

Kekuatan Tarik Tulang Femur dan Tibia Sapi Jenis Simmental dan Korelasinya Dengan Struktur Mikro Tulang

Muhammad Ihsan Hamdy¹⁾, Gunawarman^{1,*)}, Jon Affi¹⁾, dan Adam Malik¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

Email: gunawarman@ft.unand.ac.id^{*)}

Abstrak

Banyaknya kasus patah tulang di Indonesia meningkatkan kebutuhan material implan untuk komponen fiksasi patah tulang. Saat ini produk implan masih diimpor dengan harga yang tinggi sehingga biaya pengobatan patah tulang menjadi mahal. Selain itu, produk implan impor belum tentu cocok untuk orang Indonesia, baik dari sisi ukuran maupun komposisi kimia. Oleh karena itu perlu dikembangkan produk implan lokal berbasis bahan alam. Untuk mencapai tujuan ini kajian karakteristik tulang berupa sifat mekanik (kekuatan tarik) dan sifat fisik (struktur mikro) perlu dilakukan. Kekuatan tarik diperoleh melalui uji tarik dengan menggunakan *universal testing machine*. Struktur mikro diamati menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tarik tulang bervariasi. Secara rata-rata kekuatan tarik tulang femur adalah sebesar 101 ± 36 MPa dan tulang tibia sebesar 124 ± 36 MPa. Pengamatan struktur mikro menunjukkan kekuatan tarik tinggi disebabkan oleh hadirnya struktur lamela intersisi pada tulang, sedangkan kekuatan tarik rendah disebabkan oleh struktur tulang *osteon*. Pada struktur lamela intersisi, kandungan mineral yang dimilikinya lebih banyak dibandingkan dengan struktur *osteon*.

Kata Kunci: Tulang sapi, kekuatan tarik, sifat mekanik, struktur mikro.

Abstract

The needs of implant materials in Indonesia has been increased recently due to the increase of bone fracture cases in this country. Most of implants material are still imported with high cost, and this leads to make high cost of the bone fracture rehabilitation. Beside, in the point view of size and chemical composition, the imported implant materials may be not suitable enough for Indonesian due to the specified characteristic of Indonesian human bones. It is necessary, therefore, to develop new type of implant products made of domestic materials that is more closer to Indonesia human bone properties. For such kind purpose, the mechanical characteristics (tensile strength, ductility and moduli of elasticity, of Indonesian human bones should be investigated. However, the human bone was replaced by bovine bones in this case due some reasons. The tensile properties were tested using plate type of cancellous femur and tibia bones. The microstructure of the bones were observed using scanning electron microscope (SEM). The test results show that the tensile strength of the tensile bones are scattered in wide range indicating that the heterogenous of bovine bone structures. The averaged of tensile strength of the femur is 101 ± 36 Mpa, and tibia is 124 ± 36 MPa. SEM micrographs show that the high strength of the bone is due to the presence of intersited lamellea structure in the bones. While, the low strength is related to the the presence of osteon structure. The content of minerals are found much higher in the lammellae than that of osteon structure.

