

Komposit Laminat Rami Epoksi Sebagai Bahan Alternatif *Socket Prosthesis*

Agustinus P. Irawan¹⁾, Tresna P. Soemardi²⁾, Widjajalaksmi K.³⁾, Agus H.S. Reksoprodjo⁴⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UNTAR, Jakarta

^{2,4)} Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UI, Depok

³⁾ Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia

¹⁾ Email: agustinus01@yahoo.com

ABSTRAK

Socket merupakan bagian terpenting dalam pembuatan *prosthesis*. Kriteria bahan *socket prosthesis* antara lain kekuatan, ketahanan, ringan, kenyamanan dan biaya produksi yang rendah. Penelitian ini bertujuan menganalisis kekuatan komposit laminat berpenguat serat rami epoksi sebagai bahan alternatif *socket prosthesis*. Pengujian kekuatan mengacu standar ASTM D 3039/D 3039M uji tarik dan ASTM D 695 uji tekan. Serat rami yang digunakan berupa serat kontinyu jenis ramie 100 % Ne.14'S dengan matriks *Epoxy Resin Bakelite EPR 174* dan *Epoxy Hardener V-140*. Sampel uji dibuat dengan metode *hand lay-up*. Hasil pengujian ditampilkan dalam berbentuk hubungan kekuatan tarik (σ_t), tekan (σ_c), modulus elastisitas (E) versus fraksi volume serat (V_f). Hasil pengujian akan dibandingkan dengan kekuatan beberapa bahan *prosthesis* yang diproduksi oleh Otto Bock. Modus kegagalan diamati dengan bantuan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa komposit berpenguat rami epoksi berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan *socket prosthesis* pada V_f 40–50%. Kekuatan tarik dan *specific strength* yang dihasilkan lebih tinggi dari beberapa bahan *prosthesis* termasuk *fiberglass*. Modus kegagalan yang terjadi adalah *brittle failure* (getas) pada V_f : 10-30%, *debonding* (ikatan lepas) dan delaminasi pada V_f : 40-50%.

Kata kunci: Komposit laminat rami epoksi, kekuatan bahan komposit, *socket prosthesis*.

ABSTRACT

Socket is the most important component in a prosthesis making. Performance criteria for prosthetic socket material include strength, durability, minimal weight, comfort, and minimal fabrication cost. This research attempts to analyze the strength of ramie fiber reinforced epoxy laminate composite as an alternative of socket prosthesis. The research based on ASTM D 3039/D 3039M for tensile strength and ASTM D 695 for compressive strength. The ramie fiber used was a continuous fiber 100 % Ne14'S, with Epoxy Resin Bakelite EPR 174 and Epoxy Hardener V-140. The sample test was created using a hand lay-up method. The result of this research is presented in a correlation of tensile strength (σ_t), compression strength (σ_c), elasticity modulus (E) versus fraction volume of fiber (V_f). The result is then being compared with some of the prosthesis material's strength produced by Otto Bock. The analysis was completed with the mode of the failure observation by using Scanning Electron Microscope (SEM). The result concludes that the ramie fiber reinforced epoxy laminate composite is potentially developed further as a socket prosthesis material on V_f 40 – 50 %. Tensile strength and specific strength that has been generated was higher than that of several materials for socket prosthesis, including fiberglass. The mode of the failure found were a brittle failure on V_f : 10-30%, debonding and delamination on V_f : 40-50%.

Keywords: Ramie fiber reinforced epoxy laminate composite, strength of composite material, *socket prosthesis*.

PENDAHULUAN

Prosthesis merupakan produk komponen pengganti bagian tubuh manusia. Salah satu prosthesis yang diperlukan oleh pasien adalah prosthesis anggota gerak bawah. Prosthesis anggota gerak bawah dibedakan menjadi prosthesis atas lutut dan

bawah lutut, berdasarkan batas amputasi yang dilakukan terhadap anggota gerak bawah [1].

