

Implementasi Pengendali Posisi Sudut Motor DC Berbasis PID Dengan Interface Mikrokontroler dan Matlab Pada Laboratorium Sistem Kendali Digital

Hendy Prasetyo, Tarmukan, Beauty Anggraheny Ikawanty

Abstrak — Sistem kendali posisi sudut pada motor DC dan kontroler PID sangat penting dalam dunia industri maupun robotika, maka pada suatu proses pembelajaran selain merancang pemodelan sistem, juga harus mengimplementasikan sistem kendali posisi sudut pada motor DC. Sistem kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) diaplikasikan sebagai modul kontrol posisi sudut motor DC yang menggunakan *interface* antara *software matlab* dan *mikrokontroler* ATmega 8535 sebagai piranti akuisi data untuk membaca sensor posisi sudut (*rotary encoder incremental*), mengetahui respon sistem, analisa *tuning* PID dengan metode *Ziegler Nichols* dan mengendalikan motor DC sebagai aktuator dengan media komunikasi USB.

Pada penelitian ini juga dihasilkan nilai $K_p=228$, $K_i=0.4$ dan $K_d=0.02$. Hasil pengujian terhadap aplikasi kontroler PID pada sistem kontrol posisi sudut saat tanpa beban menghasilkan *overshoot* pada masing-masing *setpoint*. Hal ini terjadi karena saat sistem mencapai *setpoint*, motor akan OFF. Pada saat motor OFF, jarum penunjuk masih bergerak karena ada sisa gaya yang timbul karena kecepatan yang dihasilkan motor sebelum OFF. Hasil pengujian pengujian terhadap aplikasi kontroler PID pada sistem kontrol posisi sudut saat diberi 3 beban yang berbeda, menghasilkan nilai (T_s), waktu yang diperlukan untuk mencapai *steady state*. Sistem yang mempunyai nilai T_s yang tercepat adalah saat beban 100 gram namun *error steady state* 2.2% (lebih besar daripada yang lain). Sedangkan T_s yang paling lambat adalah saat beban 150 gram tetapi *error steady state* 0%. Namun *overshoot* yang dihasilkan relatif sama.

Kata kunci : modul praktikum kendali posisi sudut motor DC, interface mikrokontroler dan matlab, rotary encoder incremental.

I. PENDAHULUAN

PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontroler PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu: *Proportional*, *Integratif* dan *Derivatif*. Ketiganya

dapat dipakai bersamaan maupun, sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant. ^[1]

Ada banyak plant yang dapat dikendalikan dengan PID, salah satunya adalah sistem kendali posisi sudut pada motor DC. Sistem kendali posisi sudut pada motor DC sangat diperlukan dalam dunia robotika maupun industri. Misalnya pada robotika yaitu lengan robot, kaki robot dan gerakan robot lainnya. Sedangkan pada dunia industri yaitu pada pemotong, *conveyor*, mesin printer, dan lain-lain.

Karena sistem kendali posisi sudut pada motor DC dan kontroler PID sangat penting dan banyak digunakan dalam dunia industri maupun robotika, maka pada suatu proses pembelajaran selain merancang pemodelan sistem, juga harus mengimplementasikan sistem kendali posisi sudut pada motor DC.

Sehingga pada penelitian ini akan dibuat modul kontrol posisi sudut motor DC yang menggunakan *interface* antara *software matlab* dan *mikrokontroler* ATmega 8535 sebagai piranti akuisi data untuk membaca sensor posisi sudut (*rotary encoder incremental*), mengetahui respon sistem, analisa *tuning* PID dengan metode *Ziegler-nichols* dan mengendalikan motor DC yang diberikan beban sebagai aktuator dengan media komunikasi USB.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Atmega 8535

ATmega 8535 adalah salah satu jenis mikrokontroler CMOS 8-bit buatan ATMEL keluarga AVR. IC ATmega 8535 mempunyai empat buah port. Port A sebagai input pengonversi dari sinyal analog menjadi sinyal digital. Port B dapat difungsikan sebagai *port download* dan *upload program*. Port C sebagai port I/O biasa. Dan port D dapat digunakan sebagai port komunikasi serial.

