

# PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI TANGAN ROBOT BUATAN DENGAN MENGGUNAKAN ELEKTROMIOGRAM

## DESIGN AND IMPLEMENTATION ARTIFICIAL HAND ROBOT USING ELECTROMYOGRAM

<sup>1</sup>Ezra Meliora Nainggolan, <sup>2</sup>Angga Rusdinar, <sup>3</sup>Unang Sunarya

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Jalan Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

<sup>1</sup>[ezrameliora@students.telkomuniversity.ac.id](mailto:ezrameliora@students.telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[angga.rusdinar@telkomuniversity.ac.id](mailto:angga.rusdinar@telkomuniversity.ac.id),

<sup>3</sup>[unangsunarya@telkomuniversity.ac.id](mailto:unangsunarya@telkomuniversity.ac.id)

### Abstrak

*Artificial hand robot* merupakan salah satu pengaplikasian robot dalam bidang medis. Tangan robot buatan digunakan sebagai alat bantu bagi penderita yang memiliki cacat pada bagian tangan.

Pada penelitian ini dirancang sebuah *artificial hand robot* yang bekerja berdasarkan sinyal otot. *Electromyogram* digunakan sebagai sensor untuk menangkap sinyal yang dihasilkan dari pergerakan otot[1]. *Fuzzy logic* digunakan untuk mengolah data dari EMG. Metode fuzzy digunakan karena memiliki sifat yang adaptif dan memiliki tingkat kepresisian yang tinggi[13]. Pada perancangan digunakan motor servo.

Data kekuatan tangan saat menggenggam dan mengangkat dapat digunakan untuk mengatur kecepatan dan besarnya sudut motor servo. Hasil dari perancangan hampir sesuai dengan yang diharapkan, namun masih terdapat ketidaksesuaian pada beberapa bagian, salah satunya pergeseran frekuensi *cut-off* pada LPF dan HPF. Elektromiogram dikuatkan sebesar 500kali. Nilai ADC yang dihasilkan sudah dapat sesuai dengan yang diharapkan sehingga dapat diolah oleh mikrokontroler untuk menggerakkan motor servo. Perbedaan gerakan dan kekuatan menghasilkan nilai ADC berkisar dari 500–800. Tangan robot sudah dapat bergerak dengan sesuai pergerakan tangan dengan tingkat akurasi 80%

Kata kunci : *electromyogram, artificial hand robot, fuzzy logic, LPF, HPF, ADC*

### Abstrac

*Artificial hand robot is one of robotic application in the medical field. Hand-made robot is used as a device to help people with muscle disabilities in the hand.*

*In this final project designed an artificial hand robot that works by muscle signals. Electromyogram is used as a sensor to capture the signal generated from muscle movement. Fuzzy logic is used to process data from EMG. The fuzzy method is used because it has adaptive properties and has a high level of accuracy. In the design of the servo motors used as the driving of the robot's hand.*

*In the end, the data arm strength when gripping and lifting can be used to control the speed and magnitude of the angle servo motors. Results of design almost as expected, but still there is a mismatch in some parts, one of which cut-off frequency shift on LPF and HPF. ADC values can already be produced as expected so it can be processed by a microcontroller to drive the servo motor. Differences movement and strength to produce the ADC value ranges from 500-700. Artificial hand robot can already move with corresponding movement of a hand with acuration 80%.*

*Keywords : electromyogram, artificial hand robot, fuzzy logic, LPF, HPF, ADC*

### 1. Pendahuluan

Robot merupakan hasil rekayasa teknologi yang dirancang untuk mempermudah pekerjaan manusia. Robot dirancang dari perangkat mekanik yang mampu menjalankan perintah fisik, baik di bawah kendali dan pengawasan manusia, ataupun yang dijalankan dengan serangkaian program yang telah didefinisikan terlebih dahulu atau kecerdasan buatan.[1] Robot banyak dijumpai di berbagai tempat dan digunakan untuk kepentingan antara lain, merakit benda berteknologi nano, merakit kendaraan, mengangkat benda berat, menjelajah ruang dan mengoperasi pasien dirumah sakit.

