

## DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing.....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji.....	iii
Halaman Persembahan.....	iv
Halaman Motto.....	v
Kata Pengantar.....	vi
Abstrak.....	viii
Abstract.....	ix
Daftar Isi.....	x
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Gambar.....	xiv
Bab 1 Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka.....	5
2.1 Kajian Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori.....	7
2.2.1 Motor DC.....	7
2.2.2 PWM ( <i>Pulse Width Modulation</i> ).....	8
2.2.3 Catu Daya.....	9
2.2.4 <i>Rotary Encoder</i> .....	9
2.2.5 Mikrokontroler.....	10
2.2.6 Arduino.....	11
2.2.7 Komponen Dasar Sistem Kendali.....	14
2.2.8 Sistem Kendali <i>Open Loop</i> .....	14
2.2.9 Sistem Kendali <i>Closed Loop</i> .....	15

2.2.10	Kontrol PID ( <i>Proportional, Integrative, Derivative</i> ).....	16
2.2.11	Metode Ziegler-Nichols 2 .....	18
2.2.12	Karakteristik Respons Sistem .....	19
2.2.13	<i>Crane</i> .....	20
Bab 3	Metodologi Penelitian.....	22
3.1	Alur Penelitian.....	22
3.2	Perancangan Simulator <i>Crane</i> .....	23
3.2.1	Perancangan Perangkat Keras Mekanik.....	23
3.2.2	Peralatan dan Bahan .....	26
3.2.3	Perakitan Perangkat Keras Mekanik dengan Elektronik.....	36
3.3	Perancangan Perangkat Lunak .....	43
3.4	Perancangan Sistem Kendali Simulator <i>Crane</i> .....	44
3.4.1	Perancangan Sistem Kendali Posisi Simulator <i>Crane</i> .....	44
3.4.2	Perancangan Blok Sistem Kendali Posisi Ayun .....	47
3.4.3	Perancangan Kontroler PID dengan Metode Ziegler-Nichols 2 .....	49
3.4.4	Perancangan Kontroler PID dengan Metode <i>Trial and Error</i> .....	50
Bab 4	Hasil dan Pembahasan .....	55
4.1	Hasil Perancangan .....	55
4.1.1	Hasil Perancangan Perangkat Keras.....	55
4.1.2	Hasil Perancangan Sistem Kendali .....	56
4.2	Hasil Pengujian Sistem.....	57
4.2.1	Pengujian Kendali Posisi Troli Tanpa Kontroler dan Kendali Posisi Ayun .....	57
4.2.2	Pengujian Kendali Posisi Troli Tanpa Kendali Posisi Ayun Menggunakan Metode Ziegler-Nichols 2 .....	58
4.2.3	Pengujian Kendali Posisi Troli Tanpa Kendali Ayun Menggunakan Metode <i>Trial And Error</i> .....	59
4.2.4	Pengujian Kendali Posisi Troli dengan Kendali Posisi Ayun Menggunakan Kontroler PID Metode Ziegler-Nichols 2 .....	60
4.2.5	Pengujian Kendali Posisi Troli dengan Kendali Posisi Ayun Menggunakan Kontroler PID Metode <i>Trial And Error</i> .....	62
4.3	Perbandingan Hasil Pengujian Seluruh Sistem Kendali.....	63

4.4	Analisis dan Pembahasan .....	64
4.4.1	Analisis Sistem.....	64
4.4.2	Analisis Kerja Sistem Kendali .....	64
Bab 5	Penutup .....	69
5.1	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran .....	69
Daftar Pustaka	.....	71



