

RANCANG BANGUN *PID CONTROLLER* DENGAN *TUNING ZIEGLER NICHOLS* UNTUK PENGENDALIAN POSISI SUDUT MOTOR DC

Muhammad Nasir Athoillah

S1-Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : muhammadathoillah@mhs.unesa.ac.id

Muhammad Syariffudien Zuhrie, Puput Wanarti Rusimamto, Nur Kholis

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : zuhrie@unesa.ac.id, puputwanarti@unesa.ac.id, nurkholis@unesa.ac.id

Abstrak

Motor DC merupakan perangkat motor yang bergerak dengan kecepatan konstan dengan tegangan sumber DC. Disisi lain karena motor dc bergerak konstan maka dibutuhkan sebuah kontroler yang dapat memaksimalkan kinerja motor DC agar bergerak sesuai dengan keinginan atau kebutuhan *plant* dan lebih efektif. Penelitian ini menggunakan kendali PID posisi sudut pada motor DC, sehingga motor dc dapat bergerak ke posisi sudut yang diberikan. perancangan kontroler ini menggunakan *Software* Arduino Uno dan *GUI (Graphical User-Interface)*-nya menggunakan *Software Visual Studio*. *Sensor* Potensiometer berhasil terkalibrasi dengan menggunakan teknik regresi linier. Dengan pendekatan metode *tuning* Ziegler Nichols, didapatkan *tuning* koefisien parameter PID dengan $K_p = 18$, $\tau_i = 0.05075$ dan $\tau_d = 0.01269$. Pengujian Parameter sudut 20° didapatkan perbaikan respon dengan T_d (*Time delay*)= 0.1242 detik. T_r (*Rise time*) = 0.2331 detik dan T_s (*Settling time*) = 0.3 detik. Sistem mampu mencapai *setpoint* dengan E_{ss} atau kesalahan *steady state* sebesar 0 %. Pengujian Parameter sudut 80° didapatkan perbaikan respon dengan $T_d = 0.30005$ detik. $T_r = 0.56005$ detik, T_p (waktu puncak /*time peak*) sebesar 0.75005 detik dan $T_s = 2.1998$ detik, sistem mengalami *Overshoot* sebesar 7,5 %. Sistem mampu mencapai *setpoint* dengan E_{ss} sebesar 0 %. Pengujian Parameter sudut 150° didapatkan perbaikan respon dengan $T_d = 0.48705$ detik. $T_r =$ sebesar 0.85955 detik, $T_p = 0.99955$ detik dan $T_s = 4.57715$ detik, sistem mengalami *Overshoot* sebesar 13 %. Sistem mampu mencapai *setpoint* dengan E_{ss} sebesar 0 %.

Kata Kunci : motor DC, parameter PID, *error*.

Abstract

A DC motor is a motor device that moves at a constant speed with a DC source voltage. Because the dc motor moves constantly, a controller is needed for maximize the performance of the DC motor so that it moves according to the wishes or needs of the plant and more be effective. This study uses PID control of the angle position of the DC motor, so that the dc motor can move to a given angle position. This controller design uses Arduino Software and its GUI uses Visual Studio Software. The potentiometer sensor was successfully calibrated using linear regression technique. With the Ziegler-Nichols tuning method approach, the PID parameter tuning coefficients obtained with $K_p = 18$, $\tau_i = 0.05075$ and $\tau_d = 0.01269$. Testing the 20° parameter obtained an improvement in the response with a $T_d = 0.1242$ seconds. $T_r = 0.2331$ seconds and $T_s = 0.3$ seconds the system is able to reach the setpoint with E_{ss} 0%. Testing the 80° obtained an improvement in the response with a T_d 0.30005 seconds. T_r 0.56005 seconds, T_p 0.75005 seconds and T_s 2.1998 seconds the system experienced an *Overshoot* of 7.5%. The system is able to reach the setpoint with E_{ss} 0%. Testing the 150° obtained an improvement in the response with a T_d 0.48705 seconds. T_r 0.85955 seconds, T_p 0.99955 seconds and T_s 4.57715 seconds, the system overshoots by 13%. The system is able to reach the setpoint with E_{ss} 0%.

Keywords : DC motor, PID parameter, *error*.

PENDAHULUAN

Motor DC merupakan sebuah perangkat motor yang bergerak dengan kecepatan konstan dengan tegangan sumber DC. Di bidang elektro Motor DC berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi mekanik atau sebaliknya. Motor DC ini juga dapat disebut sebagai Motor Arus Searah. Untuk dapat menggerakkan motor DC diperlukan tegangan searah yang mengalir di dua

terminalnya. Motor DC banyak digunakan oleh industri terutama sebagai salah satu plant dari pada suatu Sistem. Seperti konveyor, lengan robot DLL. Banyak diperoleh keuntungan menggunakan Motor DC yakni disamping harganya yang murah juga memiliki daya poros yang cukup tinggi. Motor DC memiliki dua kekurangan yaitu memiliki output dengan gerakan atau putaran yang konstan sehingga motor tidak bisa diatur outputnya dan juga Motor DC tidak memiliki respon

sistem yang baik dalam ketepatan dan kestabilan sistem sehingga terjadi Error yang cukup besar. Salah satu upaya yang dapat digunakan adalah membuat kontroler PID motor DC Dengan tujuan memperbaiki performa motor DC melalui implementasi kontroler PID dari segi keakuratan, ketepatan dan mengurangi kesalahan Error yang terjadi. Selain mengatasi kesalahan, kontroler PID menghasilkan output yang sesuai dengan yang diinginkan.

