

Perancangan Dan Realisasi Pengontrol Gerakan Lengan Robot Berdasarkan Kontraksi Dan Relaksasi Otot Lengan Manusia

Disusun Oleh :

Bonnie Ismailia Mehta 0422108

Email : Bonnie.Ismailia@gmail.com

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Kristen Maranatha

Jl. Prof. Drg. Suria Sumantri 65, Bandung 40164, Indonesia

ABSTRAK

Interpretasi sinyal elektrik yang menggambarkan kondisi kontraksi dan relaksasi otot manusia atau disebut *electromyogram* diimplementasikan pada pengontrol mikro sebagai sinyal pengontrol lengan robot. Lengan robot yang digunakan yaitu robot tipe Dynamixel *Smart Robotic Arm* dengan lima derajat kebebasan yang terdiri dari *base rotation*, *elbow flex*, *wrist pitch*, *wrist roll* dan *gripping*. Pengontrol mikro yang digunakan dalam rancangan sistem adalah Arduino UNO™.

Sinyal *electromyogram* dari otot *infrapinatus*, *bicep*, dan *forearm* pengguna masing-masing dicuplik oleh instrumen *electromyography* (EMG). Sinyal keluaran dari instrument EMG berupa tegangan DC dengan rentang 0-5V agar terbaca nilai minimum (relaksasi otot) dan maksimum (kontraksi otot) oleh pengontrol mikro. Hasil pembacaan tegangan DC tersebut oleh pengontrol mikro diproses sebagai pengontrol gerakan *base rotation*, *elbow flex*, dan *gripping* pada lengan robot. Sensor *accelerometer-gyroscope* MPU6050 digunakan untuk membaca posisi pergelangan tangan pengguna. Sinyal pembacaan dari MPU6050 kemudian diproses oleh pengontrol mikro sebagai pengontrol gerakan *wrist pitch* dan *wrist roll* pada lengan robot.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kontraksi dan relaksasi otot lengan pengguna berhasil menggerakkan lengan robot dengan rentang simpangan sudut sebesar 5°-20°.

Kata kunci : Dynamixel, *Smart*, *Arm*, *Robotic*, EMG, *electromyogram*, *electromyography*, *accelerometer*, *gyroscope*, MPU6050, Arduino UNO™, Otot, *infrapinatus*, *bicep*, *forearm*, *base rotation*, *elbow flex*, *wrist pitch*, *wrist roll*, *gripping*

Design and Realization of Robot Arm Movement Controller Based on Contraction and Relaxation of Human Arm Muscles

Composed by :

Bonnie Ismailia Mehta 0422108

Email : Bonnie.Ismailia@gmail.com

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering

Maranatha Christian University

Jl. Prof. Drg. Suria Sumantri 65, Bandung 40164, Indonesia

ABSTRACT

Interpretation of electric signal that inform the human muscle contraction and relaxation which is called electromyogram implemented to microcontroller as a robot arm controller signal. The arm robots applied that is a Dynamixel Smart Robotic Arm with five degree of freedom which is consist of base rotation, elbow flex, wrist pitch, wrist roll and gripping. Microcontroller which is used in system design is Arduino UNO™.

Electromyogram signal from infraspinatus, bicep, and forearm users muscle is processed by the instrument Electromyography (EMG). The output signal from the EMG instrument is a DC voltages with the range of output is 0-5V in order to read the minimum value (muscle relaxation) and maximum (muscle contraction) by a microcontroller. The results of the DC voltage readings are processed by a microcontroller as a motion controller base rotation, elbow flex, and gripping on robot arm. Sensor accelerometer-gyroscope MPU6050 is used to read user wrist position. The signal reading of MPU6050 then processed by a micro controller as a motion controller wrist pitch and wrist roll on robot arm.

The test results showed that the contraction and relaxation of muscles arm of users succeed moving the robotic arm with a range of deviation angle of 5°-20°.

