

BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Dalam bab ini akan dibahas perancangan dan pembuatan alat. Pembahasan akan dilakukan pada setiap blok rangkaian, cara kerja masing-masing blok rangkaian, perhitungan dan juga fungsi masing-masing blok rangkaian tersebut.

Secara garis besar terdapat dua bagian perangkat yang ada, yaitu:

- Perancangan perangkat keras (*Hardware*)
- Perancangan perangkat lunak (*Software*)

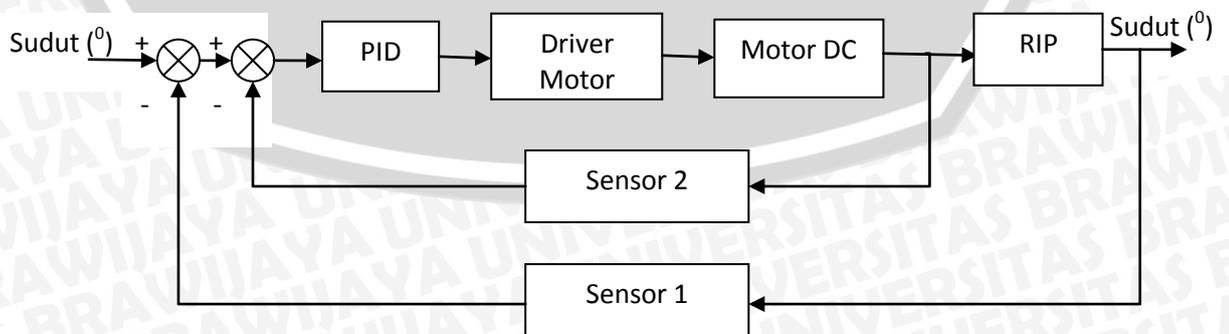
4.1. Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat ditetapkan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Spesifikasi alat yang dirancang yaitu:

1. Sistem penggerak menggunakan motor DC.
2. Menggunakan catu daya 5V untuk catu *driver* motor EMS 5A *H-Bridge*.
3. Menggunakan catu daya 12V untuk motor DC.
4. Sensor posisi menggunakan *rotary encoder*.
5. Menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai pengendali utama.
6. Berat tongkat pendulum (*rod*) 200g dan panjang 30cm dengan bahan aluminium.
7. Panjang lengan pendulum (*chart*) 15cm.

4.2. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem secara Keseluruhan

Berdasarkan diagram blok dalam Gambar 4.1, dapat dijelaskan secara umum mengenai bagian-bagian yang menyusun keseluruhan sistem alat ini, yaitu:

1. Sensor 1 adalah *rotary encoder* yang digunakan untuk mengetahui posisi sudut pendulum.
2. Sensor 2 adalah *magnetic encoder* yang digunakan untuk mengetahui kecepatan putaran motor DC.
3. Pengontrolan menggunakan kontroler PID dengan Arduino Mega 2560 sebagai pusat pengendalian sistem yang memberikan keluaran berupa *duty cycle* PWM kepada *driver* motor.
4. Motor yang digunakan adalah motor DC yang berfungsi sebagai aktuator dalam proses penyeimbangan pendulum terbalik.
5. *Driver* motor menggunakan modul EMS 5A *H-Bridge* dengan IC MC33887VW memberikan perintah ke aktuator (motor DC) yang akan menggerakkan *rod* pendulum pada *Rotary Inverted Pendulum* sesuai arah kemiringannya dengan kecepatan tertentu.

4.3. Prinsip Kerja Alat

Pendulum terbalik dikatakan tegak (setimbang) apabila *rotary encoder* memberikan tegangan yang menunjukkan bahwa kondisi pendulum terbalik berada tegak lurus terhadap permukaan bumi (sesuai hasil pengujian *rotary encoder*), apabila pendulum terbalik tidak tegak lurus terhadap garis normal atau miring, maka kontroler akan memberikan perintah pada *driver* motor untuk mengendalikan motor sehingga motor berputar sesuai arah kemiringan pendulum terbalik dengan kecepatan tertentu hingga pendulum terbalik mencapai keadaan setimbang kembali.

