

Studi Kekuatan Tarik dan Modulus Elastisitas Tulang (Sapi) dengan Variabel Umur Hidup dan Kaitannya Dengan Struktur Mikro Tulang

Gunawarman*, Adam Malik, Reza Afrialdi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang 25163, Indonesia

*Email: gunawarman@ft.unand.ac.id

Abstrak

Kasus patah tulang termasuk tinggi di Indonesia, yang disebabkan oleh berbagai faktor termasuk akibat kecelakaan lalu-lintas, bencana alam ataupun osteoporosis. Tulang yang patah dapat diperbaiki dengan memasang pin atau material fiksasi sampai tulang utuh kembali seperti biasa. Material fiksasi harus biokompatibel dengan tubuh. Disamping itu, material fiksasi harus mempunyai sifat mekanik yang tak berbeda jauh dengan tulang. Oleh karena itu perlu dilakukannya penelitian untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik dari tulang tersebut, dan selanjutnya menjadi acuan dalam perancangan material fiksasi. Berhubung karakteristik tulang sangat bervariasi dan tergantung dari banyak faktor, maka perlu dilakukan penetapan variabel. Pada penelitian ini yang akan ditinjau adalah pengaruh umur terhadap kekuatan tarik dan modulus elastisitas. Sebagai pengganti tulang manusia, pada penelitian ini digunakan tulang sapi dengan alasan utama karakteristik kedua jenis tulang tersebut mirip, dan tulang sapi lebih murah dan mudah diperoleh.

Untuk mendapatkan sifat mekanik kekuatan dan kelenturan tulang, dilakukan dengan pengujian tarik (tensile test) dan pengujian lentur (flexure test) dimana spesimen tulang sapi ini diambil dari bagian tulang tungkai kaki belakang pada kaki kanan sapi. Sampel tulang sapi dipilih dengan variabel tetap jenis sapi potong kelamin jantan, berasal dari ras sapi lokal, dan dari satu daerah asal. Faktor yang divariasikan adalah umur sapi dengan umur antara 2 sampai 5 tahun. Prosedur pengujian tarik dan pengujian lentur dilakukan sesuai standar ASTM. Setelah pengujian mekanik dilakukan pemeriksaan struktur mikro dengan mikroskop optik.

Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa kekuatan tulang meningkat dengan meningkatnya umur sapi dari 2 sampai 4 tahun. Namun setelah umur 4 tahun kekuatan tulang cenderung turun. Harga kekuatan tarik rata-rata adalah 47 MPa. Sedangkan hasil pengujian lentur memberikan hasil modulus elastisitas rata-rata 19.4 GPa. Seperti halnya kekuatan, modulus elastisitas tulang sapi dengan umur 4 tahun mempunyai karakteristik mekanik yang paling tinggi dibanding sapi umur lain dalam rentang 2-4 tahun. Pemeriksaan struktur mikro tulang menunjukkan bahwa tulang sapi umur 4 tahun memiliki osteoblast (zat pembentuk tulang) maksimal dan lebih banyak zat inorganik dari pada zat organik. Zat inorganik terdiri dari kalsium dan fosfat zat kapur yang menyebabkan unsur-unsur pengerasan pada tulang. Unsur inilah yang diduga kuat menyebabkan tulang sapi umur 4 tahun lebih kuat.

Kata kunci: tulang, kekuatan tarik, modulus elastisitas, biomaterial

Pendahuluan

Jumlah penderita kasus patah tulang di dunia mencapai 2 juta kasus pertahun [1]. Sementara, kasus patah tulang di Indonesia termasuk tinggi, diperkirakan 100-150 ribu kasus pertahun, yang disebabkan oleh berbagai faktor termasuk akibat kecelakaan lalu-lintas, bencana alam ataupun penyakit/osteoporosis [2-7]. Tulang yang patah dapat diperbaiki dengan memasang pin atau material implan sampai tulang utuh kembali seperti biasa. Material implan harus biokompatibel dengan tubuh. Disamping itu, material implan harus mempunyai

