

# IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR DC DENGAN METODE PID BERBASIS MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535

Usmardi<sup>1</sup>, Zulfikar<sup>2</sup>, Akhyar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Email: usmardi.pnl@gmail.com<sup>1</sup>; zul\_elka@yahoo.com<sup>2</sup>; akhyar\_1966@yahoo.com<sup>3</sup>

**Abstrak** - Kontroler PID merupakan kontroler analog, dimana respon kontrolnya ditentukan oleh besarnya konstanta-konstanta dari kontroler tersebut, yaitu  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ . Secara konvensional kontroler ini dapat dibangun dari komponen-komponen elektronik seperti Operasional Amplifier (OP-Amp), resistor, dan kapasitor, besaran dari komponen-komponen ini dapat dihitung untuk mendapatkan nilai-nilai konstanta  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  sehingga diperoleh sebuah kontroler yang mempunyai respon yang diinginkan. Mengingat nilai konstanta-konstanta ini diperoleh dari komponen-komponen yang kita pasang, tentu saja hal ini sangat menyulitkan dan membutuhkan waktu yang relative lama untuk membangun sebuah controller PID. Dalam penelitian ini penulis membangun sebuah controller PID, dari Mikrokontroler ATmega8535, pemilihan mikrokontroler ini didasarkan pada pertimbangan bahwa mikrokontroler ini dapat diprogram dengan menggunakan bahasa C, dimana bahasa C dapat dengan mudah untuk menulis rumus matematis yang menyangkut dengan controller PID. Dengan mendownload program dalam IC ATmega8535, IC ini sudah menjadi sebuah controller PID yang diharapkan. Pada alat pengendali kecepatan motor DC ini menggunakan metode PID yang akan mengubah Modulasi Lebar Pulsa dari sistem PWM. Alat ini diimplementasikan untuk mengontrol kecepatan motor DC magnet permanent 12 Volt. Besarnya target rpm, konstanta-konstanta pengendalian, jenis metode aksi sistem pengendaliannya. Data masukan kecepatan dimasukkan melalui papan tombol (*keypad*) dan ditampilkan pada tampilan LCD. Setiap periode tertentu mendeteksi rpm motor DC yang akan dikendalikan, melalui rangkaian sensor putaran, rangkaian pembangkit dan rangkaian penguat sinyal PWM. Selanjutnya oleh Mikrokontroler dilakukan perhitungan sesuai dengan program yang dimasukkan. Sehingga diperoleh performa motor DC sesuai dengan yang diinginkan. Dengan memasukkan Nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  dengan coba-coba, respon kendali terbaik didapat pada nilai  $K_p = 0,2$ ,  $K_i = 0,3$ , dan  $K_d = 0,001$ .

**Kata Kunci:** *Kontroler PID, Mikrokontroler, Motor DC*

## I. PENDAHULUAN

Dengan adanya perkembangan teknologi komponen mikrokontroler maka bermacam-macam mikrokontroler telah beredar bebas di pasaran saat ini. Mulai dari harganya, batas kemampuan maupun jenis memori dan fasilitas-fasilitas lainnya yang disediakan oleh pabrik pembuatnya, membuat mikrokontroler dapat dengan mudah diaplikasikan sesuai dengan yang diinginkan. Penerapan mikrokontroler dalam proses kendali atau kontrol otomatis telah semakin banyak memberikan keuntungan di segala bidang. Baik dari segi efektifitas, efisiensi, dan akurasi, maupun dari segi kehandalan, ketepatan, dan kecepatan proses produksi dapat semakin meningkat. Mikrokontroler ATmega dengan Internal EPROM dan RAM sebagai komponen pokoknya ditambah dengan beberapa komponen pendukung dapat digunakan sebagai alat pengendali. Keuntungan yang dapat diperoleh antara lain adalah *reprogrammable*. Dengan sedikit memberikan atau mengubah program yang berbeda maka fungsi alat juga akan berubah, sehingga lebih fleksibel untuk melakukan pengendalian dengan *plant sistem* yang berbeda pula.

Dalam penelitian ini penulis ingin membangun sebuah kontroler PID, dari Mikrokontroler

ATmega8535, yang dapat dijadikan modul-modul praktikum yang multi fungsi[1][2][3]. Pemilihan mikrokontroler ini didasarkan pada pertimbangan bahwa mikrokontroler ini dapat diprogram dengan menggunakan bahasa C, dimana bahasa C dapat dengan mudah menulis rumus matematis yang menyangkut dengan controller PID. Dengan mendownload program dalam IC ATmega8535 ini, dia sudah menjadi sebuah kontroler PID yang diharapkan.