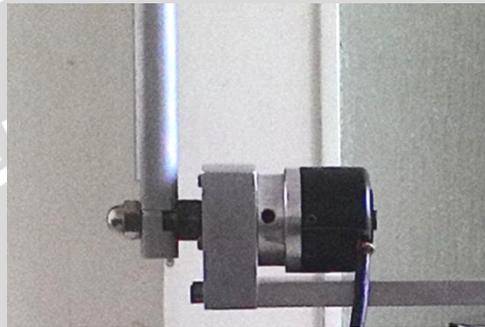
Masukan kontroler berupa kemiringan, sementara keluaran kontroler berupa *duty cycle* PWM yang kemudian diteruskan ke *driver* motor dan menghasilkan tegangan untuk memutar motor DC dengan kecepatan tertentu.

4.4. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

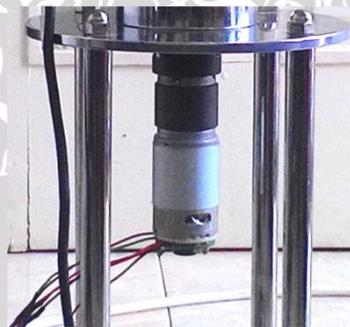
Berdasarkan diagram blok perancangan alat yang telah disusun, perancangan perangkat keras meliputi sensor *encoder* dan *driver* motor.

4.4.1. Encoder

Encoder adalah perangkat elektromekanik yang dapat memonitor gerakan dan posisi. Pada perancangan *Rotary Inverted Pendulum* digunakan dua *encoder*, yaitu *rotary encoder* pada lengan pendulum dan *magnetic encoder* pada motor DC. *Rotary encoder* pada lengan pendulum digunakan sebagai pembacaan perubahan sudut dari *rod* pendulum. Dan, *magnetic encoder* pada motor DC digunakan sebagai pembacaan kecepatan putaran motor DC.



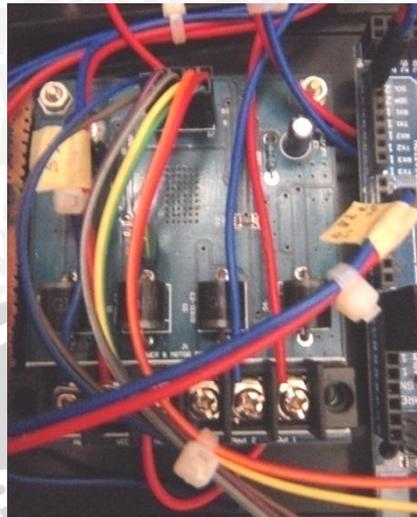
Gambar 4.2 *Rotary Encoder* pada Lengan Pendulum