Bagian penting dari prosthesis atas lutut adalah *socket* yang berhubungan langsung dengan *stump* (puntung). Bahan *socket prosthesis* saat ini yang banyak digunakan di Indonesia adalah komposit berpenguat *fiberglass*. Kelemahan penggunaan



Gambar 1. Socket Prosthesis dan Stump [2]

fiberglass sebagai bahan *socket prosthesis* antara lain kurang lentur (kaku) sehingga kurang nyaman digunakan, tidak baik bagi kesehatan terutama alam proses manufaktur karena bentuknya yang tajam dan menyebabkan gatal (iritasi) pada kulit jika laminasinya mengalami kerusakan, tidak ramah lingkungan dan tidak dapat didaur ulang, harga cukup mahal dan merupakan produk import sehingga tidak sesuai bagi pengembangan potensi lokal [1]. Kelemahan komposit berpenguat *fiberglass* di atas, juga diperkuat oleh hasil penelitian Sam L. Phillips dan William Craelius [3] tentang komposit laminate serat *carbon*, *nyglass*, *spectralon*, *nylon*, *cotton*, *fiberglass matte* dan *fiberglass cloth* yang biasa digunakan sebagai bahan pembuat *Prosthetics and Orthotics*. Kesimpulan penelitian yang mereka lakukan adalah serat karbon dan *fiberglass* mempunyai kekuatan yang baik, tetapi sebagai bahan prosthesis mempunyai keterbatasan yaitu sifat getas, sehingga mudah rusak dan robek pada saat dimodifikasi.

Secara umum, menurut J.A. Campbell [4] sifat bahan yang digunakan sebagai bahan socket prosthesis harus memiliki kekuatan yang baik, kelenturan, ringan, ketahanan menerima beban dinamis akibat pergerakan kaki dan tidak mengganggu kesehatan. Pemilihan bahan tidak saja memperhatikan kebutuhan fungsional, tetapi juga harga, proses manufaktur, ketersediaan bahan dan kemudahan dalam perbaikan serta perawatan. [5,6]

Dengan mempertimbangkan kelemahan yang dimiliki oleh komposit *fiberglass* sebagai bahan socket prosthesis, maka perlu usaha untuk mencari bahan socket yang lebih baik. Salah satu alternatif bahan yang dipilih dan akan diteliti adalah komposit serat rami. Komposit serat rami sebagai serat alami mempunyai kelebihan antara lain perbandingan kekuatan dan kekuatan spesifik (*specific strength*) yang tinggi sehingga lebih ringan, ketersediaan cukup melimpah (*local genius*), dapat didaur ulang, ramah lingkungan (*green composite*), harganya relatif murah, tidak membahayakan kesehatan, tidak menyebabkan iritasi terhadap kulit, nyaman dan resisten terhadap bakteri dan menghasilkan interaksi *interfacial* yang baik dengan resin. [7,8,9]

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, maka penelitian ini difokuskan untuk menganalisis kemampuan komposit laminate serat rami epoksi sebagai bahan alternatif *socket prosthesis*. Pendekatan yang digunakan adalah dengan pengujian komposit laminate mengacu standar ASTM dan mengacu *ISO 10328-3:1996 Prosthetics, Structural Testing of Lower-Limb Prostheses, Principal Structural Tests* [10] serta dilengkapi dengan analisis modulus kegagalan yang terjadi berbantuan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

METODE PENELITIAN

Serat rami yang digunakan untuk membuat komposit laminate merupakan jenis serat kontinyu berupa benang yang diperoleh dari pasar bebas di Tangerang, Banten dengan jenis ramie 100 % Ne.14'S. Matriks yang digunakan berupa *Epoxy Resin Bakelite*[®] EPR 174 dengan *Epoxy Hardener V-140*. Perbandingan antara resin dan *hardener* adalah 1:1.

