

PERANCANGAN BIOMEKANISME SENDI PROTESA UNTUK PASIEN AMPUTASI TUNGKAI DI ATAS LUTUT DENGAN DESAIN ERGONOMI DAN FLEKSIBEL

Dody Bactiar^{1*}, Audy¹, Jamari¹, Iwan Budiwan²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang

Jl. Prof. Sudarto, SH – Tembalang, Semarang 50275

²RS Orthopedic Prof. dr. Soeharso Surakarta

*Email : dody.bactiar88@gmail.com

Abstrak

Pada umumnya manusia memiliki anggota gerak diantaranya adalah Tungkai bawah (Extremitas Inferior), yang berfungsi untuk menopang tubuh bagian atas dan melakukan aktivitas sehari – hari. Hilangnya sebagian alat gerak akan menyebabkan ketidakmampuan seseorang untuk melakukan aktivitas dalam derajat yang bervariasi, tergantung dari bagian mana alat gerak yang hilang. Kehilangan alat gerak tersebut dapat disebabkan berbagai hal, seperti penyakit, faktor cacat bawaan lahir, kecelakaan, atau penanganan operasi (amputasi). Untuk membantu mengatasi keterbatasan-keterbatasan aktivitas yang terjadi pada seseorang yang kehilangan kaki akibat amputasi, maka digunakanlah protesa. Protesa yang ada di pasaran saat ini memiliki banyak kekurangan. Kekurangan tersebut antara lain harga yang mahal. Selain itu terdapat juga beberapa kekurangan dari segi kenyamanan, seperti panjang yang tidak sesuai dengan kaki, ankle kaki yang kaku, hingga daya tahan yang rendah. Penelitian dimulai dari tahap persiapan yang terdiri dari studi pendahuluan dan studi literatur. Dari tahap pendahuluan ini diketahui jenis-jenis protesa yang saat ini ada di pasaran, dan kekurangan-kekurangan protesa tersebut. Selanjutnya dilakukan pengambilan data antropometri yang dibutuhkan untuk merancang protesa dengan dilakukan perhitungan panjang lutut berdasarkan tinggi badan manusia. Untuk melakukan perancangan, ditentukan aspek-aspek desain, konsep-konsep perancangan, dan pengembangan konsep pemodelan produk, evaluasi konsep dan pembuatan prototipe. Evaluasi dan analisis kemudian dilakukan pada prototipe produk Protesa hasil rancangan. Hasil evaluasi dan analisis menunjukkan protesa hasil rancangan lebih baik dari segi biomekanisme lutut, desain ergonomi dan fleksibel, harga terjangkau, dibandingkan dengan protesa yang saat ini ada di pasaran.

Kata kunci: Antropometri, Biomekanisme, Perancangan produk, Protesa

1. PENDAHULUAN

Manusia memiliki sepasang tangan dan kaki sebagai anggota gerak bawah atau disebut tungkai bawah (*Extremitas Inferior*) yang berfungsi sebagai penopang tubuh bagian atas yang digunakan untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Hilangnya sebagian anggota gerak pada tubuh manusia menyebabkan ketidakmampuan (*disability*) seseorang untuk melakukan aktivitas yang bervariatif. Beberapa faktor terjadinya kehilangan anggota gerak disebabkan seperti; Penyakit diabetes, cacat bawaan lahir, penanganan operasi (Amputasi). Penyakit diabetes diderita pada semua usia baik tua ataupun muda, *diabetes mellitus* (DM) merupakan gejala penyakit ditandai dengan peningkatan kadar glukosa darah akibat ketidakmampuan tubuh untuk memproduksi *insulin*, atau *reseptor resistensi*, atau keduanya. Indonesia adalah peringkat empat negara di dunia setelah India, Cina dan Amerika dalam jumlah penderita *diabetes mellitus*.

Untuk membantu mengatasi keterbatasan-keterbatasan aktivitas yang terjadi pada seseorang yang kehilangan kaki akibat amputasi, digunakanlah prosthesis. Dengan prosthesis diharapkan anggota gerak penderita dapat dilengkapi sehingga ia dapat menjalankan aktivitasnya sehari-hari (Jumeno dan Toha, 2007).