Keywords: Bovine bone, tensile strength, mechanical properties, microstructure

1. Pendahuluan

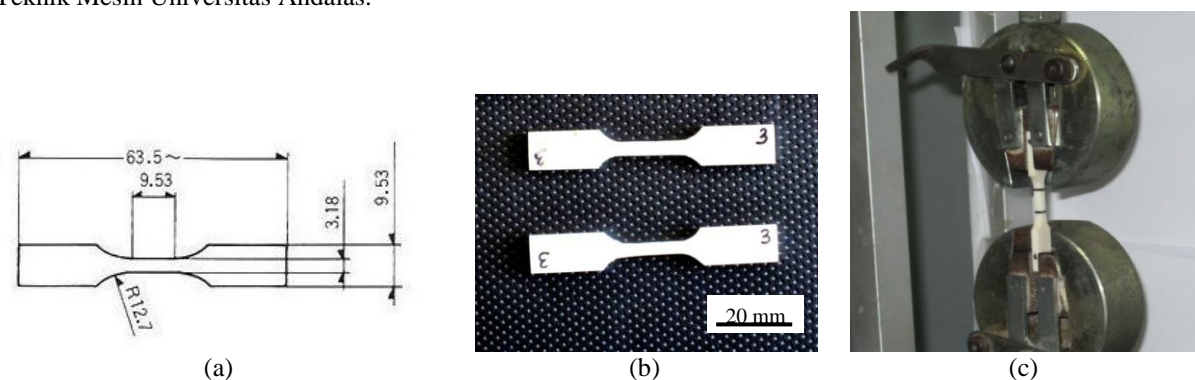
Fraktur atau patah tulang dapat disebabkan oleh berbagai faktor diantaranya kecelakaan lalulintas, bencana alam, dan osteoporosis. Jumlah korban kecelakaan lalulintas di Indonesia yang mengalami luka berat termasuk di dalamnya patah tulang tercatat mengalami peningkatan dari tahun 2010 sebanyak 26.196 orang hingga tahun 2012 menjadi 39.704 orang [1]. Gempa bumi yang melanda Tanah Air juga turut menimbulkan korban patah tulang, diantaranya yang terjadi di Yogyakarta dan Sumatera Barat yang mengakibatkan korban patah tulang sebanyak 400 orang dan 788 orang [2]. Osteoporosis yang umumnya dialami oleh pria dan wanita usia lanjut di Indonesia mengalami tren peningkatan dari tahun ke tahun. Pada tahun 2007 terdapat 22.815 insiden patah tulang akibat osteoporosis, tahun 2008 menjadi 36.947 insiden, tahun 2009 sebanyak 42.280 insiden, dan pada tahun 2010 terjadi 43.003 insiden [3].

Untuk mengobati patah tulang diperlukan sebuah komponen implan. Kasus-kasus patah tulang yang terjadi di Indonesia menyebabkan tingginya kebutuhan implan. Pada umumnya implan masih diimpor dari luar negeri seharga 800 ribu hingga 1 juta rupiah per gram [4]. Biaya pengobatan patah tulang di Indonesia pada tahun 2000 sebesar 21 triliun rupiah dan akan meningkat sebesar 31 triliun rupiah pada tahun 2020 [5].

Selain mahal, produk implan impor belum tentu cocok untuk orang Indonesia, baik dari sisi ukuran maupun komposisi kimia. Sejumlah data dari rumah sakit di Yogyakarta menunjukkan setiap bulannya terdapat sekitar 16 pasien yang memasang implan hip prosthesis dengan ukuran bola hip bervariasi antara 36-46 mm, sementara kebutuhan dalam negeri masih dipenuhi produk impor dengan karakteristik postur tulang yang berbeda dengan orang Indonesia. Hasil kajian material dan pengalaman dokter bedah tulang di Rumah Sakit Sardjito juga memperlihatkan bahwa implan hip prosthesis yang dibuat dari baja stainless 316L belum sepenuhnya biokompatibel [6]. Sehubungan dengan ini maka perlu dikembangkan implan buatan dalam negeri yang sesuai dengan karakteristik tulang rang Indonesia dengan biaya terjangkau. Untuk membuat implan yang sesuai dengan karakteristik tulang, maka terlebih dahulu perlu diketahui bagaimana karakteristik tulang melalui serangkaian pengujian. Hasil pengujian inilah yang akan digunakan sebagai referensi disain material implan yang sesuai karakteristik tulang. Pada tulisan ini disampaikan kekuatan tarik tulang femur dan tibia sapi jenis Simmental serta korelasinya dengan strukturmikro tulang.

