

Influence of Backpack Design on Human's Upper Motion

Ferryanto¹, Taufik Akbar¹, Sandro Miharadi¹, Tatacipta Dirgantara²
dan Andi Isra Mahyuddin^{1,*}

¹Kelompok Keahlian Perancangan Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara,

²Kelompok Keahlian Struktur Ringan, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara,

Institut Teknologi Bandung - Bandung

*Korespondensi: aim@ftmd.itb.ac.id

Abstract. A backpack has been used widely in the daily life. The use of a backpack can affect the motion of human body. Hence, a backpack should be designed based on the motion of human body to increase the comfort of using a backpack. Therefore, the purpose of this research is to investigate the use of a backpack on the motion of human's upper body. Three different designs is investigated in this work, i.e. Bioflex II-Berghaus, Prototype-Eiger and Wonderlust-Eiger. Six subjects take part in this experiment by using optical motion capture system. The experiment is conducted four times for each subject, without using a backpack and using three different designs of backpack. The subject should carry 33% of his weight in the backpack. The motion of subject and backpack is recorded by two 90 fps cameras. Then, the motion of pelvic and thoracic is analyzed. As the result, the motion of pelvic and thoracic is limited while the subjects are walking with the backpack on their back. These finding can be obtained from the decreasing range of motion of pelvic and thoracic angle. The use of backpack also causes a phase different in the pelvic rotation and thoracic obliquity. The backpack obliquity and rotation is also investigated for each backpack design. From the measurement, it can be known that the range of motion of Bioflex is highest among all designs and Prototype-Eiger design has the lowest range of motion.

Abstrak. Penggunaan tas punggung telah memasuki berbagai bidang kehidupan manusia. Pemakaian tas punggung dapat mempengaruhi sistem gerak manusia. Untuk meningkatkan kenyamanan tas punggung, tas punggung sebaiknya dirancang sesuai dengan sistem gerak manusia. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh pemakaian tas punggung terhadap gerak bagian atas tubuh manusia. Tiga tas punggung dengan desain yang berbeda digunakan pada penelitian ini, yaitu Bioflex II-Berghaus, Prototype-Eiger, dan Wonderlust-Eiger. Penelitian dilakukan terhadap enam orang subyek yang memenuhi syarat. Pengujian dilakukan sebanyak empat kali untuk setiap subyek yaitu tanpa penggunaan tas dan penggunaan tiga tas yang berbeda. Saat menggunakan tas punggung, beban yang dibawa subyek sebesar 33% berat tubuhnya. Gerakan subyek akan direkam dengan dua kamera yang memiliki kecepatan 90 fps. Kemudian, gerakan panggul (*pelvic*) dan dada (*thoracic*) diamati. Gerakan panggul dan dada saat berjalan menjadi terhambat ketika menggunakan tas punggung yang ditandai dengan penurunan rentang gerak dada dan panggu. Pemakaian tas punggung juga menyebabkan perubahan fasa sudut untuk gerakan *pelvic rotation* dan *thoracic obliquity*. Gerakan *backpack obliquity* dan *backpack rotation* setiap tas dibandingkan untuk mengetahui pola gerakan setiap tas punggung. Dari hasil pengukuran, pergerakan tas Bioflex II lebih tinggi dibanding dua tas lainnya sedangkan pergerakan tas Prototype-Eiger lebih rendah dibanding dua tas lainnya.

Kata kunci: kinematika, biomekanika tas punggung, gerak tubuh bagian atas manusia, *optical motion capture*

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Penggunaan tas punggung telah memasuki berbagai bidang kehidupan manusia. Setiap tas punggung didesain dengan kriteria tertentu sesuai dengan keperluan. Untuk meningkatkan kenyamanan tas punggung, tas punggung sebaiknya dirancang sesuai dengan anatomi dan sistem gerak manusia. Penggunaan beban yang tinggi dan waktu yang lama akan sangat berpengaruh terhadap sistem berjalan manusia. Pada kondisi ini, desain tas punggung akan sangat diperhatikan.

Saat manusia berjalan, seluruh bagian tubuh melakukan gerakan. Mulai dari telapak kaki, betis, paha, hingga kepala. Bagian yang paling dominan dan secara sadar itu bergerak adalah bagian bawah tubuh, yaitu kaki. Sebenarnya, bagian atas tubuh pun melakukan gerakan tertentu yang mendukung bagian kaki berjalan. Gerakan ini dilakukan untuk mengurangi pemakaian energi. Gerakan tambahan yang mungkin tidak disadari ini antara lain gerakan ayunan tangan dan gerakan rotasi tulang belakang baik pada bidang *transverse*, *sagittal*, maupun

frontal. Fungsi ketiga gerakan adalah untuk melakukan penyeimbangan pada tubuh saat tubuh berjalan.

