

Analisa Kestabilan Sistem dan Aksi Dasar Pengendalian dalam Prototip Pengendali Pintu Darurat Bus

Prasetya Widiharso, Wahyu Tri Handoko*, Rizki Jumadil Putra

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: prasetya.widiharso.2005348@students.um.ac.id

Paper received: 06-2-2021; revised: 11-3-2021; accepted: 12-11-2021

Abstrak

Bus merupakan sarana transportasi darat yang paling banyak digunakan. Sistem keselamatan penumpang berbasis sensor suhu dan sensor tekanan untuk mengendalikan motor dc diharapkan dapat mengendalikan pintu darurat bagi evakuasi penumpang pada saat terjadi kebakaran dan tabrakan atau kecelakaan lain. Untuk memperoleh kinerja yang optimal maka suatu sistem memerlukan pemrosesan sinyal yang terdiri dari teknik sampling dan interpolasi. Selanjutnya analisa kestabilan terhadap pembacaan sensor dan gangguan akibat kesalahan pembacaan sensor yang timbul melalui metode Routh Hurwitz, selanjutnya diberikan aksi pengendalian melalui pengendali *Proportional*, *Derivatif*, dan *Integral* untuk memberikan optimalisasi pada respon sistem.

Kata kunci: motor dc; routh hurwitz; proportional; derivatif; integral

1. Pendahuluan

Sistem pengendali pintu darurat bus bekerja berdasarkan input dari dua buah sensor yaitu sensor suhu dan sensor tekanan. Sistem dirancang untuk evakuasi penumpang paska terjadinya kecelakaan. Sensor suhu bekerja dengan mengukur temperatur di dalam bus, sensor suhu memberikan output 5-volt kepada mikrokontroler pada saat pembacaan suhu mencapai batas 40°C. Selanjutnya hasil input tersebut digunakan untuk menggerakkan motor DC. Motor DC menggerakkan roda gigi dan rantai pada pintu bus untuk membuka pintu darurat. Sensor tekanan berfungsi ketika sensor yang diletakkan pada bumper bus tertekan oleh obyek lain sehingga menghasilkan output 5-volt. Selanjutnya output tersebut digunakan untuk menggerakkan motor DC dan membuka pintu darurat.

Aksi dasar pengendalian *PID* pada sistem pintu darurat berbasis motor DC ditujukan untuk memperoleh respon sistem yang cepat terhadap pembacaan sensor, namun tetap dapat bekerja dalam keadaan stabil. Kecepatan respon sistem terhadap input pembacaan sensor yang menandakan terjadinya kebakaran dan tabrakan, berperan penting terhadap penggunaan waktu pada upaya penyelamatan penumpang terhadap kejadian kecelakaan.

2. Metode

2.1. Elemen Sistem Pengendalian Otomatis

Elemen-elemen sistem pengendalian otomatis terdiri dari:

1. Controller: Elemen yang membandingkan sinyal feedback dengan set point dan memberikan sinyal koreksi ke elemen final control element
2. Final control element: Elemen yang merubah besarnya nilai measurement variable dengan memanipulasi manipulated variable berdasarkan sinyal koreksi dari controller
3. Plant: Elemen yang dikendalikan kondisinya

4. Feedback: Elemen umpan balik terdiri dari elemen sensing, transmitter, sensor, dsb (Arindya, 2017).

Salah satu fungsi dari komponen kontroler adalah untuk mereduksi sinyal kesalahan, yaitu selisih antara sinyal termodulasi dengan sinyal aktual. Hal ini sesuai dengan tujuan sistem kendali, yaitu memperoleh sinyal aktual (yang diinginkan) yang selalu identik dengan sinyal yang ditetapkan. Semakin cepat respon sistem terhadap sinyal aktual dan semakin kecil kesalahan, maka semakin baik kinerja sistem kontrol yang diterapkan. Jika perbedaan antara nilai pengaturan dan nilai keluaran relatif besar, pengontrol yang baik harus dapat mengamati perbedaan ini agar dapat segera menghasilkan sinyal umpan balik untuk mengkoreksi proses kontrol (Arindya, 2017).



