

SEMINAR NASIONAL REKAYASA & DESAIN ITENAS 2017

Seminar Nasional Bidang Teknik Elektro



SEMINAR
NASIONAL
ITENAS



BIJAK DALAM
BERKARYA
BIJAK SAAT
BERJAYA



itenas
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

itenas library



 itenas library

Prototipe Sistem Monitoring Pergerakan Sudut Tekuk Lutut Dinamis Berbasis Sensor *Inertial Measurement Unit*

Hendi H. Rachmat dan Teguh Perkasa
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional
E-mail: hendi.hr@gmail.com

ABSTRACT

Pada penelitian ini dilakukan rancang bangun prototipe sistem monitoring sudut tekuk lutut elektronik untuk pergerakan dinamis (“ambulatory”). Alat ini dipergunakan untuk merekam seluruh perubahan sudut tekuk lutut ketika objek melakukan pergerakan dinamis seperti duduk-berdiri, jongkok-berdiri, berjalan, berlari, ataupun pergerakan lainnya, guna mengevaluasi kondisi lutut pasien. Hal ini dikarenakan pengukuran sudut tekuk lutut pasien saat ini hanya dilakukan ketika pasien dalam kondisi tidak melakukan aktifitas atau diam dengan menggunakan Goniometer atau dilakukan pengukuran pergerakan di ruangan terbatas dengan perangkat berbasis sensor kamera. Sistem monitoring sudut tekuk lutut ini dirancang dengan menempatkan dua sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU) pada tungkai atas dan tungkai bawah untuk memperoleh data perubahan percepatan sudut. Selanjutnya data tersebut diolah dengan mikrokontroler untuk memperoleh data sudut antara kedua tungkai tersebut sebagai besaran sudut lutut. Sistem komunikasi data yang digunakan pada alat ini menggunakan komunikasi wireless dengan frekuensi radio guna mempermudah gerakan objek. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem ini telah dapat mengukur sudut dengan range antara 50° sampai dengan 180° (tungkai lurus), baik untuk pergerakan Clock Wise (CW) maupun Counter Clock Wise (CCW). Sistem ini secara berurutan memiliki nilai rata-rata akurasi, histerisis dan presisi sebesar 3° , 0.9° , 1° untuk tungkai bawah dan 2° , 1° untuk tungkai atas.

Keywords : ambulatory, monitoring, sensor IMU, sudut tekuk lutut, wireless.