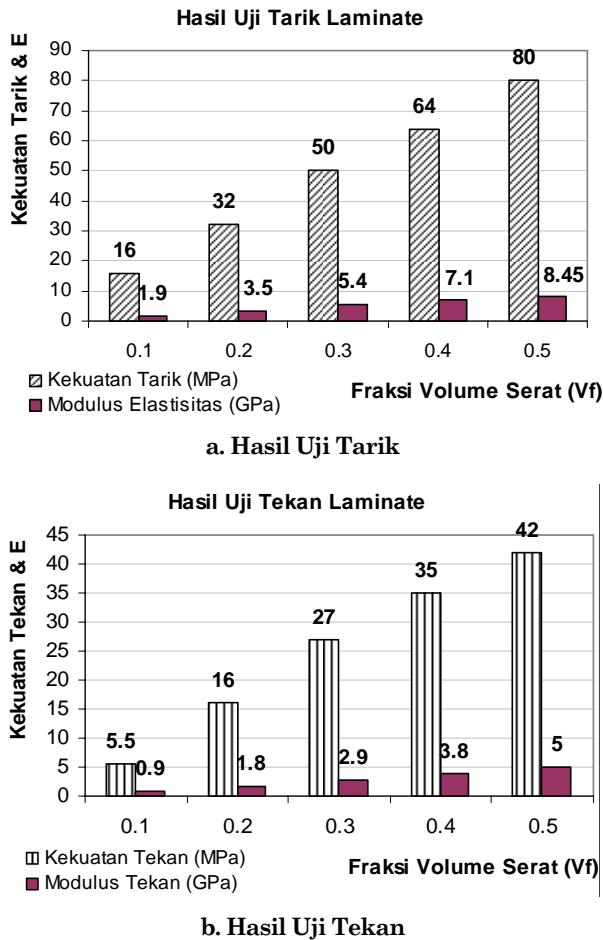
Proses pembuatan sampel uji laminate dengan menggunakan metode *hand lay up* pada suhu kamar. Fraksi volume serat (V_f) yang digunakan adalah 10%, 20%, 30%, 40%, 50%. Komposit laminate yang dibuat merupakan lapisan simetri dengan susunan Kwasi Isotropik [11] dan orientasi serat $[0, \pm 90, \pm 45]$ dibuat dalam enam lapis. Pengujian yang dilakukan meliputi uji tarik laminate mengacu standar ASTM D 3039/D 3039M dan uji tekan laminate mengacu standar ASTM D 695 [12,13]. Hasil uji sampel komposit disajikan dalam bentuk hubungan antara kekuatan tarik, kekuatan tekan, modulus elastistas, versus fraksi volume serat. Modus kegagalan komposit akan dianalisis dengan bantuan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Hasil pengujian akan dibandingkan dengan data beberapa bahan prosthesis yang dihasilkan oleh Otto Bock.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Tarik dan Tekan Laminate

Hasil pengujian tarik laminate komposit serat rami (Gambar 2.a) menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekuatan tarik rata-rata 16 MPa dengan penambahan fraksi volume serat dan nilai terbesar pada V_f 50 % mencapai nilai 80 MPa. Demikian juga dengan modulus elastisitas yang dihasilkan mengalami peningkatan sampai pada V_f 50 % sebesar 8.45 GPa. Peningkatan yang terjadi seiring dengan bertambahnya jumlah serat yang ada dalam komposit laminate. Makin besar jumlah serat, maka kekuatan komposit juga makin besar, tetapi dibatasi oleh kemampuan matriks untuk

mengikat seluruh serat tersebut menjadi satu kesatuan. Jika matriks sudah tidak mampu mengikat serat, maka kekuatan yang dihasilkan oleh komposit juga menurun. Dalam hal ini, kekuatan tarik serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik bahan komposit yang diperkuat dengan serat kontinu dengan arah serat longitudinal [11].