Motor arus searah merupakan salah satu penggerak utama yang banyak digunakan di industri masakini. Dengan perkembangan magnet lapisan bumi dimungkinkan untuk mendapatkan motor DC magnet permanen torsi ke volume yang sangat tinggi dengan biaya terjangkau. Lebih dari itu, kemajuan-kemajuan yang dibuat pada teknologi sikat dan komutator telah membuat sikat dan komutator dapat digunakan dengan bebas perawatan. Teknik manufaktur yang semakin maju juga telah menghasilkan motor dc dengan rotor tanpa besi yang mempunyai inersia yang sangat kecil, sehingga mencapai suatu rasio torsi-inersia yang sangat tinggi, dan sifat konstanta waktu yang kecil telah membuka aplikasi baru untuk motor dc pada perlengkapan komputer seperti penggerak pita, printer,

diskdrive, dan pengolah kata, seperti pada industri otomasi dan perkakas mesin.

Dalam suatu aplikasi tertentu kecepatan putaran motor dc kadangkala harus diatur. Pengaturan kecepatan putaran pada motor ini dapat dilakukan dengan mengatur besar dan kecil tegangan jangkar. Untuk mendapatkan suatu respon kendali yang baik dalam salah satu sistem perlu diterapkan suatu metode pengendali, diantaranya adalah sistem pengendalian PID[4][5][6].

Pada alat pengendali kecepatan motor DC ini menggunakan metode PID (Proposional, Integral dan Diferensial) yang akan mengubah Modulasi Lebar Pulsa dari sistem PWM. Alat ini diimplementasikan untuk motor DC magnet permanent 12 Volt. Besarnya target rpm, konstanta-konstanta pengendalian, jenis metode aksi sistem pengendaliannya (sistem loop tertutup). Data masukan kecepatan dimasukkan melalui papan tombol (keypads) dan ditampilkan pada tampilan LCD (liquid kristal display). Setiap periode tertentu mendeteksi rpm motor DC yang akan dikendalikan, melalui rangkaian sensor putaran, rangkaian pembangkit dan rangkaian penguat sinyal PWM. Selanjutnya oleh mikrokontroler dilakukan perhitungan sesuai dengan program yang dimasukkan. Sehingga diperoleh performa motor DC sesuai dengan yang diinginkan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kontroller PID

Pada umumnya suatu sistem kendali lingkaran tertutup terdiri atas unit pengendali (controller), actuator dan sensor umpan balik. Pada penelitian ini pengendalian yang dilakukan adalah pengendalian kecepatan motor DC dengan metode PID dan sistem PWM. Metode PID memperhitungkan besarnya galat, perubahan galat serta akumulasi galat sebagai masukan bagi kontroller untuk menentukan aksi kendali yang diperlukan. Sedangkan masukan bagi sistem kendali lingkaran tertutup adalah setpoint kecepatan [7].

Kendali proposional memberikan keluaran yang besarnya sebanding dengan galat. Pada sistem kendali, kendali proposional ini berfungsi untuk memperkecil galat keadaan tunak dan mempercepat respon transien. Namun pengendali proposional memiliki kelemahan karena tidak dapat menghilangkan galat keadaan tunak. Bila konstanta pengendali diset terlalu besar maka aksi kendali akan naik terlalu cepat, menyebabkan overshoot pada sistem.

Kendali integral berfungsi untuk menghilangkan galat keadaan tunak. Kendali integral mengambil akumulasi galat sebagai parameter untuk menghasilkan aksi kendali. Nilai aksi kendali dari kendali integral akan tetap ketika galat sudah berharga nol, sehingga menjaga keluaran sistem agar sesuai dengan setpoint yang diinginkan. Walaupun dapat menghilangkan galat keadaan tunak, kendali integral memperlambat respon transient dan menyebabkan sistem cenderung berosilasi[7].

Kendali derivatif memberikan aksi kendali berdasarkan kecepatan perubahan galat. Secara garis besar kendali derivatif meredam akselerasi keluaran sistem kendali pada saat keluaran sistem kendali tersebut sudah mendekati setpoint. Dengan demikian kendali derivatif dapat menghilangkan overshoot pada sistem dan membuat sistem lebih peka terhadap perubahan output.

