

## PENGUKURAN JANGKAUAN GERAK PADA LUTUT ORANG INDONESIA SEBAGAI DATA AWAL PERANCANGAN KAKI TIRUAN ATAS LUTUT

Hanna Lestari<sup>1</sup>, Dwi Nurul Izzhati<sup>1</sup>, Nur Rachmat<sup>2</sup>, Dwi Setyawan<sup>2</sup>, E. Saputra<sup>3</sup>, R. Ismail<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro  
Jl. Nakula I No. 5-11, Semarang 50131

<sup>2</sup> Jurusan Ortotik Prostetik Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Surakarta  
Jl. Letjend Sutoyo, Mojosongo, Surakarta 57127

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto Kampus UNDIP Tembalang Semarang

\*Email: lestari.hanna@gmail.com

### Abstrak

*Penyandang disabilitas kaki akibat proses amputasi atau disabilitas bawaan sejak lahir di Indonesia memiliki pilihan untuk menggunakan kaki tiruan dengan sendi konvensional dan kaki tiruan dengan sendi mekanik. Sayangnya produk kaki tiruan dengan sendi mekanik masih didominasi oleh produk impor. Langkah awal dari upaya menggantikan kaki tiruan atas lutut (above knee prostheses) produk impor dengan produk dalam negeri adalah dengan melakukan penelitian mengenai jangkauan gerak (range of motion) pada sendi lutut. Range of motion (RoM) pada orang Indonesia, yang memiliki ras Mongoloid, dapat memiliki perbedaan dengan rancangan jangkauan gerak pada kaki tiruan produk impor yang telah dijual di Indonesia. Perbedaan dapat dijumpai akibat adanya perbedaan antropometri postur orang Indonesia yang diklasifikasikan sebagai ras Mongoloid dengan penduduk Eropa/Amerika yang tergolong ras Kaukasoid. Begitu juga dengan beberapa aktifitas yang dominan dilakukan oleh orang Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan data pengukuran RoM bagi orang Indonesia saat melakukan gerakan sehari-hari untuk diolah menjadi data ilmiah yang penting untuk digunakan dalam proses desain dan perancangan kaki tiruan. Metode penelitian ini bersifat eksperimental dengan mengambil data jangkauan gerak (RoM) orang Indonesia dengan variasi: jenis kelamin, berat badan dan dua jenis gerakan. Gerakan utama yang akan diambil adalah gerakan sujud dan gerakan duduk pertama pada shalat. Hasil pengukuran jangkauan gerak lutut saat responden melakukan gerakan duduk pertama dalam salat berkisar antara 145°-160°. Rata-rata jangkauan gerak lutut saat responden adalah 152°. Hasil ini menunjukkan kebutuhan jangkauan gerak yang sangat besar pada aktifitas duduk tersebut. Data gerakan sendi lutut yang telah didapatkan akan digunakan untuk mendesain karakteristik lutut pada kaki tiruan buatan produk domestik dengan karakter gerakan orang Indonesia.*

**Kata kunci:** jangkauan gerak, kaki tiruan, orang Indonesia, sendi lutut

## PENDAHULUAN

Kaki tiruan adalah alat bantu berjalan yang dibutuhkan penyandang disabilitas kaki akibat proses amputasi atau disabilitas bawaan sejak lahir. Pada pasien penyandang disabilitas dengan permasalahan fungsi gerak di atas mata kaki, terdapat 3 jenis kaki tiruan yang ditawarkan kepada pasien sesuai dengan kondisi amputasi yang dialami, yaitu: kaki tiruan bawah lutut, kaki tiruan tepat lutut dan kaki tiruan atas lutut. Pada penelitian ini, kajian akan difokuskan pada kaki tiruan atas lutut (*above knee prostheses*) bagi penderita disabilitas gerak kaki yang mengalami amputasi hingga tulang paha (*femur*).

