

PERBANDINGAN VO₂Max PADA AMPUTEE MENGGUNAKAN PROSTHETIC TRANSFEMORAL ENERGI STORE MEKANISME 2 BAR DENGAN BUKAN AMPUTEE

Lobes Herdiman¹, Retno Wulan Damayanti¹ dan Rezki Kurnia Santi²

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Industri FT-UNS, Surakarta

² Alumni mahasiswa Teknik Industri FT-UNS, Surakarta

Laboratorium Perencanaan dan Perancangan Produk Jurusan Teknik Industri

Fakultas Teknik – UNS Jl. Ir. Sutami No. 36A Kentingan Surakarta 57126

E-mail : lobesh@gmail.com

ABSTRAK

Kaki merupakan bagian tungkai anggota gerak bawah yang mendasar untuk segala kegiatan fisik sehari-hari dan berjalan. Penyandang disabilitas tungkai kaki dengan ketiadaan kaki secara medis terpaksa diamputasi baik salah satu atau keduanya yang menjadikan kegiatan menjadi terbatas. Amputasi tungkai kaki atas lutut disebut juga amputee transfemoral.

Penggunaan alat bantu berupa prostetik kaki tidak selalu memberikan kenyamanan bagi pengguna. Sistem tubuh selalu menjaga fisiologi sirkulasi O₂ tetap stabil dalam homeostatis. Besarnya konsumsi O₂ untuk waktu yang singkat pada tubuh seseorang akan menimbulkan kelelahan, akibat dari tubuh yang belum siap untuk menyesuaikan kondisi fisiologinya.

Paper ini bertujuan untuk mengetahui besarnya konsumsi O₂ dari prostetik transfemoral energi store mekanisme 2 bar pada amputee dengan bukan amputee. Jumlah subjek pada eksperimen melibatkan amputee 1 subjek dan bukan amputee 5 subjek. Kondisi eksperimen yang sama, sebelum pengujian VO₂max diukur pada subjek berdasarkan Indeks masa tubuh (BMI). Pengujian eksperimen pada 3 media berjalan di bidang datar, naik-turun di bidang tangga, dan naik-turun di bidang miring dengan 4x perulangan percobaan.

Hasil eksperimen VO₂max diperoleh bagi amputee untuk di bidang datar ($0,68 \pm 0,07$) dan bukan amputee ($2,51 \pm 0,11$), naik-turun di bidang tangga bagi amputee ($0,37 \pm 0,05$) dan bukan amputee ($2,09 \pm 0,42$), dan naik-turun bidang miring bagi amputee ($0,43 \pm 0,05$) dan bukan amputee ($2,04 \pm 0,50$).

Penggunaan energi store mekanisme 2 bar dapat memberikan kemampuan berjalan bagi amputee transfemoral. Konsumsi O₂ amputee transfemoral menjadi stabil dengan pemakaian knee joint mekanisme 2 bar yang dilengkapi energi store untuk membantu berjalan secara baik.

Kata kunci: *Amputee, prostetik transfemoral, energi store mekanisme 2 bar, VO₂max*

Pendahuluan

Manusia untuk kegiatan segala aktivitas pekerjaan fisik sehari-hari tidak terlepas dalam melakukan berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya. Perpindahan tempat ini memerlukan tungkai kaki untuk berjalan agar dapat melakukan aktivitas dengan tubuh menerima beban dari luar berupa beban fisik. Tubuh untuk bergerak pada saat melakukan aktivitas berjalan akan membutuhkan konsumsi O₂. Semakin buger pada tubuh seseorang untuk kebutuhan konsumsi O₂ semakin efisien, artinya tubuh mampu untuk melaksanakan kegiatan tanpa banyak memerlukan konsumsi O₂. Media yang menjadi tantangan kegiatan manusia dalam berjalan tidak hanya pada kondisi di bidang datar akan tetapi dihadapkan naik-turun di bidang tangga dan naik-turun di bidang miring.