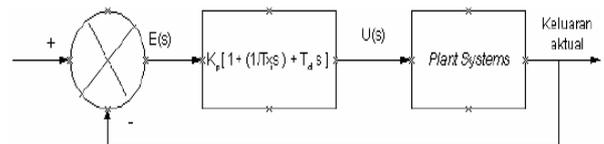
Ketiga komponen pengendali ini memberikan kontribusi bagi performa sistem secara keseluruhan. Aksi kendali yang dihasilkan adalah gabungan dari aksi kendali masing-masing komponen pengendali di atas. Untuk mendapatkan sistem kendali yang dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan, harus ditentukan konstanta pengendali yang sesuai untuk masing-masing komponen proposional, integral dan derivatif.

Dalam mencari konstanta pengendali dapat digunakan dua buah pendekatan, yaitu pendekatan secara analitis dan pendekatan secara eksperimental. Untuk mencari konstanta pengendali secara analitis diperlukan adanya model yang akurat dari plant yang dikendalikan. Dalam penelitian ini akan digunakan pencarian konstanta pengendali secara eksperimental (trial and error).

Bentuk respon pengendali dari gabungan ketiga kontroller ini dapat dirumuskan secara matematis seperti pada Persamaan (1) [7].

$$U(t)=K_p (t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t)dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \dots \dots \dots (1)$$

Sebuah sistem loop tertutup dari sebuah pengendali PID seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gbr. 1 Sistem Kontrol PID dengan Loop Tertutup

Dengan fungsi alih seperti pada Persamaan (2):

$$D(S)=\frac{U(s)}{E(s)}=K_p+\frac{K_i T}{S}+K_d S \dots \dots \dots (2)$$

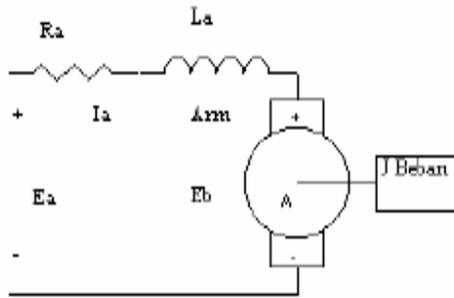
Untuk keperluan implementasi, fungsi alih PID di atas harus diubah ke dalam bentuk yang menyatakan keluaran pengendali sebagai fungsi eksplisit dari masukan pengendali, sehingga dituliskan menjadi dalam bentuk transformasi balik Z seperti pada persamaan 3 berikut ini.

$$U(k)=U(k-1)+K_p[e(k)-e((k-1))] + \frac{K_i T}{2} [e(k)+e((k-1))] + \frac{K_d}{T} [e(k)-2e(k-1)+e(k-2)] \dots \dots \dots (3)$$

dimana Kp adalah kepekaan atau penguatan proposional, Ki adalah konstanta integral, Kd adalah Konstanta diferensial, dan T adalah perioda sampling atau pencuplikan.

B. Pengendali Kecepatan Putaran Motor DC Magnet Permanen

Motor DC magnet permanen di tunjukkan seperti pada Gambar 2.



Gbr. 2 Sistem Motor DC Magnet Permanen [7]

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa dengan mengabaikan induktansi dari inductor  $L_A$ , maka persamaan  $E_a$  dapat ditulis:

$$e_a = i_a r_a + e \dots\dots\dots (4)$$

Untuk keadaan *steady state* dinyatakan sebagai berikut:

$$E_a = I_a R_a + E_b \dots\dots\dots (5)$$

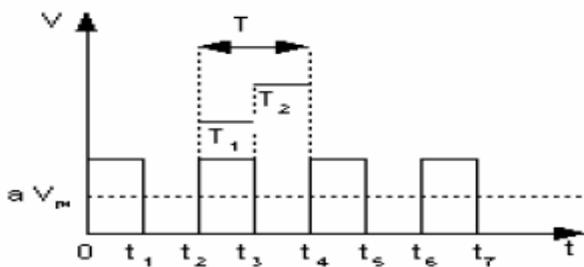
Berdasarkan sistem dasar motor DC magnet permanen di atas, dapat dituliskan persamaan sebagai berikut:

$$E_b = C n \Phi \dots\dots\dots (6)$$

Yang mana C adalah konstanta, n adalah kecepatan putaran (*rpm*) dan  $\Phi$  adalah fluks magnet.