Sebelum mendapatkan kontrolernya maka di perlukan model matematika motor dc agar dapat di gunakan sebagai parameter plant (Budi, 2015). Pemodelan matematika yang terdapat pada Motor DC bisa didapatkan dengan cara mencari torsi motor terlebih dahulu.

Torsi Motor merupakan hasil kali armatur arus (i) dengan kontanta Torsi K_t , dan tegangan balik merupakan hasil kali dari konstanta tegangan balik dengan kecepatan rotasi motor di tulis persamaannya menjadi

$$\tau_m = K_t i \quad (1)$$

$$e = K_e \dot{\theta} \quad (2)$$

Dimana dalam satuan SI

τ_m = Torsi motor (N.m)

K_t = Konstanta torsi (N.m/A)

K_e = Konstanta tegangan balik (V.s/rad)

i = arus Armatur (Ampere)

e = Tegangan balik (Volt)

$\dot{\theta}$ = Kecepatan rotasi motor (rad/s)

Dari persamaan 1 dan 2 dapat ditulis dengan menggunakan hukum persamaan *newton* yang di kombinasikan dengan persamaan hukum *kirchoff's II*.

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} = K i \quad (3)$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V - K\dot{\theta} \quad (4)$$

Dimana dalam satuan SI

J = Inersia rotor (Kg. m²)

b = Koefisien gesekan beban (N. m. s/rad)

L = Induktansi armatur (Henry)

K = Konstanta torsi

R = Resistansi armatur

$\dot{\theta}$ = Posisi angular motor dc (rad)

Sehingga didapatkan fungsi alih transformasi laplace sebagai berikut.

$$s(Js + B)\theta(s) = KI_s \quad (5)$$

$$(sLa + Ra)I(s) = V - Ks\theta(s) \quad (6)$$

Dengan mengeliminasi $I(s)$ maka didapatkan fungsi alih dimana posisi sudut(θ) adalah output dan V adalah input. Berikut fungsi alih ditunjukkan pada persamaan 7.

$$\frac{\theta}{V} = \frac{K}{s((Js+B)(sLa+Ra)+K^2)} \quad (7)$$

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan metode pendekatan penelitian kuantitatif.

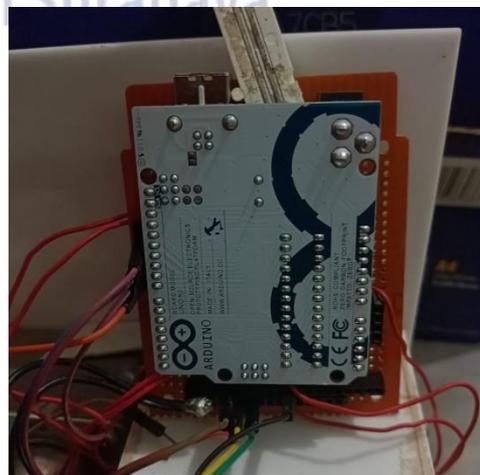
Penelitian kuantitatif adalah pendekatan penelitian yang berhubungan dengan angka, rangkaian data, Analisa dari data tersebut, serta kesimpulan hasilnya. Penelitian ini menggunakan motor DC sebagai *plant* dan *Driver motor* BTS 7960 sebagai aktuator atau penggerak motor dan potensiometer 10k sebagai sensornya. Berikut spesifikasi motor dc dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi motor DC Thosiba DGM 204-2A:

Besaran	Satuan
Gear ratio	200:1
Tegangan	12-24 VDC
Arus Maksimum	0.85 A
Torsi	25 Kg.cm
Rotasi	22 RPM-24 VDC 11-RPM-12 VDC
Diameter Shaft	5.5 mm

Mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini adalah Arduino uno R3. Fungsi arduino uno adalah sebagai unit proses dan pengolahan data, mengubah data analog ke digital. Berikut adalah Arduino uno R3 ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Mikrokontroler Arduino uno R3

Berdasarkan Gambar 1. Mikrokontroler Arduino uno R3 memiliki spesifikasi sebagai berikut yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Arduino Uno R3

Mikrokontroler	ATMEGA328
Operasi Tegangan	5 Volt
Input Tegangan	7-12 Volt
Pin I/O Digital	14
Pin Analog	6
Arus Dc tiap pin I/O	50 mA
Arus Dc 3.3 V	50 mA
Memori flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Kecepatan Clock	16 MHz

(Sumber : Farnell, 2012)