*Artificial hand* merupakan alatnya yang dirancang untuk penderita cacat tangan khususnya yang tidak memiliki tangan akibat cedera ataupun karena amputasi. *Artificial hand* menggantikan fungsi tangan yang sudah tidak berfungsi lagi. Robot ini dirancang dengan menggunakan sinyal EMG yang diambil dari otot bisep dan otot FDS.

Sinyal EMG direkam dengan menggunakan elektroda yang ditempelkan dipermukaan kulit. Sinyal EMG memiliki frekuensi berkisar 50-500Hz dan amplitude 10mV. Sinyal keluaran EMG dikuatkan sebanyak 500 kali untuk mendapatkan tegangan yang memenuhi. Sinyal tersebut difilter dengan menggunakan filter HPF dan BPF untuk menghilangkan derau yang terekam. Sinyal EMG tersebut menjadi input untuk tangan robot buatan. Sinyal keluaran EMG akan diproses dengan *fuzzy logic* untuk menentukan gerak tangan robot.

## 2. Artificial Hand Robot

*Artificial hand robot* merupakan perangkat industri yang menggantikan fungsi tangan manusia[2]. Pada bidang medis, robot ini digunakan untuk mengoperasi pasien dan juga digunakan sebagai tangan pengganti bagi pasien yang memiliki cedera pada tangan, khususnya yang mengalami amputasi tangan. Tangan robot digunakan menggantikan fungsi tangan seperti mengambil benda, meletakkan dan menggenggam. *Artificial hand robot* dilengkapi dengan kontroler yang berfungsi sebagai otak dari tangan buatan tersebut.

### 2.1 Motor Servo

Motor servo merupakan motor DC yang bersifat *closed loop*. Motor servo salah satu aktuator yang berputar pada rotasi yang memiliki spesifikasi control posisi yang presisi. Motor servo disusun oleh motor DC, *gear box*, variable resistor, dan rangkaian control. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas maksimum dan minimum putaran sumbu servo [6].

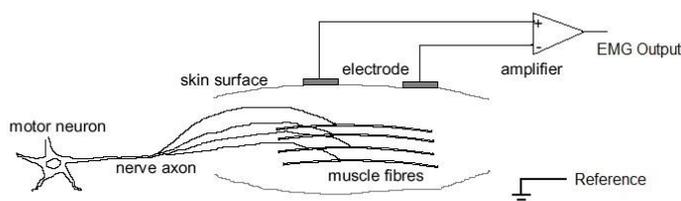
## 3. EMG

*Electromyograph* (EMG) merupakan salah satu dari sinyal biologis yang pada umumnya digunakan sebagai sinyal input kontroler berbagai aplikasi dikarenakan sinyal tersebut merupakan refleksi dari tingkat aktivitas otot. *Electromyogram* merupakan metode yang digunakan untuk merekam dan menganalisis sinyal *myoelectric*. Selain sebagai sinyal input pada suatu kontroler, EMG juga digunakan sebagai terapi kelumpuhan, fisioterapi, penelitian medis dan pengukuran aktifitas otot olahragawan[3].

### 3.1 Pengambilan Sinyal EMG

Proses pengambilan sinyal EMG pada umumnya dapat dilakukan dengan menggunakan elektroda. Elektroda merupakan alat yang berfungsi mengubah arus dari ion tubuh menjadi arus elektron. Elektroda digunakan untuk menangkap sinyal EMG dan juga sebagai *grounding* yang ditempelkan pada daerah yang memiliki resistansi tubuh yang kecil. Peletakkan elektroda dapat langsung ditempelkan pada bagian otot yang ingin diperiksa.

Pada proses pengambilan sinyal elektromyografi, elektroda ditempatkan berdasarkan *bipolar configuration*. *Bipolar configuration* digunakan untuk mendapatkan sinyal EMG dengan menggunakan dua elektroda surface dan satu elektroda sebagai referensi[12].



Gambar 3.1 Bipolar electrode configuration[12]

### 3.2 Differential Amplifier

Differential amplifier merupakan amplifier yang digunakan untuk mencari selisih tegangan dari dua sinyal yang masuk. Tegangan Output merupakan tegangan tunggal yang mengacu pada ground biasanya disebut *single-ended-voltage*.