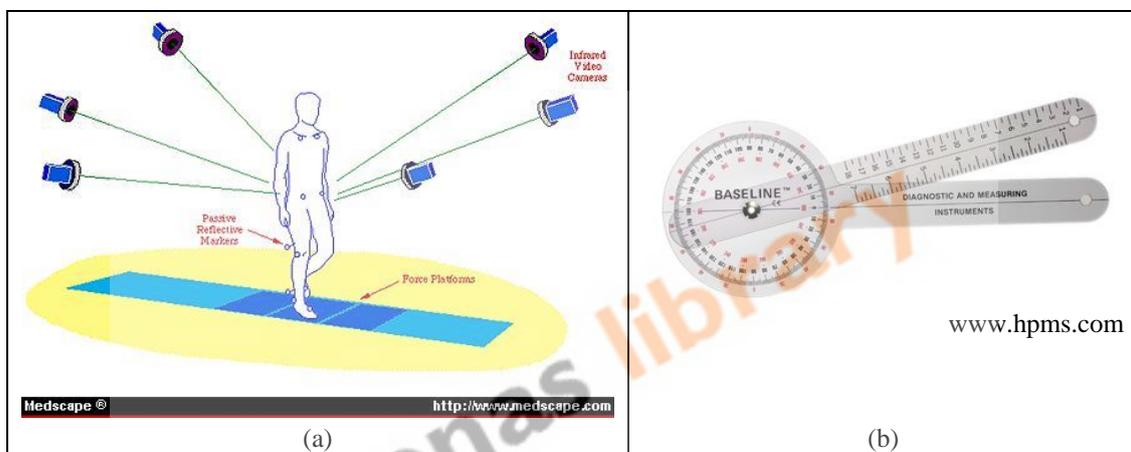
1. Pendahuluan

Pola jalan (*gait analysis*) merupakan suatu gerakan yang melibatkan koordinasi akurat berbagai organ tubuh yang dikontrol oleh susunan saraf pusat, dimana didalamnya mengandung karakteristik ritme, irama, langkah, jarak langkah dan kecepatan [Faried76, 2012]. Dengan menganalisis cara berjalan pasien maka dapat diketahui juga adanya cedera pada lutut pasien. Dari hasil penelitian Kaufman dan rekan diperoleh bahwa pola jalan seorang pasien yang mengalami cedera akan berbeda (berubah) dikarenakan untuk menahan rasa sakit akibat cederanya [Kaufman dkk., 2001]. Selain ritme, irama, langkah, jarak langkah dan kecepatan berjalan pasien, terdapat sebuah parameter penting lain yang diukur dalam menganalisis cara berjalan yaitu sudut tekuk (fleks) lutut. Data ini diukur ketika seseorang berjalan secara statis (kecepatan tetap) ataupun secara dinamis (kecepatan berubah-ubah) pada suatu rentang waktu tertentu, untuk dilakukan analisis pola jalannya. Data pengukuran mekanika sudut tekuk sendi tulang lutut juga merupakan salah satu parameter atau informasi medis yang digunakan oleh tenaga medis (dokter) untuk mendiagnosa kondisi pasien yang memiliki keluhan nyeri atau cedera lutut.

Sistem yang paling sering digunakan untuk menganalisis pola jalan pasien termasuk pengukuran parameter sudut tekuk lutut adalah sistem *marker-based 3D camera* (MBC). Sistem yang diset dalam

suatu ruangan khusus ini (Gambar 1a) menggunakan sejumlah kamera 3 dimensi dan sensor tekanan untuk mengukur *Ground Reaction Force* (GRF) guna merekam dan menganalisis pergerakan tubuh pasien secara motorik [Zhou dan Hu, 2008]. Namun sistem ini memerlukan biaya yang cukup besar dan sulit untuk diaplikasikan untuk peralatan di dalam rumah [Van Diest dkk., 2014]. Di samping itu, sistem seperti ini memerlukan ruangan pengujian yang cukup besar dan tidak bisa digunakan di luar laboratorium.

Pengukuran besarnya sudut tekuk lutut ini memang biasanya dilakukan secara *non-invasive* dan tanpa menggunakan alat khusus. Adapun alat yang digunakan saat ini untuk mengukur sudut pergerakan sendi tubuh termasuk sendi lutut adalah Goniometer (Gambar 1b). Akan tetapi, alat ini pun hanya dapat mengukur secara manual dan tidak dapat mengukur atau merekam sudut tubuh dalam keadaan bergerak. Di samping itu, pengukuran alat ini memerlukan bantuan orang lain untuk melakukan pengukurannya.



Gambar 1. (a) Sistem *marker-based 3D camera* (MBC) dan (b) Goniometer

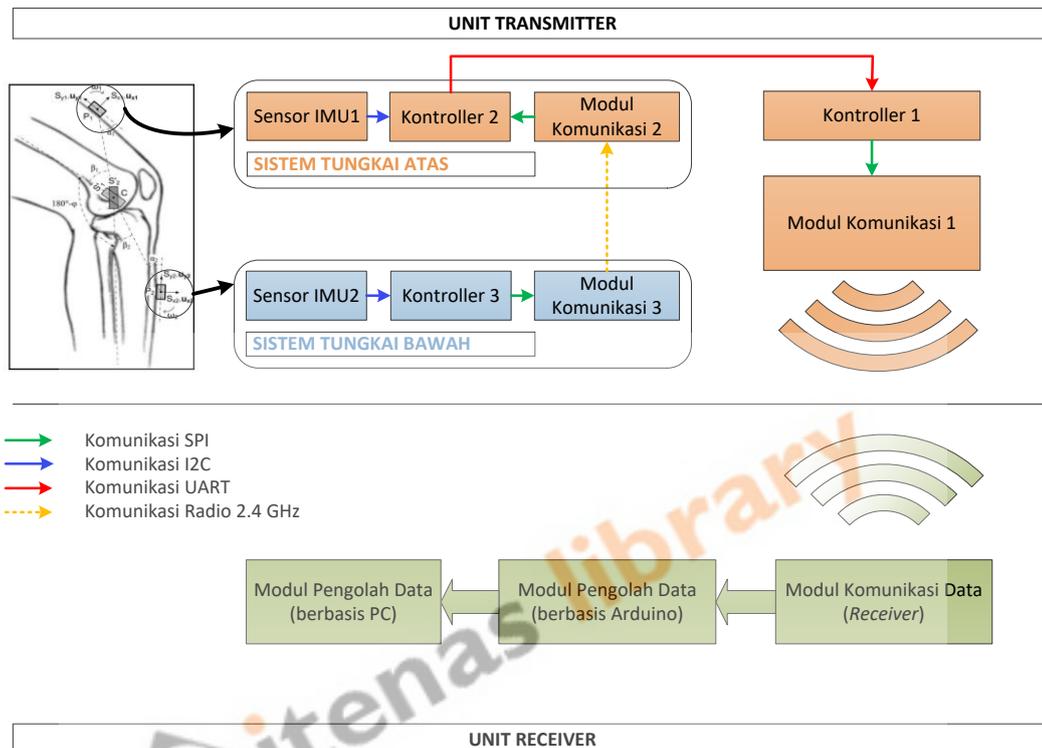
Sudut tekuk lutut ini perlu diukur secara akurat sebagai informasi medis bagi tenaga medis seperti dokter spesialis ortopedi dan traumatologi dalam mendiagnosa cedera dan memberikan terapi bagi pasien secara tepat. Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa sudut tekuk lutut pasien yang memiliki penyakit *Osteoarthritis* (OA) memiliki sudut yang lebih kecil dibandingkan dengan pasien normal jika dilihat dari cara berdiri (*stance*) dan pada posisi berjalan (*swing*) [McCarthy dkk., 2013].