C. Modulasi Lebar Pulsa (*Pulse With Modulation*)

Sistem pengendalian kecepatan putaran motor DC dengan magnet permanen ini menggunakan pengendalian modulasi lebar pulsa (*Pulse Width Modulation*). Hal ini dilakukan untuk mengubah tegangan masukan  $E_a$ , dengan mengingat fluks magnetnya tetap. Gambar 3 di bawah ini memperlihatkan sinyal yang dibangkitkan oleh PWM yang ada pada mikrokontroller, dimana lebar pulsanya dapat di atur dengan perangkat lunaknya [7].



Gbr. 3 Tegangan Pulsa PWM yang dibangkitkan[7]

Apabila tegangan searah dipenggal secara teratur seperti pada Gambar 3 di atas, yaitu pada waktu  $t_1$  dimatikan,  $t_2$  dihidupkan lagi,  $t_3$  dimatikan dan seterusnya, maka ada tegangan searah yang secara teratur terputus-putus, dimana besarnya tergantung pada  $T_1$  dan  $T_2$ , yaitu:

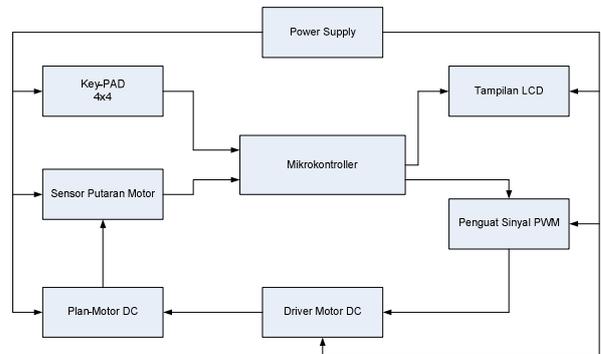
$$V = a V_m \dots\dots\dots (7)$$

dimana:

$$a = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = \frac{T_1}{T} \dots\dots\dots (8)$$

D. Blok Diagram Sistem

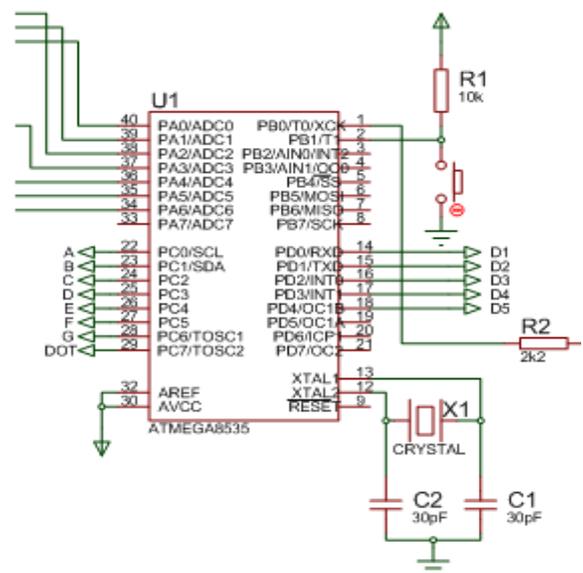
Perancangan perangkat keras untuk sistem pengendali motor DC seperti pada Gambar 4.



Gbr. 4 Blok Diagram Sistem Pengendali Motor DC

E. Mikrokontroler ATmega8535

Rangkaian mikrokontroler ATmega8535 adalah sebuah rangkaian kontrol yang memiliki unit antar muka masukan/keluaran yang menghubungkan sistem mikrokontroler ke piranti eksternal. Piranti itu adalah I/O yang bersifat dua arah, artinya menyediakan sambungan ke dan dari sistem mikroprosesor dengan piranti-piranti lain. Mikrokontroler ATmega8535 merupakan piranti pengendali utama. Untuk membuat sistem ini bekerja dibutuhkan beberapa komponen tambahan dalam sebuah rangkaian mikrokontroler yang ditunjukkan dalam Gambar 5[1][2][3].