Key Word : Dynamixel, Smart, Arm, Robotic, EMG, electromyogram, electromyography, accelerometer, gyroscope, MPU6050, Arduino UNO™, muscle, infraspinatus, bicep, forearm, base rotation, elbow flex, wrist pitch, wrist roll, gripping

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN

PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN TUGAS AKHIR

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Pembahasan	2
I.4 Pembatasan Masalah	2
I.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
II.1 Terminologi Electromyogram dan Electromyography ^[4]	4
II.2 Fisiologi Otot (<i>Muscle</i>) Manusia ^[8]	5
II.2.1 Otot Polos (<i>Smooth Muscle</i>)	5
II.2.2 Otot Rangka (<i>Skeletal Muscle</i>)	5
II.2.3 Otot jantung (<i>Cardiac Muscle</i>)	6
II.2.4 Pemetaan Otot Lengan Berdasarkan Gerakannya ^[9]	7
II.3 Proses Terjadinya Sinyal <i>Electromyogram</i> Pada Otot Rangka ^{[8][9]}	8
II.3.1 Action Potential	9
II.3.2 <i>Recruitment</i> dan <i>Firing Rate</i>	11
II.4 Teknik Akuisisi Sinyal <i>Electromyogram</i> ^[21]	11
II.4.1 Konfigurasi Monopolar	12
II.4.2 Konfigurasi Bipolar	12
II.4.3 Konfigurasi Multipolar	13

II.5	Sumber Noise Sinyal Keluaran Instrumen EMG ^[3]	13
II.5.1	<i>Inherent Noise</i> (Derau Bawaan) Di Elektroda.....	14
II.5.2	<i>Movement Artifact</i>	14
II.5.3	<i>Electromagnetic Noise</i>	15
II.5.4	<i>Cross Talk</i>	15
II.5.5	<i>Internal Noise</i>	15
II.5.6	<i>Electrocardiographic (ECG) Artifacts</i>	15
II.6	Instrumen EMG	16
II.6.1	Elektroda.....	16
II.6.2	<i>AC Coupling</i> ^[19]	17
II.6.3	<i>Instrumentation Amplifier</i> ^[15]	18
II.6.4	<i>Integrator</i> ^[19]	19
II.6.5	<i>Shield Driver</i> ^[16]	21
II.6.6	<i>Filter</i> ^[19]	22
II.6.7	<i>Lossy Integrator dan Adjustable Inverting Amplifier</i>	26
II.6.5	<i>RMS-DC Converter</i> ^[1]	27
II.7	<i>Accelerometer</i> ^[2]	29
II.8	<i>Mikrokontroler</i> ^[11]	30
II.9	<i>Full Duplex to Half Duplex Converter</i>	31
II.10	Motor Servo Dynamixel AX-12A ^[17]	31
II.11	Dynamixel Smart Robotic Arm ^[17]	33
II.12	Sistem Kontrol Robot	35
BAB III	PERANCANGAN DAN REALISASI.....	38
III.1	Rancangan Umum	38
III.2	Perancangan Gerakan Lengan Robot	39
III.3	Perancangan Instrumen EMG.....	43
III.3.1	<i>AC Coupling</i>	44
III.3.2	Penguat Tingkat Satu <i>Instrumentation Amplifier</i>	45
III.3.3	<i>Integrator</i>	46
III.3.4	<i>Shield Driver</i>	47
III.3.5	<i>Filter</i>	48
III.3.6	Penguat Tingkat Dua	51

III.3.7	RMS-DC Converter.....	52
III.4	Microcontroller	53
III.5	Full Duplex to Half Duplex Converter	54
III.6	Perancangan Program.....	55
BAB IV	DATA PENGAMATAN DAN ANALISA DATA.....	59
IV.1	Pengujian Instrumen EMG	59
IV.1.1	Uji CMRR	59
IV.1.2	Uji Respon Frekuensi dan Nilai Keluaran Tegangan DC	63
IV.2	Uji Akurasi Sudut	65
IV.3	Uji Kemampuan Robot Mengangkat Beban.....	70
IV.4	Uji Sistem Pergerakan Lengan Robot Secara Keseluruhan	71
BAB V	SIMPULAN DAN SARAN	75
V.1	Simpulan.....	75
V.2	Saran.....	75
	DAFTAR PUSTAKA	77
	LAMPIRAN A : Skematik.....	A
	LAMPIRAN B : Penempatan Elektroda.....	B
	LAMPIRAN C : Listing Program.....	C
	LAMPIRAN D : Datasheet Komponen.....	D