Guna memonitor kondisi sudut tekuk lutut pasien dalam kondisi pergerakan statis atau pergerakan dinamis (dengan kecepatan tetap), maka diperlukan suatu alat bantu elektronik yang dapat merekam data tersebut secara kontinyu dan *real time*. Pada penelitian ini akan dikembangkan suatu sistem elektronika untuk melakukan perekaman data sudut tekuk lutut pasien secara kontinyu dan *real time*. Di samping itu, sistem elektronika ini juga dirancang dengan sifat *wireless* guna mempermudah pasien pada saat melakukan pergerakan.

2. Material dan Metodologi

Rancang bangun sistem monitoring sudut tekuk lutut ini bertujuan untuk mengukur dan merekam sudut tekuk lutut pasien dalam kondisi dinamis. Sistem pengukuran dan perekaman data dilakukan secara *real time* dan *wireless*. Sistem ini terdiri dari perangkat keras berupa beberapa modul elektronika serta perangkat lunak untuk mengukur dan mengendalikan perangkat keras serta untuk menyimpan dan mengolah data pengukuran. Sistem ini terbagi menjadi dua unit sistem utama yaitu unit sistem

pengirim data (*transmitter*) dan unit sistem penerima data (*receiver*). Unit *transmitter* terdiri dari dua unit sistem yang diletakkan pada tungkai atas kaki (sistem tungkai atas) dan tungkai bawah kaki (sistem tungkai bawah). Sementara unit *receiver* ditempatkan secara *remote* dari bagian tubuh pasien atau naracoba untuk menerima data hasil pengukuran sudut tekuk lutut secara *wireless*. Diagram blok sistem monitoring sudut tekuk lutut berbasis sensor IMU yang dirancang pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok sistem monitoring sudut tekuk lutut *wireless* berbasis sensor IMU

Sistem unit *transmitter* dan sistem unit *receiver* diimplementasikan dengan sejumlah perangkat keras dalam bentuk modular dan perangkat lunak yang dikembangkan untuk setiap kontroler. Modul perangkat keras yang digunakan pada sistem ini adalah sebagai berikut:

- Modul sensor IMU tipe Gyroscope GY-521 terdiri dari dua buah yang ditempatkan pada tungkai bawah kaki dan tungkai atas kaki.
- Modul kontroler tipe Arduino Nano digunakan pada kontroler 1, kontroler 2 dan kontroler 3.
- Modul kontroler tipe Arduino Mega digunakan pada kontroler pada unit *receiver*
- Modul komunikasi tipe nRF24L01 terdiri dari empat buah yang ditempatkan pada modul komunikasi 1, modul komunikasi 2, modul komunikasi 3 dan modul komunikasi *receiver*. Modul komunikasi ini merupakan media komunikasi *wireless* menggunakan radio frekuensi 2,4 GHz.

