

# Desain dan Simulasi Kendali PID Kecepatan Motor Mesin Sentrifugasi

Rahmawati<sup>1\*</sup>, Arief Mardiyanto<sup>2</sup>, Siti Amra<sup>3</sup>, Muhammad Kamal<sup>4</sup>, Jenne Syarif<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

<sup>5</sup>Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe

\*Koresponden email: rahmawati.gunawan@gmail.com

Diterima: 13 Februari 2024

Disetujui: 20 April 2024

## Abstract

Centrifugal machines perform centrifugation by rapidly spinning materials using a motor. This study aims to identify the optimal control parameters ( $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$ ) for maintaining the stability of centrifugal machine operations using PID control. The transfer function of the centrifugation motor was obtained using the System Identification Tool (SIT) in Matlab. The transfer function was obtained by measuring several variations in the input and output of the centrifuge machine motor. The PID parameters were determined using the Ziegler-Nichols method, resulting in the following values:  $k_p=18$ ,  $k_d=12$ ,  $k_i=6.3$ . The performance of the PID control system was tested and the results were as expected: overshoot = 9%, rise time = 3.87 seconds, and steady-state error = 2%. The system identification approach successfully determined the PID parameters and control performance to meet the desired motor requirements.

**Keywords:** *PID controller, motor, centrifugation, Ziegler Nichols, control system performance*

## Abstrak

Mesin sentrifugal melakukan proses sentrifugasi dengan memutar bahan pada kecepatan tinggi menggunakan motor. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter pengendalian  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  yang optimal untuk menjaga stabilitas operasi mesin sentrifugal dengan menggunakan kendali PID. *Transfer function* motor sentrifugasi diperoleh dengan menggunakan System Identification Tool (SIT) pada Matlab. *Transfer function* diperoleh melalui pengukuran beberapa variasi input dan output motor mesin sentrifugasi. Penyetelan parameter PID dilakukan dengan metode Ziegler-Nichols, menghasilkan nilai  $k_p=18$ ,  $k_d=12$ ,  $k_i=6.3$ . Pengujian kinerja sistem kendali PID sesuai yang diharapkan yaitu overshoot = 9%, rise time = 3,87 detik, error steady state = 2%. Pendekatan identifikasi sistem telah berhasil dalam menentukan parameter PID dan kinerja kendali memenuhi kebutuhan motor yang diinginkan.

**Kata kunci:** *kendali PID, motor, sentrifugasi, Ziegler Nichols, kinerja sistem kendali*

## 1. Pendahuluan

Kendali Proportional-Integral-Derivative (PID) banyak digunakan dalam berbagai industri, termasuk mesin sentrifugal produksi Virgin Coconut Oil (VCO). Mesin sentrifugal melakukan proses sentrifugasi dengan memutar bahan pada kecepatan tinggi menggunakan motor. Proses sentrifugal untuk memisahkan blondo dengan minyak pada kecepatan 1400rpm selama 20 menit [1]. Kecepatan sentrifugasi yang tepat sangat penting untuk mencapai hasil yang optimal dan menghindari kerusakan pada mesin. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mendapatkan parameter penguatan sistem kendali PID ( $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$ ). Sistem kendali PID ini diharapkan membantu menjaga stabilitas operasi mesin sentrifugasi dalam menghadapi variasi beban atau gangguan eksternal yang dapat mempengaruhi kinerja sistem.

Dalam penelitian ini, kendali PID dipilih karena kesederhanaan, kemampuan adaptasi, dan keandalannya dalam berbagai aplikasi. Kendali PID memberikan kinerja kendali yang dapat meningkatkan kestabilan [2]. Kendali PID bekerja dengan mekanisme umpan balik untuk mengoreksi kesalahan antara set point dengan nilai sebenarnya di mana keunggulan kendali proporsional dapat mempercepat rise time, kendali integral dapat memperkecil kesalahan (error) serta kendali derivative dapat mengurangi overshoot atau undershoot [3].

Prinsip dasar dalam mengatur input kendali PID pada mesin sentrifugasi berdasarkan nilai error yang diperoleh dengan mengukur kecepatan putaran mesin menggunakan sensor kecepatan, kemudian membandingkannya dengan set point kecepatan yang diberikan. Melalui perbandingan ini, kendali PID dapat menghasilkan tindakan koreksi yang sesuai untuk mengatur kecepatan putaran mesin agar mendekati atau mencapai nilai set point. Dengan cara ini, sistem kendali dapat secara otomatis menyesuaikan input yang diberikan ke mesin sentrifugasi untuk memastikan bahwa kecepatan putaran mesin tetap stabil dan sesuai dengan kebutuhan operasional yang ditentukan.

Kendali PID berfungsi untuk menjaga variabel proses pada nilai yang diinginkan atau set point dengan memodifikasi sinyal kendali yang diterapkan pada sistem. Kendali PID untuk mengatur kecepatan putaran mesin sentrifugasi agar tetap stabil dengan error dan overshoot pada batas yang disyaratkan. *Transfer function* motor sentrifugasi adalah komponen penting dalam desain kendali PID karena itu memberikan pemahaman yang mendalam tentang karakteristik dinamis motor dan cara motor merespons perubahan input. Untuk mengoptimalkan kendali PID, parameter PID harus ditentukan dengan benar. *Transfer function* membantu dalam penentuan parameter PID dengan menganalisis respons sistem terhadap variasi parameter kendali. Model matematika ini dapat meramalkan bagaimana sistem akan merespons terhadap perubahan input tertentu tanpa harus menguji sistem fisik secara langsung. Hal ini dapat menghemat waktu dan sumber daya.