Kegiatan fisik tubuh dalam berjalan dapat dikategorikan sebagai fisiologi kerja fisik. Fisiologi beban kerja fisik bagian dari pengukuran pada fungsi-fungsi organ manusia dalam melakukan aktivitas. Aktivitas dalam kerja fisik memerlukan kerja otot yang mengubah energi yang ada dalam tubuh melalui proses pembakaran menjadi energi untuk gerak. Aktivitas kerja fisik oleh otot ini dapat dilakukan dengan mengukur konsumsi energi melalui denyut jantung (*heart rate*), tekanan darah, *output* jantung, komposisi kimia dalam darah dan urin, temperatur tubuh, *perspiration rate*, ventilasi paru-paru, dan konsumsi oksigen (Sulistiyadi dan Susanti, 2003).

Ukuran konsumsi energi pada manusia dengan KiloKalori (KKal). Proses di dalam tubuh yang mengubah oksigen (O₂) menjadi energi gerak dapat digunakan untuk mengukur besarnya konsumsi energi yang dapat direpresentasikan dengan besarnya volume VO₂max.

Newell (1975) kebutuhan energi seseorang menurut FAO/WHO merupakan konsumsi energi berasal dari makanan untuk menutupi pengeluaran energi seseorang mempunyai ukuran dan komposisi tubuh dengan tingkat aktivitas yang sesuai dengan kesehatan jangka panjang dan yang memungkinkan pemeliharaan aktivitas fisik yang diperlukan secara sosial dan ekonomi. Pengukuran konsumsi energi ini dapat membantu untuk mengetahui seberapa besar beban kerja fisik dan konsumsi energi serta oksigen dalam melakukan aktivitas, khususnya berjalan *amputee* maupun bukan *amputee*. Tubuh selama melakukan aktivitas berjalan untuk kondisi yang berbeda akan berbanding lurus dengan kebutuhan konsumsi energinya (Astrand dan Rodahl, 1986). Pendapat Astrand dan Rodahl (1977) pada Kroemer *et al.* tahun 2010 menjelaskan bahwa beban tubuh pada saat berjalan normal akan mengkonsumsi energi sebesar 7,6 KJ/min dan jalan naik turun permukaan miring tubuh konsumsi energi sebesar 20,6 KJ/min dan 8,1 KJ/min. Murray (2003) menyampaikan bahwa cara pengukuran pengeluaran energi menurut diambil melalui pengukuran konsumsi oksigen dengan 1 liter O₂ yang dikonsumsi setara pengeluaran energi sebesar lebih kurang 4,83 kkal (20 KJ).

Pengeluaran energi menurut Verne (1968) dengan ketiadaan anggota tungkai bawah menjadi meningkat sebesar 10%-15%. Penelitiannya menunjukkan adanya perbedaan hasil dari fisiologi berjalan pada *amputee* yang menggunakan prosthetik *transfemoral* dan bukan *amputee*. Perbedaan ini berkurang bilamana *amputee* menggunakan *prosthetic* kaki yang dirancang sesuai keperluan di setiap permukaan jalan yang berbeda-beda. Pemakaian energi ini dipengaruhi nilai BMR (*Basal Metabolic Rate*) sebab nilai ini menggambarkan 60%-75% dari total energi (Rowett *Research Institute*, 1992). Laymon *et al.* (2008) mengungkapkan energi yang digunakan untuk laki-laki normal pada umur 20-40 tahun dalam kondisi istirahat sekitar 654,1 kal/jam dan setelah beraktivitas selama 60 menit berkisar 389,2 kalori - 1027,5 kalori. Konsumsi oksigen sekitar 0,36 liter/menit dan sesaat setelah melakukan aktivitas selama 60 menit meningkat menjadi rata-rata 2,12 liter/menit. Herdiman *dkk.* (2009) mengenai kajian fisiologi pada karakteristik prosthetik *transfemoral* endoskeletal menunjukkan prosthetik endoskeletal yang lebih baik dari prosthetik kaki eksoskeletal.