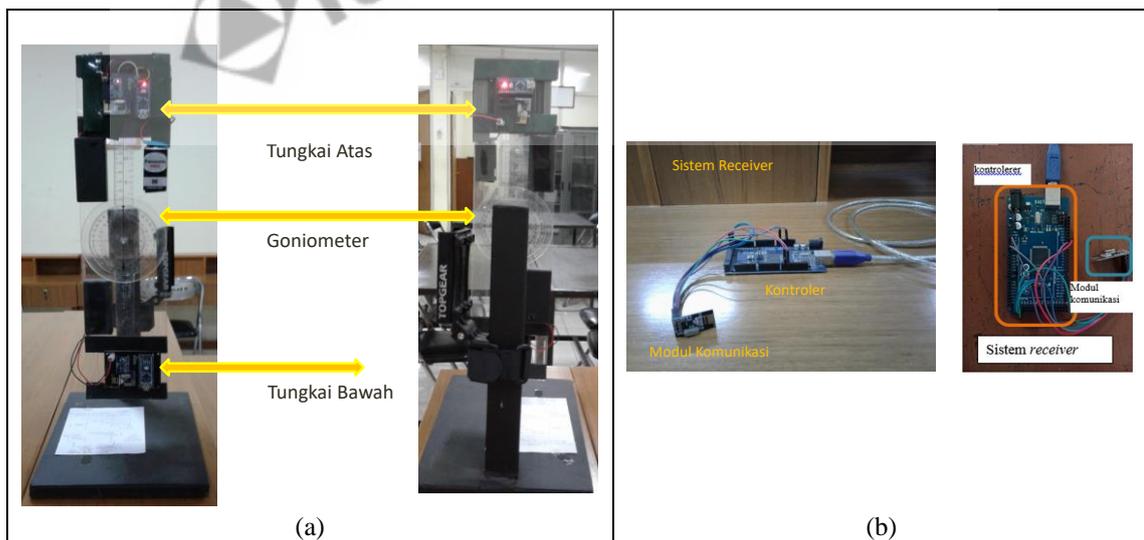
Sistem ini memiliki cara kerja sebagai berikut: sensor IMU 2 (sistem tungkai bawah) mengukur percepatan sudut dan kemudian diolah oleh kontroler 3 menjadi data sudut tungkai bawah ($\theta_{tungkai\ bawah}$). Data ini kemudian dikirimkan menuju kontroler 2 melalui modul komunikasi 3 dan modul komunikasi 2 secara *wireless*. Sementara dalam waktu yang bersamaan, sensor IMU 1 (sistem tungkai atas) mengukur percepatan sudut dan kemudian diolah oleh kontroler 2 menjadi data sudut tungkai atas ($\theta_{tungkai\ atas}$). Selanjutnya **sudut lutut** dihitung dari data sudut tungkai bawah dan tungkai atas di kontroler 2 dengan menggunakan persamaan (1).

$$\text{sudut lutut} = 180^\circ - (\theta_{\text{tungkai atas}} - \theta_{\text{tungkai bawah}}) \quad (1)$$

Dengan sistem komunikasi UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*), kemudian data sudut lutut dikirimkan ke kontroler 1 untuk dikirimkan ke unit *receiver* secara *wireless*. Data sudut lutut yang diterima di unit *receiver* selanjutnya ditampilkan dan direkam pada PC (*Personal Computer*) menggunakan fasilitas serial monitor melalui *port USB to Serial*. Adapun spesifikasi alat yang akan diimplementasikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Modul *Gyroscope* tipe GY-21 dengan chip MPU6050 digunakan sebagai sensor IMU untuk mengukur percepatan sudut.
- Nilai percepatan sudut pada sumbu Y sebagai sumbu rotasi, kemudian diubah menjadi nilai *Pitch* pada kontroler Arduino.
- Arduino Nano dan Arduino Mega digunakan sebagai kontroler untuk mengolah data dari sensor IMU.
- Modul komunikasi nRF24L01 dengan frekuensi radio 2,4 GHz digunakan untuk komunikasi data *wireless*.
- Baterai 9 Volt digunakan sebagai catu daya.
- Nilai presisi minimum sebesar 2° .
- Ketelitian alat sebesar 5° .
- *Range* sudut yang diukur pada penelitian ini yaitu dari 50° sampai dengan 180° (posisi kaki tegak)
- Material berbahan *acrylic* dirancang untuk mensimulasikan dua tungkai kaki yang mampu melakukan pergerakan dua derajat kebebasan.