Gambar 4.3 *Magnetic Encoder* pada Motor DC

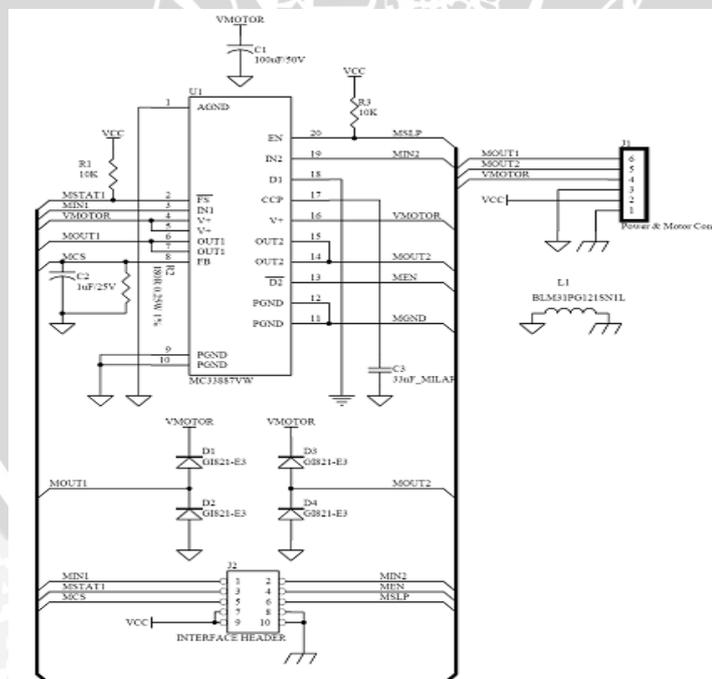
4.4.2. Perancangan *Driver Motor*

Untuk *driver* motor DC digunakan *Embedded Module Series (EMS) 5A H-Bridge* yang menggunakan IC MC33887VW. Modul ini merupakan *driver H-Bridge* yang dirancang untuk menghasilkan *drive 2* arah dengan arus kontinyu sampai dengan 5A pada tegangan 5-40V. Modul ini mampu men-*drive* beban-beban induktif seperti *relay*, solenoida, motor DC, motor stepper, dan berbagai macam beban lainnya. Modul EMS 5A *H-Bridge* digambarkan dalam Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Driver EMS 5A H-Bridge

Modul *H-Bridge* memiliki 1 set *interface header* dan 1 set terminal konektor. *Interface Header* berfungsi sebagai *input* untuk antarmuka dengan *input-output* digital serta *output* analog dari modul *H-Bridge*. Terminal konektor berfungsi sebagai konektor untuk catu daya dan beban. Rangkaian *driver* motor ditunjukkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Rangkaian Elektrik Driver

Sumber : *Datasheet EMS 5A H-Bridge*

Dengan konfigurasi *driver* dalam Gambar 4.5, maka akan didapatkan keadaan-keadaan seperti ditunjukkan dalam Tabel 4.1. Sebuah modul EMS 5A hanya dapat dihubungkan pada satu buah motor. *Pin* MOUT1 dan MOUT2 dihubungkan pada motor. *Pin* MEN merupakan *pin enable* yang digunakan sebagai pengaktif sinyal masukan pada driver. *Pin* MIN1 dan MIN2 merupakan *pin* yang digunakan untuk menentukan arah putaran motor. Apabila MIN1 berlogika *high* dan MIN2 berlogika *low* maka motor akan berputar searah dengan arah jarum jam. Apabila MIN1 berlogika *low* dan MIN2 berlogika *high* maka motor akan berputar berlawanan arah dengan arah jarum jam. *Pin* MSTAT1 merupakan *pin output digital* yang melaporkan kondisi *fault* pada modul. *Pin* MSTAT1 akan berlogika *low* jika ada *fault* pada modul atau *output*. *Pin* MSLP merupakan *pin input* yang mengatur kerja dari modul. Modul akan bekerja pada mode *full-operation* pada saat *pin* ini diberi logika *high* dan akan bekerja pada mode *sleep* pada saat *pin* ini diberi logika *low*.

Tabel 4.1 Tabel Kebenaran *Driver* EMS 5A *H-Bridge*

Status kerja modul H-Bridge	Input				Status Flag	Output	
	MSLP	MEN	MIN1	MIN2		MOUT 1	MOUT 2
<i>Forward</i>	H	H	H	L	H	V MOT	MGND
<i>Reverse</i>	H	H	L	H	H	MGND	V MOT
<i>Freewheeling Low</i>	H	H	L	L	H	MGND	MGND
<i>Freewheeling High</i>	H	H	H	H	H	V MOT	V MOT
<i>Free Running Stop</i>	H	L	X	X	L	Z	Z
MIN1 tidak terhubung	H	H	Z	X	H	V MOT	X
MIN2 tidak terhubung	H	H	X	Z	H	X	V MOT
MEN tidak terhubung	H	Z	X	X	L	Z	Z
<i>Undervoltage</i> ¹	H	X	X	X	L	Z	Z
<i>Overtemperature</i> ¹	H	X	X	X	L	Z	Z
<i>Short Circuit</i> ¹	H	X	X	X	L	Z	Z
<i>Mode Sleep</i>	L	X	X	X	H	Z	Z