2. Bahan dan Metodologi

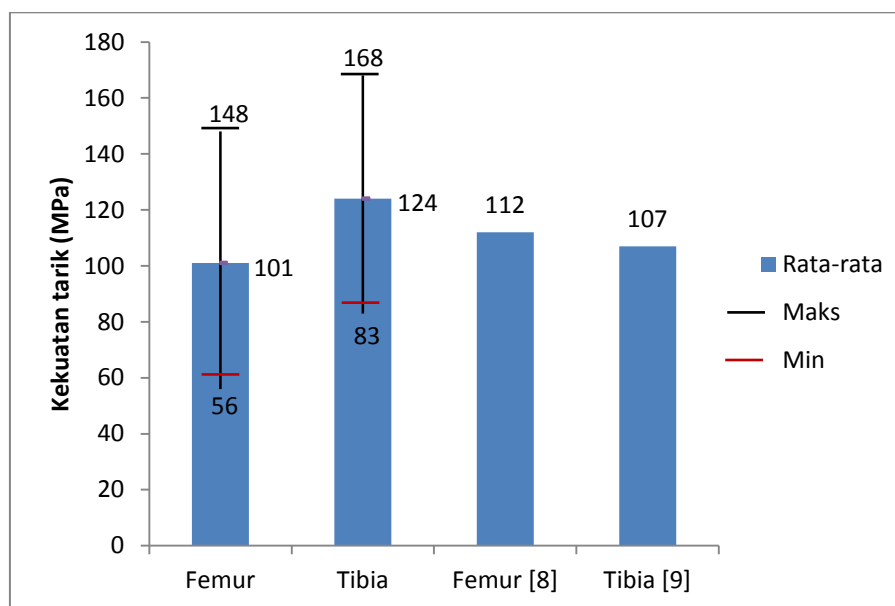
Bahan yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini adalah tulang sapi jantan jenis Simmental dengan umur 4,5 tahun dan memiliki berat 650 kg. Tulang sapi digunakan untuk mewakili tulang manusia karena memiliki struktur dan komposisi yang relatif hampir sama. Tulang sapi di dapatkan dari rumah potong hewan yang berada di Kelurahan Lubuk Buaya kota Padang. Bagian tulang yang digunakan sebagai sampel uji adalah tulang femur dan tibia pada keempat kaki sapi. Dimensi sampel untuk uji tarik mengikuti standar ASTM D638-V seperti pada Gambar 1a dan b. Tulang dipotong menggunakan gergaji besi, kemudian diratakan menggunakan amplas *belt* hingga berbentuk *rectangular*. Bagian pengecilan penampang uji dikerjakan dengan gerinda duduk, hasil gerinda dihaluskan dan diratakan menggunakan kertas amplas. Sampel yang digunakan dalam pengamatan struktur fisik adalah sisa patahan sampel yang digunakan untuk uji tarik. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan alat uji tarik mini *Universal Testing Machine* di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas (Gambar 1c). Struktur fisik tulang diamati pada permukaan patahan sampel uji tarik dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang terdapat di Laboratorium *Advance Material* Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas.



Gambar 1. (a) Dimensi sampel uji tarik ASTM D638-V (dalam satuan mm) [7], (b) Sampel uji tarik tulang, dan (c) Proses uji tarik

3. Hasil

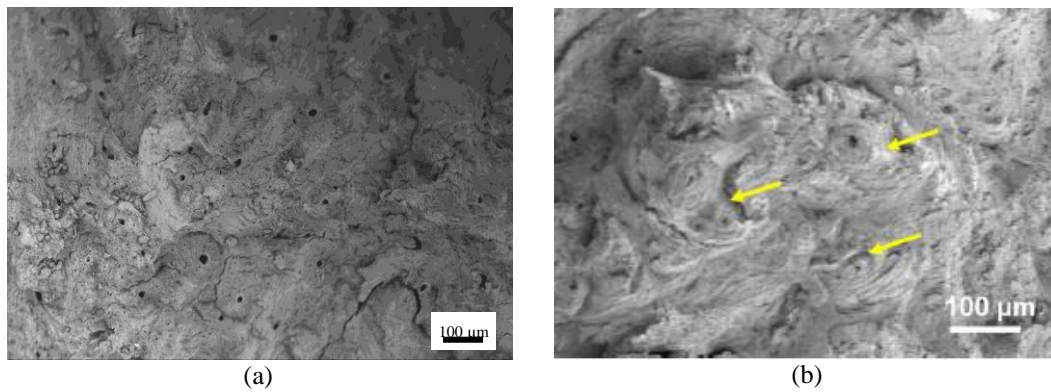
Hasil pengujian tarik menunjukkan kekuatan tarik tulang bervariasi dalam rentang yang cukup luas seperti disajikan pada Gambar 2. Kekuatan tarik tulang femur berada pada rentang terendah sebesar 56 MPa dan tertinggi sebesar 148 MPa, sedangkan kekuatan tarik tulang tibia berada pada rentang terendah sebesar 83 MPa hingga tertinggi sebesar 168 MPa. Kekuatan tarik rata-rata untuk keseluruhan tulang femur dengan standar deviasi adalah 101 ± 36 MPa dan kekuatan tarik rata-rata dengan standar deviasi untuk keseluruhan tulang tibia lebih tinggi yaitu sebesar 124 ± 36 MPa. Namun pada pengujian lain diperoleh kekuatan tarik tulang femur lebih tinggi yaitu 112 MPa [8], sedangkan kekuatan tarik tulang tibia adalah sebesar 107 MPa [9]. Dari sini dapat dilihat bahwa meskipun terdapat perbedaan kekuatan tarik antara tulang femur dan tibia, namun berada dalam rentang yang hampir sama. Sifat mekanik tulang sangat dipengaruhi oleh strukturnya [12], sehingga besar atau kecilnya kekuatan tarik tulang bergantung kepada struktur yang dimilikinya. Terdapat dua tipe tulang padat yaitu *osteon* dan lamela intersisi. *Osteon* terdiri dari saluran *havers* yang dikelilingi oleh lamela yang berlapis dan tersusun secara silindris, sedangkan lamela intersisi mengisi celah diantara *osteon*. Lamela intersisi diketahui memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada *osteon*.



