur dimensinya menggunakan kaliper atau jangka sorong. Seluruh hasil yang diperoleh dicatat pada tabel.

(2) *Test piece* diletakkan pada landasan (*anvil*) pada posisi mendatar, takik atau *notch* harus diletakkan tepat di bagian tengah spesimen. Arah *notch* menghadap ke arah yang sejajar dengan datangnya bandul.

(3) Bandul atau beban dinaikkan dengan besar sudut (disini sudut α yang diambil bergantung pada ketahanan spesimen ± 45°-90°)

(4) Posisi awal jarum diatur dan penunjuk skala awal pada posisi nol

(5) Bandul dilepas

(6) Setelah memukul *test piece* bandul masih akan berayun dengan besar sudut β. Amati dan catat sudut β ini dalam tabel hasil pengamatan

(7) Energi yang digunakan untuk mematahkan *test piece* dapat dilihat pada jarum skala penunjuk dan dicatat dalam tabel hasil pengamatan. Energi ini secara teoritis juga dapat dihitung berdasarkan rumus.

(8) Hitung kekuatan impak dari *test piece* berdasarkan hasil bagi total energi untuk mematahkan *test piece* dengan luas penampang dari bagian yang tertakik.

(9) Dan akhirnya kekuatan impak (*impact strength*) dapat dihitung dengan rumus:

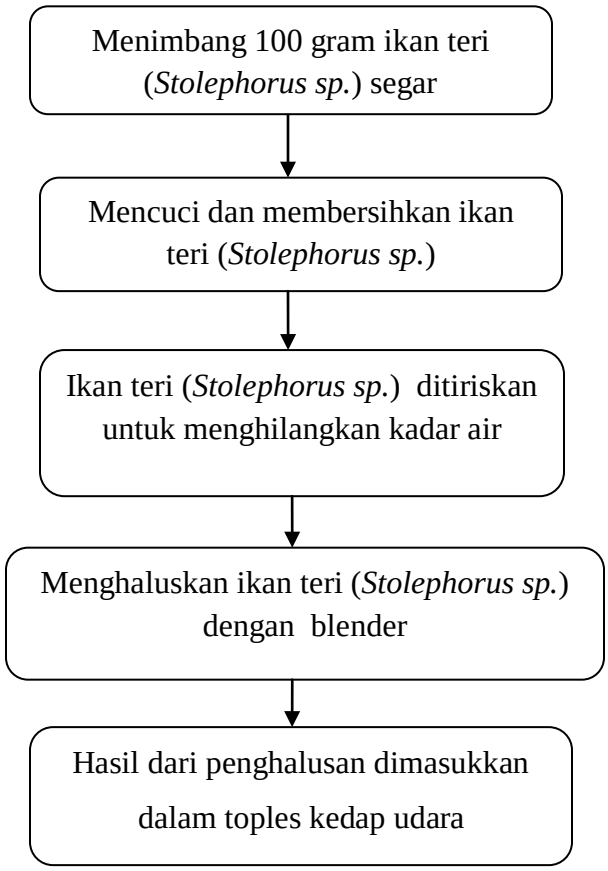
$$IS = \frac{W£(\mathrm{Cos}\alpha - Cos\beta)}{A}$$

β = sudut akhir
α = sudut awal
A = luas penampang spesimen uji (mm^2)
W = berat bandul (gr)
£ = panjang lengan bandul (mm)

3.8 Analisis Data

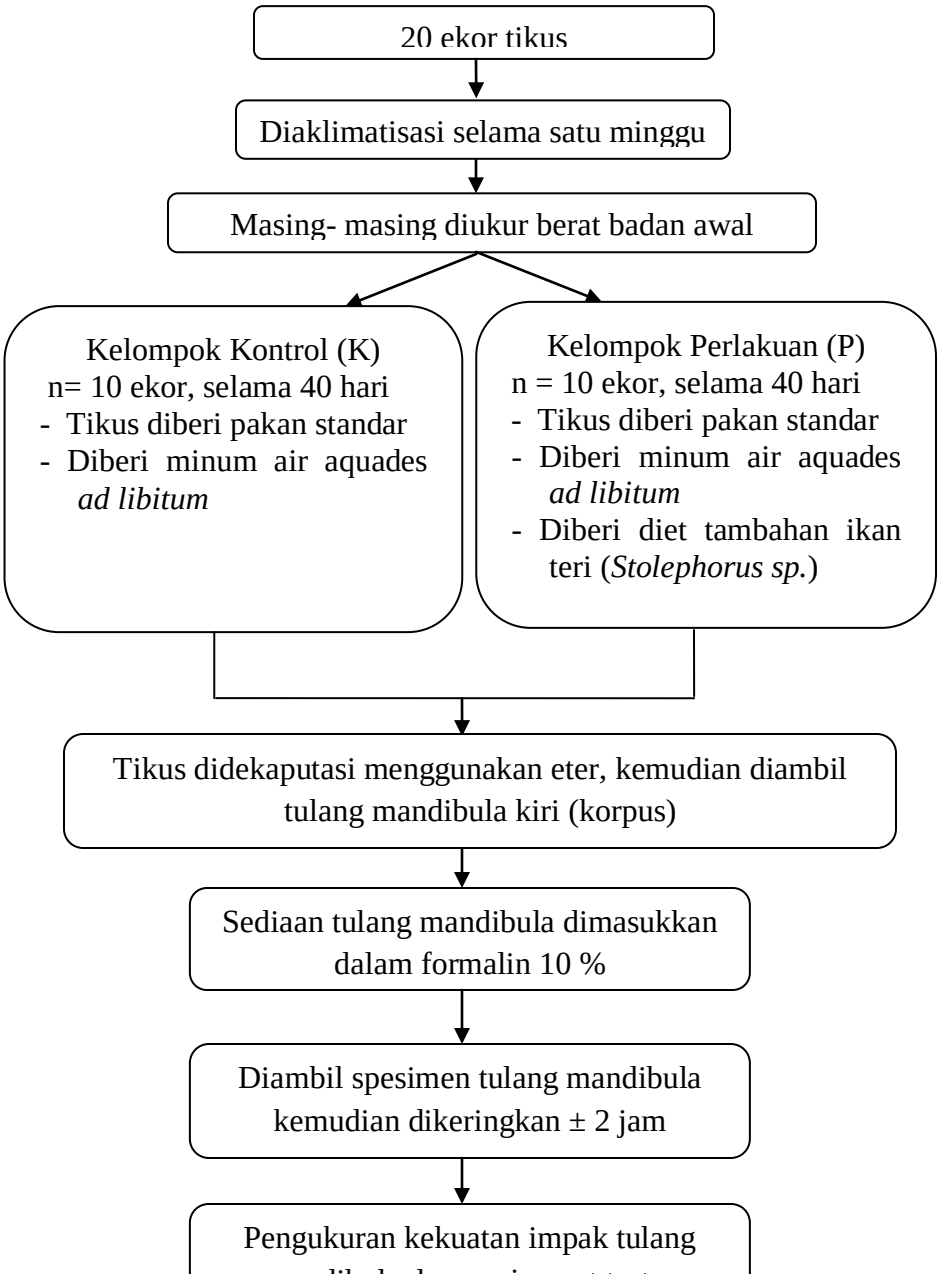
Data yang diperoleh ditabulasikan, kemudian dilakukan uji normalitas *Kolmogorov Smirnov* (p>0,05)dan uji homogenitas *Levene* (p>0,05). Data yang terdistribusi normal dan varians homogen, kemudian dilanjutkan dengan uji beda *Independent T* (p<0,05) dengan angka kepercayaan 95%.

