

PERANCANGAN KENDALI KESEIMBANGAN POSISI BOLA MENGGUNAKAN METODE KENDALI PID

¹Joko Slamet Saputro, ²Ulinnuha Latifa

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

¹js.saputro@ft.unsika.ac.id, ²ulinnuha.latifa@ft.unsika.ac.id

INFO ARTIKEL

Diterima : 07 Agustus 2018

Direvisi : 07 Agustus 2018

Disetujui : 08 Agustus 2018

Kata Kunci :

PID, Mikrokontroler, Ultrasonik, Keseimbangan bola

ABSTRAK

Penelitian ini membahas perancangan metode kendali PID (*Proportional Integral Derivative*) pada suatu sistem sederhana yang bertujuan untuk menyeimbangkan posisi sebuah bola. Metode kendali PID ditanamkan pada Arduino UNO R3 yang digunakan sebagai pengendali motor servo untuk menggerakkan papan dudukan bola. Sementara, untuk mengetahui jarak posisi bola menggunakan sensor ultrasonik.

I. PENDAHULUAN

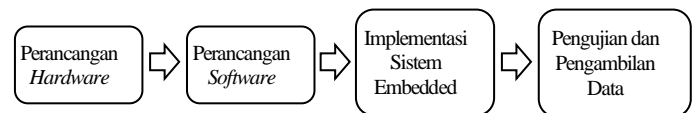
Keseimbangan menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) merupakan keadaan setimbang, sedangkan dalam konteks fisis merupakan keadaan yang terjadi apabila semua gaya dan kecenderungan yang ada tepat diimbangi atau dinetralkan oleh gaya dan kecenderungan yang sama, tetapi berlawanan [1]. Bola adalah benda bulat yang mudah menggelinding jika berada pada permukaan yang tidak rata atau sedikit miring. Menyeimbangkan sebuah bola pada papan datar merupakan sebuah tantangan, apalagi bola yang digunakan memiliki massa yang relatif ringan.

Untuk dapat menyeimbangkan bola, maka papan datar yang akan dijadikan sebagai dudukan bola tersebut harus dapat digerakkan untuk mengatur tingkat kemiringan papan. Pemecahan masalah ini menggunakan pendekatan yang ada pada sistem Pendulum Terbalik (*inverted pendulum*). Adopsi dari sistem tersebut yakni sebuah bola yang diasumsikan layaknya tongkat yang harus dijaga posisinya agar selalu berdiri tegak, sehingga bola tersebut harus selalu berada di tengah-tengah dari papan datar. Adapun papan datar akan diatur gerakannya agar dapat membuat posisi bola berada di tengah papan. Pengaturan pergerakan papan akan mengacu pada jarak bola terhadap titik tengah papan. Papan akan digerakkan oleh motor servo yang diatur menggunakan metode kendali PID.

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai perancangan Kendali Keseimbangan Posisi Bola dengan sistematika Pendahuluan, Metode Penelitian yang terdiri dari perancangan *hardware* dan *software*, Hasil dan Pembahasan, serta yang terakhir Kesimpulan.

II. METODE PENELITIAN

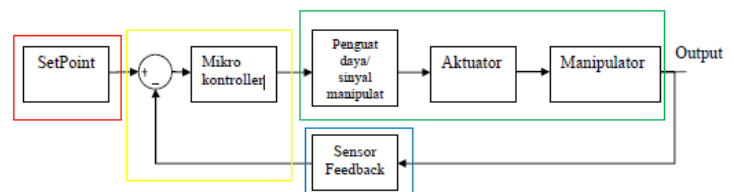
Pada penelitian ini perancangan dilakukan dengan menggunakan tahapan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Alur perancangan alat

A. Perancangan *Hardware*

Sistem yang dibuat merupakan sebuah kendali posisi bola pingpong dengan motor servo. Ketika *set point* ditetapkan maka motor servo akan membuat bola bergerak ke nilai *set point* yang diinginkan dengan *feedback* yang diperoleh melalui sensor ultrasonik. Motor servo digunakan sebagai aktuator yang akan mempertahankan keadaan bola sehingga dapat mencapai nilai *set point* yang diinginkan. Diharapkan ketika *plant* mendapatkan gangguan, bola akan mempertahankan posisi *set point*. Berikut merupakan blok diagram dari sistem ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2 Diagram blok sistem