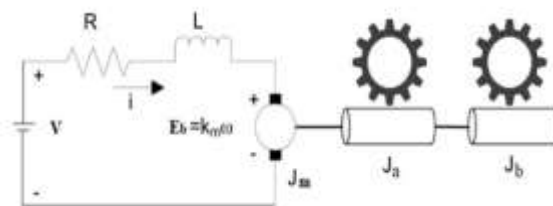
Metode penyetelan adalah strategi untuk menentukan nilai-nilai parameter PID ( $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$ ). Ketiga parameter PID tersebut diperoleh melalui perhitungan matematis dalam metode PID konvensional atau melalui proses penalaan *trial and error*. Nilai  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  diberikan secara berulang pada sistem, dan respons sistem diamati hingga bentuk respons yang diinginkan tercapai. Kendala muncul khususnya ketika sistem yang dikendalikan memiliki orde yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan metode penyetelan PID yang dapat diaplikasikan pada sistem-sistem dengan orde yang tinggi.

Metode Ziegler-Nichols merupakan salah satu pendekatan yang populer digunakan untuk menentukan parameter PID karena kepraktisannya. Metode ini menyediakan cara yang cukup cepat dan mudah untuk mengatur parameter kendali PID, terutama saat pengetahuan awal tentang sistem terbatas. Pendekatan ini melibatkan pengukuran respons sistem terhadap perubahan input tertentu, tanpa memerlukan pemahaman mendalam tentang model matematis sistem. Ziegler-Nichols memanfaatkan osilasi sistem dan nilai-nilai tetapan parameter yang telah ditentukan secara empiris [4], [5]. Namun demikian diperlukan penyesuaian lebih lanjut untuk memastikan kendali yang stabil dan optimal agar memberikan respon yang lebih baik.

## 2. Metode Penelitian

### Model Matematika Motor DC

Model matematika dari motor DC menggabungkan aspek-aspek listrik dan mekanik. Komponen listrik melibatkan rangkaian listrik dari belitan armatur, yang mencakup tahanan yang terhubung secara seri dengan impedansi belitan armatur. Motor DC sendiri terdiri dari elemen-elemen elektronik dan mekanik. Struktur mekanik mencakup momen inersia rotor, beban yang diberikan, dan gesekan yang timbul akibat pergerakan mekanik [6]. Skema rangkaian untuk model motor DC dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Model motor DC [6]

Dari analisis rangkaian listrik, dapat diturunkan persamaan tegangan berdasarkan hukum Kirchhoff tegangan, yang dinyatakan sebagai Persamaan 1.

$$v_s(t) = R i_a(t) + L \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t) \quad (1)$$

dengan

R: resistansi belitan armatur (ohm),

L: induktansi belitan armatur (H),

$i_a(t)$ : arus armatur (A),

$e_b(t)$ : tegangan induksi di belitan armatur pada waktu t (V),

$v_s(t)$ : tegangan terminal motor pada waktu t (V).

$e_b(t)$ : tegangan induksi yang bergantung pada sudut putaran  $w(t)$  (Persamaan 2).

$$e_b(t) = k_1 \phi \frac{60}{2\pi} w(t) \quad (2)$$

di mana:

$k_1$ : konstanta dimensi motor,

$\phi$ : fluks magnet kutub motor (wb),

$\frac{60}{2\pi} w(t)$ : putaran rotor (rpm)

$w(t)$ : kecepatan sudut rotor (rad/s).

Model matematis motor direpresentasikan sebagai fungsi transfer antara masukan tegangan  $V_s(s)$  dan keluaran arus armature  $I_a(s)$  (Persamaan 3).

$$\frac{I_a(s)}{V_s(s)} = \frac{J_s + B}{JLs^2 + (BL + JR)s + BR + K^2} \quad (3)$$

### Kendali PID

Penggunaan kendali PID pada mesin sentrifugasi dapat mengatur kecepatan putaran yang stabil dan akurat, sehingga dapat meminimalkan kemungkinan terjadinya kerusakan pada mesin atau produk yang sedang diproses. Variabel proses dan setpoint dalam kendali PID harus ditentukan terlebih dahulu untuk perancangan sistem pengendalinya. Variabel proses adalah parameter sistem yang dikendalikan seperti suhu, tekanan, atau laju aliran, dan setpoint adalah nilai yang diinginkan untuk parameter yang dikendalikan. Pengendali PID menentukan nilai keluaran pengendali, seperti daya pemanas atau posisi katup. PID controller membandingkan setpoint (SP) terhadap variabel proses (PV) untuk menentukan error ( $e$ ). Kendali PID terdiri dari kendali proposional, integral dan derivatif. PID controller menghitung aksi pengendali  $u(t)$ , dengan  $k_p$  adalah penguatan pengendali,  $T_i$  adalah *integral time* disebut juga *reset time*, dan  $T_d$  adalah *derivative time* disebut juga *rate time* [7]. Formula aksi proporsional, integral dan derivatif ditunjukkan pada Persamaan 4.