sifat mekanik yang tak berbeda jauh dengan tulang. Material implan atau fiksasi yang terlalu kaku, akan menyulitkan pergerakan otot sehingga menimbulkan rasa nyeri. Oleh karena itu perlu dilakukannya penelitian untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik dari tulang tersebut, dan selanjutnya menjadi acuan dalam perancangan material implan/fiksasi. Berhubung karakteristik tulang sangat bervariasi dan tergantung dari banyak faktor, maka perlu dilakukan penetapan variabel. Pada penelitian ini yang akan ditinjau adalah pengaruh umur terhadap kekuatan tarik dan modulus elastisitas. Sebagai pengganti tulang manusia, pada penelitian ini digunakan tulang

sapi dengan alasan utama karakteristik kedua jenis tulang tersebut mirip, dan tulang sapi lebih murah dan mudah diperoleh.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

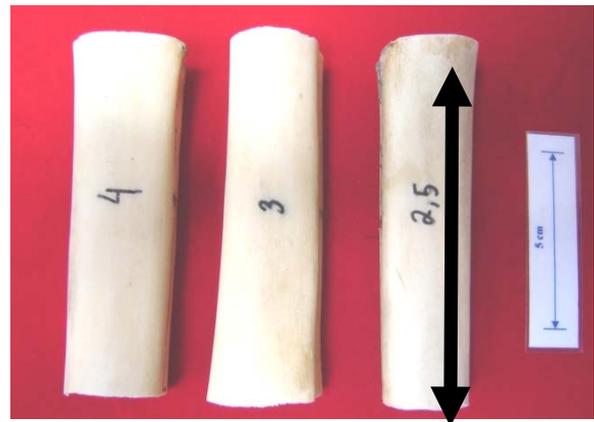
Sampel tulang sapi pada penelitian ini berasal dari jenis sapi potong lokal berkelamin jantan dengan daerah asal Pesisir Selatan, Sumatera Barat. Variabel umur hidup sapi ditetapkan 2-5 tahun, karena secara umum daging sapi potong yang sehat dan disukai berada dalam rentang usia ini. Umur hidup sapi yang diperoleh dari informasi peternak, dan kemudian diverifikasi dengan susunan geligi adalah sapi berumur 2 tahun 6 bulan (2.5 tahun), 3 tahun dan umur 4 tahun. Bagian tulang yang dimanfaatkan untuk spesimen uji adalah tungkai kaki belakang pada kaki kanan.

Sifat mekanik tulang yang diuji dalam penelitian ini terutama adalah kekuatan dan kelenturan tulang. Penentuan kekuatan dilakukan dengan pengujian tarik (tensile test) sesuai dengan standar pengujian tarik ASTM E-8 [8]. Pengujian tarik ini dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik mini *comp-ten testing machine* berkapasitas maks 5 ton Sementara, kelenturan tulang diukur melalui pengujian lentur (flexure test) material rapuh sesuai standar ASTM E-23[8,9]. Pengujian lentur dilakukan dengan memanfaatkan alat uji lentur sederhana, yang dibuat dan dirakit sendiri di Workshop Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas.

Spesimen uji tulang diambilkan dari tungkai belakang kanan dengan terlebih dahulu membuang semua daging yang melekat pada tulang. Sampel uji dipilih dari bagian tengah tulang yang relatif lurus. Pemotongan untuk membuang bagian ujung-ujung tulang dilakukan dengan gergaji besi, sehingga tersisa tulang berupa tabung (Gambar 1). Tabung tulang tersebut kemudian dibelah-belah dengan gergaji menjadi beberapa bilah agar mudah dibentuk menjadi spesimen uji sekaligus untuk membuang sumsum yang terdapat pada bagian tengah tabung tulang. Bilah-bilah tulang ini kemudian dibentuk menjadi spesimen uji lentur dan uji tarik dalam bentuk pelat dengan lebar 10 mm, tebal 5 mm, dan panjang 75 mm. Khusus untuk spesimen uji tarik, lebar pelat dikecilkan menjadi 6 mm pada bagian tengah pelat sepanjang 30 mm sebagai daerah uji, sehingga terbentuk penampang uji 6x5 mm dan panjang uji 30 mm. Pembentukan spesimen uji standar ini dilakukan dengan gergaji tripleks. Sementara penghalusan permukaan dilakukan dengan kertas amplas dan kemudian diikuti dengan pemolesan dengan kain poles yang ditaburi serbuk Alumina. Menjelang pengujian dilakukan, spesimen disimpan dalam lemari es untuk mencegah pembusukan.