2.2 Motor DC

Motor DC merupakan jenis motor yang menggunakan tegangan searah sebagai sumber tenaga. Memberikan beda tegangan pada kedua terminal motor, akan menyebabkan motor berputar. Apabila polaritas dari tegangan input dibalik maka arah putaran juga akan berbalik. Sehingga polaritas dari terminal menentukan arah putar motor. Sedangkan besarnya nilai tegangan yang diberikan akan mempengaruhi kecepatan putar motor.

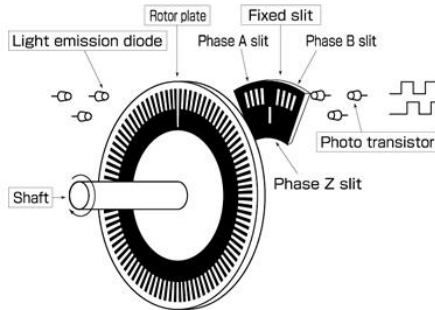
Hendy Prasetyo adalah Mahasiswa D4 Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, email: hendyprasetyo3010@gmail.com
Tarmukan dan Beauty Anggraheny Ikawanty adalah dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang



Gambar 1 Motor DC PG45

2.3 Sensor Rotary Encoder Incremental

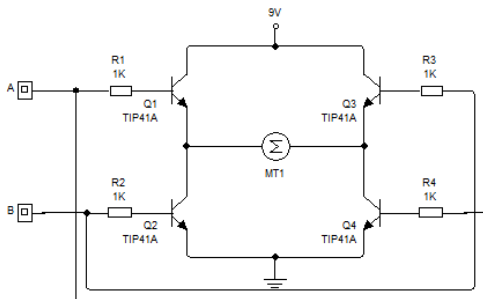
Rotary encoder incremental menghasilkan pulsa dalam frekuensi yang sebanding dengan kecepatan rotasi. Rotary encoder incremental dapat digunakan untuk kontrol kecepatan, kontrol posisi, atau sebagai indikator rotasi atau sebagai pulsa generator motor servo yang terpasang pada peralatan mesin, robot, atau peralatan pengukur. Secara umum Rotary encoder incremental terdiri dari pelat rotor, celah tetap, dioda pemancar cahaya, transistor foto, dan lain-lain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Struktur Rotary Encoder Incremental

2.4 Driver Motor H-Bridge

Rangkaian driver motor DC H-Bridge adalah rangkaian yang berfungsi untuk membalik polaritas suatu aliran listrik. Jika terdapat dua kabel, kabel A dan kabel B, maka pada kondisi A, di mana pada kondisi ini rangkaian mendapatkan sebuah trigger pada input A, maka kabel A akan bermuatan positif dan kabel B bermuatan negatif. Ketika kondisi B, rangkaian mendapatkan trigger pada input B, maka polaritas akan terbalik dari input A, yaitu kabel A bermuatan negatif dan kabel B bermuatan positif.

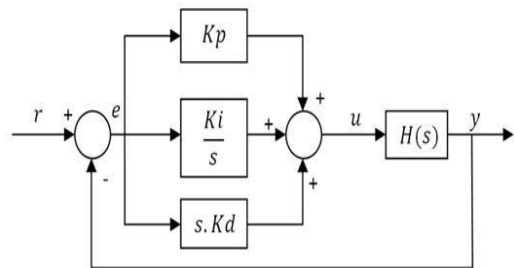


Gambar.3 Rangkaian Driver H-Bridge

2.5 Kontrol PID

Sistem Kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative controller*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut.

Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (Proportional), I (Integral), dan D (Derivative) dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing-masing cara dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran system terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan. Berikut adalah diagram blok dari kontrol PID :

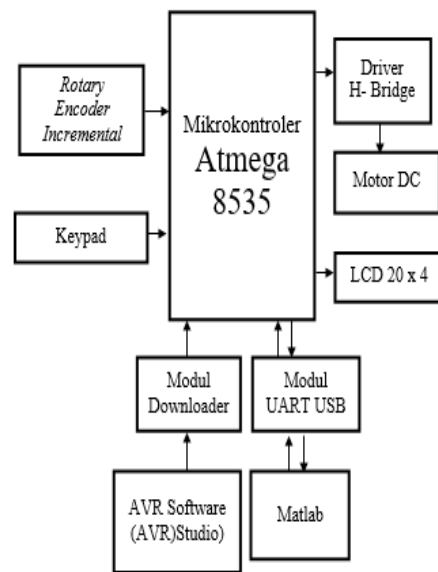


Gambar 4 Blok Diagram Kontrol PID

III. METODOLOGI

3.1 Diagram Blok Sistem

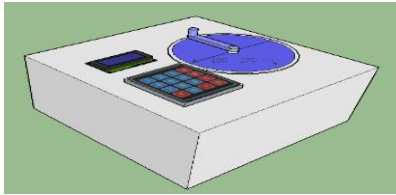
Berikut adalah diagram blok sistem pengendali posisi sudut motor dc berbasis pid dengan interface mikrokontroller dan matlab pada laboratorium sistem kendali digital :