Pengguna protesa (*Above Knee Prosthetic*) umumnya menghadapi berbagai masalah yang timbul berkaitan dengan protesa yang digunkannya. Masalah tersebut ada yang hanya bersifat menimbulkan ketidaknyamanan saja, seperti panjang kaki yang tidak sama, akan tetapi terdapat juga beberapa masalah yang dapat membahayakan pengguna protesa, dalam jangka waktu yang

lama ataupun dalam jangka waktu dekat, seperti pembengkakan tulang, *osteoporosis*, peningkatan konsumsi energi, ketidaksesuaian ukuran protesa, harga yang mahal, atau waktu pembuatan protesa yang lama.

1.1 Perkembangan Amputasi

Menurut data Riset Kesehatan Dasar (Riskedas, *Basic Riset Kesehatan*) 2007, terdapat 5,7% dari total penduduk di daerah perkotaan di Indonesia, menderita DM. Pada tahun 2030, WHO (*World Health Organization*) memperkirakan bahwa akan ada 194 juta orang yang menderita diabetes mellitus di dunia. (*Ministry of Health Indonesia*, 2007).

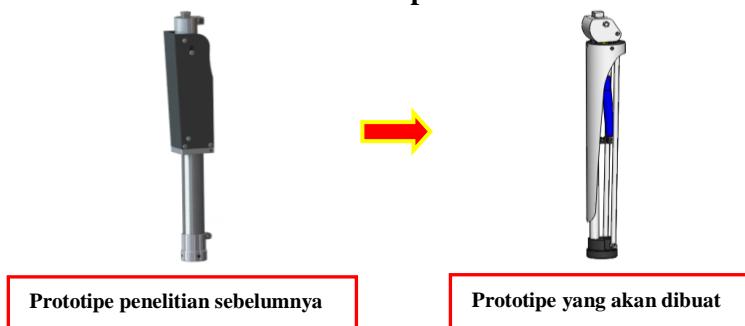
Amputasi adalah tindakan/prosedur membuang sebagian dari satu atau beberapa tulang. Insiden amputasi *transfemoral* di Indonesia mencapai 25-30% dari keseluruhan kejadian tungkai bawah amputation. Ini adalah level terbaik untuk arteri perifer penyakit yang disebabkan oleh diabetes mellitus, karena masih ada pembuluh darah besar untuk vaskularisasi. Sisa dari gastrocnemius dan soleus otot akan cocok untuk menjadi digunakan sebagai penutup kulit untuk melayani sebagai bantal baik untuk *prosthetic* (Stahel PF, Oberholzer A, Morgan SJ, et al. 2006).

1.2 Perangkat Protesa (*Above Knee Prosthetic*)

Protesa adalah sebagai perangkat alat bantu untuk memberikan kemudahan pada pasien *disability* akibat amputasi. Produksi pembuatan protesa diindonesia masih dilihat sangat sederhana seperti pada gambar 1 yang mana masih kalah bersaing dengan produk import baik dilihat dari segi desain, spesifikasi teknis dan harga yang mahal. Kemudian protesa yang suadah ada berkembang ke penelitian perancangan protesa selanjutnya seperti gambar 2.