Proporsional (P):  $u_p(t) = k_p e(t)$

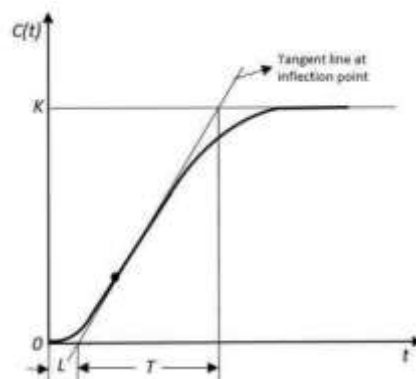
Integral (I):  $u_i(t) = k_i \int_0^t e(t) dt$

Derivatif (D):  $u_d(t) = k_d \frac{d_e(t)}{dt}$

PID:  $u(t) = k_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{d_e(t)}{dt} \right) \quad (4)$

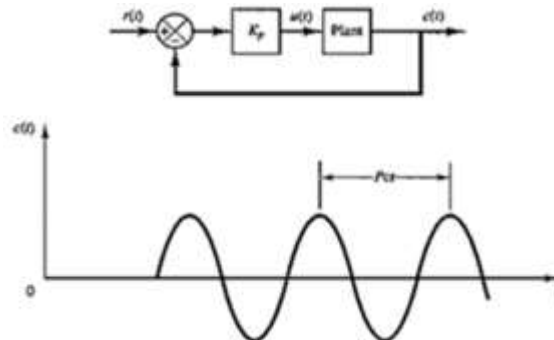
Metode penalaan Ziegler-Nichols memiliki dua pendekatan:

- 1) Metode pertama berdasarkan respon sistem terhadap masukan step dalam loop terbuka. Sistem tanpa integrator menghasilkan kurva tanggapan seperti huruf S (**Gambar 2**). Kurva ini digunakan untuk mencari waktu tunda  $L$  dan konstanta waktu  $T$ . Parameter ini digunakan untuk menentukan parameter PID berdasarkan tetapan empiris Ziegler-Nichols. Nilai  $T_i$  dan  $T_d$  dikonversi menjadi  $k_i$  dan  $k_d$ . Formula parameter pengendali PID menggunakan metode kurva dapat ditemukan dalam **Tabel 1**.
- 2) Metode kedua, penalaan dilakukan dalam sistem kendali proporsional tertutup saja. Nilai  $k_p$  dinaikkan dari nol hingga mencapai nilai yang menghasilkan osilasi yang konsisten dengan amplitudo yang sama. Nilai  $k_p$  yang menyebabkan osilasi tersebut disebut sebagai penguatan kritis ( $K_{cr}$ ). Periode kritis ( $P_{cr}$ ) saat  $K_{cr}$  ditunjukkan pada **Gambar 3**.



**Gambar 2.** Kurva tanggapan sistem yang berbentuk S [8]

Pengaturan koefisien pengendali PID menggunakan metode penyetelan aturan Ziegler–Nichols. Penyetelan kendali adalah proses pemilihan parameter kendali untuk memenuhi spesifikasi kinerja sistem yang dikendalikan. Dalam penyetelan kendali PID Ziegler-Nichols, parameter kendali diatur berdasarkan nilai yang menghasilkan osilasi stabil pertama kali saat hanya menggunakan kendali pro porsional. Nilai  $K_{cr}$  dan  $P_{cr}$  digunakan untuk menghitung nilai parameter  $k_p$ ,  $\tau_i$ , dan  $\tau_d$  (**Tabel 1**).



**Gambar 3.** Osilasi pada amplitudo konsisten

**Tabel 1.** Penalaan Ziegler-Nichols kendali PID

Pendekatan	$k_p$	$\tau_i$	$\tau_d$
Metode 1	$1.2 \times \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$
Metode 2	$0.6 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

### Metode Penelitian

Metode penelitian ditunjukkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Bagan penelitian

No.	Tahapan	Tujuan	Metode
1.	Pengambilan data input dan output motor	Menghasilkan model matematik (transfer function) motor mesin sentrifugasi pembuatan VCO.	PWM regulator Tachometer
2.	Melakukan perhitungan perbandingan output terhadap input motor		System Identification Tool pada Matlab
3.	Merancang sistem kendali PID menggunakan metode Zigler Nichols	Mendapatkan parameter penguatan sistem kendali PID ( $K_p$ , $K_i$ , $K_d$ ).	Zigler Nichols

### 3. Hasil dan Pembahasan

Dalam proses sentrifugasi, kecepatan putaran yang tidak stabil dapat mempengaruhi kualitas produk dari proses tersebut. Kendali PID berperan penting dalam menjaga variabel proses pada nilai yang diinginkan (set point), dengan mengubah sinyal kendali yang diberikan pada sistem.

#### Model Matematik (Transfer Function) Motor Sentrifugasi

Desain sistem kontrol dimulai dengan pembuatan blok diagram sistem, yang mencakup transfer function dan dianalisis menggunakan berbagai aksi pengontrolan. Perancang melakukan perubahan pada sinyal input untuk mengamati respons sistem terhadap input tertentu. Kombinasi antara sinyal input dan jenis aksi pengontrolan menghasilkan respons yang beragam. Proses pertama dalam merancang sistem kendali melibatkan perolehan transfer function sistem dalam domain s (Laplace Transform). Proses ini sering dianggap rumit dan memakan waktu. Identifikasi sistem adalah metode untuk menentukan model matematis dari suatu sistem dinamis berdasarkan pengukuran data. Data dikumpulkan secara langsung dengan mengaktifkan motor pada berbagai nilai PWM. Inputnya adalah nilai PWM, sementara outputnya adalah kecepatan motor (rpm).