Pada kaki tiruan atas lutut, pasien di Indonesia memiliki pilihan untuk menggunakan kaki tiruan konvensional dengan sendi yang sederhana dan kaki tiruan dengan sendi mekanik. Kaki tiruan konvensional memiliki pasar yang menjanjikan sebagaimana penjualan kaki tiruan buatan Sugeng Siswoyudono. Kaki tiruan buatan Sugeng menjadi terkenal setelah dimuat dalam Talkshow Kick Andy beberapa tahun yang lalu dan diikuti oleh penyediaan 1000 kaki tiruan untuk pasien kurang mampu (Harsaputra, 2008). Target sejumlah 400 pasien penyandang kaki tiruan, khususnya akibat trauma kecelakaan dan bencana, mendapatkan kaki tiruan buatan Sugeng pada tahun 2012 lalu dan dilaksanakan melalui kerja sama dengan Kepolisian Daerah (POLDA) Jawa Tengah (Setiadi, 2012). Pemasangan kaki tiruan oleh Sugeng melalui Kick Andy Foundation juga pernah

diberikan pada korban bom Palu di Sulawesi Tengah dan korban Tsunami di Banda Aceh (Priambodo, 2010).

Meskipun kaki tiruan konvensional produk dalam negeri banyak diserahkan sebagai produk bantuan, ternyata berdasarkan survey di penjualan produk prostetik-ortotik di Jawa Tengah, diketahui bahwa produk kaki tiruan bersendi mekanis memiliki omzet yang cukup tinggi di pasar. Pasien memilih produk kaki tiruan bersendi mekanis karena memiliki sendi lutut tiruan yang memiliki fleksibilitas pengaturan tinggi dan memiliki kenyamanan saat kaki melangkah. Sayangnya produk ini masih didominasi oleh produk impor dan belum ada produk domestik/lokal yang dipasarkan. Salah satu yang populer adalah kaki tiruan produk impor dari Eropa.

Langkah awal dari upaya menggantikan kaki tiruan atas lutut produk impor dengan produk dalam negeri adalah dengan melakukan penelitian mengenai jangkauan gerak (*range of motion*). *Range of motion* (RoM) pada orang Indonesia, yang memiliki ras Mongoloid. Jangkauan gerak ini bisa saja berbeda dengan desain jangkauan gerak kaki tiruan produk impor yang didesain berdasarkan ras Kaukasoid. Selain itu, orang Indonesia juga memiliki gerakan keseharian yang seringkali tidak dilakukan oleh orang-orang di negara Amerika. Misalnya adalah gerakan shalat bagi pemeluk agama muslim di Indonesia, gerakan duduk bersila di lantai, atau jongkok saat BAB. Hal ini menjadikan data pengukuran jangkauan gerak RoM bagi orang Indonesia saat melakukan gerakan sehari-hari menjadi data ilmiah yang sangat penting untuk melakukan proses desain dan perancangan kaki tiruan atas lutut dengan sendi mekanis. Adanya variasi ukuran mungkin bisa tetap di jumpai namun bisa diatasi dengan merancang produk yang “mampu suai” (*adjustable*) dalam suatu rentang dimensi ukuran pemakainya (Wignjosoebroto, 1995).

Berdasarkan penelusuran pustaka, Shah dkk. (2014) telah melakukan pengukuran bentuk sendi lutut orang India secara umum. Namun data ilmiah jangkauan gerak lutut Orang Indonesia saat menjalankan gerakan sehari-hari belum dipublikasikan hingga saat ini. Tujuan dari kegiatan penelitian ini adalah melaksanakan proses pengukuran jangkauan gerak sendi lutut pada Orang Indonesia saat melaksanakan aktifitas sehari-hari, khususnya dua kegiatan yang dilakukan muslim saat shalat, yaitu gerakan duduk pertama dan gerakan sujud saat shalat. Penelitian di bidang Ergonomi biomekanik di Program Studi Teknik Industri di UDINUS ini bekerja sama dengan beberapa pihak yang telah memulai penelitian biomekanik seperti Jurusan Ortotik Prostetik Politeknik Kesehatan Surakarta dan Jurusan Teknik Mesin UNDIP.