1. Arduino UNO R3

Arduino UNO R3 adalah papan pengembangan (*development board*) mikrokontroler yang berbasis chip ATmega328P. Disebut sebagai papan pengembangan karena *board* ini memang berfungsi sebagai arena *prototyping* sirkuit mikrokontroler. Arduino UNO memiliki 14 digital pin input / output (atau biasa ditulis I/O, dimana 6 pin diantaranya dapat

PERANCANGAN KENDALI KESEIMBANGAN POSISI BOLA MENGGUNAKAN METODE KENDALI PID

digunakan sebagai output PWM), 6 pin input analog, menggunakan *crystal* 16 MHz, koneksi USB, *jack* listrik, *header* ICSP dan tombol reset. Hal tersebut adalah semua yang diperlukan untuk mendukung sebuah rangkaian mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer dengan kabel USB atau diberi *power* dengan adaptor AC-DC atau baterai maka Arduino sudah dapat beroperasi dengan baik [2].



Gambar 3 Arduino UNO R3

Adapun data teknis yang terdapat board Arduino UNO adalah sebagai berikut [2].

- 1) Mikrokontroler: ATmega328
- 2) Tegangan operasi : 5V
- 3) Tegangan input (*recommended*) : 7 - 12V
- 4) Tegangan input (limit) : 6-20 V
- 5) Pin digital I/O : 14 (6 diantaranya pin PWM)
- 6) Pin analog input : 6 input pin
- 7) Arus DC per pin I/O : 40 mA
- 8) Arus DC untuk pin 3.3 V : 150 mA
- 9) *Flash memory* : 32 KB dengan 0,5 KB digunakan sebagai *bootloader*
- 10) SRAM : 2 KB
- 11) EEPROM : 1 KB
- 12) Kecepatan besaran waktu sebesar 16 Mhz

2. Motor Servo

Motor servo adalah sebuah motor DC yang dilengkapi rangkaian kendali dengan sistem *closed feedback* yang terintegrasi dalam motor tersebut. Pada motor servo posisi putaran sumbu (*axis*) dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo [3].



Gambar 4 Motor servo

Motor servo disusun dari sebuah motor DC, *gearbox*, variabel resistor (VR) atau potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas maksimum putaran sumbu (*axis*) motor servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang pada pin kontrol motor servo [3].

Motor servo adalah motor yang mampu bekerja dua arah (CW dan CCW) dimana arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan dengan memberikan variasi lebar pulsa (*duty cycle*) sinyal PWM pada bagian pin kontrolnya [3].

3. Sensor Ultrasonik HC-SR04

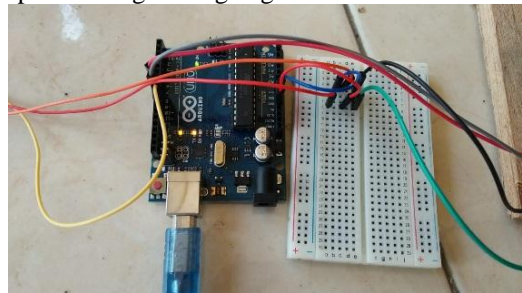
Sensor HC-SR04 adalah sensor pengukur jarak berbasis gelombang ultrasonik. Prinsip kerja sensor ini menyerupai radar ultrasonik. Gelombang ultrasonik dipancarkan dan diterima balik oleh *receiver* ultrasonik. Jarak antara waktu pancar dan waktu terima adalah representasi dari jarak objek [4]. Sensor ini cocok untuk aplikasi elektronik yang memerlukan deteksi jarak termasuk untuk sensor posisi bola pingpong yang diangkat kipas.