### 3.3 Filter

Filter merupakan penyaring yang berfungsi menyaring frekuensi yang diinginkan dan meredam frekuensi yang tidak diinginkan. Pada umumnya filter terdiri dari filter aktif dan filter pasif. Filter aktif merupakan gabungan transistor dan Op-Amp. Filter aktif dapat dirancang menggunakan *Low Pass Filter*, *High Pass Filter*, *Band Pass Filter* dan *Band Stop Filter*[5].

### 3.4 Clamper

Rangkaian clamper merupakan rangkaian yang digunakan untuk mengangkat tegangan. Tegangan diangkat sampai pada batas yang telah ditentukan.

### 3.5 Fuzzy Logic

Logika *Fuzzy* merupakan logika dalam pengambilan keputusan yang digunakan untuk memecahkan masalah dengan sistem yang sulit untuk dimodelkan[12]. Dalam kehidupan banyak masalah dengan informasi yang sulit direpresentasikan ke dalam sebuah model rumus atau angka yang pasti karena informasi tersebut bersifat kualitatif (tidak bisa dihitung secara kuantitatif). Fuzzy logic dibagi menjadi tiga bagian proses, yaitu:

#### 1. Fuzzyfication

*Fuzzyfication* merupakan proses perubahan data masukan yang berupa nilai kebenaran bersifat pasti (*crisp* input) menjadi masukan *fuzzy* yang berupa nilai linguistik dengan cara pemetaan *crisp* input pada himpunan *fuzzy*.

#### 2. Inference

Suatu aturan *fuzzy* dituliskan sebagai: *IF antecedent THEN consequent*. Dalam suatu sistem berbasis aturan *fuzzy*, proses *inference* memperhitungkan semua aturan yang ada dalam basis pengetahuan. Hasil dari proses *inference* direpresentasikan oleh suatu *fuzzy set* untuk setiap untuk setiap *variable* bebas (pada *consequent*). Derajat keanggotaan untuk setiap nilai *variable* tidak bebas menyatakan ukuran kompatibilitas terhadap *variable* bebas (pada *antecedent*).

#### 3. Defuzzification

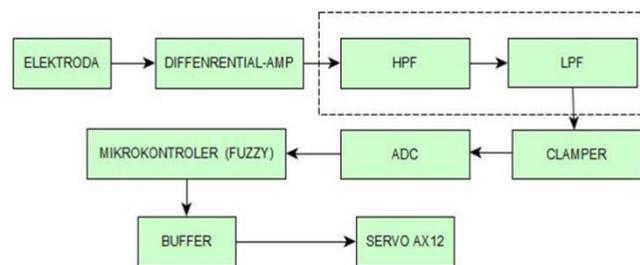
Terdapat berbagai metode *defuzzification* yang dapat diaplikasikan untuk berbagai macam masalah. Metode *Weighted Average* mengambil nilai rata-rata dengan menggunakan pembobotan berupa derajat keanggotaan. Sehingga  $y^*$  didefinisikan sebagai :

$$y^* = \frac{\sum \mu(y) \cdot y}{\sum \mu(y)} \quad (2.1)$$

Dimana  $y$  adalah nilai *crisp*,  $\mu(y)$  adalah derajat keanggotaan dari nilai *crisp*  $y$ . Kelemahan dari metode ini hanya bisa digunakan bila fungsi keanggotaan dari keluaran *fuzzy* memiliki bentuk yang sama.