3.9 Diagram Pembuatan Sediaan Ikan Teri (*Stolephorus sp.*)



Gambar 3.1 Diagram pembuatan sediaan ikan teri (*Stolephorus sp.*)

3.10 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.2 Diagram alur penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan diperoleh nilai rata-rata kekuatan impak tulang mandibula tikus wistar jantan yang menunjukkan kekuatan impak tulang mandibula dari kedua kelompok. Nilai kekuatan impak tulang mandibula tikus wistar jantan ditunjukkan pada tabel 4.1.

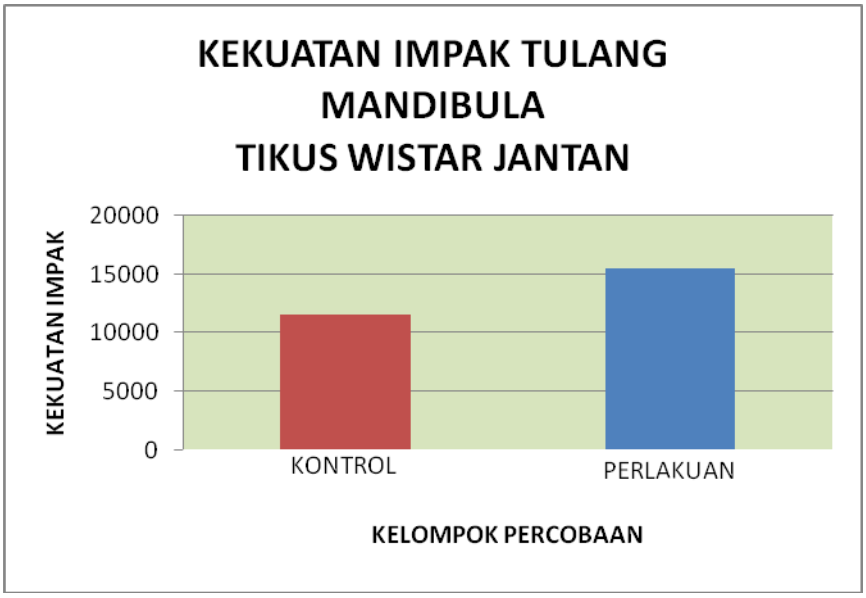
Tabel 4.1. Nilai kekuatan impak tulang mandibula tikus wistar jantan

NO	KEKUATAN IMPAK (Joule)	
	KONTROL	PERLAKUAN
1	6789,30	17931,83
2	11935,47	21679,39
3	11359,63	13873,57
4	13571,87	19518,51
5	13925,63	10032,73
6	10218,53	11459,95
7	13130,05	14570,74

8	15617,14	13310,87
9	11680,53	20767,21
10	7255,510	11523,90
Rata-rata X ± SD	**11548,36 ±4193,95**	**15466,87 ±2825,50**

Kelompok perlakuan : Tikus diberi minum aquades, pakan standar, diet tambahan ikan teri
Kelompok kontrol : Tikus diberi minum aquades, pakan standar tanpa diet tambahan ikan teri

Hasil penelitian yang tersaji dalam tabel 4.1 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai kekuatan impak tulang mandibula tikus wistar jantan kelompok perlakuan dengan kontrol, yaitu pada kelompok perlakuan sebesar 15466,87 dan kontrol sebesar 11548,36. Diagram batang rata-rata nilai kekuatan impak tulang mandibula tikus wistar jantan



Gambar 4.1. Diagram batang nilai kekuatan impak tulang mandibula tikus wistar jantan

: Kelompok kontrol, tikus diberi aquades dan pakan standar tanpa diet tambahan ikan teri

: Kelompok perlakuan, tikus diberi minum aquades, pakan standar, diet tambahan ikan teri

Data yang didapat dilakukan uji normalitas dan dilanjutkan dengan uji homogenitas sebagai syarat sebelum melakukan uji beda *Independent T*. Uji normalitas menggunakan uji *Kolmogorov-smirnov* bertujuan untuk mengetahui apakah data berdistribusi normal atau tidak. Hasil dari uji normalitas menunjukkan bahwa data hasil penelitian memiliki nilai p>0,05, hal ini menunjukkan bahwa data hasil penelitian ini memiliki distribusi normal. Uji homogenitas menggunakan uji *Levene* dengan p>0,05. Hasil uji *Levene* mendapatkan nilai signifikansinya sebesar 0,073 (p>0,05), hal ini membuktikan bahwa data yang didapat dari penelitian ini adalah homogen.