Gambar 5 Sensor ultrasonik HC SR04

Spesifikasi sensor ultrasonik [4] :

- 1) Jangkauan deteksi : 2 cm sampai kisaran 400 / 500 cm
- 2) Sudut deteksi terbaik adalah 15 derajat
- 3) Tegangan kerja 5V DC
- 4) Resolusi 1cm
- 5) Frekuensi ultrasonik 40 kHz
- 6) Dapat dihubungkan langsung ke kaki mikrokontroler



(a)



(b)

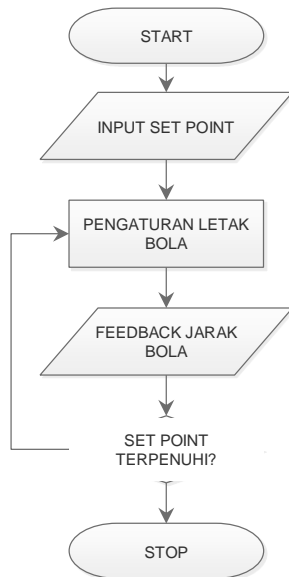
Gambar 6 (a) Konfigurasi *hardware* dengan Arduino, (b) desain *hardware* keseimbangan posisi bola

PERANCANGAN KENDALI KESEIMBANGAN POSISI BOLA MENGUNAKAN METODE KENDALI PID

Perancangan alat keseimbangan posisi bola berupa integrasi beberapa *hardware* yang telah dijabarkan di atas. Sensor ultrasonik, motor servo dan Arduino dirangkai sedemikian rupa, dimana koneksi ketiganya menggunakan papan *protoboard* Gambar 6 (a) sehingga menjadi sebuah sistem utuh yang terlihat pada Gambar 6(b). Adapun, penggaris berfungsi sebagai verifikator terhadap jarak baca oleh sensor ultrasonik. Dimana pada alat ini bola akan berada dititik seimbang atau berada ditengah dengan jarak 15 cm dari sensor.

B. Perancangan Software

Perangkat lunak (*software*) yang digunakan dalam perancangan sistem ini adalah Arduino IDE dengan menggunakan Bahasa Pemrograman C. Sementara metode kendali yang digunakan adalah metode kendali PID dengan aturan Ziegler Nichols.



Gambar 7 Diagram alir sistem kerja *software*

1. PID (*Proportional Integral Derivative*)

Algoritma PID adalah kontroler umpan baik yang paling populer digunakan dalam proses industri yang telah berhasil digunakan selama lebih dari 50 tahun. Seperti namanya, algoritma PID terdiri dari tiga parameter yaitu parameter proposional, integral dan derivatif yang dapat dipakai bersamaan maupun masing-masing [5]. Kontroler ini dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut.

$$(t) = K_p \cdot e(t) + K_p T_i \int e(t) dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Dimana K_p adalah konstanta proposional, T_i menyatakan waktu integral dan menyatakan waktu derivatif. Persamaan (1) adalah persamaan dalam domain waktu. Untuk memudahkan penulisan dalam program, maka persamaan (1) dikonversikan ke dalam bentuk diskrit, dengan menggunakan *finite* diferensial orde pertama yang direpresentasikan dalam persamaan berikut [7].

$$\frac{df}{dx} = (f_k - f_{k-1}) \Delta t$$

$$\int (t) dt = \sum e_k \Delta t = 0. \Delta t \quad (2)$$

Sehingga persamaan (1) menjadi,

$$u_n = K [T_d (e_n - e_{n-1}) \Delta t + e_n + 1 T_i \sum e_k \Delta t = 0. \Delta t]$$

Dimana,

$$K_i = K_p T_s T_i \text{ dan } K_d = K_p T_d T_s \text{ dengan } \Delta t = T_s \text{ apabila,}$$

$$S_n = S_{n-1} + e_n$$

Maka persamaan controller PID dalam bentuk diskrit adalah sebagai berikut,

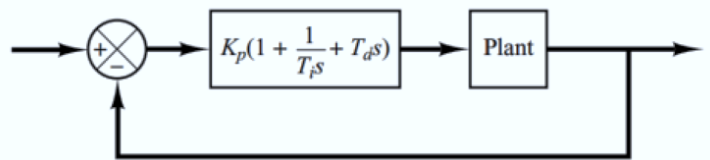
$$u_n = K_p \cdot e_n + K_i \cdot S_n + K_d \cdot (e_n - e_{n-1})$$

Dimana :

- S_n = jumlah error,
- S_{n-1} = jumlah error sebelumnya,
- e_n = error sekarang,
- e_{n-1} = error sebelumnya,
- u_n = output sekarang.