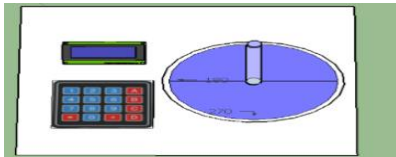
Gambar 5 Diagram Blok sistem

IV. HASIL DAN ANALISA

3.3 Desain Mekanik

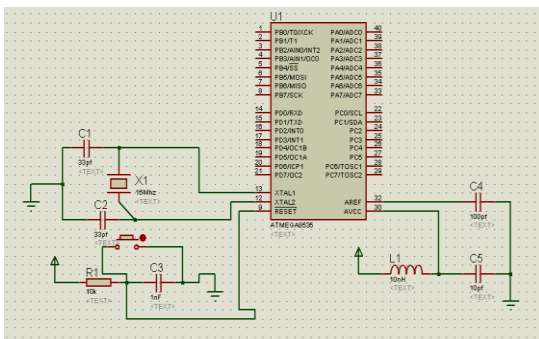


Gambar 6 Tampak Samping



Gambar 7 Tampak Atas

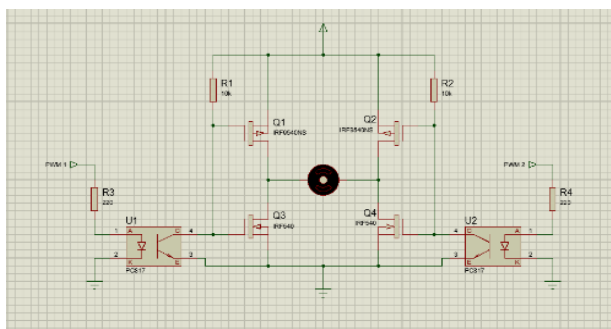
3.4 Perancangan Rangkaian Minimum Sistem Atmega 8535



Gambar 8 Rangkaian minimum sistem Atmega

3.5 Perancangan Rangkaian H-Bridge

H-bridge adalah sebuah perangkat keras berupa rangkaian yang berfungsi untuk menggerakkan motor. Rangkaian ini diberi nama *H-bridge* karena bentuk rangkaianya yang menyerupai huruf H. Rangkaian ini terdiri dari dua buah MOSFET kanal P dan dua buah MOSFET kanal N. Prinsip kerja rangkaian ini adalah dengan mengatur mati-hidupnya ke empat MOSFET tersebut. Perancangan *driver* motor dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9 Rangkaian Skematik *H-bridge*

4.1 Pengujian Perblok Sistem

Pengujian dan analisa perblok dilakukan apakah bagian dari system bekerja sesuai dengan fungsi perencanaan dan pengujian perblok ini adapun bagian-bagian yang diuji adalah

4.1.1 Pengujian *Rotary Encoder Incremental*

Pengujian sensor *rotary encoder incremental* dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan posisi sudut dapat dibaca dengan baik oleh *rotary encoder incremental* yaitu dengan cara membandingkan hasil pengukuran *rotary encoder incremental* dengan busur derajat dan juga mengetahui data *counter* yang dibaca oleh *rotary encoder incremental*. Sehingga dapat diketahui linearitas dan berapa besar error dari pengukuran *rotary encoder incremental*.

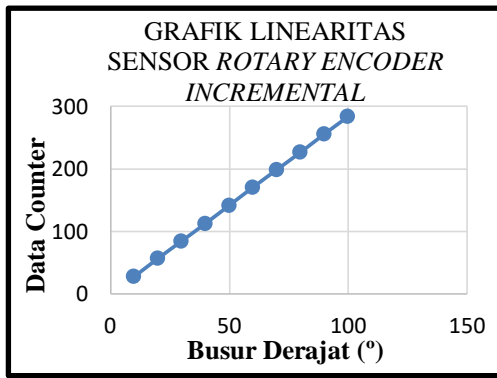
Pengujian ini diawali dengan memasukkan program pembacaan data *counter* kedalam Atmega 8535 yang nantinya akan membaca data *counter* yang dihasilkan pada setiap sudut yang diberikan. Berikut data hasil pengujian sensor *rotary encoder incremental* yang ditabelkan pada tabel 1.