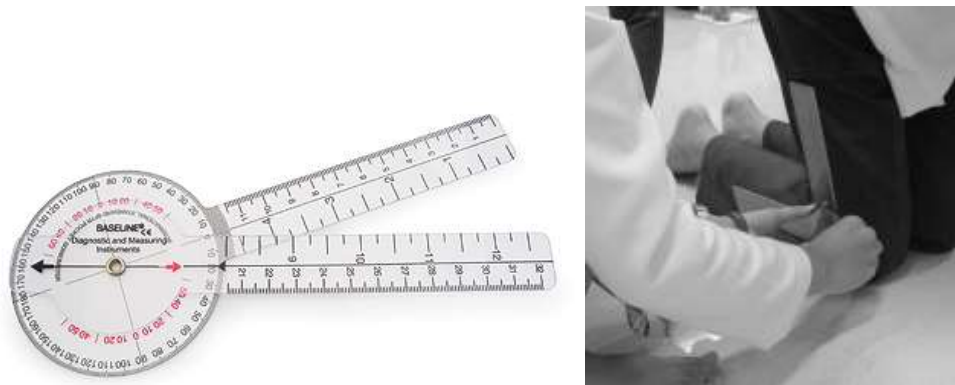


**Gambar 1. Kaki tiruan dipasangkan kepada penerima bantuan dan kaki tiruan dengan material komposit (Setiadi, 2012)**

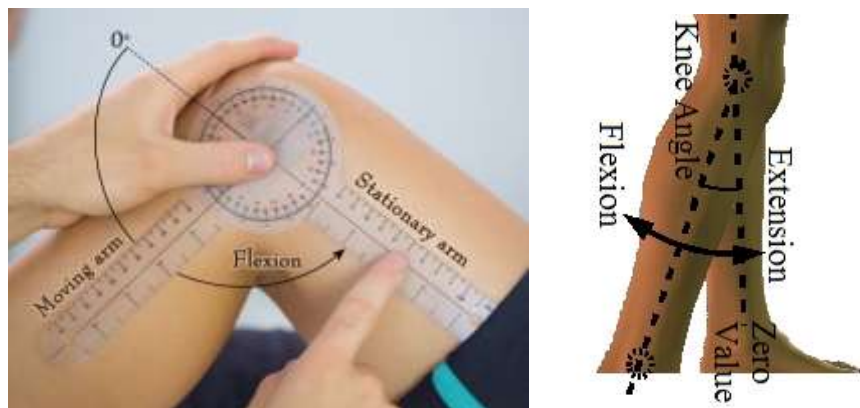
## METODOLOGI

Metodologi dari penelitian ini berisi penggunaan alat ukur, pemilihan responden dan proses pengukuran jangkauan gerak lutut. Alat ukur jangkauan gerak sendi lutut pada responden dilakukan menggunakan alat goniometer, yaitu alat yang digunakan untuk mengukur jangkauan gerak sudut pada sendi atau Range of Motion (RoM). Gambar 2 menunjukkan alat goniometer dan proses

pengukuran jangkauan gerak sendi menggunakan goniometer pada responden. Secara konsep goniometer merupakan sebuah busur yang memiliki perpanjangan lengan.



**Gambar 2.**Contoh alat ukur goniometer dan proses pengukuran goniometer



**Gambar 2.**Penggunaan goniometer untuk mengukur gerak fleksion (Gaonkar, 2015) dan gerakan fleksion dan ekstension pada lutut (Mansour dan Audu, 1986).