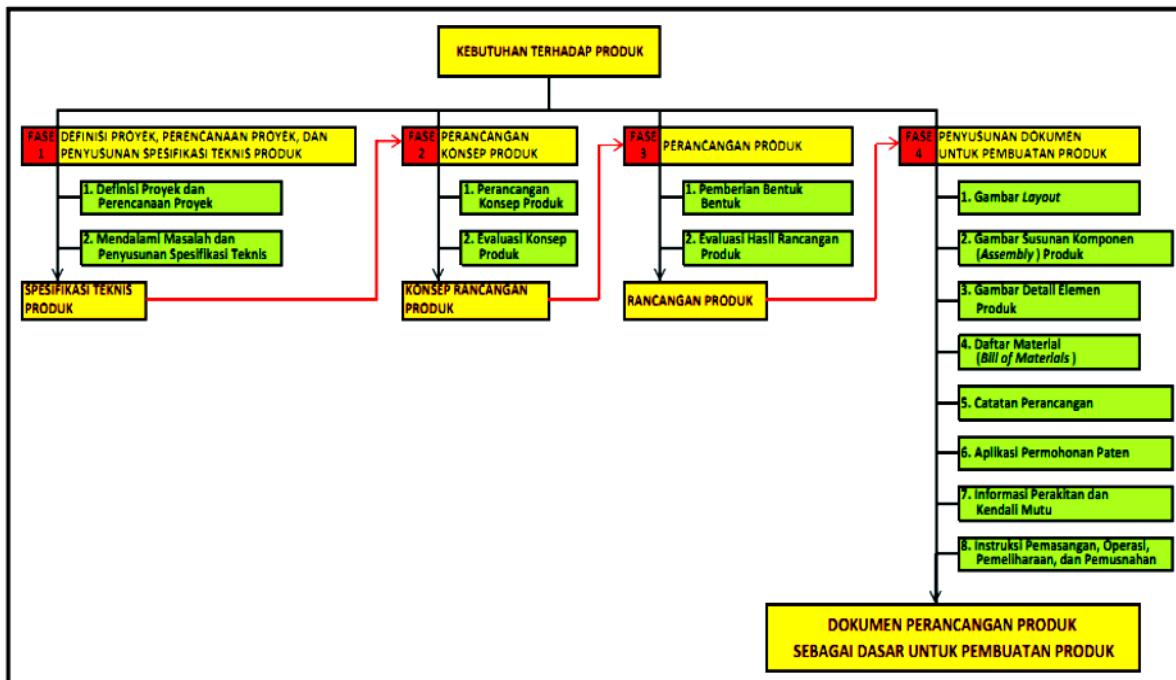
Gambar 1. Protesa produk lokal



Gambar 2. Pengembangan Konsep Perancangan Biomekanisme Sendi Protesa

2. METODOLOGI

Perancangan Protesa adalah sebuah proses yang berawal dari ditemukannya kebutuhan terhadap Protesa (*Above Knee Prosthetic*) sampai diselesaikannya gambar-gambar dan dokumen hasil rancangan yang dipakai sebagai dasar untuk pembuatan prototipe. Ada beberapa fase perancangan protesa yang harus dilalui dalam proses perancangan, yaitu: (1) fase definisi proyek, perencanaan proyek dan penyusunan spesifikasi teknis produk, (2) fase perancangan konsep produk, (3) fase perancangan pemberian bentuk (*embodiment*) produk, dan (4) fase penyusunan dokumen untuk pembuatan produk. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada diagram alir proses perancangan produk seperti pada Gambar 3 (Harsokoewomo, 2004).



Gambar 3. Diagram alir proses perancangan produk (Harsokoesoemo, 2004).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Makalah ini bertujuan untuk merancang protesa (*Above Knee Prosthetic*) yang dapat membantu seseorang *disability* atau pasien amputasi atas lutut (*transfemoral*) yang membutuhkan protesa untuk bisa melakukan aktifitas yang bervariatif. Hasil perancangan protesa berupa dokumen perancangan protesa sebagai dasar pembuatan prototipe. Untuk mencapai tujuan tersebut akan diuraikan pada penjelasan hasil dan pembahasan sebagai berikut.

3.1 Hasil

Hasil yang didapat dari fase perancangan protesa dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut.

3.1.1 Definisi, Perencanaan Proyek dan Penyusunan Spesifikasi Teknis Produk

Ide perancangan protesa ini adalah perbaikan dari prototipe protesa yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya, dan kemudian dipilih berdasarkan kebutuhan terhadap protesa atau alat bantu untuk seseorang *disability*. Berdasarkan hasil survei dari beberapa distributor yaitu Kuspito dan RSO Prof. dr. Soeharso Surakarta, bahwa protesa sangat dibutuhkan untuk penyandang cacat akibat amputasi baik *transtibial* atau *transfemoral*, perancangan protesa ini diperlukan untuk bisa membuat prototipe yang lebih ergonomis dan flexibel yaitu dari segi harga yang terjangkau serta biomekanisme yang lebih baik sesuai anatomii manusia pada saat beraktivitas.