Selain gerakan ayunan tangan, dada dan panggul pun melakukan gerakan tertentu saat berjalan. Fungsi dari gerakan-gerakan ini adalah untuk mengurangi perpindahan pusat massa sehingga energi yang digunakan untuk berjalan akan semakin sedikit. Pembatasan pergerakan tulang belakang akan meningkatkan konsumsi energi sebanyak 10% [1].

Pemakaian tas punggung juga bisa mempengaruhi cara berjalan manusia. LaFiandra, dkk menyatakan bahwa pemakaian tas punggung dapat mengurangi rentang gerak pelvic rotation serta mempengaruhi fasa relatif kedua gerakan tersebut [2]. Selain itu, dua desain tas punggung juga dapat menghasilkan pengaruh yang berbeda pada gerakan berjalan manusia [3]. Ketika berjalan dengan membawa beban, kecepatan berjalan, irama berjalan, fasa mengayun, dan panjang langkah cenderung menurun; lebar langkah cenderung bertambah seiring dengan bertambahnya besar beban [4].

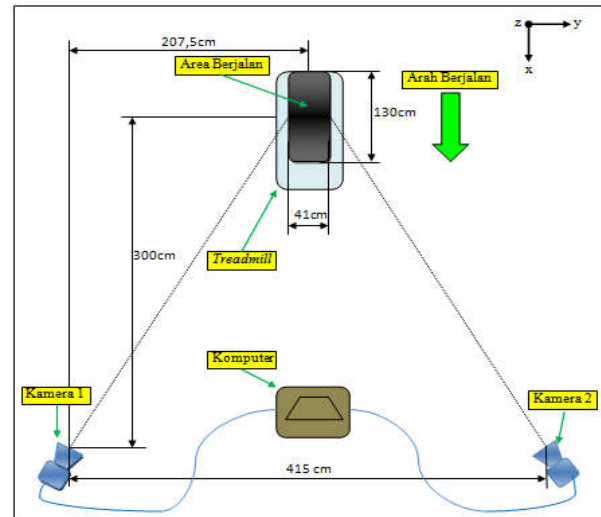
Namun, penelitian yang dilakukan oleh La Fiandra, dkk [2] menggunakan sistem pembawa beban khusus sehingga mungkin bisa mempengaruhi gerakan atas tubuh manusia ketika seseorang menggunakan tas punggung yang umum digunakan. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh desain tas punggung yang umum digunakan terhadap gerak tubuh manusia bagian atas. Tiga buah tas punggung yang berbeda desain digunakan pada penelitian ini. Untuk mengamati pengaruh tas punggung saat berjalan, pengamatan dapat dilakukan pada aspek kinematik dada dan panggul. Selain itu, pengaruh perbedaan desain tas punggung dapat diamati melalui pola gerakan setiap tas punggung.

Metode Penelitian

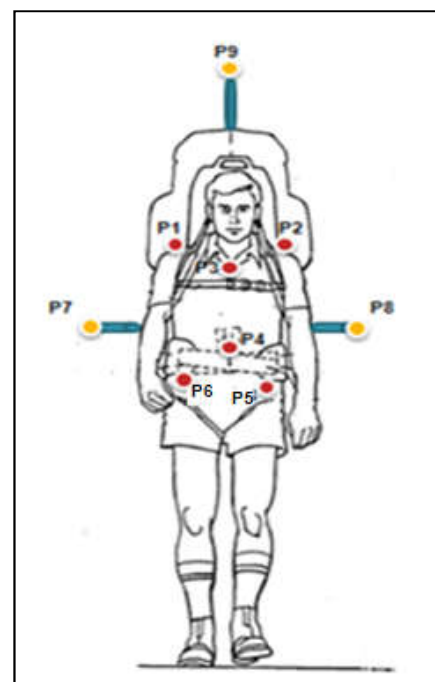
Penelitian ini menggunakan dua kamera yang tersambung ke komputer untuk merekam gerakan tubuh bagian atas pada saat subyek sedang berjalan sambil menggunakan tas punggung. Kamera yang digunakan adalah *Sentech CLC33A* dengan kecepatan kamera 90 fps dan diposisikan seperti yang bisa dilihat pada Gambar 1. Subyek berjalan di atas treadmill *Sportrac ST-1600T* dengan kecepatan berjalan 3,5 km/jam dan memiliki inklinasi sebesar 0%.

