

Smart lower limb prosthetic based on accelerometer and gyroscope sensor with arduino microcontroller

Reza Mahesa Paksi¹, Ahmad Su'udi², Martinus²

¹Program Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Profesor Dr.Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

² Staf Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Professor Dr.Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145
Email korespondensi: rzmhspks@gmail.com

Abstrak

Prosthetic dalam penggunaannya secara umum sering menyebabkan masalah bagi penggunanya terutama stump yang terluka akibat penggunaannya yang cukup lama dan untuk alasan itu penelitian ini dilakukan. Penelitian ini menggunakan resin dan fiberglass sebagai bahan pembuatan soket prosthetic, sensor accelerometer dan gyroscope sebagai sensor utama. Prosthetic yang dibuat dilengkapi dengan early warning system sebagai peringatan bahwa pengguna prosthetic telah mencapai batas aman sehingga pengguna dapat meminimalisir terjadinya luka pada stump. Hasil penelitiannya adalah berat hasil akhir prosthetic sebesar $\pm 1,2$ kg dengan foot yang memiliki panjang ± 25 cm dan lebar $\pm 8,8$ cm serta memiliki tinggi secara keseluruhan sebesar $\pm 53,4$ cm. Nilai sudut yang dijadikan sebagai batas jumlah langkah pada early warning system yang diperoleh dari penelitian ini adalah $34,75^{\circ}$.

Kata kunci: prosthetic, accelerometer dan gyroscope, sudut, early warning system

Abstract

Prosthetic in its use generally causes problems for its users especially stumps that were injured due to their long-standing use and for that reason the study was conducted. This research uses resin and fiberglass as material of prosthetic socket, accelerometer and gyroscope sensor as main sensor. Prosthetic is made equipped with an early warning system as a warning that prosthetic users have reached a safe limit so that users can minimize the occurrence of injuries to the stump. The result of this research is the weight of prosthetic end result of ± 1.2 kg with foot which have length ± 25 cm and width $\pm 8,8$ cm and have height as big as $\pm 53,4$ cm. The angle value used as the limit of number of steps in the early warning system obtained from this research is $34,75^{\circ}$.

Keywords: prosthetic, accelerometer and gyroscope, angle, early warning system.

1. Pendahuluan

Prosthetic merupakan sebuah alat buatan pengganti anggota tubuh yang hilang, baik karena sebuah kecelakaan, penyakit, ataupun kondisi bawaan lahir. *Prosthetic* secara umum terjadi bagi menjadi dua yaitu *upper limb prosthetic* dan *lower limb prosthetic*. *Upper limb prosthetic* meliputi seluruh anggota bagian tubuh dari pinggul ke atas, termasuk tangan dan bahu. *Lower limb prosthetic* meliputi seluruh bagian dari pinggul ke bawah hingga telapak kaki. Dan kaki palsu merupakan salah satu contoh dari *lower limb prosthetic* yang sering kita jumpai. Namun didalam penggunaan *prosthetic* pun, terdapat batasan waktu yang efektif dalam pemakaiannya. Seperti yang penulis alami, bila menggunakan *prosthetic* dalam waktu yang cukup lama, maka *stump* atau sisa bagian kaki yang diamputasi akan mengalami lecet. Penyebab utamanya adalah gesekan *stump* dengan bagian dalam soket akibat gerakan melangkah serta suhu panas yang ada di dalamnya.

Dengan adanya kendala diatas, pada kesempatan ini, penulis akan membahas tentang *smart lower limb*

prosthetic, dimana *prosthetic* ini bertujuan memberikan peringatan pada penggunanya ketika *prosthetic* yang digunakan sudah mencapai batas yang diizinkan demi melindungi *stump* agar tidak terluka. *Prosthetic* ini akan dirancang dengan menggunakan beberapa sensor seperti *accelerometer* dan *gyroscope*, yang nantinya sensor-sensor ini berfungsi untuk mendeteksi pergerakan dari kaki, membaca jumlah langkah, dll. *Arduino microcontroller* digunakan sebagai *controller* utama dimana sistem ini berlangsung. Sebagai orang yang kehidupan sehari-harinya bergantung pada *prosthetic*, penulis merasakan perlu adanya perkembangan pada beberapa bagian *prosthetic* demi kenyamanan dan kemudahan penggunaannya. Penelitian tentang *smart lower limb prosthetic* ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak di luar sana.