Driver motor DC

Driver motor DC Berfungsi sebagai pengendali gerakan motor DC. Dengan adanya driver motor DC, motor DC dapat bergerak kearah kanan atau kearah kiri. Pada penelitian ini driver motor yang digunakan adalah driver motor BTS 7960. Berikut adalah driver motor BTS 7960 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Driver motor BTS 7960

Berdasarkan Gambar 2. Driver motor BTS 7960, driver diatas memiliki spesifikasi sebagai berikut yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Driver BTS 7960

Resistansi	16mΩ @25 C °
Arus Rendah diam	7μA @25 C °
Kapasitas PWM	25 kHz
Arus maksimum	43 A
Tegangan mikrokontroler	5 V
Tegangan suplai	5.5 – 27 V

(Sumber : Infineon, 2004)

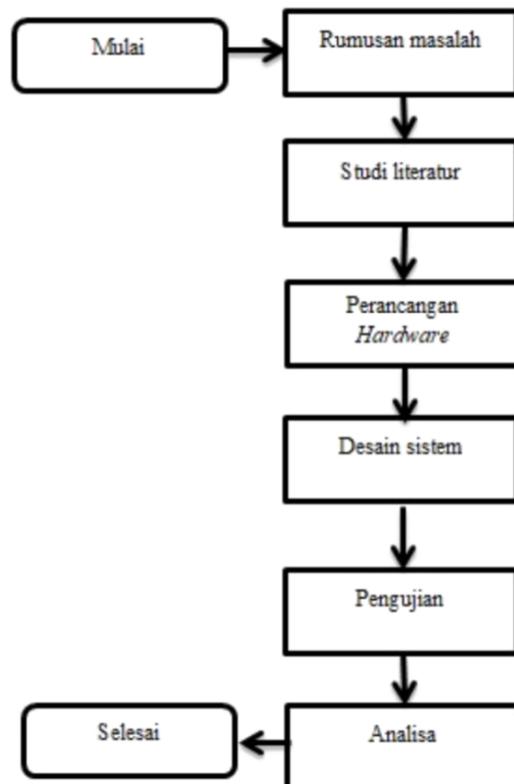
Rancangan penelitian

Dalam penelitian rancang bangun *PID controller* dengan *tuning ziegler Nichols* untuk pengendalian posisi sudut motor dc ini terdapat beberapa tahap Rancangan penelitian.

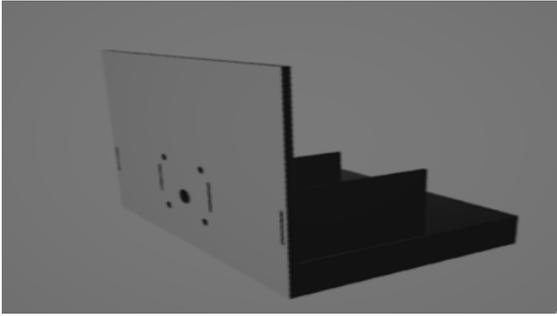
Tahap pertama adalah membuat desain tempat untuk perancangan *hardware* agar perancangan sesuai dengan yang diharapkan. Tahap kedua adalah penyediaan sarana maupun prasarana yang dibutuhkan, diantaranya adalah motor dc, driver motor, sensor potensiometer, driver motor dc, arduino uno dan laptop. Tahap ketiga adalah pembuatan diagram alur bentuk rancangan alat dengan sederhana. Tahap keempat adalah perakitan *hardware*. Tahap kelima adalah tahap uji penelitian. Tahap keenam adalah analisa hasil. Oleh karena itu dibuatkan diagram alur perancangan penelitian agar lebih jelas. Diagram alur perancangan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3. *Flowchart* rancangan penelitian.

PERANCANGAN DAN DESAIN SISTEM

Desain perangkat *hardware* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan tegangan sumber 24 VDC. Pemilihan desain perangkat ini menggunakan akrilik, dikarenakan akrilik mempunyai karakteristiknya isolator, mudah didesain, kuat, serta harga relatif lebih murah. Berikut adalah desain perancangan akrilik yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Flowchart Rancangan Penelitian.



Gambar 4. Desain perancangan akrilik

Berdasarkan Gambar 4. Desain perancangan akrilik, motor DC diletakkan secara vertikal sehingga pergerakan motor dc dari kiri ke kanan atau sebaliknya. Berikut adalah spesifikasi desain akrilik dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi desain akrilik

Besaran	Satuan
Panjang	18 cm
Lebar	14 cm
Tinggi	16 cm

DESAIN KONTROLER

Kontroler PID

Kontroler PID adalah salah satu kontroler yang sering dijumpai. Pada umumnya kontroler PID dapat direpresentasikan dalam bentuk transformasi Laplace yang ditunjukkan Persamaan 8 (J.Astrom, Karl dan T.Hagglund, 1934:64)

$$u(t) = k_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (8)$$

$$U(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_D s \right) E(s)$$

Keterangan

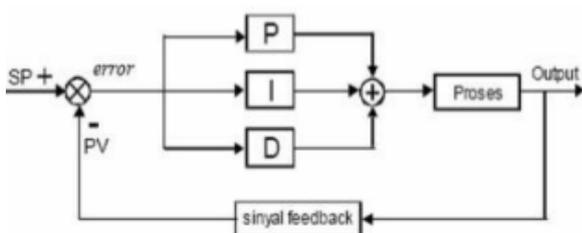
k_p = Konstanta Proporsional

k_i = Konstanta Integral

k_d = Konstanta Derivatif

$e(t)$ = Kesalahan error

Berikut adalah bentuk diagram blok sistem dengan kontroler PID ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagramblok sistem PID
(sumber : Ramadhan, 2018)