Tabel 1 Pengujian Sensor *Rotary Encoder Incremental*

No	Data Counter	Sensor Rotary Encoder (°)	Busur Derajat (°)	Error (%)
1	28	9.85	10	1.55
2	57	20.04	20	0.20
3	85	29.89	30	0.38
4	113	39.73	40	0.67
5	142	49.93	50	0.14
6	171	60.13	60	0.21
7	199	69.97	70	0.04
8	227	79.82	80	0.23
9	256	90.01	90	0.02
10	284	99.86	100	0.14

Dari hasil table 1 pada kolom data *counter* dan kolom Busur Derajat dapat dibuat grafik yang menunjukkan linearitas sensor *rotary encoder incremental* sebagai sensor posisi sudut motor DC. yang dapat dilihat pada gambar 10

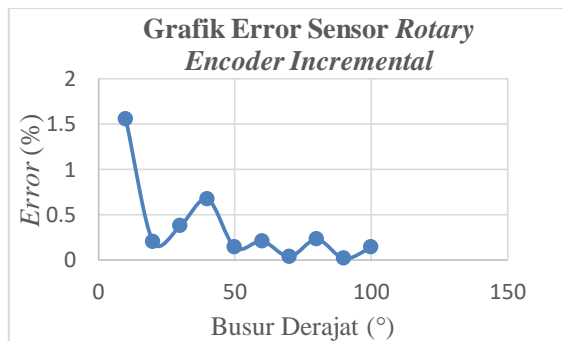
Dapat dilihat bahwa nilai dari data *counter* yang dibaca oleh Atmega 8535 dari sensor *rotary encoder incremental* menunjukkan bahwa satu putaran penuh menunjukkan 1024 bit. Sehingga nilai sudut yang semakin besar, maka data counter juga semakin banyak. Dan nilai data counter yang terbaca akan mempengaruhi pembacaan sudut pada sistem.



Gambar 10 Grafik Linearitas Sensor Rotary Encoder Incremental

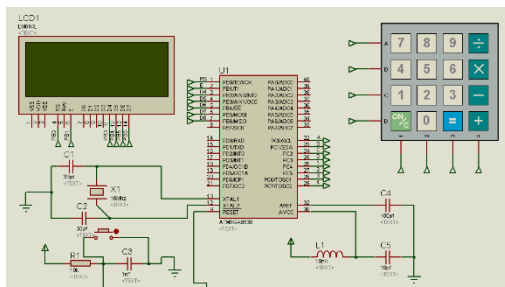
Pada gambar 10 dapat dilihat bahwa antara pembacaan data counter terhadap busur derajat cukup linear. Hal ini menunjukkan sensor rotary encoder incremental cukup baik untuk mendeteksi posisi sudut motor DC.

Dari hasil gambar 11 juga menunjukkan bahwa pembacaan sensor masih memiliki error rata-rata 0.15%, namun error masih terbilang kecil sehingga sensor rotary encoder incremental masih dapat digunakan sebagai sensor posisi sudut.



Gambar 11 Grafik Pengujian Error Sensor Rotary Encoder Incremental

4.1.2 Pengujian Rangkaian LCD 4x20 dan Keypad Pengujian ini digunakan untuk mengetahui LCD dan keypad bekerja dengan baik. Pengujian ini dilakukan dengan cara menampilkan tombol keypad yang ditekan dan ditampilkan di LCD 4x20. Berikut adalah rangkaian pengujiannya :



Gambar 12 Rangkaian Pengujian LCD 4x20 dan keypad

Dan berikut adalah hasil pengujian LCD 4x20 dan keypad :



Gambar 13 Hasil Pengujian LCD 4x20 dan keypad

4.1.3 Pengujian Driver Motor DC

Spesifikasi pengujian ini adalah tegangan supply 12V untuk mengaktifkan driver h-bridge dan motor DC dan 5V untuk men-download-kan program ke ATmega 8535 sehingga bisa menggerakkan motor DC.