Setelah data diketahui berdistribusi normal dan homogen, dilanjutkan dengan uji parametrik menggunakan uji beda *Independent T* untuk mengetahui apakah ada perbedaan yang bermakna antara kekuatan impak tulang mandibula tikus wistar jantan kelompok perlakuan dengan kelompok kontrol. Hasil uji *Independent T* didapatkan nilai signifikansinya sebesar 0,025 (p<0,05), berarti terdapat perbedaan yang bermakna antara kekuatan impak tulang mandibula tikus wistar jantan kelompok perlakuan ikan teri dengan kelompok kontrol. Dengan kata lain, kelompok tikus yang diberi diet tambahan ikan teri menunjukkan kekuatan impak yang secara signifikan (p<0,05) lebih besar dibawah kontrol (Tabel 4.2).

Tabel 4.2. Hasil uji *Independent T* kekuatan impak tulang mandibula tikus wistar jantan

Kelompok Percobaan	**Kekuatan Impak X±SD**
Kontrol	11548,36 ± 4193,95
Perlakuan	15466,87 ± 2825,50
	P = 0,025*

Tanda (*) = signifikasi p<0,05
Kontrol = tikus diberi aquades dan pakan standar tanpa diet tambahan ikan teri
Perlakuan = tikus diberi aquades, pakan standar dan diet tambahan ikan teri

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap spesimen tulang mandibula tikus wistar jantan didapatkan nilai kekuatan impak lebih tinggi pada kelompok perlakuan. Hal ini menunjukkan diet tambahan ikan teri mampu meningkatkan kekuatan impak. Peningkatan kekuatan impak diduga disebabkan oleh kandungan yang terdapat dalam ikan teri, antara lain kalsium, fosfor dan protein.

Ikan teri memiliki kandungan kalsium yang tinggi sebesar 1200 mg/100 gr ikan teri, fosfor sebesar 1500 mg/100 gr ikan teri dan protein sebesar 33,6 mg/100 gr ikan teri. Setiap kandungan ikan teri tersebut akan dicerna oleh sistem pencernaan dan akan ditimbun di tulang. Kalsium yang terdapat pada ikan teri yang diberikan pada tikus kelompok perlakuan secara sondase lambung akan diabsorpsi dari dalam usus kedalam cairan ekstrasel sekitar 30-80 % dari kalsium yang masuk dan sisanya akan diekskresikan melalui tinja. Absorpsi terjadi di dalam lumen usus terutama di usus halus bagian atas. Penyerapan kalsium dalam usus melalui transpor aktif dan sedikit penyerapan melalui difusi pasif. Transpor aktif difasilitasi oleh 1,25-dihidroksikolekalsiferol, merupakan metabolit vitamin D yang dibentuk diginjal. Penyerapan ion kalsium dari saluran cerna secara aktif dibawa keluar usus oleh suatu sistem dalam *brush border* sel-sel epitel yang melibatkan ATPase tergantung kalsium. Absorpsi melalui difusi pasif yaitu bila masukan ion kalsium tinggi, kadar 1,25-dihidroksikolekalsiferol turun karena kalsium plasma meningkat. Akibatnya penyerapan kalsium mengalami adaptasi yaitu tinggi bila masukan kalsium rendah dan menurun bila masukan kalsium tinggi. Sejumlah kalsium dari cairan ekstrasel juga akan disekresikan ke dalam saluran cerna. Jadi sekitar 90% jumlah masukan kalsium akan diekskresikan ke dalam tinja (Guyton & Hall, 2007).

Kadar ion kalsium dalam cairan ekstrasel akan dipertahankan dalam keadaan homeostatis. Apabila kadar ion kalsium dalam cairan ekstraseluler menurun maka akan terjadi peningkatan absorpsi kalsium di usus, reabsorpsi di ginjal serta pengambilan dari tulang, sehingga kadar ion kalsium normal kembali. Begitu juga sebaliknya bila kadar ion kalsium dalam cairan ekstraseluler meningkat maka akan

terjadi penurunan absorpsi kalsium di usus, reabsorpsi di ginjal serta penurunan resorpsi tulang (Guyton & Hall, 2007).

Kalsium dalam cairan ekstraseluler akan ditimbun di dalam tulang selama proses pembentukan tulang. Sel yang berperan dalam pembentukan tulang yaitu osteoblas. Osteoblas akan mensekresikan molekul kolagen (monomer kolagen) dan substansi dasar (proteoglikan). Monomer kolagen akan berpolimerisasi dengan cepat untuk membentuk serat kolagen dan jaringan yang dihasilkan yaitu osteoid. Dalam waktu beberapa hari setelah osteoid terbentuk, garam kalsium mulai mengalami presipitasi pada permukaan serat kolagen. Garam kalsium awal yang ditimbun berupa senyawa amorf yaitu suatu campuran garam yang akan mengalami proses substitusi dan penambahan atom, atau reabsorpsi dan represipitasi sehingga menjadi kristal hidroksiapatit. Beberapa persen senyawa tersebut tetap berada dalam bentuk amorf agar dapat diabsorpsi dengan mudah ketika sejumlah kalsium tambahan dibutuhkan dalam cairan ekstraseluler (Guyton & Hall, 2007).

Keseimbangan ion kalsium dan fosfat dalam darah dipengaruhi oleh dua hormon yaitu hormon paratiroid (PTH) dan kalsitonin (Derek *et al*., 2007). PTH mempunyai beberapa peran dalam proses absorpsi di usus, ekskresi di ginjal dan absorpsi di tulang. Sekresi PTH akan mengaktivasi konversi 2,5-hidroksikolekalsiferol menjadi 1,25-dihidrokolekalsiferol yang merupakan bentuk paling aktif dari vitamin D di ginjal. 1,25 dihidrokolekalsiferol berperan dalam absorpsi kalsium dan fosfat di usus sehingga apabila tidak ada sekresi PTH, maka hampir tidak ada 1,25-dihidroksikolekalsiferol yang dibentuk. PTH juga mengatur kecepatan ekskresi kalsium dan fosfat di ginjal. Apabila konsentrasi kalsium dan fosfat dalam darah rendah maka proses reabsorpsi di ginjal akan sangat meningkat dan kecepatan ekskresinya menurun. Begitupun sebaliknya, apabila konsentrasi kalsium dan fosfat dalam darah tinggi, maka proses reabsorpsi di ginjal akan menurun dan kecepatan ekskresinya meningkat (Guyton & Hall, 2007).

