

Analisis Sistem Kendali Sendi *Exoskeleton* Robotik untuk Pola Pergerakan Manusia Normal

Nova Silvia, T. Jhon Warif Hasibuan, Rony Harjon Lumbantobing, Budiana*

Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

*Email: budiana@polibatam.ac.id

Abstrak— Salah satu alat yang dapat digunakan untuk membantu pergerakan tubuh manusia adalah dengan menggunakan sendi *exoskeleton*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengaplikasikan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dengan menggunakan C# dalam pengaturan besar torsi yang telah ditentukan dan arah putaran motor ke *driver motor*, serta mengubah sinyal input berupa sudut fase berjalan menggunakan metode *Fuzzy Logic Clasification*. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa dengan mengontrol arus yang diberikan sebesar 2215 mA menghasilkan variasi dari tiap fase gaya berjalan sehingga diketahui pola pergerakan manusia. Berdasarkan panjang lengan beban sebesar 40 cm didapatkan gaya sebesar 5,53 N.

Kata kunci: Sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU), Arduino, Motor DC *Brushless*, FLC

I. PENDAHULUAN

Berjalan merupakan Aktivitas gerak tubuh yang dilakukan manusia sehari-hari. Jika aktivitas tersebut terus dilakukan misalnya ketika seseorang sibuk bekerja maka akan menimbulkan kelelahan pada sendi-sendi *exoskeleton*. Berdasarkan hal tersebut maka untuk mengurangi rasa lelah tersebut dibutuhkan alat berupa prototipe *exoskeleton*. Penerapan *exoskeleton* dalam dunia industri bertujuan untuk membantu manusia dalam melakukan aktivitas yang membutuhkan tenaga yang besar, yang pada dasarnya diluar kemampuan manusia seperti mengangkat benda dan memindahkan benda yang berat. Sedangkan dalam dunia medis penerapan *exoskeleton* digunakan untuk membantu manusia karena kondisi tertentu tidak mampu melakukan aktivitas layaknya manusia normal.

Exoskeleton ini berbentuk prototype ringan yang dapat dikendalikan menggunakan motor listrik serta sensor dari pergerakan otot manusia [1]. Terdapat penelitian tentang *exoskeleton* mulai dari struktur dan analisis *exoskeleton* melalui pemodelan sampai dengan pengontrolan manual pada sistem sendi *exoskeleton* [2]. Selain dari itu, beberapa penelitian yang telah dilakukan diperoleh suatu informasi bahwa *exoskeleton* berupa prototipe memiliki manfaat bagi manusia sehingga tentu diperlukan suatu penelitian lanjut mengenai

gerak berjalan pada manusia [3]. Dalam melakukan gerak berjalan manusia pada *hip exoskeleton*, tentunya diperlukan suatu sistem yang berguna untuk mengontrol arus dan arah putaran pada motor. Motor yang digunakan berfungsi untuk menggerakkan sendi *exoskeleton* tersebut. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian yang khusus mengenai sendi *exoskeleton* yang dapat diaplikasikan pada manusia normal. Dengan metode *Fuzzy Logic Controller* (FLC) maka akan didapatkan fase-fase berbeda pada saat berjalan, dimana fase ini terdiri atas 7 fase yang meliputi fasa-fasa sebagai berikut *loading response*, *mid stance*, *terminal stance*, *pre swing*, *mid swing*, *terminal swing*, dan *heel strike* yang disebut *Gait Cycle* [4]. Metode FLC memiliki kelebihan dibandingkan dengan beberapa metode lainnya yaitu mampu menyesuaikan sistem kendali *exoskeleton* dengan pola berpikir manusia, dapat mengendalikan arah putaran dan nilai arus sehingga dapat menghasilkan nilai torsi yang diinginkan [5].

II. METODE PENELITIAN

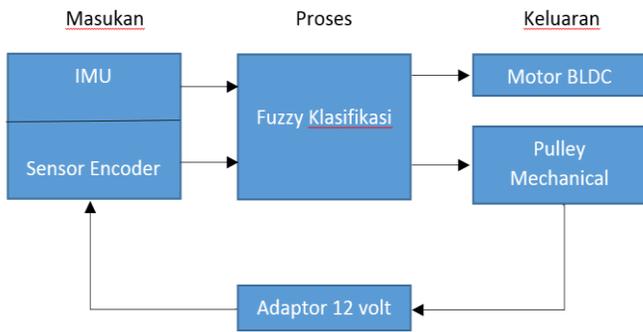
Perancangan sistem pembuatan alat terbagi atas 2 bagian pokok, yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak.