Salah satu metode untuk mengatur kecepatan motor adalah melalui modulasi lebar pulsa (PWM). PWM digunakan dalam kendali kecepatan motor untuk mengubah tegangan masukan menjadi pulsa-pulsa. Ini adalah teknik yang memanipulasi lebar pulsa dalam gelombang dengan amplitudo dan frekuensi yang tetap. Persentase waktu di mana sinyal PWM tetap dalam kondisi TINGGI disebut sebagai duty cycle

(siklus kerja). Siklus kerja 100% menunjukkan sinyal selalu dalam kondisi ON, sedangkan 0% duty cycle menunjukkan sinyal selalu dalam kondisi mati.

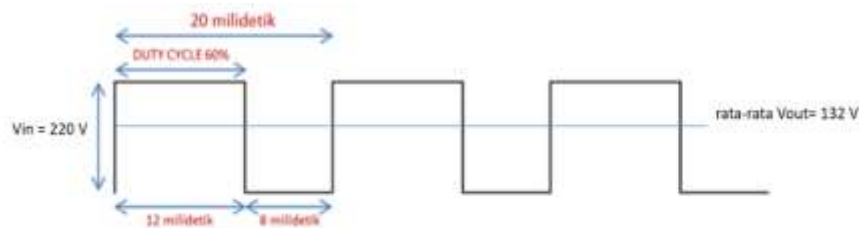
$$\text{Duty Cycle} = t_{\text{ON}} / (t_{\text{ON}} + t_{\text{OFF}})$$

$$= t_{\text{ON}} / t_{\text{total}}$$

Dalam konteks PWM:

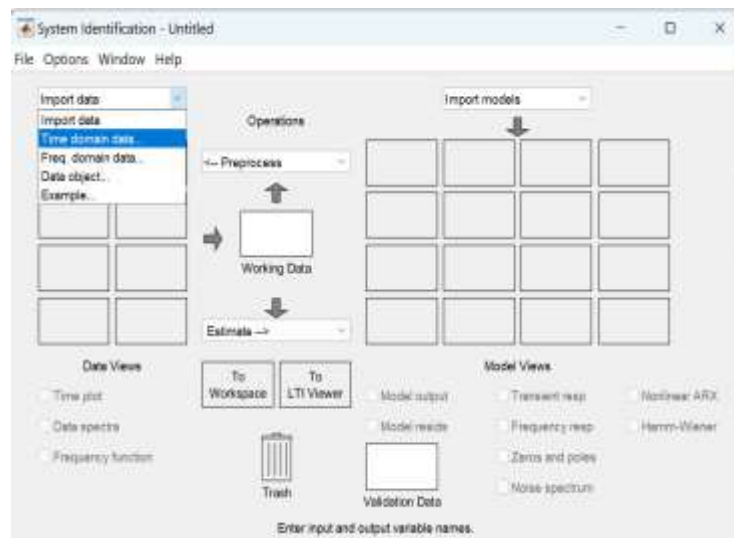
$t_{\text{ON}}$  adalah waktu saat tegangan keluaran berada pada posisi tinggi (high atau 1).  $t_{\text{OFF}}$  adalah waktu saat tegangan keluaran berada pada posisi rendah (low atau 0).  $t_{\text{total}}$  adalah waktu satu siklus atau jumlah dari  $t_{\text{ON}}$  dan  $t_{\text{OFF}}$  (periode satu gelombang). Data input dan output disimpan dalam workspace Matlab (“datamotor”). Data input dimulai dari nilai PWM pada duty cycle 60% yang ditandai dengan mulai Bergeraknya motor hingga mencapai nilai PWM 100%.

Diberikannya *duty cycle* 60%, tegangan masukan 220 V, frekuensi 50Hz (periode waktu adalah 20 milidetik). Sehingga waktu on ( $t_{\text{ON}}$ ) adalah 12 milidetik, waktu off ( $t_{\text{OFF}}$ ) adalah 8 milidetik dan tegangan Output ( $V_{\text{out}}$ ) adalah sebesar 132 V. Hasil ini direpresentasikan dalam grafik pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Tegangan keluaran PWM

Dalam metode digital, setiap perubahan pada PWM dipengaruhi oleh resolusi PWM. PWM digital 8 bit memiliki resolusi  $2^8=256$  yang berarti nilai keluaran PWM memiliki 256 variasi (dari 0 hingga 255) yang mewakili duty cycle dari 0% hingga 100%. Misalnya, untuk duty cycle 0%, 60%, 75%, dan 100%, nilai-nilai digitalnya adalah 0, 153, 191, dan 255 secara berurutan. Selanjutnya, data input dan output motor diolah menggunakan Matlab. Dalam penelitian ini untuk mendapatkan *transfer function* dilakukan dengan bantuan tool *system identification* Matlab ditunjukkan pada **Gambar 5**.



**Gambar 5.** System Identification Tool pada Simulink Matlab

Data dari workspace (datamotor) diambil, di mana kolom 1 digunakan sebagai input data PWM (% duty cycle), sementara kolom 2 menjadi data output kecepatan putaran (PWM), sebagaimana terlihat pada Gambar 6. Langkah awal adalah memproses data yang akan dimanfaatkan untuk simulasi. Dalam *System Identification Toolbox*, terdapat opsi *Preprocessing Data*. Pada **Gambar 6**, dilakukan proses penghapusan

rata-rata (remove means) yang ditunjukkan dengan grafik berwarna hijau, dengan tujuan menghilangkan nilai rata-rata dari data sehingga menjadi nol.