## 4. Perancangan Sistem

Perancangan sistem artificial hand robot terdiri dari blok pengkondisian sinyal EMG dan blok fuzzy logic. Blok diagram sistem secara keseluruhan digambarkan pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Blok diagram sistem artificial hand robot

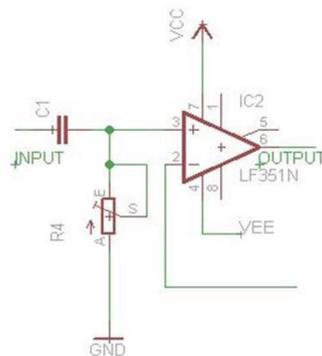
Elektroda diletakkan dibagian otot bisep dan *Flexor Digitorum Superficialis* (FDS) yang digunakan sebagai input[14][15]. Sinyal yang diperoleh langsung diproses oleh rangkaian pengkondisian EMG. Sinyal dari setiap otot dikuatkan oleh *differential amplifier* untuk mendapatkan beda tegangan dari setiap otot. Setelah didapatkan tegangan dengan orde milivolt, selanjutnya sinyal tersebut diproses oleh filter untuk menghilangkan artefak pada sinyal. Sinyal kemudian dikuatkan kembali oleh *amplifier* yang terdapat pada filter aktif LPF untuk mendapatkan tegangan orde volt. Keluaran dari blok LPF akan diproses oleh blok *clamper* sehingga sinyal akan berada pada daerah positif. Sinyal tersebut nantinya akan digunakan sebagai input mikrokontroler untuk mengaktifkan motor servo.

### 4.1 Perancangan Pengkondisian Sinyal EMG

Sinyal EMG yang dihasilkan oleh tubuh memiliki *amplitude* tegangan berkisar 0-10mV dan frekuensi 50-500 Hz. Sinyal EMG tersebut harus dikuatkan dan difilter agar dapat diproses ke mikrokontroler. Perancangan blok EMG meliputi rangkaian penguat instrumentasi, filter HPF, filter LPF dan clamper. Berikut ini gambaran umum dari rangkaian pengkondisian sinyal EMG.

**4.1.1 Differential Amplifier**

Rangkaian penguat diferensial yang digunakan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.2** Rangkaian penguat diferensial

Penguatdiferensial yang dirancangmenggunakan IC TL084 yang memiliki empat buah op-amp didalamnya. V- terhubung dengan -9V dan V+ terhubung dengan +9V. Penguatan ditentukan oleh  $\frac{R3}{R2}$  Persamaan Rgain dapat dilihat pada Persamaan 3.1.

$$R_{gain} = (1 + \frac{2 R1}{R2}) \times \frac{R3}{R2} \quad (3.1)$$

$$V_{out} = (V_+ - V_-) \times R_{gain} \quad (3.2)$$

Perancangan penguatan awal yang diinginkan yaitu 250 kali. Dengan memperkirakan  $V_+ - V_-$  bernilai 10mV.

$$V_{out} = 10 \text{ mV} \times 250$$

$$V_{out} = 2.5 \text{ V}$$

Untuk mendapatkan Vout sesuai yang diinginkan, nilai R1, R2, dan R3 1k. Maka nilai Rgain yang dibutuhkan:

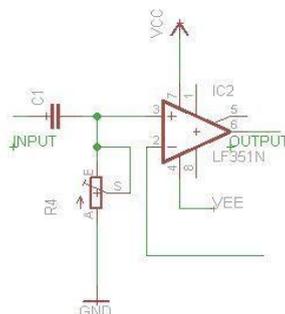
$$250 = (1 + \frac{2 \times 1k}{R_{gain}}) \times \frac{1k}{1k}$$

$$R_{gain} = 8.03 \Omega$$

Sehingga R3 yang diinginkan bernilai 8.03 Ω. Untuk mempermudah pengujian dan persediaan pasar, penulis menggunakan variabel resistor 1k sebagai resistor 8.03 Ω.

**4.1.2 Filter HPF**

Frekuensi sinyal EMG berada di range 50-500Hz. Filter HPF berfungsi untuk meredam noise yang dihasilkan oleh tubuh maupun noise yang berasal dari catuan pada frekuensi rendah. Filter HPF yang dirancang merupakan filter HPF orde 1 dengan menggunakan komponen resistor, kapasitor dan Op-Amp. Op-Amp yang digunakan adalah LF351N yang diberi catu daya -9V dan +9V. Rangkaian HPF dapat dilihat pada Gambar 4.3 .