2. Aturan Ziegler Nichols

Kontrol PID memiliki konstanta K_p , K_i dan K_d yang dapat dicari dengan menggunakan aturan Ziegler-Nichols. Pada tahun 1942, Ziegler-Nichols mendeskripsikan dua metode matematika sederhana yang masing-masing digunakan untuk *tuning* kontrol PID. Kedua metode tersebut pada saat ini diterima sebagai standar dalam praktek sistem kontrol. Metode ini dilakukan dengan dengan metode eksperimen dengan asumsi bahwa model dari *plant* belum diketahui [6], [7]. Berikut adalah konfigurasi kontrol PID pada suatu model *plant*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



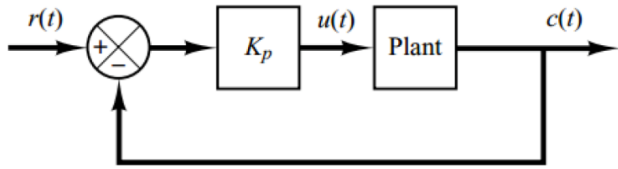
Gambar 8 Kontrol PID model *plant*

Pada pemodelan dalam mendapatkan parameter kendali, terdapat beberapa metoda yang dapat digunakan contohnya seperti Ziegler-Nichols Tipe 1, Ziegler-Nichols Tipe 2, dan yang lainnya. Biasanya kendali posisi menggunakan metoda ini. Pada metode Ziegler-Nichols Tipe 2, untuk mendapatkan parameter kendali, sistem dibuat *close-loop* dan respon dibuat menjadi beresilasi yang berpola. Nilai K_p diatur agar respon dapat beresilasi dan nilai T_i dan T_d dinolkan. Respon dibuat beresilasi untuk mendapatkan nilai K_{cr} dan P_{cr} [6].

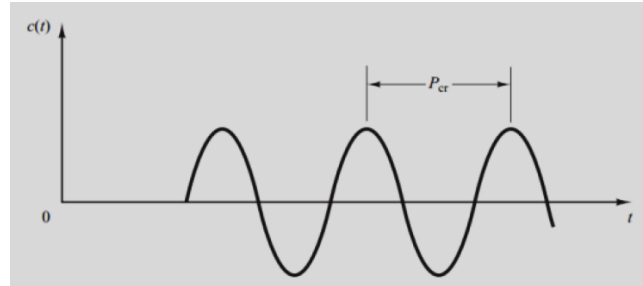
3. Tipe Kedua Ziegler Nichols

Pada metode kedua, dengan mengatur nilai $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$ serta hanya menggunakan kontrol P seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 [7]. Metode kedua ini dapat diterapkan dengan cara meningkatkan nilai K_p dari 0 sampai mendapatkan nilai K_{cr} dengan sistem yang beresilasi secara berkesinambungan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 [7].

PERANCANGAN KENDALI KESEIMBANGAN POSISI BOLA MENGUNAKAN METODE KENDALI PID



Gambar 9 Close loop system dengan kontrol P



Gambar 10 Respon osilasi sistem berkesinambungan

Adapun urutan dari metode kedua ini [6], [8] yaitu :

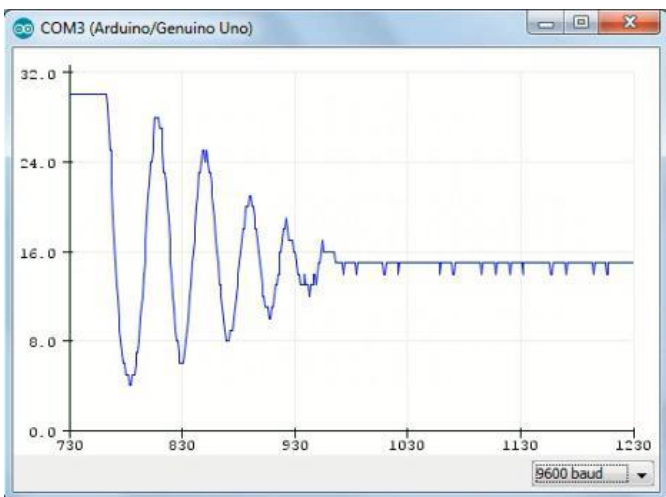
- 1) Menambahkan nilai K_p sehingga mendapatkan keluaran respon sistem yang beresilasi secara teratur.
- 2) Nilai K_p tersebut disebut *critical value* (K_{cr}) dan periodenya disebut *corresponding period* (P_{cr}).
- 3) Nilai parameter K_p , T_i dan T_d sesuai dengan metode Ziegler-Nichols II didapatkan berdasarkan Tabel I.