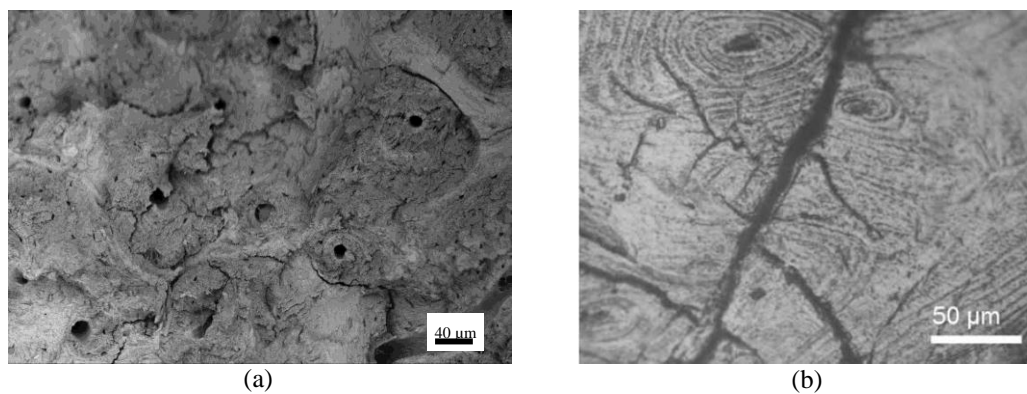
Gambar 2. Kekuatan tarik rata-rata tulang femur dan tibia

4. Pembahasan

Untuk mengetahui penyebab variasi kekuatan tarik maka dilakukan pengamatan terhadap strukturmikro dari dua buah tulang dengan kekuatan tarik yang berbeda. Pengamatan dilakukan terhadap profil patahan permukaan benda uji tarik. Pada kekuatan tarik yang rendah yaitu sebesar 83 MPa menghasilkan bentuk patahan ulet dengan profil yang cenderung tidak rata (Gambar 3a dan b). Strukturmikro yang terbentuk berupa *osteon* yaitu saluran *havers* yang dikelilingi oleh lamela berbentuk silindris. Struktur *osteon* ini disebut juga dengan *osteon* sekunder. *Osteon* sekunder diketahui memiliki kandungan mineral yang rendah. Kandungan mineral yang rendah akan menghasilkan kekuatan tarik tulang yang rendah pula. Rendahnya kandungan mineral juga menyebabkan delaminasi terjadi pada *osteon* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4a dan b, dengan adanya delaminasi retak mudah menjalar melalui *osteon* dan berpengaruh terhadap penurunan kekuatan tarik tulang [10].

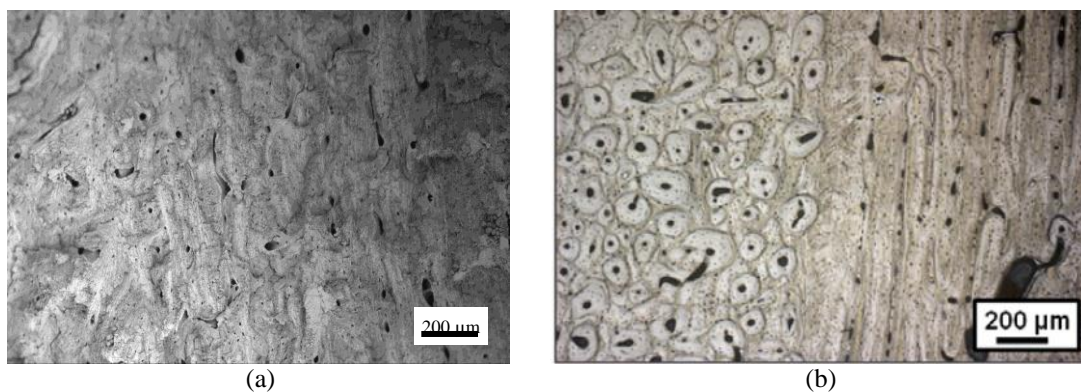


Gambar 3. (a) Profil permukaan patahan tulang femur dengan kekuatan tarik 83 MPa, dan (b) Profil permukaan patahan tanduk rusa [11]