**Gambar 4.3** Rangkaian Filter HPF

Frekuensi *cut-off* yang digunakan adalah 50Hz. Untuk mendapatkan nilai resistor dan kapasitor digunakan persamaan berikut.

$$f_c = \frac{1}{2\pi R \cdot C} \quad (3.3)$$

$$50 \text{ Hz} = \frac{1}{2\pi R \cdot C}$$

Untuk mempermudah perhitungan dan sesuai dengan keterdesediaan komponen dipasaran, penulis menggunakan kapasitor 100nF pada rangkaian filter HPF.

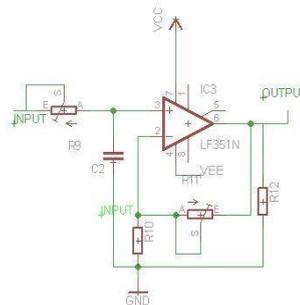
$$50 = \frac{1}{2R \cdot 100}$$

$$50 = \frac{1}{2R \cdot 100 \times 10^{-9}}$$

$$R = 0.318 \times 10^5 = 31.8 \text{ k}\Omega$$

**4.1.3 Filter LPF**

Filter LPF digunakan untuk meloloskan frekuensi dibawah frekuensi *cut-off* dan melemahkan frekuensi diatas frekuensi *cut off*. Filter LPF yang dirancang merupakan filter aktif (filter dan penguat) yang terdiri dari kapasior, resistor dan Op-Amp. Op-Amp yang digunakan adalah LF351N yang diberi catuan tegangan -9V dan +9V. Rangkaian filter LPF dapat dilihat pada Gambar 4.4



**Gambar 4.4** Rangkaian Filter LPF

Frekuensi *cut-off* yang diinginkan adalah 500Hz. Frekuensi tersebut sesuai dengan frekuensi maksimum dari sinyal EMG. Frekuensi yang berada diatas 500Hz akan dilemahkan dan frekuensi dibawah 500Hz akan diredam. Nilai besaran komponen resistor dan kapasitor dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

$$f_c = \frac{1}{2\pi R \cdot C} \tag{3.4}$$

Pada rangkaian diatas, nilai penguatan ditentukan oleh besarnya resistansi dari R1 dan R3. Penulis menggunakan kapasitor 100nF untuk mendapatkan R2 yang diinginkan.

$$500 = \frac{1}{2R \cdot 100}$$

$$500 = \frac{1}{2R \cdot 100 \times 10^{-9}}$$

$$R2 = 0.318 \times 10^4 = 3.18 \text{ k}\Omega$$

Dengan menggunakan kapasitor 100nF dan resistor 3.18 kΩ, maka nilai frekuensi *cut-off* yang didapat adalah:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot 3.18 \text{ k}\Omega \cdot 100 \text{ nF}}$$

$$f_c = 500.4 \text{ Hz}$$

Tegangan hasil filter LPF masih dalam orde millivolt, oleh karena itu dibutuhkan penguatan untuk mendapatkan tegangan dalam orde volt. Besar penguatan ditentukan oleh penguatan operasional yang digunakan. Untuk mendapatkan nilai penguatannya, dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$A_v = \left(1 + \frac{R3}{R1}\right) \tag{3.5}$$

Penguatan yang diinginkan penulis pada blok filter LPF adalah 2 kali. Besarnya penguatan yang dibutuhkan sudah diperhitungkan sesuai dengan kebutuhan tegangan yang masuk kemikrokontroler. Untuk mendapatkan besar penguatan sebanyak 2 kali, nilai R2 dan R1 yang diinginkan adalah sebagai berikut:

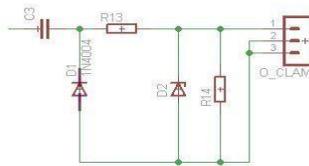
$$2 = \left(1 + \frac{R3}{R1}\right)$$

$$R3 = R1$$

**4.1.4 Clamper**

Rangkaian *clamper* berfungsi sebagai pengangkat sinyal. Sinyal EMG mempunyai *amplitude* sinyal yang masih terukur negatif. Nilai tegangan yang dihasilkan oleh filter LPF terdapat range negatif. Tegangan

negatif tersebut harus dinaikkan agar semua sinyal EMG dalam *range* positif. Rangkaian *clamper* yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 4.5.

