

## Karakteristik Fisik dan Mekanik Tulang Sapi Variasi Berat Hidup Sebagai Referensi Desain Material Implan

Gunawarman<sup>1</sup>, Adam Malik<sup>1</sup>, Sri Mulyadi<sup>2</sup>, Riana<sup>3</sup> dan Aidil Hayani<sup>3</sup>

1. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Andalas,
2. Kampus Limau Manis, Padang 25163  
E-mail: [gunawarman@ft.unand.ac.id](mailto:gunawarman@ft.unand.ac.id)
3. Jurusan Fisika, Fakultas MIPA Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang 25163
4. Alumni Program Pasca Sarjana Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang 25163

### ABSTRAK

Kasus patah tulang banyak terjadi di Indonesia. Penyebab utamanya antara lain kecelakaan lalu lintas, bencana alam dan osteoporosis. Untuk memperbaiki atau mengganti tulang yang rusak/pecah dibutuhkan bio-material implan yang berfungsi sebagai penyambung atau penyangga tulang yang rusak tersebut. Selama ini, dunia kedokteran ortopedi menggunakan implan logam yang relatif kaku atau kurang fleksibel, dan pada beberapa kasus menimbulkan rasa nyeri dan alergi pada pemakai. Oleh karena itu perlu didesain dan dibuat material implan yang lebih fleksibel dan mendekati karakteristik tulang asli. Dalam rangka pengembangan logam implan yang mempunyai kelenturan yang lebih baik, maka dilakukan penelitian pendahuluan mengenai karakteristik mekanik tulang dikaitkan dengan karakteristik fisiknya, sebagai referensi dalam desain material implan. Karakteristik mekanik ditentukan dengan melakukan pengujian tarik, kekerasan dan kelenturan tulang. Sementara karakteristik fisik diperiksa dengan mikroskop optik. Tulang yang dipilih dalam studi ini adalah tulang sapi karena memiliki karakteristik mendekati tulang manusia, murah dan mudah diperoleh.

Pada penelitian ini digunakan sampel tulang sapi jenis Brahman berdasarkan variabel bebas berat hidup dan variabel terikat umur sapi sekitar 3 tahun, jenis kelamin jantan, daerah asal peternakan Lampung, dan spesimen diambil dari tulang tungkai belakang sapi (*Metakarpus*). Berat hidup tertimbang adalah 500 kg, 520 kg, 540 kg, 560 kg dan 580 kg.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik, modulus elastisitas dan ketangguhan tulang untuk tiap berat hidup tersebar dalam rentang data yang cukup luas. Namun secara umum terlihat jelas bahwa kekuatan tulang meningkat dengan meningkatnya berat sapi. Hasil pemeriksaan struktur mikro menunjukkan bahwa tulang sapi dengan berat hidup yang lebih tinggi memiliki lebih sedikit kanal haversian (rongga) pada struktur tulangnya. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kekuatan disebabkan terutama oleh penurunan jumlah kanal haversian pada struktur tulang tersebut. Karakteristik mekanik rata-rata yang diperoleh untuk kekuatan tarik adalah  $85 \pm 18$  MPa, Modulus Elastisitas  $0.82 \pm 0.25$  GPa dan Ketangguhan  $1.5 \pm 0.5$  Joule.

*Kata Kunci: Kekuatan, Kelenturan, Tulang, Implan, Biomaterial*

### I. Pendahuluan

Peningkatan jumlah sarana transportasi dewasa ini secara langsung maupun tidak langsung telah memicu meningkatnya korban kecelakaan lalu lintas baik korban jiwa maupun korban luka terutama korban patah tulang. Tidak hanya dari kecelakaan lalu lintas saja korban patah tulang berjatuh tapi juga dari bencana lainnya seperti gempa yang akhir-

akhir ini sering terjadi di sepanjang pantai barat Sumatera, serta penambahan usia manusia yang menyebabkan tulang rapuh atau osteoporosis sehingga mudah patah dan menyebabkan kualitas hidup manusia Indonesia di hari tuanya menjadi menurun [1-8].