Pengujian driver h-bridge ini bertujuan untuk mengetahui bahwa driver bisa digunakan sebagaimana mestinya dalam hal ini untuk mengatur posisi sudut motor DC.

Langkah untuk melakukan pengujian driver h-bridge dilakukan dengan cara men-download-kan program pada Atmega 8535 yang akan terlihat motor DC akan bergerak searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam.

Tabel 2 Hasil Pengujian Logika Motor

No.	Logika Keluaran		Arah Putaran Motor DC
	Pin	Pin	
1.	HIGH	LOW	Searah Jarum Jam.
2.	LOW	HIGH	Berlawanan Arah Jarum Jam.

Dari data yang diperoleh maka dapat dianalisa bahwa motor akan bergerak searah jarum jam pin PD4 berlogika high dan pin PD5 berlogika low dan begitu pula sebaliknya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa gerakan motor DC dapat diatur arahnya tergantung logika yang diberikan sehingga nantinya arah putaran akan diatur oleh drive h-bridge motor DC.

4.1.4 Pengujian Motor DC

Pengujian dilakukan dengan mengatur nilai PWM dari mikrocontroller untuk mengetahui hubungan antara nilai PWM dan kecepatan motor DC.

Tabel 3 Pengujian Motor

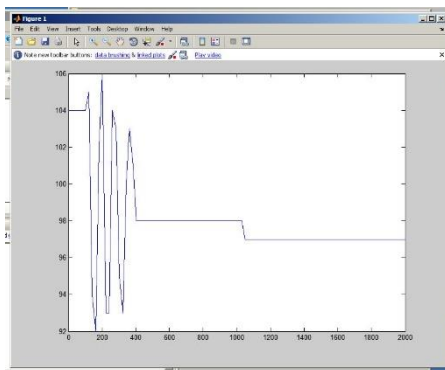
No.	Nilai PWM (Bit)	Kecepatan Motor (RPM)
1.	1000	0
2.	2000	3.4
3.	3000	7.5

4.	4000	10.2
5.	5000	17.6
6.	6000	21.8
7.	7000	25.9
8.	8000	29.1
9.	9000	33.2
10.	10.000	36.1

4.1.5 Pengujian Koneksi antara Mikrokontroler dan Matlab

Pengujian komunikasi serial USB menggunakan modul RS 232 ini dilakukan dengan tujuan untuk menguji apakah komunikasi antara mikrokontroler ATmega 8535 yang digunakan sebagai perangkat utama alat ukur IC dengan perangkat lain menggunakan komunikasi serial dapat berjalan dengan baik atau tidak, hal ini sangat penting karena akan sangat berpengaruh saat mikrokontroler ATmega 8535 digunakan untuk berkomunikasi dengan komputer menggunakan komunikasi dengan modul RS 232.

Mikrokontroler ATmega 8535 akan diprogram untuk berkomunikasi dengan *Software Matlab*. Berikut adalah hasilnya:

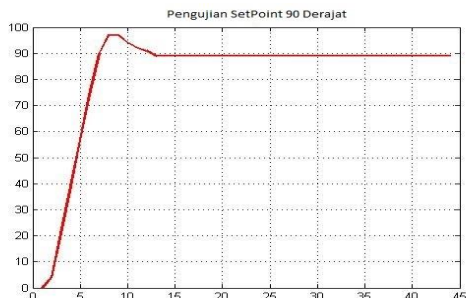


Gambar 14 Hasil Pengujian USB TTL dengan *Matlab* pada *SetPoint* Sudut 90°

Dari hasil gambar 14 dapat dilihat bahwa Atmega 8535 sudah terhubung dengan PC melalui USB TTL dan selain terhubung juga dapat mengirimkan data dari Atmega 8535.