Gambar1. Diagram Alir Sistem control (Hadi, 2018)

2.2. Pengendali Proporsional

Pengendali proporsional digambarkan melalui pita proporsional, sedangkan konstanta proporsional (K_p) menunjukkan nilai faktor penguatan terhadap sinyal kesalahan. Hubungan antara pita proporsional (PB) dengan konstanta proporsional (K_p) ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\%$$

Dalam praktiknya, pengguna pengontrol proporsional harus memperhatikan aturan berikut:

1. Jika nilai K_p kecil, pengontrol proporsional hanya dapat melakukan koreksi kesalahan kecil, yang akan menyebabkan respon menjadi lambat.
2. Jika nilai K_p dinaikkan, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai keadaan tunak.
3. Jika nilai K_p ditingkatkan hingga mencapai nilai yang berlebihan, akan menyebabkan sistem bekerja dengan tidak stabil atau respon sistem akan berosilasi (Arindya, 2017).

2.3. Pengendali Integral

Pengendali Integral bekerja untuk menghasilkan respons sistem yang bebas kesalahan kondisi tunak. Jika pengaturan tidak memiliki elemen integral ($1/s$), pengontrol proporsional tidak akan dapat menjamin keluaran sistem bebas dari kesalahan kondisi tunak. Kontroler integral memiliki karakteristik yang sama dengan integral. Keluaran pengontrol sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Output dari pengontrol ini adalah jumlah kontinu dari perubahan inputnya. Jika sinyal kesalahan tetap tidak berubah, output akan tetap dalam keadaan yang sama sebelum input berubah. Keluaran kontroler membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga kontroler integral cenderung memperlambat respon.

1. Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran kontroler akan bertahan pada nilai sebelumnya.
2. Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_i .
3. Konstanta integral K_i yang bernilai besar akan mempercepat hilangnya *offset*. Tetapi semakin besar nilai konstanta K_i akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran kontroler (Arindya, 2017).

2.4. Pengendali Derivatif

Ciri-ciri pengontrol diferensial adalah sebagai berikut:

1. Kontroler ini tidak dapat menghasilkan output jika inputnya tidak berubah (sebagai sinyal kesalahan).
2. Jika sinyal kesalahan berubah dengan waktu, keluaran yang dihasilkan oleh pengontrol tergantung pada nilai K_d dan laju perubahan sinyal kesalahan.
3. Pengendali diferensial memiliki karakter mendahului, sehingga dapat melakukan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Akibatnya, pengontrol diferensial dapat mengantisipasi kegagalan, mengambil tindakan korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.

Berdasarkan karakteristiknya pengontrol diferensial sering digunakan untuk mempercepat respons awal sistem, tetapi tidak untuk mengurangi kesalahan keadaan tunak. Kerja pengendali diferensial hanya efektif sampai batas tertentu, yaitu pada masa transisi. Oleh karena itu, pengendali diferensial tidak boleh digunakan tanpa pengendali lain dalam sebuah sistem (Arindya, 2017).

2.5. Pengendalian PID

Setiap kelebihan dan kekurangan masing-masing pengontrol P, I dan D dapat ditutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi pengontrol diferensial, integral, proporsional (kontroler PID). Elemen pengontrol P, I, dan D masing-masing bertujuan untuk mempercepat respons sistem, menghilangkan latensi (*offset*), dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Keluaran pengendali PID merupakan penjumlahan keluaran pengendali proporsional dan keluaran pengendali terintegrasi. Karakteristik dari kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi penting dari tiga parameter P, I dan D. Penyetingan konstanta K_p , K_i dan K_d akan menyebabkan penonjolan karakter dari salah satu elemen. Satu atau dua dari tiga konstanta dapat disting untuk dominan dari yang lain. Konstanta yang dominan tersebut akan berkontribusi pada respons keseluruhan sistem. Dalam penerapannya, kontroler PID dapat didefinisikan dengan P untuk gain (pertambahan/peningkatan), I untuk *reset*, dan D untuk *rate* (laju/kecepatan) (Arindya, 2017).

2.6. Fungsi Alih

Dalam mempelajari sifat dari suatu sistem, perlu dilakukan pendefinisian sistem, hal ini diperoleh dengan memodelkannya secara matematis dari sifat-sifat komponennya. Dari hasil model ini diperoleh fungsi transfer. Dengan model fungsi transfer ini, dimungkinkan untuk mengetahui sifat respons sistem terhadap input yang berbeda. Berdasarkan pengetahuan

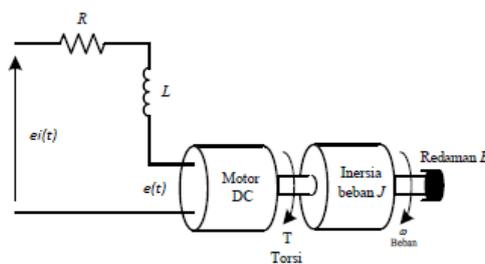
tentang sifat sistem, tindakan atau perbaikan yang tepat dapat ditentukan agar sistem berfungsi sebagaimana yang diharapkan dalam perancangan sistem kendali(Fahmizal et al., 2015).