Sebagai gambaran, di rumah sakit Dr. Soetomo Surabaya saja, kasus operasi bedah tulang ada pada kisaran 300 sampai 400 kasus per bulan,



belum ditambah data-data pada rumah sakit besar lainnya di Indonesia [9-10]. Untuk melakukan operasi bedah tulang dibutuhkan semacam bahan yang disebut implan yang berfungsi sebagai penyambung atau penyangga tulang yang mengalami kerusakan. Selama ini dunia kedokteran menggunakan implan logam yang relatif kaku untuk penyatuan, dimana implan mengalihkan tekanan menjauh dari tulang, sehingga dapat menyebabkan osteoporosis dan tidak pulih sepenuhnya sebelum logam dibuang [9]. Implan yang fleksibel diharapkan dapat mengatasi kelemahan dari implan logam yang kaku.

Dewasa ini kemajuan di bidang kedokteran ortopedi di dunia berkembang dengan pesatnya, dimana telah ditemukan pengganti implan logam yang kaku dengan implan yang terbuat dari *biokeramik hidroksiapatit* (HA) yang lebih fleksibel dan mudah menyatu dengan tulang. Namun kendalanya bagi ortopedi di Indonesia, bahan HA ini masih diimport dengan harga yang sangat mahal berkisar Rp 1 juta per gramnya, sehingga membuat biaya operasi bedah tulang mencapai Rp10 juta sampai Rp 50 juta. Besarnya biaya untuk operasi bedah tulang ini membuat pasien kesulitan membiayai operasi dan ini menambah beban mental tersendiri pada pasien [12,13].

Salah satu upaya untuk meringankan beban pasien dalam masalah biaya ini adalah dengan memproduksi sendiri bahan implan di dalam negeri. Karena itu cukup banyak penelitian yang bertujuan untuk memperoleh implan dengan biaya yang murah di tanah air. Sebagai contoh, tulang buatan dari bahan koral dan gamping yang dikembangkan oleh BPPT [14], dan tulang buatan dari Gypsum yang dikembangkan oleh UGM [15].

Untuk bisa mengetahui karakteristik implan yang fleksibel dan sesuai dengan karakteristik tulang, terlebih dahulu perlu diteliti karakteristik-karakteristik tulang manusia. Dengan melakukan serangkaian uji terhadap tulang dapat diketahui tingkat kekuatan tariknya, ketangguhannya dan modulus elastisitasnya. Dari data inilah baru dapat diteliti bahan untuk implan yang memiliki karakteristik yang sama dengan tulang manusia.

Untuk memperoleh data yang valid tentang karakteristik tulang manusia dibutuhkan sampel yang cukup banyak, sedangkan untuk sampel berupa tulang manusia sangat sulit diperoleh, juga harga yang mahal, dan membutuhkan waktu yang lama untuk memperoleh sampel yang banyak. Lebih dari itu agama dan budaya timur masih menganggap tabu menguji tulang manusia. Maka pada penelitian ini

penulis menggunakan sampel tulang sapi sebagai pengganti tulang manusia yang memiliki karakteristik mekanik yang hampir sama dengan tulang sapi [16], serta mudah didapatkan dan memiliki penampang tulang yang cukup lebar sehingga dalam pengambilan spesimen atau sampel lebih mudah. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pengujian tulang sapi yang ada dan hidup di Indonesia, agar dapat memperkirakan kisaran kekuatan tulang orang Indonesia.

Penelitian kekuatan tulang sapi sebelumnya [17], menunjukkan bahwa harga kekuatan tulang sapi rata-rata adalah sebesar 85.3 MPa serta ketangguhannya sebesar 8.426 Joule. Hasil ini diperoleh dengan menguji tulang sapi tulang lengan (*humerus*) sapi dari jenis sapi lokal, kelamin jantan dan umur berkisar 3 tahun. Namun demikian, data ini perlu diklarifikasi dan dibandingkan lebih lanjut dengan tulang sapi dari jenis lain, karena terdapat berbagai jenis Sapi di Indonesia, Hal ini bertujuan untuk mendapatkan data tulang yang lebih mendekati harga sebenarnya.

Penelitian dibatasi pada uji tarik tulang tungkai (*metakarpus*) belakang sapi dengan asumsi tulang tungkai belakang lebih banyak menahan beban sehingga kekuatannya lebih besar. Sehubungan dengan itu maka pertanyaan penelitian ini adalah ,”Bagaimanakah karakteristik fisik tulang tungkai belakang sapi serta sebesar apakah kekuatan tarik, modulus elastisitas dan ketangguhan tulang tungkai belakang sapi (*metakarpus*) berdasarkan variabel bebas berat hidup sapi?”.