Dibawah ini akan dijelaskan definisi proyek, perencanaan proyek dan penyusunan spesifikasi produk.

3.1.1.1 Definisi dan Perencanaan Proyek

a. Definisi Proyek

Protesa berbentuk menyerupai organ tubuh manusia yaitu berupa alat gerak bagian atas ataupun bawah seperti tangan atau kaki palsu. Protesa (*Above Knee Prosthetic*) adalah alat bantu atau alat pengganti dari hilangnya alat gerak atas atau bawah pada organ tubuh manusia. Rancangan protesa dikembangkan terdiri dari sendi lutut (*knee joint*), tungkai bawah (*trans-tibial*) dan *ankle*. Penggunaan protesa ini secara terstruktur diharapkan dapat membuat rasa nyaman pada pemakaian protesa dan bisa digunakan untuk aktivitas yang bervariatif seperti berjalan normal, duduk dan jongkok.

b. Perencanaan Proyek

Yang dimaksudkan proyek disini adalah seluruh kegiatan perancangan. Penyusunan perencanaan proyek dilakukan ada lima langkah, yaitu;

Langkah 1 : mengidentifikasi pekerjaan – pekerjaan.

Langkah 2 : menyusun sasaran setiap pekerjaan (*objective*).

Langkah 3 : membuat perkiraan tenaga kerja dan waktu yang diperlukan

Langkah 4 : menyusun urutan pekerjaan

Langkah 5 : membuat perkiraan biaya

3.1.1.2 Mendalami Masalah, Kebutuhan Pelanggan dan Menyusun Spesifikasi Teknis

a. Mendalami masalah

Protesa (*Above Knee Prosthetic*) terdiri dari sendi lutut (*knee joint*), *trans-tibial* dan *ankle* jika disatukan menjadi sebuah kaki palsu yang berfungsi sebagai alat bantu pasien amputasi *transfemoral* atau seseorang *disability* untuk melakukan sebuah aktivitas. Dari beberapa produk dipasaran baik produk lokal maupun import cenderung mempunyai spesifikasi teknis produk yang berbeda dan harganya pun relatif mahal. Masalah yang kami kaji dalam penelitian ini adalah melakukan perbaikan prototipe protesa yang dilakukan pada penelitian sebelumnya baik dari segi desain dan biomekanisme sendi lutut protesa dengan konsep perancangan menyesuaikan anatomi manusia yang mengacu dari data *antropometri* hasil pengukuran panjang lutut manusia.

b. Kebutuhan Pelanggan

Pada tahap ini peneliti mengumpulkan informasi dari pelanggan mengenai syarat – syarat dari produk yang mereka butuhkan dengan cara melakukan implementasi membandingkan prototipe awal yang dibuat pada penelitian sebelumnya dengan produk protase yang ada dipasaran, sehingga mendapatkan hasil pertimbangan dari kekurangan dan kelebihan produk untuk pengembangan produk protesa selanjutnya. Hasil informasi kebutuhan perbaikan protase dari pelanggan meliputi ukuran, bentuk dan bobot produk. Data Perbandingan Produk terhadap pengguna dapat dilihat pada (Tabel.1)

Tabel 1. Data perbandingan produk

Kegiatan	Wt	Skor Produk	
		Prototipe awal	Produk Import
Sudut flexion 0-30 degree	5	6	8
Sudut Flexion 30-90 degree	5	1	10
Sudut Flexion 90-135 degree	5	1	9
Bobot	5	3	8
Dimensi	5	9	4
Bentuk	5	8	3
JUMLAH	30	28	42

Keterangan :

Wt = bobot nilai rata-rata kriteria

Skor Produk > 5 = Produk masuk kriteria

Skor Produk < 5 = Produk perlu perbaikan

Hasil skor dari perbandingan prototipe awal dengan produk import dalam perbaikan kriteria skor < 5, maka perbaikan yang dilakukan meliputi :