Adapun tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah merencanakan dan membuat *prosthetic* yang dilengkapi *early warning system*, mengetahui nilai suhu yang didapat sensor LM 35, dan mengetahui nilai sudut pada sensor accelerometer dan gyroscope

MPU 6050 serta menerapkannya sebagai batas jumlah langkah pada prosthetic.

Berdasarkan jurnal penelitian Samuel K. Au, disebutkan bahwa “A level-ground walking gait cycle is typically defined as beginning with the heel strike of one foot and ending at the next heel strike of the same foot”, yang mengindikasikan pergerakan bagian tumit pada awal dari siklus gerak jalan manusia Pada prosthetic, selain tumit atau foot, terbuat 2 bagian utama penting yang lain yaitu shank dan socket. Dalam proses pembuatan prosthetic, material untuk membuat bagian-bagian utamanya harus diperhitungkan. Batasan masalah diberikan agar pembahasan dari hasil yang didapatkan lebih terarah. Adapun batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini, yaitu :

1. Microcontroller yang digunakan adalah Arduino Nano V3.0.
2. Sensor gyroscope dan accelerometer yang digunakan adalah tipe MPU6050.
3. Bagian soket dari prosthetic menggunakan bahan dasar resin.
4. Bagian foot dari prosthetic menggunakan leaf spring yang terbuat dari baja/besi.
5. Batas nilai utama yang dijadikan sebagai batas jumlah langkah dalam early warning system pada prosthetic adalah nilai sudut pada gyroscope.

Below-Knee Prosthetic

Setiap alat bantu buatan yang digunakan sebagai pengganti anggota tubuh yang hilang disebut prosthetic. Sesuai namanya, below-knee prosthetic merupakan prosthetic bawah lutut yang bagiannya terdiri meliputi soket, shank, dan foot. Perbedaan utama prosthetic ini dengan above-knee prosthetic terletak pada soketnya, dimana pada above-knee prosthetic terdapat 2 soket untuk bagian paha dan betis yang terhubung. Sedangkan pada below-knee prosthetic, bagian paha yang asli tetap dihubungkan dengan soket untuk betis, hanya saja penghubungnya hanya berperan sebagai pengerat. Umumnya, penghubung ini hanya berupa sabuk ataupun pelindung khusus (deker). Ada beberapa komponen yang terdapat di prosthetic bawah lutut yaitu bagian suspensi, soket, shank, dan foot.

Biomechanic of Lower Limb

Berjalan merupakan fenomena yang sangat penting dalam ruang dan waktu secara fundamental, karena merefleksikan karakteristik pergerakan dari tiap individu. Hal ini dikarakteristikan oleh kontrol tubuh orthogonal, lengkungan tubuh, kepala, dan anggota tubuh bagian atas secara bersamaan, serta cara menggunakan anggota tubuh bagian bawah. Gait cycle atau siklus gerak jalan biasanya didefinisikan dengan dimulainya dengan tumit dari salah satu kaki yang menyentuh lantai dan diakhiri dengan

penyentuhan tumit selanjutnya pada kaki yang sama. Stance phase dimulai ketika tumit menyentuh lantai dan diakhiri dengan pelepasan tumit ketika kaki yang sama diangkat dari permukaan lantai. Pada stance phase, terbagi lagi menjadi 3 urutan yaitu controlled plantar flexion (CP), controlled dorsiflexion (CD), dan powered plantar flexion (PP).