Keterangan :

H = *High*

L = *Low*

X = *don't care*

Z = *High Impedance (tri-state)*

4.4.3. Perancangan Arduino Mega 2560

Pada pendulum terbalik ini digunakan Arduino Mega 2560 sebagai pusat dari pengolah data. Agar sebuah Arduino Mega 2560 dapat bekerja sebagai pengontrol, kaki-kaki *pin* Arduino Mega 2560 dihubungkan dalam rangkaian-

rangkaian eksternal. Dalam perancangan ini, *pin* yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. *Pin 2 (Interrupt0) dan pin 3 (Interrupt 1)*

Pin ini terhubung dengan sensor *rotary encoder* pada *rod* pendulum.

2. *Pin 21 (Interrupt 2) dan pin 20 (Interrupt 3)*

Pin ini terhubung dengan sensor *magnetic encoder* pada motor DC.

3. *Pin 8, Pin 10, Pin 11, dan Pin 13*

Pin ini merupakan *pin output* dari Arduino Mega 2560. Bentuk sinyal keluaran dari *pin* ini adalah sinyal *Pulse Width Modulation (PWM)*. Pada perancangan ini, sinyal *pin 11* dan *pin 10* digunakan sebagai penentu arah putaran motor. Jika *pin 11* mempunyai logika 1 dan *pin 10* mempunyai logika 0 maka motor akan berputar searah dengan arah jarum jam. Jika *pin 11* mempunyai besar mempunyai logika 0 dan *pin 10* mempunyai besar mempunyai logika 1 maka motor akan berputar berlawanan dengan arah jarum jam. *Pin 13* digunakan sebagai *enable*. *Pin 8* digunakan untuk mengatur kerja modul H-Bridge. Diberi logika *high* untuk *Full Operation*, dan diberi logika *low* untuk *Mode Sleep*.

Selanjutnya, Arduino Mega 2560 dihubungkan dengan komputer dengan komunikasi serial. Dihubungkan disini bertujuan agar dapat dilakukan pemrograman di komputer, selanjutnya program tersebut dapat di tanamkan pada Arduino Mega 2560. Selain itu dapat digunakan sebagai catu untuk Arduino Mega 2560. Gambar dari Arduino Mega 2560 ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Arduino Mega 2560

4.4.4. Perancangan Mekanik *Rotary Inverted Pendulum*

Mekanik dari *Rotary Inverted Pendulum* mempunyai tiga bagian penting yaitu, *rod* atau stik yang akan dipertahankan posisinya, motor DC, dan lengan pemutar. Ujung bawah *rod* diletakkan pada poros *rotary encoder*, sehingga setiap pergeseran sudut pada *rod*, maka akan terjadi pergeseran sudut pula pada poros *rotary encoder* tersebut. *Rotary encoder* diletakkan pada sebuah lengan yang terhubung dengan poros motor DC, sehingga pada saat terjadi kemiringan pada pendulum terbalik, maka motor DC akan memutar lengan tersebut dengan arah sesuai dengan kemiringan dari pendulum dengan kecepatan tertentu.