1. Sudut Flexion 30-135 degree
2. Dimensi Produk
3. Bobot produk

c. Penyusunan Spesifikasi Teknis Produk

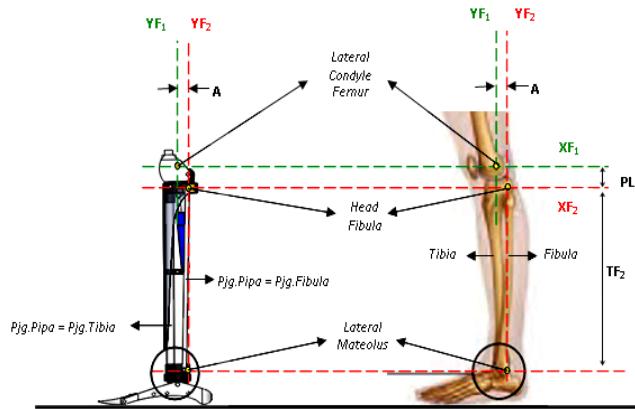
Ada beberapa cara menyusun spesifikasi teknis produk, yaitu dengan menggunakan metode QFD (*Quality Function Deployment*) yang berguna dalam menghasilkan informasi-informasi penting secara mendalam masalah produk.

3.1.2 Perancangan Konsep Produk

Berikut ini ditunjukkan gambar konsep rancangan produk, gambar detail elemen produk dan gambar *layout*.

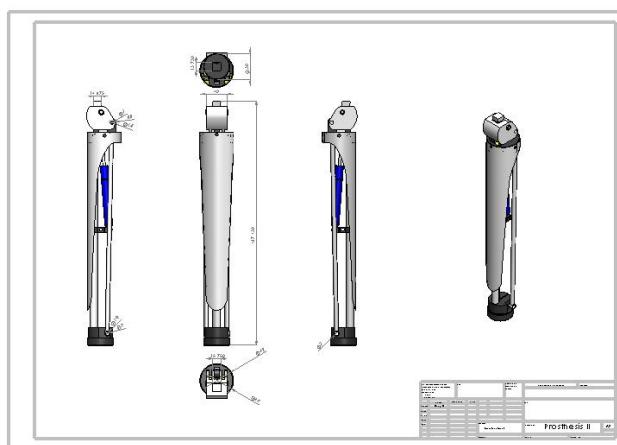
3.1.2.1 Gambar Konsep Rancangan Produk.

Model rancangan protesa (*Above Knee Prosthetic*) berawal dari konsep prototipe protesa penelitian sebelumnya dengan desain biomekanisme jenis lutut *monocentric*, dan panjang protesa masih menggunakan pengaturan manual. Rancangan protesa akan dikembangkan dari jenis lutut *monocentrik* menjadi *polycentrik* dan panjang protesa mengacu pada data antropometri hasil pengukuran panjang lutut, panjang tulang femur, dan fibula (*Extremitas Inferior*) sampai menentukan deviasi standar panjang lutut manusia. Rancangan protesa (*Above Knee Prosthetic*) dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Konsep perancangan protesa

3.1.2.2 Gambar detail elemen produk.

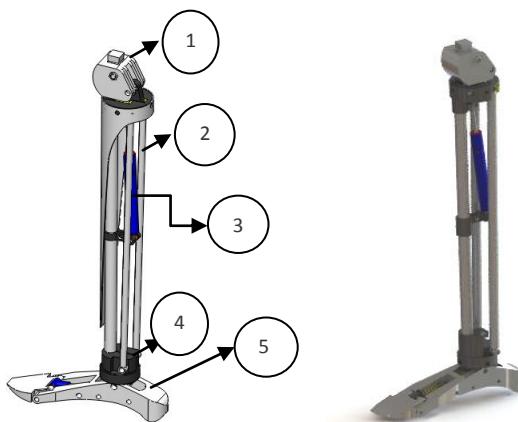


Gambar 5. Gambar detail elemen protesa

3.1.2.3 Gambar *layout*.

Keterangan :

1. *Knee joint*
2. *Trans-tibial* (Pipa ⌀ 12 mm (*stainless steel*)).
3. Pegas Hidraulik
4. Adapter bawah (*socket ankle*)
5. *Foot*