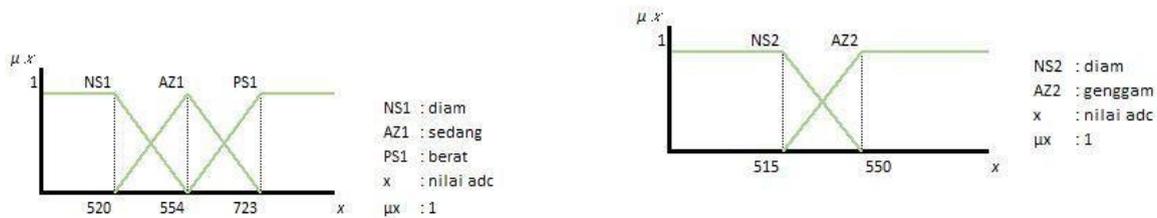


Gambar 4.5 Rangkaian *clamper*

**4.2 Perancangan Fuzzy Logic**

Metode kontrol yang digunakan robot tangan ini yaitu *fuzzy logic*. Pada sistem ini arduino akan menerima nilai ADC dari blok EMG. Nilai ADC tersebut meliputi data kekuatan tangan mengangkat dan menggenggam. Data tingkat kekuatan mengangkat dan menggenggam ini yang menjadi input dari *fuzzy logic*. Output dari *fuzzy* merupakan sudut dan kecepatan servo.

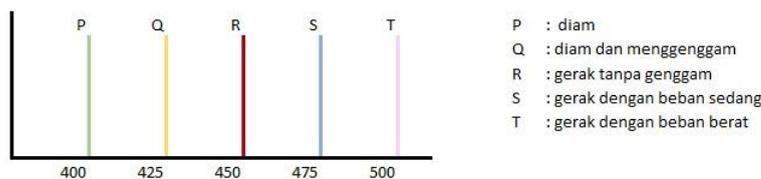
Pada system ini input data kekuatan mengangkat memiliki tiga nilai linguistik yaitu **Ringan**, **Sedang** dan **Berat** dengan fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium. Sedangkan input data tingkat kekuatan menggenggam memiliki dua nilai linguistik yaitu **Ringan** dan **Berat** dengan fungsi keanggotaannya adalah trapesium. Gambar himpunan fuzzy dari input sistem pada gambar 4.6 dan gambar 4.7



Gambar 4.6 Fungsi keanggotaan kekuatan mengangkat

Gambar 4.7 Fungsi keanggotaan kekuatan menggenggam

Untuk keluaran sistem yang berupa kekuatan memiliki enam nilai linguistik.. Fungsi keanggotaan *output* kekuatan otot dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.8 Fungsi keanggotaan *output* kekuatan otot

*Fuzzy inference* merupakan fungsi keanggotaan input ke fungsi keanggotaan output. Pemetaan ini membutuhkan sebuah rules atau aturan yang menunjukkan letak fungsi keanggotaan *output* apabila nilai *input* satu dan *input* dua terletak pada nilai tertentu. Tabel 3.2 merupakan *rules* yang digunakan dalam sistem *fuzzy logic* yang dirancang.

Tabel 4.1 Fuzzy Rules

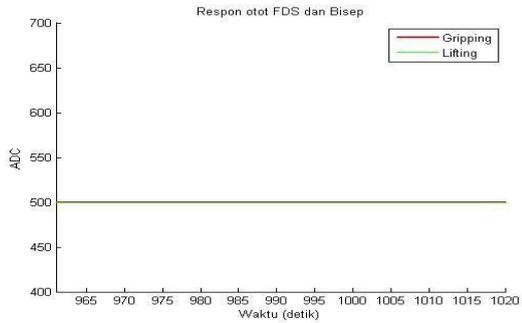
Fuzzy Rules	NS2	AZ2
NS1	P	Q
AZ1	R	S
PS1	S	T

*Fuzzy logic* yang dirancang menggunakan metode defuzzifikasi Sugeno *weight average*. Output yang diinginkan sistem ini berupa sudut dan kecepatan motor servo.