## II. Bahan dan Prosedur Pengujian

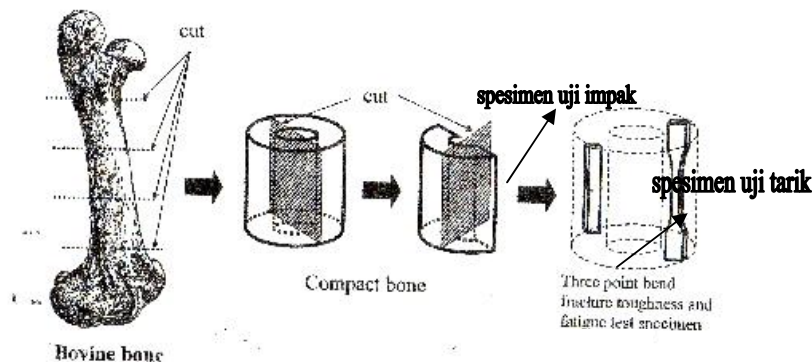
Sampel tulang sapi pada penelitian ini diperoleh dari Rumah Potong Hewan (RPH) Lubuk Buaya, Padang dengan variabel bebas berat hidup dan variabel terikat jenis sapi Brahman dengan alasan pemilihan jenis sapi ini agar bisa dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menggunakan jenis sapi Bali [17]. Berdasarkan informasi dari RPH, sapi berasal dari peternakan Lampung, jenis kelamin jantan dan umur sapi sekitar 2,5 tahun. Bagian tulang yang dijadikan sampel adalah tulang kering atau tulang tungkai belakang sapi (*Metakarpus*), dengan asumsi tungkai belakang lebih banyak menahan beban sehingga lebih kuat dan padat.

Sampel tulang diambil dari sapi yang mempunyai berat hidup 500 kg, 520 kg, 540 kg, 560 kg dan 580 kg Tulang tungkai diambil dari kaki kanan dengan terlebih dahulu membuang semua daging



yang melekat pada tulang. Sampel uji diambil dari bagian tengah tulang yang relatif lurus. Pemotongan untuk membuang bagian ujung-ujung tulang dilakukan dengan gergaji besi, sehingga tersisa tulang berupa tabung seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Tabung tulang tersebut kemudian dibelah-belah dengan gergaji menjadi beberapa bilah agar mudah dibentuk menjadi spesimen uji tarik sekaligus untuk membuang sumsum yang terdapat pada bagian tengah tabung tulang. Bilah-bilah tulang ini kemudian

dibentuk menjadi spesimen uji tarik dalam bentuk plat dengan penampang 12 x 3 mm, dan panjang 60 mm. Pada bagian tengah pelat yang akan menjadi daerah uji, lebar pelat dikecilkan sehingga terbentuk penampang 6 x 3 mm sepanjang daerah panjang uji 20 mm. Pembentukan spesimen uji ini dilakukan dengan gergaji tripleks. Sementara penghalusan permukaan dilakukan dengan kertas amplas dan kemudian diikuti dengan pemolesan dengan kain poles yang ditaburi serbuk Alumina.



**Gambar 1** Skema untuk persiapan pemotongan spesimen

spesimen uji tarik untuk tiap berat sapi dengan menggunakan mesin uji tarik *Comp-ten Testing Machine* sesuai dengan standar pengujian tarik ASTM E-8 [18]. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan struktur fisik tulang dengan mengambil potongan sampel dari bilah-bilah tulang sisa uji tarik. Struktur fisik yang diperiksa adalah penampang melintang pelat tulang dan diamati dengan mikroskop optik.

### 3.1. Sifat mekanik

Sifat mekanik tulang berupa kekuatan tarik, regangan, modulus elastisitas dan ketangguhan hasil pengujian tarik diperlihatkan pada Tabel 1. Pada Tabel juga dicantumkan rata-rata kekuatan tarik, rata-rata regangan teknis, rata-rata modulus elastisitas dan rata-rata ketangguhan semua tulang.