Gambar 6. Gambar layout protesa

3.1.2.4 Spesifikasi Teknis Produk

Tabel. 2. Spesifikasi teknis protesa

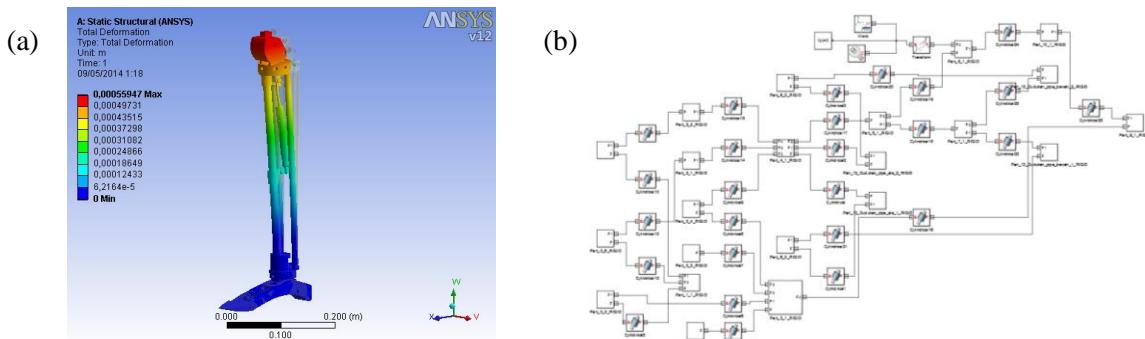
Anjuran pemakaian (usia)	: 15 – 50 tahun
Pengaturan sudut flexion	: 0° – 135°
Dimensi (diameter x tinggi)	: 60 x 430 mm
Berat Protesa	: 3,5 – 4 kg
Beban Maksimal (pengguna)	: 100 kg

3.2 Pembahasan

Seseorang *disability* ataupun pasien amputasi atas lutut (*transfemoral*) sangat berpengaruh besar dalam melakukan aktivitas sehari-hari, seperti melakukan aktivitas berjalan normal, duduk, dan jongkok. Pada prototipe protesa yang sudah ada (penelitian sebelumnya) dalam spesifikasi teknis dan biomekanismenya masih perlu adanya perbaikan, diantaranya jenis sendi lutut protesa yang masih menggunakan *monocentrik* dan fungsi mekanisme sendi protesa yang masih kurang menunjang untuk melakukan aktivitas, dan kurangnya kenyamanan saat pemakaian diakibatkan kurangnya faktor ergonomis produk.

Hasil rancangan protesa pada penelitian ini merupakan pengembangan dari prototipe protesa yang pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya. data yang didapat untuk pengembangan konsep ini dimulai dari pengukuran panjang lutut, tulang *fibula* dan *femur* untuk mendapatkan data *anthropometri*, kemudian dilakukan survei dan wawancara kepada pengguna, yang mana berguna untuk mendapatkan masukan – masukan terhadap perbaikan spesifikasi teknis, dan mendapatkan produk yang sesuai kriteria pengguna protesa dengan melalui evaluasi dari beberapa alternatif konsep sampai didapatkan matrik keputusan pengambilan konsep sesuai kriteria yang diharapkan. Implementasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan uji coba prototipe protesa kepada pengguna untuk mendapatkan data koesioner pengguna terhadap kenyamanan, prototipe protesa yang digunakan.

Analisa uji kekuatan beban pada protesa dilakukan menggunakan *software Ansys*. sedangkan *software matlab* digunakan untuk mengetahui simulasi mekanik pada prototipe.

Gambar 7. (a) Analisa beban statis (*software ansys*), (b) simulasi mekanik (*software matlab*)

4. KESIMPULAN

Protesa dikenal juga sebagai alat bantu untuk seseorang penyandang cacat akibat amputasi. Perancangan produk adalah sebuah proses yang berasal dari ditemukannya kebutuhan terhadap suatu produk sampai diselesaikannya gambar-gambar dan dukumen hasil rancangan yang dipakai sebagai dasar pembuatan produk.