A. Perancangan Perangkat Keras

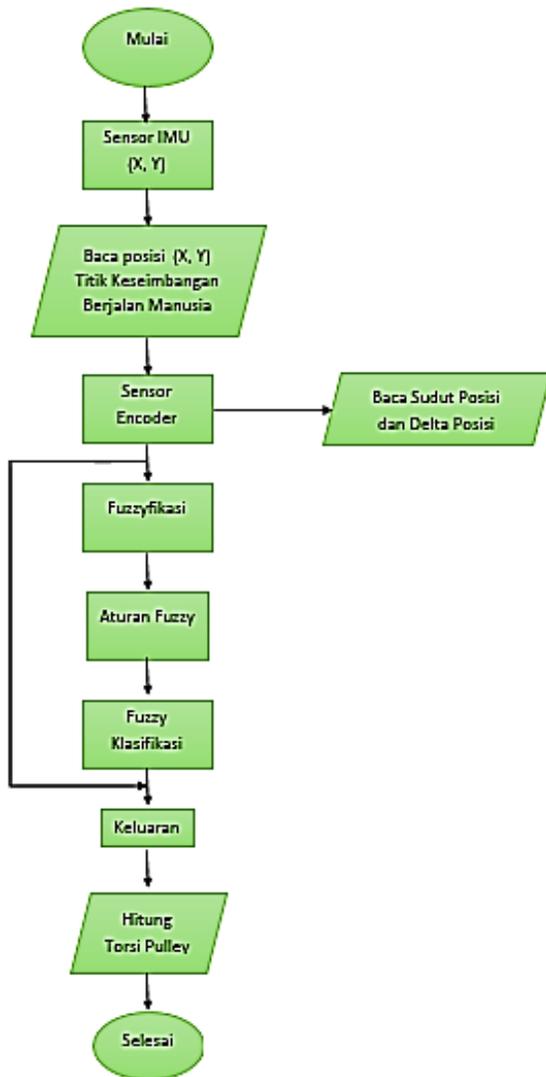
Dalam perancangan perangkat keras, sistem kendali sendi *exoskeleton* ini meliputi 3 pembagian, yaitu masukan (*input*), proses (*process*), dan keluaran (*output*). Untuk perangkat keras yang digunakan adalah menggunakan bahan dasar dari aluminium. Alat penggerak yang digunakan adalah motor *Brushless Direct Current* (BLDC). Gambar 1 adalah diagram blok sistem kerja alat kendali robot *exoskeleton*. Penjelasan diagram blok sistem kerja alat adalah sebagai berikut:

1) *Input*

Input pada alat ini Sensor IMU memiliki fungsi untuk mendeteksi pergerakan berjalan dan mengatur nilai torsi yang diinginkan pada motor.



Gambar. 1. Blok sistem kerja alat



Gambar. 2. Flowchart sistem kendali robot exoskeleton bagian hip

2) Proses

Pada proses ini yang bekerja adalah *Personal Computer* (PC) yang berfungsi untuk mengolah data dengan metode FLC yang dikirimkan ke layar monitor PC. Sinyal sensor fase berjalan kemudian diolah dan dikirim ke *driver* motor untuk mengatur arah dan besar torsi motor.

3) Output

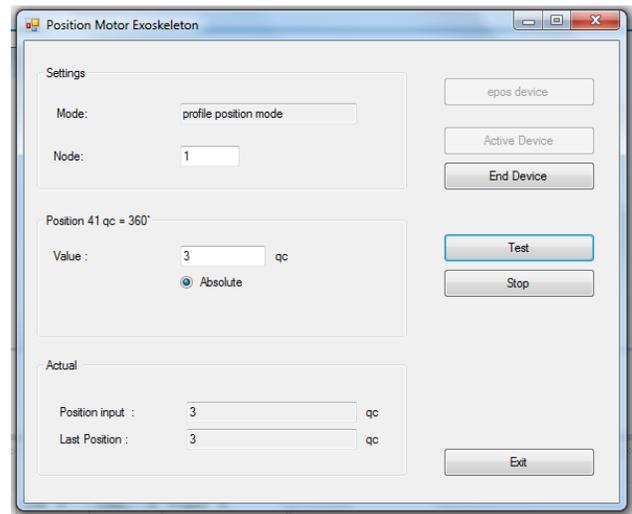
Output pada alat ini adalah berupa arus yang berfungsi untuk mengatur arah dan mendapatkan besar torsi pada motor BLDC. Dengan metode Fuzzy, fase berjalan dibagi menjadi 7 fase yaitu: *loading response*, *mid stance*, *terminal stance*, *pre swing*, *mid swing*, *terminal swing*, dan *heel strike*.

B. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak menggunakan C#, yang digunakan untuk melihat hasil dari nilai torsi dan arah putaran motor dengan bentuk tabel. Pengguna dapat mengetahui grafik dan nilai tekanan dari alat sehingga, pergerakan motor menunjukkan nilai besar torsi dan arah putaran motor dari alat tersebut. Gambar 2 menjelaskan sistem kendali robot exoskeleton bagian hip.

C. Pengujian Motor

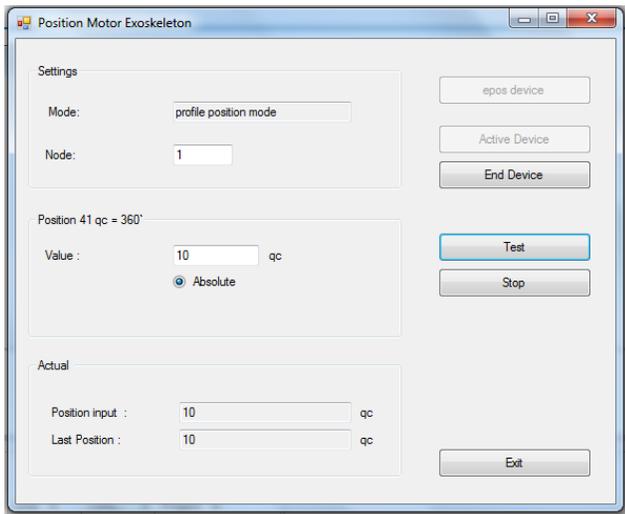
Graphical User Interfaces (GUI) yang digunakan di C# dan pengambilan data dalam menentukan fase gaya berjalan dengan pengujian sudut masing-masing motor ditampilkan pada Gambar 2 dan Gambar 4. *Interface* ini adalah tempat pengguna mengontrol dan memberikan perintah ke alat (lihat Gambar 3 dan Gambar 5) melalui tombol-tombol yang telah di sediakan. Tampilannya didesain sederhana agar setiap orang dapat dengan mudah memahami dan menggunakan *interface* ini.



Gambar. 2. Tampilan C# dengan sudut 0°



Gambar. 3. Tampilan posisi rotor BLDC dengan sudut 0°



Gambar. 4. Tampilan pada C# dengan sudut 90°



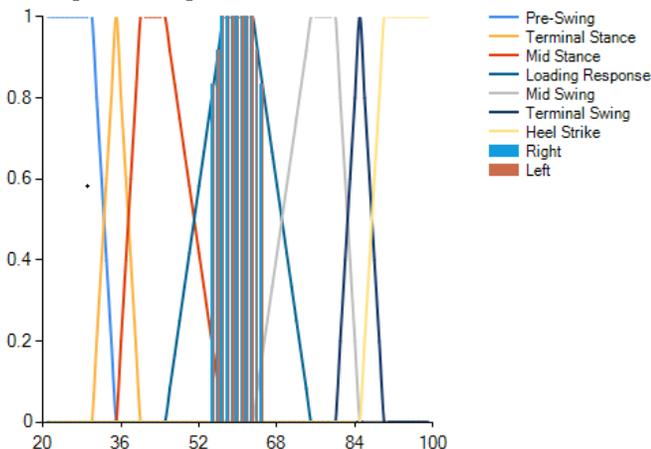
Gambar. 5. Tampilan posisi rotor BLDC dengan sudut 90°

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan langkah yang dilakukan dengan menggunakan percobaan pada Fuzzy, klasifikasi yang telah dilakukan akan menghasilkan respon yang berbeda-beda. Respon yang dihasilkan dari pengujian adalah *frame* gaya berjalan manusia dan arus yang dikontrol pada motor dapat menghasilkan torsi sebagai berikut:

A. *Frame* Gaya Berjalan Berdasarkan Metode Fuzzy

Pada percobaan analisis gaya berjalan menggunakan Fuzzy klasifikasi diperoleh hasil *frame* yang memiliki sudut berbeda-beda dapat dilihat pada Gambar 6.