**Tabel 1** Besar nilai kekuatan tarik, regangan teknis, modulus elastisitas dan ketangguhan

Berat hidup Sapi ( Kg )	Kekuatan Tarik ( MPa )	Regangan teknis ( mm / mm )	Modulus Elastisitas ( GPa )	Ketangguhan ( Joule )
500	62,69	0,0038	0,619	0,748
520	74,12	0,0044	0,535	1,539
540	85,13	0,0094	1,031	1,929
560	97,28	0,0097	0,836	1,608
580	107,39	0,0099	1,097	1,888
Rata-rata	85.322 ± 17.8	0.0074 ± 0.0012	0.824 ± 0.25	1.541 ± 0.47

Tabel 1 memperlihatkan bahwa adanya pengaruh berat hidup terhadap besar kekuatan

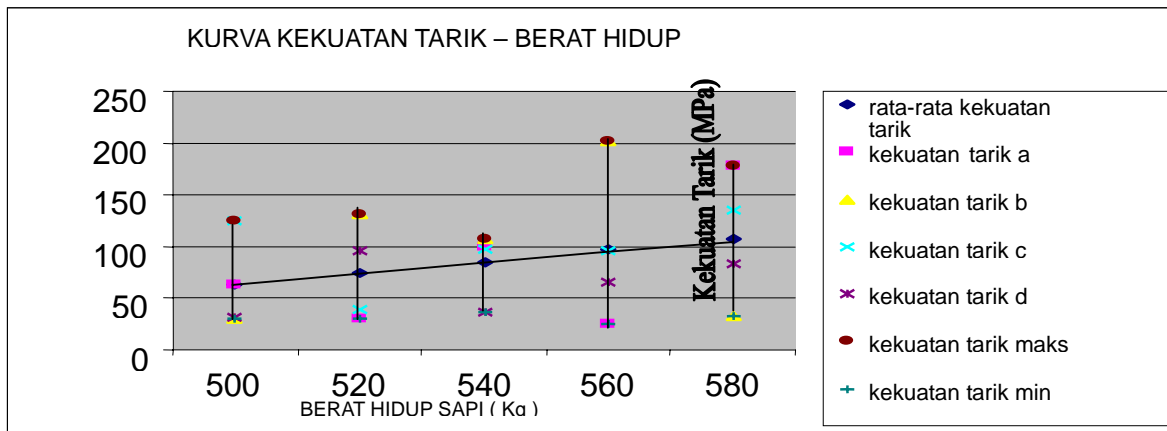
tariknya, dimana dari berat hidup 500 kg ada kenaikan kekuatan tarik secara teratur pada berat



hidup 520 kg, sampai pada kekuatan tarik maksimum dialami oleh berat hidup 580 kg, sehingga dapat disimpulkan semakin besar berat hidup sapi tersebut semakin besar pula nilai kekuatan tariknya. Hal ini terlihat lebih jelas pada Gambar 2.

Gambar 2 memperlihatkan bahwa rentang data relatif luas atau sangat bervariasi untuk tiap berat hidup yang diuji. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan tulang berada dalam rentang yang lebar,

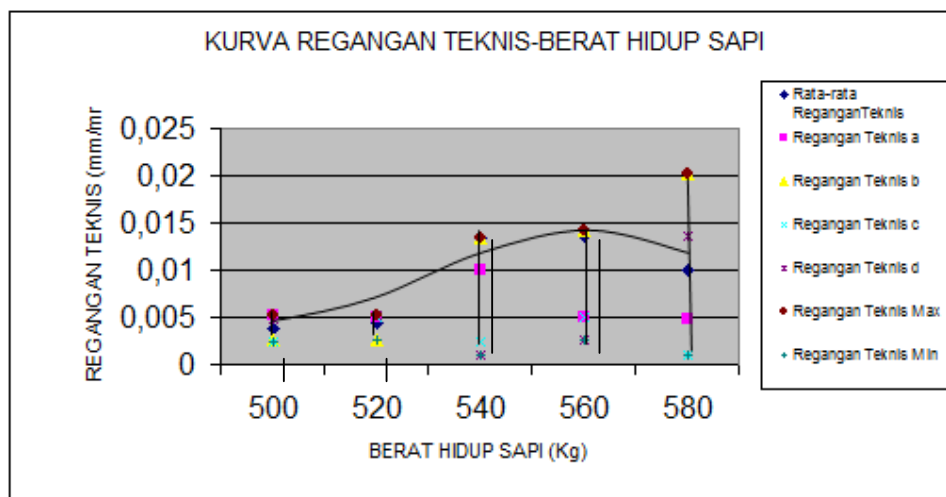
karena kekuatan tulang bervariasi tergantung arah garis pada kurva yang sesuai dengan pertambahan berat dan besarnya kekuatan tarik. Hal yang sama juga diperoleh Hidayat [17] dimana besar kekuatan tarik bertambah sesuai dengan bertambahnya berat hidup sapi, ini diduga disebabkan makin berat beban yang ditahan oleh tulang akan menyebabkan tulang lebih padat dan kuat..