**Tabel 1.** Data responden yang akan diukur.

Data Responden	Jenis Kelamin	Umur	Berat Badan (kg)	Tinggi (cm)
Responden 1	P	19	55	158
Responden 2	L	18	80	177
Responden 3	P	19	70	161
Responden 4	L	19	52	167
Responden 5	P	19	43	147
Responden 6	P	19	56	153
Responden 7	P	18	65	150
Responden 8	L	18	51	158
Responden 9	L	19	59	163
Responden 10	L	19	51	162

Tabel 1 menunjukkan data 10 responden yang dipilih dalam penelitian ini dengan variasi jenis kelamin, berat badan dan tinggi badan responden. Kesepuluh orang ini terdiri dari 5 laki-laki dan 5 perempuan merupakan mahasiswa yang menjadi responden pengukuran dengan usia antara 18-19 tahun. Berat badan terendah adalah 43 kg dan berat badan tertinggi adalah 80 kg. Tinggi badan minimal adalah 153 cm dan tinggi badan maksimal adalah 177 cm. Proses pengukuran

dilakukan dengan supervisi dari staf peneliti dari Jurusan Ortotik Prostetik Politeknik Kesehatan Kemenkes Surakarta.

Jangkauan gerakan sendi lutut yang diukur dalam penelitian ini masih terbatas pada 2 gerakan muslim saat menjalankan ibadah salat, yaitu gerakan duduk pertama dan gerakan sujud dalam salat. Pada gerakan duduk pertama salat ini pengukuran juga dibatasi pada kaki kanan. Jangkauan gerak utama yang dibahas dalam penelitian ini adalah gerak fleksion dan ekstension pada sendi lutut. Dua jenis jangkauan gerak fleksion dan ekstension dapat dilihat pada Gambar 3. Gerakan ini masih dapat diperluas menjadi beberapa gerakan lain yang akan dipublikasikan pada penelitian berikutnya. Jumlah responden juga dapat diperluas untuk memberikan data penelitian yang lebih detail dan akurat.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran jangkauan gerak sendi lutut pada sepuluh responden untuk 2 gerakan duduk pertama dan sujud terlihat pada Tabel 2. Kondisi responden memiliki rata-rata umur berat badan dan tinggi adalah 18,7 tahun, 56,7 kg dan tinggi badan adalah 160,2 cm.

Nilai jangkauan gerak fleksion pada lutut kanan dan kiri saat responden melakukan gerakan salat menunjukkan hasil yang hampir sama pada semua responden. Hanya 2 responden menunjukkan data pengukuran jangkauan gerak yang berbeda antara lutut kanan dan kiri saat melakukan gerakan sujud. Sujud fleksion pada sendi lutut sama dengan nol ketika kaki di diluruskan dan sudut fleksion yang terbentuk diukur dari posisi 0 ketika kaki diluruskan sebagaimana terlihat pada Gambar 2. Range jangkauan gerak fleksion pada sendi lutut responden cukup variatif, berkisar antara  $102^{\circ}$  hingga  $155^{\circ}$ . Rata-rata dari jangkauan gerak fleksion pada posisi sujud adalah  $127,7^{\circ}$ .

Gerak ekstension memiliki arah yang berbeda/berlawanan dengan gerak fleksion dengan titik nol pada kondisi yang sama (saat kaki diluruskan) sehingga gerakan ekstension pada lutut kanan dan kiri adalah nol karena posisi lutut tidak mengalami gerak ekstension saat responden melakukan gerakan sujud.

**Tabel 2. Hasil pengukuran 10 responden saat melakukan gerakan**

Data Responden	Jenis Kelamin	Umur	Berat Badan (kg)	Tinggi (cm)	Posisi Sujud		Posisi Duduk	
					Fleksion( $^{\circ}$ ) R	Ekstension ( $^{\circ}$ ) R / L	Fleksion ( $^{\circ}$ ) R	
Responden 1	P	19	55	158	130	130	0	150
Responden 2	L	18	80	177	150	155	0	145
Responden 3	P	19	70	161	130	130	0	155
Responden 4	L	19	52	167	102	102	0	160
Responden 5	P	19	43	147	120	120	0	145
Responden 6	P	19	56	153	120	120	0	160
Responden 7	P	18	50	156	120	120	0	150
Responden 8	L	18	51	158	140	140	0	150
Responden 9	L	19	59	163	120	120	0	155
Responden 10	L	19	51	162	145	140	0	150
<b>Rata-Rata</b>		<b>18,7</b>	<b>56,7</b>	<b>160,2</b>	<b>127,7</b>	<b>127,7</b>	<b>0</b>	<b>152</b>

