# RANCANG BANGUN MINIATUR CRANE 1-LENGAN PADA APLIKASI KAPAL BONGKAR-MUAT BARANG

## **SKRIPSI** JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

M. FIRSADA PUTRA PERDANA NIM. 0810630076-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I

**Pembimbing II** 

Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. NIP. 19680122 199512 2 001

Ir. Hari Santoso, M.S. NIP. 19531205 198503 1 001

#### **LEMBAR PENGESAHAN**

## RANCANG BANGUN MINIATUR *CRANE* 1-LENGAN PADA APLIKASI KAPAL BONGKAR-MUAT BARANG

#### **SKRIPSI**

#### JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

M. FIRSADA PUTRA PERDANA NIM. 0810630076-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada tanggal 1 Februari 2013

DOSEN PENGUJI

<u>Ir. Soemarwanto, M.T.</u> NIP. 19500715 198003 1 002 Dr. Ir. Harry S. Dachlan, M.S. NIP. 19490309 198602 1 001

<u>Ir. Hery Purnomo, M.T.</u> NIP. 19550708 198212 1 001

Mengetahui Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.S.
NIP. 19580728 198701 1 001

#### KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena dengan rahmat, taufik dan hidayah-Nyalah skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi berjudul "Rancang Bangun Miniatur Crane 1-Lengan pada Aplikasi Kapal Bongkar Muat Barang" ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

- Bapak Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.S., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Mochammad Rif'an, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, dan Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., MSc., selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc., dan Bapak Ir. Hari Santoso, M.S., selaku Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II, atas segala bimbingan, nasehat, pengarahan, motivasi, saran dan masukan yang telah diberikan.
- Ibu kandung Sri Hartini, Bapak kandung Moch. Hari Siswanto, Saudara kandung M. Risky Ghani Putra dan M. Noptian Bagas Prakoso serta seluruh keluarga besar, atas segala nasehat, kasih sayang, perhatian dan kesabarannya di dalam membesarkan dan mendidik penulis, serta telah banyak mendoakan kelancaran penulis hingga terselesaikannya skripsi ini,
- Teman-teman Tim Robot Elektro Universitas Brawijaya atas dukungan serta semangat yang diberikan pada penulis selama pengerjaan skripsi ini.
- Teman-teman Konsentarsi Teknik Energi Elektrik Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas kerja sama dan kekompakannya.
- Rekan dalam pengerjaan skripsi, M. Wildan Hilmi, Bagus Ibnu, Surya Adi, Ardhito Primatama, atas segala bantuan serta saran dan masukannya,
- Semua pihak yang tidak mungkin bagi penulis untuk mencantumkan namanya satu-persatu, terima kasih banyak atas bantuan dan dukungannya.

BRAWIJAYA

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Malang, 23 Januari 2013



LEMBAR PERSETUJUAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	
DAFTAR ISI	
DAFTAR GAMBAR	
DAFTAR TABEL	
ABSTRAK	
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Penulisan	2
BAB II KAJIAN TEORI	4
2.1 Crane	
2.1.1 Crane Beroda Crawler	
2.1.2 Truck/Car Crane	
2.1.3 Tower Crane	
2.1.3.1 Free-Standing Crane	9
2.1.3.2 Rail-Mounted Crane	
2.1.3.3 Tired-in Tower Crane	
2.1.3.4 Climbing Crane	11
2.2 Motor DC Penguat Terpisah Sebagai Penggerak Crane	11
2.3 Pengaturan Kecepatan Dan Torsi pada Motor DC Magnet Pern	
2.4 Rangkaian Elektrik Sebagai Pengontrol Motor Pada Crane	15
2.4.1 Sensor	
2.4.1.1 Load Cell	
2.4.1.2 Sensor Arus	
2.4.2 Catu Daya	
2.4.3 Mikrokontroler AVR	
2.4.4 Driver Motor	
BAB III METODOLOGI	19

			tur	
			n dan Pembuatan	
3	.2.1		ngan Perangkat Keras	
	3.2.		rakteristik Torsi Beban	
			rancangan Struktur Mekanik	
	3.2		rancangan Struktur Elektrik	
3	.2.2		tan Perangkat Keras	
3	.2.3	Peranca	ngan Perangkat Lunak	26
	.2.4	Pembua	tan Perangkat Lunak	26
3.3	Per	gujian d	an Analisisan Sensor	20
3	.3.1	Pengujia	an Sensor	26
3	.3.2	Pengujia	an Catu Daya	20
3	.3.3		an Driver Motor	
3	.3.4	Pengujia	an Rangkaian PWM	27
3	.3.5	Pengujia	an Motor	27
	.3.6		an Keseluruhan	
3.4	Per	arikan K	Kesimpulan	27
			CANGAN DAN PEMBUATAN	
4.1	Per		n Struktur Mekanik	
4	.1.1	Karakte	ristik Beban	28
4	.1.2		i Crane	
4	.1.3	Karakte	ristik Motor Yang Digunakan	33
			Struktur Mekanik	
4.3	Per		n Struktur Rangkaian Elektrik	
4	.3.1	Sensor	0.0	38
4	.3.2	Catu Da	ıya	39
4	.3.3	Rangkai	ian Mikrokontroler	40
4	.3.4	Rangkai	ian Driver Motor	40
4.4	Per	nbuatan (	Struktur Rangkaian Elektrik	43
4.5	Per	ancangai	n Software	4
4.6	Per	nbuatan A	Software	45
			IIAN DAN ANALISIS	
			ensor	
5	.1.1	Pengujia	an Sensor Berat	47

5.1.2	Pengujian Sensor Arus	47
5.2 Pen	gujian Catu Daya	49
5.3 Pen	gujian Rangkaian <i>Driver</i> Motor	51
5.4 Pen	gujian Rangkaian PWM	52
5.5 Pen	gujian Motor	55
5.6 Pen	gujian Alat Keseluruhan	58
BAB VI	PENUTUP	63
6.1 Kesi	impulan	63
6.2 Sara	an	63
DAFTAI	R PUSTAKA	64
LAMPIR	RAN 1	65
LAMPIR	RAN 2	67
LAMPIF	RAN 3	74
LAMPIR	RAN 3	746

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Crane	4
Gambar 2.2: Skematik diagram crane dan estimasi berat boom dan pusat dari grafitas	si.5
Gambar 2.3: Sistem pengkatrolan ideal untuk mekanisme mengangkat boom	5
Gambar 2.4: Truck crane	
Gambar 2.5: Free-standing crane	
Gambar 2.6: Rail-mounted crane.	10
Gambar 2.7: Tired-in tower crane	
Gambar 2.8: Bagan motor DC	12
Gambar 2.9: Rangkaian pengganti motor dc penguat terpisah	12
Gambar 2.10: Rangkaian pengganti jangkar motor DC	13
Gambar 2.11: Karakteristik kecepatan torsi motor DC	14
Gambar 2.12 : Kurva karakteristik torsi-kecepatan pada motor magnet permanen	15
Gambar 3.1: Diagram alir metodologi penelitian yang digunakan	19
Gambar 3.2 : Flow-chart perancangan crane 1-lengan	20
Gambar 3.3: Diagram blok motor de yang dilengkapi roda gigi	22
Gambar 4.1 : Pergerakan boom pada porosnya	
Gambar 4.2 : Kurva torsi-sudut pada <i>crane</i>	
Gambar 4.3: Rasio gir	
Gambar 4.4 : Bagian-bagian miniatur <i>crane</i>	
Gambar 4.5 : Dimensi <i>crane</i> tampak atas	
Gambar 4.6 : Dimensi <i>crane</i> tampak belakang	33
Gambar 4.7 : Kurva karakteristik kecepatan-torsi motor DC	34
Gambar 4.8 : Kurva kecepatan-waktu pada motor dengan beban yang melaju	34
Gambar 4.9 : Motor DC <i>gearbox</i> magnet permanen	
Gambar 4.10 : Motor DC <i>gearbox</i> magnet permanen	36
Gambar 4.11 : Crane tampak atas	37
Gambar 4.12 : Crane tampak belakang	37
Gambar 4.13 : Crane tampak depan	
Gambar 4.14 : Sensor ACS712	
Gambar 4.15 : Sensor <i>load cell</i>	
Gambar 4.16 : Rangkaian catu daya 5 V <sub>dc</sub>	
Gambar 4.17 : Rangkaian catu daya 12 V <sub>dc</sub>	40

Gambar 4.18 : Rangkaian mikrokontroler	
Gambar 4.19 : Rangkaian <i>driver</i> motor	
Gambar 4.20 : Rangkaian PWM motor	
Gambar 4.21 : Rangkaian MK dan catu daya 5 V <sub>dc</sub>	43
Gambar 4.22 : Rangkaian <i>driver</i> motor dan catu daya 12 V <sub>dc</sub>	43
Gambar 4.23 : Rangkaian terpasang pada mekanik <i>crane</i>	44
Gambar 5.1 : Kurva keluaran ACS712 terhadap arus	49
Gambar 5.2 : Rangkaian catu daya 12 V <sub>dc</sub>	49
Gambar 5.3 : Rangkaian catu daya 12 V <sub>dc</sub>	50
Gambar 5.4 : Sinyal keluaran masukan rangkaian catu daya 5 V <sub>dc</sub>	49
Gambar 5.5 : Sinyal keluaran masukan rangkaian catu daya 12 V <sub>dc</sub>	51
Gambar 5.6 : Rangkaian driver motor	52
Gambar 5.7 : Rangkaian PWM	53
Gambar 5.8 : Sinyal PWM keluaran mikrokontroler (OCR1B)	54
Gambar 5.9 : Sinyal PWM keluaran optocoupler	54
Gambar 5.10 : Sinyal PWM keluaran FET IRFZ44	55
Gambar 5.11 : Kurva kecepatan fungsi tegangan pada motor dc magnet permanen	57
Gambar 5.12 : Kurva tegangan terhadap waktu dengan beban 1,5 kg	58
Gambar 5.13 : Kurva tegangan terhadap waktu dengan beban 2,5 kg	59
Gambar 5.14 : Kurva tegangan terhadap waktu pada beban 1,5 dan 2,5 kg	60
Gambar 5.15 : Kurva tegangan terhadap waktu pada beban 1,5 dan 2,5 kg	61

# DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 : Perbandingan reduksi miniatur crane dengan crane aslinya	31
Tabel 5.1 : Keluaran ACS712 terhadap arus	48
Tabel 5.2 : Keluaran rangkaian catu daya 5 dan 12 V <sub>dc</sub>	50
Tabel 5.3 : Keluaran rangkaian <i>driver</i> motor	52
Tabel 5.4 : Duty cycle masing-masing komponen	53
Tabel 5.5 : Resistansi jangkar motor	55
Tabel 5.6 : Pengujian karakteristik tegangan, arus dan kecepatan motor	56
Tabel 5.7 : Perbandingan hasil perhitungan karakteristik dari masing-masing motor	
penggerak	62



Crane merupakan suatu alat berat yang berguna untuk memindahkan benda berat dari satu titik ke titik lain dengan jangkauan yang terbatas. Dalam skripsi ini dirancang dan dibangun sebuah miniatur crane 1-lengan sebagai bentuk tereduksi dari ukuran sesungguhnya, sebagai model untuk memahami prinsip kerja dan pengendalian motor penggerak crane. Crane yang dibuat mempunyai panjang lengan tereduksi dengan skala 1:100 menjadi 70 cm, dengan beban maksimal 2,5 kg disesuaikan dengan ketersediaan bahan untuk struktur mekaniknya, serta penggunaan motor DC magnet permanen berdasarkan pemenuhan kebutuhan karakteristik torsi beban serta kemudahan pengendalian serta ketersediaannya di pasaran. Digunakan 3 buah motor untuk penggerak tiga jenis gerakan yaitu penggerak boom, menarik tali dan memutar crane. Pengerjaan skripsi dimulai dengan kajian literatur, penentuan spesifikasi dan batasan fungsi alat yang akan dibuat, perhitungan dan penentuan dimensi, bahan, serta komponen rancangan, pembuatan alat, dilanjutkan dengan pengujian unjuk kerja dan analisisnya, serta diakhiri dengan penarikan kesimpulan. Dihasilkan suatu rancangbangun miniatur crane 1-lengan menggunakan 3 buah motor, yaitu untuk penggerak tiang dengan daya 20,844W, untuk pemutar *crane* berdaya 10,81W, dan untuk penarik tali berdaya 11,256W. Motor berfungsi sebagai penggerak dengan menggunakan komponen MOSFET sebagai *power converter* yang dikendalikan mikrokontroler. Hasil pengujian menunjukkan bahwa miniatur crane 1-lengan terbukti dapat berfungsi memindahkan beban sebagaimana yang dikehendaki sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan.

**Kata Kunci**— *crane*, motor DC, *gearbox*, magnet permanen, torsi beban

#### **BABI**

#### **PENDAHULUAN**

### 1.1 Latar Belakang

Crane merupakan suatu alat yang berfungsi untuk memindahkan benda-benda berat dari satu titik ke titik lain. Jangkauan pemindahan benda berat menggunakan crane dibatasi oleh panjang maksimal dari boom pada crane. Boom merupakan lengan yang terdapat pada crane. Keadaan medan juga sangat penting untuk diperhitungkan, karena saat crane beroperasi memikul benda dengan massa yang berat, medan harus dapat menjamin keseimbangan dan kekuatan pijakan dari crane.

Dalam skripsi ini dirancang dan dibangun sebuah miniatur *crane* 1-lengan sebagai reduksi dengan batas-batas tertentu dari *crane* pada kapal bongkar muat barang yang sesungguhnya. Rencana lengan dengan panjang 70 cm yang merupakan awal reduksi dengan skala 1 : 100 namun batas lainnya tidak sama dengan skala tersebut. Dikarenakan bahan transmisi yang terbuat dari plastik memungkinkan massa beban maksimal hanya berkisar 2,5 kg. Motor yang digunakan dalam minatur crane yaitu motor DC magnet permanen karena pertimbangan kemudahan pengendalian dan ketersediaan di pasaran. Hasil miniatur crane ini diupayakan dapat difungsikan secara praktis sebagaimana crane yang sesungguhnya. Mungkin miniatur crane dapat digunakan pada aplikasi pemindahan barang didalam pabrik-pabrik dimana barang dipindahkan dari *konveyor* satu ke *konveyor* yang lain dengan maksimal beban 2,5 kg.

Suatu contoh bentuk *crane* yang digunakan pada kapal bongkar muat barang dapat dipahami bahwa paling sedikit digunakan 3 buah motor. Ketiga motor harus mewakili semua arah pergerakan *crane*. Selain itu, beban berat yang dipikul *crane* mengharuskan pemakaian motor dengan daya yang sangat besar dibantu penggunaan sistem transmisi yang dapat berupa tali maupun *gearbox* yang bertujuan untuk memperbesar torsi. Miniatur *crane* yang dirancang dan dibangun dalam skripsi ini dapat digunakan untuk mempelajari dan memahami bagaimana prinsip kerja dan pengendalian motor penggerak *crane*.

#### 1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan dalam latar belakang maka rumusan masalah ditekankan pada:

- 1. Bagaimana merancang sebuah miniatur *crane* 1 (satu) lengan.
- 2. Bagaimana cara pengendalian motor penggerak *crane*.

#### 1.3 Batasan Masalah

Perancangan dan pembuatan miniatur crane 1-lengan dalam skripsi ini dibatasi pada hal-hal berikut:

- 1) Berat benda maksimal pada crane yaitu 2,5 kg.
- 2) Crane dioperasikan menggunakan stik.
- 3) Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C dengan aplikasi software CV AVR.
- 4) Power Converter untuk catu daya motor menggunakan komponen MOSFET.
- 5) Pengendalian power konverter menggunakan mikrokontroler ATMega 16.
- 6) Crane yang dirancang hanya mampu menjangkau benda sejauh maksimal 70 cm karena skala reduksi 1:100 dari ukuran sesungguhnya.
- 7) Tidak membahas masalah sistem proteksi dari *crane* yang dirancang.
- 8) Motor penggerak menggunakan motor DC magnet permanen.

#### 1.4 Tujuan

Penyelesaian skripsi ini bertujuan untuk merealisasikan suatu bentuk miniatur crane yang sampai batas-batas tertentu bermanfaat untuk memahami prinsip kerja dan pengendalian motor penggeraknya.

#### 1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan skripsi ini adalah sebagai berikut:

#### BAB I : Pendahuluan

Pendahuluan yang memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan.

#### : Kajian Teori **BAB II**

Membahas teori dasar yang berhubungan dengan crane.

#### **BAB III** : Metodologi

Membahas tentang tahapan penyelesaian skripsi.

**BAB IV**: Perancangan Dan Pembuatan

Menjelaskan proses perancangan dan pembuatan miniatur crane.

**BAB V** : Pengujian Dan Analisis

Menjelaskan tentang langkah-langkah pengujian serta analisis terhadap hasil pengujian.

BAB VI : Penutup

Membahas kesimpulan dan saran dari hasil pengujian dan analisis.