## DAFTAR TABEL

Tabel 3 - 1 Spesifikasi Motor DC Mabuchi RS-385PH dengan enkoder 448 AB phase.....	27
Tabel 3 - 2 Spesifikasi Incremental Rotary encoder. ....	28
Tabel 3 - 3 Hubungan Pin Enkoder Motor DC dengan Pin Digital Arduino. ....	40
Tabel 3 - 4 Pengujian mencari jumlah pulsa jarak lintasan troli.....	45
Tabel 3 - 5 Kriteria respons sistem yang diinginkan dengan kriteria respons sistem yang baik pada karakteristik respons sistem transien .....	51
Tabel 3 - 6 Nilai $M_p$ , $E_{ss}$ , dan $M_p$ Menggunakan Kontroler PID Metode <i>Trial and Error</i> .....	52
Tabel 4 - 1 Perbandingan Hasil Pengujian Sistem Kendali Posisi Menggunakan Kontroler PID Metode Ziegler-Nichols 2 .....	63
Tabel 4 - 2 Perbandingan Hasil Pengujian Sistem Kendali Posisi Menggunakan Kontroler PID Metode <i>Trial And Error</i> .....	63
Tabel 4 - 3 kriteria respons sistem yang diinginkan dengan hasil pencapaian respons sistem berdasarkan pengujian. ....	68

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2 - 1 Skema <i>rotary parking</i> tampak depan (Putra, 2013).....	5
Gambar 2 - 2 Simulator <i>tower crane</i> (Faekar, 2015).....	6
Gambar 2 - 3 Motor DC sederhana (biondiocta, 2012). ....	8
Gambar 2 - 4 Ilustrasi PWM. ....	8
Gambar 2 - 5 <i>Incremental rotary encoder</i> (Rotary Encoders Information, 2016).10	
Gambar 2 - 6 Bentuk dari mikrokontroler (Immersa Lab, 2016).....	11
Gambar 2 - 7 Komponen dari suatu mikrokontroler (Budiman, 2013). ....	11
Gambar 2 - 8 Salah satu jenis papan Arduino (geeetech.com, 2014). ....	12
Gambar 2 - 9 Diagram blok sederhana Arduino Uno .....	13
Gambar 2 - 10 Komponen dasar sistem kendali .....	14
Gambar 2 - 11 Diagram blok sistem kendali <i>open loop</i> .....	15
Gambar 2 - 12 Diagram blok sistem kendali <i>closed loop</i> .....	16
Gambar 2 - 13 Diagram blok kendali PID .....	17
Gambar 2 - 14 Kurva respons tangga satuan memperlihatkan 25% lonjakan maksimum.....	18
Gambar 2 - 15 Sistem kendali <i>closed loop</i> dengan kontrol proporsional .....	18
Gambar 2 - 16 Osilasi berkesinambungan dari periode $P_{cr}$ .....	19
Gambar 2 - 17 Respons transien sistem pengendalian.....	20
Gambar 2 - 18 Bagian-bagian <i>crane</i> (Morrow Company Store, 2016). ....	21
Gambar 3 - 1 Alur Penelitian .....	22
Gambar 3 - 2 Gambaran Awal Perancangan Pertama.....	23
Gambar 3 - 3 Gambaran Awal Perancangan Kedua .....	24
Gambar 3 - 4 Gambaran Awal Perancangan Ketiga .....	24
Gambar 3 - 5 Bentuk Nyata Simulator Crane Berdasarkan Perancangan Yang Telah Dilakukan. ....	25
Gambar 3 - 6 Hasil Akhir Perancangan Simulator Crane Yang Dipilih.....	25
Gambar 3 - 7 Bentuk Nyata Simulator Crane Berdasarkan Hasil Perancangan Terakhir. ....	26
Gambar 3 - 8 Motor DC Mabuchi RS-385PH dengan enkoder 448 AB phase. ..	26
Gambar 3 - 9 Susunan piringan enkoder inkremental (Angin, 2009). ....	28