Perancangan kontroler PID

Perancangan kontroler yang digunakan dalam penelitian adalah PID Controller. PID Controller merupakan salah satu sistem kendali yang baik. Pada PID Controller terdapat tiga parameter pembentuk yaitu koefisien proporsional (K_p), koefisien integral (τ_i) dan koefisien derivatif (τ_d). Ketiga parameter ini didapatkan dengan penalaan. penalaan dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya penalaan *Trial and error* dan penalaan Ziegler Nichols.

Penalaan PID *trial and error* dapat diterapkan dengan bervariasi koefisien parameter K_p, T_i dan T_d secara langsung, acak dan terus menerus hingga menemukan nilai parameter yang sesuai dengan sistem yang diinginkan (R.D.Firmansyah, O.wahyunggoro, dkk, 2015).

Berbeda dengan Penalaan Ziegler-Nichols. penalaan Ziegler-Nichols metode osilasi penerapannya dengan memberi variasi pada nilai parameter K_p hingga mendapatkan respon sistem berupa osilasi dimana τ_i bernilai tak terhingga dan τ_d bernilai 0. K_p yang didapat dari respon sistem yang berosilasi ini bisa disebut parameter kritis (K_{cr}). Dari respon sistem tersebut juga didapatkan periode Kritis (P_{cr}). Kedua nilai ini nantinya digunakan untuk mencari nilai parameter K_p, τ_i dan τ_d (Ogata, 2002). Berikut ini adalah penalaan kontroler PID dengan *tuning* Ziegler Nichols telah di rumuskan secara umum yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Penalaan parameter PID dengan tuning ziegler nichols

Kontroler	K_p	τ_i	τ_d
P	$0.5K_{cr}$	~	-
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{2} P_{cr}$	-
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

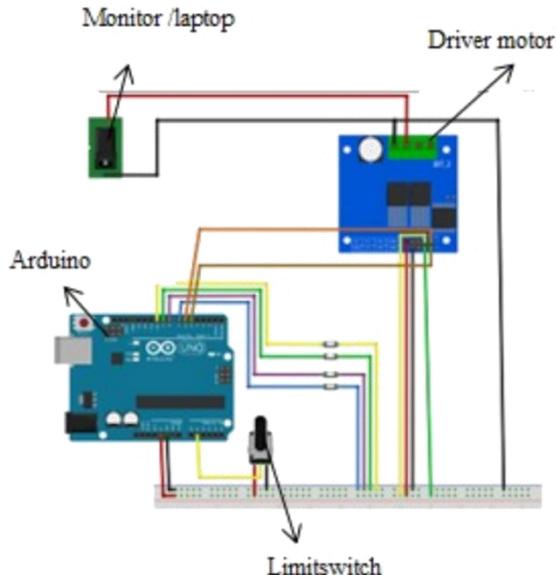
Berdasarkan Tabel 5. Penalaan kontroler PID dengan *tuning* ziegler nichols dapat diketahui nilai perhitungan parameter PID, $K_p = 0.6 K_{cr}$, $\tau_i = 0.5 P_{cr}$ dan $\tau_d = 0.125 P_{cr}$.

Fungsi dari perancangan kontroler PID adalah memperbaiki respon sistem. Sehingga respon sistem mampu mencapai *setpoint* yang diinginkan (pratama, 2018).

Perancangan hardware

Perancangan *hardware* sistem ini dilakukan dengan menghubungkan beberapa komponen menjadi sistem, antara lain; motor dc yang digunakan sebagai aktuator

atau penggerak dari sistem. Kemudian *driver* motor akan dihubungkan dengan arduino, dan dua *limitswitch* digunakan sebagai pengaman sekaligus pembatas dari pada input sudut 0 sampai 180 derajat agar sistem berjalan normal. Kemudian sensor yang dihubungkan dengan motor dc menggunakan *Shaft* (penghubung) berfungsi untuk membaca nilai hasil pengujian dan mengambil datayang berupa grafik respon input sudut yang diujikan. Berikut adalah skema perancangan *hardware* yang ditunjukkan pada Gambar 6.