PTH memiliki dua efek pada tulang dalam menimbulkan absorpsi kalsium dan fosfat dari tulang yaitu berupa fase cepat dan fase lambat. Fase cepat absorpsi

kalsium dan fosfat terjadi dalam waktu beberapa menit. PTH akan terikat dalam protein reseptor membran sel osteoblas dan osteosit. PTH dapat mengaktifkan pompa kalsium dengan kuat, sehingga menyebabkan pemindahan garam-garam kalsium fosfat dengan cepat dari kristal tulang amorf yang terletak dekat dengan sel ke dalam cairan ekstraseluler. Fase lambat membutuhkan waktu berhari-hari atau bahkan beberapa minggu, PTH mendorong sel osteoblas dan osteosit untuk menghasilkan faktor stimulasi osteoklas. Aktivasi sistem osteoklastik dalam dua tahap yaitu mengaktivasi yang berlangsung dengan segera dari osteoklas yang sudah terbentuk dan pembentukan osteoklas baru (Guyton & Hall, 2007). Sehingga osteoklas akan merombak tulang dan melepaskan kalsium untuk mengembalikan kalsium darah yang normal (Derek *et al*., 2007).

Kalsitonin memiliki efek yang berlawanan dengan PTH yaitu menurunkan konsentrasi kalsium darah yang berlebihan. Kalsitonin mengurangi konsentrasi kalsium plasma dengan dua cara yaitu mengurangi kerja absorpsi osteoklas dengan segera yang menyebabkan penurunan ukuran *sealing zone* sehingga hambatan resorpsi tulang dan melalui penurunan pembentukan osteoklas yang baru. Sel osteoklas memiliki sejumlah reseptor spesifik terhadap kalsitonin pada permukaan selnya, oleh karena itu kalsitonin dapat bekerja secara langsung terhadap osteoklas. Hambatan resorpsi tulang akibat efek terjadinya pelepasan kalsium ke dalam darah dan konsentrasi kalsium dapat turun ke normal (Derek *et al*., 2007).

Vitamin D berperan dalam proses absorpsi kalsium dan fosfat di usus, ekskresi di ginjal dan proses resorpsi maupun pembentukan tulang. Vitamin D meningkatkan absorpsi kalsium di usus melalui pembentukan protein pengikat kalsium, ATPase terstimulasi kalsium dan alkalin fosfatase di sel epitel. Kalsium yang terabsorpsi akan bertindak sebagai mediator transpor untuk fosfat sehingga fosfat juga akan terabsorpsi. Vitamin D meningkatkan reabsorpsi kalsium dan fosfat oleh sel-sel epitel tubulus ginjal, sehingga cenderung untuk mengurangi ekskresi zat-zat ini di dalam urin (Guyton & Hall, 2007).

Vitamin D juga memegang peranan penting pada proses resorpsi maupun pembentukan tulang. Bentuk metabolit aktif vitamin D yaitu 1,25-dihidroksikolekalsiferol, terikat pada reseptor di osteoklas. Vitamin ini sebagai regulator transkripsional protein tulang yang dapat merangsang diferensiasi osteoklas. Vitamin D yang terdapat sangat banyak dalam tubuh dapat mengakibatkan resorpsi tulang dengan cara sangat mirip dengan PTH (Derek *et al*., 2007).

Penyerapan kalsium dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kekurangan vitamin D dalam bentuk aktif, bahan-bahan yang membentuk garam tidak larut dengan kalsium misal, oksalat atau alkali yang terdapat dalam kakao, bayam dan sayuran lain yang mendorong pembentukan sabun kalsium tidak larut. Serta konsumsi tinggi serat juga dapat menurunkan absorpsi, diduga karena serat menurunkan waktu transit makanan dalam saluran cerna sehingga mengurangi kesempatan untuk absorpsi (Ganong, 2002 dan Almatsier, 2004).

Fosfor yang terdapat pada ikan teri yang diberikan pada tikus kelompok perlakuan secara sondase lambung akan diabsorpsi di duodenum dan usus halus oleh transpor aktif dan difusi pasif dan penyerapannya secara linear setara dengan masukan makanan (Ganong, 2002). Fosfor juga akan di filtrasi di glomerulus dan direabsorpsi di tubulus proksimal secara transpor aktif. Ekskresi fosfor ginjal diatur oleh suatu mekanisme *overflow* yaitu bila konsentrasi fosfor dalam plasma menurun dibawah nilai kritis sebesar 1 mmol/L, semua fosfor dalam filtrat glomerulus akan direabsorpsi dan tidak ada fosfor yang terbuang dalam urin. Namun bila konsentrasinya melebihi nilai kritis tersebut, kecepatan pembuangan fosfor akan berbanding lurus dengan jumlah penambahannya. Jadi, ginjal mengatur konsentrasi fosfor dalam cairan ekstraseluler dengan cara mengubah kecepatan ekskresi fosfor dengan memperhatikan konsentrasi fosfor plasma dan kecepatan filtrasi fosfor oleh ginjal (Guyton & Hall, 2007).

Ikan teri juga memiliki kandungan protein yang tinggi. Unsur dasar penyusun protein adalah asam amino. Asam amino yang banyak terkandung didalam ikan teri adalah glisin. Glisin merupakan asam amino terkecil yang dapat mengisi tempat yang

tersisa pada bagian tengah struktur *triple-helix* dari kolagen (Carrin *et al*., 2005). Jumlah persentase asam amino glisin dalam ikan teri belum diketahui secara pasti sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui jumlah asam amino glisin dalam ikan teri dan pengaruhnya pada pembentukan kolagen tulang. Kandungan asam amino glisin dalam ikan teri ini diduga dapat menyempurnakan proses pembentukan kolagen tulang.