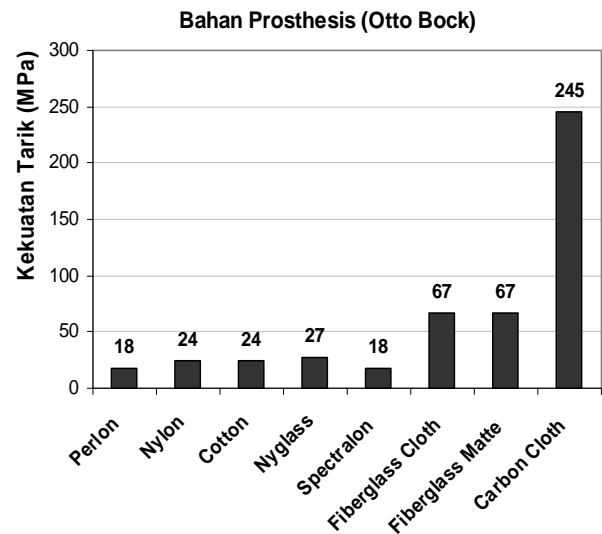


Gambar 2. Hasil Uji dan Tekan Tarik Laminat

Berdasarkan hasil pengujian tekan laminate (Gambar 2.b) dengan orientasi serat simetri terlihat adanya peningkatan kekuatan tekan sampai 42 MPa pada Vf 50 % dengan modulus elastisitas tekan mencapai 5 GPa. Peningkatan kekuatan tekan seiring dengan bertambahnya jumlah serat dalam komposit laminate tersebut. Beban yang diterima komposit dari arah longitudinal akan diterima oleh serat arah 0° sebagai beban tekuk (*buckling*) dan akan direduksi oleh arah serat $\pm 45^\circ$ dan 90° . Dengan demikian, gabungan orientasi serat ini sangat penting dalam menahan beban tekan. Pada desain *socket prosthesis*, maka beban aktual yang dialami oleh *socket prosthesis* lebih banyak berupa beban tekan saat digunakan oleh pasien yang berasal dari bebat badan yang ditumpu oleh socket, sehingga dukungan kekuatan tekan sangat diperlukan.

Pengujian yang dilakukan dibatasi sampai Vf 50 % dengan mempertimbangkan kondisi optimum pembuatan prototipe *socket prosthesis* pada Vf 40 sampai 50 %. Pada Vf rendah, komposit cenderung bersifat getas karena hanya mengandalkan kekuatan matriks. Sedangkan pada Vf di atas 50 %, matriks akan sulit membasahi seluruh serat, sehingga ikatan serat dan matriks menjadi lemah, sehingga menimbulkan *debonding*.

Sebagai data pembandingan terhadap hasil pengujian komposit laminate rami epoksi, diambil beberapa data kekuatan tarik bahan prosthesis yang dihasilkan oleh Otto Bock.



Gambar 3. Perbandingan Kekuatan Tarik Beberapa Bahan Prosthesis [3]

Berdasarkan Gambar 2 dan 3 terlihat bahwa, komposit berpenguat serat rami pada Vf 40 – 50 % mempunyai kekuatan tarik (Vf 40 % = 64 MPa, Vf 50 % = 80 MPa) relatif sama dengan komposit berpenguat *fiberglass* baik dalam bentuk *cloth* maupun *matte*. Demikian juga jika dibandingkan dengan bahan prosthesis lainnya yaitu *Perlon*, *Nylon*, *Cotton*, *Nyglass*, dan *Spectralon*, kekuatan komposit berpenguat serat rami berada jauh di atas kekuatan bahan- bahan tersebut. Namun demikian, komposit berpenguat serat rami belum mampu mengalahkan kekuatan komposit berpenguat serat Carbon [3].