Pemeriksaan struktur fisik tulang dilakukan dengan dengan mengambil potongan sampel dari bilah-bilah

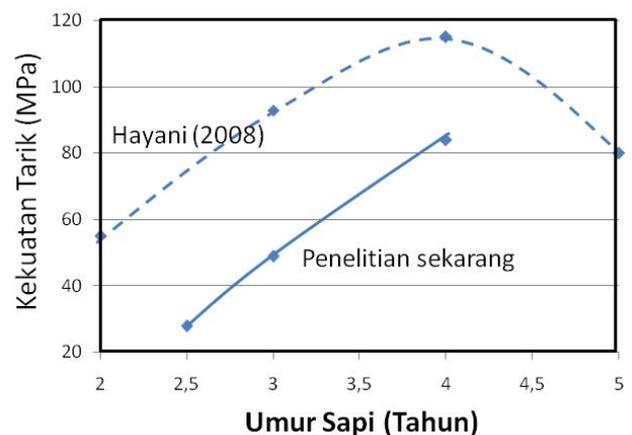
tulang sisa uji tarik dan uji lentur. Struktur fisik yang diperiksa adalah penampang melintang pelat tulang dan diamati dengan mikroskop optik.



Gbr 1. Sampel tulang dari tungkai belakang kaki kanan

Hasil dan Pembahasan

Kekuatan (tegangan) tarik rata-rata tulang sapi sebagai fungsi umur yang diperoleh pada pengujian sekarang ini, dan dibandingkan dengan hasil pengujian sebelumnya untuk jenis sapi yang berbeda [10], diperlihatkan pada Gambar 1. Dari Gambar terlihat bahwa kekuatan tarik (rata-rata) tulang meningkat dengan meningkatnya umur sapi. Kekuatan terendah adalah pada sapi umur 2.5 tahun yakni 28 MPa, sementara yang paling tinggi adalah pada sapi umur 4 tahun yaitu 64 MPa. Hasil pengujian ini, sama dengan hasil pengujian oleh Hayati [10] dalam hal kecenderungan grafik untuk umur sapi yang sama. Namun untuk nilai nominal kekuatan, hasil yang diperoleh Hayati jauh lebih tinggi, hampir 2 kali lipat. Perbedaan ini disebabkan jenis dan asal sapi yang dipakai pada pengujian berbeda, dimana Hayati meneliti kekuatan sapi jenis Brahma, jenis sapi campuran dengan berat hidup lebih 500 kg. Selain itu nilai rentang kekuatan untuk tiap umur juga lebih besar yakni mencapai 40-80 MPa.



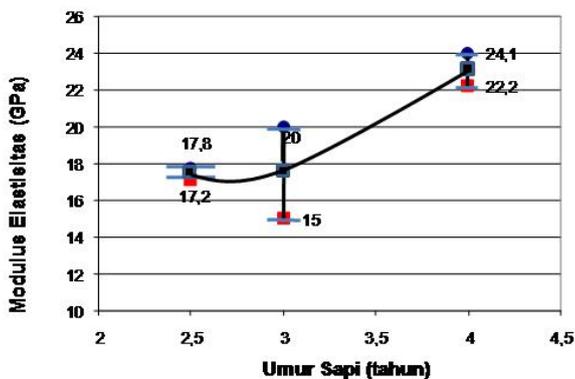
Gambar 2. Pengaruh umur terhadap kekuatan tulang sapi

Hal ini menunjukkan bahwa nilai nominal kekuatan tulang sangat bervariasi tergantung jenis, asal dan berat sapi. Namun demikian, kecenderungan yang diperoleh sama dimana kekuatan meningkat dengan bertambahnya umur sapi sampai umur tertentu, dan kemudian menurun setelah kekuatan optimum tercapai.

Hasil pengujian lentur untuk tegangan lentur relatif sama untuk semua umur yakni pada kisaran 6 - 7 MPa dengan nilai rata-rata sebesar 6.3 MPa. Nilai tegangan lentur ini didapat karena beban maksimum pada semua benda uji adalah relatif sama yakni 14 N.