2.7. Motor DC

Motor didefinisikan sebagai perangkat yang mampu mengubah energi listrik menjadi torsi disebabkan adanya arus yang mengalir melalui belitan jangkar. Motor DC membutuhkan sumber tegangan arus searah dari kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor DC disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika kumparan jangkar berputar dalam medan magnet, beda potensial (ggl) berubah arah setiap setengah putaran, sehingga menghasilkan tegangan arus bolak-balik(Anthoinete P.Y.Waroh, 2014).

Prinsip kerja motor DC adalah arah garis medan magnet rotor selalu tetap pada posisi yang berlawanan dengan arah garis medan magnet stator. Ini berasal dari sifat magnet bahwa jika magnet yang berlawanan didekatkan, mereka akan menarik satu sama lain. Magnet dengan arah yang sama akan saling tolak menolak. Pada motor DC, luas kumparan yang dialiri arus listrik menghasilkan medan magnet yang mengelilingi lilitan jangkar dengan arah tertentu. Perubahan energi listrik menjadi energi mekanik (motor) atau sebaliknya berlangsung melalui medan magnet. Dengan demikian, medan magnet merupakan tempat penyimpanan energi sekaligus tempat terjadinya transformasi energi(Anthoinete P.Y.Waroh, 2014).

Bagian utama dari motor DC terdiri dari aktuator (bagian yang selalu berputar) dan stator (bagian yang diam). Stator sebagai tempat kumparan medan (*field winding*), dan rotor adalah tempat kumparan jangkar (*armature winding*)(Waloyo, 2012). Motor DC dapat dimodelkan dengan kombinasi struktur listrik dan mekanik. Perangkat listrik adalah model rangkaian dari belitan jangkar, yaitu hambatan seri dengan total impedansi belitan jangkar. Mekanisme mekanik adalah momen inersia pada rotor dan beban serta gesekan yang disebabkan oleh gerak mekanik (Salamena, 2004).



Gambar2. Model Motor DC(Salamena, 2004)

Hukum yang digunakan dalam sistem motor dc adalah hukum Kirchoff II (sistem elektrik) dan hukum Newton II (gerak rotasi).

2.8. Hukum Kirchoff II

$$e_i(t) = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + e(t) \quad (1)$$

Persamaan gaya gerak listrik

$$e(t) = Ke\phi \frac{60}{2\pi} \omega(t) \quad (2)$$

$e(t)$ = tegangan induksi yang tergantung putaran sudut $\omega(t)$ =kecepatan sudut rotor (rad/s)

ϕ = fluks magnet kutub motor (Wb)

Ke = konstanta dimensi motor

$\frac{60}{2\pi} \omega(t)$ =putaran motor(rpm)

kutub motor adalah magnet permanen sehingga diperoleh fluks magnet kutub motor bernilai konstan (ϕ =konstan), sehingga persamaan disusun menjadi,

$$e(t) = K_e \omega(t) \quad (3)$$

$$e(t) = Ke\omega t = Ke \frac{d\theta}{dt} \quad (4)$$

Selanjutnya disubstitusikan persamaan (4) ke persamaan (1) sehingga diperoleh persamaan pada struktur listrik motor dc,

$$ei(t) = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + Ke \frac{d\theta}{dt} \quad (5)$$

2.9. Hukum Newton II

$$T(t) = J \frac{d^2\theta}{dt} + B \frac{d\theta}{dt} \quad (6)$$

Persamaan torsi motor

$$T(t) = Kti(t) \quad (7)$$

Sehingga diperoleh,

$$Kti(t) = T(t) = J \frac{d^2\theta}{dt} + B \frac{d\theta}{dt} \quad (8)$$

2.10. Transformasi Laplace

Melalui transformasi Laplace diperoleh,

$$ei(s) = L \frac{di(s)}{dt} + Ri(s) + Ke \frac{d\theta}{dt} \quad (5)$$

$$ei(s) = LsI(s) + RI(s) + K_e s\theta(s) \quad (9)$$

$$I(s) = \frac{ei(s) - K_e s\theta(s)}{Ls + R} \quad (10)$$

Persamaan (8)

$$Kti(t) = J \frac{d^2\theta t}{dt} + B \frac{d\theta t}{dt} \quad (8)$$

$$Kti(s) = Js^2\theta s + Bs\theta s \quad (11)$$

Untuk memperoleh fungsi alih keseluruhan motor DC disubstitusikan persamaan (10) dan (11)

$$Kt \frac{ei(s) - Ke s\theta(s)}{Ls + R} = Js^2\theta s + Bs\theta s \quad (12)$$