TABEL I
ATURAN ZIEGLER-NICHOLS II

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0,5 K_{cr}$	~	0
PI	$0,45 K_{cr}$	$0,5 P_{cr}$	0
PID	$0,6 K_{cr}$	$0,5 P_{cr}$	$0,125 P_{cr}$

Prinsip kerja alat keseimbangan posisi bola seperti terlihat pada diagram alir pada Gambar 8. Berawal dari menghubungkan alat dengan catu daya, setelah aktif maka sensor ultrasonik akan membaca jarak bola pingpong kemudian akan membandingkannya dengan *set point*. Perbedaan jarak inilah yang akan dijadikan dasar untuk menggerakkan motor servo agar papanudukan bola dapat bergerak naik atau turun untuk mengatur bola agar berjalan mendekati titik tengah.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 11 Desain ZN 2 dari respon sistem

TABEL II
HASIL DARI RESPON SISTEM

No	Waktu (detik)	Jarak (cm)
1	730	30
2	830	6
3	930	13
4	1030	14
5	1130	14
6	1230	15

Data perubahan jarak setiap tiga puluh detik yang ditampilkan berdasarkan grafik yang diperoleh dari *software IDE Arduino*. Di bawah ini merupakan respon yang telah dibuat beresilasi dengan nilai gain / K_p / $K_{cr} = 0,8$. Perlu diingat bahwa waktu yang ada di *plotter* harus dikonversi ke dalam waktu asli terlebih dahulu. Konversi waktu *plotter* Arduino ke waktu asli:

$$\frac{T_{asli}}{t_{plotter}} = \frac{1230}{730} = 1,68$$

$$\frac{T_{asli}}{t_{plotter}} = \frac{t L(asli)}{t L(plotter)} \rightarrow \frac{1,68 t L(asli)}{25} = t PCR(asli) = 4,2$$

Sehingga didapat $K_{cr} = 0,8$ dan $P_{cr} = 4,2$. Selanjutnya perhitungan K_p , T_i , dan T_d .

$$K_p = 0,8 \times K_{cr} = 0,8 \times 0,8 = 0,64$$

$$T_i = 0,8 \times P_{cr} = 0,8 \times 4,2 = 3,36$$

$$T_d = 0,8 \times P_{cr} = 0,8 \times 4,2 = 3,36$$

Setelah itu karena terdapat beberapa *noise*, dibuat filter digital untuk meredamnya agar tidak terlalu melonjak.

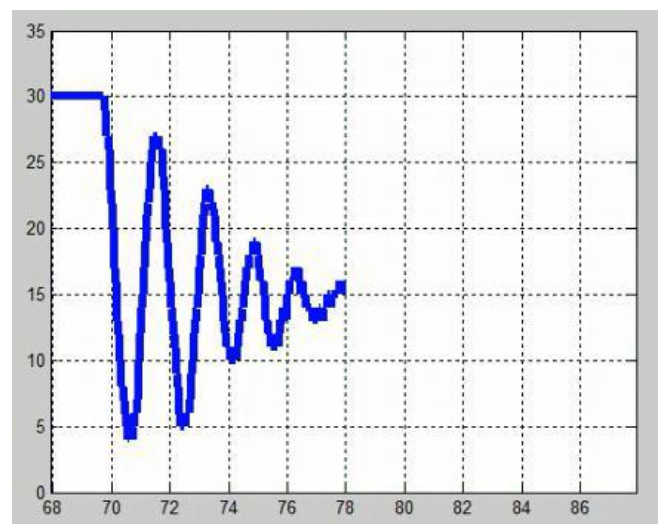
$$\frac{T_{asli}}{t_{plotter}} = \frac{1230}{730} = 1,68$$

$$\frac{T_{asli}}{t_{plotter}} = \frac{t L(asli)}{t L(plotter)} \rightarrow \frac{1,68 t L(asli)}{25} = t PCR(asli) = 4,2$$

$$f = \frac{1}{T} \rightarrow \frac{1}{4,2} = 0,238 \text{ Hz}$$

$$f \text{ dalam rad} = 2 \times 3,14 \times 0,238 = 1,495 \text{ rad}$$

$$f \text{ cut-off } 1 \text{ dek} = 1,495 \rightarrow \text{dibulatkan menjadi } 2$$