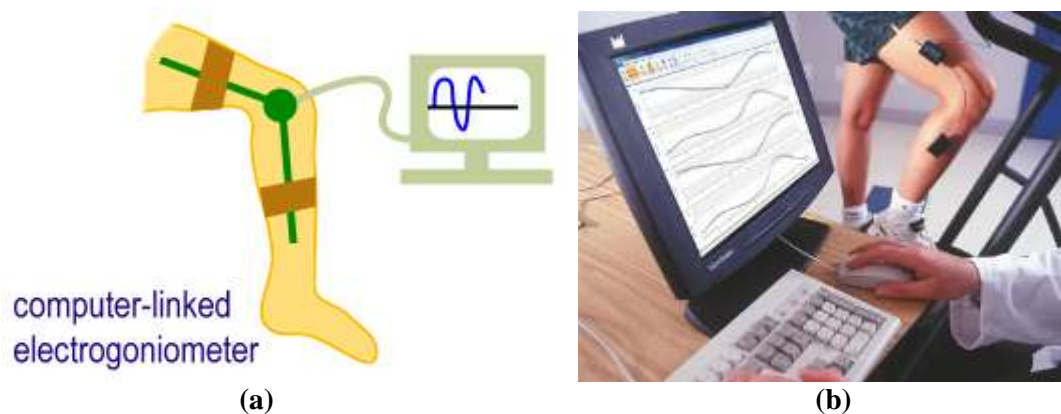
Hasil pengukuran jangkauan gerak lutut saat responden melakukan gerakan duduk pertama dalam shalat berkisar antara  $145^{\circ}$ - $160^{\circ}$ . Rata-rata jangkauan gerak lutut saat responden adalah  $152^{\circ}$ . Hasil ini menunjukkan kebutuhan jangkauan gerak yang sangat besar pada aktifitas duduk tersebut. Kebutuhan orang Indonesia ini tentu saja berbeda dengan penduduk di negara-negara Amerika/Eropa yang tidak menjalankan ibadah shalat. Mayoritas penduduk Amerika/Eropa dengan ras Kaukasoid menjalankan aktifitas duduknya di atas kursi, bukan di atas lantai. Hanya sedikit diantara mereka yang menjalankan aktifitas di atas lantai. Hal ini yang mendorong adanya perbedaan karakteristik aktifitas pada orang Indonesia dengan penduduk ras Kaukasoid di Eropa.

Karakteristik unik dari aktifitas orang Indonesia ini juga ditemui sebagaimana penduduk Jepang yang sering beribadah dengan cara duduk dan membungkukkan badan seperti posisi duduk lurus (Seiza) dan membungkuk sambil duduk lurus (Zarei) sebagaimana dijelaskan oleh Sugano dkk. (2012).

Beberapa produk kaki tiruan atas lutut produk impor dibuat oleh produsen dari Amerika/Eropa sehingga asumsinya, antropometri tubuh yang dijadikan model dominan berasal dari postur orang Amerika/Eropa yang tergolong ras Kaukasoid. Begitu juga dengan penyediaan RoM yang dirancang pada kaki tiruan atas lutut produk impor, asumsinya didesain berdasar mayoritas gerakan orang Amerika/Eropa. Karakteristik gerakan unik ini bisa menjadi masukan saat pengujian produk impor pada pasien pengguna kaki tiruan atas lutut dan bisa menjadi dasar pertimbangan bagi produsen kaki tiruan di Indonesia yang akan mengembangkan produk domestik untuk aktifitas sehari-hari orang Indonesia. Adanya jangkauan gerak sendi lutut yang berbeda ini akan menjadikan kebutuhan kaki tiruan atas lutut (*above knee prostheses*) yang berbeda. Sudut maksimum fleksion yang mencapai  $162^\circ$  membutuhkan jangkauan gerak kaki tiruan yang sangat luas.