Gbr. 5 Rangkaian Sistem Mikrokontroler

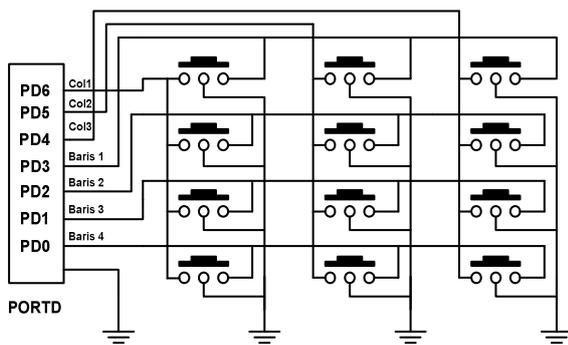
Dalam sistem mikrokontroller ini direncanakan penggunaan port-port yang tersedia, seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel I  
Tabel Perencanaan Port pada Mikrokontroller ATmega8535

Port A	Menulis	Keypad
Port B.0 B.1	Input Keluaran	Sensor Putaran motor Sinyal PWM
Port C	Keluaran	Tampilan LCD

F. Rangkaian Keypad

Fungsi Keypad yang terdapat pada Gambar 4 blok diagram sistem pengendalian kecepatan motor DC ini adalah untuk memasukkan data kecepatan motor DC yang diinginkan, dan untuk memasukkan besaran konstanta kontrol P, I dan D. Rangkaian keypad yang dimaksud seperti pada Gambar 6.



Gbr. 6 Rangkaian Key-Pad 3x4

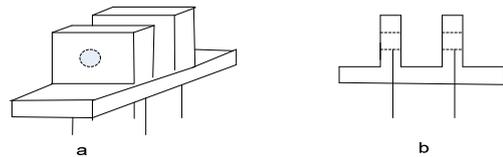
Rangkaian keypad disusun secara matrik sebanyak 3x4 dengan sistem scanning yang dilengkapi dengan penahan data [2][3].

G. Tampilan LCD

Untuk menampilkan data kecepatan motor yang sedang bekerja pada sistem pengendali kecepatan motor DC ini, dilakukan dengan menggunakan LCDM1632. LCD Display Modul M1632 buatan Seiko Instrument Inc. terdiri dari dua bagian, yang pertama merupakan panel LCD sebagai media penampil informasi dalam bentuk huruf/angka dua baris, masing-masing baris bisa menampung 16 huruf/angka. Bagian kedua merupakan sebuah sistem yang dibentuk dengan mikrokontroller yang ditempelkan dibelakang panel LCD, berfungsi mengatur tampilan informasi serta berfungsi mengatur komunikasi LCDM1632 dengan mikrokontroller yang memakai tampilan LCD itu. Dengan demikian, pemakaian LCD M1632 menjadi sederhana, sistem lain yang cukup mengirimkan kode-kode ASCII dari informasi yang ditampilkan seperti layaknya memakai sebuah printer.

H. Sensor Kecepatan Motor

Untuk sensor kecepatan motor DC ini digunakan Photo Interrupter dan piring berlubang yang dihubungkan seporos dengan motor DC. Photo Interrupter adalah suatu piranti elektronika disusun dalam seruang, dan berfungsi mendeteksi posisi atau sisi/tepi suatu benda, yang dalam hal ini memantulkan sumber cahaya atau menghalanginya dari detektor. Gambar bentuk fisik dari sensor Photo Interrupter, ditunjukkan pada Gambar 7[4][5][6].



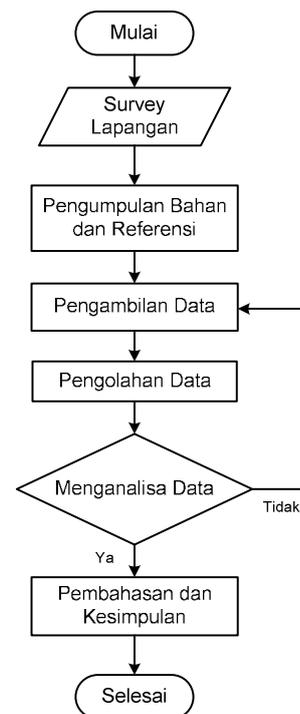
Gbr. 7 Bentuk Fisik Sensor Photo Interrupter

I. Pembangkitan Sinyal PWM

Pembangkitan sinyal PWM pada dasarnya terdiri atas sebuah PIT (Programmable Interval Timer) yang dapat diprogram untuk mengeset detak pencacah (counter) dan pewaktu (timer) untuk membangkitkan sinyal dan besarnya periode PWM. Sedangkan pada rangkaian penguat sinyal PWM, menggunakan transistor NPN D313 yang dipasang secara Darlington agar mampu mengalikan I<sub>C</sub> sampai 4 A, dengan tegangan V<sub>CE</sub> dan V<sub>CB</sub> maksimal 50 Volt [1][2].