Paper ini membandingkan seberapa besar konsumsi O₂ dalam pola konsumsi dari subjek *amputee* yang menggunakan prosthetik *transfemoral* energi store mekanisme 2 bar dan bukan *amputee*. Sistem 2 bar merupakan sistem 2 *link* yang dihubungkan dengan 1 *joint*. Mekanik *gas spring* dipasang pada adapter atas yang merupakan *link* aktif dan *chasis* merupakan *link* pasif. *Gas spring* yang berfungsi memberikan respon kaki selama gerakan meluruskan (*stance phase*) dengan energi dilepaskan (*energy release*) dan kaki melakukan gerakan penekukan (*swing phase*) dengan energi disimpan (*energy storing*) pada sudut tertentu di bagian *knee joint*. Mekanik *gas spring* memberikan kemudahan kaki prosthetik dalam mengadaptasi berjalan melalui cara menyimpan dan melepas energi.

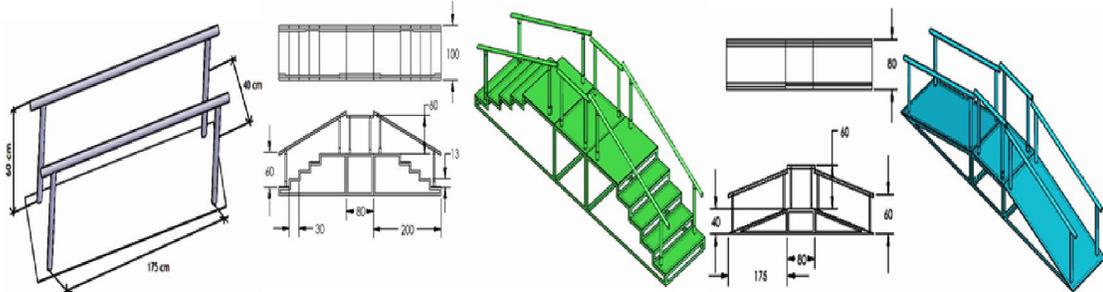
Pengujian besar konsumsi O₂ melibatkan *amputee* sebanyak 1 subjek dan bukan *amputee* sebanyak 5 subjek dalam berjalan pada kecepatan berjalan (1.2±0.3) m/s dengan jarak sejauh (140±20) cm. Pengujian eksperimen di bidang datar, naik-turun di bidang tangga, dan naik turun di bidang miring terhadap ke dua subjek. Besar tingkat konsumsi O₂ ditentukan dari metode Tayyari (1995) yang didasarkan berat badan dan *heart rate* selama berjalan dengan mengukur besarnya VO₂ maksimal. Hasil dari penelitian dari besar konsumsi O₂ *amputee* dan bukan *amputee* untuk eksperimen ini diharapkan memberikan rekomendasi dalam rancangan prosthetik *transfemoral* energi store mekanisme 2 bar yang mempunyai kemampuan untuk mengakomodasi berjalan di lingkungan sekitarnya.

Metodologi

Pengujian besar konsumsi O₂ pada kedua subjek eksperimen dilakukan pengukuran *Body Mass Index* (BMI) dan rata-rata jumlah siklus berjalan. Subjek *amputee* yang dipilih *transfemoral* dengan tinggi badan 164 cm, berat badan 67,5 kg (tanpa *prosthetic* kaki) dan prosthetik kaki tipe