Setelah merealisasikan seluruh sistem, selanjutnya kedua sistem (sistem tungkai bawah dan sistem tungkai atas) tersebut ditempelkan pada *Goniometer* sebagai sudut aktualnya (sudut referensi) dan ditempelkan pada *acrylic* sebagai alat untuk mensimulasikan pergerakan lutut. Realisasi keseluruhan sistem alat ukur sudut tungkai atas, tungkai bawah dan sistem *receiver* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Implementasi seluruh sistem: (a) unit *transmitter* dan (b) unit *receiver*

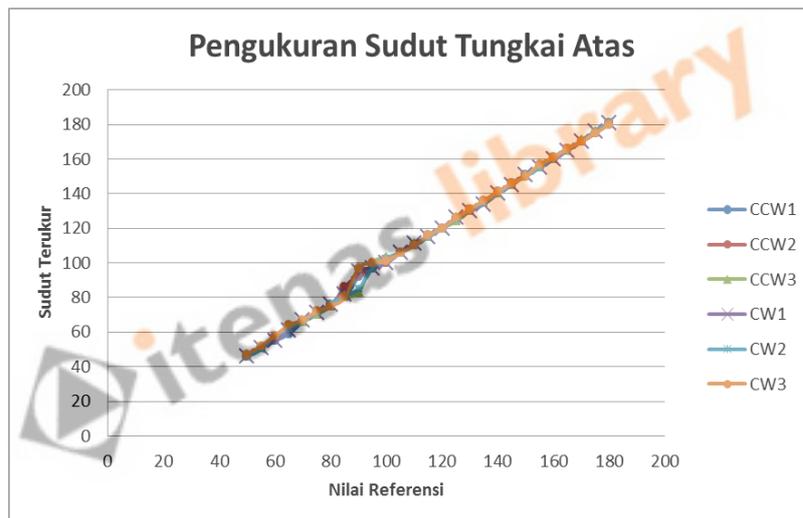
Pengujian dilakukan dengan menempelkan kedua sistem dengan *Goniometer* pada *acrylic* sebagai ilustrasi dari pergerakan sudut yang dibentuk oleh dua tungkai kaki pembentuk sudut tekuk lutut. Pengujian dilakukan terhadap kedua sistem secara bergantian dengan prosedur sebagai berikut:

1. memutar sistem tungkai atas ke arah CCW (*Counter Clock Wise*), setelah itu ke arah CW (*Clock Wise*) dengan kondisi sistem tungkai bawah pada posisi tegak lurus.
2. kemudian pengujian dilanjutkan untuk sistem tungkai bawah dengan memutar ke arah CW lalu CCW dengan posisi sistem tungkai atas tegak lurus

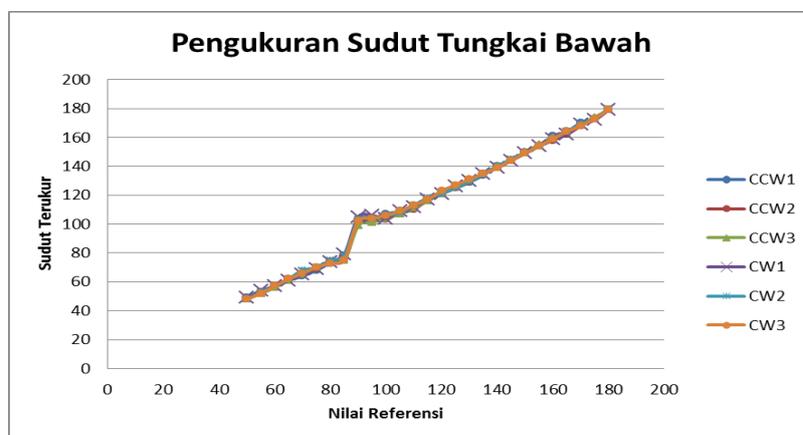
Pengujian kedua sistem di atas dilakukan sebanyak 3 kali untuk masing-masing tungkai, baik ke arah CCW maupun ke arah CW dengan *range* dari sudut 50° sampai dengan 180° . Sudut pengujian diubah dengan kenaikan sudut 5° . Pengambilan data diambil dengan cara membandingkan nilai sudut yang tertera pada layar monitor dan nilai yang tertera pada *Goniometer*, kemudian data diolah menjadi nilai akurasi, histerisis dan presisi dengan persamaan-persamaan matematis.