III. METODELOGI PENELITIAN

Diagram alir langkah-langkah penelitian seperti diperlihatkan pada Gambar 8.



Gbr. 8 Proses penelitian Penelitian

Langkah-langkah penelitian di atas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. melakukan survey awal yaitu untuk memastikan semua bahan yang dibutuhkan bisa didapatkan,
2. mengumpulkan data dan referensi yang diperlukan untuk melakukan perencanaan dan perancangan awal, dan dapat menentukan masalah yang ada, serta merumuskan masalah yang muncul dan menetapkan tujuan penelitian,
3. pembuatan dan pengujian alat untuk menentukan bahwa alat yang dibuat sudah bekerja dengan baik, dan
4. melakukan pengukuran untuk mendapatkan nilai-nilai yang benar.

**IV. HASIL DAN ANALISA**

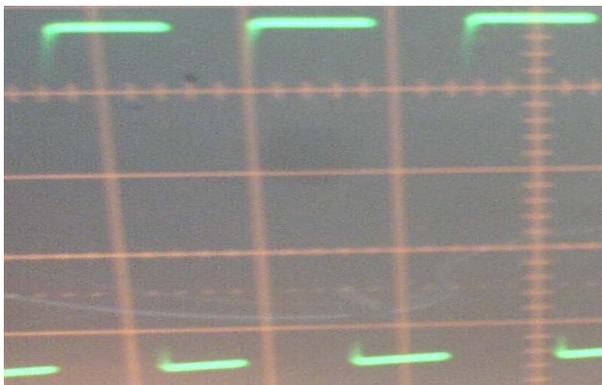
**A. Kecepatan Motor terhadap Perubahan Tegangan Jangkar**

Kecepatan Motor DC terhadap perubahan tegangan jangkar diukur dengan menggunakan sensor *optocpler* dan piring berlobang yang disatukan satu poros dengan rotor motor. Jumlah lobang piringan yang dibentuk adalah 32 buah. Dengan memberikan tegangan DC yang dapat diatur pada jangkar motor dan mengamati pulsa gelombang kotak pada oscilloscope, maka didapat kecepatan dengan perhitungan adalah putaran ( $Rpm = \text{frek. (Hz)} \times 60/32$ ), dan hasilnya ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel II  
Data Pengukuran Kecepatan Motor

Tegangan Jangkar (Volt)	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Motor DC ( Rpm)
3	833	1562
5	1250	2343
7	1562	2929
10	2083	3906
12	2500	4687

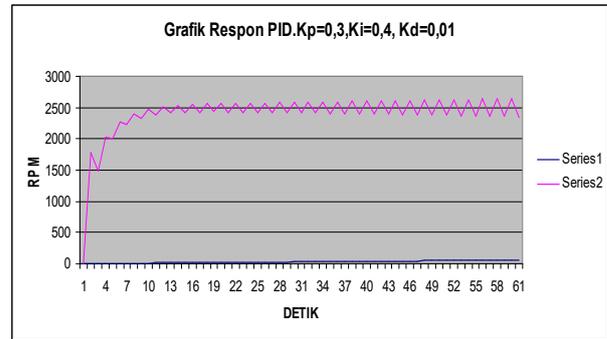
Adapun sinyal sensor yang tampil pada saat pengukuran dilakukan seperti diperlihatkan pada Gambar 9.



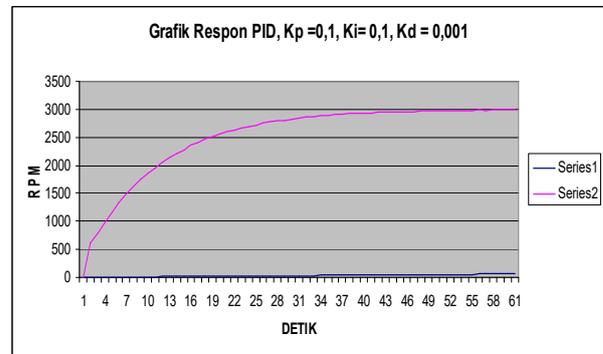
Gbr. 9 Hasil Pengujian Sensor Kecepatan Motor DC

**B. Respon Kendali PID dengan Nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang berbeda**

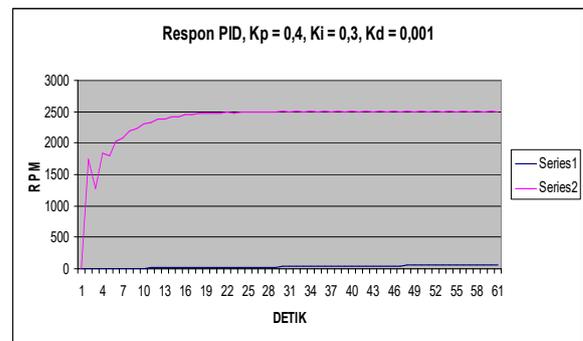
Hasil respon kendali PID dengan Nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  seperti diperlihatkan pada Gambar 10-14.