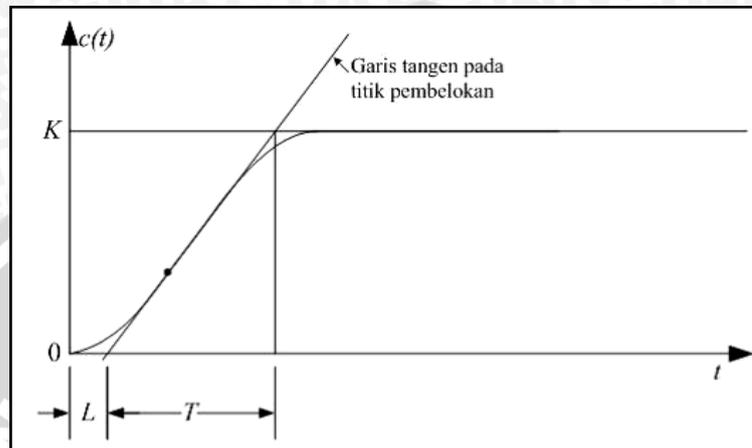
Gambar hasil perancangan mekanik ditunjukkan dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.7 (a) Hasil Perancangan Tampak Keseluruhan, (b) Sambungan antara *Rotary Encoder* dan *Rod*, (c) Motor DC yang Menggerakkan Lengan Pemutar

4.5. Perancangan Kontroler PID

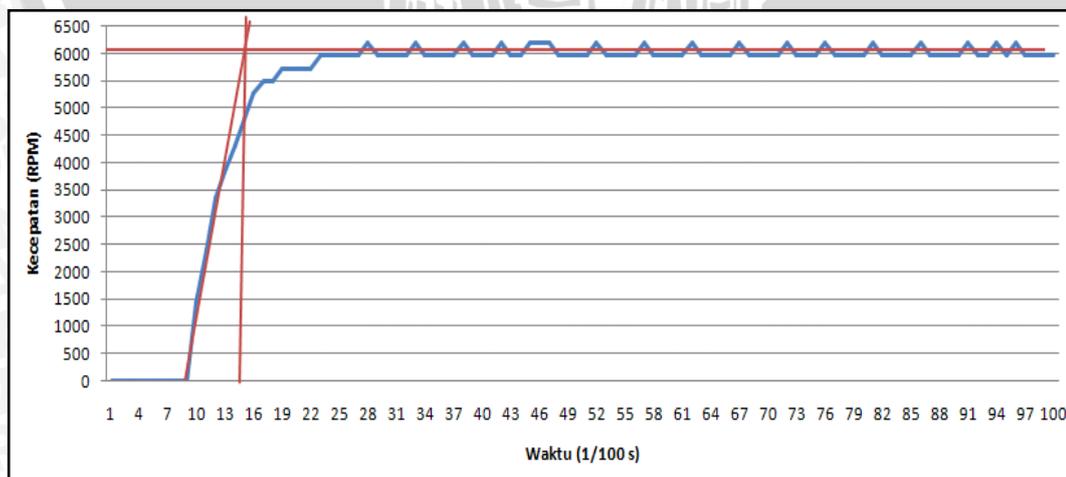
Perancangan kontroler PID diperlukan untuk mengetahui parameter kontroler yang tepat untuk *plant*. Pada skripsi ini digunakan metode 1 Ziegler-Nichols hingga memperoleh kurva berbentuk S seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Kurva Respon yang Berbentuk S

Sumber: Ogata, K. 1997

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$. Hasil perancangan kontroler menggunakan metode 1 Ziegler-Nichols ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Hasil Kurva Respon yang Berbentuk S

Dari kurva tersebut, diperoleh nilai $L=9$ dan $T=5.5$. Nilai L dan T tersebut digunakan untuk menentukan besarnya K_p , T_i dan T_d yang tepat, sesuai dengan Tabel 4.2 aturan *tuning* metode 1 Ziegler-Nichols.