Gambar 2 Kurva kekuatan tarik vs berat hidup sapi

Untuk melihat hubungan berat hidup sapi (kg) dengan regangan teknisnya, terlihat adanya kenaikan yang jelas dari berat 500 kg ke 520 kg dan secara tajam mengalami kenaikan kurva pada

berat 540 kg dan mengalami penurunan pada berat 580 kg. Hal ini menunjukkan bahwa tulang sapi dengan berat yang melebihi 560 kg berkurang kelenturannya.

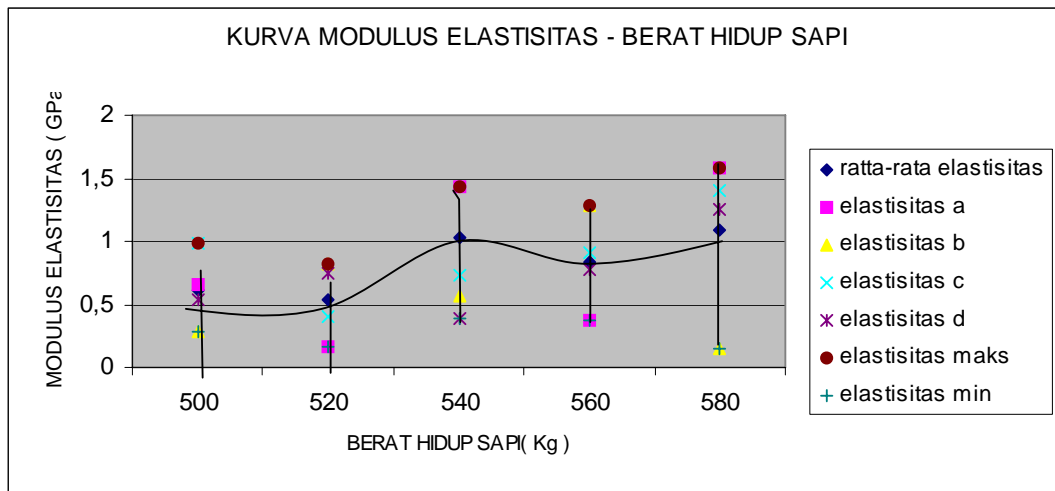


Gambar 3 Kurva regangan teknis vs berat hidup sapi.



Untuk nilai modulus elastisitas dengan berat hidup sapi dapat dilihat pada Gambar 4 dimana dengan menarik garis pada kurva terlihat adanya kenaikan besar nilai elastisitas dari berat 500 kg sampai 540 kg tapi pada berat 560 kg mengalami penurunan dan naik kembali pada berat 580 kg. Penurunan ini mungkin disebabkan karena sampel sapi dengan berat 560 kg agak mengalami kelainan tulang seperti diperlihatkan oleh struktur fisiknya, sehingga elastisitasnya mengalami penurunan dibanding berat sapi 540 kg.

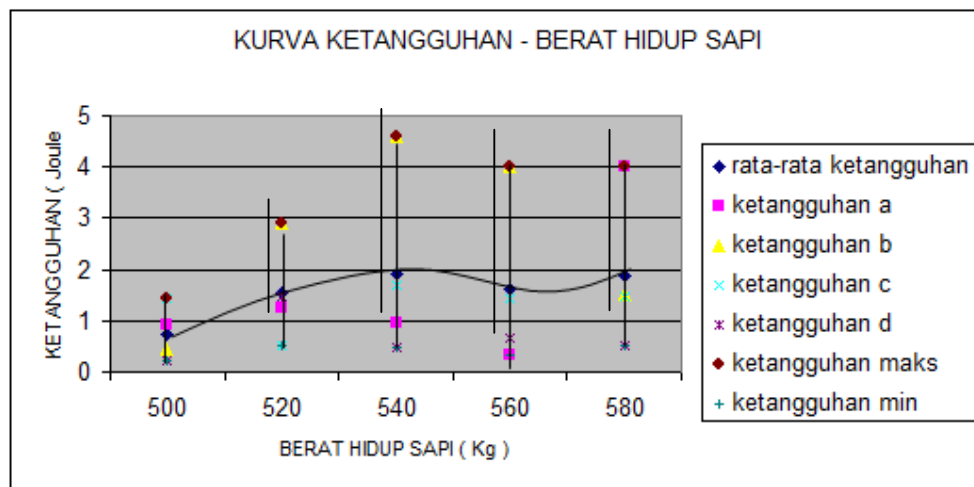
Namun secara umum, nilai modulus elastisitas yang terukur (hanya sekitar 0.5 sampai 1 GPa) masih sangat jauh dari nilai standar modulus elastisitas tulang pada literatur yang berkisar  $\pm 15$  GPa [19]. Hal ini disebabkan seringnya terjadi slip pada spesimen ketika diuji tarik dan ini berpengaruh pada kemiringan kurva sehingga nilai modulus elastisitas yang diperoleh jauh lebih kecil. Untuk mengatasi ini akan diukur modulus elastisitas dengan pengujian lentur