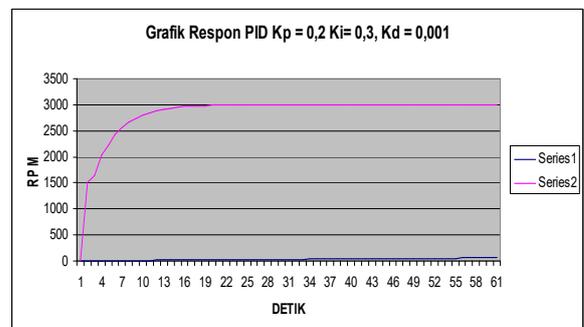
Gbr. 10 Grafik PID dengan Nilai  $K_p=0,3$ ,  $K_i=0,4$ ,  $K_d=0,01$



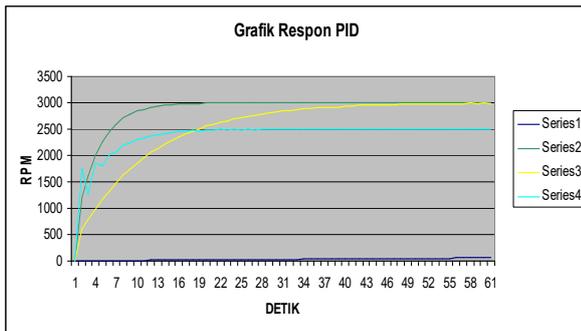
Gbr. 11 Grafik Respon dengan Nilai  $K_p = 0,1$ ,  $K_i = 0,1$ ,  $K_d = 0,001$



Gbr. 12 Grafik Respon PID untuk  $K_p = 0,4$ ,  $K_i = 0,3$ ,  $K_d = 0,001$



Gbr. 13 Grafik Respon PID untuk  $K_p = 0,2$ ,  $K_i = 0,3$ ,  $K_d = 0,001$



Gbr. 14 Grafik Respon PID yang disatukan dari Gambar 10-13

Dari hasil pada Gambar 14, dapat dilihat bahwa respon PID terbaik berdasarkan pengaturan nilai konstanta  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ .

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas dapat diambil kesimpulan:

1. Kontroller PID yang dibangun dari IC Mikrokontroler ATmega8535, dapat digunakan dengan mudah dalam hal mengatur kecepatan motor DC, karena nilai-nilai konstanta  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ , dapat ditentukan dengan menggunakan keypad.
2. Dengan memasukkan Nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  dengan coba-coba, respon kendali terbaik didapat pada nilai  $K_p = 0,2$ ,  $K_i = 0,3$ , dan  $K_d = 0,001$ .

#### REFERENSI

- [1] Budiharto, W. 2005. **Perancangan Sistem dan Aplikasi Mikrokontroler**. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- [2] Budiharto, W. 2008. **Panduan Praktikum Mikrokontroler AVR ATmega16**. PT Elex Media Komputindo, Jakarta
- [3] Syamsul, S., Batubara, H., & Suherman, S. (2017). **Perancangan dan Pembuatan Modul Praktikum Berbasis Mikrokontroler untuk meningkatkan Fungsi Laboratorium Sekolah Menengah Tingkat Atas (SMTA)**. *Jurnal Litek: Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, 13(2). pp.69-72.
- [4] Albert, P. M. 2003. **Prinsip-prinsip Elektronika**. Jakarta, Salemba Teknika.
- [5] Petruzella. Frank D, 2009, **Elektronik Industri**, Andi, Yogyakarta.
- [6] Woollard, Barry. 2003. **Elektronika Praktis**. Alih Bahasa : H. Kristino, Jakarta, Pradya Paramita.
- [7] Benjamin C. Kuo. 2005. **Automatic Control Sistem**, Printice Hall, New Jersey.