Protein yang terdapat pada ikan teri yang diberikan pada tikus kelompok perlakuan akan dicerna didalam lambung. Protein akan diubah menjadi pepton, proteosa, polipeptida dengan enzim *pepsin* lambung. Setelah itu di usus halus bagian atas akan dicerna kembali oleh enzim *tripsin*, *kimotripsin*, yang disekresikan oleh pankreas menjadi polipeptida-polipeptida kecil. Kemudian didalam lumen usus dicapai oleh enterosit yang melapisi vili usus halus. Sel-sel ini memiliki suatu *brush border* yang mengandung beratus-ratus mikrovili. Pada tiap mikrovili ini terdapat *peptidase*. Enzim *peptidase* ini akan merubah polipeptida-polipeptida kecil menjadi dipeptida, tripeptida. Selanjutnya dibawa kedalam sitosol enterosit, dicerna selama beberapa menit sampai tahap akhir menjadi asam amino-asam amino tunggal. Kemudian dihantarkan ke sisi lain dari enterosit masuk kedalam darah dan kemudian dengan transpor aktif yang menggunakan mekanisme pembawa, asam amino tunggal masuk kedalam sel tulang. Kemudian asam amino tunggal bergabung satu sama lain membentuk protein sel. Salah satunya yaitu protein kolagen (Guyton & Hall, 2007).

Sintesis protein kolagen berada di intraseluler dan menghasilkan prokolagen. Selanjutnya prokolagen meninggalkan sel, kemudian beberapa asam amino terpotong secara enzimatik membentuk tropokolagen yang disebut dengan molekul kolagen atau monomer kolagen (Triyono, 2005). Kemudian molekul kolagen berpolimerisasi dengan cepat membentuk serat kolagen. Pada permukaan serat kolagen ini nantinya akan terjadi penimbunan garam-garam kalsium senyawa amorf dan selama berbulan-bulan akan berubah menjadi bentuk kristal yang disebut dengan kristal hidroksiapatit (Guyton & Hall, 2007). Diduga semakin banyak asam amino yang dibentuk, maka

semakin banyak kolagen yang terbentuk sehingga proses kalsifikasi tulang juga meningkat dan kekuatan impak tulang meningkat.

Kandungan kalsium, fosfor dan protein yang tinggi dalam ikan teri diduga mampu memenuhi kebutuhan nutrisi dan mineral bagi tulang. Kalsium dan fosfor diduga mampu memenuhi kebutuhan tulang dalam proses pembentukan tulang. Sedangkan protein diduga mampu menyempurnakan pembentukan kolagen tulang. Sehingga hal tersebut menyebabkan tulang mandibula kelompok perlakuan mempunyai kualitas (*turn over*, geometri, ukuran) dan kuantitas (*Bone Mineral Density*) yang baik pula sehingga dapat mempengaruhi kekuatan impaknya. Semakin baik kualitas dan kuantitas dari tulang maka diduga kekuatan impaknya semakin tinggi.

Nilai kekuatan impak pada kelompok kontrol menunjukkan nilai yang lebih rendah daripada kelompok perlakuan. Hal ini dimungkinkan karena pada kelompok kontrol tidak diberikan asupan nutrisi tambahan yang dapat mempengaruhi kualitas (*turn over*, geometri, ukuran) dan kuantitas tulang (*Bone Mineral Density*). Asupan nutrisi yang didapatkan pada kelompok ini hanya berasal dari pakan standar, sehingga diduga tidak terjadi peningkatan pembentukan matriks tulang yang berarti. Dengan demikian kualitas (*turn over*, geometri, ukuran) dan kuantitas tulang (*Bone Mineral Density*) juga tidak mengalami peningkatan serta kekuatan impaknya rendah.

Pemberian diet tambahan ikan teri bisa diberikan pada anak-anak dan orang dewasa. Pada anak diduga sangat berpengaruh terhadap proses pertumbuhan tulangnya. Tulang anak-anak mengalami kecepatan pembentukan dan absorpsi tulang yang tinggi (Guyton & Hall, 2007), sehingga diperlukan nutrisi dan mineral yang tinggi pula untuk membantu dan mempercepat proses pertumbuhannya. Sedangkan pada orang dewasa pemberian diet tambahan ikan teri diduga berpengaruh dalam mempertahankan kualitas (*turn over*, geometri, ukuran) dan kuantitas tulang (*Bone Mineral Density*). Tulang orang dewasa mengalami kecepatan pertumbuhan dan absorpsi tulang yang lambat sehingga diperlukan nutrisi tambahan untuk mempertahankan massa tulang supaya tetap konstan (Guyton & Hall, 2007). Diet

tambahan ikan teri yang diberikan diduga meningkatkan pembentukan matriks tulang sehingga dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas tulang. Hal tersebut mempengaruhi kekuatan impaknya sehingga resiko fraktur dapat diminimalkan.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pemberian diet tambahan ikan teri dapat meningkatkan kekuatan impak tulang mandibula tikus wistar jantan.

5.2 Saran

1. Ikan teri merupakan ikan yang dikonsumsi beserta daging dan tulangnya. Biasanya ikan teri hanya disajikan dalam bentuk digoreng. Hal tersebut membuat konsumen (orang dewasa terutama anak-anak) kurang tertarik untuk mengonsumsi ikan teri. Sehingga perlu dilakukan inovasi baru dalam pengolahan ikan teri supaya lebih menarik, misalnya dijadikan bahan utama pembuatan bakso ikan. Dengan demikian ikan teri diharapkan bisa dikonsumsi semua kalangan, serta kandungan dalam ikan teri bisa memenuhi kebutuhan nutrisi untuk pertumbuhan tulang bagi anak dan bisa meminimalkan terjadinya osteoporosis pada orang dewasa.