. Gambar 4 Kurva modulus elastisitas vs berat hidup sapi

Untuk nilai ketangguhan hampir sama kasusnya dengan nilai modulus elastisitas dimana ketangguhan bertambah dari berat 500 kg sampai pada berat 540 kg, sedangkan pada berat 560 kg mengalami penurunan ini mungkin disebabkan kelainan tulang seperti osteoporosis pada sampel sapi dengan berat

560 kg seperti dapat dilihat pada kurva ketangguhan dengan berat hidup sapi seperti Gambar 5 di bawah ini.



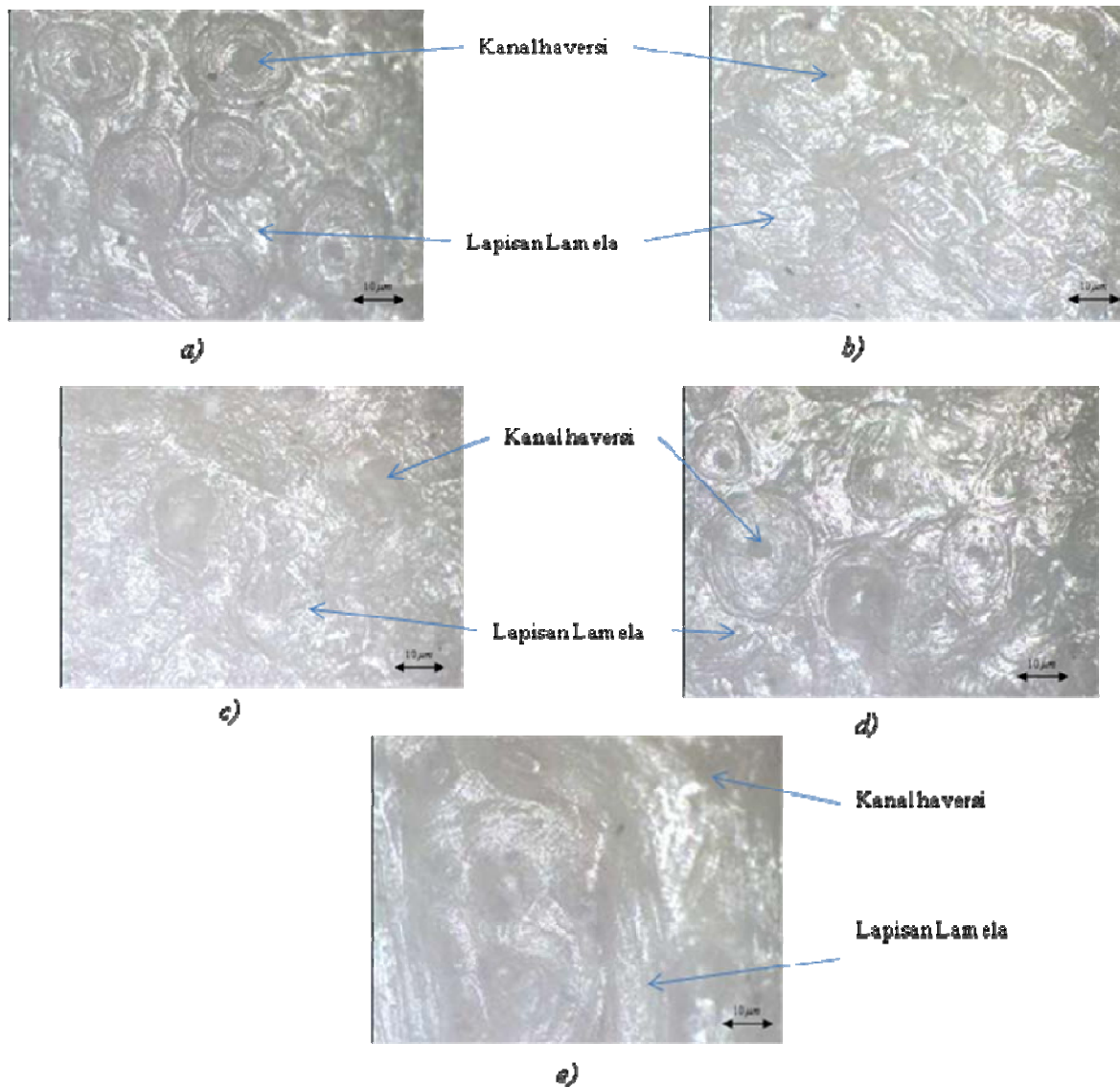
Gambar 5 Kurva ketangguhan vs berat hidup sapi