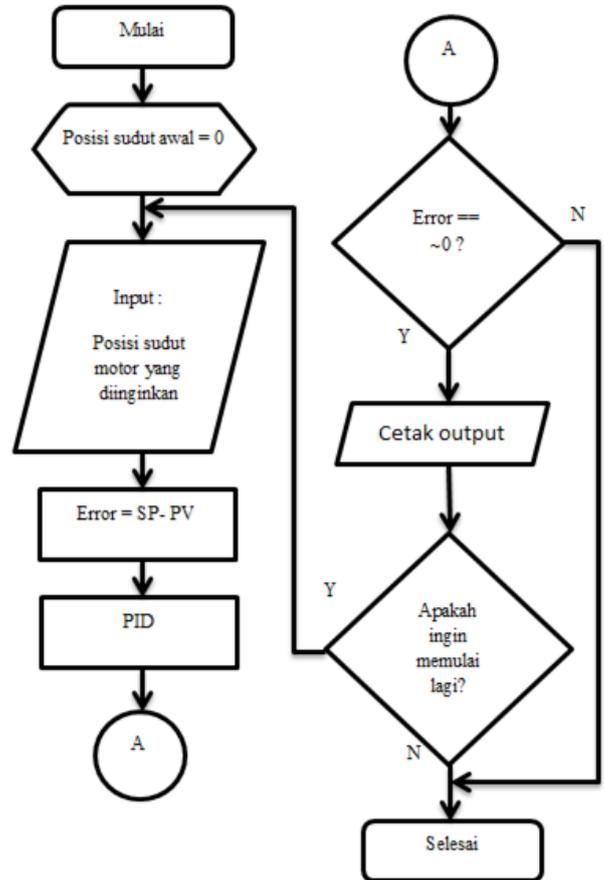
Gambar 6. Skema perancangan *hardware*

Berdasarkan Gambar 6. Skema perancangan *hardware*. Komponen-komponen yang saling terhubung satu sama lain diatas membentuk suatu sistem kontrol untuk pengendalian Posisi sudut motor dc. Berikut adalah *hardware* bentuk fisik dari rancang bangun *PID controller* dengan *tuning ziegler nichols* untuk pengendalian posisi sudut motor dc ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. *Hardware* rancang bangun *PID controller* dengan *tuning ziegler nichols* untuk pengendalian posisi sudut motor dc.

Berdasarkan Gambar 7. Dapat dilihat bentuk fisik perancangan *hardware* dari rancang bangun *PID controller* dengan *tuning ziegler nichols* untuk pengendalian posisi sudut motor DC. Selanjutnya untuk *flowchart* diagram pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. *Flowchart* pengambilan data

Teknik Analisa data

Fungsi analisa data adalah untuk mengetahui hasil dari respon sistem. Respon sistem yang diamati respon waktu atau biasa disebut respon *transient* yakni keadaan respon mulai awal perubahan sinyal sampai respon sistem masuk dalam keadaan *Steady state*.

Respon *transient* yang dijadikan acuan kualitas respon dalam analisa hasil antaralain waktu tunggu (*time delay*), waktu tunak (*settling time*), waktu naik (*rise time*), waktu puncak (*time peak*) dan lonjakan (*overshoot*) (bagaskarawan, 2012).

PENGUJIAN

Kalibrasi sensor

Kalibrasi sensor dilakukan agar data yang didapatkan akurat, dalam penelitian ini kalibrasi yang digunakan dengan menggunakan persamaan regresi linier. Berikut

adalah persamaan regresi linier pembacaan sensor dan sudut (21ples, 2017).

$$Y = \alpha + bX \tag{9}$$

Keterangan

- Y = Pembacaan Sensor
- α = offset (konstanta)
- b = Koefisien atau gain
- X = Nilai Sudut terkalibrasi

Dari persamaan 9 didapatkan nilai pembacaan sensor dan sudut sebagai kalibrasi sensor potensiometer 10K. Berikut data kalibrasi dengan persamaan regresi linier ditunjukkan pada Tabel 6.

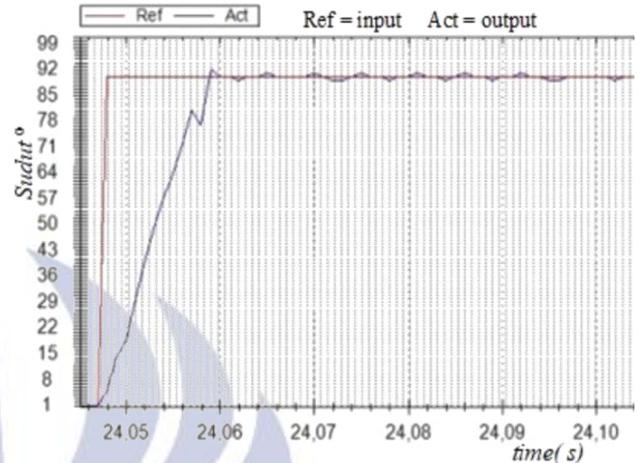
Berdasarkan Tabel 6. Nilai resistor dan tegangan MK atau tegangan mikrokontroler didapatkan dengan cara melakukan pengukuran menggunakan avometer digital. Sedangkan kalibrasi nilai sudut dan nilai pembacaan sensor potensiometer didapatkan dari persamaan regresi linier yang dapat dilihat pada persamaan 9. Dalam pengujian, pengambilan data dilakukan dengan cara mengetahui respon sistem hasil dari pengujian *setpoint* 90° dan menentukan nilai *Kcr*-nya.