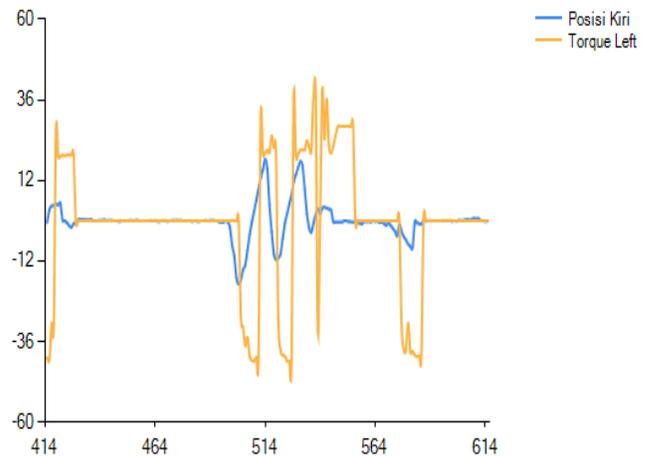


Gambar. 6. *Frame* klasifikasi gaya berjalan

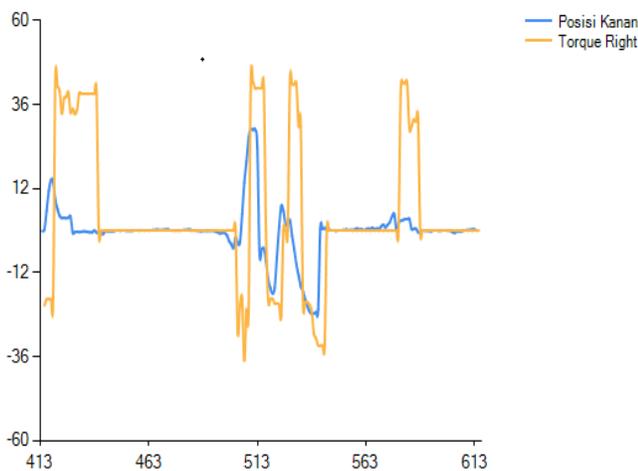
Dapat dilihat pada Gambar 6 bahwa *frame* terdiri dari 7 fase yaitu *Terminal Stance*, *Pre-swing*, *Mid Stance*, *Loading Resoponse*, *Mid Swing*, *Terminal Swing*, dan *Heel Strike*. Tabel I menyajikan data yang dihasilkan dari klasifikasi Fuzzy *frame* gaya berjalan.

TABLE I
KLASIFIKASI *FRAME* GAYA BERJALAN MANUSIA

Sudut Posisi Kiri	Sudut Posisi Kanan	Fase Berjalan Kaki Kiri	Fase Berjalan Kaki Kanan
2,91	6,44	<i>Loading Response</i>	<i>Loading Response</i>
2,7	19,93	<i>Loading Response</i>	<i>Loading Response</i>
-11,13	-7,49	<i>Mid Swing</i>	<i>Mid Stance</i>
0,34	-7,98	<i>Terminal Swing</i>	<i>Mid Stance</i>
22,69	-6,52	<i>Mid Swing</i>	<i>Mid Stance</i>
28,61	-0,32	<i>Loading Response</i>	<i>Mid Stance</i>
28,55	11,44	<i>Terminal Stance</i>	<i>Mid Stance</i>
27,95	23,46	<i>Pre Swing</i>	<i>Loading Response</i>
28,48	5,19	<i>Pre Swing</i>	<i>Mid Swing</i>
27,73	-2,85	<i>Pre Swing</i>	<i>Mid Swing</i>
26,15	-18,31	<i>Pre Swing</i>	<i>Mid Swing</i>
-5,97	-28,32	<i>Pre Swing</i>	<i>Loading Response</i>
-16,29	-31,72	<i>Terminal Stance</i>	<i>Mid Stance</i>
-29,83	-32,61	<i>Mid Swing</i>	<i>Pre-Swing</i>
-30,23	-33,13	<i>Mid Swing</i>	<i>Pre-Swing</i>
5,47	-32,68	<i>Heel Strike</i>	<i>Pre-Swing</i>
9,9	-30,16	<i>Heel Strike</i>	<i>Pre-Swing</i>
5,73	1,37	<i>Mid Stance</i>	<i>Pre-Swing</i>
10,55	1,91	<i>Mid Stance</i>	<i>Pre-Swing</i>
14,42	0,15	<i>Mid Stance</i>	<i>Loading Response</i>
32,02	1,39	<i>Pre Swing</i>	<i>Loading Response</i>
31,35	-0,33	<i>Pre Swing</i>	<i>Loading Response</i>
-11,78	0,49	<i>Mid Swing</i>	<i>Loading Response</i>
10,44	27,03	<i>Loading Response</i>	<i>Loading Response</i>