2. Orang dewasa memerlukan nutrisi dan mineral yang cukup untuk mempertahankan kualitas dan kuantitas tulang. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh pemberian diet tambahan ikan teri pada tikus usia dewasa terhadap sifat mekanik tulang.
3. Pemberian diet tambahan ikan teri dapat meningkatkan kekuatan impak. Kekuatan impak menunjukkan kualitas tulang yang baik. Sehinggga perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh pemberian diet tambahan ikan teri terhadap sifat mekanik tulang yang lain.
4. Penelitian ini menggunakan ikan teri segar sebagai variabel bebasnya. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan jenis ikan teri dengan berbagai macam pengolahannya misal presto terhadap pros [illegible] nya didalam tubuh serta terhadap sifat mekanik yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

Buku

Ajmal S. Khan A K, Jadoon H, Malik S A. 2007. *Management Protocol of Mandibular Fractures at Pakistan Institute of Medical Sciences, Islamabad, Pakistan*. Departement of Plastic Surgery, Pakistan Institute of Medical Sciences

Almatsier, Sunita. 2004. *Prinsip Dasar Ilmu Gizi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka

Bajpai, RN.1991. *Osteologi Tubuh Manusia*. Edisi 1. Jakarta: Bina Aksara

Combe, G.C. 1992. *Sari Dental Material*. Jakarta: Balai Pustaka

De Bruin, G.H.P., B.C. Russel, and A. Bogusch. 1994. The Marine Fishery Resources of Sri Lanka. *FAO Species Identification Field Guide for Fishery Purpose*. Rome. M-43. ISBN 92-5-103293

Direktorat Gizi Departemen Kesehatan RI. (1996). *Daftar Komposisi Bahan Makanan*. Jakarta: Penerbit Bhratara

Ganong, William F. 2002. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Edisi 20. Terjemahan oleh DjauhariWidjajakusumah. Jakarta: EGC

Groff J.L. and Gropper S.S. 2000. *Advanced Nutrition and Human Metabolism*. United State: Wadsworth Thomson Leaming

Guyton & Hall, 2007. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Terjemahan oleh Irawati *et al*. Jakarta: EGC

Junqueira L., Corneiro, J and Kelley. 1995. *Histologi Dasar*. Jakarta: EGC

Keenleyside, M.H.A. 1979. Zoophysiology. Volume 11: *Diversity and Adaptation in Fish Behaviour*. ISBN 3-540-09587-X Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York

Lubis. 1987. *Info Pengusaha Tahun 2009*. Bank Indonesia. Jakarta

Muchtadi, Deddy. 2009. *Pengantar Ilmu Gizi*. Bandung: Alfabeta

Murray, Robert K, Grann ,. 2003. *Biokimia Harper edisi 25*. Terjemah GC

Nontji, 1987. *Laut Nusantara*. Jakarta: PT.Djambatan

Noort, V.R. 1994. *Introduction to Dental Material*. Washington DC

Notoatmodjo, S. 2005. *Metodologi Penelitian Kesehatan*. Edisi Revisi. Jakarta: PT Rineka Cipta

Pratiknya, A.W. 2003. *Dasar – Dasar Metodologi Penelitian Kedokteran dan Kesehatan*. Jakarta: PT. Radja Grafindo Persada

Rasjad, C. 2007. *Pengantar Ilmu Bedah Ortopedi*. Jakarta: Yarsif Watampone

Saanin,H, 1984. *Taksonomi dan Kunci Identifikasi Ikan*. Penerbit Bina Cipta. Bandung

Steel, R. G. D dan Torrie, J. H. 1995. *Prinsip dan Prosedur Statistika*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama

Vainionpaa, Aki. 2007. *Bone Adaptation to Impact Loading Significance of Loading Intensity*. Acta Universitas Ouluensis D Medica 935. Oulu: Oulu University Press

Winarno. 1992. *Kimia Pangan dan Gizi*. Penerbit PT.Gramedia. Jakarta

Wootton, R.J. 1992. *Fish Ecology*. Blackie and Son Ltd. Glasgow and London

Young, J.Z. 1962. *The Life of Vertebrates*. Second eds. Oxford University Press. New York and Oxford

Jurnal

Alif, Sabilal. 2008. Pengaruh Iskemia Terhadap Peningkatan Kolagen Pada Korpus Kavernosum. *Jurnal*. Vol 15 (no.1): 11-14

Barrer, A.S., Koslovski, A.P., Konakhovich,Yu.G., Korsakov, S.A., Stupakov, G.P., Surkov P.A., dan Sholpo L.N. 1986. *Probabilistic Estimation of Impact Strength of Human Leg*. Diterjemahkan dari Mekhanika Kompozitnykh Materialov, Mei-Juni 3: 515-518. NY: Plenum Publishing co. Abstrak

Buckwalter JA, Glinicher MJ, Cooper RR, Recher R, 1995. Bone biology. *J.BoneJoint Surg*; 77(8): p.1256-72

Carrin, S.V., Garnero, P., Delmas, P.D.2005. The Role of Collagen in Bone Strength. *J.Osteoporos.Int*.,17

Derek, Stenriz, Kalangi, Sonny J.R, Wangko, Sunny. 2007. Kerja Osteoklas pada Perombakan Tulang. *Jurnal BIK Biomed*. Vol 3 (no.3) : 97-107

Duhe, S.A. 2003. *Swimming Versus Voluntary Running Exercise on Bone Health In Ovariectomized Retired Breeder Rats*. A Thesis. B.S. Lousiana State University

Ja'far, Abdul R. 2010. *Uji Organoleptik dan Keawetan Ikan Asin Hasil Pengasinan Menggunakan Abu Pelepah Kelapa*. Skripsi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Universitas Muhammadiyah Surakarta

Laurney, M.E., Buehler, M.J., Ritchie, R.O. 2010. On The Mechanic Origins of Toughness in Bone. *J Annu. Rev. Mater. Res*

Mason, P. Tanpa Tahun. Calcium – An Update, *The Pharmaceutical Journal*

Nieves, JW. 2005. Osteoporosis: the role of micronutrients. *Am J Clin Nurt Supl 81*: 1232S-1239S