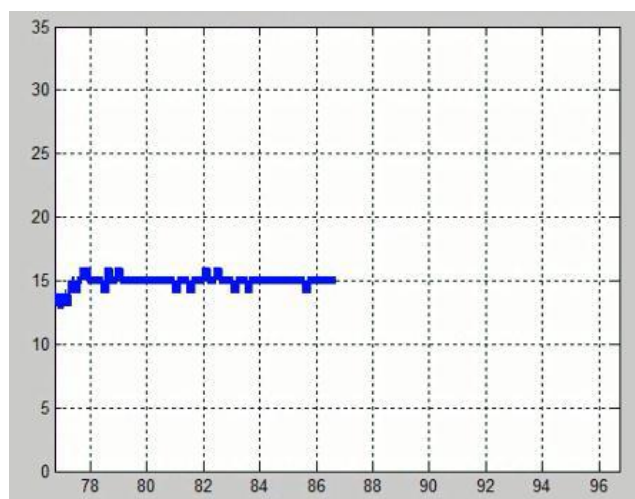
Gambar 12 Respon hasil tanpa filter

PERANCANGAN KENDALI KESEIMBANGAN POSISI BOLA MENGUNAKAN METODE KENDALI PID

TABEL III
HASIL DATA LOGGING PADA MATLAB

No	Waktu (detik)	Jarak (cm)
1	68	30
2	70	15
3	72	13
4	74	10
5	76	15
6	78	16
7	80	15
8	82	15
9	84	15
10	86	15

Pada Gambar 13 terlihat bahwa masih terdapat *noise* (gangguan) meskipun tidak terlalu banyak, namun masih terdapat *overshoot*. Alat penyeimbang posisi bola dapat mengarahkan bola langsung menuju *set point* meski terdapat beberapa waktu bola bergerak menjauhi titik tengah. Adanya pengendali PID dapat dengan segera akan mengembalikan posisi bola menuju titik tengah kembali. Hal ini terjadi kemungkinan dikarenakan bentuk permukaan bola yang bundar atau tidak rata, sehingga berdampak pada ketidakakuratan pembacaan sensor ultrasonik.



Gambar 13 Respon hasil desain dengan filter

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini konstanta-konstanta tersebut dihitung dengan menggunakan metode Ziegler Nichols 2 yang dilakukan dengan cara memberikan nilai K_{cp} terlebih dahulu. Nilai K_p , K_i , K_d yang optimal pada penelitian ini menggunakan nilai $K_p = 0,64$, $K_i = 3,36$, dan $K_d = 3,36$. Nilai-nilai tersebut terbukti dapat menyeimbangkan posisi bola berada di tengah papan datar dengan nilai *error* yang masih dalam batas toleransi.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] <https://kbbi.kemdikbud.go.id/> diakses pada 17 Juli 2018
- [2] <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3> diakses pada 10 Mei 2018
- [3] <http://www.towerpro.com.tw/product/mg995/> diakses pada 10 Mei 2018

- [4] http://www.digi-bytes.com/index.php?route=product/product&product_id=96 diakses pada 10 Mei 2018
- [5] Azis Rizki, "Sistem Kendali Posisi Bola dengan PID Berbasis Arduino, Mosfet, dan Ultrasonik", Politeknik Negeri Bandung, 2017.
- [6] A. Johnson, Michael, Mohammad H. Moradi, "PID Control: New Identification and Design Methods", Springer, 2005.
- [7] Katsuhiko Ogata, Modern Control Engineering Third Edition, Prentice Hall, 1997.
- [8] Meinanto Tri Sutrisno, Dr. Ir. Dian Retno Sawitri, MT, Dr.-Ing. Vincent Suhartono, "APLIKASI KONTROL PID UNTUK MENGENDALIKAN GERAK ROBOT PEMANJAT TIANG PADA KONTES ROBOT ABU INDONESIA", Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, 2015.