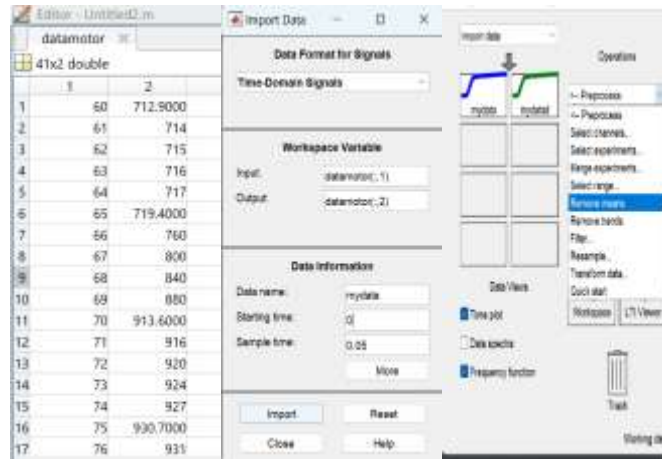
Perintah import data di Sistem Identifikasi Toolbox adalah:

data = iddata (output,input,Ts)

Output mendefinisikan keluaran dan input adalah masukan data yang diukur, sedangkan Ts mendefinisikan waktu sampling. Matrik input dan output memiliki bentuk berikut:

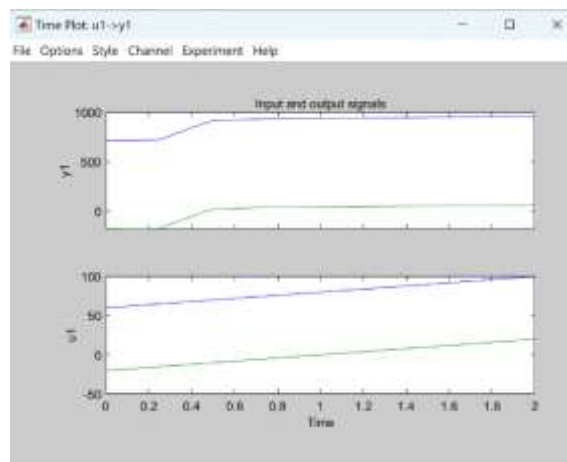
[output] = [n]x[k]

[input] = [n]x[1]



**Gambar 6.** Proses import data

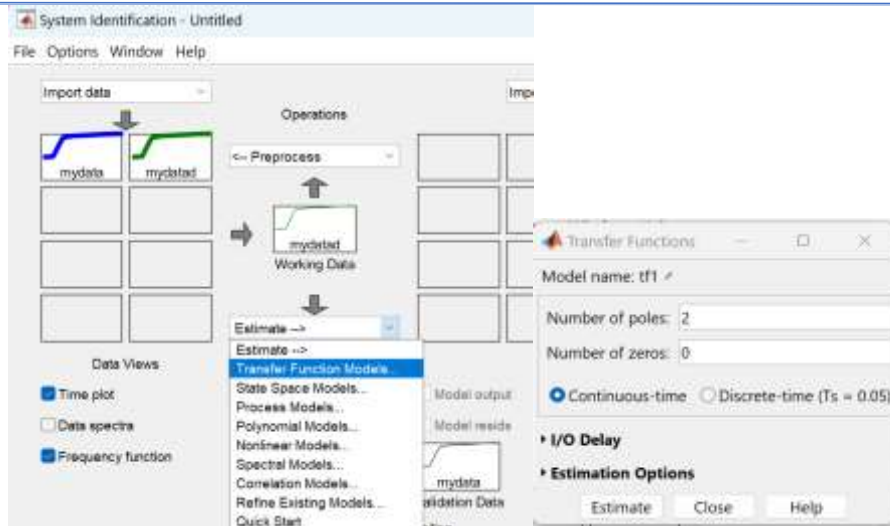
Sinyal input (u1) dan output (y1) data kecepatan motor ditampilkan melalui sistem Identifikasi Toolbox ditunjukkan pada **Gambar 7**.



**Gambar 7.** Input output data kecepatan motor

Estimasi transfer function orde dua dilakukan dengan mengambil poles adalah dua dan zero nol (**Gambar 8**).

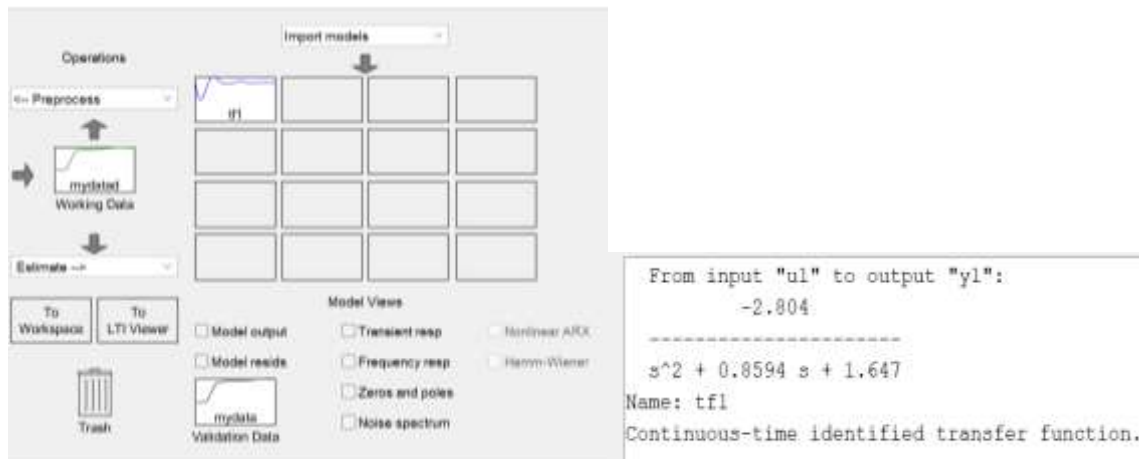




Gambar 8. Estimasi transfer function orde dua

Selanjutnya untuk mendapatkan transfer function motor, klik pada import models tf1 (Gambar 9). Transfer function motor pada orde dua:

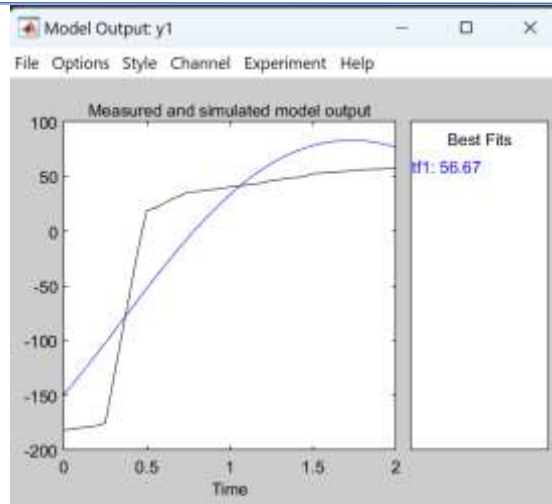
$$TF \text{ motor} = \frac{2.804}{s^2 + 0.8594s + 1.647}$$



Gambar 9. Transfer function motor kecepatan sentrifugasi

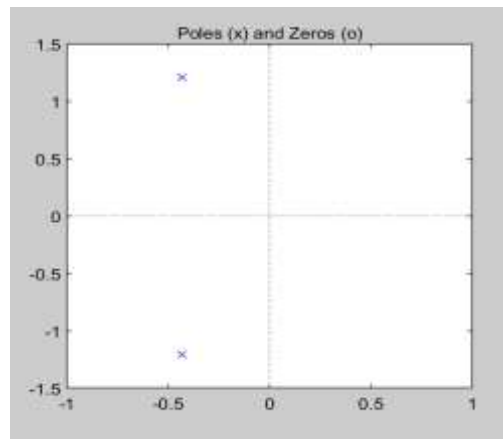
Model matematika motor ini digunakan sebagai model plant dalam mendesain sistem kendali PID. Identifikasi parameter untuk sistem dinamis dan didasarkan pada data masukan dan keluaran menggunakan *System Identification Toolbox* (SIT) dapat menemukan parameter optimal dari suatu *fungsi transfer*, namun bagian ini mempunyai kelemahan yaitu dapat menimbulkan akar kompleks yang tidak diinginkan [9].

Pada Gambar 10, terdapat perbandingan antara output estimasi dan data pengukuran. Model output dari hasil simulasi SIT ditampilkan dengan warna biru, sementara data eksperimen ditampilkan dengan warna hitam. Grafik berwarna hitam merupakan model dari data eksperimen yang digunakan untuk memvalidasi hasil simulasi. Garis biru mewakili model simulasi motor dengan 2 poles dan 0 zeros (tf1). Grafik tf1 memiliki nilai kesesuaian terbaik (Best Fits) sebesar 56,67%, yang mengindikasikan bahwa data hasil simulasi memiliki kesalahan sebesar 43,33% terhadap data eksperimen.



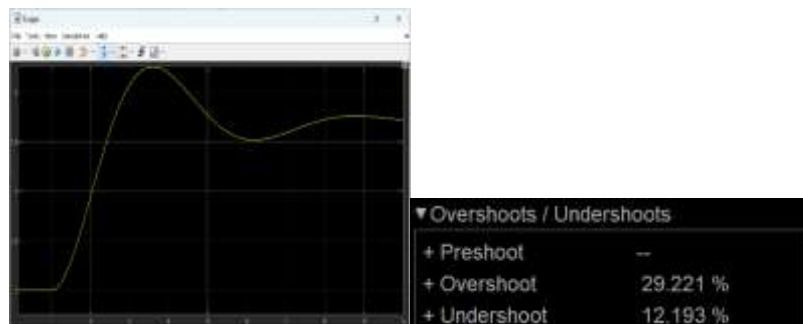
Gambar 10. Perbandingan nilai output estimasi dengan data pengukuran

Dari *transfer function* sistem menunjukkan bahwa sistem stabil yang ditunjukkan pada Gambar 11 s-plane pole dan zero. Sistem dinyatakan stabil karena semua pole-nya terletak pada *left half plane*.



Gambar 11. s-plane pole dan zero

Respon sistem motor dengan input step amplitude 1 ditunjukkan pada Gambar 12. Respon menunjukkan sistem stabil, tetapi amplitude di bawah nilai input step.