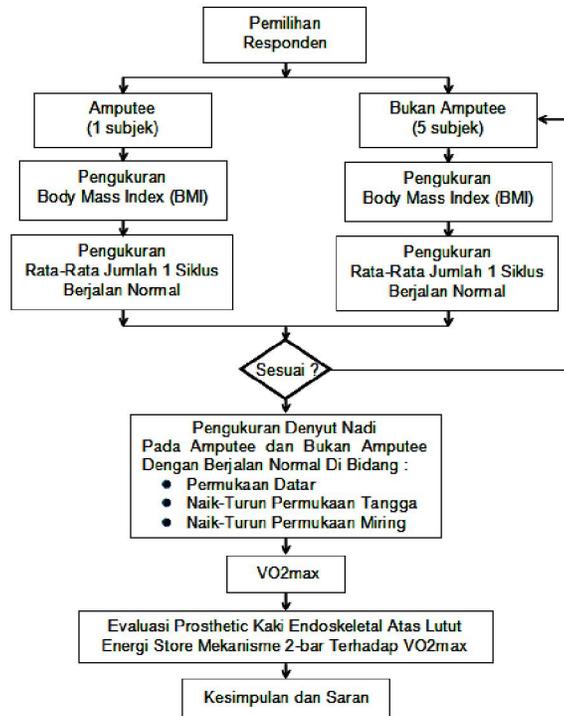
eksoskeletal. Kejadian amputasi diakibatkan oleh kecelakaan lalu lintas tahun 1985 dan segmen tubuh yang diamputasi bagian kaki kanan atas lutut dengan ukuran *stump* 37 cm.

Media pengujian eksperimen untuk di bidang datar yang mempunyai dimensi panjang 175 cm, lebar 40 cm dan memiliki permukaan yang rata dan tidak licin. Bidang tangga dengan dimensi panjang 480 cm, tinggi 73 cm, tinggi anak tangga 13 cm, dan jumlah anak tangga sebanyak 5 trap untuk naik dan turun. Bidang miring dengan dimensi panjang 175 cm, tinggi 40 cm, sudut () 13° yang permukaan rata dan tidak licin.



Gambar 1. Media pengujian eksperimen

Subjek bukan *amputee* dengan 5 subjek, umur 22 tahun sampai 24 tahun, tinggi badan (173,60 ± 2,07) cm, dan berat badan (76,94 ± 1,47) kg. Pengukuran subjek bukan *amputee* merupakan acuan untuk mengetahui kedekatan dari hasil pengukuran pada *amputee* memakai prosthetik *transfemoral* energi store mekanisme 2 bar.

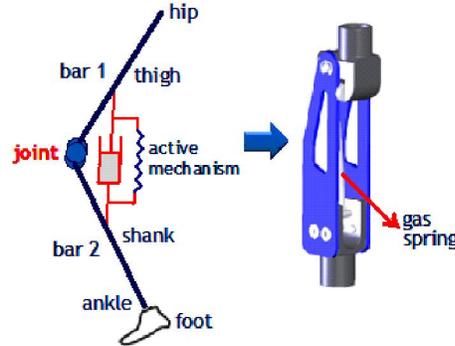


Gambar 2. Metodologi

Alat pengukur denyut nadi responden menggunakan *heart rate monitor* yang dilengkapi ukuran metode 10 detik persatuan waktu, menghitung jumlah denyut nadi dalam 1 menit, dan memonitor denyut nadi responden selama pengujian eksperimen. Data pengukuran berupa denyut nadi (bpm) merupakan data keluaran yang dikirim transmisi *wireless* dengan fasilitas frekuensi radio (RF).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Prostetik *transfemoral* energi store mekanisme 2 bar menggunakan *ankle joint double axis* yang merupakan hasil pengembangan *ankle joint* di tahun 2009. *Ankle joint* sistem *double axis* memiliki kelebihan dalam bergerak terutama berjalan di permukaan yang memiliki sudut kemiringan tertentu. Memberikan keleluasaan bagi *amputee* untuk berjalan dengan pengarah telapak kaki pada prostetik kaki sesuai pada kondisi lingkungan sekitarnya.



Gambar 3. Prostetik transfemoral energi store mekanisme 2 bar

Pada responden *amputee* yang memiliki tinggi badan 1,64 m dan berat badan 67,5 kg maka nilai BMI sebesar 25,10 dengan kategori ‘Obesitas I’. Responden bukan *amputee* diperoleh sebesar (25,85 ± 0,85) kondisi ini dipilih yang memiliki nilai BMI yang sama dalam kategori ‘Obesitas I’.