Sebelum pengambilan data dimulai, tubuh bagian atas subyek dan tas punggung ditempel *marker* LED. Konfigurasi peletakan *marker* dimodifikasi dari konfigurasi *marker* yang dikembangkan oleh George Rab [4]. Hasil modifikasi ini dapat dilihat pada gambar 2. Enam buah *marker*

digunakan pada pengujian tanpa tas punggung, yaitu *marker* P1 hingga P6 sedangkan sembilan *marker* digunakan pada pengujian dengan menggunakan tas punggung, yaitu *marker* P1 hingga P9. *Marker* P1 hingga P3 digunakan untuk mendeteksi bagian dada. *Marker* P4 hingga P6 digunakan untuk mendeteksi bagian panggul. *Marker* P7 hingga P9 digunakan untuk mendeteksi tas punggung.



Gambar 1. Denah ruang pengujian



Gambar 2. Konfigurasi marker [5]

Penelitian ini melibatkan enam orang subyek yang dianggap memenuhi syarat. Syarat pemilihan subyek tersebut adalah berjenis kelamin laki-laki, memiliki nilai BMI normal, berumur antara 18 hingga 49 tahun, memiliki panjang torso antara 19 hingga 55 cm, dan tidak memiliki kelainan tulang belakang [6]. Data anthropometri subyek disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Data anthropometri subyek

Antropometri	Pria	
	Nilai Minimum	Nilai Maksimum
Umur(Tahun)	21	23
Tinggi (m)	1,68	1,80
Berat (kg)	63	78
<i>BMI</i>	22,06	24,84
Torso (cm)	49	55

Proses selanjutnya adalah proses akuisisi data gerak subyek. Subyek berjalan di atas *treadmill* selama 17 menit untuk setiap pengujian. Proses akuisisi data dan pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB dan Microsoft Excel. Sistem kalibrasi kamera yang digunakan adalah metode kalibrasi Zhang yang telah dimodifikasi [7]. Metode pengolahan data diadaptasi dari algoritma yang telah dikembangkan oleh Vaughan [8].

Pada penelitian ini, seorang subyek akan melakukan empat kali pengujian, satu pengujian tanpa mengenakan tas punggung dan tiga pengujian lainnya menggunakan tas punggung. Pada pengujian dengan menggunakan tas punggung, beban yang dibawa subyek sebesar 33% berat tubuhnya. Beban hanya diletakan pada kantong utama dan kantong atas setiap tas punggung.

Tas punggung yang digunakan adalah Wonderlust-Eiger, Protptype-Eiger, dan Bioflex II-Berghaus (lihat gambar 3). Tas punggung Wonderlust berkapasitas 75 liter dengan *backsystem* yang dapat disesuaikan dengan ukuran torso manusia. Tas punggung Prototype merupakan salah satu produk yang sedang dikembangkan. Pengembangan utama terdapat pada bagian *backsystem* tas punggung tersebut. Namun, sabuk belu terdapat pada tas punggung ini. Tidak terdapat pengaturan panjang torso pada *backsystem* tas punggung ini. Tas punggung Bioflex II mampu menampung muatan maksimal sebanyak 75 liter. Tas punggung ini juga memiliki sistem pengaturan panjang torso pada bagian *backsystem*. Selain itu, Bioflex II juga memiliki *motion lock system* yang dapat mengatur derajat kebebasan gerak sabuk.

Pada data gerakan subyek, proses normalisasi untuk satu siklus gait dilakukan. Setiap data dikelompokan berdasarkan jenis pengujiannya, menggunakan tas punggung dan tanpa menggunakan tas punggung. Untuk setiap akuisisi data gerak berjalan, beberapa siklus gait didapatkan. Penentuan kejadian-kejadian yang terdapat dalam satu siklus gait harus dilakukan terhadap setiap data yang diperoleh. Penentuan kejadian *initial contact* (IC) dan *toe off* (TO) akan menandai dimulainya dan diakhirinya satu siklus gait seseorang.