Ada beberapa fase perancangan yang harus dilalui dalam proses perancangan produk, yaitu; (1) Fase definisi, perencanaan proyek dan menyusun spesifikasi teknis produk, (2) fase perancangan konsep produk, (3) fase perancangan pemberian bentuk (*embodiment*) produk, (4) fase penyusunan dokumen untuk pembuatan produk.

Dalam fase pembuatan dokumen untuk pembuatan produk diperoleh beberapa dokumen, antara lain; (1) gambar konsep rancangan, (2) gambar *layout*, (3) gambar susunan komponen (*assembly*), (4) gambar detail elemen produk, (5) daftar material (*Bill of Materials*), sehingga diperoleh dokumen lengkap dasar pembuatan prototipe.

Dengan hasil rancangan protesa (*Above knee prosthetic*) dalam penelitian ini mempunyai kelebihan pada kenyamanan dengan jenis sendi protesa menggunakan *polycentrik*, dimensi ukuran protesa mengacu data *antropometri*, sehingga prototipe ini dikatakan produk ergonomi dan flexibel dilihat dari hasil; analisis kekuatan protesa, seperti analisa beban statis dengan *software Ansys*, dan analisa simulasi mekanik menggunakan *software matlab* pada prototipe protesa. Sehingga protesa diproduksi sesuai dengan kriteria kebutuhan pelanggan untuk mendukung pasien atau pengguna protesa beraktivitas sehari-hari.

DAFTAR PUSTAKA

- McMinn R.M.H., Huthcings R.T., Pengington J., et all. *A Colour Atlas of Human Anatomy. Third Edition*. Wolfe. 1993: 99-154.
- Santoso, Gempur, September 2004, Ergonomi Manusia, Peralatan dan Lingkungan, Prestasi Pustaka, Jakarta.
- Glinka J., Artaria M.D., Koesbardiati T. Metode Pengukuran Manusia. Airlangga University Press. Surabaya. 2008: 1-66.
- Maat G.J.R., Panhyusen R.G.A.M., Mastwijk R.W. Manual for the physical anthropological report. Third Edition. Barge's Anthropologica Laiden University Medical Centre. Leiden. 2002: 1-29.
- Albano, L. D., (1999), "Engineering design", Mechanical Engineering Handbook, ed Nam, P. Suh, Massachusetts Institute of Technology, Boca Raton: CRC Press LLC.
- Harsokoesoemo, D.H., (2004), Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk), Edisi ke 2, Penerbit ITB, Bandung.
- Becker, A., (2000), <http://www.becker-associates.com/thehouse.HTM> and <http://www.becker-associates.com/qfdwhatis.htm>. Diakses: 5/8/2012, jam 10:20 AM.
- Andrew, S., John, W., (1999), "Introduction to Engineering Design", Elsevier Science & Technology Books, ISBN: 0750642823, Melbourne.
- Joseph hamill dan Kathleen M khutzen (2009), "Biomechanical Basis of Human Movement", Wolters Kluwer Health, University of Massachusetts at Amherst.
- Perry, Jacqueline, (1992), "Gait Analysis Normal and Pathological Function", Neuro-Trauma Institute and Rehabilitation Center Building.
- Michael W. Whittle, (2007), "Gait analysis an introduction", Third Edition, University of Waterloo.
- Radcliffe dan Foort, 1991, "Biomechanical Analysis of a Sprint Start", Second Edition, University of Waterloo.
- Amir A., Laporan Penelitian Penentuan Tinggi Badan dari Tulang Panjang dan Ukuran dari beberapa Tubuh, FK. USU. Medan, 1989; 1-13.
- Toha, Isa Setiayah. 2009. www.rd.lspitb.org, Diakses pada 2 Desember 2009 <http://www.rd.lspitb.org/protesa.pdf>.
- Ministry of Health Indonesia. Basic health research (RISKESDAS) 2007. Jakarta; 2007. p.156-60)
- Stahel PF, Oberholzer A, Morgan SJ, et al. Concepts of transfemoral amputation: Burgess technique versus modified Bruckner procedure. ANZ J Surg. 2006;76:942-6.