Diperoleh fungsi alih,

$$\frac{\theta(s)}{ei(s)} = \frac{Kt}{LJs^3 + (RJ + LB)s^2 + (RB + KtKe)s} \quad (13)$$

Pada umumnya induktansi dari kumparan jangkar motor (L) bernilai sangat kecil sehingga nilainya dapat diabaikan[3]. Jika nilai L diabaikan maka persamaan dapat disederhanakan menjadi,

$$\frac{\theta(s)}{ei(s)} = \frac{Kt}{RJs + RB + KtKe} \quad (14)$$

2.11. Scilab dan Xcos

Scilab adalah perangkat lunak lisensi terbuka yang digunakan untuk menyelesaikan masalah komputasi numerik dan visualisasi data. (Anam, 2020). Awalnya, pengembang aplikasi ini adalah INRIA dan ENPC, tetapi sekarang pengembangan perangkat lunak ini menjadi milik perusahaan Scilab. Software berlisensi GNU GPL ini sangat mirip dengan MATLAB Simulink karena juga memiliki fungsi *block programming* yaitu xcos (Priambodo & Sony, 2019). Perangkat lunak SCILAB menunjukkan bahwa ia dapat digunakan untuk merancang dan menganalisis sistem kontrol yang kuat untuk kondisi dunia nyata. SCILAB banyak digunakan di berbagai bidang teknik, termasuk kontrol stabilitas instrumen, pengujian stabilitas sayap, optimasi algoritma (Alamsyah, 2018).

2.12. Analisa Kestabilan Sistem

Hal yang sangat penting dalam perancangan sistem kendali adalah masalah kestabilan sistem. Tujuan terpenting dalam analisis dan desain kontrol adalah menciptakan sistem yang stabil. Suatu sistem dikatakan stabil jika tercipta kondisi dimana respon sistem tersebut terbatas jika juga menerima masukan sistem yang terbatas. limit disini berarti nilai maksimumnya terbatas, misal $f(t) = A \sin t$, maka nilai maksimum $f(t)$ tidak akan melebihi A (terbatas pada A) (Ikhwanudin et al., 2017).

2.13. Metode Routh-Hurwitz

Kriteria kestabilan Routh-Hurwitz merupakan kriteria yang menyatakan kestabilan absolut suatu sistem kontrol. Dimana pada kestabilan Routh-Hurwitz mencari ada atau

tidaknya akar-akar dari persamaan karakteristik pada sistem kontrol yang terletak pada sisi sebelah kanan sumbu imajiner(Ikhwanudin et al., 2017).

Persamaan karakteristik orde n

$$a_0S^n + a_1S^{n-1} + \dots + a_{n-1}S + a_n = 0 \tag{15}$$

s^n	a_0	a_2	a_4	a_6	\dots	0
s^{n-1}	a_1	a_3	a_5	a_7	\dots	0
s^{n-2}	b_1	b_2	b_3			
s^{n-3}	c_1	c_2	c_3			
\vdots	\vdots					
s^1	\vdots					
s^0	h_1					

→ deret Routh

Gambar3. Matrik routh aray(Ikhwanudin et al., 2017)

Dimana,

$$b1 = \frac{a1a2-a0a3}{a1} \tag{16}$$

$$b2 = \frac{a1a4-a0a5}{a1} \tag{17}$$

$$b3 = \frac{a1a6-a0a7}{a1} \tag{18}$$

sampai nol, kemudian

$$c1 = \frac{b1a3-a1b2}{b1} \tag{19}$$

$$c2 = \frac{b1a5-a1b3}{b1} \tag{20}$$

dihitung hingga semua koefisien didapat kemudian membentuk matrik setengah piramida terbalik. Persyaratan stabilitas dari analisis Routh-Hurwitz adalah bahwa semua koefisien pada kolom pertama dari deret Routh bernilai positif. Jika satu atau lebih dari koefisien ini negatif maka sistem tidak stabil. Banyaknya akar bilangan bulat positif dari persamaan karakteristik sebanding dengan banyaknya tanda yang berubah (dari positif ke negatif atau sebaliknya) pada kolom pertama tersebut(Ikhwanudin et al., 2017). Pemodelan merupakan langkah awal untuk mendapatkan nilai kontrol yang sesuai dalam sistem kontrol loop tertutup. Dengan merepresentasikan bentuk matematis pada setiap blok dari sistem yang ingin dikontrol, dapat diperoleh nilai matematis dari keseluruhan sistem sehingga dapat ditemukan nilai yang tepat untuk sistem kontrol loop tertutup tersebut(Arif, 2015).