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Tampilan sinyal <i>electromyogram</i> dari tiga kontraksi otot bisep	4
Gambar II.2 (a) Sketsa struktur otot polos	5
Gambar II.2 (b) Struktur otot polos bila dilihat dari mikroskop	5
Gambar II.3 (a) Sketsa struktur otot rangka	6
Gambar II.3 (b) Struktur otot rangka bila dilihat dari mikroskop	6
Gambar II.4 (a) Sketsa struktur otot jantung	6
Gambar II.4 (b) Struktur otot jantung bila dilihat dari mikroskop	6
Gambar II.5 Pemetaan otot tubuh tampak depan	7
Gambar II.6 Pemetaan otot tubuh tampak belakang	7
Gambar II.7 Ilustrasi dari besarnya tegangan listrik pada otot rangka	9
Gambar II.8 Aksi potensial otot	10
Gambar II.9 Permukaan <i>electromyogram</i> disusun oleh jumlah aljabar dari semua <i>motor unit action potential</i>	11
Gambar II.10 Konfigurasi monopolar	12
Gambar II.11 Konfigurasi bipolar	13
Gambar II.12 Rentang frekuensi sinyal <i>electromyogram</i>	13
Gambar II.13 Elektroda permukaan tipe tipe 3M RedDot 2670	16
Gambar II.14 (a) <i>AC coupling</i> konvensional dengan resistor yang dihubungkan ke ground	17
Gambar II.14 (b) <i>AC coupling</i> tanpa resistor yang terhubung dengan ground	17
Gambar II.15 Skematik INA118	18
Gambar II.16 <i>Integrator amp</i>	20
Gambar II.17 Implementasi rangkaian Integrator pada <i>instrumentation amp</i>	20
Gambar II.18 Implementasi <i>shield driver</i>	21
Gambar II.19 Kabel Canare tipe L-2T2S	22
Gambar II.20 Kabel Mogami tipe 2524	22
Gambar II.21 Frekuensi respon dari HPF	23
Gambar II.22 <i>High pass filter</i> Sallen-Key circuit	23
Gambar II.23 Frekuensi respon dari LPF	24

Gambar II.24	<i>Low pass filter Sallen-Key circuit</i>	24
Gambar II.25	Perbandingan respon frekuensi <i>notch filter</i> dengan besar nilai Q	25
Gambar II.26	<i>T-Twin Notch Filter</i>	26
Gambar II.27	<i>Lossy integrator</i> dan <i>adjustable inverting amplifier</i>	27
Gambar II.28	IC AD536AJD	28
Gambar II.29	IC AD536AJD <i>simplified schematic</i>	28
Gambar II.30	<i>Accelerometer-Gyroscope</i> tipe MPU6050	29
Gambar II.31	Arduino UNO™	30
Gambar II.32	Diagram logika IC SN74LS241N	31
Gambar II.33	Motor Servo AX-12.....	32
Gambar II.34	Putaran sudut motor servo AX-12A	32
Gambar II.35	Sistem koneksi antar motor servo AX-12	33
Gambar II.36	Dynamixel <i>Smart Robotic Arm</i>	34
Gambar II.37	Dynamixel <i>Smart Robotic Arm</i> dengan lima derajat kebebasan ..	35
Gambar II.38	Diagram blok sistem control <i>open loop</i>	36
Gambar II.39	Diagram blok sistem control <i>closed loop</i>	36
Gambar III.1	Blok diagram sistem	39
Gambar III.2	Diagram blok sistem analog instrumen EMG	43
Gambar III.3	<i>AC coupling</i>	45
Gambar III.4	Pengaturan penguatan INA118.....	46
Gambar III.5	Implementasi <i>integrator amplifier</i> sebagai umpan balik.....	47
Gambar III.6	Aplikasi tegangan <i>common mode</i> untuk <i>shield driver</i>	48
Gambar III.7	Pembentukan <i>band pass filter</i> dengan cara menghubungkan secara <i>cascade</i> (seri) <i>low pass filter</i> dengan <i>high pass filter</i>	48
Gambar III.8	Implementasi <i>butterworth high pass filter</i> ($f_c = 20\text{Hz}$).....	49
Gambar III.9	Implementasi <i>butterworth low pass filter</i> ($f_c = 100\text{Hz}$)	50
Gambar III.10	Implementasi <i>T-Twin notch filter</i> ($f_c = 50\text{Hz}$).....	51
Gambar III.11	Implementasi <i>lossy integrator</i> dan <i>adjustable inverting amplifier</i>	52
Gambar III.12	Skema RMS-DC <i>converter</i> menggunakan IC AD536AJD	53
Gambar III.13	Arduino UNO™	53