Tabel 6. Kalibrasi sensor potensiometer 10K dengan regresi linier

Nilai resistor	Tegangan Mk(V)	Sudut	Nilai pembacaan sensor
3,496	1,748	5°	385
4,736	2,368	20°	418
4,785	2,392	40°	490
5,605	2,802	60°	547
6,044	3,022	80°	619
6,396	3,198	90°	655
6,004	3,022	100°	691
7,548	3,774	120°	773
8,398	4,199	140°	860
9,267	4,633	160°	949
9,755	4,877	170°	999

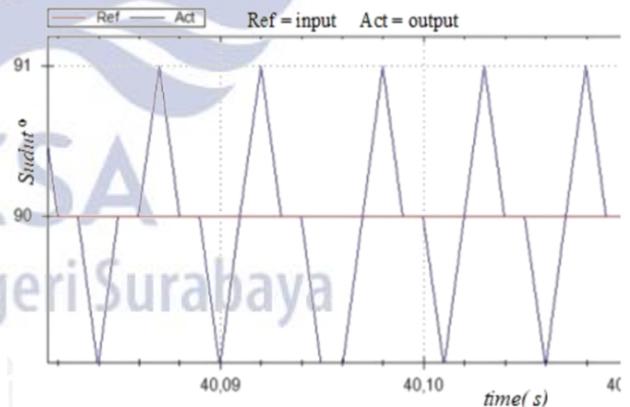
Dalam menentukan nilai *Kcr* dilakukan dengan melakukan pengujian nilai *Kp* dari nol hingga nilai *Kp* mendapati respon sistem mencapai *setpoint* dan mengalami osilasi konstan secara terus-menerus tak terhingga. Berikut hasil dari pengujian *setpoint* 90° dengan waktu *sampling* pengambilan data sebesar 50 ms dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10.

Berdasarkan Gambar 9. Ref adalah Referensi input dan Act adalah aktuator atau output dari respon sistem, pengujian nilai *Kcr* pada *setpoint* 90 derajat dengan nilai sebesar 30 menghasilkan respon sistem yang mengalami osilasi konstan secara kontinu tak terhingga. Sehingga nilai *Kp* 30 dijadikan nilai *Kcr* yang digunakan untuk menentukan parameter koefisien PID.



Gambar 9. Pengujian pencarian nilai *Kcr* = 30

Selanjutnya setelah nilai *Kcr* sudah ditentukan, nilai *Pcr* atau perioda kritis dapat ditentukan dengan melihat periode osilasi yang dihasilkan dalam pengujian *Kcr* = 30. Berikut adalah grafik respon sistem yang menunjukkan nilai perioda kritis atau *Pcr* dapat dilihat pada Gambar 10.



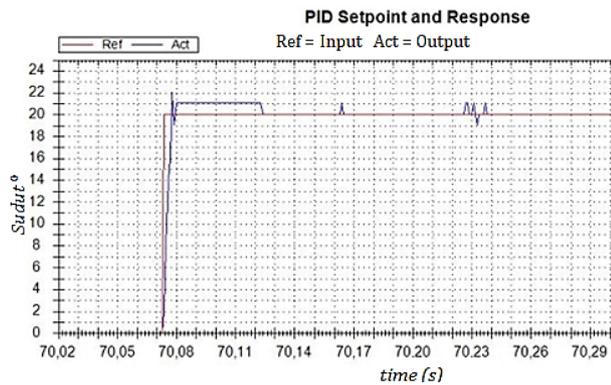
Gambar 10. Pengujian pencarian nilai *Pcr*

Berdasarkan Gambar 10. Pengujian pada *setpoint* 90° dengan *Kcr* = 30, nilai *Pcr* atau perioda kritis dengan *sampling* 50 ms didapatkan *Pcr* atau perioda sebesar 101,5 ms atau 0.1015 detik. Sehingga didapatkan nilai *Kcr* = 30 dan *Pcr* = 101,5. Selanjutnya nilai *Kcr* dan *Pcr* akan dimasukkan kedalam pada tabel *tuning* ziegler nichols dapat dilihat pada Tabel 5. Berikut hasil *tuning* PID controller di tunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Tuning parameter PID metode Ziegler Nichols

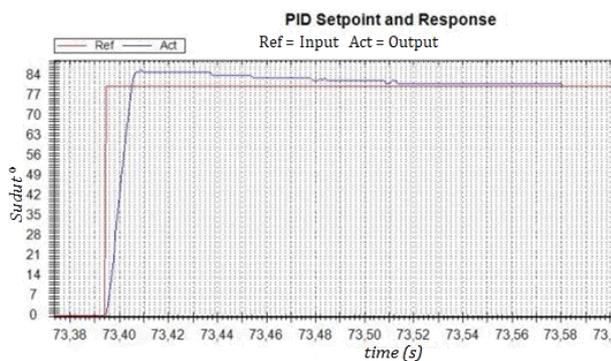
Kontroler	K_p	τ_i	τ_d
P	15	~	-
PI	13,5	0.05075	-
PID	18	0.05075	0.01269

Berdasarkan Tabel 7. Hasil *tuning* koefisien parameter PID didapatkan Nilai K_p sebesar 18, τ_i sebesar 0.0575 dan τ_d sebesar 0.01269. selanjutnya koefisien parameter PID di ujikan pada *setpoint* sudut 20°, 40°, 60°, 80°, 120° dan sudut 150°.