Gambar. 7. Respon motor dengan arus 2215 mA pada motor kiri



Gambar. 8. Respon motor dengan arus 2215 mA pada motor kanan

B. Pengontrolan Motor untuk Mendapatkan Besar Torsi

Untuk mengetahui besar torsi, maka dilakukan percobaan pada kendali arus motor BLDC dengan arus maksimal 4430 mA. Dari data yang dihasilkan, kita dapat menghitung jumlah torsi yang digunakan pada proses berjalan dengan identifikasi persamaan (1). Pengujian motor BLDC dengan arus 2215 mA, dihasilkan data pada Gambar 7 dan Gambar 8.

$$torsi = \frac{input_arus}{arus_max_continous} \times torsi_maximum \quad (1)$$

Dengan referensi pada Motor DC Brushless yang memiliki arus maximum sebesar 4430mA dan nilai torsi maximum sebesar 227 mNm, maka dapat dilakukan perhitungan dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel II.

Perhitungan gaya yang diberikan untuk pola pergerakan manusia normal dapat diketahui melalui perhitungan rumus torsi. Jika besaran torsi yang diberikan (*torsi*) adalah sebagai 2215 mNm dan panjang lengan *hip exoskeleton* (*r*) sebesar 40 cm, maka didapatkan hasil analisa gaya pola pergerakan manusia sebesar 5.53 N. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} torsi &= F \times r \\ 2,215 &= F \times 0,4 \\ F &= 5,53 \text{ N} \end{aligned}$$

IV. KESIMPULAN

Perancangan alat menggunakan metode FLC yang dirancang mampu menampilkan klasifikasi *frame* gaya berjalan dengan 7 pola berjalan manusia. Nilai Maksimum torsi kaki kiri yang dihasilkan adalah sebesar 129,11 mNm sedangkan nilai torsi kaki kanan adalah sebesar 193, 83 mNm. Gaya yang dihasilkan adalah sebesar 5,53 N, yang diperoleh dengan menggunakan panjang lengan 40 cm dan arus yang dikontrol bernilai 2215 mA.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Program

Kreativitas Mahasiswa Penelitian (PKM-P), juga kepada Hendawan Soebakti, M.T., Susanto, M.Sc., dan Daniel Sutopo Pamungkas, Ph.D.

TABLE II
HASIL PENGONTROLAN ARUS 2215 MA

Arus Kaki Kiri (mA)	Arus Kaki Kanan (mA)	Torsi Kaki Kiri (mNm)	Torsi Kaki Kanan (mNm)
-1946,8	-1946,8	126,92	-151,00
2096,28	2096,28	-192,94	158,66
-952	-952	128,68	-100,02
-923,2	-923,2	128,68	-98,55
-996,8	-996,8	107,50	-102,32
-1012,8	-1012,8	107,50	-103,14
-908,4	-908,4	-193,46	-97,79
-908,4	-908,4	-143,43	-97,79
2063,72	2063,72	-157,99	208,23
1782,62	1782,62	-157,99	193,83
1782,62	1782,62	-161,19	193,83
-1410	-1410	-176,61	-174,73
-1194	-1194	-197,87	-112,42
-1093,2	-1093,2	129,11	-107,26
-1449,2	-449,2	129,11	-176,74
-1644,4	-1644,4	129,11	-186,74
-1644,4	-1644,4	129,11	-186,74
-1644,4	-1644,4	129,11	-186,74
-1644,4	-1644,4	-214,31	-186,74
-1644,4	-1644,4	-214,25	-186,74
-1644,4	-1644,4	-196,43	-186,74
-1644,4	-1644,4	-196,43	-186,74
-946,8	-946,8	-200,08	-151,00
-444	-444	100,04	-176,48

REFERENSI

- [1] Zheng, E. et al. 2017 'Gait phase estimation based on noncontact capacitive sensing and adaptive oscillators', *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 64(10) ,2419–2430.
- [2] Sado F, Y. H. 2018 'Exoskeleton robot control for synchronous walking assistance in repetitive manual handling works based on dual unscented Kalman filter'. *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia*, 13(7) 1-36.
- [3] Gopura, R. A. 2009 'Development and Control of Upper-Limb Exoskeleton Robots'. *A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the Doctor of Philosophy degree in Robotics and Intelligent Systems, Department of Advanced Systems Control Engineering, Graduate School of Science and Engineering, Saga University, Japan*(September), 3-79.
- [4] Aguirre-Ollinger, G.,Nagarajan, U., and Goswami, A. 2016 'An admittance shaping controller for exoskeleton assistance of the lower extremities', *Autonomous Robots*, 40(4), 701–728.
- [5] Yulianta, A. D., Hadi, S. P. and Suharyanto 2015 'Pengendalian Kecepatan Motor Brushless dc Menggunakan Metode Logika Fuzzy', *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, 8(1), 1–9.