Gambar 12. Respon sistem terhadap input step

### Desain Sistem Kendali PID metode Ziegler Nichols

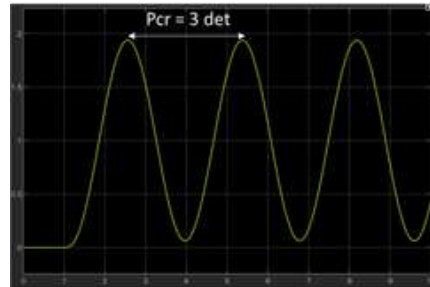
Pada PID Controller, terdapat tiga parameter yang membentuk kendali, yaitu koefisien proporsional ( $k_p$ ), integral ( $\tau_i$ ), dan derivatif ( $\tau_d$ ). Penentuan nilai dari ketiga parameter ini dapat dilakukan melalui beberapa metode, termasuk penyetelan trial and error dan penyetelan Ziegler-Nichols. Penyetelan trial and error PID dapat diterapkan dengan memvariasikan nilai-nilai  $k_p$ ,  $\tau_i$ , dan  $\tau_d$  secara langsung, acak, dan berkelanjutan hingga nilai-nilai parameter yang sesuai dengan sistem yang diinginkan ditemukan [8]. Parameter PID tersebut akan memengaruhi kinerja dari kendali PID, di mana nilai  $k_p$  yang besar akan menghasilkan rise time yang cepat namun dapat menyebabkan overshoot. Overshoot dapat dikurangi



dengan menambahkan efek derivatif. Jika nilai  $k_p$  terlalu kecil, ini tidak akan menghasilkan overshoot tetapi akan menghasilkan error steady state ( $e_{ss}$ ). Untuk mengurangi  $e_{ss}$ , bagian integral dapat ditambahkan. Penentuan nilai optimal dari  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  dilakukan melalui proses penyetelan.

Penalaan Ziegler-Nichols metode osilasi:

- 1) Dalam langkah pertama, diberikan nilai  $k_p$ , sedangkan  $k_d$  dan  $k_i$  sama dengan nol. Kemudian, variasi diberikan pada nilai parameter  $k_p$  hingga mendapatkan respon sistem berupa osilasi dimana  $\tau_i$  bernilai tak terhingga dan  $\tau_d$  bernilai 0. Nilai  $k_p$  yang menyebabkan osilasi berkelanjutan, tidak membesar ataupun mengecil disebut kritikal stabil ( $K_{cr}$ ). Nilai  $k_p$  yang menghasilkan osilasi berkelanjutan adalah 30 (Gambar 13) disebut kritikal stabil, dengan demikian  $K_{cr} = 30$ .



Gambar 13. Respon dengan osilasi terus menerus

- 2) Nilai  $k_p$  yang yang diperoleh dari respons sistem yang menghasilkan osilasi disebut parameter kritis ( $K_{cr}$ ). Periode pada kondisi ini menjadi nilai periode kritis ( $P_{cr}$ ). Parameter  $k_p$ ,  $\tau_i$  dan  $\tau_d$  dicari menggunakan kedua nilai ini berdasarkan formula pada Tabel 1.

$$k_p = 0.6 K_{cr} = 18$$

$$\tau_i = 0.5 \times P_{cr} = 1.5$$

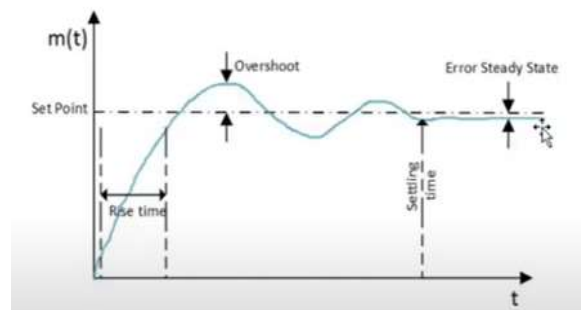
$$\tau_d = 0.125 P_{cr} = 0.35$$

$$k_i = \frac{k_p}{\tau_i} = \frac{18}{1.5} = 12$$

$$k_d = k_p \times \tau_d = 18 \times 0.35 = 6.3$$

### Analisis Kinerja Sistem Kendali PID

Pengujian kendali PID kecepatan motor dilakukan menggunakan Matlab. Parameter P, I, dan D memberikan efek kinerja kendali dengan P menambah kecepatan rise time, I menghilangkan steady state error, dan D meminimalkan overshoot. Grafik yang menggambarkan kinerja sistem kendali ditampilkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Kinerja sistem kendali

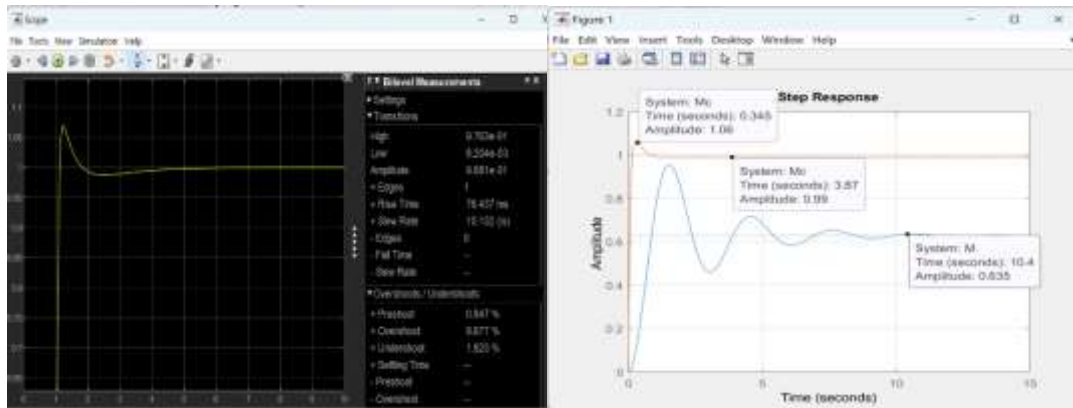
Pengujian sistem kendali dilakukan dengan persyaratan spesifikasi:

1. *Steady state error* di bawah 5%.
2. *Overshoot*  $\leq 10\%$
3. *Rise time*  $\leq 5$  detik.