Permana, Hikmat. 2011. *Patogenesis dan Metabolisme Osteoporosis pada Manula*. Tidak diterbitkan. Artikel. Sub Bagian Endokrinologi dan Metabolisme

Bagian Ilmu Penyakit Dalam RS Perjan Hasan Sadikin FK Universitas Padjadjaran: Bandung

Priyana, Adi. 2007. Peran pertanda tulang dan serum pada tatalaksana osteoporosis. *Jurnal Universa Medicina*. Vol 26 (no.3) : 152-159

Rachman, I.A. 2004. *Masalah Menopouse Dan Post Menopouse Osteoporosis*. Makalah Seminar Osteoporosis 24 Januari 2004

Razak, AH. 1995. *Pengaruh Tekanan Terhadap Kekuatan Impak dan Porositas dari Akrilik "Cold Curent"*. Tesis Fakultas Pascasarjana. Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Airlangga: Surabaya

Riis BJ, 1996. The role of bone turnover in pathophysiology of osteoporosis. *Br Jobstet Gynecol*. 103 (13): p. 9-15

Seeman & Delmas, 2006. Bone Quality — The Material and Structural Basis of Bone Strength and Fragility. The Department of Endocrinology, Austin Health, Heidelberg 3084, Melbourne, Australia: Massachusetts Medical Society. *Engl J Med* 354-2250-61

Tordoff, M.G. 2001. *Calcium: Taste, Intake, and Appetite, Physiol*

Trihapsari, Enita. 2009. *Faktor-faktor yang Literatur*. Skripsi Fakultas Kesehatan Masyarakat. Universitas Indonesia

Triyono, Bambang. 2005. *Perbedaan Tampilan Kolagen Di Sekitar Luka Insisi pada Tikus Wistar Yang Diberi Infiltrasi Penghilang Nyeri Levobupivakain dan yang Tidak Diberi Levobupivakain*. Skripsi Program Magister Biomedik dan PPDS I. Universitas Diponegoro

Viquet, C. 2006. *The Role Of Collagen In Bone Strength*. Abstract from US National Library of Medicine

Wimalansa SJ. 2004. *Relationships of Calcium, Vitamin D and other nutrients to bone health*. Bussiness Briefing: Women's Health Care Article

Yustisia, Yenny. 2007. Efek Fluoride Pada Kekuatan Tulang. *Stomatognatic Jurnal Kedokteran Gigi Universitas Jember* Vol.4 No.2 : 42-46

Internet

Anas, La. 2008. *Ikan Teri* [serial online]. http://mykalambe.multiply.com [12 agustus 2011]

Anonim, 2006. *Tulang* [serial online]. http://histofkgsp.blogspot.com [12 agustus 2011]

Anonim, 2010. *Tulang* [serial online]. http://blogs.unpad.ac.id [12 agustus 2011]

Anonim, 2011. *Ikan Teri Tawar* [serial online]. http://www.indonetwork.co.id [14 agustus 2011]

Anonim, 2012. *Kemajuan dalam Perbaikan Artikular Cedera Tulang Rawan* [serial online]. http://onbonsai.com [5 februari 2012]

Anonim. 2007. *Statistik Perikanan Indonesia 1977 No 35.* Departemen Pertanian. [serial online]. http://warintek .progressio.or.id [12 juni 2011]

Anonim. 2010. *Si Kecil Yang Kaya Nutrisi* [serial online]. http://ikanlautindonesia.blogspot.com [6 agustus 2011]

Aradea. 2011. *4 Nutrisi penting yang mungkin anda lewatkan* [serial online]. http://obatherbal.xamthone-plus.net [21 juni 2011]

Cusharon, 1998. *Basic Sciences*. Electronic Textbook [serial online]. www.worldortho.com [9 mei 2011]

Joehanezhartether 2011. *Tulang* [serial online]. http://artofgreen.wordpress.com [10 mei 2011]

Karina, Tia. 2010. *Tulang* [serial online]. http://tia-karina.blogspot.com [10 mei 2011]

Koral AUP/STP Papua. 2008. *Teri: Kecil Bentuknya, Besar Kandungan Kalsiumnya* [serial online]. http://www.loligopapua.wordpress.com [10 mei 2011]

Matsebatlela, Tabhe. 2009. *Biochemistry 208* [serial online]. http://bioc208.blogspot.com [22 februari 2012]

Netter, Frank H. 2000. *Atlas de Anatomia Humana*. Edisi 2. Porto Alegre: Artmed [serial online]. http://www.sogab.com [10 maret 2011]

LAMPIRAN

A. Tabel Hasil Perhitungan Kekuatan impak Mandibula Tikus Wistar Jantan
A.1 Kelompok Perlakuan

No	No spesimen	Luas permukaan(A)	Sudut awal(α)	Sudut akhir(β)	Panjang tali (L)	Berat bandul(W)	Kekuatan impak (Joule)
1	Te 3	0,00001242	90	64	0,61	0,833	17931,83
2	Te 5	0,00001242	90	58	0,61	0,833	21679,39
3	Te 6	0,00001372	90	68	0,61	0,833	13873,57
4	Te 8	0,00001222	90	62	0,61	0,833	19518,51
5	Te 10	1,31075	90	75	0,61	0,833	10032,73
6	Te 11	0,00001222	90	74	0,61	0,833	11459,95
7	Te 12	0,00001362	90	67	0,61	0,833	14570,74
8	Te 13	0,0000143	90	68	0,61	0,833	13310,87
9	Te 14	0,00001368	90	56	0,61	0,833	20767,21
10	Te 16	0,00001508	90	70	0,61	0,833	11523,90
Rata-rata							15466,87

Catatan :
A = Luas permukaan (mm^2)
α = sudut awal
β = sudut akhir
L = panjang lengan bandul (mm)
W = berat bandul (gr)