# BAB II KAJIAN TEORI

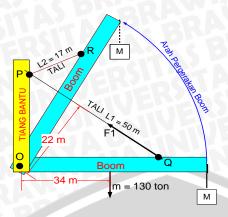
#### 2.1 Crane

Crane merupakan sebuah konstruksi mekanik yang berguna untuk mempermudah dalam pengangkatan benda berat dengan menggunakan aplikasi dari motor, sistem tekanan angin dan hidrolik sebagai penggerak utama crane. Crane membutuhkan dimensi mekanik yang cukup lebar seiring fungsinya yang dapat memindahkan benda dari satu titik ke titik lain dengan jangkauan maksimal tergantung dari konstruksi dan dimensi dari crane itu sendiri. Cara kerja crane ialah dengan mengangkat material yang akan dipindahkan kemudian memindahkan secara horizontal dan vertical, baru diturunkan di tempat yang diinginkan. Crane adalah suatu sistem yang di dalamnya terdapat beberapa bagian yang saling menunjang untuk memenuhi tujuan dari pengoperasian crane. Beberapa bagian terdiri dari pengontrol (sensor, mikrokontroler, driver motor, proteksi), catu daya (listrik atau baterai), penggerak (motor) dan struktur mekanik crane (baja atau logam kuat).

Berikut contoh salah satu crane yang terdapat di pelabuhan ditunjukkan pada gambar 2.1 dan 2.2 serta analisis perhitungan parameter-parameter pada setiap gerakan crane :



Gambar 2.1: crane (iwan sugiarto, 2012)



Gambar 2.2: Skematik diagram *crane* dan estimasi berat *boom* dan pusat dari grafitasi (Ing J. Verschoof, 2002:82)

Gambar 2.2 merupakan skematik diagram *crane* dan estimasi beratnya sehingga dapat dihitung berapa daya motor yang diperlukan untuk menggerakkan *crane*. Berikut spesifikasi dan perhitungan *crane* diatas :

Massa boom (G) : 130 ton

Massa beban maks (M) : 70 ton

Jarak poros ke tengah *boom* (B) : 34 m

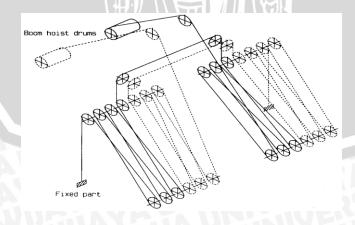
Kecepatan rata-rata tali : 7,33 m/min

Kecepatan motor (n) : 1500 rpm

Total efisiensi (gear, tali, roda) :  $\eta = 0.86$ 

Gaya start mengangkat *boom* : F1= $\frac{G \cdot B}{A} = \frac{200.9,8 \cdot 34}{22} = 3029 \text{ kN}$ 

Dengan menggunakan rangkaian katrol-katrol akan menaikkan rasio sehingga gaya start yang dibutuhkan motor semakin kecil seperti pada gambar 2.3 dibawah ini :



Gambar 2.3: sistem pengkatrolan ideal untuk mekanisme mengangkat *boom* (Ing J. Verschoof, 2002:84)

Effisiensi katrol-katrol : 0,91

Jumlah katrol

:  $F2 = \frac{F1}{18. n} = \frac{3029000}{18. 0.91} = 185 \text{ kN}$ Gaya start menjadi

:  $N = \frac{F2 \cdot v}{60 \cdot \eta} = \frac{185000 \cdot 7{,}33}{60 \cdot 0{,}86} = 26{,}3 \text{ kW}$ Daya motor yang dibutuhkan

Untuk menarik beban menggunakan motor sendiri yang mana berbeda dengan motor yang digunakan untuk mengangkat boom diatas. Seperti data diatas beban maksimal yaitu 70 ton, sehingga dapat dihitung daya motor yang digunakan:

Gaya beban maks (F1) : 686 kN

Kecepatan tali maks (v) : 30 m/min

Total efisiensi (tali, roda)

 $\eta = 0.9$ Kecepatan motor (n)

Jumlah katrol

 $F2 = \frac{F1}{6 \cdot \eta} = \frac{686000}{6 \cdot 0.9} = 127 \text{ kN}$ Gaya beban (F2)

 $: N = \frac{F \cdot v}{60 \cdot n} = \frac{127000 \cdot 30}{60 \cdot 0.9} = 70.6 \text{ kW}$ Daya motor yang dibutuhkan

Satu motor lagi digunakan untuk memutar blok crane guna memindahkan beban memutar kekanan dan kekiri. Perhitungan memperlibatkan momen inersia dari crane karena beban bergerak dalam bidang horisontal.

Beban *crane* dan beban maks: 500 ton

Panjang *crane* (L) : 100 m

: 0.2 Rad/s Kecepatan sudut (w)

:  $0.1 \text{ Rad/s}^2$ Percepatan sudut (a)

:  $I = \frac{1}{12} mL^2 = \frac{1}{12} 500000. \ 100^2 = 416666 \ ton/m^2$ Momem inersia (I)

Torsi (T)  $T = I.a = 416666000 \cdot 0.1 = 41666 \text{ kNm}$ 

:  $N = \frac{n.T}{9550} = \frac{783.41666}{60.9550} = 67 \text{ kW}$ Daya motor

Dari bentuk crane diatas didapatkan 3 jenis data motor yang masing-masing memiliki daya 26,3 kW, 70,6 kW, dan 67 kW.

Dalam pergerakan bagian-bagian crane menggunakan motor yang tentu saja dibutuhkan adanya suatu pengereman yang membantu menghentikan pergerakan bagian crane karena beban yang relatif berat. Di era modern pengereman dilakukan secara modern juga, yaitu dengan menggunakan piringan rem yang dikopel dengan as motor. Prinsip kerjanya sama dengan rem cakram yang terdapat pada kendaraan bermotor.

Kebanyakan dengan menggunakan hidrolik dari minyak rem yang ditekankan pada piston sehingga menghimpit dan menghentikan putaran piringan tetapi ada juga yang menggunakan magnit untuk menghentikan putaran piringan rem. Aplikasi pengereman ini diterapkan ke tiga motor penggerak crane. (Ing J. Verschoof, 2002:113)

kehidupan sehari-hari crane sangat dibutuhkan terutama jika Dalam berhubungan dengan benda yang memiliki dimensi besar serta massa yang berat. Sering terlihat penggunaan dari crane dalam pembangunan gedung, bongkar muat barang di pelabuhan, serta dalam industri-industri atau pabrik yang menggunakan mesin-mesin besar dan berat. Crane memiliki beberapa tipe pengoperasian yang dapat dipilih tergantung kondisi pemakaiannya. Tipe crane yang umum dipakai yaitu: crane beroda crawler, truck / car crane dan tower crane.

#### 2.1.1 Crane Beroda Crawler

Bagian atas crawler crane ini dapat berputar 360° dan bergerak di dalam lokasi projek saat melakukan pekerjaannya. Bila akan digunakan pada sistem lain maka crane diangkut dengan menggunakan trailer. Pengangkutan ini dilakukan dengan membongkar boom menjadi beberapa bagian untuk mempermudah pelaksanaan pengangkutan. Pengaruh permukaan tanah terhadap alat tidak akan menjadi masalah karena lebar kontak antara permukaan dengan roda cukup besar, kecuali jika tekstur tanahnya yang jelek. Pada saat pengangkatan material, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah posisi alat waktu operasi yang harus benar-benar pada kondisi water level, serta keseimbangan alat dan penurunan permukaan tanah akibat beban dari alat tersebut. Pada permukaan yang jelek atau permukaan dengan kemungkinan terjadi penurunan, alat harus berdiri di atas suatu alas atau matras. Keseimbangan alat juga dipengaruhi besarnya jarak roda crawler. Untuk itu pada beberapa jenis crane dapat dijumpai crawler yang lebih panjang guna mengatasi masalah keseimbangan alat.

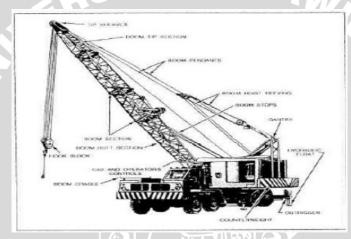
#### 2.1.2 Truck/Car Crane

Crane jenis ini dapat berpindah tempat dari satu projek ke projek lain tanpa bantuan alat pengangkutan. Akan tetapi beberapa bagian dari crane tetap harus dibongkar untuk mempermudah perpindahan. Seperti halnya crawler crane, pada truck crane bagian atasnya juga dapat berputar 360°. Truck crane mempunyai kemampuan angkat cukup besar, dengan skala berton-ton. Kemampuan jangkauannya dapat mencapai 60 meter, dengan roda penggerak dapat berada baik di depan maupun di

belakang. Untuk dapat memiliki kemampuan angkat yang maksimal dan menjaga stabilitas yang tinggi, truck crane perlu dilengkapi dengan kaki penopang (outrigger). Penggunaan kaki penopang ini dengan cara dipasangkan dengan roda truck diangkat dari tanah, sehingga keselamatan pengoperasian boom yang panjang akan terjaga. Semakin keluar *outrigger crane* maka akan makin stabil, karena *crane* jenis ini sangat tidak stabil, disamping itu lokasi kerjanya harus bercuaca baik, permukaannya rata (water level) dan tak ada getaran. Gambar truck crane ditunjukkan pada gambar 2.4.

Karakteristik Truck Crane adalah sebagai berikut :

- a. Mempunyai fleksibilitas yang tinggi.
- b. Ringan dan mudah dipindah-pindahkan.
- c. Digerakkan dan dirakit secara otomatis karena menggunakan mesin truck.



Gambar 2.4: Truck Crane (Lawrence Shapiro, 2011:51)

Selain jenis tersebut, ada juga jenis lain dari Truck Crane yang disebut Hydraulic Truck Crane atau Telescopic Crane. Boom crane jenis ini dapat diperpanjang atau diperpendek sesuai kebutuhan, untuk itu diperlukan tenaga hidrolis sebagai penggeraknya. Penggoperasian alat ini membutuhkan site yang luas dan permukaan yang kuat untuk menahan ban dan penopang yang berdiri kokoh. Crane ini sangat cocok digunakan pada pekerjaan *finishing* dan pemeliharaan gedung bertingkat.

#### 2.1.3 **Tower Crane**

Tower Crane merupakan alat yang digunakan untuk mengangkat material secara vertical dan horizontal ke suatu tempat yang tinggi pada ruang gerak yang terbatas. Tipe crane dibagi berdasarkan cara crane tersebut berdiri, yaitu :

- a. Crane yang berdiri bebas (free-standing crane).
- b. Crane di atas rel (rail-mounted crane).

- c. Crane yang ditambatkan pada bangunan (tired-in tower crane).
- d. Crane panjat (climbing crane).

### 2.1.3.1 Free-Standing Crane

Crane yang berdiri bebas (free-standing crane) berdiri diatas pondasi yang khusus dipersiapkan untuk alat tersebut. Jika crane harus mencapai ketinggian yang besar maka kadang-kadang digunakan pondasi dalam seperti tiang pancang. Tiang utama (mast) diletakkan di atas dasar dengan diberi ballast sebagai penyeimbang (counterweight). Syarat dari pondasi tersebut harus mampu menahan momen, berat crane dan berat material yang diangkat. Gambar free-standing crane ditunjukkan pada gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5: Free-standing crane (Lawrence Shapiro, 2011:53)

Tipe jib atau lengan pada tower crane ada dua yaitu saddle jib dan luffing Jib. Saddle jib adalah lengan yang mendatar dengan sudut 90° terhadap mast atau tiang tower crane. Jib jenis ini dapat bergerak 360°. Sedangkan luffing jib mempunyai kelebihan dibandingkan dengan saddle jib karena sudut antara tiang dengan jib dapat diatur lebih dari 90°. Dengan kelebihan ini maka hambatan pada saat lengan berputar dapat dihindari. Dengan demikian pergerakan tower dengan luffing jib lebih bebas dibandingkan dengan alat yang menggunakan saddle jib.

### 2.1.3.2 Rail-Mounted Crane

Penggunaan rel pada *crane* jenis ini mempermudah alat untuk bergerak sepanjang rel tersebut. Tetapi agar tetap seimbang gerakan *crane* tak dapat terlalu cepat. Kelemahan *crane* tipe ini adalah harga rel yang cukup mahal dan rel harus diletakkan pada permukaan datar sehingga tiang tidak menjadi miring.

Crane jenis ini digerakkan dengan menggunakan motor penggerak. Jika kemiringan tiang melebihi 1/200 maka motor penggerak tidak mampu menggerakkan

BRAWIJAYA

*crane*. Selain itu juga perlu diperhatikan desain rel pada tikungan karena tikungan yang terlalu tajam akan mempersulit motor penggerak untuk menggerakan alat.

Ketinggian maksimum *rail-mounted crane* adalah 20 meter dengan berat beban yang diangkat cukup besar. Perlu diperhatikan agar tidak melebihi batas beban yang diijinkan untuk menghindari jungkir, mengingat seluruh badan *crane* bergerak pada saat pengangkatan material. Walaupun kapasitas angkut dan ketinggian yang terbatas namun keuntungan dari penggunaan *rail-mounted crane* adalah jangkauan yang lebih besar sesuai dengan panjang rel yang tersedia. Gambar *rail-mounted crane* ditunjukkan pada gambar 2.6 berikut:



Gambar 2.6: Rail-mounted crane (Lawrence Shapiro, 2011:54)

#### 2.1.3.3 Tired-in Tower Crane

Crane jenis ini mampu berdiri bebas pada ketinggian kurang dari 100 meter. Jika diperlukan *crane* dengan ketinggian lebih dari 100 m, maka *crane* harus ditambatkan atau dijangkar ke struktur bangunan. Fungsi dari penjangkaran ini ialah untuk menahan gaya *horizontal*. Dengan demikian *crane* tipe *tired-in tower crane* dapat mencapai ketinggian sampai 200 meter. Gambar *tired-in tower* crane ditunjukkan pada gambar 2.7 berikut :



Gambar 2.7: Tired-in tower crane (Lawrence Shapiro, 2011:55)

### 2.1.3.4 Climbing Crane

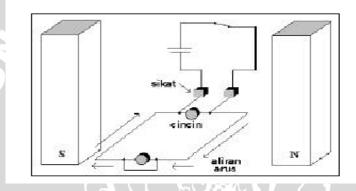
Apabila lahan yang ada terbatas, maka alternatif penggunaan *crane* yakni dengan menggunakan *Crane* panjat atau *Climbing Crane*. *Crane* tipe ini diletakkan didalam struktur bangunan yaitu pada *core* atau inti bangunan. *Crane* bergerak naik bersamaan dengan struktur naik. Pengangkatan *crane* dimungkinkan dengan adanya dongkrak hidrolis (*hydraulic jacks*).

### 2.2 Motor DC Penguat Terpisah Sebagai Penggerak Crane

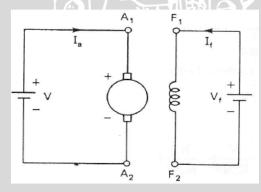
Motor ialah salah satu jenis dari mesin elektrik dinamis yang bentuk fisiknya sama dengan generator. Motor dapat merubah energi listrik menjadi mekanik dengan prinsip kerja yang hampir sama dengan generator. Singkatnya prinsip kerja motor (mengacu pada salah satu kerja motor) yaitu melalui teori medan elektromagnetik dimana lilitan stator dialiri listrik dan akan menimbulkan medan magnit pada stator dan juga rotor juga dialiri listrik melalui komutator dan akan menimbulkan medan listrik. Kedua medan akan saling bersinggungan dan akan menimbulkan torsi putar pada rotor yang dikopel dengan as sehingga as tersebut berputar seiring berputarnya rotor akibat torsi putar tersebut.

Crane hanyalah sebuah konstruksi mekanik yang kokoh dan dapat bergerak. Butuh adanya suatu aktuator untuk menggerakan crane yaitu salah satunya motor. Motor dapat berupa motor AC (Alternating Current) maupun DC (Direct Current). Yang paling mudah digunakan dan mudah pengontrolannya yaitu motor DC. Karena tidak membutuhkan banyak inverter maupun converter.