Gambar III.14 Skema <i>full duplex to half duplex converter</i> menggunakan IC SN74LS241N	54
Gambar III.15 <i>Flowchart</i> program utama	55
Gambar III.16 <i>Flowchart</i> inisialisasi.....	56
Gambar III.17 <i>Flowchart</i> baca nilai sensor MPU6050	57
Gambar III.18 <i>Flowchart</i> baca nilai RMS-DC EMG.....	57
Gambar III.19 <i>Flowchart</i> <i>movement 1</i> dan <i>movement 2</i>	58
Gambar IV.1 Skema pengukuran penguatan sinyal diferensial	59
Gambar IV.2 Sinyal masukan dan sinyal keluaran diferensial ($f = 40\text{Hz}$).....	60
Gambar IV.3 Skema pengukuran penguatan sinyal <i>common mode</i>	60
Gambar IV.4 Sinyal masukan dan sinyal keluaran <i>common mode</i> ($f = 40\text{Hz}$)	60
Gambar IV.5 Grafik CMRR berdasarkan data dari tabel IV.2	62
Gambar IV.6 Skema pengukuran respon frekuensi dan DC <i>output</i>	63
Gambar IV.7 Sinyal masukan dan sinyal keluaran pada saat frekuensi 200Hz dan besar tegangan keluaran DC	63
Gambar IV.8 Grafik respon frekuensi berdasarkan data dari tabel IV.2	65
Gambar IV.9 Beban yang digunakan untuk uji sistem pergerakan lengan robot	72

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Spesifikasi <i>Instrumentation Amp</i> tipe INA118.....	18
Tabel II.3	Perbandingan toleransi <i>error</i> terhadap kecepatan <i>baud</i>	33
Tabel III.1	Pergerakan masing-masing bagian pada lengan robot	39
Tabel III.2	Orientasi sudut perputaran servo terhadap nilai digital servo	40
Tabel III.3	Orientasi Gerakan Lengan Robot Berdasarkan Gerakan Lengan.....	40
Tabel IV.1	Hasil pengukuran CMRR di frekuensi 1 - 1000 Hz	61
Tabel IV.2	Hasil pengukuran respon frekuensi, penguatan dan tegangan keluaran DC di frekuensi 1 – 1000 Hz	64
Tabel IV.3	Orientasi sudut lengan robot terhadap gerakan <i>rotation</i> pada lengan manusia.....	66
Tabel IV.4	Orientasi sudut lengan robot terhadap gerakan <i>vertical</i> pada lengan manusia.....	67
Tabel IV.5	Hasil pengukuran akurasi sudut <i>rotation traverse</i> dan <i>vertical traverse</i>	67
Tabel IV.6	Orientasi sudut lengan robot terhadap gerakan vertical pada pergelangan tangan manusia.....	68
Tabel IV.7	Orientasi sudut lengan robot terhadap gerakan perputaran pada pergelangan tangan manusia.....	69
Tabel IV.8	Hasil pengukuran akurasi sudut <i>pitch traverse</i> dan <i>roll traverse</i>	70
Tabel IV.9	Hasil uji beban untuk rotation dan vertical traverse	71
Tabel IV.10	Hasil uji beban untuk pitch dan roll traverse.....	71
Tabel IV.11	Delapan langkah (<i>step</i>) uji sistem pergerakan lengan robot untuk memindahkan barang.....	72
Tabel IV.12	Hasil uji sistem pergerakan lengan robot dengan cara memindahkan barang.....	73