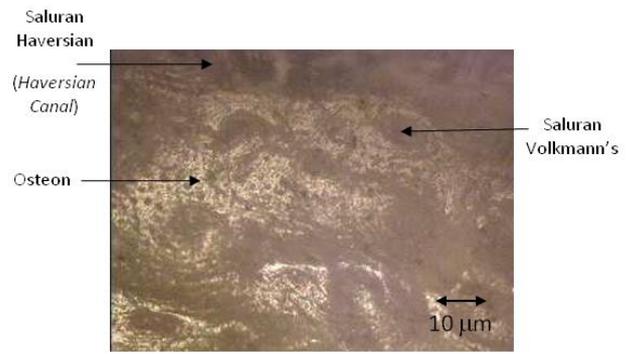
Karakteristik lain yang diperoleh dari pengujian lentur ini adalah regangan lentur. Besar nilai regangan lentur yang diperoleh adalah berbanding terbalik dengan umur sapi, dimana semakin tinggi umur sapi maka nilai regangan yang didapat akan semakin kecil. Pada tulang sapi umur 2.5, 3 dan 4 tahun, nilai regangan lentur rata-rata berturut-turut adalah 0.00031, 0.00030 dan 0.00025 mm/mm. Dapat disimpulkan bahwa semakin tua umur dari sapi maka sifat tulang tersebut akan semakin kurang lentur.

Karakteristik terpenting yang ingin diketahui dari pengujian lentur ini adalah modulus elastisitas (E) tulang. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 3. Dari Gambar terlihat bahwa modulus elastisitas tulang meningkat dengan meningkatnya umur sapi. Nilai rata-rata modulus elastisitas untuk sapi umur 2,5 dan 3 tahun relatif hampir sama yakni 17.5 GPa. Sementara yang paling tinggi adalah pada tulang sapi umur 4 tahun spesimen 1 dengan nilai E = 24.1 GPa. Nilai rata-rata keseluruhan tulang tanpa memperhatikan umur adalah 19.4 GPa. Nilai ini relatif sama dengan hasil pengujian oleh tulang sapi oleh Cowin [11] yaitu sebesar 20.4 GPa. Sedangkan nilai modulus elastisitas pada tulang manusia adalah sebesar 17.4 GPa [12].



Gambar 3. Pengaruh umur terhadap modulus elastisitas

Contoh hasil pemeriksaan struktur mikro tulangdiperlihatkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Struktur fisik tulang sapi tersebut dilihat dengan memakai alat mikroskop optik, dengan tingkat pembesaran 10 kali.



Gambar 4. Struktur fisik tulang sapi umur 2.5 tahun

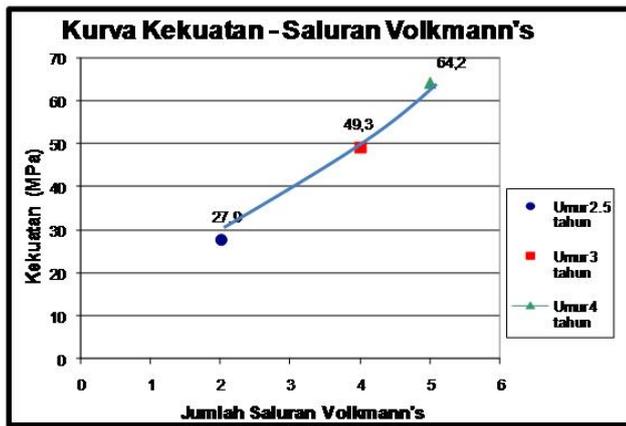


Gambar 5. Struktur fisik tulang sapi umur 4 tahun

Jika dibandingkan struktur mikro tulang sapi umur 2.5 tahun (Gb 4) dan 4 tahun (Gb 5), maka terlihat jelas bahwa tulang sapi umur 4 tahun memiliki lebih banyak saluran (haversian canal) yang berisi jaringan syaraf dan pembuluh darah (blood vessels) yang bertugas untuk menyuplai tulang dengan makanan dan daerah di sekitar jaringan disebut dengan jaringan penyerap (porous tissue) yang terdiri atas plat tipis yang encer (lamellae) dan pada umumnya rongga tersebut berisi suatu jaringan yang menghubungkannya ke tulang sum-sum (marrow).