Gambar 4. (a) Retak menjalar melalui osteon, dan (b) retak menjalar melalui osteon [11]

Pada kekuatan tarik yang tinggi yaitu sebesar 164 MPa, bentuk profil patahan yang dihasilkan terlihat cenderung lebih rata dan halus (Gambar 5a). Pada permukaan patahan ini juga tidak terlihat adanya delaminasi dan retak. Bentuk patahan ini terdiri dari struktur lamela intersisi yang tersusun memanjang dan terdapat diluar sistem *havers* atau *osteon* sekunder (Gambar 5b).



Gambar 5. (a) Profil permukaan patahan tulang cenderung rata, dan (b) struktur lamela intersisi pada tulang femur [12]

Lamela intersisi merupakan struktur tulang yang disebut juga sebagai *osteon* primer yang memiliki kandungan mineral lebih tinggi daripada struktur *osteon* sekunder. Kandungan mineral yang lebih tinggi pada *osteon* primer menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi pula bila dibandingkan dengan *osteon* sekunder. Kandungan mineral yang tinggi juga dapat menghambat penjalaran retak dan berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan tulang [10].

5. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian terhadap kekuatan tarik dan strukturmikro tulang femur dan tibia sapi diperoleh hasil bahwa kekuatan tarik tulang cukup bervariasi, dengan level kekuatan tarik dan standar deviasi 101 ± 36 MPa untuk tulang femur dan kekuatan tarik dengan standar deviasi 124 ± 36 MPa untuk tulang tibia. Pengamatan strukturmikro menunjukkan profil patahan yang tidak rata dan bergelombang menghasilkan kekuatan tarik yang rendah. Sedangkan profil patahan yang cenderung rata dan halus menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi. Kekuatan tarik yang tinggi ini disebabkan oleh hadirnya struktur lamela intersisi yang memiliki kandungan mineral tinggi sehingga berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan tarik tulang.

Daftar Pustaka

- [1] <http://www.bps.go.id> [Diakses pada 15 Februari 2014, Pukul 21:31 WIB]
- [2] <http://www.depkes.go.id> [Diakses pada 16 April 2013, Pukul 14:34 WIB]
- [3] <http://poskotanews.com> [Diakses pada 16 April 2013, Pukul 16:29 WIB]
- [4] Kompas, Rabu, 18 Oktober 2006
- [5] <http://www.tribunnews.com> [Diakses pada 17 April 2013, Pukul 21:07 WIB]
- [6] <http://www.ugm.ac.id> [Diakses pada 24 April 2014, pukul 12:28 WIB]
- [7] ASTM International. 2002. Standart Test Method for Tensile Properties of Plastics. West Conshohocken, United States.
- [8] Currey, J.D. 1999. The Design of Mineralized Hard Tissues for Their mechanical Function. *J Exp Biol* 1999;202:3285-94.
- [9] Riana. 2008. Karakteristik Fisik dan Mekanik Tulang Sapi Jenis Brahman Berdasarkan Variabel Bebas Berat Hidup Sebagai Referensi Disain Material Implan. Jurusan Fisika, Universitas Andalas, Padang.
- [10] Mei-Ling Lau et al. 2008. Assesing Heat-treatment Effects on Bovine Cortical Bones by Nanoindentation. Faculty of Engineering and Surveying. University of Southern Queensland.
- [11] Chen, PY. 2009. Comparison of the Structure and Mechanical properties of Bovine Femur Bone and Antler of the North American Elk. *J Acta Biomaterialia* 5 (2009) 693 – 706
- [12] Novitskaya et al. 2011. Anisotropy In the Compresive Mechanical Properties of Bovine Cortical Bone and the Mineral and Protein Constituents. *J Acta Biomaterialia* 3170-3177