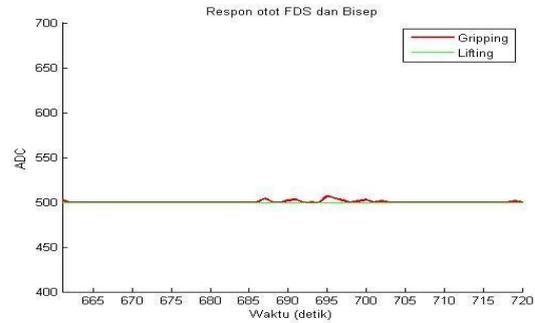
**5. Pengujian**

Pengujian dibagi menjadi dua bagian yaitu pengujian rangkaian pengkondisian EMG dan pengujian sistem secara keseluruhan.

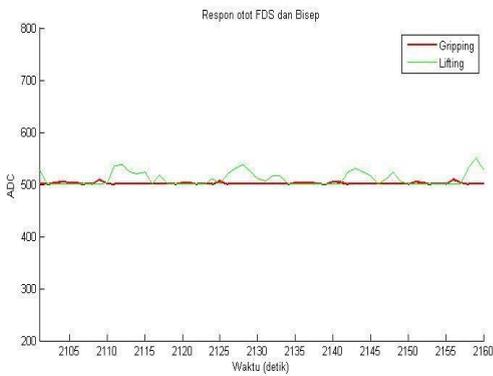
**5.1 Pengujian Rangkaian Pengkondisian EMG**



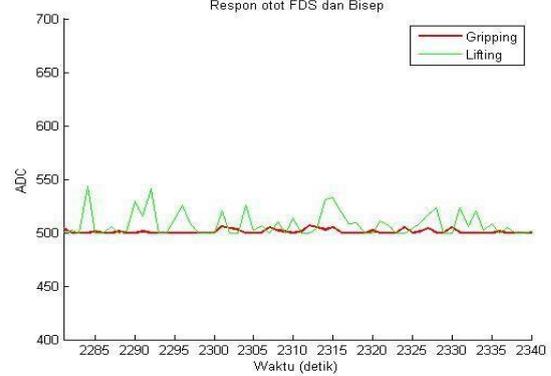
**Gambar 5.1** Diam



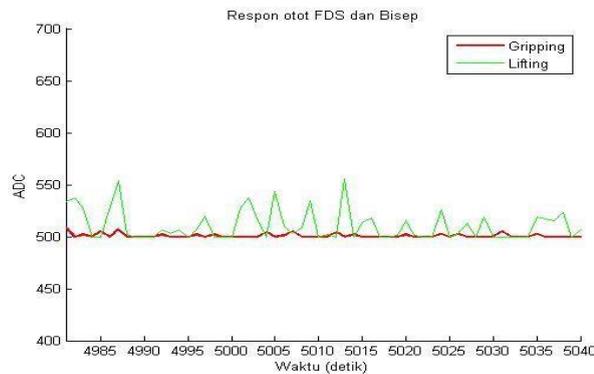
**Gambar 5.2** Respon otot saat menggenggam tanpa mengangkat



**Gambar 5.3** Respon otot FDS pada saat menggenggam



**Gambar 5.4** Respon otot saat mengangkat beban ringan



**Gambar 5.5** Respon otot saat mengangkat beban berat

Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan nilai rata-rata otot bisep 13.25mV pada saat rileks, 140.8mV pada saat mengangkat beban ringan, 1.262V pada saat mengangkat beban berat dan otot FDS 41,74mV saat diam dan 205,2mV pada saat menggenggam. Dari hasil tersebut ditetapkan nilai *threshold* 2.44V setara dengan 500 ADC 10 bit.

Pada hasil plotting nilai ADC dapat dilihat perubahan nilai ADC pada masing-masing gerakan. Perubahan-perubahan tersebut dapat terlihat jelas sehingga tidak sulit untuk membedakannya.