Gambar 3. Penampang depan dan belakang tas punggung yang digunakan, (a) Tas Punggung Bioflex II – Berghaus, (b) Tas Punggung Wonderlust – Eiger, dan (c) Tas Punggung Prototype - Eiger

Penentuan kejadian IC dan TO dilakukan secara tidak langsung. Proses penentuan ini diawali dengan menentukan batas dua siklus gait dengan memanfaatkan perpindahan vertikal *marker* panggul, sudut rotasi, dan sudut *obliquity* segmen panggul. *Marker* panggul kanan diasumsikan akan berada di titik tertinggi pada saat mid stance kaki kanan terjadi. Dalam satu siklus gait, terdapat dua puncak bukit dalam pola perpindahan vertikal *marker* panggul kanan, yaitu 30% dan 80% siklus gait. Saat 30% siklus gait, panggul sedang mengalami rotasi internal, namun telah melewati sudut tertinggi dari gerakan tersebut. Pada saat yang sama, sudut *obliquity* panggul juga cenderung menuju sumbu netral. Dengan ketiga acuan ini, dua siklus gait

dapat ditentukan dengan awal *mid stance* kaki kanan dan akhir *mid stance* kaki kanan.

Hasil dan Pembahasan

Salah satu hasil yang bisa didapatkan dari analisis gerakan tubuh bagian atas subyek adalah rentang gerak dari *thoracic obliquity*, *thoracic rotation*, *pelvic obliquity*, dan *pelvic rotation* untuk setiap kondisi pengujian seperti yang disajikan dalam tabel 2.

Tabel 2. Rentang gerakan dada dan panggul
Rentang Gerak (derajat)

	<i>Thoracic Obliquity</i>	<i>Thoracic Rotation</i>	<i>Pelvic Obliquity</i>	<i>Pelvic Rotation</i>
Tanpa Tas	4,44	10,46	6,52	5,44
Bioflex II	3,20	5,01	4,36	2,18
Prototype	2,43	4,66	4,38	2,71
Wonderlust	3,11	4,95	5,08	3,12

Tabel 2 secara umum menunjukkan gerakan dada dan panggul saat menggunakan tas punggung mengalami penurunan rentang gerak. Saat berjalan dengan membawa beban, panjang langkah cenderung menurun [9]. Penurunan panjang langkah akan meningkatkan irama berjalan untuk laju yang sama. Peningkatan irama berjalan akan menurunkan rentang gerak panggul. Hal ini sesuai dengan hipotesis sebelumnya [2], berjalan dengan membawa beban akan menurunkan amplitudo rotasi dada dan panggul.

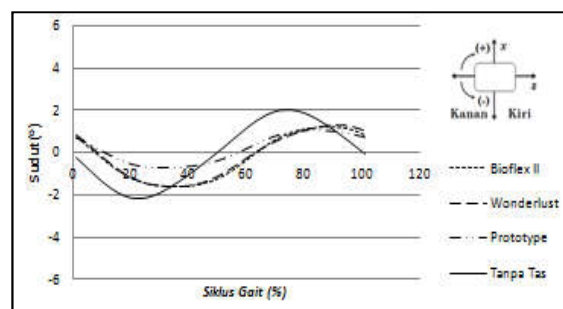
Penurunan rentang gerak *thoracic obliquity* dan *thoracic rotation* tertinggi terjadi pada tas Prototype. Pada tas Prototype tidak terdapat sistem sendi yang dapat mendukung gerak *thoracic obliquity* sehingga dapat membatasi gerak dada. Selain itu, tas Prototype juga belum mempunyai *hip belt* yang dapat bergerak bebas sehingga dapat membatasi gerakan *thoracic rotation*.

Penurunan rentang gerak *pelvic obliquity* dan *pelvic rotation* tertinggi terjadi pada tas Bioflex II. Hal ini disebabkan penggunaan *motion lock system* yang terdapat pada tas Bioflex II. Sistem ini dapat membatasi gerakan panggul pada saat berjalan. Namun, *backsystem* tas Bioflex II dapat memberi keleluasaan pada bagian dada. Meskipun bagian panggul terhambat pergerakannya, pergerakan bagian dada saat memakai tas Bioflex II masih lebih tinggi dibandingkan dua tas punggung lain.