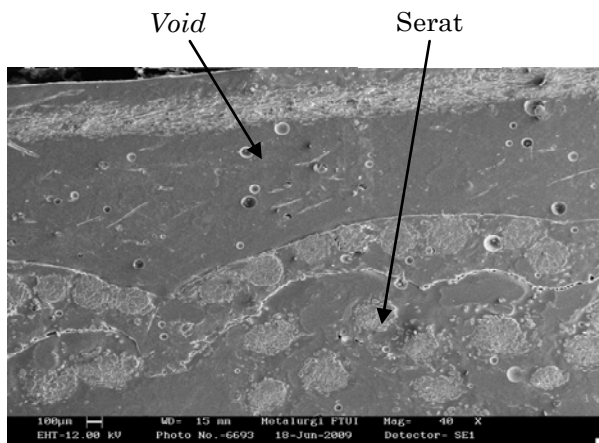
Sedangkan jika dilihat dari sisi *specific strength* (kekuatan tarik dibagi dengan densitas), komposit serat rami pada Vf 40 – 50 % mempunyai harga yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit *fiberglass* karena densitas serat rami $1,5 \text{ g/cm}^3$ dan *fiberglass* $2,56 \text{ g/cm}^3$ [14]. Dengan demikian pada kekuatan yang sama, komposit serat rami jauh lebih ringan. Kondisi ini sangat menguntungkan karena prosthesis yang dibuat juga menjadi lebih ringan namun memiliki kekuatan yang tidak kalah dibandingkan komposit berpenguat *fiberglass*.

Modus Kegagalan Komposit

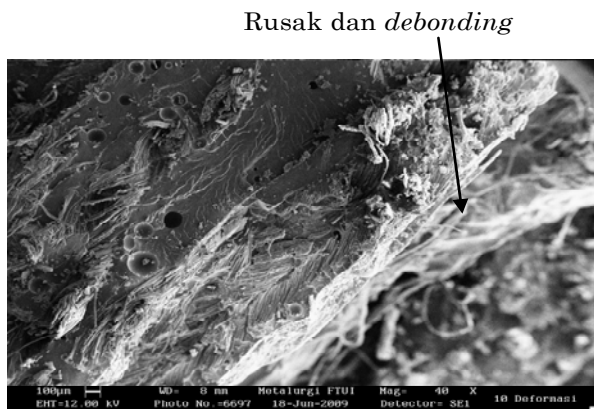
Suatu struktur dikatakan gagal bila struktur tersebut tidak dapat lagi berfungsi dengan baik. Dengan demikian definisi kegagalan berbeda menurut kebutuhan yang berlainan. Untuk penerapan struktur tertentu, deformasi yang kecil barangkali sudah dianggap gagal, sedang pada struktur yang lain hanya kerusakan total dapat dianggap gagal.

Hal ini sangat terlihat pada bahan komposit. Pada bahan ini, kerusakan internal mikroskopik dapat terjadi jauh sebelum kerusakan nyata terlihat. Kerusakan internal mikroskopik ini terjadi dalam beberapa bentuk, seperti patah pada serat (*fiber breaking*), retak mikro pada matriks (*matrix microcrack*), terkelupasnya serat dari matriks (*debonding*) dan terpisahnya lamina satu sama lain (*delamination*). [11, 15]

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, kegagalan pada komposit serat rami epoksi meliputi modus kegagalan *brittle failure* (getas) untuk Vf: 10-30%, *debonding* (ikatan lepas) dan *delaminasi* Vf: 40-50%. Hasil uji SEM terhadap sampel uji tarik dan tekan komposit laminate sebelum dan sesudah diuji ditunjukkan pada Gambar 4.