Accelerometer and Gyroscope Sensor

Accelerometer adalah sensor yang mengkonversikan sebuah akselerasi menjadi sebuah sinyal elektrik. Baik akselerasi statik maupun dinamik dapat diukur menggunakan accelerometer dimana akselerasi static disebabkan oleh gaya gravitasi dan akselerasi dinamik adalah akselerasi yang disebabkan oleh gaya apapun kecuali gaya gravitasi yang diterapkan pada sebuah objek tersebut. Keluaran dari accelerometer ini dapat berupa analog ataupun digital. Sedangkan gyroscope merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur tingkat sudut seperti seberapa cepat sebuah objek berbelok. Rotasinya biasanya diukur dalam referensi pada satu hingga tiga sumbu (x,y,z), tergantung pada letak gyroscope itu sendiri. Salah satu poin utama dari pengguna sensor ini yaitu kemampuan dari alatnya yang dapat memberikan sinyal output dengan tingkat sudut yang akurat bahkan bila terdapat getaran maupun gangguan lain di sekitarnya

2. Metode

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yang digunakan selama penelitian adalah pengukur panjang, gergaji besi, obeng, wadah. Dan bahan yang digunakan adalah arduino nano *microcontroller*, sensor *accelerometer* dan *gyroscope* MPU6050, sensor suhu LM 35, resin, *fiberglass*, plester POP, busa hati, dan *leaf spring*.

Diagram Alir

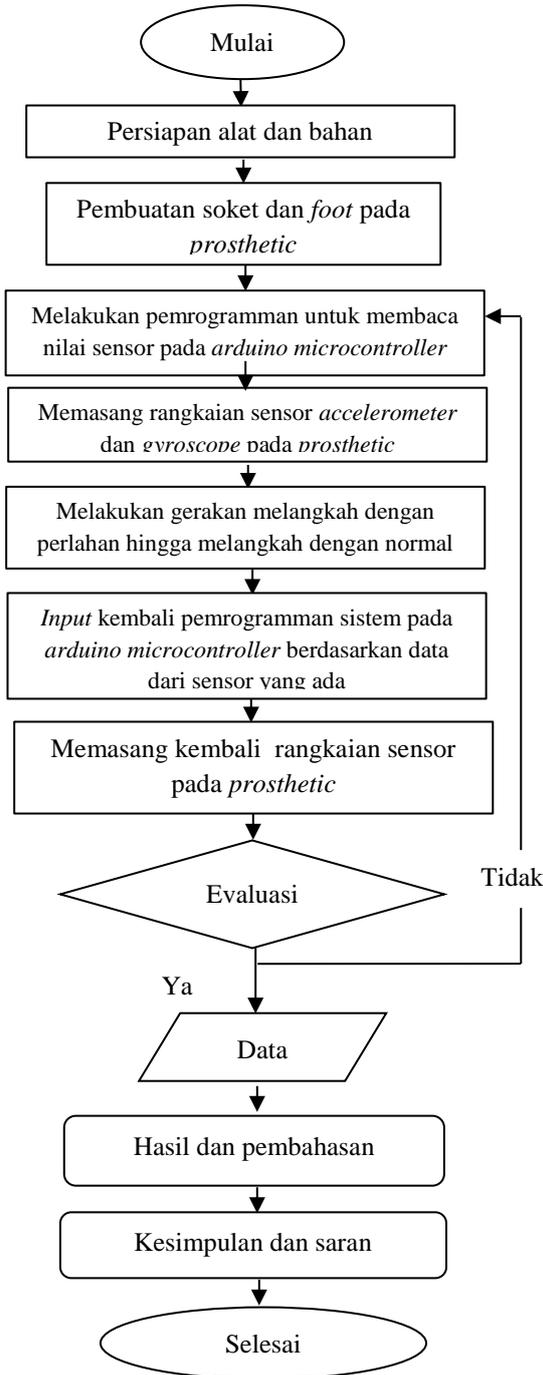
Adapun diagram alir dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.