Gambar 2.8 memperlihatkan dasar prinsip kerja motor DC. Motor ini menggunakan sikat dan cincin belah (komutator). Saat siklus pertama, arus mengalir dari kutub positif ke negatif. Aliran arus yang melewati bagian kabel yang berada didekat kutub N magnet akan menimbulkan gaya *Lorentz* ke bawah. Sementara itu aliran arus yang melewati kabel yang berada di dekat kutub S magnet akan menyebabkan gaya *Lorentz* ke atas. Kedua perpaduan gaya *Lorentz* tersebut akan menyebabkan kawat berputar. Pada siklus berikutnya terjadi hal yang serupa seperti pada siklus sebelumnya. Apabila arus terus-menerus dialirkan, maka kawat akan berputar secara terus menerus pula. Pada aplikasi sesungguhnya, kawat adalah sebuah rotor yang akan dikopel dengan sebuah as dan akan memutar as tersebut terus menerus seiring perputaran motor. Berikut bagan motor DC ditunjukkan pada gambar 2.8:

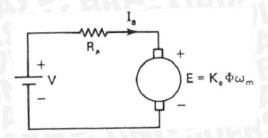


Gambar 2.8: Bagan Motor DC (Austin Hughes, 2006: 134)



Gambar 2.9: Rangkaian Pengganti Motor DC Penguat terpisah ( Dubey K.Gopal,1993:35)

Gambar 2.9 merupakan rangkaian pengganti motor DC penguat terpisah dimana pada penguatannya menggunakan sumber tersendiri yang tidak berhubungan dengan dengan sumber jangkarnya. Persamaan rangkaian keadaan mantap jangkar mesin DC digambarkan pada gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10: Rangkaian pengganti jangkar motor DC (Dubey K.Gopal, 1993:37)

Resistor Ra adalah resistansi dari rangkaian jangkar. Untuk motor penguat terpisah besarnya Ra sama dengan resistansi dari lilitan jangkar. Persamaan dasar dari motor DC adalah:

$$E = K_e \Phi \omega_m \tag{2.1}$$

$$V = E + R_a I_a$$

$$T = K_e \Phi I_a$$
(2.2)

$$T = K_e \Phi I_a \tag{2.3}$$

dimana: Φ = Fluks per kutub, Weber

= Arus Jangkar, A

= Tegangan Jangkar, V

= Resistansi Rangkaian Jangkar,  $\Omega$ 

= Kecepatan sudut jangkar, rad/s  $\omega_m$ 

T = Torsi Motor, N.m

Ke = Konstanta

Dari persamaan 2.1 sampai 2.3, diperoleh persamaan berikut:

$$\omega_m = \frac{V}{K_e \Phi} - \frac{R_a}{K_e \Phi} I_a \tag{2.4}$$

$$= \frac{V}{K_e \Phi} - \frac{R_a}{(K_e \Phi)^2} T \tag{2.5}$$

Persamaan 2.1 sampai 2.5 dapat diaplikasikan untuk semua tipe dari motor DC. Dalam kasus motor penguat terpisah, jika tegangan medan dibuat konstan dapat diasumsikan fluks motor konstan. Sehingga,

$$K_e \Phi = K \text{ (konstan)}$$
 (2.6)

Maka dari persamaan 2.1 sampai 2.6, diperoleh:

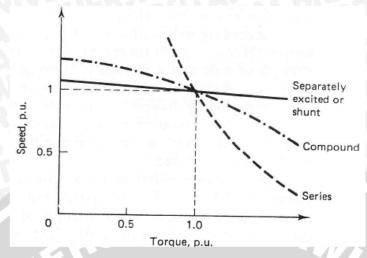
$$T = K I_a (2.7)$$

$$E = K \omega_{\rm m} \tag{2.8}$$

$$\omega_m = \frac{V}{K} - \frac{R_a}{K} I_a \tag{2.9}$$

$$= \frac{V}{\kappa} - \frac{R_a}{\kappa^2} T \tag{2.10}$$

Kurva karakteristik kecepatan torsi motor DC dapat ditunjukkan pada gambar 2.11 dibawah ini :



Gambar 2.11: Karakteristik kecepatan torsi motor DC (Dubey K.Gopal,1993:37)

Karakteristik torsi kecepatan dari motor penguat terpisah adalah sebuah garis lurus, seperti terlihat pada gambar 2.11. Kecepatan tanpa beban (ω mo) ditentukan oleh nilai dari tegangan jangkar dan penguatan *fluks*. Pengurangan kecepatan sebagai fungsi penambahan torsi dan regulasi kecepatan tergantung dari resistansi rangkaian jangkar (persamaan 2.10). Dalam prakteknya, kenaikan *fluks* akan menaikkan torsi juga, bahkan ketika arus jangkar dijaga konstan. Turunnya kecepatan dari tanpa beban ke beban penuh, dalam kasus dari motor ukuran medium, adalah sebesar 5%. Motor penguat terpisah diterapkan dalam aplikasi yang membutuhkan regulasi kecepatan dan pengaturan kecepatan yang baik.

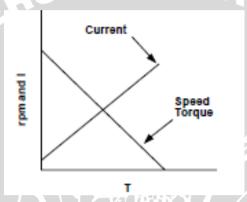
### 2.3 Pengaturan Kecepatan Dan Torsi pada Motor DC Magnet Permanen

Prinsip kerja dari motor DC magnet permanen hampir sama dengan motor DC penguat terpisah. Yang membedakan adalah penguatannya dengan menggunakan magnet permanen sehingga besarnya *fluks* tetap sedangkan pada motor DC penguat terpisah besarnya *fluks* dapat berubah-ubah. Motor DC magnet permanen dapat dikatakan sama dengan motor DC penguat terpisah pada saat motor DC penguat terpisah pada penguatannya diberi catu sedemikian besarnya sehingga menghasilkan *fluks* konstan yang sama dengan *fluks* yang dihasilkan oleh magnet permanen.

Karakteristik kecepatan dan torsi pada motor DC magnet permanen memiliki hubungan yang terbalik dimana pada saat torsi naik maka kecepatan akan turun dan begitu juga sebaliknya seperti terlihat pada gambar 2.12 dibawah ini. Pengaturan

kecepatan pada motor secara otomatis juga harus memperhatikan torsinya agar beban yang dipikul oleh motor masih dapat ditangani. Melihat hal ini, harus diperhatikan daya output motor sehingga ada suatu titik keseimbangan dimana kecepatan dan torsi memiliki nilai dengan porsi yang cukup untuk memikul beban.

Pada kasus *crane*, yang harus diperhatikan ialah torsinya yang harus memiliki nilai yang besar agar sanggup mengangkat beban yang berat terlebih pada saat starting motor. Untuk kecepatannya tidak begitu diperhatikan karena crane dikendalikan secara manual oleh operator yang nantinya kembali lagi tergantung pada kehandalan seorang operator untuk mengatur pergerakan *crane*. Torsi pada motor tergantung pada *fluks* dan juga arus jangkar yang mengalir dililitan jangkar karena berbanding lurus seperti yang terlihat pada persamaan 2.3.



Gambar 2.12: Kurva karakteristik torsi-kecepatan pada motor magnet permanen (Globe DC motor datasheet:1)

Gambar 2.12 memperlihatkan bahwa torsi merupakan fungsi dari arus jangkar yang memiliki hubungan linear ( $T = f(I_a)$ ). Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa fluks medan konstan karena motor menggunakan magnet permanen dan ditunjukkan oleh persamaan 2.7. Oleh karena itu torsi hanya dipengaruhi oleh arus jangkar yang berubah-ubah setelah nilai K dan fluks magnet diketahui.

#### 2.4 Rangkaian Elektrik Sebagai Pengontrol Motor Pada Crane

Motor sebagai actuator yang dapat dikontrol harus memiliki sebuah unit pengontrol yang berupa rangkaian elektrik. Rangkaian ini memiliki beberapa bagian yang penting untuk menunjang suatu tujuan yaitu mengatur motor. Beberapa bagian penting dari rangkaian elektrik yaitu : sensor, mikrokontroler, catu daya, dan driver/relay. Semua bagian diatur oleh sebuah unit pengaturan pada mikrokontroler yang didalamnya berisi sebuah program tertentu. Rangkaian tersebut terbuat dari

beberapa komponen elektronika berupa komponen pasif dan aktif. Rangkaian ini harus memiliki sistem ketahanan dan keandalan yang tinggi guna menunjang tujuannya yang memungkinkan dapat memikul suatu beban tinggi secara tiba-tiba maupun dalam waktu yang lama.

#### **2.4.1** Sensor

Sensor dapat diartikan sebagai panca indra dari sebuah sistem. Sensor sama halnya dengan panca indra berfungsi untuk mendeteksi besaran suatu keadaan menjadi besaran dalam bentuk interval nilai baik berupa tegangan maupun pulsa yang kemudian dilanjutkan ke unit pengontrol. Sensor harus dicatu oleh sumber energi agar sensor dapat bekerja dan memberikan keluaran yang diinginkan. Sensor yang digunakan dalam hal ini yaitu *load cell* dan sensor arus.

#### 2.4.1.1 Load Cell

Load cell merupakan sensor berat yang berfungsi untuk mengukur berat benda. Berat benda tersebut akan diolah dan dikalkulasi menjadi sebuah keluaran berupa tegangan yang berubah-ubah tergantung berat yang dipikulnya. Tegangan yang dihasilkan tidak melebihi tegangan sumber yang dibutuhkan. Cara kerja dari Load Cell menggunakan sifat kelenturan benda yang jika dibengkokkan akan mengeluarkan tegangan dengan nilai tertentu. Pemasangan sebuah sensor Load Cell harus benar-benar presisi secara mekanik sehingga sensor ini bekerja secara optimal.

#### 2.4.1.2 Sensor Arus

Sensor arus ini jelas berfungsi mengukur arus yang dilewatkan sensor dengan mengeluarkan keluaran berupa besaran tertentu dan aman untuk diolah di unit pengontrol yang prinsip kerjanya hampir sama dengan alat amperemeter. Sensor yang digunakan yaitu *ACS712*. Sensor ini sama dengan sensor-sensor lainnya yaitu membutuhkan catu tegangan sebesar 5 volt. Pada arus 0 yang terukur, keluaran sensor sebesar 2,5 volt dan akan mengalami kenaikan keluaran seiring kenaikan arus yang terukur. Keluaran ini dapat diolah sebagai masukan sistem melalui unit pengontrol dapat berupa mikrokontroler.

### 2.4.2 Catu Daya

Semua rangkaian elektronika membutuhkan sebuah catu daya atau sumber untuk mengaktifkan rangkaian agar dapat bekerja sesuai tujuan. Catu daya ini bermacam-

macam jenisnya dapat AC maupun DC. Dalam elektronika catu daya yang sering digunakan yaitu jenis DC karena mudah pengolahannya. Banyak cara untuk menyediakan catu daya jenis DC diantaranya: langsung dari baterai, menggunakan regulator (IC 78XX) untuk mencapai tegangan yang diinginkan dan juga menggunakan penyearah gelombang dari AC menjadi DC jika sumber yang tersedia AC. Penggunaan catu daya menggunakan regulator harus benar-benar diperhatikan kehandalannya dan juga harus dapat memperkirakan jumlah beban yang akan dipikulnya. Hal ini dimaksudkan agar regulator tidak mengalami kelebihan beban yang akan mengakibatkan panas berlebihan dan dapat jadi terbakar. Untuk efisiensi yang tinggi dapat menggunakan catu daya berupa DC Chopper. Prinsip kerjanya berdasarkan pensaklaran yang dilakukan sangat cepat berulang kali untuk mandapatkan tegangan DC dari sumber AC.

#### 2.4.3 Mikrokontroler AVR

Mikrokontroler AVR memiliki arsitektur RISC 8 Bit, sehingga semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16-bits word) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus instruksi clock. Dan ini berbeda sekali dari instruksi MCS-51 (Berarsitektur CISC) yang membutuhkan siklus 12 clock. RISC merupakan singkatan dari *Reduced Instruction Set Computing* sedangkan CISC singkatan dari *Complex Instruction Set Computing*.

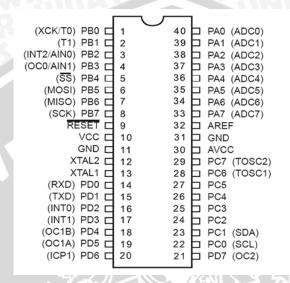
AVR dikelompokkan kedalam 4 kelas, yaitu ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATMega, dan keluarga AT86RFxx. Dari kesemua kelas yang membedakan satu sama lain adalah ukuran *onboard memori*, *on-board peripheral* dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan mereka dapat dikatakan hampir sama.

Konfigurasi Pin ATMega 16:

- 1. VCC merupakan Pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya
- 2. GND merupakan Pin Ground
- 3. Port A (PA0...PA7) merupakan pin I/O dan pin masukan ADC
- 4. Port B (PB0...PB7) merupakan pin I/O dan pin yang mempunyai fungsi khusus yaitu Timer/Counter, komparator Analog dan SPI
- 5. Port C (PC0...PC7) merupakan port I/O dan pin yang mempunyai fungsi khusus, yaitu komparator analog dan *Timer Oscillator*
- 6. Port D (PD0...PD1) merupakan port I/O dan pin fungsi khusus yaitu komparator analog dan interrupt eksternal serta komunikasi serial

- 7. RESET merupakan pin yang digunakan untuk mereset mikrokontroler
- 8. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan *clock* eksternal
- 9. AVCC merupakan pin masukan untuk tegangan ADC
- 10. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi untuk ADC

Berikut konfigurasi pin ATMega 16 ditunjukkan pada gambar 2.13:



Gambar 2.13: Konfigurasi Pin Mikrokontroler ATMega 16 (ATMega 16 Datasheet)

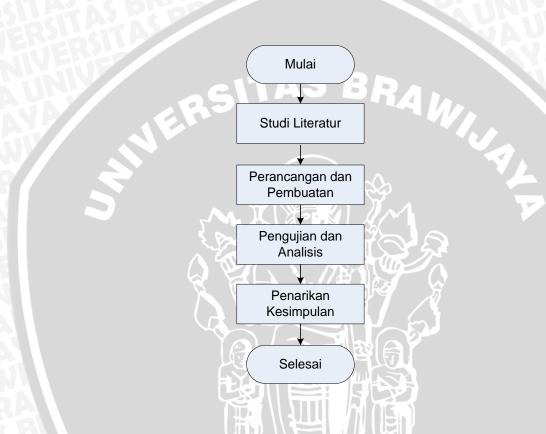
#### 2.4.4 Driver Motor

Tujuan driver motor ini adalah untuk mensuplai energi yang dibutuhkan motor agar motor dapat bekerja sesuai sistem. Driver motor ini juga untuk memisahkan daya rendah dari sisi pengontrol dengan daya tinggi dari sisi motor yang biasanya membutuhkan daya yang tinggi agar motor dapat bekerja. *Driver* motor dapat menggunakan komponen transistor, FET, *relay, optocoupler*, dll. Perlu diperhatikan dalam memilih komponen yang pas agar dapat bekerja secara optimal. Oleh karena itu tujuan dari penggunaan motor dan pengetahuan akan karakteristik motor harus jelas sehingga dapat memilih komponen yang baik dengan efisiensi yang tinggi.

#### **BAB III**

#### **METODOLOGI**

Dalam menyelesaikan sebuah projek dan penelitian-penelitian perlu adanya metodologi yang digunakan sebagai bahan acuan untuk bergerak. Metodologi ini berisi langkah-langkah penyelesaian suatu masalah secara urut mulai dari studi literatur hingga penarikan kesimpulan.



Gambar 3.1: Diagram alir metodologi penelitian yang digunakan

#### 3.1 Studi Literatur

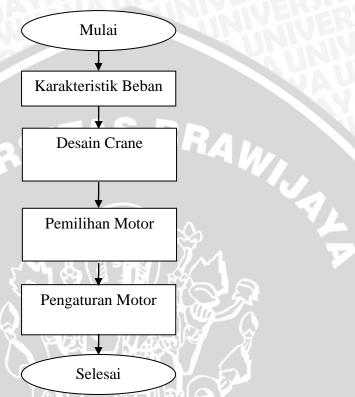
Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori penunjang yang dibutuhkan dalam perancangan dan pembuatan alat.

### 3.2 Perancangan dan Pembuatan

Perancangan *crane* satu lengan dilakukan berdasarkan pada materi dan referensi yang diperoleh dari hasil studi pustaka. Perancangan meliputi semua aspek yang menunjang sistem tersebut baik dari segi mekanik, elektrik maupun software. Hasil rancangan kemudian diuji menggunakan stik yang dilakukan oleh operator.

### 3.2.1 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras dari *crane* terdiri dari konstruksi struktur mekanik dan elektrik sesuai tugasnya masing-masing. Perancangan dilakukan berdasarkan pada pemilihab aplikasi *crane* pada kapal bongkar muat dimana terdapat *crane* sederhana yang dipasang pada atas kapal.



Gambar 3.2: Flow-chart perancangan Crane 1-lengan

Gambar 3.2 merupakan urutan dalam merancang sebuah *crane* 1-lengan. Yang pertama dilakukan yaitu mengetahui karakteristik torsi beban yang akan dipikul oleh *crane*. Selanjutnya adalah mendesain struktur konstruksi mekanik *crane*. Desain ini didasarkan pada pemilihan aplikasi crane pada kapal bongkar muat barang, yang dibuat secara miniatur. Setelah dihasilkan sebuah desain maka ditentukan karakteristik dan tipe motor yang cocok sebagai penggeraknya. Motor ini harus memiliki karakteristik yang cocok untuk memikul karakteristik beban dari *crane* dan juga memiliki cara pengaturan yang mudah.

### 3.2.1.1 Karakteristik Torsi Beban

Pada perancangan *crane* 1-lengan torsi beban yang akan dipikul oleh motor penggerak akan berubah-ubah berdasarkan perubahan sudut yang dialami oleh *boom*. Perubahan torsi beban yang semacam ini untuk mengetahui bagaimana cara pengaturan

motor penggeraknya. Hal ini dikarenakan bahwa dengan adanya torsi beban yang berubah-ubah tersebut akan mengakibatkan arus yang dibutuhkan motor juga berubah dengan mempertahan kecepatan sudut motor yang harus relatif konstan. Mungkin torsi beban yang berubah ini mirip dengan aplikasi pada lift dimana bebannya yang tidak pasti namun kecepatan naik dan turunya lift relatif konstan. Oleh karena itu harus diketahui lebih dahulu bagaimana cara menghitung torsi beban yang berubah tadi secara matematis berdasarkan perubahan sudut boom.