Tabel 1. Nilai BMI pada subjek bukan *amputee*

Subjek	Berat Badan (kg)	Tinggi Badan (cm)	Nilai BMI	Kategori
1	75,7	171	25,10	Obesitas I
2	79,0	171	27,02	Obesitas I
3	70,0	163	26,35	Obesitas I
4	64,0	160	25,00	Obesitas I
5	78,0	174	25,76	Obesitas I

Pengukuran rata-rata jumlah siklus berjalan yang diperoleh dari video dengan cara *capture* dan data denyut nadi dalam *beat* per menit (bpm). Jumlah fase yang diperoleh dari hasil *capture* tersebut sebanyak enam fase berjalan dan data waktu setiap fasenya selama berjalan.

Pengujian ini untuk mengevaluasi sejauhmana *amputee* yang menggunakan prostetik *transfemoral* mempunyai pola jalan dengan bukan *amputee*. Eksperimen pengujian berjalan diberi notasi P1, P2, P3, dan P4. Besarnya konsumsi energi dengan melakukan pengukuran pada VO2max (liter/menit) berdasarkan denyut nadi sebelum dan istirahat dari responden *amputee* dan bukan *amputee*. Subjek eksperimen menggunakan laki-laki dengan pengurangan denyut nadi yang diperoleh sebesar 220 – usia.

Lamanya waktu berjalan pada subjek *amputee* di ukur berdasarkan rata-rata satu siklus untuk berjalan di bidang datar (96,00 ± 1,83) detik, naik-turun di bidang tangga (107,75±4,79), dan naik-turun di bidang miring (49,75 ± 8,66) detik. Subjek bukan *amputee* lamanya waktu berjalan untuk rata-rata satu siklus diperoleh berjalan dari 5 responden di bidang datar (14,45 ± 0,91) detik, bidang tangga (17,30 ± 1,31), dan bidang miring (16,65 ± 1,19) detik.

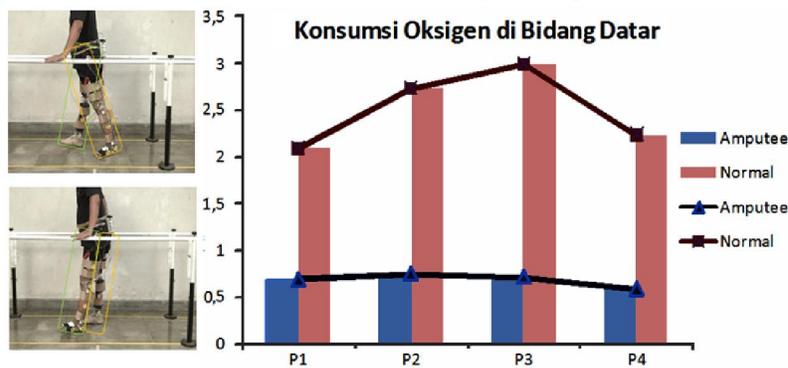
Denyut nadi *amputee* berjalan di bidang datar untuk denyut nadi istirahat (80,75 ± 2,99) bpm dan denyut nadi berjalan (87,25 ± 2,63) bpm, bidang tangga untuk denyut nadi istirahat diperoleh (83,50 ± 4,73) bpm dan denyut nadi berjalan (98,50 ± 4,80) bpm, dan bidang miring untuk denyut nadi istirahat diperoleh (85,75 ± 3,77) bpm dan denyut nadi berjalan (102,00 ± 4,97) bpm. Bagi responden bukan *amputee* berjalan untuk 5 responden di bidang datar untuk denyut nadi istirahat (84,30 ± 2,84) bpm dan denyut nadi berjalan (92,10 ± 3,15) bpm, bidang tangga untuk denyut nadi istirahat (79,70 ± 1,28) bpm dan denyut nadi berjalan (95,70 ± 1,23) bpm, bidang miring untuk denyut nadi istirahat diperoleh (83,60 ± 1,13) detik dan denyut nadi berjalan (97,75 ± 0,48) bpm.