Prosedur Pengujian

Adapun prosedur pengujian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Siapkan *prosthetic* yang sudah dibuat pada proses sebelumnya.
2. Pasangkan *prosthetic* pada kaki kiri yang akan digunakan sebagai objek utama penelitian. Gunakan kaos kaki dan busa tambahan pada *stump* agar dapat masuk dengan pas dan terasa lebih nyaman.
3. Lakukan gerakan mengangkat paha terlebih dahulu. Biarkan sensor membacanya dan ambil data yang terbaca pada laptop.
4. Lalulakukan gerakan menurunkan paha namun jangan terlebih dahulu memijakkan tumit ke lantai. Biarkan sensor membacanya dan ambil data yang terbaca pada laptop.
5. Setelah itu, lakukan *stance phase* dimulai dengan fase *heel-strike*, fase *plantarflexion*, hingga fase

dorsiflexion. Biarkan sensor membacanya dan ambil data yang terbaca pada laptop.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

6. Lalulakukan *swing phase* dimulai dari fase *toe-off* hingga diakhiri oleh fase *heel-strike* kembali. Biarkan sensor membacanya dan ambil data yang terbaca pada laptop.
7. Lakukan pengulangan mulai dari langkah 4 hingga langkah 7 sebanyak yang diperlukan.

8. Bila data sudah cukup, maka buat sistem otomasi dengan memasukkan program perintah pada arduino dengan bantuan *software* yang ada.
9. Setelah selesai melakukan input program yang diinginkan, hubungkan dengan *early warning actuator* berupa *buzzer*.
10. Lakukan percobaan *stance phase* dan *swing phase* kembali. Dan lihat amati dan rasakan perubahan pada *normal gait* kita.
11. Bila sistem berfungsi dengan baik, maka selesailah proses pengujian penelitian. Bila sistem masih belum berfungsi dengan baik, lakukan pengulangan mulai dari langkah 4 hingga selesai.

Kriteria Keberhasilan Prosthetic

Sesuai judul dari penelitian ini, *Smart Lower Limb Prosthetic*, maka *prosthetic* yang dibuat pun harus memiliki *smart system* sesuai dengan tujuan yang ada. Berikut adalah kriteria keberhasilan dari *smart prosthetic* ini :

1. *Prosthetic* harus memiliki tinggi yang serupa dengan kaki yang satunya.
2. *Prosthetic* dapat menghitung besar jumlah langkah yang telah dilakukan serta dapat memberikan sinyal *early warning* pada pengguna.
3. *Prosthetic* dapat menghitung besar suhu pada bagian dalam soket.
4. *Buzzer* atau alarm yang digunakan dapat merespon sistem yang ada secara cepat tanpa adanya *delay*.

3. Hasil dan Pembahasan

Bentuk Akhir Smart Prosthetic

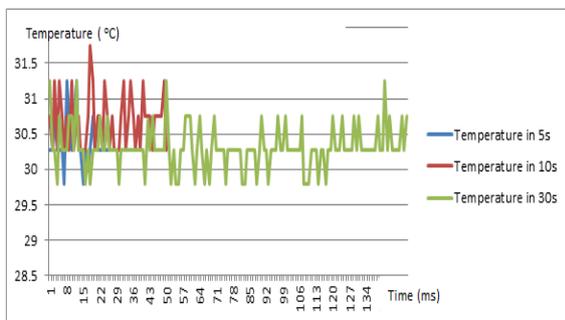
Rangkaian *sensor system* diletakkan pada bagian belakang dari *prosthetic* dimana bagian ujung dari sensor suhu terhubung dengan bagian dalam soket. berat dari keseluruhan dari *smart prosthetic* ini adalah $\pm 1,2$ kg dengan tinggi $\pm 53,4$ cm. Berat tersebut terbilang cukup ringan. Seperti yang disebutkan sebelumnya, *smart prosthetic* ini menggunakan bahan berupa resin dan *fiberglass* sehingga menghasilkan soket yang ringan. Faktor lainnya adalah pembuangan beberapa sisi pada bagian *foot* yang sudah dilakukan. Panjang dari *foot* ini adalah ± 25 cm dengan lebar $\pm 8,8$ cm. Berat yang bahkan tidak melebihi 1,5 kg ini akan meringankan beban pada pengguna *prosthetic* itu sendiri. Gambar dibawah adalah bentuk akhir dari *smart prosthetic* pada penelitian ini.