### 3.2.1.2 Perancangan Struktur Mekanik

Hal berikutnya yang perlu dirancang yaitu struktur konstruksi mekanik yang berguna sebagai media pemindah barang. Konstruksi Mekanik dirancang menggunakan perhitungan secara matematis dengan ukuran miniatur dan perbandingan pengecilan yang diusahakan sama untuk semua bagian mekaniknya serta beban maksimal dari crane yang terdapat pada kapal bongkar muat. Perlu diperhatikan panjang boom dan besar kapal yang sesuai agar keseimbangan pada saat crane beroperasi tidak terlalu buruk.

Massa beban yang akan diangkat oleh struktur mekanik crane dan juga massa dari boom crane sendiri akan menghasilkan perhitungan torsi beban yang dapat dicari melalui persamaan:

$$T = F r \cos \theta \tag{3.1}$$

Dengan: = Torsi (Nm) T

> F = Gaya (berat) (N)

= panjang / radius (m) r

= sudut pergerakan tiang terhadap permukaan tanah (°)

Untuk menghasilkan pergerakan *crane* digunakan motor DC magnet permanen. Alasan menggunakan motor jenis ini karena pengaturan motor yang relatif mudah dari jenis motor DC yang lain mengingat yang diatur hanya medan jangkarnya saja. Selain itu, motor DC magnet permanen lebih mudah didapatkan barangnya dari pasaran karena memang bentuknya yang relatif kecil sesuai dengan miniatur crane yang dirancang. Untuk menimbulkan medan magnet pada motor ini digunakan magnet permanen yang besar medan magnetnya tidak berubah-ubah. Motor tersebut bertugas untuk menghasilkan torsi lawan untuk melawan torsi beban agar boom dapat bergerak ke atas. Untuk menghitung besarnya torsi motor dapat digunakan rumus:

$$T = K_e \Phi I_a \tag{3.2}$$

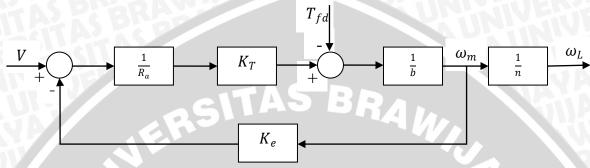
= Fluks per kutub, Weber dimana: Φ

> = Arus Jangkar, A Ia

T = Torsi Motor, N-m

Ke = Konstanta

Diagram blok motor DC dapat dilihat opada gambar 3.3 dibawah ini:



Gambar 3.3: Diagram blok motor DC yang dilengkapi roda gigi (Jurnal LPM, 2005)

Berdasarkan diagram blok pada gambar 3.3, dapat dibuat model matematika dari sistem motor DC magnet permanen. Jika motor tidak dilengkapi dengan roda gigi reduksi (gearbox) serta motor diasumsikan berputar dengan kecepatan konstan maka harga n=1, sehingga persamaan matematikanya sebagai berikut:

$$\left( (V - K_e \omega_m) \frac{1}{R_a} K_T - T_{fd} \right) \frac{1}{b} = \omega_m \tag{3.3}$$

$$\omega_m \left( b + \frac{K_T K_e}{R_g} \right) = \frac{K_T}{R_g} V - T_{fd} \tag{3.4}$$

$$\omega_m = \frac{K_T/R_a}{(bR_a + K_T K_e)/R_a} V - \frac{T_{fd}}{(bR_a + K_T K_e)/R_a}$$
(3.5)

Hubungan antara kecepatan motor dan kecepatan beban ditunjukkan dengan menggunakan persamaan:

$$\omega_L = \frac{1}{n}\omega_m \tag{3.6}$$

$$\omega_L = \frac{1}{n} \left( \frac{K_T}{(bR_a + K_T K_e)} V - \frac{R_a}{(bR_a + K_T K_e)} T_{fd} \right)$$
 (3.7)

dengan:

= kecepatan beban  $\omega_L$ 

 $\omega_m$  = kecepatan motor ( $\omega_m = \omega_L$  jika n = 1)

V = Tegangan motor

n = rasio reduksi roda gigi

b = konstanta gesekan viskos

 $K_e$  = konstanta EMF

Nilai konstanta biasanya dapat diperoleh dari datasheet motor atau dapat diperoleh dari suatu pengujian. Pengujian dilakukan dengan memberi catu motor perlahan mulai dari nol volt sampai tegangan tertinggi yang dapat diterima motor. Dari penambahan tegangan secara perlahan itu akan dihasilkan putaran motor yang semakin cepat pula. Data besar kecepatan yang dihasilkan sebagai fungsi tegangan yang didapat akan menyerupai garis miring linear dan membentuk sebuah fungsi:

$$y = Ax - B \tag{3.8}$$

$$\omega_L = AV - B \tag{3.9}$$

Terdapat korelasi dari 2 persamaan sehingga konstanta K<sub>e</sub> dapat dicari dengan persamaan :

$$K_{e} = \frac{A}{B} = \frac{K_{T}}{R_{a}T_{fd}}$$
 (3.10)

dengan:

 $K_T$  = konstanta torsi motor

 $R_a$  = tahanan dinamik motor

 $T_{fd}$  = torsi gesek dinamik

Untuk  $\Phi$  dapat dicari dengan cara menggunakan alat ukur *fluks* meter (satuan weber) karena motor menggunakan magnet permanen. Dapat juga dicari menggunakan tesla meter untuk mendapatkan nilai induksi magnet B (tesla) yang kemudian dapat digunakan untuk menghitung nilai *fluks* dengan persamaan:

$$\Phi = B A \cos q \tag{3.11}$$

dengan: B = induksi magnet (tesla)

A = Luas bidang yang ditembus garis gaya magnet  $(m^2)$ 

cos q = sudut garis normal bidang A dengan arah induksi magnet

Daya total dari motor DC ini terdiri dari daya keluaran ( $P_{out}$ ), rugi-rugi arus jangkar ( $P_{arm-loss}$ ) dan rugi-rugi daya karena rotasi ( $rotational\ losses$ ). Rugi-rugi daya karena pergerakan rotasional terdiri dari rugi gesek dan rugi angin. Persamaan-persamaan daya tersebut dapat dituliskan secara sistematis sebagai berikut :

$$P_{out} = I_a E_a = w_m T (3.12)$$

$$P_{arm-loss} = I_a^2 R_a (3.13)$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{arm-loss} + rotational losses$$
 (3.14)

efisiensi dari motor DC ini dapat dicari melalui persamaan :

efisiensi 
$$(\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} X 100\%$$
 (3.15)

Motor ini harus menggunakan *gearbox* agar menghasilkan torsi motor yang besar untuk memikul torsi beban yang besar karena hanya mengandalkan torsi motor saja tidak cukup, sehingga perlu dikopel melalui beberapa gir dengan rasio gir yang besar sebelum dikopel ke *as* dari sumbu *boom*. Rasio (n) gir pada kopel ke motor dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$n = \frac{Gir \, 1}{Gir \, 2} \, \mathbf{x} \, \frac{Gir \, 2}{Gir \, 3} \, \mathbf{x} \, \dots \, \mathbf{x} \, \frac{Gir \, m}{Gir \, m+1}$$
 (3.16)

sehingga torsi beban yang harus dipikul oleh motor gearbox yaitu :

$$T_m = \frac{T_b}{n} \tag{3.17}$$

### 3.2.1.3 Perancangan Struktur Elektrik

Perancangan elektrik digunakan untuk menunjang kerja motor DC magnet permanen pada *crane*. Bagian-bagian terpentingnya antara lain :

a. **Sensor**, dalam hal ini sensor yang digunakan yaitu sensor arus dan sensor berat. Sensor arus untuk mengetahui arus yang mengalir ke motor dan akan menjadi *feedback* ke mikrokontroler untuk pengaturan motor. Sementara sensor berat digunakan untuk menghitung berat beban yang dipikul oleh

crane sehingga dapat dilakukan perhitungan torsi beban yang dipikul oleh motor.

- Catu daya, yang berasal dari baterai atau aki 12 volt yang disusun secara seri agar menghasilkan tegangan 24 volt karena motor DC yang digunakan memiliki tegangan kerja sebesar 24 volt. Pemilihan baterai didasarkan pada kebutuhan akan penyediaan arus yang besar, sedangkan aplikasinya pada kapal dapat menggunakan baterai sebagai penyimpan daya yang disuplai oleh generator pada kapal.
- Rangkaian mikrokontroler (MK), sebagai pusat kontrol yang didalamnya terdapat listing program yang sebelumnya dibuat pada komputer dan di download ke MK. Program tersebut sudah berisi perhitungan-perhitungan arus yang akan diberikan ke motor DC berdasarkan sinyal dari kondisi yang dibaca pada sensor berat dan sensor arus. MK yang dipakai berjenis ATMega 16 yang mudah didapatkan dipasaran. Fitur-fitur MK yang digunakan dalam sistem ini antara lain ADC, PWM, Input/Output, serta LCD untuk memudahkan monitoring.
- d. Rangkaian Driver motor, sebagai saklar elektronik untuk mensuplai daya yang dibutuhkan motor DC dan berguna untuk pemisah rangkaian daya kecil dengan rangkaian daya besar agar komponen yang berdaya kecil tidak rusak akibat arus besar dari rangkaian daya besar. Sebagai saklar dan sekaligus pemisah daya digunakan pasangan optocoupler dan relay sedangkan untuk pengaturan arus motor digunakan komponen FET.

#### 3.2.2 **Pembuatan Perangkat Keras**

Berdasarkan hasil perancangan baik dari sisi mekanik maupun elektrik, maka selanjutnya dapat direalisasikan dalam bentuk nyata. Bahan struktur mekanik dibuat dari potongan-potongan aluminium yang sebelumnya telah diukur yang kemudian disambung dengan mur baut. Alat-alat mekanik yang digunakan berupa gergaji, kikir, penggaris, bor, tang, obeng dan lainnya. Pembuatan board untuk rangkaian elektrik dilakukan oleh jasa pembuat board berdasarkan rangkaian yang telah didesain. Selanjutnya disiapkan komponen-komponen yang dibutuhkan dan kemudian dirangkai ke board dan di solder. Untuk menghubungkan antar board dan board ke motor atau sensor, digunakan kabel jumper.

# Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak berupa pembuatan algoritma (langkah-langkah berpikir) dari cara kerja crane. Program berisi perhitungan-perhitungan arus yang akan diberikan ke motor serta pengaturan-pengaturan dari input-output komponen crane.

# Pembuatan Perangkat Lunak

Merealisasikan algoritma program yang telah dibuat pada aplikasi CVAVR pada komputer. Selanjutnya program akan di download ke MK melalui aplikasi My Write dan alat downloader yang menghubungkan komputer ke rangkaian MK.

### 3.3 Pengujian dan Analisis

Pengujian terhadap hasil rancang bangun dilakukan baik secara per bagian maupun secara keseluruhan. Pengujian per bagian meliputi hal-hal sebagai berikut:

- 1) Pengujian sensor
- 2) Pengujian catu daya
- 3) Pengujian driver motor
- 4) Pengujian PWM
- 5) Pengujian motor
- 6) Pengujian keseluruhan

### 3.3.1 **Pengujian Sensor**

Kalibrasi sensor dilakukan agar sinyal yang diharapkan sesuai dengan kondisi yang dibaca sensor (dengan kata lain presisi) sehingga pada proses berikutnya yaitu pada MK mudah untuk melakukan perhitungan. Kalibrasi ini dilakukan pada kedua sensor yakni sensor arus dan sensor berat.

### 3.3.2 Pengujian Catu Daya

Pengujian Catu daya bertujuan untuk mengetahui apakah keluaran sesuai dengan yang diinginkan. Keluaran catu daya diukur dengan menggunakan multimeter dan bentuk gelombang menggunakan osiloskop.

## 3.3.3 Pengujian *Driver* Motor

Pengujian driver motor dengan cara pemberian catu dan sinyal ke driver. Dari sini dicek masing-masing komponen dengan melihat tegangan dan arus yang keluar, jika diperlukan bentuk gelombang dengan memakai osiloskop. Jika ada komponen yang karakateristiknya tidak sesuai dengan yang diharapkan, maka perlu dilakukan troubleshooting hingga sesuai yang diharapkan.

## 3.3.4 Pengujian Rangkaian PWM

Pengujian rangkaian PWM dilakukan dengan cara sinyal PWM dari keluaran MK yang bervariasi menyesuaikan dengan duty cycle. Dari sini sinyal diteruskan hingga ke motor setelah melewati beberapa komponen yaitu optocoupler dan FET. Dilihat juga pengaruh perubahan duty cycle sehingga dapat diketahui karakteristik rangkaian PWM yang akan digunakan untuk pengaturan arus motor.

### **Pengujian Motor** 3.3.5

Pengujian motor digunakan untuk mengetahui karakteristik motor, yang berupa grafik arus, tegangan serta torsinya. Dari sini nanti dapat diketahui bagaimana cara pengaturan motor yang tepat untuk digunakan pada beban yang fluktuatif atau berubahubah.

## Pengujian Keseluruhan

Setelah melakukan pengujian bagian rangkaian atau komponen satu per satu, maka dilakukan pengujian keseluruhan yang melibatkan semua komponen dalam keadaan aktif. Hal ini dilakukan dengan cara mengoperasikan crane oleh manusia atau operator melalui stik yang terhubung ke sistem. Pada pengoperasian keseluruhan dicek apakah antar komponen atau bagian rangkaian sudah bersinergi dengan baik. Troubleshooting akan terus dilakukan jika terjadi kesalahan hingga mencapai tujuan yang diinginkan.

### 3.4 Penarikan Kesimpulan

Dari pengujian alat dan analisis yang telah dilakukan, maka selanjutnya dapat dilakukan pengambilan kesimpulan.

## **BAB IV**

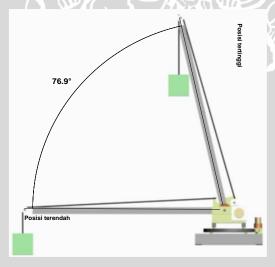
## PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

# 4.1 Perancangan Struktur Mekanik

Mekanik yang dirancang dalam pembuatan *crane* ini haruslah memperhatikan berbagai faktor yang berhubungan dengan *crane* tersebut. Spesifikasi alat-alat dan bahan yang digunakan harus jelas dan relatif mudah untuk digunakan. Perancangan dibuat secara matematis yang merupakan suatu bentuk reduksi dari crane sesungguhnya agar pengujian miniatur *crane* pada pengaturan motor terhadap beban yang berubah-ubah dapat sesuai keinginan dan praktis.

## 4.1.1 Karakteristik Beban

Beban yang diangkat memiliki massa yang tetap namun yang dirasakan pada poros atau gir akan berubah-ubah seiring bergeraknya *boom* ke atas atau ke bawah. Hal itu dikarenakan pergerakan *boom* membentuk sudut dari permukaan tanah hingga vertikal ke atas seperti yang terlihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 : Pergerakan *boom* pada porosnya

Pada poros akan terjadi yang namanya torsi beban yang dapat dijelaskan dengan persamaan:

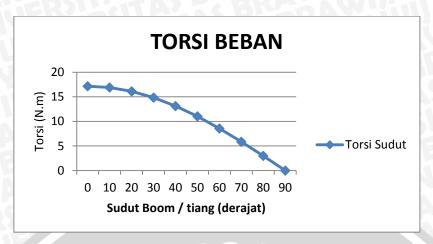
$$T = F r \cos \theta \tag{4.1}$$

Dengan: T = Torsi(Nm)

F = Gaya / berat beban (N)

r = panjang / radius boom (m)

 $\theta$  = sudut pergerakan tiang terhadap permukaan tanah (°)



Gambar 4.2 : Kurva torsi-sudut pada crane

Gambar 4.2 adalah kurva torsi beban yang dirasakan pada poros *boom* terhadap sudut *boom* terhadap horisontal. Beban yang digunakan memiliki massa maksimal yaitu 2,5 kg seperti yang telah dijelaskan diawal karena bahan transmisi pada desain mekaniknya terbuat dari plastik sehingga memungkinkan terjadinya pecah. Terlihat bahwa semakin besar sudutnya maka torsi bebannya semakin kecil dan begitu sebaliknya. Torsi terbesar pada posisi horisontal atau pada sudut 0° sehingga membutuhkan torsi start pada motor yang besar.

Pada perancangan crane ini, ditetapkan berupa :

Berat beban maksimal = 2.5 kg

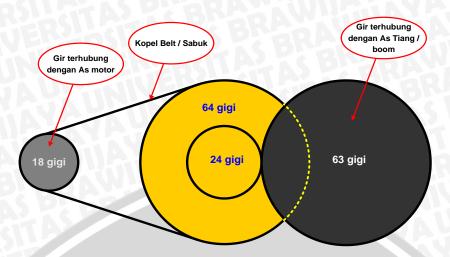
Panjang Boom = 70 cm = 0.7 m

Kecepatan *boom* maks = 3 rpm

Dari data diatas maka torsi beban terbesar dapat dihitung dengan posisi boom terendah pada sudut  $0^{\circ}$ :

$$T = (2.5 \times 9.8) \times 0.7 \cos 0^{\circ} = 17.15 \text{ Nm}$$
 (4.2)

Data ini digunakan sebagai referensi dalam pemilihan motor sekaligus rasio gir dengan spesifikasi kecepatan maks 3 rpm atau 0,315 Rad/s dan torsi motor minimal 17,15 Nm.