## 5.2 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Banyak Percobaan	JENIS PERGERAKAN				
	GERAKAN 1	GERAKAN 2	GERAKAN 3	GERAKAN 4	GERAKAN 5
1	GAGAL	OK	OK	GAGAL	OK
2	GAGAL	OK	OK	OK	GAGAL
3	OK	GAGAL	OK	OK	OK
4	OK	GAGAL	OK	OK	OK
5	OK	OK	GAGAL	OK	OK
6	OK	OK	OK	OK	OK
7	OK	OK	GAGAL	GAGAL	OK
8	OK	OK	OK	OK	OK
9	OK	OK	OK	OK	GAGAL
10	OK	OK	OK	OK	OK

## 6. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada perancangan *artificial hand robot* menggunakan sinyal EMG adalah sebagai berikut:

1. Fuzzy logic terdiri dari 6 rule berdasarkan kekuatan tangan menggenggam dan mengangkat dari rangkaian pengkondisian sinyal EMG. Tingkat akurasi perintah pada pengendali kursi roda sebesar 85,71%. Semakin besar kekuatan tangan mengangkat maka kecepatan servo semakin berkurang.
2. Jika nilai rata-rata ADC mengangkat dan menggenggam kurang dari 500 maka servo akan diam, Jika nilai rata-rata ADC mengangkat dan menggenggam lebih dari 550 maka akan bergerak.
3. Kecepatan maksimal servo yang dicapai saat mengangkat beban berat sebesar 150 dengan beban 3kg sedangkan untuk beban 1kg sebesar 200

## 7. Daftar Pustaka

- [1] Shima, Keisuke. 2012. **EMG-Based Control for a Feeding Support Robot Using a Probabilistic Neural Network**. International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics ISSN:978-4577-12005. Volume-3, Issue-3, June 2013:1788-1793.
- [2] Kiguchi, Kazuo. 2004. **Neuro-Fuzzy Control of a Robotic Exoskeleton With EMG Signals**. IEEE Transactions on Fuzzy Systems ISSN: 1063-6706. Volume-5, Issue-4, August 2004:481-490
- [3] Ahmad, Mubdi. 2014. **Rancang Bangun Kendali Prototipe Kursi Roda Listrik Menggunakan Sistem Elektromiograf**. Bandung : Universitas Telkom
- [4] Nomiyaari. 2011. **Perancangan dan Pembuatan Modul ECG dan EMG dalam satu Unit PC**. Surabaya: PENS-ITS.
- [5] Rizal, A. 2014. **Instrumentasi Biomedis**. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [6] Ready, Wang. 2013. **Fuzzy Logic**. Bandung: Universitas Telkom.
- [7] Motor Servo Characteristic (<http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/motor-servo/>) diakses pada tanggal 29 Oktober 2014.
- [8] Arduino (<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>) diakses pada tanggal: 24 November 2014.
- [9] Kuswadi, Son. 2007. **Kendali Cerdas**. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [10] Ilman, Mochamad. 2014. **Desain dan Implementasi Pengendali Kursi Roda Menggunakan Sinyal EEG Berbasis Mikrokontroler**. Bandung: Universitas Telkom.
- [11] Biospin, Laboratory. 2014. **Modul Praktikum EMG**. Bandung: Universitas Telkom
- [12] Rusdinar, Angga. 2012. **Modeling of vision based robot formation control using fuzzy logic controller and extended Kalman filter**. International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems ISSN: 1598-2645 eISSN 2093-744X. Volume 12, no. 3, September 2012. Busan
- [13] Zahak, Muhammad. 2012. **Signal Acquisition Using Surface EMG and Circuit Design Considerations for Robotic Prosthesis**. Australia: Intech
- [14] Mohidden, Sidek. 2011. **Development of EMG Circuit to Study the Relationship between Flexor Digitorum Superficialis Muscle Activity and Hand Grip Strength**. 4th International Conference on Mechatronics (ICOM). 17-19 May 2011. Kuala Lumpur, Malaysia
- [15] Yoshiaki, Kenbu. 2013. **Compensation of the Effects of Muscle Fatigue on EMG-Based Control using Fuzzy Rules Based Scheme**. 35<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE IMBS. 3 -7 July 2013. Osaka, Japan