Gambar 2. Bentuk akhir Smart Prosthetic

Hasil Pengujian Sensor Suhu LM 35

Berdasarkan pengujian, hasil dari nilai rata-rata yang diperoleh adalah 30,45 °C. Nilai ini lah yang akan dijadikan sebagai batas pada sistem yang akan dipasang pada *smart prosthetic* pada penelitian ini. Serta nilai ini akan menjadi salah satu *input* dalam program untuk mengaktifkan *buzzer*. Pengujian pada penelitian ini dilakukan pada suhu ± 29 °C. Berikut adalah grafik dari hasil pengujian sensor suhu LM 35.

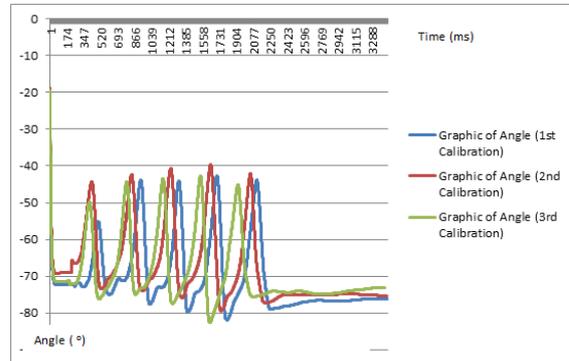


Gambar 3. Grafik gabungan hasil pengujian sensor suhu LM 35

Walaupun ada kemungkinan bahwa ada faktor dari suhu di sekitar pengguna atau di mana pengguna berada, namun pada penelitian ini kita abaikan faktor tersebut. Karena pada dasarnya, variasi suhu ruangan atau sekitar tidak masuk dalam batasan pada penelitian ini. Dan hal itu merupakan salah satu alasan yang cukup baik, karena bila nilai *input* dari sensor suhu cukup tinggi atau cukup rendah, hal tersebut akan mengganggu sistem itu sendiri apabila pengguna *prosthetic* berada pada suatu lingkungan dengan suhu tertentu.

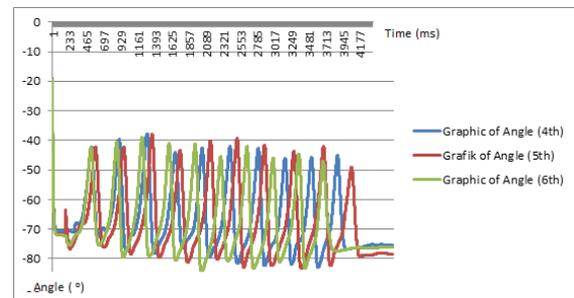
Hasil Pengujian Sensor Accelerometer dan Gyroscope

Pengujian dengan sensor *accelerometer* dan *gyroscope* dilakukan dengan 3 macam pengambilan yaitu pengujian dengan pengambilan 5 langkah, pengambilan 10 langkah, dan pengambilan 20 langkah. Dimana di tiap pengujian dilakukan 3 kali percobaan. Berikut adalah gabungan grafik sudut dari ketiga pengujian saat mengambil 5 langkah.



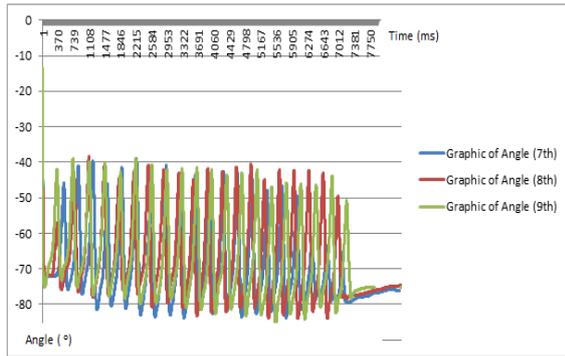
Gambar 4. Gabungan grafik sudut pengujian pengambilan 5 langkah

Sudut rata-rata yang diperoleh adalah 31,84°. Setelah melakukan pengujian pengambilan 5 langkah, berikutnya adalah pengujian pengambilan 10 langkah. Berikut adalah grafik gabungan dari ketiga pengujian pengambilan 10 langkah.