Gambar 4.3: Rasio gir

Gambar 4.3 adalah sebuah rangkaian gir-gir yang digunakan pada aplikasi *crane* disini. Gir-gir yang digunakan harus tepat dalam hal ini bertujuan mendapatkan torsi yang besar maka rasio gir harus besar. Untuk menghitung rasio gir dapat menggunakan persamaan:

$$n = \frac{R_1}{R_2} x \frac{R_2}{R_3} x \dots x \frac{R_p}{R_{p+1}}$$

$$n = \frac{64}{18} x \frac{63}{24} = 9{,}33$$
(4.3)

Rasio gir sebesar 9,33 memiliki arti bahwa torsi motor keluaran motor yang diperlukan untuk melawan torsi beban cukup 1/9,33 dari torsi beban. Disinilah keuntungan menggunakan rasio gir untuk memperbesar torsi, tapi disisi lain juga memiliki kekurangan yakni adanya rugi-rugi mekanik seperti *slip* antar gir dengan sabuk, rugi putar as gir dengan *bearing* sehingga efisiensi energi dari motor ke *boom* menjadi berkurang.

Pada beban *crane* yang lain yaitu berputarnya *crane* melalui cakram putar sehingga pergerakan secara horizontal dan melibatkan perhitungan momen inersia. Berikut perhitungan bebannya dan torsi yang dibutuhkan :

Beban crane dan beban maks: 8 kg

Panjang *crane* (L) : 1 m

Kecepatan sudut (w) : 0,3 Rad/s

Percepatan sudut (a)  $: 0.15 \text{ Rad/}s^2$ 

Kecepatan motor : 28 rpm

Momem inersia (I) :  $I = \frac{1}{12} mL^2 = \frac{1}{12} 8. \ 1^2 = 0,67 \text{ kg/}m^2$  (4.4)

Torsi (T) :  $T = I.a = 0.67 \cdot 0.15 = 0.1 \text{ Nm}$  (4.5)

Daya motor : 
$$N = n \cdot T = 28 \cdot 0, 1 = 2,8 \text{ W}$$
 (4.6)

Beban lainnya yaitu mengangkat beban dengan tali oleh motor. Perhitungan gaya beban dan motor yang dibutuhkan :

Gaya beban maks (F1) : 24,5 N

Kecepatan tali maks (v) : 0,15 m/s

Total efisiensi ( tali, roda) :  $\eta = 0.9$ 

Jumlah katrol : 1

Gaya beban (F2) :  $F2 = \frac{F1}{1 \cdot \eta} = \frac{24.5}{1 \cdot 0.9} = 27,22 \text{ N}$  (4.7)

Daya motor yang dibutuhkan :  $N = \frac{F2 \cdot v}{\eta} = \frac{27,22 \cdot 0,15}{0,9} = 4,54 \text{ W}$  (4.8)

Berikut spesifikasi dari miniatur *crane* yang dirancang sedemikian rupa dari bentuk aslinya:

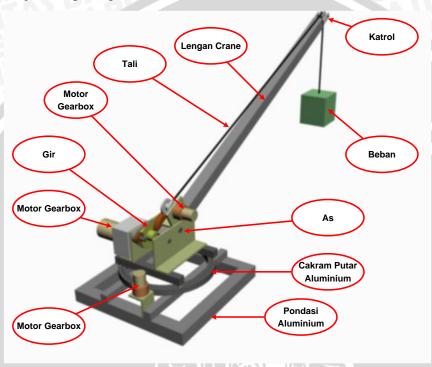
Tabel 4.1: Perbandingan reduksi miniatur crane dengan crane aslinya

No.	Kondisi	Asli	Reduksi (mini)	Alasan	
1	Panjang Boom	70 m	70 cm	Perbandingan skala 1 : 100	
2	Berat Crane	400 ton	8 kg	Penggunaan bahan aluminium, serta struktur mekanik sederhana	
3	Berat Beban	70 ton	2,5 kg	Ketersediaan pergerakan sudut dengan gir dari plastik	
4	Motor	Induksi	DC	Ketersediaan motor yang sesuai ddengar dimensi dan fungsi tereduksi <i>crane</i>	
5	Catu Daya	AC	DC	Menggunakan motor DC	

Inilah alasan bahwa reduksi komponen-komponen miniatur *crane* tidak selalu *linear* melihat bahan-bahan yang tersedia dipasaran. Tetapi jika diaplikasikan ke dalam bentuk nyata tetap menggunakan standar bahan yang dibutuhkan *crane*. Dari sini miniatur *crane* belum dapat mewakili *crane* yang sebenarnya karena miniaturisasi yang memiliki reduksi sangat besar dan tidak sama tiap-tiap komponennya. Selain itu adanya batasan-batasan yang tidak dibahas dalam perancangan miniatur *crane* yang seharusnya dibahas agar mewakili *crane* yang sebenarnya.

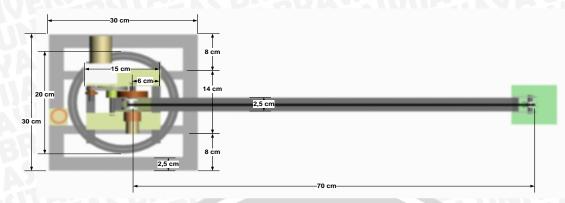
## 4.1.2 Dimensi Crane

Crane yang dirancang diadaptasi dari crane yang terdapat pada kapal bongkar muat barang yang memiliki bentuk sederhana dengan 1 lengan. Dimensi crane yang akan dibuat berupa miniaturisasi dengan perbandingan 1 : 100. Namun dalam perbandingan ini tidak semuanya berjalan secara *linear*, sehingga dibutuhkan perhitungan untuk penyesuaian bagian-bagian crane lainnya. Berikut rancangan desain crane ditunjukkan pada gambar 4.4, 4.5 dan 4.6 :



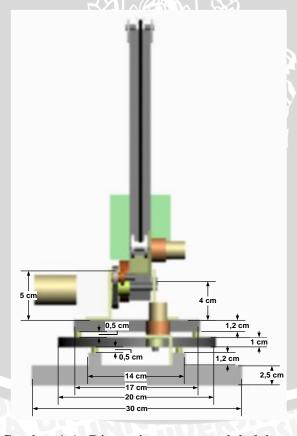
Gambar 4.4 : Bagian-bagian miniatur crane

Pada gambar 4.4 terlihat bagian-bagian *crane* berupa pondasi, tiang (*boom*), kopel, cakram putar, dan lainnya. Sebagian besar struktur mekanik terbuat dari bahan aluminium balok polos yang dipotong-potong sesuai ukuran tetapi ada juga yang terbuat dari besi yang terdapat pada bagian transmisi atau kopel, berupa rantai dan gir. Motor yang digunakan sebanyak 3 buah yang masing-masing berfungsi untuk menaikkan *boom*, menarik tali, dan memutar cakram putar. Di ujung *boom* terdapat katrol untuk menghaluskan pergerakan tali.



Gambar 4.5 : Dimensi *crane* tampak atas

Dimensi crane terlihat tampak atas pada gambar 4.5 yang menunjukkan panjang boom dari poros hingga ujung katrol sebesar 70 cm dan dimensi dari pondasinya yaitu 30cm x 30cm. Cakram putar memiliki diameter 20 cm bertujuan untuk memutar komponen-komponen boom ke kanan dan kiri. Crane tampak dari belakang dapat dilihat pada gambar 4.6.

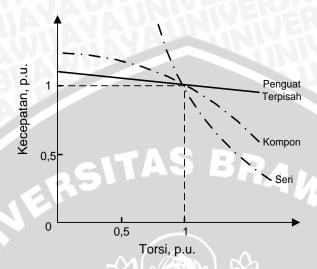


Gambar 4.6 : Dimensi crane tampak belakang

### Karakteristik Motor Yang Digunakan 4.1.3

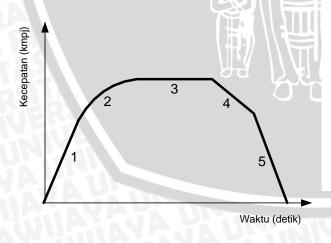
Dalam kasus crane 1-lengan ini, untuk dapat menanggung torsi beban yang berubah-ubah seiring berubahnya sudut gerak boom, maka motor yang cocok digunakan

sebagai penggerak *boom* yaitu motor DC penguat terpisah ( *separately exited* ). Motor dengan penguat terpisah memiliki keunggulan dalam regulasi kecepatan dan pengaturan kecepatan yang baik. Kurva karakteristik motor DC dapat ditunjukkan pada gambar 4.7 dibawah ini :



Gambar 4.7 : Kurva karakteristik kecepatan-torsi motor DC (Dubey K. Gopal, 1993:37)

Pada gambar 4.7, ditunjukkan bahwa kecepatan dan torsi memiliki hubungan yang terbalik bahwa semakin tinggi kecepatannya maka semakin kecil torsinya dan sebaliknya. Pada aplikasi *crane* 1-lengan dibutuhkan motor dengan torsi yang sangat besar terlebih pada saat start sehingga pemilihan motor harus mementingkan torsi yang besar. Tetapi kecepatan juga harus diperhatikan agar kecepatan *boom* dalam bergerak sesuai dengan yang diharapkan.



- 1. Akselerasi pada arus konstan
- 2. Akselerasi pada tegangan konstan
- 3. Berputar bebas (*steady*)
- 4. Meluncur
- 5. Pengereman

Gambar 4.8 : Kurva Kecepatan-waktu pada motor dengan beban yang melaju (Advanced Electric Drives, NP-TEL:38)

Gambar 4.8 merupakan fase atau traksi pergerakan motor yang diaplikasikan pada sebuah beban yang melaju Beban akan melaju dengan akselerasi linear seiring arus besar karena proses starting (nomor 1) hingga pada akhirnya tegangan menjadi maksimum pada nilai yang dijinkan dan arus menurun perlahan (nomor 2). Setelah itu beban memiliki kecepatan yang maksimal dengan kata lain seimbang antara gesekan dan kemampuan motor (nomor 3). Untuk fase berikutnya motor tidak dicatu sehingga beban meluncur bebas (nomor 4) dan mengalami penurunan kecepatan dan akhirnya di rem (nomor 5). (Advanced Electric Drives, NP-TEL:38)

Di pasaran motor yang mudah ditemui yaitu motor DC penguat terpisah dengan menggunakan magnet permanen untuk menghasilkan medan magnet sehingga fluks medan yang dihasilkan konstan. Dengan konstannya fluks medan maka pengaturan hanya pada arus jangkar saja sehingga lebih sederhana dibandingkan dengan motor penguat terpisah yang fluks-nya berubah-ubah.



Gambar 4.9: Motor DC *gearbox* magnet permanen

Motor yang digunakan untuk menggerakkan boom seperti terlihat pada gambar 4.9. Motor ini memiliki dimensi:

Panjang motor (as) = 15.5 cm

Diameter motor =4cm

Gearbox = 6x6x3.8 cm

Panjang shaft/As =3cm

Diameter shaft  $= 6 \, \mathrm{mm}$ 

= 0.75 kgMassa

dan memiliki karakteristik:

Tegangan  $= 24 \text{ V}_{DC}$ 

= 0.85 AArus

Daya motor = 20.4 W

Kecepatan =22 rpm

Torsi = 
$$25 \text{ kg.cm} = 0.25 \text{ kg.m} = 2.5 \text{ N.m}$$

Rasio gir 
$$= 1:200$$

Terlihat bahwa kecepatan dan torsi motor yaitu 22 rpm dan 2,5 N.m. dengan menggunakan rasio gir yang direncanakan diatas, maka didapatkan kecepatan motor menjadi:

$$\frac{22 \, rpm}{9,33} = 2,357 \, rpm$$

dan torsi motor menjadi:

$$2,5 N.m \times 9,33 = 23,325 N.m$$

Torsi sebesar itu masih sangat cukup untuk memikul torsi beban terbesar yang hanya 17,15 N.m.



Gambar 4.10 : Motor DC *gearbox* magnet permanen

Sebagai penggerak yang lain menggunakan motor DC *gearbox* magnet permanen seperti pada gambar 4.10. Motor ini digunakan masing-masing sebagai penarik tali dan pemutar cakram putar pada *crane*. Berikut dimensi dan karakteristik motornya:

Panjang motor (as) = 8 cm

Diameter motor = 3,4 cm

Gearbox =  $3 \times 3.8 \text{ cm}$  (tinggi x diameter)

Panjang shaft = 2cm

Diameter shaft = 6 mm

Massa = 0.3 kg

Tegangan  $= 24 \text{ V}_{DC}$ 

Arus = 0.45 A

Daya motor = 10.8 W

Kecepatan motor = 28 rpm

Rasio gearbox = 1:180

### 4.2 Pembuatan Struktur Mekanik

Setelah membuat desain struktur mekanik secara matematis, maka dilakukan proses pembuatan struktur mekanik dengan menggunakan alat-alat mekanik seperti gergaji, kikir, gerinda, martil, obeng, tang, dan lain-lain. Proses pembuatan harus presisi mengingat fungsi dari crane yang tergantung pada mekaniknya sehingga kerja yang dilakukan crane dapat maksimal dan sesuai perhitungan. Berikut foto-foto dari crane yang telah selesai dibuat pada gambar 4.11, 4.12 dam 4.13:



Gambar 4.11 : *Crane* tampak atas



Gambar 4.12 : *Crane* tampak belakang



Gambar 4.13 : Crane tampak depan

# 4.3 Perancangan Struktur Rangkaian Elektrik

Perancangan struktur elektrik digunakan untuk menunjang kinerja komponen-komponen elektrik yang terdapat di *crane* dan sebagai unit pengontrol. Rangkaian struktur elektrik yang dirancang memiliki beberapa bagian penting yaitu sensor, catu daya, rangkaian mikrokontroler, dan rangkaian *driver* motor. Perancangan dilakukan dengan menggunakan *software eagle* dalam bentuk skematik dan *board*-nya.

## **4.3.1** Sensor

Sensor yang digunakan yaitu sensor arus (ACS712) dan sensor berat (*load cell*). Sensor arus digunakan sebagai penghitung arus yang lewat ke motor DC sedangkan sensor berat digunakan untuk menimbang berat pada beban sebelum *crane* beroperasi. Kedua sensor yang digunakan terdapat di pasaran dan dapat langsung digunakan dengan konfigurasi pin tertentu.



Gambar 4.14: Sensor ACS712 (www.embedded-lab.com)

Gambar 4.14 adalah sensor arus yang membutuhkan catu tegangan sebesar  $5V_{DC}$  dan keluaran berupa sinyal DC. Untuk menghitung arus beban, sensor ini dipasang seri dengan sirkuit beban. Dibutuhkan kalibrasi sensor agar diketahui karakteristiknya sebelum digunakan sehingga pengukuran dapat akurat.

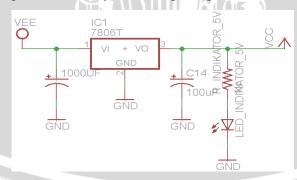


Gambar 4.15 : Sensor *Load Cell* (www.bigrice.com)

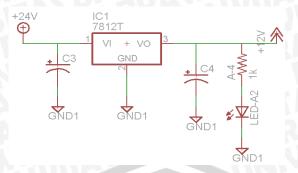
Gambar 4.15 adalah sensor berat yang bentuknya berupa batangan dimana terdapat kontruksi yang unik pada mekaniknya karena sensor ini menggunakan sifat kelenturan logam pada saat terbebani. Sama halnya dengan sensor arus, sensor ini membutuhkan catu tegangan sebesar  $5V_{DC}$  agar dapat bekerja. Kalibrasi sensor juga dibutuhkan agar pengukuran berat beban menjadi akurat.