Proses perancangan sistem kendali pintu otomatis darurat bus diawali dengan pemilihan komponen kendali yang sesuai dengan kebutuhan perakitan komponen tersebut. Selanjutnya mikrokontroler diprogram dengan menggunakan arduino software (IDE), apabila pergerakan motor DC sudah sesuai dengan set point maka komponen kontrol dirakit dengan miniatur pintu darurat. Langkah terakhir adalah menguji sistem. Sebelum melakukan analisa kestabilan sistem kontrol pintu darurat bus terlebih dahulu dibuat persamaan sistem kontrol

dalam bentuk *transfer function*, kemudian dilakukan analisa kestabilan sistem kontrol dengan metode Routh-Hurwitz. Selanjutnya mengevaluasi sistem kontrol pintu darurat bus dengan memberi input berupa *step response*, sehingga didapatkan *peak time*, *settling time*, *rise time*, dan *persentase overshoot*(Ikhwanudin et al., 2017).

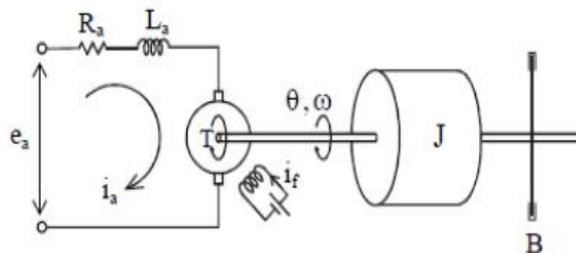
2.14. Mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan pada sistem adalah Arduino Uno yang beroperasi pada tegangan 5 Volt. Berdasarkan tegangan operasi diberikan model matematis atau transfer function dengan nilai gain 5.

2.15. Driver motor DC

Motor dc *driver* berfungsi untuk mengendalikan motor dc agar dapat bekerja. *Driver* motor dc bekerja sebagai saklar *on-off*. Komponen utama dari *driver* adalah dua buah transistor C945 dan 2 buah *relay*. arus akan tersuplai ke salah satu kutub motor DC apabila transistor dalam kondisi on (mengalirkan arus dari kolektor ke emitor) atau memberikan logika 1 sehingga *relay* menghubungkan salah satu kutub motor dc dengan tegangan 12V, sedangkan kutub motor lain tetap terhubung dengan ground, dan mengakibatkan motor bekerja. Berdasarkan cara kerja tersebut maka *driver* motor dc diberikan nilai 1.

2.16. Pemodelan Motor DC



Gambar4. Diagram Skematik Motor DC[3]

- L_a = Induktansi kumparan jangkar
- R_a = Resistansi kumparan jangkar
- I_a = Arus kumparan jangkar
- I_f = Arus medan
- θ = Perpindahan sudut dari poros motor
- ω = Kecepatan sudut dari poros motor
- e_a = Tegangan kumparan jangkar
- e_{gl} = Tegangan gaya gerak listrik balik
- J = Momen inersia ekivalen dari motor dan beban pada poros motor
- K = Koefisien gesekan viskos dari motor dan beban pada poros motor

Pengaturan kecepatan pada motor DC melalui penguatan medan menggunakan magnet permanen dilakukan dengan mengatur tegangan pada kumparan jangkar. Karena medan magnet dihasilkan oleh magnet permanen, maka kekuatan medan magnet bernilai

konstan(Fahmizal et al., 2015). Pada bagian elektrik motor dc terdapat resistansi dan induktansi, sedangkan bagian mekanik terdapat momen inersia, torsi, dan koefisien gesek.

Melalui persamaan (13) atau (14)

$$\frac{\theta(s)}{ei(s)} = \frac{Kt}{LJs^3 + (RJ + LB)s^2 + (RB + KtKe)s}$$

Dengan nilai parameter sesuai spesifikasi motor dc yang dipilih:

Induktansi (L) = 10mH

Resistansi (R) = 5 Ω

Total Inersia (J) = 3 kg.m²

Friction (B) = 0.1 N.m/rad/s

Konstanta torque (Kt) = 0.065 V/rad/s

Konstanta tegangan (Ke) = 0.065 N.m/A

Diperoleh fungsi alih motor dc dalam bentuk sistem orde 3,

$$\frac{\theta(s)}{ei(s)} = \frac{0.065}{0.03s^3 + 15s^2 + 0.5s}$$

2.17. Rasio Gear

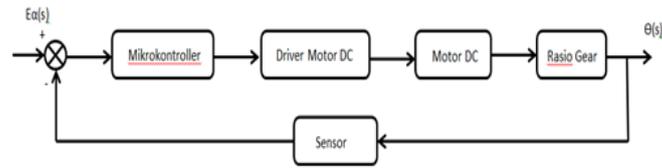
Motor dc yang digunakan mempunyai gearbox dengan rasio 4:1. Sedangkan rantai dan gear memiliki perbandingan 1:1. Berdasarkan data tersebut maka fungsi alih ratio gear bernilai 4.

2.18. Sensor Suhu LM35 dan Sensor Tekanan

Sensor suhu LM35 berperan sebagai feedback dalam rangkaian sistem. IC LM35 bekerja dengan memberikan input 5 volt kepada sistem jika tegangan yang disensor telah mencapai suhu 40°C, sehingga fungsi alihnya bernilai 1. Demikian juga dengan sensor tekanan yang dirancang dari push button. Pada saat sensor menerima tekanan maka akan memberikan nilai 5 volt, sehingga fungsi alihnya bernilai 1.

2.19. Pemodelan Matematis Sistem Kontrol

Kinerja sistem kendali dapat dilihat dengan mengamati respon sistem saat menerima masukan langkah seperti pada Gambar 7. Dengan mengamati respon langkah dapat diketahui *settling time*, *rise time*, *persentase overshoot*, serta *steady state error* dari sistem(Amalia et al., n.d.). *Settling time* (Ts) merupakan waktu yang dibutuhkan oleh keluaran untuk mencapai persentase nilai tertentu (antara 2% atau 5%) dari nilai akhir keluaran. *Rise time* (Tr) merupakan waktu yang dibutuhkan oleh respon sistem untuk naik dari 10% menjadi 90% dari nilai akhir. Persentase *overshoot* merupakan nilai pada kondisi *peak level* lebih tinggi dari nilai *steady state*. *Steady state error* merupakan perbedaan antara keluaran *steady state* yang dihasilkan dengan keluaran yang diinginkan(Amalia et al., n.d.). Gambar sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Blok Diagram Sistem

Fungsi transfer dari sistem dengan umpan balik dari sensor suhu dan sensor tekanan dapat dituliskan dengan,

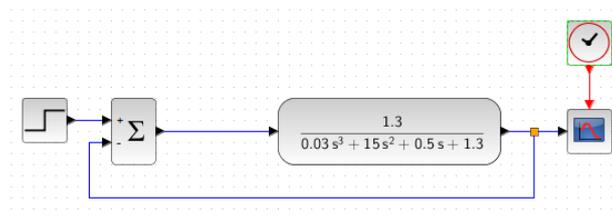
$$\frac{\theta(s)}{ei(s)} = \frac{ABCD}{1 + ABCD}$$

A = Mikrokontroler bernilai 5, B = Driver motor bernilai 1,

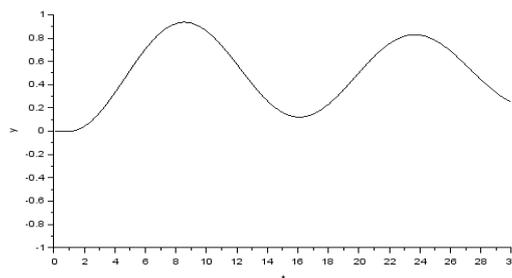
C = motor DC bernilai $\frac{0.065}{0.03s^3 + 15s^2 + 0.5s}$, D = rasio gear bernilai 4, dan E=sensor bernilai 1, setelah semua koefisien dimasukkan diperoleh fungsi alih keseluruhan sebesar,

$$\frac{\theta(s)}{ei(s)} = \frac{1.3}{0.03s^3 + 15s^2 + 0.5s + 1.3}$$

Melalui Scilab dan Xcos disimulasikan fungsi alih tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar6. Fungsi alih sistem melalui Scilab



Gambar7. Grafik respon sistem tanpa pengendali PID

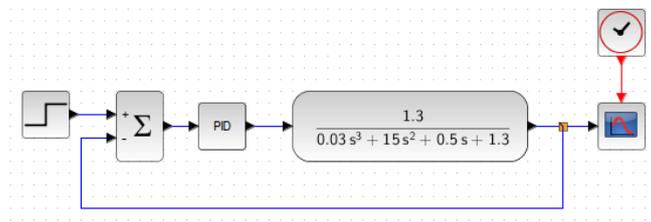
Langkah-langkah dalam uji pemodelan kontrol PID adalah sebagai berikut:

1. Buka Xcos pada tools Scilab dan rangkai blok *step function*, *continuous transfer function*, *clock*, dan *cscope*.

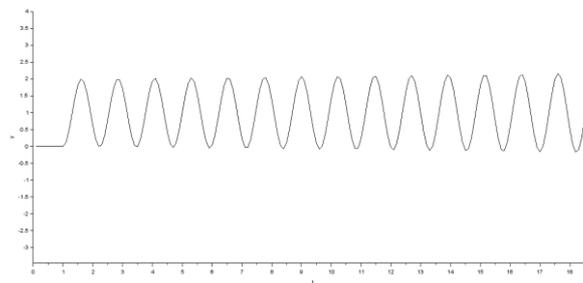
2. Masukkan fungsi alih yang telah diperoleh dari proses pemodelan matematis kedalam blok *continuous transfer function*. Jalankan program dan amati respon sistem dan tentukan apa saja yang ingin ditingkatkan.
3. Tambahkan blok *PID*, lalu lakukan *tuning P-Control* untuk meningkatkan *rise time*, tambahkan *D-Control* untuk mengurangi *overshoot*.
4. Tambahkan *I-Control* untuk mengurangi *error steady state*
Seimbangkan nilai setiap K_p , K_i , dan K_d untuk mendapatkan keseluruhan respon sistem yang diinginkan (respon sistem yang stabil).

3. Hasil dan Pembahasan

Melalui Xcos pada Scilab blok diagram sistem alih ditambahkan blok control *PID*, selanjutnya diberikan uji parameter *P*, *I*, dan *D* kemudian *PI*, *PD*, dan *PID* untuk mengetahui respon dari sistem.

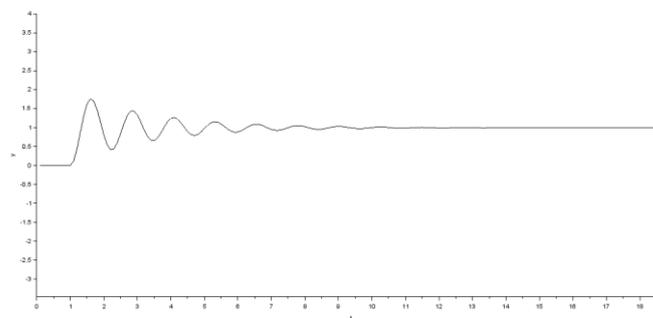


Gambar 8. Diagram blok simulasi sistem dengan *PID*



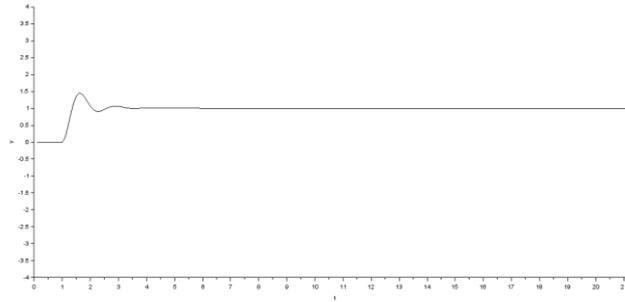
Gambar 9. Hasil tuning *PID* dengan nilai

$K_p=300$, $K_i=0$, $K_d=0$



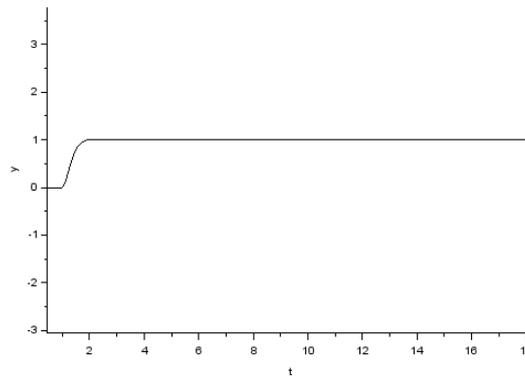
Gambar10. Hasil tuning *PID* dengan nilai