Gambar 5. Gabungan grafik sudut pengujian pengambilan 10 langkah

Seperti pengujian pertama, grafik sudut pengujian ketiga pada pengambilan 10 langkah terlihat stabil. Pada dasarnya pengujian kedua pun stabil, hanya saja terdapat satu *error* seperti yang kita bahas sebelumnya. Sudut rata-rata yang didapat pada pengujian kali ini adalah 36,76°. Setelah dilakukan pengujian dengan pengambilan 5 langkah dan pengambilan 10 langkah, selanjutnya adalah pengujian terakhir yaitu pengambilan 20 langkah. Walaupun data yang didapat berdasarkan pengujian 5 langkah dan 10 langkah sudah terbilang cukup, kita membutuhkan data lebih agar data yang dimiliki bisa lebih valid. Berikut adalah grafik gabungan dari ketiga pengujian pengambilan 20 langkah.



Gambar 6. Gabungan grafik sudut pengujian pengambilan 20 langkah

Seperti yang kita lihat diatas, pengujian saat pengambilan 20 langkah kali ini lebih stabil bila dibandingkan dengan dua pengujian sebelumnya. Sudut rata-rata yang diperoleh pada pengujian kali ini adalah 35,89°. Untuk lebih jelasnya lagi mari kita lihat pada tabel dibawah berikut.

Tabel 1. Nilai sudut rata-rata hasil pengujian sensor *accelerometer* dan *gyroscope*.

5-Step	10-Step	20-Step
31,22°	36,76°	33,75°
32,78°	37,93°	35,86°
31,84°	36,76°	35,89°

Berdasarkan data diatas, sudut terkecil adalah 31,22°, sudut terbesar adalah 37,93°. Dan berdasarkan rumus diatas, nilai sudut rata-rata secara keseluruhan adalah 34,75°.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang smart prosthetic yang telah dilakukan dengan melakukan beberapa pengujian yang berdasarkan sensor suhu LM 35 serta sensor *accelerometer* dan *gyroscope* dengan arduino microcontroller sebagai controller nya, diperoleh beberapa simpulan yaitu berat hasil akhir prosthetic cukup ringan yaitu hanya sebesar $\pm 1,2$ kg. Foot memiliki panjang ± 25 cm dan lebar $\pm 8,8$ cm. Serta tinggi prosthetic secara keseluruhan adalah $\pm 53,4$ cm. Lalu diperoleh batas suhu yang diperoleh dari sensor suhu LM 35 adalah 30,45 °C dan batas nilai data sudut yang didapat dari sensor *accelerometer* dan *gyroscope* MPU 6050 adalah 34,75°

Ucapan Terima Kasih

Berisi ucapan terima kasih kepada pihak yang telah memberi dukungan dalam penelitian, baik berupa sarana maupun dana terhadap penelitian yang telah dilakukan.

Daftar Pustaka

- [1] Agarwal, A. K. 2013. *Essentials of Prosthetics and Orthotics*. New Delhi : Jaypee Brothers Medical Publishers (P) LTD.
- [2] Au, Samuel K., Jeff Weber, Hugh Herr. 2010. *Biomechanical Design of a Powered Ankle-Foot Prosthesis*. Netherland : International Conference on Rehabilitation Robotics.
- [3] Luinge, H. J., P. H. Veltink. 2005. *Measuring Orientation of Human Body Segments Using Miniature Gyroscopes and Accelerometers*. Netherlands : Department of Electrical Engineering.
- [4] Naghshineh, S., Golafsoun Ameri, Mazdak Zereshki. 2009. *Human Motion Capture Using Tri-Axial Accelerometers*. Dr. Abdoli- Eramaki's laboratory.
- [5] Pitkin, Mark R. 2010. *Biomechanics of Lower Limb Prosthetic*. Germany : Springer Verlag GmbH.
- [6] Soloman, Sabrie. 2010. *Sensors Handbook 2nd Edition*. United States : The McGraw-Hill Companies Inc
- [7] V., Rajt'ukova, Michalikova, M., Bednarcikova, L., Balogova, A., Zivcak, J. 2014. *Biomechanics of Lower Limb Prosthesis*. Slovakia : Modelling of Mechanical and Mechatronic Systems MmaMS.