### 3.2. Struktur Fisik Tulang

Struktur fisik tulang sapi untuk masing-masing berat hidup diperlihatkan pada Gambar 6. Dari Gambar terlihat bahwa untuk spesimen dengan berat hidup 520 kg memperlihatkan adanya pori-pori kecil yang merupakan kanal haversi [20-22] yang disebut

juga rongga yang dikelilingi oleh lamella dengan membentuk lapisan-lapisan (Gambar 6b). Kanal ini cukup mendominasi struktur fisik namun tidak melebihi kanal pada berat 500 kg (Gambar 6a), sehingga nilai kekuatan tariknya lebih besar dibanding berat 500kg.



Gambar 6 Struktur mikro tulang sapi dengan berat hidup  
a) 500, b) 520, c) 540 kg d) 560 kg dan e) 580kg





Untuk tulang dengan berat hidup 580 kg terlihat dengan jelas kanal haversi dan lapisan lamela [21-22] yang mengelilingi kanal haversi (Gambar 6e). Pada Gambar 6d yang merupakan spesimen dengan berat hidup 560 kg terlihat kanal-kanal haversi berupa rongga dengan ukuran yang cukup besar dan banyak, hal ini tidak seharusnya terjadi pada berat yang lebih tinggi karena berat yang besar akan membuat tulang padat sehingga rongga atau kanal haversinya sedikit. Namun ini merupakan kasus khusus jika dilihat dari besar nilai modulus elastisitas dan ketangguhannya terdapat penurunan yang signifikan dibanding nilai modulus elastisitas dan ketangguhan dari spesimen dengan berat 540 kg (Gambar 6c). Ini kemungkinan disebabkan adanya kelainan tulang pada sapi dengan berat 560 kg yang bisa dipengaruhi oleh berbagai macam faktor seperti sakit, makanan dan lain-lain. Pada spesimen dengan berat 500 kg terlihat jelas sistem haversi dengan kanal-kanal haversinya seperti dapat dilihat pada Gambar 6a. Rongga-rongga yang merupakan kanal haversi ini mendominasi struktur fisik spesimen dengan berat 500 kg dan ini menjelaskan bahwa dengan semakin kecil berat hidup sapi semakin banyak rongga-rongga pada struktur fisiknya, hal ini mungkin yang menyebabkan tulang rapuh atau tidak kuat.

Untuk analisis struktur fisik pada spesimen dengan berat 540 kg dapat dilihat kanal haversi pada sistem haversi dan lapisan lamelanya pada Gambar 6c Kanal haversi atau osteon yang berupa rongga tidak begitu banyak dan jelas dibanding kanal haversi pada struktur fisik spesimen dengan berat 500 kg. Ini menunjukkan semakin berat sapi semakin sedikit rongga pada struktur fisiknya.

Dari analisis data kekuatan tarik yang makin bertambah seiring bertambahnya berat hidup sapi dapat kita uraikan dengan struktur fisik tulang sapi, dimana makin kecil nilai kekuatan tarik makin banyak rongga-rongga (kanal haversi) pada strukturnya, sedangkan makin besar nilai kekuatan tariknya makin sedikit rongga-rongga pada struktur fisiknya hal ini dapat dengan jelas dilihat pada struktur fisik tulang sapi dengan berat 500 kg dan struktur fisik tulang sapi dengan berat 580 kg.