4.2 Pengujian Tanpa Beban

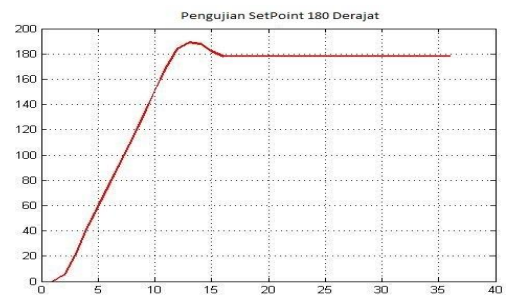
4.2.1 Pengujian *SetPoint* Sudut 90°



Gambar 15 Pengujian *SetPoint* 90°

Gambar 15 dapat dianalisa bahwa waktu untuk mencapai *setpoint* (T_r) sekitar 2.3 detik ($3s-0.7s$). Namun sistem tidak berhenti pada sudut 90° saja, sistem mengalami *overshoot* hingga pada sudut 98°(8.8%). Hal ini terjadi karena saat sistem mencapai *setpoint*, motor akan OFF. Pada saat motor OFF, jarum penunjuk masih bergerak karena ada sisa gaya yang timbul karena kecepatan yang dihasilkan motor sebelum OFF. Namun *overshoot* tersebut dapat diperbaiki oleh K_i (Parameter PID) hingga sistem mencapai *setpoint* meskipun mengalami *error steady state* (*ESS*) sebesar 0.7%. Ada faktor yang menyebabkan sistem mengalami *ESS*, yaitu karena saat *error* terlalu kecil, maka *output* PID untuk PWM motor juga kecil sehingga motor tidak bergerak karena nilai PWM terlalu kecil.

4.2.2 Pengujian *SetPoint* Sudut 180



Gambar 16 Pengujian *SetPoint* 180°

Gambar 16 dapat dianalisa bahwa waktu untuk mencapai *setpoint* (T_r) sekitar 12.3 detik ($13s-0.7s$). Namun sistem tidak berhenti pada sudut 180° saja, sistem mengalami *overshoot* hingga pada sudut 190°(5.5%). Hal ini terjadi karena saat sistem mencapai *setpoint*, motor akan OFF. Pada saat motor OFF, jarum penunjuk masih bergerak karena ada sisa gaya yang timbul karena kecepatan yang dihasilkan motor sebelum OFF. Namun *overshoot* tersebut dapat diperbaiki oleh K_i (Parameter PID) hingga sistem mencapai *setpoint* meskipun mengalami *error steady state* (*ESS*) sebesar 0.5%. Ada faktor yang menyebabkan sistem mengalami *ESS*, yaitu karena saat *error* terlalu kecil, maka *output* PID untuk PWM motor juga kecil sehingga motor tidak bergerak karena nilai PWM terlalu kecil.

4.2.3 Pengujian *SetPoint* Sudut 270°

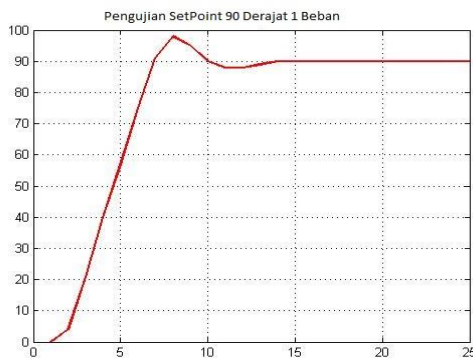


Gambar 17 Pengujian *SetPoint* 270°

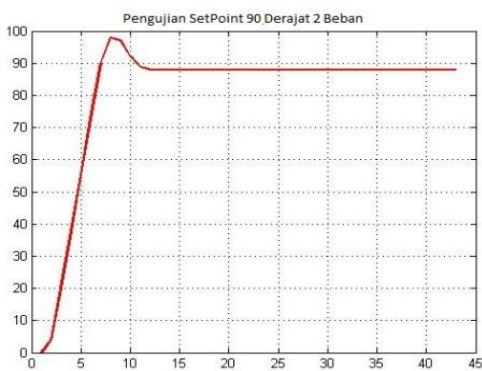
Gambar 17 dapat dianalisa bahwa waktu untuk mencapai *setpoint* (T_r) sekitar 15.3 detik ($16s-0.7s$). Namun sistem tidak berhenti pada sudut 270° saja, sistem mengalami *overshoot* hingga pada sudut 285° (5.5%). Hal ini terjadi karena saat sistem mencapai *setpoint*, motor akan OFF. Pada saat motor OFF, jarum penunjuk masih bergerak karena ada sisa gaya yang timbul karena kecepatan yang dihasilkan motor sebelum OFF. Namun *overshoot* tersebut dapat diperbaiki oleh K_i (Parameter PID) hingga sistem mencapai *setpoint* meskipun mengalami *error steady state* (*ESS*) sebesar 0.5%. Ada faktor yang menyebabkan sistem mengalami *ESS*, yaitu karena saat *error* terlalu kecil, maka *output* PID untuk PWM motor juga kecil sehingga motor tidak bergerak karena nilai PWM terlalu kecil.