Gambar 11. Pengujian parameter PID dengan *setpoint* 20°

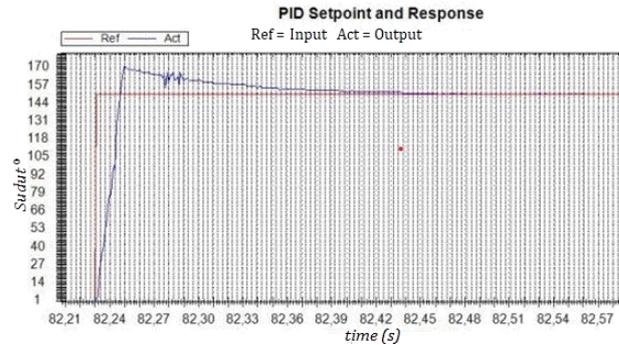
Berdasarkan Gambar 11. Grafik pengujian parameter PID dengan *setpoint* 20°. Garis berwarna merah adalah *input*, sedangkan garis berwarna biru adalah *output* dari respon sistem. Dapat dilihat pada respon grafik pengujian, output dari pada sistem berhasil mencapai *setpoint* dengan *overshoot* atau lonjakan sebesar 5 %.



Gambar 12. Pengujian parameter PID dengan *setpoint* 80°

Berdasarkan Gambar 12. Pengujian pada *setpoint* 80 derajat, respon grafik menunjukkan garis berwarna merah adalah *input* dan garis berwarna biru adalah *output* dari respon sistem. Respon grafik pengujian parameter PID diatas menunjukkan sistem berhasil mencapai *setpoint* dengan *overshoot* atau lonjakan sebesar 7,5 %.

Berdasarkan Gambar 13. Pengujian pada *setpoint* 150 derajat, garis berwarna merah adalah *input* pada respon grafik dan garis berwarna biru adalah *output* dari respon sistem. Respon grafik pengujian parameter PID diatas menunjukkan sistem berhasil mencapai *setpoint* dengan *overshoot* atau lonjakan sebesar 13 %.



Gambar 13. Pengujian parameter PID dengan *setpoint* 150°

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan grafik respon sistem pengujian parameter PID, didapatkan hasil analisa perbaikan respon dari masing-masing pengujian.

Berikut adalah hasil analisa perbaikan respon yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil analisa parameter perbaikan respon *transient* sistem pengujian sudut 20° - 150° dengan kontroler PID

Sudut	T_d Time delay (detik)	T_r Rise time (10-90%) (detik)	T_p Time peak (detik)	T_s Time settling (5 %) (detik)	Ess (%)
20°	0.1242	0.2331	-	0.3	0
40°	0.1711	0.3209	-	0.40045	0
60°	0.21195	0.4	-	0.49995	0
80°	0.30005	0.56005	0.75005	2.1998	0
120°	0.37775	0.70555	0.79995	3.50045	0
150°	0.48705	0.85955	0.99955	4.57715	0

Berdasarkan Tabel 8. Dapat dilihat hasil pengujian diatas, pengujian sudut 20° didapatkan perbaikan respon *time delay* sebesar 0.1242 detik, *rise time* sebesar 0.2331 detik dan *settling time* sebesar 0.3 detik. Sistem berhasil mencapai *setpoint* dengan kesalahan atau Ess sebesar 0 persen.

Pada pengujian sudut 40° didapatkan perbaikan respon *time delay* sebesar 0.1711 detik, *rise time* sebesar 0.3209 detik dan *settling time* sebesar 0.40045 detik. Sistem berhasil mencapai *setpoint* dengan kesalahan atau Ess sebesar 0 persen.

Pada pengujian sudut 60° didapatkan perbaikan respon *time delay* sebesar 0.21195 detik, *rise time* sebesar 0.4 detik dan *settling time* sebesar 0.49995detik. Sistem berhasil mencapai *setpoint* dengan kesalahan Ess sebesar 0 persen.

Pada pengujian sudut 80° didapatkan perbaikan respon *time delay* sebesar 0.30005 detik, *rise time* sebesar 0.56005 detik, *time peak* sebesar 0.75005 detik dan *settling time* sebesar 0.21998 detik. Sistem berhasil mencapai *setpoint* dengan Ess atau kesalahan *steady state* 0 persen dengan *overshoot* sebesar 7,5 persen. nilai *overshoot* adalah nilai aktuator (*output*) yang melebihi sudut referensi (*input*) melebihi 5 persen. Nilai *overshoot* dapat dilihat pada Gambar 12.