Bidang	Gerakan Kaki					
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 6
Permukaan Datar						
Permukaan Tangga						
Permukaan Miring						
Turun						

Gambar 4. Fase berjalan pengguna prosthetik transfemoral

1. Di Bidang Datar

Setiap perulangan eksperimen di bidang datar dilakukan pengambilan data denyut nadi dalam *beat* per menit (bpm) yang meliputi denyut nadi istirahat dan denyut nadi berjalan. VO_{2max} *amputee* diperoleh $(0,68 \pm 0,07)$ liter/menit dan bukan *amputee* diperoleh $(2,51 \pm 0,28)$ liter/menit.

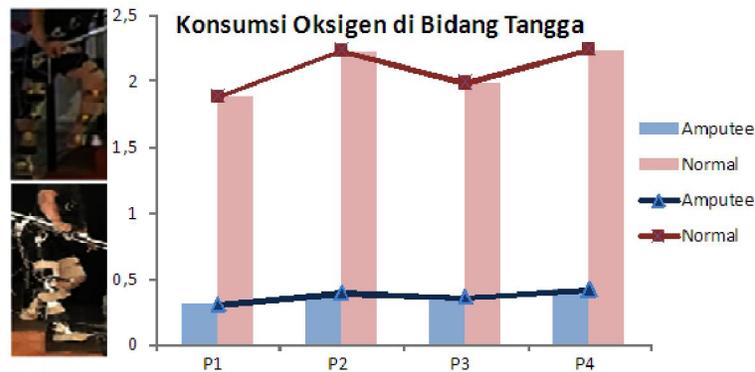


Gambar 5. Pengujian berjalan di bidang datar

Konsumsi oksigen pada *amputee* yang menggunakan prosthetik *transfemoral* energi store mekanisme 2 bar dengan bukan *amputee* menunjukkan pola konsumsi energi yang sama. *Amputee* dan bukan *amputee* untuk percobaan 1 dan 2 menunjukkan adanya kenaikan pada konsumsi oksigen, sedangkan percobaan 3 dan 4 menunjukkan penurunan konsumsi oksigen.

2. Di Bidang Tangga

Setiap perulangan eksperimen di bidang tangga dilakukan pengambilan data denyut nadi dalam *beat per menit* (bpm) yang meliputi denyut nadi istirahat dan denyut nadi berjalan. VO_{2max} *amputee* diperoleh $(0,37 \pm 0,05)$ liter/menit dan bukan *amputee* diperoleh $(2,09 \pm 0,06)$ liter/menit.

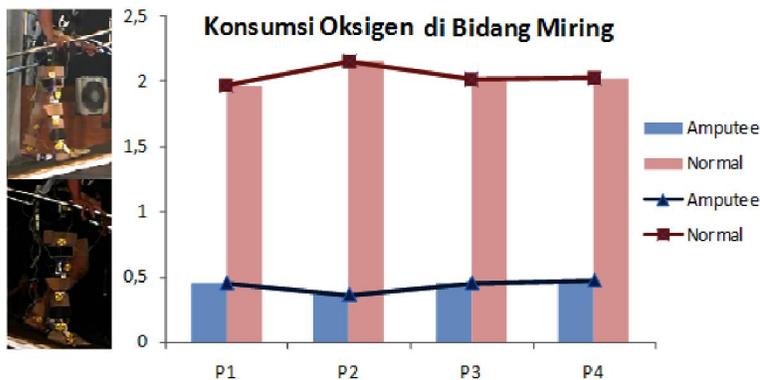


Gambar 6. Pengujian berjalan di bidang tangga

Konsumsi oksigen pada *amputee* memakai prostetik *transfemoral* energi store mekanisme 2 bar dengan bukan *amputee* menunjukkan pola konsumsi energi yang sama. *Amputee* dan bukan *amputee* untuk percobaan 1, 2 dan 4 menunjukkan kenaikan konsumsi oksigen, sedangkan percobaan 3 menunjukkan penurunan konsumsi oksigen.