4.3 Pengujian Dengan Beban

4.3.1 Set Point 90° 1 Beban



Gambar 18 Pengujian dengan 1 Beban (50 gram)



Gambar 19 Pengujian dengan 2 Beban (100 gram)



Gambar 20 Pengujian dengan 3 Beban (150 gram)

Pada pengujian diatas adalah pengujian sistem dengan beban yang berbeda pada *setpoint* yang sama yaitu 90° . Beban pada sistem ini diibaratkan dengan gangguan yang mengganggu sistem. Hal ini digunakan untuk membuktikan bahwa *tuning* PID yang direncanakan sebelumnya bekerja dengan baik meskipun ada gangguan. Dapat dilihat bahwa pada ketiga beban memberikan respon sistem yang berbeda-beda. Namun, sistem dapat mencapai *setpoint* sesuai yang diinginkan meskipun berat beban yang diberikan berbeda-beda.

Dapat dilihat pada respon sistem saat diberi beban yang berbeda, waktu pertama saat mencapai *setpoint* (T_r) dan *overshoot* pada ketiga percobaan adalah sama yaitu 6.3 detik ($7s-0.7s$). Perbedaan yang dapat dilihat adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai *steady state* (T_s). Sistem yang mempunyai nilai T_s yang tercepat adalah saat beban 100 gram namun *error steady state* 2.2% (lebih besar daripada yang lain). Sedangkan T_s yang paling lambat adalah saat beban 150 gram tetapi *error steady state* 0%. Namun *overshoot* yang dihasilkan relatif sama.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan :

1. Berdasarkan data respon sistem yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan metode kedua dari teori *Ziegler-Nichols*, maka parameter Kontroler PID dapat ditentukan pada motor DC mempunyai nilai $K_p=228$, $K_i=0.4$ dan $K_d=0.02$.
2. Hasil pengujian terhadap aplikasi kontroler PID pada sistem kontrol posisi sudut saat tanpa beban menghasilkan nilai *Time Rising* (T_r) yang berbeda. Semakin tinggi nilai *setpoint*, maka semakin tinggi juga nilai T_r . Namun timbul *overshoot* pada masing-masing *setpoint*. Hal ini terjadi karena saat sistem mencapai *setpoint*, motor akan OFF. Pada saat motor OFF, jarum penunjuk masih bergerak karena ada sisa gaya yang timbul karena kecepatan yang dihasilkan motor sebelum OFF.
3. Hasil pengujian terhadap aplikasi kontroler PID pada sistem kontrol posisi sudut saat diberi 3 beban yang berbeda, menghasilkan nilai (T_s), waktu yang diperlukan untuk mencapai *steady state*. Sistem yang mempunyai nilai T_s yang tercepat adalah saat beban 100 gram namun *error steady state* 2.2% (lebih besar daripada yang lain). Sedangkan T_s yang paling lambat adalah saat beban 150 gram tetapi *error steady state* 0%. Namun *overshoot* yang dihasilkan relatif sama.

5.2. Saran

Rancangan yang telah dibuat ini masih perlu adanya perbaikan agar dapat bekerja secara optimal. Ada beberapa hal yang direkomendasikan untuk pengembangan lebih lanjut diantaranya:

1. Pada skripsi ini dapat menggunakan metode kontrol lainnya selain PID.
2. Pada sensor *rotary encoder incremental* sebaiknya memakai 360 *tic*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alfahrizi, Rosyam. 2011. Implementasi Kontrol PID untuk Pergerakan Robot Lengan ROB2R pada Pemindahan Objek dengan Variasi Ketinggian. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya
- [2] Maulana, Fakhri. 2010. Desain Implementasi Kontroler PID pada lengan Robot dengan Tiga Derajat Kebebasan, Malang. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- [3] Ogata, Katsuhiko. 1997. Teknik Kontrol Automatik Jilid 1. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- [4] Ogata, Katsuhiko. 1997. Teknik Kontrol Automatik Jilid 2. Jakarta. Penerbit ErlanggaWibowo.