Tabel 4.2 Tabel Aturan *Tuning* Metode 1 Ziegler-Nichols

Type Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2\frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

Dari tabel aturan *tuning* metode 1 Ziegler-Nichols diperoleh nilai $K_p=0.73$, $T_i=18$, dan $T_d=4.5$.

$$K_p = 1.2 \left(\frac{T}{L} \right) = 1.2 \left(\frac{5.5}{9} \right) = 0.73$$

$$T_i = 2L = 2 \times 9 = 18$$

$$T_d = 0.5L = 0.5 \times 9 = 4.5$$

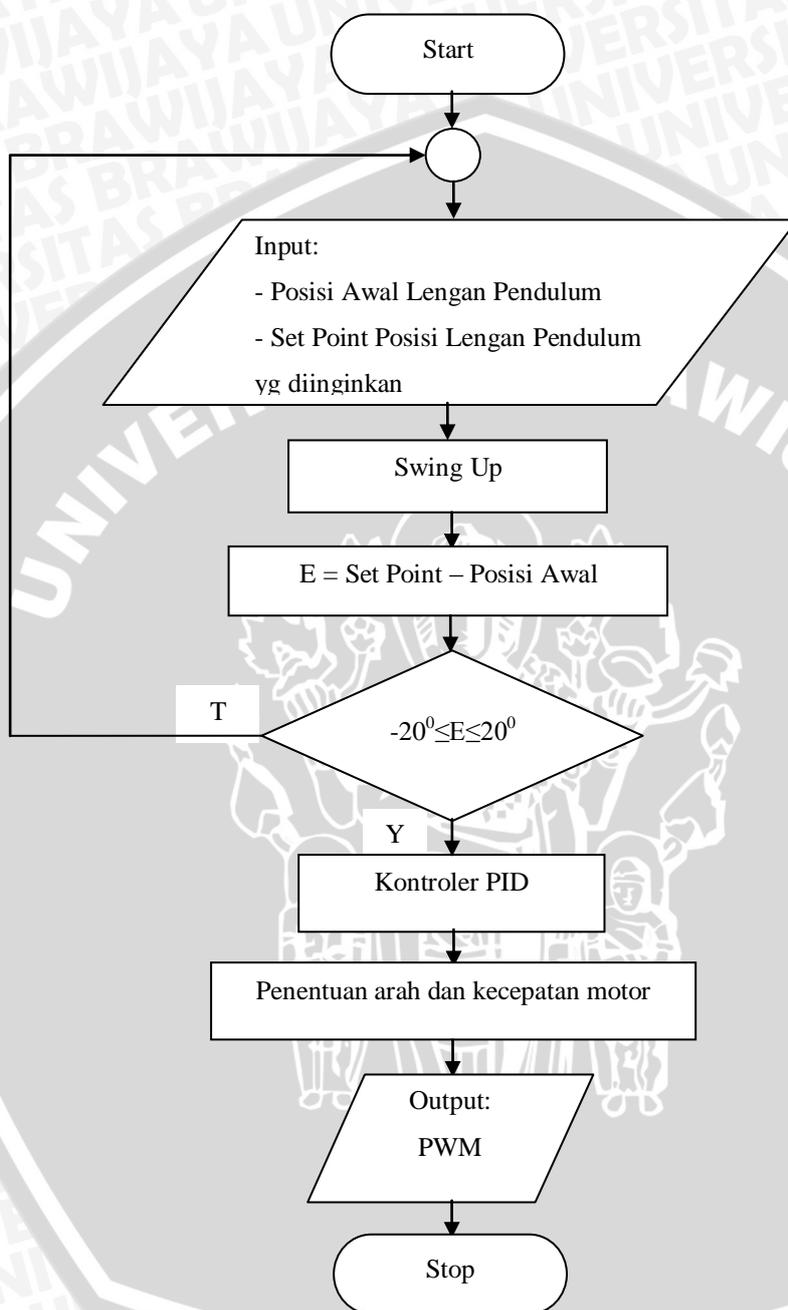
Dari hasil perhitungan K_p , T_i , dan T_d didapatkan nilai parameter $K_i=0.041$ dan $K_d= 3.285$.

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{0.73}{18} = 0.041$$

$$K_d = K_p \times T_d = 0.73 \times 4.5 = 3.285$$

4.6. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Flowchart perancangan perangkat lunak ditunjukkan dalam Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Flowchart Program