A.2 Kelompok Kon

No	No spesimen	Luas permukaan(A)	Sudut awal(α)	Sudut akhir(β)	Panjang tali (L)	Berat bandul(W)	Kekuatan impak (Joule)
1	Ko 5	0,00001428	90	79	0,61	0,833	6789,30
2	Ko 7	0,00001456	90	70	0,61	0,833	11935,47
3	Ko 12	0,00001456	90	71	0,61	0,833	11359,63
4	Ko 13	0,00001402	90	68	0,61	0,833	13571,87
5	Ko18	0,00001484	90	66	0,61	0,833	13925,63
6	Ko 20	0,00001453	90	73	0,61	0,833	10218,53
7	Ko 26	0,00001512	90	67	0,61	0,833	13130,05
8	Ko 40	0,00001375	90	65	0,61	0,833	15617,14
9	Ko 46	0,00001416	90	71	0,61	0,833	11680,53
10	Ko 47	0,00001456	90	78	0,61	0,833	7255,510
Rata-rata							11548,36

Catatan :
A = Luas permukaan (mm^2)
α = sudut awal
β = sudut akhir
L = panjang lengan bandul (mm)

W = berat bandul (gr)

B. Uji Normalitas *Kolmogorov Smirnov* Kekuatan Impak Tulang Mandibula Tikus Wistar Jantan

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Teri	kontrol
N		10	10
Normal Parameters(a,b)	Mean	15466,8741	11548,3690
	Std. Deviation	4193,95227	2825,50679
Most Extreme Differences	Absolute	,185	,173
	Positive	,185	,136
	Negative	-,133	-,173
Kolmogorov-Smirnov Z		,584	,548
Asymp. Sig. (2-tailed)		,885	,925

a. Test distribution is Normal.

b. b . Calculated from data.

C. Uji Homogenitas *Levene Test* Kekuatan Impak Tulang Mandibula Tikus Wistar Jantan

Descriptives

kekuatan impak

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Teri	10	15466,8	4193,9	1326,2	12466,7	18467,04	10032,	21679,4
Kontrol	10	11548,3	2825,5	893,5	9527,1	13569,61	6789,3	15617,1
Total	20	13507,6	4019,2	898,7	11626,5	15388,67	6789,3	21679,4

Test of Homogeneity of Variances

kekuatan impak

Levene Statistic	df1	df2	Sig.

3,613	1	18	,073

D. Uji Beda *Independent T Test* Kekuatan Impak Tulang Mandibula Tikus Wistar Jantan

Group Statistics

	Kelompok	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
kekuatan impak	Teri	10	15466,8741	4193,95227	1326,24416
	Kontrol	10	11548,3690	2825,50679	893,50370

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of	t-test for Equality of Means

		Variances								
		F	Sig.	T	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
kekuatan impak	Equal variances assumed	3,61	,073	2,45	18	,025	3918,5	1599,1	558,82	7278,1
	Equal variances not assumed			2,45	15,774	,026	3918,5	1599,1	524,51	7312,4

E. Foto Alat dan Bahan Penelitian

E. 1 Alat untuk perlakuan hewan uji

Catatan :

No 1 = kandang yang disekat-sekat, terbuat dari palstik dan tempat minum tikus

No 2 = neraca Ohaus

No 3 = masker dan sarung tangan

No 4 = sonde lambung

No 5 = tissue

E.2 Alat untuk membuat sediaan ikan teri

Catatan :
No 6 = timbangan digital
No 7 = timbangan
No 8 = blender
No 9 = baskom

No 10 = saringan
No 11 = toples kedap udara
No 12 = lap bersih

E.3 Alat untuk dekaputasi dan pengambilan sampel

Catatan :
No 13 = toples kedap udara
No 14 = gunting bedah
No 15 = gunting

No 16 = skalpel
No 17 = pinset sirurgis
No 18 = mata pisau skalpel
No 19 = eter
No 20 = alas dekaputasi hewan coba
No 21 = masker dan sarung tangan
No 22 = tissue
No 23 = pot spesimen

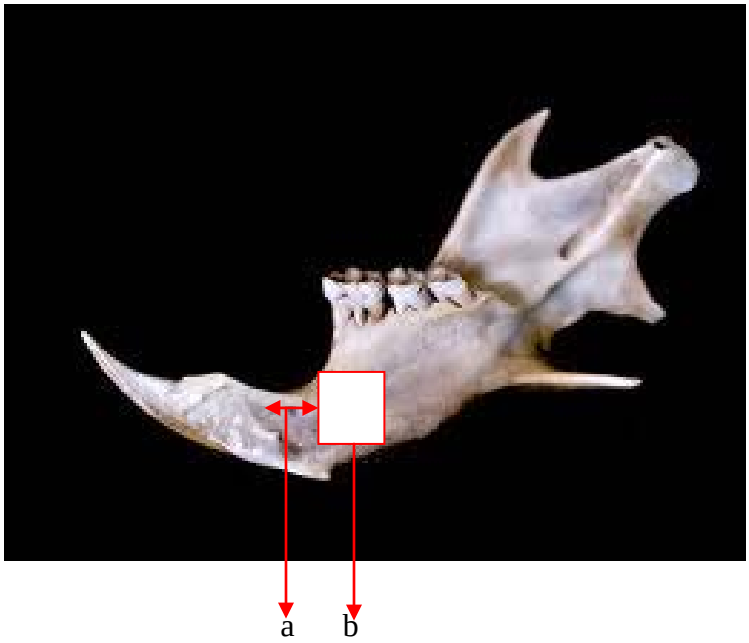
E.4 Alat untuk mengukur kekuatan impak

Catatan :
No 31 = alat uji kekuatan impak
No 32 = kaliper digital (jangka sorong)

E.5 Bahan Untuk Perlakuan Hewan Uji

Catatan :
No 24 = sekam padi
No 25 = formalin 10 %
No 26 = aquadest steril
No 27 = alkohol 70 %
No 28 = pakan standar tikus (Turbo)
No 29 = tikus wistar jantan
No.30 = ikan teri (*Stolephorus sp.*)

F. Gambar Tulang Mandibula Tikus Wistar Jantan



Catatan :

a : Jarak 2 mm dari distal foramen mentale
b : Bagian korpus dipotong dengan ukuran 10x10x3 mm