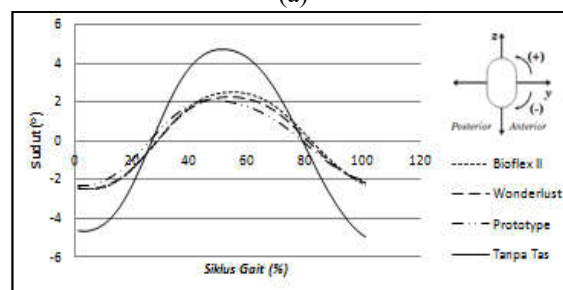
Penurunan rentang gerak ini juga dapat dijadikan indikator distribusi beban tas punggung pada tubuh. Semakin tinggi penurunan rentang gerak, semakin tinggi beban tas punggung yang ditanggung bagian tersebut. Pada saat tas punggung digunakan, terdapat dua bagian tubuh yang menerima langsung beban tas punggung, yaitu dada dan panggul. Pembagian beban tas punggung yang baik adalah 35 -

40% beban pada dada dan 60 - 65% pada panggul. Berdasarkan data Tabel 2, pembagian beban pada bagian dada oleh tas Prototype lebih tinggi dibandingkan dengan dua tas lainnya.

Selain rentang gerakan dada dan panggul, pola gerakan *pelvic obliquity*, *pelvic rotation*, *thoracic obliquity*, dan *thoracic rotation* juga bisa diperoleh, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4 dan 5.

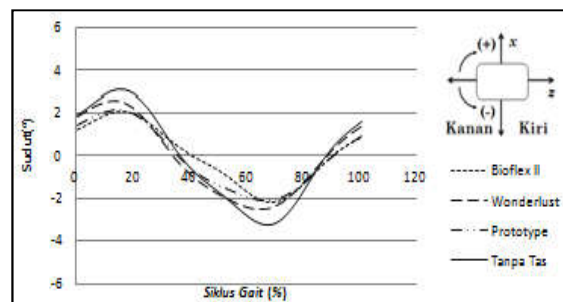


(a)

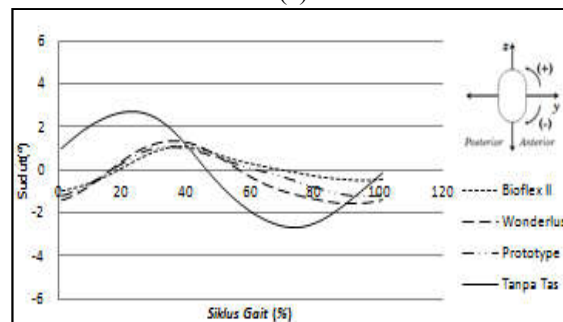


(b)

Gambar 4. Pola gerakan dada: (a) *Thoracic Obliquity*, dan (b) *Thoracic Rotation*



(a)



(b)

Gambar 5. Pola gerakan panggul: (a) *Pelvic Obliquity*, dan (b) *Pelvic Rotation*

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 dan 5, pada saat subyek berjalan menggunakan tas

punggung, terjadi perubahan fasa pada gerakan *thoracic obliquity* dan *pelvic rotation*. Fasa sudut *thoracic obliquity* bergeser sejauh 7% hingga 14% sedangkan fasa sudut *pelvic rotation* mengalami pergeseran sebesar 14% hingga 18%. Perubahan fasa pada *pelvic rotation* dan *thoracic rotation* akan terjadi jika kecepatan berjalan bertambah [10]. Perubahan fasa pada penelitian ini dapat disebabkan adaptasi cara berjalan manusia saat memakai tas punggung dengan beban tinggi.

Perubahan fasa juga dapat disebabkan oleh penggunaan sistem penentuan *initial contact* dan *toe off*. Sebaiknya dilakukan validasi terhadap sistem yang digunakan. Metode lain yang dapat digunakan untuk penentuan *initial contact* dan *toe off* diantaranya Metode Hreljac and Marshall (HMA), Metode O' Connor dkk. (FVA - *foot velocity algorithm*), dan Metode *High Pass Algorithm* (HPA) [11].

Pada saat dipakai, tas punggung menempel dengan tubuh manusia melalui *shoulder hip belt* sehingga tas punggung dianggap menyatu dengan tubuh sebagai bagian dari dada. Fasa gerak tas punggung sama dengan fasa gerak dada. Besar pergerakan tas punggung ditentukan oleh besar pergerakan dada. Rentang gerak tas punggung dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 3. Rentang gerak backpack rotation lebih besar dibandingkan dengan rentang gerak *backpack obliquity*. Tas punggung lebih banyak bergerak rotasi pada sumbu vertikal dibandingkan pada sumbu horizontal arah *anterior-posterior*.