Kekuatan tulang sapi umur 4 tahun paling tinggi ini disebabkan oleh osteoblast (pembentuk tulang) bekerja maksimal dan lebih banyak zat inorganik dari pada zat organik. Zat inorganik terdiri dari kalsium dan fosfat zat kapur yang menyebabkan unsur-unsur pengerasan pada tulang. Sedangkan pada sapi umur 2.5 tahun dan 3 tahun pembentukan tulang belum maksimal tulang lebih banyak terdiri dari zat organik yaitu jaringan fibrosa dan sel-sel yang menyebabkan elastis pada tulang. Pada umur 4 tahun tulang sapi lebih banyak terdapat saluran dan rongga yang dapat menaikkan kekuatan tulang itu sendiri.

Selain itu, teramati bahwa tulang sapi berumur 3 tahun dan 4 tahun mempunyai Saluran Haversian, Osteon dan Saluran Volkmann's yang hampir sama banyak. Sehingga sifat mekanik dari kedua tulang tersebut tidak jauh berbeda antara satu sama lain.



Gbr 6. Kurva kekuatan vs jumlah saluran Volkmann's

Nilai kekuatan tulang sapi pada umur 4 tahun relatif lebih besar dari pada kekuatan tulang sapi umur 2.5 dan 3 tahun. Hal ini disebabkan oleh struktur fisik tulang sapi umur 4 tahun memiliki Osteon, Saluran Haversian dan Saluran Volkmann's lebih banyak dari umur 2.5 dan 3 tahun. Karena semakin banyak Saluran Volkmann's yang akan menghubungkan osteon-osteon, maka akan meningkatkan nilai kekuatan dari tulang itu seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Kesimpulan

1. Kekuatan tarik tulang sapi bervariasi dalam rentang yang cukup besar, dengan kekuatan rata-rata 47 MPa. Sementara modulus elastisitas rata-rata adalah sekitar 19.4 GPa.
2. Kekuatan tarik tulang meningkat dengan bertambahnya umur sapi dari 2-4 tahun, namun menurun pada umur di atas 4 tahun.
3. Kekuatan tulang sapi umur 4 tahun paling tinggi ini disebabkan oleh osteoblast (pembentuk tulang) bekerja maksimal dan lebih banyak zat inorganik dari pada zat organik. Sedangkan pada sapi umur 2.5 tahun dan 3 tahun pembentukan tulang belum maksimal tulang lebih banyak terdiri dari zat organik yaitu jaringan fibrosa dan sel-sel yang menyebabkan elastis pada tulang. Sementara kekuatan sapi umur di atas 4 tahun berkurang karena *osteoblast* juga berkurang bahkan tidak berfungsi lagi, lebih banyak terdapat *osteoklast* (pengikisan tulang) yang mengakibatkan berkurangnya fibrosa, sel-sel tulang serta penurunan produksi kalsium dan fosfat

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada DP2M DIKTI yang telah membiayai penelitian ini melalui hibah penelitian pascasarjana tahun 2012.

Referensi

1. Octaviani S, Revolusi Material untuk Fiksasi Internal, <http://riemetalui.wordpress.com/2012/03/23/revolusi-material-untuk-fiksasi-internal/>
2. Head Line News, Kementerian Koordinator Bidang Kesejahteraan, 3 Juli 2006
3. Republika Online - Selasa, 15 Juni 2004
4. Harian Haluan, 6 Maret 2007
5. Lentera news, 6 Maret 2007
6. Metro TV, Headline news, Minggu, 27 Mei 2007
7. <http://www.rripro3.go.id/berita/Angka+kecelakaan+diSumbar+tinggi>
8. NN., Annual Book of ASTM Standards, Easton, MD, Philadelphia, 1997.
9. http://www.instron.us/wa/applications/test_types/fl exure/default.aspx
10. Hayani. Karakteristik Fisik dan Mekanik Tulang Sapi dengan Variasi Umur Sebagai Referensi Disain Material Implan. Tesis PPS Unand. Padang, 2008
11. American Journal of Applied Sciences 6. How Does The Bone Shaft Geometry Affect its Bending Properties ?. 2009.
12. Yuehuei, H & Robert A. Draughn,. Mechanical Testing of Bone and the Bone-Implant Interface, CRC Press, New York, 2000.