# 4.3.2 Catu Daya

Catu daya digunakan untuk mensuplai komponen-komponen elektronika yang membutuhkan catu daya agar mereka dapat aktif. Pada sistim *crane* ini terdapat 2 rangkaian catu daya yaitu catu daya 5 V<sub>DC</sub> dan catu daya 12 V<sub>DC</sub>. Catu daya 5 V<sub>DC</sub> digunakan untuk mensuplai beberapa komponen elektronika seperti rangkaian mikrokontroler, *optocoupler* dan sensor. Sedangkan catu daya 12 V<sub>DC</sub> digunakan untuk mencatu *coil* pada *relay*. Sumber daya menggunakan baterai 12 V<sub>DC</sub> sebanyak 2 buah yang diseri agar menghasilkan tegangan 24 V<sub>DC</sub>. Baterai ini yang akan memenuhi seluruh kebutuhan daya yang digunakan pada sistem termasuk catu untuk motor DC. Diagram skematik rangkaian catu daya terlihat pada gambar 4.16 dan 4.17:



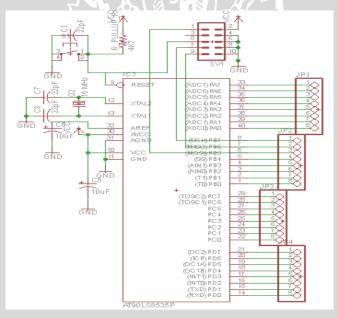
Gambar 4.16: Rangkaian catu daya 5 V<sub>DC</sub>



Gambar 4.17: Rangkaian catu daya 12 V<sub>DC</sub>

### Rangkaian Mikrokontroler 4.3.3

Rangkaian mikrokontroler digunakan sebagai rangkaian pengontrol yang dapat difungsikan melalui serangkaian program perangkat lunak. Pada Rangkaian ini terdapat IC mikrokontroler berjenis ATMega 16 sebagai unit pengontrol serta komponenkomponen penunjang lainnya seperti clock eksternal, kapasitor, blok header dan lainlain sebagai pendukung ATMega 16 dalam bekerja. Diagram skematik mikrokontroler terlihat pada gambar 4.18:



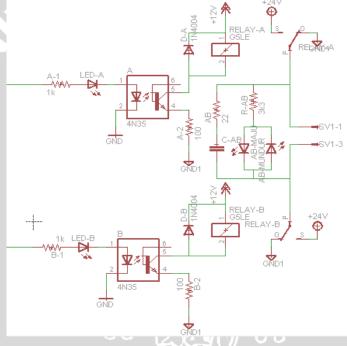
Gambar 4.18: Rangkaian Mikrokontroler

### 4.3.4 **Rangkaian Driver Motor**

Rangkaian driver motor terdiri dari komponen optocoupler dan relay sebagai saklar. Optocoupler yang digunakan berjenis 4N33 merupakan komponen mirip LED dan sensor cahaya yang menjadi satu yang fungsinya sebagai pemisah daya kecil pada rangkaian mikrokontroler dan daya relatif besar pada rangkaian driver motor. Spesifikasi 4N33 yaitu:

- $f_{max} = 50 \text{kHz}.$
- $I_{Fmax} = 60 \text{mA}$
- $V_F = 1,25 \text{ V}$
- $I_{Cmax} = 125 \text{mA}$
- $V_{CEsat} = 1 V$
- CTR = 500%

Keluaran *optocoupler* digunakan untuk mengaktifkan *coil* pada *relay* agar sumber daya baterai dialirkan ke motor. Satu motor memiliki 2 rangkaian *driver* yang masing-masing berfungsi untuk merealisasikan arah maju dan mundur putaran motor. Rangkaian *driver* ini berlaku pada ketiga motor yang terdapat di miniatur *crane*. Diagram skematik rangkaian *driver* motor ditunjukkan pada gambar 4.19:

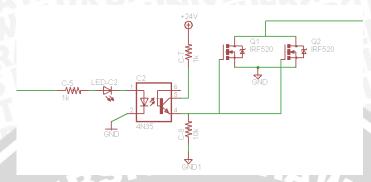


Gambar 4.19: Rangkaian *Driver* motor

Khusus pada motor penggerak *boom* terdapat rangkaian tambahan untuk mengatur arus yang lewat pada motor agar kecepatan motor dapat berubah-ubah sesuai keinginan. Rangkaian ini untuk memfasilitasi PWM (*Pulse Wide Modulation*) dari mikrokontroler. Rangkaian ini juga menggunakan komponen *optocoupler* 4N33 sebagai pemisah daya dan menggunakan E-MOSFET kanal N IRFZ44N sebagai komponen pengatur arus yang lewat dengan pemicunya berupa tegangan keluaran pada *optocoupler*. Berikut spesifikasi IRFZ44N:

•  $V_{DS max} = 55V$ 

- $I_{D max} = 49A$
- $R_{DS \ on \ max} = 0.028\Omega$
- $V_{GS\ max} = 20V$
- $V_{GS \ threshold} = 2V 4V$



Gambar 4.20: Rangkaian PWM motor

Untuk E-MOSFET kanal N syarat agar komponen dalam kondisi *cut off* adalah ketika  $V_{GS} < V_{threshold}$ . Karena  $V_{threshold}$  IRFZ44N = 3 V, maka  $V_{GS}$  *cut off* yang digunakan kurang dari 3 V.  $V_{GS}$  yang digunakan adalah 0V.

Untuk E-MOSFET kanal N syarat agar komponen dalam kondisi aktif saturasi adalah ketika  $V_{GS} > V_{threshold}$ , dan  $V_{DS} > (V_{GS} - V_{threshold})$ . Karena  $V_{DS}$  yang digunakan adalah 24V, maka  $V_{GS} < 27V$ . Mengingat  $V_{GSmax} = 20$  V, maka  $3V < V_{GS} < 20V$ .

Pada saat E-MOSFET dalam kondisi saturasi akan muncul suatu hambatan R<sub>DSon</sub> antara pin *drain* dan *source* yang akan mengurangi tegangan yang bekerja pada motor. Tegangan minimum yang bekerja pada motor ketika rotor berputar dengan PWM maksimum adalah

$$V_{motor} = V_{catu} - I_{max} \cdot R_{DSonmax}$$

$$V_{motor} = 24 - 0.85 \cdot 28 \cdot 10^{-3}$$

$$V_{motor} = 24 - 0.0238$$

$$V_{motor} = 23.9762 V$$
(4.9)

Daya maksimum yang terbuang dalam E-MOSFET ketika rotor berputar adalah:

$$P_{LOSS} = I_{max}^{2} \cdot R_{DSon}$$

$$P_{LOSS} = 0.85^{2} \cdot 28 \cdot 10^{-3}$$

$$P_{LOSS} = 0.02023W$$
(4.10)

# 4.4 Pembuatan Struktur Rangkaian Elektrik

Seperti halnya pada struktur mekanik, perancangan desain struktur rangkaian elektrik dibuat secara nyata dengan alat-alat seperti solder, timah, board, komponen-komponen elektrik, dan lain-lain. Dalam pembuatannya harus benar-benar teliti agar tidak terjadi banyak kesalahan akibat beberapa kemungkinan seperti jalur terputus, jalur terhubung dengan jalur lain yang bukan hubungannya, atau pun rusaknya komponen karena terlalu lama disolder. *Board* rangkaian elektrik yang telah jadi ditunjukkan pada gambar 4.21, 4.22 dan 4.23 :



Gambar 4.21: Rangkaian MK dan catu daya 5 VDC



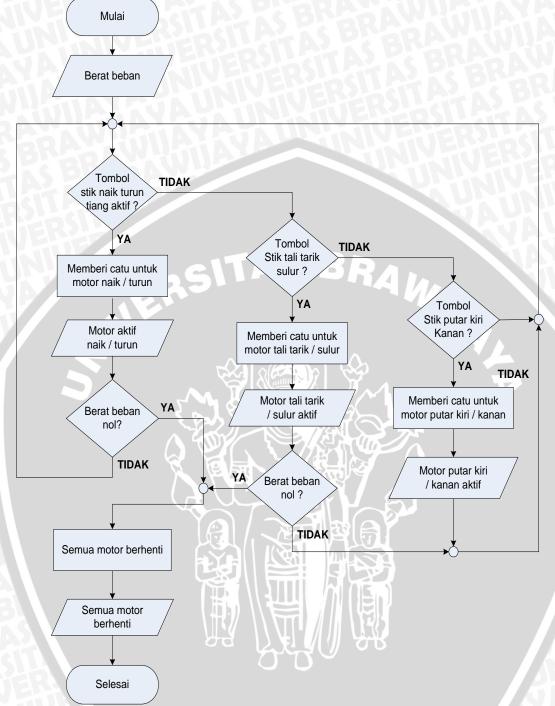
Gambar 4.22: Rangkaian Driver Motor dan catu daya 12 V<sub>DC</sub>



Gambar 4.23 : Rangkaian terpasang pada mekanik Crane

### Perancangan Software 4.5

Software digunakan sebagai jalan berfikir sistem dalam memberi tanggapannya melalui motor-motor terhadap kondisi yang diterima dari sensornya. Sebelum memasuki software maka harus dibuat terlebih dahulu diagram alirnya (flowchart) agar pembuatan software relatif mudah dan runtun.



Gambar 4.24: Flow-chart operasi crane

Berat beban sebagai masukan untuk mengetahui beban maksimal yang dapat diangkat oleh *crane*. Jika tombol motor naik turun tiang 1 ditekan maka motor akan dicatu sumber. Saat tombol berhenti ditekan maka motor akan berhenti. Jika berat beban yang dirasakan sensor berat nol, maka beban berhasil ditaruh di permukaan dan motor berhenti, jika tidak maka beban masih dalam keadaan terangkat.

Selanjutnya jika tombol motor *gearbox* 2 ditekan maka mikrokontroler mengeluarkan sinyal sebagai masukan relay agar motor 2 bekerja baik menarik maupun mengulur tali. Jika pada saat mengulur mendapati arus motor kecil maka beban berhasil ditaruh di permukaan dan motor berhenti dan jika tidak kembali lagi ke proses awal.

Jika tombol motor *gearbox* 3 ditekan maka mikrokontroler memberikan sinyal pada *relay* agar motor 3 aktif baik putar kanan maupun sebaliknya tergantung tombol yang di tekan. Berbeda dengan motor yang lain bahwa motor 3 ini menghasilkan gerakan yang hanya menggeser beban, jadi hanya berpengaruh sedikit ke perubahan sensor arus sehingga proses selanjutnya baik tombol ditekan maupun tidak langsung kembali lagi ke proses awal.

# 4.6 Pembuatan Software

Pembuatan program dilakukan dengan *software* CVAVR pada komputer yang kemudian disimpan dalam bentuk *file hex* dan di masukkan pada mikrokontroler ATMega 16 dengan sebuah *driver*. Isi dari program merupakan bahasa pemrograman dalam bentuk bahasa C yang pembuatannya dilakukan setelah rancangan struktur mekanik maupun elektrik selesai dibuat dan diuji satu per satu bagian hingga siap untuk diprogram. Oleh karena itu pembuatan *software* dilakukan di akhir pengujian sehingga sistem dapat diuji secara keseluruhan.

### BAB V

## PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini membahas pengujian rangkaian yang telah dibuat. Pengujian alat ini bertujuan untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian ini meliputi pengujian setiap rangkaian maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap rangkaian ini dilakukan untuk mempermudah analisis apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perencanaan. Pengujian SBRAWIUAL dan analisis yang dilakukan meliputi:

- 1) Pengujian sensor
- 2) Pengujian catu daya
- 3) Pengujian rangkaian *Driver* Motor
- 4) Pengujian rangkaian PWM
- 5) Pengujian Motor
- 6) Pengujian alat keseluruhan

### 5.1 Pengujian Sensor

Pengujian sensor melibatkan 2 buah sensor yang dipakai pada crane 1-lengan. Pengujian bertujuan untuk mengkalibrasi sensor agar kondisi karakteristik keluaran sensor terhadap masukan ke sensor jelas dan siap untuk dipakai. Berikut sensor yang diuji yaitu:

- Sensor berat (load cell)
- b. Sensor arus (ACS712)

### 5.1.1 Pengujian Sensor Berat

Sensor berat digunakan untuk mengukur berat dari beban yang akan di operasikan oleh *crane*, namun dalam praktiknya sensor tersebut susah didapatkan. Oleh karena itu dalam pengujian crane ini, tidak menggunakan sensor berat sehingga pengujian dilakukan dengan menentukan beban yang sudah diketahui beratnya. Jadi pada waktu pengujian di khususkan pada pengaturan arus ke motor penggerak *crane*.

### 5.1.2 Pengujian Sensor Arus

Peralatan yang digunakan dalam pengujian antara lain:

Catu daya 5 dan 24 V<sub>DC</sub>

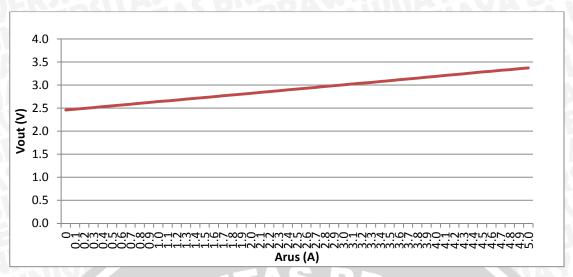
- ACS712
- Multimeter CD800A
- Beban resistor 5W

Pengujian dilakukan dengan cara arus dihasilkan oleh catu daya 24 V<sub>DC</sub> yang di salurkan ke beban resistor. Arus ini dilewatkan *ACS712* yang telah diberi sumber 5 V<sub>DC</sub> agar sensor ini memberikan keluaran berupa sinyal atau tegangan DC yang nantinya sebagai masukan MK. Berikut data keluaran ACS712 ditunjukkan pada tabel 5.1 dan gambar 5.1 dalam bentuk grafik. Dapat dilihat dari grafik gambar 5.1 bahwa semakin besar arus yang melewati sensor, maka tegangan output sensor juga semakin besar dimana perubahan terjadi secara *linear*.

Tabel 5.1 : Keluaran ACS712 terhadap arus

1	No.	Arus	Vout		
	NO.	(A)	(V)		
	1	0	2,458		
	2	0,1	2,477		
	3	0,2	2,495		
	4	0,3	2,513		
	5	0,4	2,532		
	6	0,5	2,550		
	7	0,6	2,569		
	8	0,7	2,586		
	9	0,8	2,605		
1	10	0,9	2,624		
l	11	1	2,642		
	12	1,1	2,658		
	13	1,2	2,676		
3	14	1,3	2,696		
	15	1,4	2,714		
	16	1,5	2,730		
Ì	17	1,6	2,748		
	18	1,7	2,768		
	19	1,8	2,787		
1	20	1,9	2,805		
	21	2	2,822		
	22	2,1	2,840		
	23	2,2	2,859		
	24	2,3	2,877		
	25	2,4	2,896		
١	26	2,5	2,913		

	No	Arus	Vout	
	No.	(A)	(V)	
7 "	27	2,6	2,931	
	28	2,7	2,950	
×	29	2,8	2,969	
	30/	2,9	2,987	
	31	3	3,004	
	32	3,1	3,024	
Į	33	3,2	3,042	
	34	3,3	3,058	
(	35	3,4	3,079	
	36	3,5	3,096	
	37	3,6	3,115	
	38	3,7	3,132	
	39	3,8	3,152	
	40	3,9	3,171	
	41	4	3,188	
	42	4,1	3,210	
	43	4,2	3,228	
	44	4,3	3,243	
	45	4,4	3,265	
	46	4,5	3,285	
	47	4,6	3,301	
	48	4,7	3,321	
N	49	4,8	3,336	
	50	4,9	3,355	
	51	5	3,371	



Gambar 5.1 : Kurva keluaran ACS712 terhadap arus

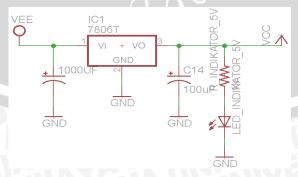
### 5.2 Pengujian Catu Daya

Pengujian catu daya bertujuan untuk melihat keluaran catu daya yang digunakan sebagai penyedia daya pada rangkaian-rangkaian yang lain.

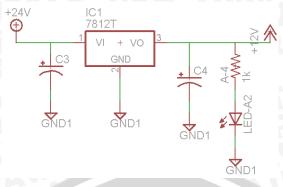
Peralatan yang digunakan dalam pengujian antara lain:

- Sumber baterai 24 V<sub>DC</sub>
- Rangkaian Catu daya 5 dan 12 V<sub>DC</sub>
- Multimeter CD800A
- Osciloskop *PCSU1000*

Pengujian dilakukan pada rangkaian catu daya 5 dan 12 V<sub>DC</sub> yang masingmasing menggunakan komponen IC regulator 7805 dan 7812. Pengamatan besarnya keluaran catu daya menggunakan multimeter dan bentuk gelombang menggunakan osciloskop. Berikut rangkaian catu daya ditunjukkan pada gambar 5.2 Dan 5.3 :



Gambar 5.2: Rangkaian catu daya 5 V<sub>DC</sub>



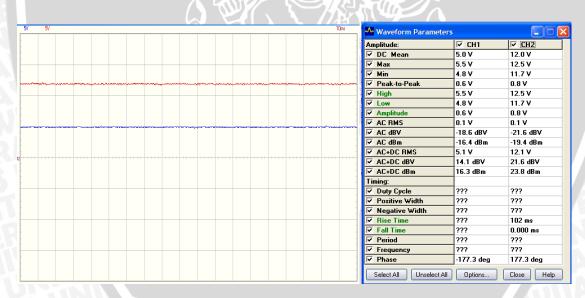
Gambar 5.3: Rangkaian catu daya 12 V<sub>DC</sub>

Berikut hasil pengujian rangkaian catu daya 5 dan 12  $V_{DC}$  pada tabel 5.2 :

Tabel 5.2: Keluaran rangkaian catu daya 5 dan  $12 V_{DC}$ 

Rangkaian	Masukan (V <sub>DC</sub> )	Keluaran (V <sub>DC</sub> )	
Catu daya 5 VDC	12 Volt	5,0 Volt	
Catu daya 12 VDC	23,8 Volt	11,6 Volt	

Sedangkan dari osiloskop didapatkan bentuk gelombang pada gambar 5.4 dan 5.5 berikut:



Gambar 5.4 : Sinyal masukan keluaran rangkaian catu daya 5 V<sub>DC</sub>

Gambar 5.5: Sinyal keluaran masukan rangkaian catu daya  $12\ V_{DC}$ 

Dari hasil tabel serta gambar keluaran osiloskop diatas didapatkan tegangan keluaran sebesar 5,0 Volt dan 11,6 Volt. Hasil ini sangat mendekati tegangan keluaran yang diinginkan yaitu 5 dan 12 Volt sehingga rangkaian catu daya sangat layak digunakan untuk mencatu rangkaian lainnya.