Tabel 3. Rentang gerak tas punggung

	<i>Backpack obliquity</i>	<i>Backpack rotation</i>
<i>Bioflex II</i>		
Nilai Minimum (°)	0,27	-4,91
Nilai Maksimum (°)	3,29	0,19
Rentang Gerak (°)	3,02	5,10
<i>Prototype</i>		
Nilai Minimum (°)	-1,33	-3,96
Nilai Maksimum (°)	0,86	-0,42
Rentang Gerak (°)	2,19	3,54
<i>Wonderlust</i>		
Nilai Minimum (°)	-4,27	-2,88
Nilai Maksimum (°)	-1,84	1,11
Rentang Gerak (°)	2,43	3,99

Rentang gerak tas Bioflex II lebih tinggi dibandingkan dua tas punggung lainnya karena rentang gerak dada pada saat menggunakan tas Bioflex II lebih tinggi dibandingkan saat menggunakan dua tas lainnya. Hal ini disebabkan besar pergerakan dada pada saat memakai tas Bioflex II lebih besar dibandingkan gerakan dada pada saat memakai dua tas lainnya. Rentang gerak tas Prototype lebih

rendah dibandingkan dua tas lainnya. Hal ini disebabkan besar pergerakan dada pada saat memakai tas Prototype lebih rendah dibandingkan gerakan dada pada saat memakai dua tas lainnya.

Kesimpulan

Penelitian ini menyajikan analisis pengaruh pemakaian tas punggung terhadap gerakan tubuh bagian atas manusia. Pengambilan data dilakukan empat kali yaitu pada saat subyek tidak menggunakan tas punggung dan pada saat subyek menggunakan tas punggung dengan tiga desain yang berbeda yaitu tas Bioflex II, Wonderlust, dan prototype. Secara umum, penggunaan tas punggung menurunkan rentang gerak dada dan panggul. Penurunan rentang gerak tersebut merupakan indikator distribusi beban tas punggung pada tubuh. Selain menurunkan rentang gerak, penggunaan tas punggung juga mengubah fasa sudut *thoracic obliquity* dan *pelvic rotation*. Perbandingan tiga desain tas punggung yang berbeda menunjukkan bahwa tas Bioflex II dapat mendistribusikan beban lebih tinggi pada bagian panggul dibandingkan dengan dua tas punggung lainnya dan tas Prototype dapat mendistribusikan beban lebih tinggi pada bagian dada dibandingkan dengan dua tas punggung lainnya.

Referensi

- [1] Lippert, L. S. Clinical Kinesiology and Anatomy, Edisi 4, F. A. Davis Company, Philadelphia, 2006.
- [2] LaFiandra, M., R.C. Wagenaar, K.G. Holta, J.P. Obusekb, How do load carriage and walking speed influence trunk coordination and stride parameters?, *Journal of Biomechanics* 36 : 87–95, 2003.
- [3] Holewijn, M. dan T. Meeuwssen, Physiological Strain During Load Carrying: Effects of Mass and Type of Backpack, *Netherlands Aeromedical Institute*. 61(3-4):237-45, 1990.
- [4] Rab, G., K. Petuskey, A. Bagley, A Method for Determination of Upper Extremity Kinematics. *Gait & Posture*, 15:113-119, 2002.
- [5] Lowe, G.E.. 1986. *Backpack Having Improved Load Distributin and Stabilizing Structure*, 4676418. Lowe Alpine system, Inc., USA
- [6] Magee, David J., Orthopedic Physical Assessment, Edisi 4, Saunders Elsevier, 2006.
- [7] Ferryanto, F., Miharadi, S., Dirgantara, T., & Mahyuddin, A. I. 2013. Camera Calibration

Technique Improvement for 3D Optical Gait Analyzer System. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 393, pp. 976-981). Trans Tech Publications.

- [8] Vaughan, C. L., Davis, B. L., O'Connor, J. C. *Dynamic of Human Gait*, 2nd Edition, Kiboho Publishers, Cape Town, South Africa, 1999.
- [9] Demura, T, dan S. Demura, Relationship among gait parameters while walking with varying loads, *Journal of Physiological Anthropology*, 29(1): 29-34, 2010.
- [10] Wagenaar, R.C., Beek, W.J., Hemiplegic gait: a kinematic analysis using walking speed as a basis. *Journal of Biomechanics*, 25(9), 1007–1015, 1992.
- [11] Desailly, E., Daniel, Y., Sardain, P., & Lacouture, P., Foot Contact Event Detection Using Kinematic Data in Cerebral Palsy Children and Normal Adults Gait. *Gait & Posture*, 76-80, 2009.