Plant motor:

$$TF \text{ motor} = \frac{2.804}{s^2 + 0.8594s + 1.647}$$

Dari percobaan Tuning PID yang telah dilakukan menggunakan metode Ziegler Nicholes dengan nilai  $k_p=18$ ;  $k_i=12$  dan  $k_d=6.3$  kinerja sistem kendali direpresentasikan dalam bentuk grafik pada **Gambar 15**.



**Gambar 15.** Kinerja sistem kendali

Kendali PID dapat digunakan untuk menangani sistem tingkat tinggi dan penyetyelan dengan metode Ziegler–Nichols menghasilkan:

1. *Steady state error* = 2%.
2. *Overshoot* = 9.7%
3. *Rise time* = 3,87s

Hasil ini menunjukkan desain parameter PID mendapatkan respon yang baik karena telah memenuhi kondisi kinerja yang dipersyaratkan. Hasil ini sesuai dengan [8], [10], di mana metode Ziegler Nicholas memberikan 10% hingga 60% *overshoot* dan dapat digunakan ketika berhadapan dengan sistem dinamis non-kompleks yang memperlihatkan respons langkah berbentuk S atau respons osilasi berkelanjutan.

#### 4. Kesimpulan

Metode Ziegler-Nichols dapat memberikan estimasi awal yang baik untuk parameter kendali PID, namun sering kali memerlukan penyesuaian dan tuning lebih lanjut guna memastikan kendali yang optimal dan stabilitas sistem. Pengujian input dan output motor yang digunakan menghasilkan transfer function motor  $TF_{motor} = \frac{2.804}{s^2 + 0.8594s + 1.647}$ . Parameter sistem kendali PID berdasarkan metode Ziegler Nichols diperoleh  $k_p = 18$ ,  $k_d=12$ ,  $k_i=6.3$ . Pengujian kinerja sistem kendali PID sesuai yang diharapkan yaitu *overshoot* = 9%, *rise time* = 76 mdetik, *error steady state* = 2%. Dengan demikian, kendali motor DC menggunakan pendekatan pemodelan identifikasi sistem telah berhasil memberikan nilai kendali PID yang sesuai dengan spesifikasi motor yang diinginkan.

#### 5. Ucapan terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Lhokseumawe yang telah mendanai kegiatan ini selama 1 periode (tahun pelaksanaan 2023).

#### 6. Referensi

- [1] Rahmawati, E. Kurniasih, Indrawati, and Gunawan, "Implementasi Mesin Sentrifugasi Kendali PID Pembuatan VCO Untuk Meningkatkan Produktivitas di IRT VCO-COCOK," *J. Vokasi*, vol. 7, no. 1, pp. 107–114, 2023.
- [2] M. Aulia, P. Ali Topan, T. Andriani, and D. Maulidyawati, "Implementasi Sistem Kendali Proporsional Integral Derivatif (PID) pada Porototype Pendeteksi Brightness Cahaya Ruangan Implementation of Proportional Integral Derivative (PID) Control System in Room Brightness Detection Prototype," *J. Bumigora Inf. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 217–230, 2022, doi: 10.30812/bite.v4i2.2129.
- [3] M. Irhas, I. Ifitah, and S. A. Azizah Ilham, "Penggunaan Kontrol PID Dengan Berbagai Metode Untuk Analisis Pengaturan Kecepatan Motor Dc," *JFT J. Fis. dan Ter.*, vol. 7, no. 1, p. 78, 2020, doi: 10.24252/jft.v7i1.13846.
- [4] F. Suryatini and A. Firasanti, "Kendali P, PI, dan PID analog pada pengaturan kecepatan motor dc dengan penalaan ziegler-nichols," *JREC J. Electr. Electron.*, vol. 6, no. 1, pp. 65–80, 2018.

- [5] M. Diah Ika Putri, A. Ma'arif, and R. Dwi Puriyanto, "Pengendali Kecepatan Sudut Motor DC Menggunakan Kontrol PID dan Tuning Ziegler Nichols," *Techno (Jurnal Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Purwokerto)*, vol. 23, no. 1, 2022, doi: 10.30595/techno.v23i1.10773.
- [6] J. A. Prakosa, S. Suryadi, E. Kurniawan, and H. Adinanta, "Kajian Identifikasi Model Eksperimen pada Kontrol Kecepatan Motor DC," *J. Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 13, no. 1, pp. 27–35, 2021, doi: 10.5614/joki.2021.13.1.3.
- [7] R. P. Borase, D. K. Maghade, S. Y. Sondkar, and S. N. Pawar, "A review of PID control, tuning methods and applications," *Int. J. Dyn. Control*, vol. 9, no. 2, pp. 818–827, 2021, doi: 10.1007/s40435-020-00665-4.
- [8] V. V. Patel, "Ziegler–Nichols Tuning Method (Understanding the PID Controller)," *Resonance*, vol. 25, no. 10, pp. 1385–1397, 2020, doi: 10.1007/s12045-020-1058-z.
- [9] M. Jirgl, L. Obsilova, J. Boril, and R. Jalovecky, "Parameter identification for pilot behaviour model using the MATLAB system identification toolbox," *ICMT 2017 - 6th Int. Conf. Mil. Technol.*, pp. 582–587, 2017, doi: 10.1109/MILTECHS.2017.7988824.
- [10] A. Ma'arif, R. Istiarno, and S. Sunardi, "Kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID) pada Kecepatan Sudut Motor DC dengan Pemodelan Identifikasi Sistem dan Tuning," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 2, p. 374, 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i2.374.