Gambar 3 - 10 Autonics Incremental Rotary Encoder.....	28
Gambar 3 - 11 Arduino Mega 2560 R3 (Faekar, 2015).....	29
Gambar 3 - 12 Komponen Arduino Mega 2560 R3 (Faekar, 2015).....	29
Gambar 3 - 13 Motor shield Adafruit v1. ....	31
Gambar 3 - 14 Kabel USB. ....	32
Gambar 3 - 15 DC to DC Booster <i>Converter</i> .....	32
Gambar 3 - 16 Adaptor Namichi.....	33
Gambar 3 - 17 PC ( <i>Personal Computer</i> ).....	33
Gambar 3 - 18 Tampilan OS Windows 7 Ultimate.....	34
Gambar 3 - 19 Matlab Simulink library.....	35
Gambar 3 - 20 Perangkat lunak Matlab. ....	35
Gambar 3 - 21 Arduino IDE 1.6.5.....	36
Gambar 3 - 22 Pemasangan Motor <i>Shield</i> ke Papan Arduino.....	37
Gambar 3 - 23 Kutub Positif dan Negatif Motor DC Dihubungkan ke Motor <i>Shield</i> .....	37
Gambar 3 - 24 Pemasangan Motor DC Pada Rumahan/ <i>Casing</i> Simulator.....	38
Gambar 3 - 25 Pemasangan Enkoder Posisi Ayun Pada Troli.....	38
Gambar 3 - 26 Mekanisme Kerja Troli Terhadap Motor DC. ....	39
Gambar 3 - 27 Mekanisme Kerja Troli Terhadap Pulley.....	39
Gambar 3 - 28 Pemasangan Batang Ayun Pada Enkoder Posisi Ayun.....	39
Gambar 3 - 29 Pengkabelan Enkoder dan Vcc serta Ground Motor DC Pada Pin Digital Arduino. ....	40
Gambar 3 - 30 Instalasi Penaik Tegangan Enkoder Posisi Ayun.....	41
Gambar 3 - 31 Hasil Perancangan Perangkat Keras. ....	41
Gambar 3 - 32 Skema perkabelan simulator <i>crane</i> .....	42
Gambar 3 - 33 Proses Perancangan Perangkat Lunak. ....	43
Gambar 3 - 34 Tampilan Matlab Simulink R2014a.....	43
Gambar 3 - 35 Pengukuran panjang lintasan troli dengan alat ukur penggaris. ..	44
Gambar 3 - 36 Blok simulink untuk mencari total panjang lintasan simulator yang kemudian nilai pulsa dikonversi menjadi milimeter. ....	45
Gambar 3 - 37 Susunan Blok Sistem Kendali Posisi Simulator Troli. ....	47
Gambar 3 - 38 Blok Sistem Kendali Ayun dengan Kontroler. ....	47

Gambar 3 - 39 Gambaran posisi batang ayun (posisi A batang ayun berayun kebelakang, Posisi B batang ayun tetap, Posisi C batang ayun berayun kedepan)	48
Gambar 3 - 40 Grafik Osilasi Sistem dengan Nilai Penguat Kritis 50. ....	49
Gambar 4 - 1 Hasil Perancangan Simulator <i>Crane</i> .....	55
Gambar 4 - 2 Blok Diagram Sistem Kendali Posisi Simulator Troli.....	56
Gambar 4 - 3 Sistem Kendali Posisi Simulator Troli dengan Kendali Posisi Ayun. .....	57
Gambar 4 - 4 Respons Sistem Kendali Posisi Tanpa Kontroler dan Kendali Ayun. .....	58
Gambar 4 - 5 Respons Sistem Posisi Troli Tanpa Kendali Ayun Menggunakan Kontroler PID Metode Ziegler-Nichols 2 .....	59
Gambar 4 - 6 Respons Sistem Kendali Posisi Troli Tanpa Kendali Ayun Menggunakan Kontroler PID Metode <i>Trial And Error</i> . ....	60
Gambar 4 - 7 Respons Sistem Kendali Posisi dengan Kendali Ayun Menggunakan PID Metode Ziegler-Nichols 2.....	61
Gambar 4 - 8 Respons Sistem Kendali Posisi Troli dengan Kendali Posisi Ayun Menggunakan Kontroler PID Metode <i>Trial And Error</i> . ....	62