3. Permukaan Miring

Setiap perulangan eksperimen di bidang miring dilakukan pengambilan data denyut nadi dalam *beat per menit* (bpm) yang meliputi denyut nadi istirahat dan denyut nadi berjalan. VO_{2max} *amputee* diperoleh $(0,43 \pm 0,05)$ liter/menit dan bukan *amputee* diperoleh $(2,04 \pm 0,16)$ liter/menit.



Gambar 7. Pengujian berjalan di bidang tangga

Konsumsi oksigen pada *amputee* yang menggunakan prostetik *transfemoral* energi store mekanisme 2 bar dengan bukan *amputee* menunjukkan pola konsumsi energi yang sama. *Amputee* dan bukan *amputee* untuk percobaan 1 dan 2 menunjukkan kenaikan konsumsi oksigen, sedangkan percobaan 3 dan 4 menunjukkan penurunan konsumsi oksigen.

KESIMPULAN

Kenyamanan penggunaan prostetik *transfemoral* energi store mekanisme 2 bar bagi *amputee* sudah menunjukkan performansi yang baik dalam konsumsi O_2 yang dianalisis dengan VO_{2max} dalam berjalan di bidang datar, naik-turun di bidang tangga, dan naik-turun di bidang miring. Meskipun subjek *amputee* belum cukup terlatih dalam berjalan menggunakan prostetik *transfemoral* tipe ini. Pertimbangan prostetik kaki melalui penggunaan mekanik pegas dengan penambahan *shock adsorber* yang dapat menyesuaikan respon kecepatan berjalan dalam memberikan keseimbangan dan kestabilan berjalan pada *amputee*.

Daftar Pustaka

- Astrand, P.O. dan Rodahl, K. 1986. *Textbook of Work Physiology*. 3rd edition, New York: McGraw Hill Publishing.
- Herdiman, L., Susmartini, S., Aisyati, A., Damayanti, R.W., 2009. Kajian Fisiologi pada Karakteristik Prosthetic Kaki Endoskeletal Jenis Above Knee Prosthetic (AKP). *National Conference on Applied Ergonomics 2009*, pp. 178-183.
- Kroemer, K.H.E., Kroemer, H.J., Kroemer, K.E., Elbert. 2010. *Engineering Physiology : Bases of Human Factors Engineering/Ergonomics*, 4rd edition, New York: Springer.
- Laymon, M., Jerrold, S.P. dan Jennifer B. 2008. Aerobic Energy Expenditure on a 60-Minute Exercise Video with Mini Medicine Balls. *The Journal of Applied Research* [Online]. Vol. 8. pp. 130-4. Tersedia di: <http://www.jarcet.com/articles/Vol8Iss2/Petrofsky3Vol8No2.pdf> [27 November 2009].
- Murray, J. 2003. *Human Physiology Study Partner*. 2nd edition. Minnesota: McGraw Hill.
- Newell, K.W. 1975. *Health By The People*. Division of Strengthening of Health Services, World Health Organization, Geneva, Switzerland. Geneva: World Health Organization.
- Rowett Research Institute. 1992. Energy Expenditure [Online]. 6 pages. Tersedia di: http://www.rowett.ac.uk/edu_web/sec_pup/energy_expenditure.pdf [27 November 2009].
- Sulistiyadi, K. dan Susianti, S.L.. 2003. *Perancangan Sistem Kerja & Ergonomi*. Jakarta: Univ. Sahid.
- Tayyari, F. dan Smith, J.L. 1997. *Occupational Ergonomics: Principles and Applications*. London: Chaman & Hall.
- Verne, I.T. 1968. *Conservation of Energy in Ambulation*. Bulletin of Prosthetics Research [Online]. page 26-35.