### 5.3 Pengujian Rangkaian Driver Motor

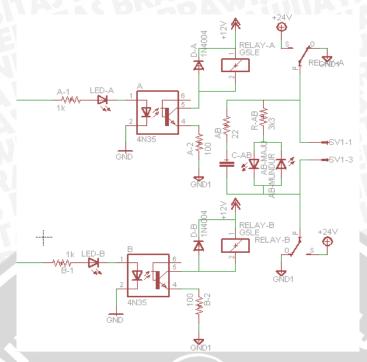
Pengujian driver motor bertujuan untuk melihat keluaran driver motor agar berfungsi dengan baik.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian antara lain:

- Catu daya 12 dan 24 V<sub>DC</sub>
- Rangkaian Mikrokontroler
- Rangkaian Driver motor
- Rangkaian Catu daya 5 dan 12 V<sub>DC</sub>
- Multimeter CD800A

Rangkaian driver motor yang akan diuji ditunjukkan pada gambar 5.6 dibawah

ini:



Gambar 5.6 : Rangkaian *driver* motor

Pengujian dilakukan pada salah satu motor dimana 1 motor menggunakan 2 buah relay agar motor dapat bergerak maju dan mundur. Masing-masing relay membutuhkan 1 buah pin output dari mikrokontroler sehingga membutuhkan 2 buah pin output. Berikut hasil pengujian dari rangkaian driver motor pada tabel 5.3:

No.	PIND.0	PIND.1	Relay Motor 1		Kondisi
110.	11112.0	11112.1	Maju	Mundur	Motor
1	0	0	0	0	Berhenti
2	1	0	1	0	Maju
3	0	114/	0		Mundur
4	1	90	\ 	UN TO	Berhenti

Tabel 5.3: Keluaran rangkaian *driver* motor

Dari tabel di atas diketahui bahwa jika pin mikrokontroler berlogika 1 (high) maka relay akan aktif sehingga motor terhubung ke catu 24 V<sub>DC</sub> dan sebaliknya akan terhubung ke GND. Motor akan berhenti jika kedua pin berlogika sama yakni 0 dengan 0 dan 1 dengan 1 karena motor menerima catu sebesar 0 V<sub>DC</sub>.

### Pengujian Rangkaian PWM 5.4

Pengujian rangkaian PWM bertujuan untuk melihat keluaran rangkaian (Optocoupler dan FET IRFZ44) dengan variasi duty cycle keluaran dari mikrokontroler

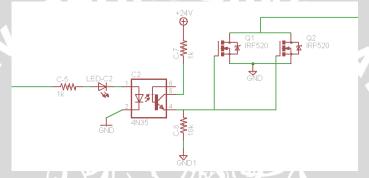
BRAWIJAYA

(OCR1B). *Duty cycle* yaitu waktu T<sub>ON</sub> pada satu gelombang kotak yang menunjukkan *high* dan aktif.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian antara lain:

- Catu daya 12 dan 24 V<sub>DC</sub>
- Rangkaian Mikrokontroler
- Rangkaian PWM
- Rangkaian Catu daya 5 dan 12 V<sub>DC</sub>
- Multimeter CD800A
- Osiloskop *PCSU1000*

Rangkaian PWM yang akan diuji ditunjukkan pada gambar 5.7 berikut :



Gambar 5.7 : Rangkaian PWM

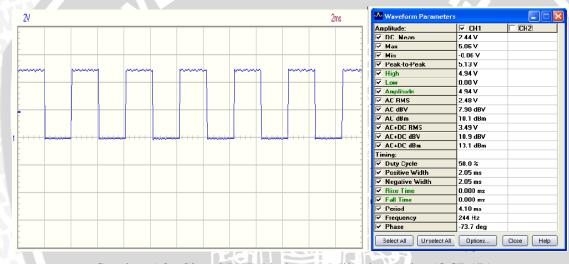
Melalui pengamatan pada osiloskop didapatkan hasil pengujian rangkaian PWM yang ditunjukkan pada tabel 5.4 berikut :

Tabel 5.4: Duty cycle masing-masing komponen

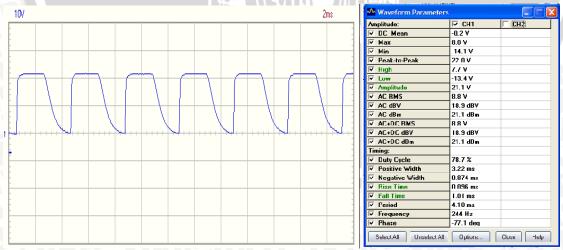
	Set-Point	Keluaran	Keluaran	Keluaran
No	Duty Cycle (%)	OCR1B (%)	Optocoupler (%)	FET (%)
1	0	0	26,1	92,5
2	10	10,2	41,7	64,5
3	20	20,3	51,5	54,2
4	30	30,1	60,7	44,0
5	40	40,2	70,5	33,7
6	50	50,0	78,7	23,8
7	60	60,2	86,2	13,6
8	70	69,9	92,4	2,2
9	80	80,1	97,3	0

10	90	89,8	98,8	0
11	100	100,0	100,0	0

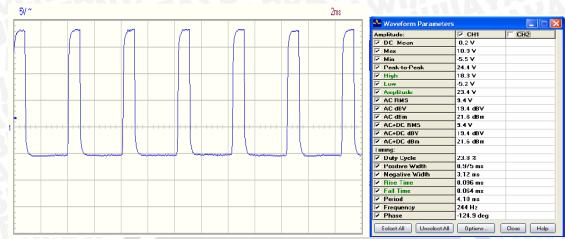
Dari tabel 5.4 menunjukkan nilai *duty cycle* masing-masing komponen mulai dari OCR1B hingga FET. Pada kolom *duty cycle* merupakan *set-point* awal yang akan diterapkan pada *listing* program di dalam MK. Terlihat pada salah satu kaki MK yaitu OCR1B menunjukkan keluaran yang hampir sama dengan *set-point*. Dari MK menuju *optocoupler* yang menunjukkan penyimpangan cukup besar akibat efek kapasitansi yang terdapat didalamnya. Untuk FET menunjukkan kebalikan dari *optocoupler* namun penyimpangan *duty cycle* relatif kecil. Berikut contoh gambar sinyal dan data keluaran masing-masing komponen dengan *duty cycle* sebesar 50% ditunjukkan pada gambar 5.8, 5.9 dan 5.10:



Gambar 5.8 : Sinyal PWM keluaran Mikrokontroler (OCR1B)



Gambar 5.9: Sinyal PWM keluaran Optocoupler



Gambar 5.10: Sinyal PWM keluaran FET IRFZ44

Dari gambar 5.8 hingga gambar 5.10 terlihat bahwa bentuk sinyal kotak dari MK setelah dilewatkan ke optocoupler dan FET berbeda. Pada optocoupler penurunan dari nilai high ke low butuh waktu pengosongan yang membuktikan bahwa adanya kapasitansi pada komponennya. Hal ini juga terlihat pada FET yang membutuhkan waktu agar mencapai titik high. Untuk FET sinyal kebalikan dari optocoupler sehingga jika optocoupler memunculkan sinyal dengan duty cycle 30% maka FET akan memunculkan duty cycle 70%.

### 5.5 Pengujian Motor

Pengujian motor dilakukan yang bertujuan untuk mendapatkan parameterparameter motor sehingga proses perhitungan arus ke motor dapat dilakukan dengan baik.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian antara lain:

- Power supply DF1730SB5A
- Multimeter CD800A
- **Tachometer**

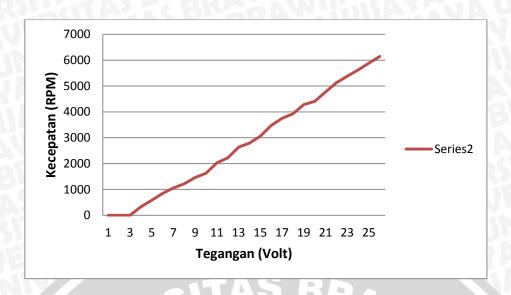
Hasil pengujian yang telah dilakukan seperti ditunjukkan tabel 5.5 dan 5.6 serta gambar 5.11 dibawah ini:

Tabel 5.5: Resistansi jangkar motor

No.	Motor	Ra (ohm)
1	Motor penggerak tiang	26,5
2	Motor penarik tali	51
3	Motor pemutar cakram	49

Tabel 5.6 : Pengujian karakteristik tegangan, arus dan kecepatan motor

No.	Tegangan (V)	Arus (A)	Kecepatan (rpm)
1	1	0,10	0
2	2	0,16	0
3	3	0,11	325
4	4	0,12	580
5	5	0,12	845
6	6	0,12	1060
7	7	0,13	1220
8	8	0,13	1460
9	9	0,13	1630
10	10	0,13	2030
11	11	0,13	2220
12	12	0,13	2640
13	13	0,13	2790
14	14	0,13	3055
15	15	0,13	3475
16	16	0,13	3750
17	17	0,13	3925
18	18	0,13	4285
19	19	0,14	4410
20	20	0,14	4770
21	21	0,14	5125
22	22	0,14	5380
23	23	0,14	5620
24	24	0,14	5885
25	25	0,15	6150



Gambar 5.11: Kurva kecepatan fungsi tegangan pada motor DC magnet permanen

Dari data tabel dan kemudian diubah menjadi sebuah kurva, didapatkan sebuah garis yang relatif *linear*. Garis tersebut mewakili sebuah fungsi yang merupakan kecepatan fungsi dari tegangan. Dengan teknik meregresi garis miring maka akan didapatkan sebuah rumus untuk mencari persamaan garis *linear* nya, yaitu:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \tag{5.1}$$

$$\frac{y - 325}{6150 - 325} = \frac{x - 3}{25 - 3}$$

$$y = 264,77 \text{ x} - 469,31$$

$$\omega_L = A x - B \tag{5.2}$$

Dari 2 persamaan diatas terdapat korelasi yang formulasinya menghasilkan nilai konstanta motor :

$$K_e = \frac{A}{B} = \frac{K_T}{R_a \cdot T_{fd}} = 0,5642$$
 (5.3)

 $K_e$  telah diketahui, selanjutnya mencari nilai *fluks* pada medan magnit motor. Karena keterbatasan alat yang tersedia, maka dengan menggunakan rumus torsi (T) dan mengasumsikan arus menggunakan besaran yang tertera di motor, *fluks* dapat dihitung.

$$T = K_e \otimes I_a \tag{5.4}$$

$$\frac{2,5 \ N.m}{200} = 0,5642. \ \emptyset. \ 0,85 \ A$$

$$\emptyset = 0.026$$
 Weber

Fluks telah diketahui dengan besar 0,026 Weber, sehingga untuk menghasilkan torsi pada motor dengan menggunakan rumus yang sama merupakan fungsi dari arus jangkar (T=f(Ia)). Hal ini menyebabkan hanya arus jangkar yang akan mempengaruhi perubahan torsi yang berbanding lurus karena nilai konstanta dan fluks tetap tidak berubah.

### 5.6 Pengujian Alat Keseluruhan

Pengujian dilakukan dengan simulasi masing-masing motor penggerak yang dioperasikan maju-mundur dengan 2 macam beban yaitu 1,5 dan 2,5 kg. pengoperasian menggunakan stik yang dilakukan oleh operator dengan cara menekan tombol-tombol yang ada di stik. Sinyal stik masuk ke mikrokontroler dan diolah sehingga sinyal keluaran mikrokontroler dikirim ke driver motor. Driver motor ini yang akan mensuplai catu daya ke masing-masing motor penggerak pada crane.

Untuk motor penggerak tiang diberi catu dengan PWM maksimal dari sudut 0° hingga 70°. Dari hasil pengujian didapatkan kecepatan yang relatif konstan. Perubahan kecepatan tidak terlalu signifikan karena untuk motor ukuran medium ini perubahan kecepatan dengan kondisi beban yang berubah sangat kecil sepanjang beban masih dibawah torsi yang dihasilkan oleh motor. Berikut kurva tegangan terhadap waktu yang tercatat oleh osiloskop dengan 10 V/div dan 500 ms/div pada gambar 5.12 dan 5.13:



Gambar 5.12: Kurva tegangan terhadap waktu dengan beban 1,5 kg



Gambar 5.13: Kurva tegangan terhadap waktu dengan beban 2,5 kg

Terlihat dari gambar 5.12 dan 5.13 diatas tidak ada perubahan yang signifikan antara beban 1,5 dan 2,5 kg. Untuk perubahan pada arusnya karena tidak dapat terlihat pada osiloskop maka melihat dari kurva tegangan yang dibagi dengan resistansi dari jangkar motor sehingga relatif konstan.

Kecepatan sudut tiang terhadap poros:

$$\omega = \frac{\theta \cdot \pi}{180^{\circ} \cdot t} = \frac{70^{\circ} \cdot 3{,}14}{180^{\circ} \cdot 4} = 0{,}305 \, rad/s \tag{5.5}$$

$$E = K_e \Phi \omega_m = 0.564 \cdot 0.026 \cdot 0.305 = 0.0045 \text{ V}$$

Mencari arus jangkar:

$$I_a = \frac{V - E}{R_a} = \frac{23,5 - 0,045}{26,5} = 0,887 A$$
 (5.6)

Tegangan drop yang diserap oleh FET:

$$V_{DS} = I_a.R_{DSon} = 0.887.00028 = 0.00248 V$$
 (5.7)

Sehingga tegangan catu yang masuk ke motor:

$$V_{Catu} = V_{motor} + V_{DS} = 23.5 + 0.00248 = 23.50248 V$$
 (5.8)

Torsi yang dihasilkan oleh motor:

$$T = K_e \cdot \emptyset. I_a = 0,5642.0,026.0,887 = 0,013 Nm$$
 (5.9)  
 $T = 0,013.200 = 2,6 Nm$ 

Daya yang diserap motor:

$$P = V.I_a = 23.5.0,887 = 20,844 W$$
 (5.10)

Berdasarkan arus *nameplate* pada motor daya motor ialah 23,5 x 0,85 = 19,975 W, sehingga rugi-rugi mekanik (gesekan gir, angin, dll) yang dirasakan oleh motor adalah

$$P_{rugi} = 20,844 - 19,975 = 0,869 W (5.11)$$

Efisiensi sistem penggerak tiang:

$$\eta = \frac{19,975}{20,844}.100\% = 95,8\% \tag{5.12}$$

Torsi yang dihasilkan oleh motor yaitu 2,56 Nm x 9,33 = 23,88 Nm sedangkan torsi terbesar beban pada beban dengan massa 2,5 kg adalah 17,15 Nm. Perbedaan yang cukup besar sehingga perubahan arus maupun tegangan yang terjadi tidak besar dan mengakibatkan kecepatan motorpun relatif konstan. Daya yang dibutuhkan untuk memikul rugi-rugi mekanik yaitu 0,869 W sehingga efisiensi sistem penggerak yaitu 95,8%.

Pada motor penarik tali hasil pengujian menggunakan osiloskop 10 V/div dan 500 ms/div pada gambar 5.14 yaitu :



Gambar 5.14: Kurva tegangan terhadap waktu pada beban 1,5 dan 2,5 kg

Gambar 5.14 diatas adalah kurva tegangan terhadap waktu pada beban 1,5 kg dan juga 2,5 kg yang sama persis. Tidak ada perubahan pada perubahan beban karena torsi yang dihasilkan besar.

Mencari arus jangkar dengan mengasumsikan nilai E=0:

$$I_a = \frac{V - E}{R_a} = \frac{23,5 - 0}{51} = 0,46 A$$
 (5.13)

Kecepatan tali penarik adalah:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{0.4}{5.5} = 0.073 \, m/s \tag{5.14}$$

Daya yang diserap motor:

$$P = V \cdot I_a = 23.5 \cdot 0.46 = 10.81 W$$
 (5.15)

Torsi yang dihasilkan motor:

$$T = \frac{P}{n} = \frac{10,373}{28} = 0,386 \, Nm \tag{5.16}$$

Berdasarkan arus *nameplate* pada motor daya motor ialah  $23.5 \times 0.45 = 10.575$  W, sehingga rugi-rugi mekanik (gesekan gir, angin, dll) yang dirasakan oleh motor adalah

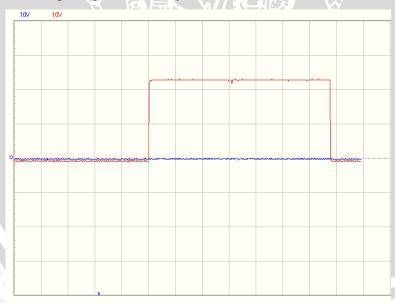
$$P_{rugi} = 10.81 - 10.575 = 0.235 W$$
 (5.17)

Efisiensi sistem penggerak tiang:

$$\eta = \frac{10,575}{10,81}.100\% = 97,82\% \tag{5.18}$$

Daya yang dibutuhkan untuk memikul rugi-rugi mekanik yaitu 0,235 W sehingga efisiensi sistem penggerak yaitu 97,82%.