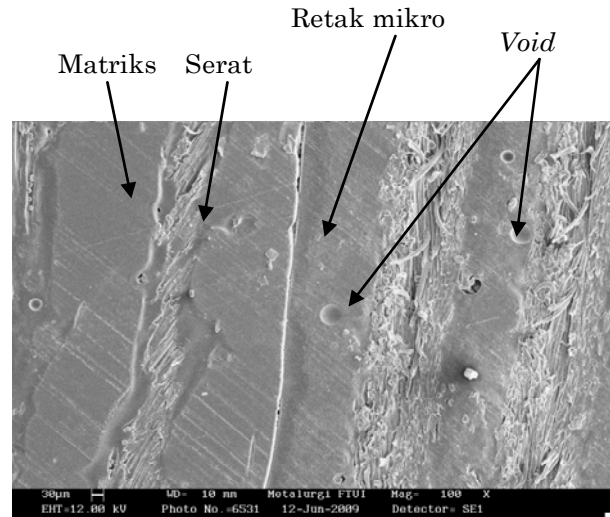
a. Sebelum Pengujian



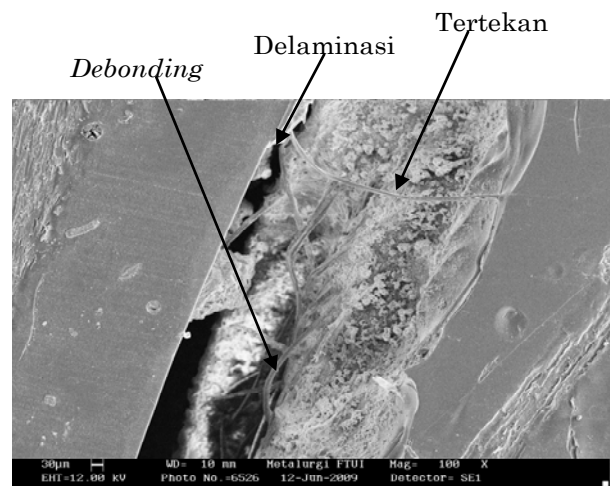
b. Setelah Pengujian

Gambar 4. Foto SEM Sampel Laminate Vf 50% Uji Tarik

Gambar 4 memperlihatkan bahwa pada sampel uji laminate Vf 50% terdapat bagian yang mengalami cacat awal berupa sedikit *void*. Setelah dilakukan pengujian terlihat sebagian serat terputus dan tercabut dari matriks dan mengalami delaminasi.



a. Sebelum Pengujian



b. Setelah Pengujian

Gambar 5. Foto SEM Sampel Laminate Vf 50% Uji Tekan

Dengan pembesaran 100x (Gambar 5) terlihat bahwa sampel uji tekan sebelum diuji mempunyai sedikit *void* dan terjadi retak mikro antar lapisan. *Void* dapat terjadi akibat proses pembuatan sampel uji tidak diberikan pembebanan dan pemvakuman, sehingga matriks kurang sempurna dalam membasahi serat. Demikian juga retak mikro yang terjadi lebih banyak diakibatkan oleh proses pembuatan sampel uji yang kurang sempurna, bukan karena masalah interfasial antara serat dan matriks. Setelah dilakukan pengujian, serat mengalami tekanan yang kuat dan menyebabkan terlepas dari matriks. Dengan demikian dominasi keretakan mikro dan terlepasnya serat dari matriks menjadi fenomena dominan dari sampel uji

komposit serat rami epoksi pada beban yang besar dan fraksi volume serat yang tinggi.