Dalam pembahasan ini juga perlu dibahas bahwa secara metode pengukuran penggunaan goniometer manual ini memiliki ketelitian yang lebih rendah dibandingkan dengan beberapa metode yang telah berkembang di dunia. Andriacchi dkk. (1998) dan Zhang dkk. (2015) menggunakan metode *skin-based marker* untuk mengukur sudut yang terbentuk saat responden beraktifitas sedangkan Lafortune dkk. (1992) melaporkan hasil penelitian tentang RoM pada responden menggunakan teknik *intra-cortical traction pins*. Metode lain yang telah lama digunakan sebagaimana dijelaskan oleh Chao dkk. (1983) dan Li dkk. (1996) adalah menggunakan electrogoniometer yang memiliki ketelitian pengukuran lebih baik sebagaimana terlihat pada Gambar 3.

Secara teori, penggunaan goniometer normal memungkinkan kesalahan pengukuran akibat penempatan titik pusat sendi lutut yang keliru. Adanya tenaga ahli ortotik dan prostetik dari Politeknik Kesehatan Surakarta mengurangi kemungkinan adanya kekeliruan pengukuran akibat kesalahan penempatan titik pusat goniometer. Dalam penelitian lanjutan di masa depan, tidak dapat dipungkiri bahwa metode electrogoniometer dapat menghindarkan peneliti dari kesalahan pembacaan akibat kesalahan visual dan sudut pandangan yang bisa dijumpai saat menggunakan goniometer normal atau kesalahan saat penempatan titik pusat pengukuran. Alat electrogoniometer ini masih belum berkembang untuk digunakan di Indonesia hingga saat ini mengingat sedikitnya penelitian di bidang biomekanika dan sedikitnya pemanfaatan ilmu ini untuk digunakan saat mendesain produk-produk ortotik dan prostetik di Indonesia. Pada masa mendatang, jika Indonesia serius untuk mengembangkan produk ortotik dan prostetik domestik, maka alat seperti electrogoniometer ini menjadi persyaratan wajib sehingga produk ortotik dan prostetik yang dikembangkan dan diproduksi di Indonesia berdasarkan data penelitian pengukuran RoM berbasis postur antropometri dan RoM orang Indonesia.



**Gambar 3. Perkembangan teknik pengukuran RoM terkini: (a) penggunaan computer-linked electrogoniometer ([www.pt.ntu.edu.tw](http://www.pt.ntu.edu.tw)) dan (b) pemasangannya di tubuh responden ([www.mie-uk.com](http://www.mie-uk.com)).**