$K_p=300$, $K_i=0$, $K_d=10$



Gambar 11. Hasil tuning PID dengan nilai

$K_p=350, K_i=300, K_d=50$



Gambar 12. Hasil tuning PID dengan nilai

$K_p=300, K_i=2, K_d=100$

Hasil analisa kestabilan sistem melalui metode Routh-Hurwitz adalah sebagai berikut,

$$\frac{\theta(s)}{ei(s)} = \frac{1.3}{0.03s^3 + 15s^2 + 0.5s + 1.3}$$

S3	0.03	0.5
S2	15	1.3
S1	a1	0
S0	a0	

Berdasarkan ketentuan pada persamaan (16), (17), (18), (19), dan (20), diperoleh,

$$a1 = 0.4974$$

$$a0 = 1.3$$

sehingga matrik dapat disusun menjadi,

S3	0.03	0.5
S2	15	1.3
S1	0.4974	0
S0	1.3	

Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa hasil pada kolom pertama tidak terjadi perubahan tanda (semua positif), maka sistem kontrol pintu darurat bus dapat dikatakan stabil.



Gambar 13. Miniatur pintu darurat bus otomatis.

4. Simpulan

semakin besar nilai K_p maka sistem akan semakin sensitif. Jika nilai K_i mempunyai harga yang besar maka reaksi pengendali akan semakin cepat dan semakin sensitif. Pengendali diferensial mempunyai sifat yang tidak dapat mengeluarkan output jika tidak terdapat perubahan input. Nilai output berbanding lurus dengan nilai K_d , semakin besar nilai K_d maka akan semakin besar pula nilai output yang dihasilkan. Parameter K_p , K_i , K_d pada respon pengendalian yang menggunakan PID adalah saling melengkapi dalam mengatasi kekurangan pada tiap pengendali P, I, dan D. Unsur P, I, dan D masing-masing berguna untuk mempercepat reaksi sistem, menghilangkan offset, dan mendapatkan energi ekstra pada saat awal perubahan load atau set point. Penentuan konstanta PID pada sistem diperoleh secara trial dan eror melalui tools scilab. Tujuan pemanfaatan simulasi melalui komputasi adalah untuk mempersingkat waktu dalam proses tuning guna menemukan nilai konstanta yang stabil bagi sistem. Metode Routh Hurwitz menunjukkan sistem telah bekerja secara stabil melalui pengamatan dari nilai negatif pada matrik. Selanjutnya untuk pembahasan dalam perancangan sistem kendali pintu darurat bus yang dapat dikembangkan yaitu analisa kesalahan sistem dan metode tempat kedudukan akar (TKA).

Daftar Rujukan

- Alamsyah, F. A. (2018). Penggunaan xcos sebagai alternatif perangkat lunak berbayar untuk simulasi sistem massa-pegas-peredam. 18(2), 95-100.
- Amalia, L., Murti, M. A., & Susanto, E. (n.d.). Kendali kecepatan motor dc berbasis jaringan data menggunakan regulator lqg.
- Anam, K. (2020). Implementasi metode numerik pada rangkaian listrik menggunakan scilab. Jurnal Penelitian, 5(1), 59-67. <https://doi.org/10.46491/jp.v5e1.487.59-67>

- Anthoinete P.Y.Waroh. (2014). Analisa dan simulasi sistem pengendali motor dc. *Jurnal Ilmiah Sains*, 14(2), 80.
- Arif, M. F. (2015). Sistem kontrol kecepatan motor dc d-6759 berbasis arduino mega 2560. *Mahasiswa TUEB*, 3(2015), 1-6.
- Arindya, R. (2017). Penalaan kendali pid untuk pengendali proses. *Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana*, 8(2), 109-116.
- Fahmizal, Sulistyowati, N., & Arrofiq, M. (2015). Rancang bangun modul praktikum teknik kendali dengan studi kasus pada identifikasi sistem motor=dc berbasis arduino-simulink matlab. 1-5.
- Hadi, N. (2018). Analisis repetitive control untuk rejection multiple periodical disturbances dengan menggunakan scilab xcos.
- Ikhwanudin, H. A., Sampurno, & Suhardjono. (2017). Design of 2-axis flexible fixture control system based on microcontroller. 133-137.
- Priambodo, A. S., & Sony, A. (2019). Studi komparasi simulasi sistem kendali pid pada matlab, gnu, octave, scilab, dan spyder. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 4(2), 169-175. <https://doi.org/10.21831/elinvo.v4i2.28347>
- Salamena, V. (2004). Simulasi karakteristik arus dan kecepatan motor dc terhadap masukan penyearah gelombang penuh di simulink-matlab. *Teknologi*, 9(1), 1012.
- Waloyo, H. T. (2012). Peningkatan efisiensi penggunaan daya pada sistem mobil listrik berpengerak motor dc dengan menggunakan logika kabur (fuzzy logic).