Untuk mengurangi cacat tersebut maka pada proses pembuatan harus memperhatikan temperatur kerja dan *wetting agent*. Proses pembuatan akan lebih baik jika dilakukan dengan proses *hot press* dan menggunakan proses pemvakuman untuk menghilangkan sebanyak mungkin udara yang terjebak. Proses pemvakuman juga dapat mempercepat aliran matriks (resin) untuk meresap ke dalam serat sebelum proses pengeringan dimulai. Hal ini harus menjadi perhatian pada saat pembuatan prototipe *socket prosthesis*, sehingga prototipe yang dibuat tidak mengalami retak mikro, void dan mempunyai permukaan yang baik. Perlu dilakukan perencanaan proses produksi prototipe socket secara teliti dengan mempertimbangkan modulus dan penyebab kegagalan yang terjadi pada komposit berpenguat serat rami epoksi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa komposit laminate serat rami epoksi berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai bahan alternatif dalam pembuatan *socket prosthesis* atas lutut. Hal ini dapat dilihat pada Vf 40–50 % komposit berpenguat serat rami menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan beberapa komposit serat sintetik yang biasa digunakan sebagai bahan prosthesis. Demikian juga dengan kekuatan spesifik yang dihasilkan oleh komposit berpenguat serat rami lebih tinggi, sehingga pada kekuatan yang sama akan dihasilkan produk yang lebih ringan. Modus kegagalan komposit berpenguat serat rami adalah *brittle failure* (getas) pada Vf : 10-30%, *debonding* (ikatan lepas) dan delaminasi pada Vf : 40-50%. Untuk mengurangi cacat produk yang dihasilkan, maka perlu dicermati proses manufaktur dengan menambahkan proses pemvakuman untuk mengurangi void dan mempercepat proses laminasi sebelum matriks mulai mengering.

DAFTAR PUSTAKA

1. John Craig, *Prosthetic Feet for Low-Income Countries*, Journal of Prosthetics and Orthotics, Vol. 17, Num. 4S, pp. 27–49, 2005.
2. Stan Patterson, *Advancing Orthotic and Prosthetic Care Through Knowledge*, The Academic Today. Vol. 3, No. 3 June 2007.
3. Sam L Phillips and William Craelius, *Material Properties of Selected Prosthetic Laminates*, Journal of Prosthetics and Orthotics, Vol. 17, Num. 1, pp.27–32, 2005.
4. J.A. Campbell, *Material Selection in an above Knee Prosthetic Leg*, Engineering Materials, Department of Engineering, Australian National University. 2002.
5. Winson C. C. Lee, et al., *Finite-element analysis to determine effect of monolimb flexibility on structural strength and interaction between residual limb and prosthetic socket*, Journal of Rehabilitation Research and Development, Vol. 41 No. 6A. November/December, pp. 775-796, 2004.
6. Gerald Stark, *Perspectives on How and Why Feet are Prescribed*, Journal of Prosthetics and Orthotics, Vol. 17, Num. 4S, pp. 18–22, 2005.
7. F.G. Torres and R.M. Diaz, *Morphological Characterisation of Natural Fibre Reinforced Thermoplastics (NFRTP) Processed by Extrusion, Compression and Rotational Moulding*, Polymers & Polymer Composites, Vo. 12 No. 8, pp. 705–718, 2004.
8. Maya Jacob, Bejoy Francis, Sabu Thomas, K.T. Varughese, *Dynamical Mechanical Analysis of Sisal/Oil Palm Hybrid Fiber-Reinforced Natural Rubber Composites*, Polimer Composites, pp. 671-680, 2006.
9. He Ling-Ping, Tian Yong, Wang Lu-Lin, *Study on Ramie Fiber Reinforced Polypropylene Composite (RF-PP) and Its Mechanical Properties*, Advanced Materials Research, Vol. 41-42, pp. 313-316, 2008.
10. BS ISO 10328-3, *Prosthetics, Structural Testing of Lower-Limb Prostheses, Principal Structural Tests*, www.iso.org, 1996.
11. Autar K Kaw, *Mechanics of Composite Materials*, Second Edition, CRC Press, Boca Raton, New York. 2006.
12. ASTM, *Annual Book of ASTM Standard*, West Conshohocken, 2003.
13. ASTM International, *The Composite Materials Handbook MIL 17*, West Conshohocken, 2002.
14. J.W. Kaczmar, J. Pach, R. Kozłowski. "Use of Natural Fibers as Fillers for Polymer Composites". International Polymer Science and Technology. Vol. 34 No. 6, pp. T/45 – T/50, 2007.
15. Bambang Kismono Hadi, *Mekanika Struktur Komposit*, Penerbit ITB, 2000.