## KESIMPULAN

Data hasil pengukuran jangkauan gerak RoM bagi orang Indonesia saat melakukan dua aktifitas yang banyak dijumpai dalam kegiatan sehari-hari, yaitu gerakan duduk pertama dan gerakan sujud dalam salat menjadi data ilmiah yang penting untuk digunakan dalam proses desain dan perancangan kaki tiruan atas lutut. Hasil yang didapat adalah jangkauan gerak fleksion pada sendi lutut responden saat menjalankan aktifitas sujud dalam salat berkisar antara  $102^{\circ}$ - $155^{\circ}$  dengan rata-rata dari jangkauan gerak fleksion pada posisi sujud adalah  $127,7^{\circ}$ . Hasil pengukuran jangkauan gerak lutut saat responden melakukan gerakan duduk pertama dalam salat berkisar antara  $145^{\circ}$ - $160^{\circ}$ . Rata-rata jangkauan gerak lutut saat responden adalah  $152^{\circ}$  dengan sudut maksimum fleksion yang mencapai  $162^{\circ}$ . Sudut maksimum ini menggambarkan kebutuhan jangkauan gerak kaki tiruan yang sangat luas yang perlu didesain jika produsen produk ortetik prostetik di Indonesia bermaksud untuk mengakomodasi kebutuhan pasien muslim untuk menjalankan ibadah salat dengan normal. Penelitian ini membutuhkan pengembangan dengan melibatkan lebih banyak responden dengan variasi umur, berat badan dan tinggi badan yang lebih kompleks untuk dapat memberikan data yang lebih akurat. Selain itu dibutuhkan lebih banyak gerakan sehari-hari orang Indonesia yang perlu diamati seperti gerakan duduk bersila dan jongkok.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andriacchi, T. P., Alexander, E. J., Toney, M. K., Dyrby, C., dan Sum, J. (1998). A point cluster method for in vivo motion analysis: applied to a study of knee kinematics. *Journal of biomechanical engineering*, 120(6), pp. 743-749.
- Anonimus, Measurement of Kinematic Variables. <http://www.pt.ntu.edu.tw>. Diakses 10 Mei 2015 jam 13.30.
- Anonimus, Optical Electrogoniometer. <http://www.mie-uk.com>. Diakses tanggal 09 Mei 2015. Jam 09.00.
- Chao, E. Y., Laughman, R. K., Schneider, E., dan Stauffer, R. N. (1983). Normative data of knee joint motion and ground reaction forces in adult level walking. *Journal of Biomechanics*, 16(3), pp. 219-233.
- Gaonkar, V., (2015), How to Use Goniometer, diakses di: <http://www.buzzle.com/articles/how-to-use-a-goniometer.html>, 19 Maret 2015.
- Irwanto, dkk., (2010), Analisis Situasi Penyandang Disabilitas di Indonesia, Pusat Kajian Disabilitas, Jakarta.
- Indra, H., (2008), Sugeng Siswoyudono : Enabling Amputees to Walk Tall, *Jakarta Post*, diakses pada tanggal 6 Februari 2014 pukul 13.34 WIB.
- Lafortune, M. A., Cavanagh, P. R., Sommer, H., and Kalenak, A. (1992). Three-dimensional kinematics of the human knee during walking. *Journal of Biomechanics*, 25(4), pp. 347-357.
- Li, X. M., Liu, B., Deng, B., dan Zhang, S. M. (1996). Normal six-degree-of-freedom motions of knee joint during level walking. *Journal of Biomechanical Engineering*, 118(2), pp. 258-261.
- Mansour, J.M. dan Audu, M.L., (1986), The Passive Elastic Moment at the Knee and its Influence on Human Gait, *Journal of Biomechanics*, Vol.19, No.5, pp. 369-373.
- Priyambodo, R.H, (2010), Korban Bom Palu Terima Bantuan Kaki Palsu, <http://www.antaranews.com/berita/229673>.
- Setiadi, S., (2012), Kick Andy: Bank Mandiri Bantu 400 Kaki Palsu, <http://www.solopos.com/2012/08/03>
- Shah, D. S., Ghyar, R., Ravi, B., Hegde, C., & Shetty, V. (2014). Morphological Measurements of Knee Joints in Indian Population: Comparison to Current Knee Prostheses. *Open Journal of Rheumatology and Autoimmune Diseases*, 4, pp. 75-85.
- Sugano, N., Tsuda, K., Miki, H., Takao, M., Suzuki, N., Nakamuro, N., (2012), Dynamic measurements of hip movement in deep bending activities after total hip arthroplasty using a 4-dimensional motion analysis sistem, *Journal of Arthroplasty*, Vol. 27 No.8.
- Wignjosoebroto, S., (1995), Ergonomi, Study Gerak dan Waktu, 1<sup>st</sup> Ed., Guna Widya, Jakarta, pp. 65-66.
- Zhang, Y., Yao, Z., Wang, S., Huang, W., Ma, L., Huang, H., dan Xia, H. (2015). Motion analysis of Chinese normal knees during gait based on a novel portable system. *Gait & posture*, 41(3), pp. 763-768.