Pada pengujian sudut 120° didapatkan perbaikan respon *time delay* sebesar 0.37775 detik, *rise time* sebesar 0.70555 detik, *time peak* sebesar 0.79995 detik dan *settling time* sebesar 3,50045 detik. Sistem berhasil mencapai *setpoint* dengan Ess atau kesalahan *steady state* 0 persen.

Pada pengujian sudut 150° didapatkan perbaikan respon *time delay* sebesar 0.48705 detik, *rise time* sebesar 0.85955 detik, *time peak* sebesar 0.99955 detik dan *settling time* sebesar 4.57715 detik. Sistem berhasil mencapai *setpoint* dengan Ess atau kesalahan *steady state* 0 persen dengan *overshoot* sebesar 13 persen. Nilai *overshoot* dapat dilihat pada Gambar 13.

PENUTUP

Simpulan

Hasil dari pengujian didapatkan parameter PID adalah K_p sebesar 18 τ_i sebesar 0.05075 dan τ_d sebesar 0.01269 yang dapat dilihat pada Tabel 7. Untuk pengendalian posisi sudut 20° didapatkan perbaikan respon dengan Td sebesar 0.1242 detik, Tr sebesar 0.2331 detik dan Ts sebesar 0.3 detik, sistem mampu mencapai *setpoint* dengan kesalahan 0 %. Untuk pengendalian posisi sudut 80° didapatkan perbaikan respon Td sebesar 0.30005 detik, Tr sebesar 0.56005 detik dan Ts sebesar 2.1998 detik, sistem mampu mencapai *setpoint* dengan kesalahan 0 %, sistem mengalami *overshoot* 7,5 %. Untuk pengendalian posisi sudut 150° didapatkan perbaikan respon Td sebesar 0.48705 detik, sistem mengalami *overshoot* sebesar 13 %. Tr sebesar 0.85955 detik dan Ts sebesar 4.57715 detik, sistem mampu mencapai *setpoint* dengan kesalahan 0 %. Semakin besar sudut yang diberikan, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *setpoint* juga semakin lama. Pengujian sudut 80° keatas sistem mengalami *overshoot*. Pengujian PID pada sistem berhasil di lakukan, sistem dapat mencapai *setpoint* dengan kesalahan sebesar 0 %.

Saran

Dalam penelitian ini menggunakan motor dc *gearbox* perbandingan 1:200. Pengujian berpengaruh terhadap koefisien integral sehingga kesalahan tidak terlihat dan pengujian beban pun tidak bisa dilakukan karena tidak berpengaruh terhadap motor dc dan keterbatasan dari *plant* sistem. Penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan dengan beberapa metode kontrol yang lain dan *plant* yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- 21ples. 2017. "Kalibrasi Sensor Menggunakan Regresi Linier", <https://21ples.blogspot.com/2017/03/kalibrasi-sensor-menggunakan-regresi>, diakses pada tanggal 20 Juni 2020.
- Bagaskawaran. 2012." *Teknik Kendali : Tanggapan tanggapan Sistem* ", (wordpress.com), <https://bagaskawaran.wordpress.com/2012/11/21/teknik-kendali-tanggapan-tanggapan-sistem/>, di akses pada tanggal 20 Juni 2020.
- Budi H, Nanang. 2015. " *pengaturan posisi motor servo dc Dengan metode p, pi, dan pid Pengaturan Posisi motor dc*". Politeknik Negeri Surabaya.
- Farnell. 2012." *Datasheet arduino uno R3* ", <http://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>, diakses pada tanggal 20 Juni 2020.
- Infineon. 2004. " *Driver BTS 9670 B Datasheet*", <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/152658/INFINEON/BTS7960B/385/1/BTS7960B.html>, diakses pada tanggal 20 Juni 2020.
- J.Astrom, Karl dan T.Hagglund. 1934." *PID controllers: theory, design, and tuning (2nd Ed)*". Library of congress cataloging-in-Publication Data. ISSN: 1-55617-516-7.
- Ogata, Katsuhiko. 2002." *Modern Control Engineering-4th Edition*". New Jersey: prentice-hall.
- Ramadhan, Afrian. 2018." *Pemodelan sistem kontrol terapi kanker tipe hipertermia berbasis gain scheduling*". Transient, Volume 7 Nomer 2 Tahun 2018, ISSN: 2302-9927, 480. Universitas Diponegoro.
- R.D.Firmansyah, O.wahyunggoro, dkk. 2015." *sistem kendali suhu menggunakan PID ziegler nichols dan Fuzzy Logic*". CITEE. ISSN: 2085-6350. Universitas Gajahmada.
- Pratama, Fauzi Yuda. 2018. " *Rancang bangun pengendalian kecepatan brushless dc motor tipe a2212/10t 1400 kv menggunakan kontroler pid berbasis labview*". Jurnal Teknik Elektro.

Volume 7 Nomor 3 Tahun 2018, PP: 157-166.
Universitas Negeri Surabaya.