3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian diperoleh: 3 set data pengukuran sudut (CCW dan CW) tungkai atas terhadap tungkai bawah yang dibuat dalam posisi tegak lurus seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan 3 set data pengukuran sudut (CCW dan CW) tungkai bawah terhadap tungkai atas yang dibuat dalam posisi tegak lurus seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Hasil pengujian 3 set pengukuran sudut tungkai atas terhadap tungkai bawah



Gambar 5. Hasil pengujian 3 set pengukuran sudut tungkai bawah terhadap tungkai atas

Dapat dilihat dari Gambar 4 dan Gambar 5 bahwa nilai sudut terukur oleh sistem bersifat linier terhadap nilai referensi. Hal ini menunjukkan bahwa nilai sudut terukur selalu sama dengan nilai referensi. Demikian juga halnya dengan hasil pengukuran dari 3 set pengukuran, baik untuk pengukuran sudut tungkai atas dan tungkai bawah menunjukkan bahwa hasil pengukuran sudut relatif berhimpit antara satu pengukuran dengan pengukuran lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa baik pengukuran secara CCW maupun CW akan menghasilkan sudut terukur yang relatif stabil.

Namun dapat juga dilihat dari grafik hasil pengukuran (Gambar 4 dan Gambar 5) bahwa telah terjadi *error* pada sudut yang relatif sama yaitu antara sudut 85° sampai dengan 95° , baik pada pengukuran sudut tungkai atas maupun pengukuran sudut tungkai bawah. Kesalahan pengukuran ini disebabkan karena adanya perubahan nilai percepatan sudut sumbu Y (*pitch*) dari positif menjadi negatif pada saat tungkai mendekati sudut 90° sehingga terjadi kesalahan perhitungan pada program di bagian modul kontroler [Perkasa, T. dan Rachmat, H.H., 2017]. Nilai rata-rata akurasi, histerisis dan presisi dari pengukuran sudut tungkai atas dan tungkai bawah ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian parameter akurasi, histerisis dan presisi sistem

Sistem	Akurasi	Histerisis	Presisi
Tungkai Bawah	3°	0.9°	1°
Tungkai Atas	2°	1°	1°

4. Kesimpulan

Dari hasil rancang bangun dan pengujian sistem monitoring pergerakan sudut tekuk lutut berbasis sensor IMU dengan komunikasi *wireless* dapat diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

- Sistem telah dapat melakukan komunikasi data secara *wireless* antar sistem tungkai atas dan sistem tungkai bawah serta antara unit *transmitter* dan unit *receiver*.
- Unit tungkai atas dan unit tungkai bawah secara berurutan memiliki nilai rata-rata akurasi, histerisis dan presisi sebesar 3° , 0.9° , 1° dan 2° , 1° , 1° .

Daftar Pustaka

- [1] Faried76, 2012. Pengaruh osteoporosis terhadap pola jalan (gait) pada lansia (manusia lanjut usia) umur 65-70 tahun. Diunduh pada tanggal 2 Maret 2015 dari <http://www.slideshare.net/faried76/osteoporosis-terhadappolajalan>.
- [2] Kaufman, K.R., Hughes, C., Morrey, B.F., Morrey, M., An, K-N, 2001. Gait characteristics of patients with knee osteoarthritis. *Journal of Biomechanics* 34: 907-915.
- [3] McCarthy, I, Hodgins, D., Mor, A., Elbaz, A., Segal, G., 2013. Analysis of knee flexion characteristics and how they alter with the onset of knee osteoarthritis: a case control study. *BMC Musculoskeletal Disorders* 14: 169.
- [4] Perkasa, T. dan rachmat, H.H., 2017. Perancangan Alat Ukur Sudut Tekuk Lutut Wireless menggunakan Sensor Gyroscope berbasis ATMega 328 dan ATMega 2560. *Jurnal Elkomika* Volume 5 No.1 tahun 2017: 30 - 47.
- [5] Van Diest, M., Stegenga, J., Wörtch, H. J., Postema, K., Verkerke, G.J., Lamothe, C.J.C., 2014. Suitability of kinect for measuring whole body movement patterns during exergaming. *Journal of Biomechanics* 47: 2925-2932.
- [6] Zhou, H., Hu, H., 2008. Human motion tracking for rehabilitation—a survey. *Biomed. Signal Process. Control* 3:1–18.