Berdasarkan penelitian ini diperoleh harga kekuatan tarik tulang sapi  $85.3 \pm 17.8$  MPa, modulus elastisitas  $0.8 \pm 0.25$  GPa dan ketangguhan  $1.5 \pm 0.47$  Joule [23]. Hasil ini tak jauh berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Hidayat [17], dengan umur sapi 3 tahun dan variabel bebas berat hidup dengan berat rata-rata 440 kg diperoleh data kekuatan tariknya tulang lengan sebesar 85,3 MPa. Hal ini

menunjukkan bahwa faktor perbedaan umur tidak banyak mempengaruhi kekuatan tulang walaupun perbedaan umur yang diteliti tidak begitu signifikan. Hal ini dikonfirmasi ulang oleh Hayani [23], dimana pada penelitiannya diperoleh kekuatan tulang sapi maksimum pada umur 3 sampai 4 tahun dengan kekuatan rata-ratanya adalah 85,93 MPa.

#### **IV. Kesimpulan**

Dari hasil pengujian tarik yang telah dilakukan serta pengolahan data dapat disimpulkan:

1. Kekuatan tarik tulang sapi  $85.3 \pm 17.8$  MPa, modulus elastisitas  $0.8 \pm 0.25$  GPa dan ketangguhan  $1.5 \pm 0.47$  Joule.
2. Kekuatan tarik tulang sapi meningkat dengan bertambahnya berat hidup sapi, hal ini dimungkinkan karena besarnya beban yang ditahan oleh tulang menyebabkan tulang makin padat dan kuat.
3. Dari struktur fisik, tulang yang memiliki berat terkecil terdapat rongga-rongga kanal haversi yang lebih dominan dibanding kanal haversi pada struktur fisik tulang yang lebih berat, hal ini dimungkinkan karena kepadatan tulang yang kurang sehingga banyak terdapat rongga-rongga pada strukturnya.

#### **Ucapan Terimakasih**

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada DP2M DIKTI yang telah membiayai penelitian ini melalui hibah bersaing tahun 2010.

#### **Daftar Pustaka**

1. Head Line News, Kementerian Koordinator Bidang Kesejahteraan, 3 Juli 2006
2. Republika Online - Selasa, 15 Juni 2004
3. Harian Haluan, 6 Maret 2007
4. Lentera news, 6 Maret 2007
5. Metro TV, Headline news, Minggu, 27 Mei 2007
6. Kompas, Senin, 17 Juli 2006
7. Keluarga Sehat Online, 2004
8. Sinar Harapan 2003
9. Bisnis Indonesia minggu.detail.html.  
*Implan Tulang untuk Osteoporosis*



10. <http://www.republika.co.id>, *Terapi Patah Tulang karena Osteoporosis*
11. Appley, A.G.1995. *Buku Ajar Ortopedi dan Fraktur Sistem Appley*. Edisi ketujuh. Widya Medika. Jakarta.
12. Republika, Selasa, 15 Juni 2004
13. Kompas, Rabu, 18 Oktober 2006
14. Sinar Harapan, 13 Juni 2007
15. Kompas, Rabu, 18 Oktober 2006
16. Poumarat, G.S.1993. *Comparisson of Mechanical Properties of Human*. France.
17. Hidayat, R. *Pengujian Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Tulang Sapi.*, Jurusan Teknik Unand, Universitas Andalas. Padang. 2005.
18. NN.1997. *Annual Book of ASTM Standards*. Easton. Philadelphia
19. Giancoli,C.D, *Fisika* . Edisi keempat. Jilid I. Erlangga. Jakarta.
20. Bloom dan Fawcett.1994. *Histologi Kedokteran*. Edisi kedua belas.. Penerbit Buku Kedokteran Jakarta.
21. Donnell, C.T.Ph.d. 1988. *Endokrinologi Umum*. Edisi keenam. Airlangga University Press. Yogyakarta
22. Frandson, B.S. 1992. *Anatomi dan Fisiologi Ternak*. Edisi keempat. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
23. Hayani, A. 2008. *Karakteristik Fisik dan Mekanik Tulang Sapi dengan Variasi Umur Sebagai Referensi Disain Material Implan*. Tesis PPS Unand. Padang.
24. Riana, 2008. *Karakteristik Fisik dan Mekanik Tulang Sapi dengan Variasi Berat Hidup Sebagai Referensi Disain Material Implan*. Tesis PPS Unand. Padang.