Pada motor pemutar cakram putar hasil pengujian menggunakan osiloskop 10 V/div dan 500 ms/div pada gambar 5.15 yaitu :



Gambar 5.15 : Kurva tegangan terhadap waktu pada beban 1,5 dan 2,5 kg

Gambar 5.15 diatas adalah kurva tegangan terhadap arus pada beban 1,5 kg dan juga 2,5 kg yang sama persis. Tidak ada perubahan pada perubahan beban karena torsi yang dihasilkan besar. Berikut perhitungannya:

Kecepatan sudut cakram putar:

Mencari arus jangkar dengan mengasumsikan nilai E=0:

$$I_a = \frac{V - E}{R_a} = \frac{23,5 - 0}{49} = 0,479 A \tag{5.20}$$

Daya yang diserap oleh motor:

$$P = V \cdot I_a = 23.5 \cdot 0.479 = 11.256 W$$
 (5.21)

Torsi yang dihasilkan oleh motor:

$$T = \frac{P}{n} = \frac{11,256}{28} = 0,402 \ Nm \tag{5.22}$$

Berdasarkan arus *nameplate* pada motor daya motor ialah  $23,5 \times 0,45 = 10,575$  W, sehingga rugi-rugi mekanik (gesekan gir, angin, dll) yang dirasakan oleh motor adalah

$$P_{rugi} = 11,256 - 10,575 = 0,681 W$$
 (5.23)

Efisiensi sistem penggerak tiang:

$$\eta = \frac{10,575}{11,256}.100\% = 93,95\% \tag{5.24}$$

Daya yang dibutuhkan untuk memikul rugi-rugi mekanik yaitu 0,235 W sehingga efisiensi sistem penggerak yaitu 97,82%.

Dari pengujian masing-masing sistem penggerak bagian *crane* maka dapat disederhanakan pada tabel 5.7 berikut :

Tabel 5.7 : Perbandingan hasil perhitungan karakteristik dari masing-masing motor penggerak

	No.	Fungsi Motor DC	ω / ν	Т	Р	$P_{rugi}$	η
	1	Penggerak tiang	0,305 rad/s	2,6 Nm	20,844 W	0,869 W	95,8 %
	2	Penarik tali	0,073 m/s	0,386 Nm	10,81 W	0,235 W	97,82 %
Ī	3	Pemutar cakram	0,461 rad/s	0,402 Nm	11,256 W	0,681 W	93,95 %

### **BAB VI**

#### **PENUTUP**

### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a) Miniatur *crane* 1-lengan berhasil dibuat sesuai dengan rancangan dan dapat berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.
- b) Fungsi motor sebagai penggerak diperoleh dengan memanfaatkan konverter daya MOSFET yang ditunjang oleh *optocoupler* dan *relay* yang dikendalikan dengan sinyal keluaran mikrokontroler.

### 6.2 Saran

Dalam perancangan ini, tentunya banyak kekurangan yang terjadi. Oleh karena itu untuk menyempurnakan perancangan berikutnya, terdapat beberapa saran yang perlu dilakukan, sebagai berikut:

- a) Survei ke berbagai tempat atau jenis *crane* harus dilakukan agar miniatur *crane* yang dirancang dapat direalisasikan dan diaplikasikan sesuai kebutuhan.
- b) Struktur mekanik harus dibuat dengan kuat dan presisi karena beban berat yang diangkat dapat berdampak negatif.
- c) Diadakannya suatu sistem proteksi terhadap rancangan *crane* agar segala sesuatu yang berdampak buruk dapat diantisipasi dengan aman.



#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Boldea, I, Syed A. Nasar. 1997. *Linear Electric Actuators And Generators*. New York: Cambridge University Press.
- Bose, Bimal K. 1997. *Power Electronich And Variable Frequency Drives: Technology And Applications*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Press.
- Dubey K. Gopal. 1993. *Power Semicoductor Controlled Drives*. Simon & Schuster (Asia) Pte.Ltd.,
- Hughes, Austin. 2006. Electric Motors And Drives (Fundamentals, Types And Applications). Amsterdam: Elsevier Ltd.
- Krawczyk, Andrzej. Dkk. 2006. Electromagnetic Fields In Mechatronics, Electrical And Electronic Engineering. Amsterdam: IOS Press.
- Kuphaldt, Tony R. 2002. Lessons In Electric Circuits, Volume 1-DC. General Public.
- Leonhard, Werner. 2001. Control Of Electrical Drives. Berlin: Springer.
- Sears, Francis Weston dan Mark W. Zemansky. 1982 . Fisika Untuk Universitas 1 (Mekanika, Panas, Bunyi). Bandung : Binacipta.
- Shapiro, Lawrence K., Jay P. Shapiro . 2011. *Cranes And Derricks*. New York : McGraw Hill.
- Sul, Seung-Ki. 2011. *Control Of Electric Machine Drive Systems*. Unites State: Institute of Electrical and Electronics Engineers Press.
- Veinott, Cyril G. dan Joseph E. Martin. 1986. Fractional And Subfractional Horsepower Electric Motors (Available Types, Basic Operating Principles, Selection And Maintenance). Singapura: McGraw-Hill Book Company.
- Verschoof, Ing. J. 2002. *Cranes ( Design, Practice And Maintenance )*. London: Professional Engineering Publishing.
- Walker, Peter. 1980. Direct Current Motors (Characteristic & Applications). United States: Tab Books.
- Wibawa, Unggul. 2001. Sumber Daya Energi Alternatif. Malang: Universitas Brawijaya.
- Yeadon, William H. 2001. *Handbook Of Small Electric motors*. United States: Mc Graw Hill.

## LAMPIRAN 1







Foto Alat



Foto Pengujian

### LISTING PROGRAM ATMEGA 16



/\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\* Data Stack size

CodeWizardAVR V2.04.4a Evaluation #include <mega16.h>

Automatic Program Generator #include <delay.h>

© Copyright 1998-2009 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l. #include <stdio.h>

http://www.hpinfotech.com void sensor();

Project: char arus;

Version: char pwm\_diam;

Date : 11/9/2012 char a1=125,

Author: Freeware, for evaluation and non-commercial use only a2=172,

Company:

SPS A

Chip type : ATmega16

Comments:

Program type : Application

AVR Core Clock frequency: 12.000000 MHz

Memory model : Small

External RAM size : 0

// Alphanumeric LCD Module functions

: 256

#asm

a3=5;

.equ \_\_lcd\_port=0x15 ;PORTC

#endasm

#include <lcd.h>

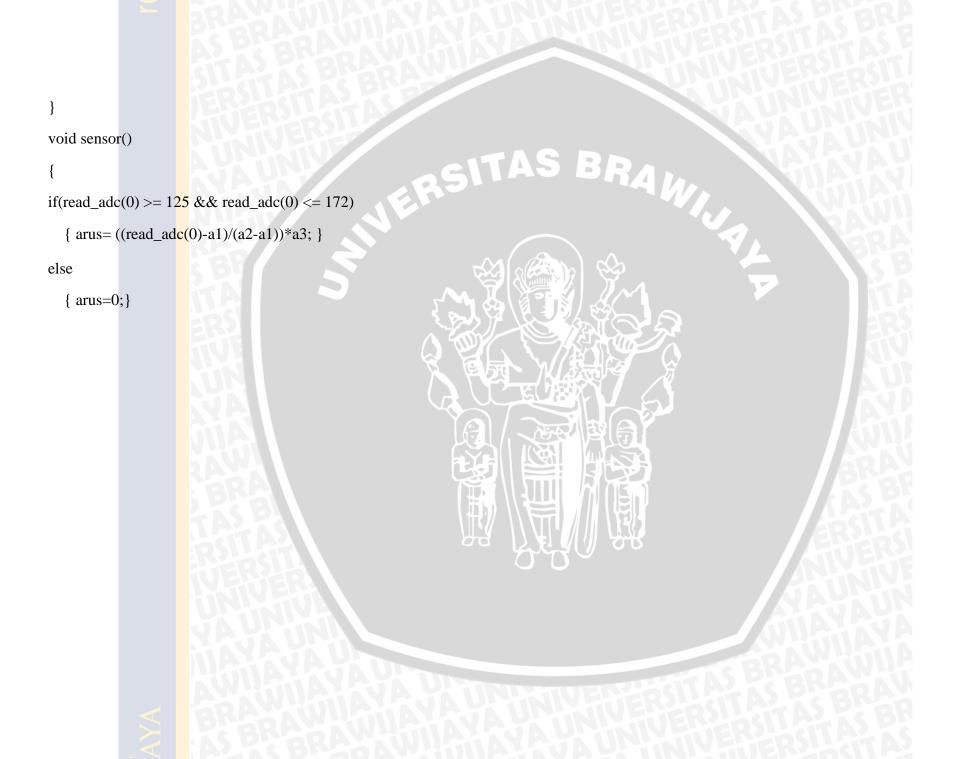
```
#define ADC VREF TYPE 0x60
                                                                     // Port A initialization
// Read the 8 most significant bits
                                                                     Func1=In Func0=In
// of the AD conversion result
unsigned char read_adc(unsigned char adc_input)
                                                                     State1=T State0=T
                                                                     PORTA=0x00;
ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;
                                                                     DDRA=0x00;
// Start the AD conversion
                                                                    // Port B initialization
ADCSRA = 0x40;
                                                                     Func1=In Func0=In
// Wait for the AD conversion to complete
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
                                                                     State0=P
ADCSRA = 0x10;
                                                                     PORTB=0x3F;
return ADCH;
                                                                     DDRB=0xC0;
                                                                     // Port C initialization
char buf[33];
void main(void)
```

```
// Input/Output Ports initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
// Func7=Out Func6=Out Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
// State7=0 State6=0 State5=P State4=P State3=P State2=P State1=P
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out
Func2=Out Func1=Out Func0=Out
```

```
// State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0
                                                                    OCR0=0x00;
State0=0
                                                                    // Timer/Counter 1 initialization
PORTC=0x00;
                                                                    // Clock source: System Clock
DDRC=0xFF;
                                                                    // Clock value: 46.875 kHz
// Port D initialization
                                                                    // Mode: Fast PWM top=00FFh
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out
                                                                    // OC1A output: Non-Inv.
Func2=Out Func1=Out Func0=Out
                                                                    // OC1B output: Non-Inv.
// State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0
State0=0
                                                                    // Noise Canceler: Off
PORTD=0x00;
                                                                    // Input Capture on Falling Edge
DDRD=0xFF;
                                                                    // Timer1 Overflow Interrupt: Off
// Timer/Counter 0 initialization
                                                                    // Input Capture Interrupt: Off
// Clock source: System Clock
                                                                    // Compare A Match Interrupt: Off
// Clock value: Timer 0 Stopped
                                                                    // Compare B Match Interrupt: Off
// Mode: Normal top=FFh
                                                                     TCCR1A=0xA1;
// OC0 output: Disconnected
                                                                    TCCR1B=0x0C;
TCCR0=0x00;
                                                                    TCNT1H=0x00;
TCNT0=0x00;
                                                                    TCNT1L=0x00;
```

```
ICR1H=0x00;
                                                                   // INT1: Off
ICR1L=0x00;
                                                                   // INT2: Off
OCR1AH=0x00;
                                                                   MCUCR=0x00;
                                                                   MCUCSR=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
                                                                   // Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
OCR1BL=0x00;
                                                                   TIMSK=0x00;
// Timer/Counter 2 initialization
                                                                   // Analog Comparator initialization
                                                                   // Analog Comparator: Off
// Clock source: System Clock
                                                                   // Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
// Clock value: Timer2 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
                                                                   ACSR=0x80;
// OC2 output: Disconnected
                                                                   SFIOR=0x00;
ASSR=0x00;
                                                                   // ADC initialization
                                                                   // ADC Clock frequency: 187.500 kHz
TCCR2=0x00;
                                                                   // ADC Voltage Reference: AVCC pin
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;
                                                                   // ADC Auto Trigger Source: None
// External Interrupt(s) initialization
                                                                   ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
// INT0: Off
                                                                   ADCSRA=0x87;
```

```
PORTD.1=1;
SFIOR&=0xEF;
// LCD module initialization
                                                                      else if (PINB.2==0)
                                            ERSITAS
while (1)
                                                                       PORTD.2=1;
                                                                      else if (PINB.3==0)
  sensor();
                                                                       PORTD.3=1;
                                  //inisialisasi LCD
  lcd_init(16);
                                                                      else if (PINB.4==0)
  lcd_gotoxy(0,0);
                          //menempatkan posisi di 0,0
                                                                       { PORTD=0b01000000;
  lcd_putsf("ARUS(mA)"); //menampilkan string
                                                                       OCR1B=255; }
                          //menempatkan posisi
  lcd_gotoxy(0,1);
                                                                      else if (PINB.5==0)
                          //menampilkan string
  lcd_putsf("I=");
                                                                       { PORTD=0b10000000;
  lcd_gotoxy(4,1);
                                                                       OCR1B=255; }
  sprintf(buf,"%i",arus);
                          //menampilkan besarnya arus
                                                                      else
  lcd_gotoxy(10,1);
                          //menempatkan posisi
                                                                      { PORTD=0b01000000;
                          //menampilkan string
  lcd_putsf("mA");
                                                                      OCR1B=pwm_diam;
  if(PINB.0==0)
                                                                      pwm_diam=0; }
    PORTD.0=1;
                                                                      };
   else if(PINB.1==0)
```

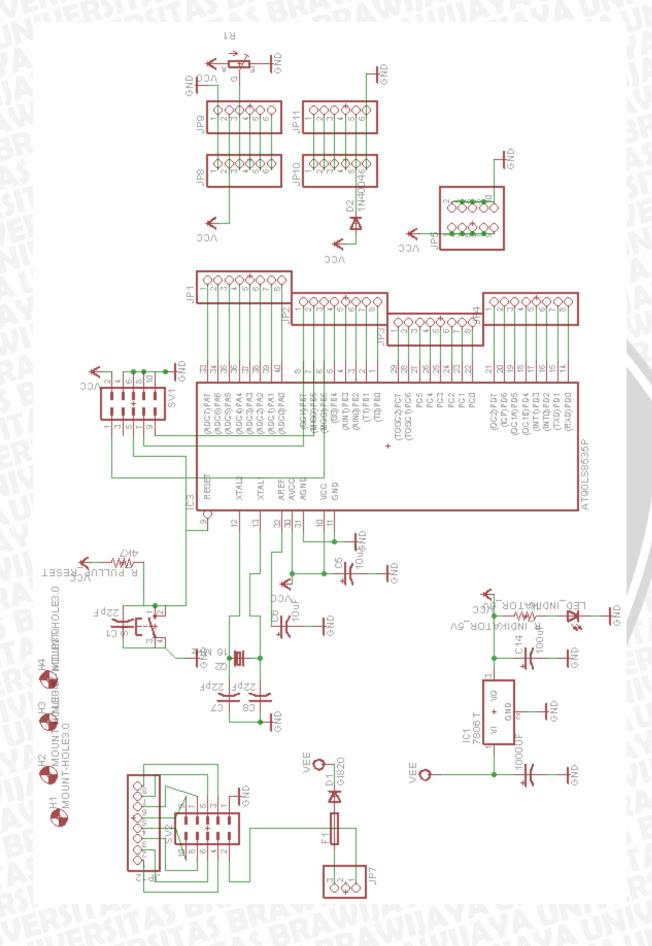


# LAMPIRAN 3

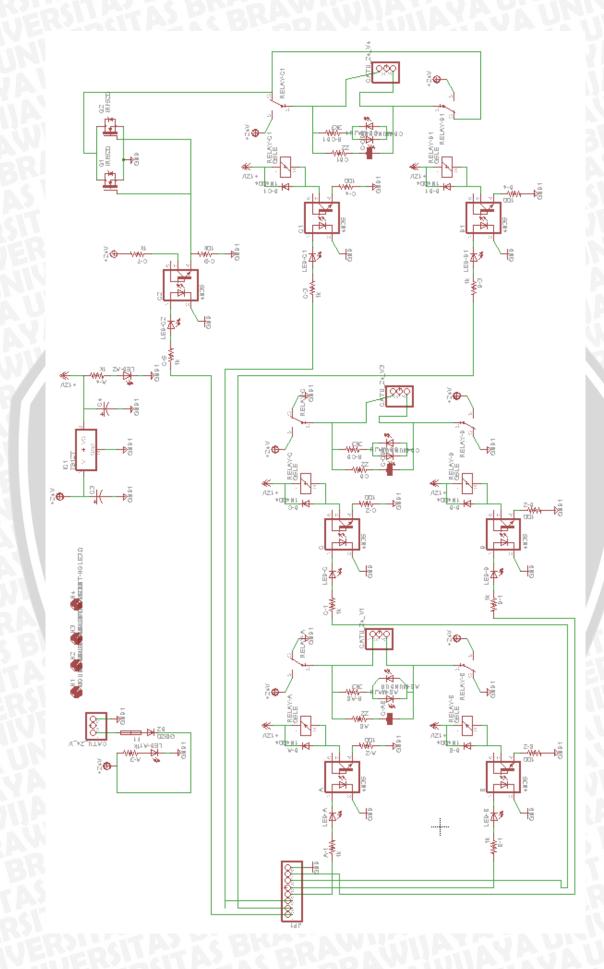
### SKEMATIK RANGKAIAN













## LAMPIRAN 4









