

## Simulasi Metode PID Pada Motor Pengaduk Cairan NaCl Berbasis PLC

### *Simulation of PID Methods on PLC-based NaCl Liquid Mixer Motor*

**Ageng Rochmad Joko Purwoko\*<sup>1</sup>, Imam Sutrisno<sup>2</sup>, Lilik Subiyanto<sup>3</sup>, Isa Rachman<sup>4</sup>,  
Muhammad Khoirul Hasin<sup>5</sup>, Dwi Sasmita Aji Pambudi<sup>6</sup>**

<sup>1,2</sup>Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya; Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo,  
031-5947186

<sup>3</sup>Pogram Studi Teknik Otomasi, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal PPNS, Surabaya  
e-mail: [1agengpurwoko@student.ppns.ac.id](mailto:1agengpurwoko@student.ppns.ac.id), [2imam\\_sutrisno@ppns.ac.id](mailto:2imam_sutrisno@ppns.ac.id),  
[4isarachman@ppns.ac.id](mailto:4isarachman@ppns.ac.id), [5khoirul.hasin@ppns.ac.id](mailto:5khoirul.hasin@ppns.ac.id), [6dwi.sasmita@ppns.ac.id](mailto:6dwi.sasmita@ppns.ac.id)

#### **Abstrak**

*Motor AC semakin populer di industri karena kehandalan dan kemudahan pengendaliannya. Dia dapat digunakan pada mesin pencampur cairan yang membutuhkan proses pengadukan bahan secara teratur. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengontrol kecepatan motor AC dengan metode PID untuk memastikan bahwa putaran motor tetap stabil saat terjadi gangguan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penerapan parameter PID dengan  $K_p$  sebesar 4717,  $K_i$  sebesar 41059, dan  $K_d$  sebesar 0.136 menghasilkan nilai error sebesar 8,75%. Ini berbeda dengan sistem tanpa PID, yang memiliki nilai error 15.2%, dan hasil ini menunjukkan peningkatan kinerja sebesar 6,45%. Oleh karena itu, metode PID efektif dalam meningkatkan kinerja sistem pengadukan cairan berbasis PLC.*

**Kata kunci**— PID, PLC, Sistem Kendali, Motor AC, Pengaduk Cairan

#### **Abstract**

*AC motors are becoming increasingly popular in the industry due to their reliability and ease of control. It can be used in liquid mixing machines that require regular mixing of materials. The aim of this research is to control the speed of an AC motor using the PID method to ensure that the motor rotation remains stable when a disturbance occurs. The simulation results show that applying PID parameters with  $K_p$  of 4717,  $K_i$  of 41059, and  $K_d$  of 0.136 produces an error value of 8.75%. This is different from a system without PID, which has an error value of 15.2%, and these results show a performance increase of 6.45%. Therefore, the PID method is effective in improving the performance of PLC-based liquid stirring systems.*

**Keywords**— PID, PLC, Control System, AC Motor, Liquid Mixer

## 1. PENDAHULUAN

Air diperlukan untuk kegiatan industri agar kegiatan industri dapat berjalan dengan baik. Air yang digunakan untuk kegiatan industri harus memenuhi syarat dari segi kualitas dan kuantitas [1]. Kualitas air dapat ditentukan melalui pemeriksaan fisik, kimia, dan biologi karena merupakan sumber penting bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya di bumi[2]. Air yang digunakan untuk kegiatan industri, baik yang mengandung mineral maupun yang tidak mengandung mineral, sangat memengaruhi proses yang dilakukan[3]. Kandungan yang dimaksud adalah kadar hardness yaitu Mn, Mg, Ca, dan Fe maka dari itu diperlukan pengolahan air yang dapat mengurangi kandungan tersebut. Setiap industri, harus melakukan pengolahan air untuk pemisahan pengotor dan zat yang tidak diinginkan dari air[4]. Salah satu cara yang efektif untuk meningkatkan kualitas air adalah proses filterisasi water softener yaitu dengan bantuan natrium klorida (NaCl) dan resin kation softener. Dalam proses ini, natrium klorida dicampur dengan air untuk membuat larutan garam, yang kemudian digunakan dalam proses filtrasi bersama resin kation softener[5].

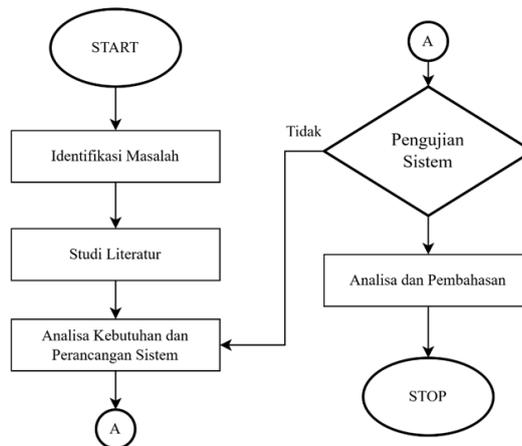
Didasarkan pada hal tersebut ini penulis ingin mengembangkan sebuah alat untuk proses pengadukan supaya dapat terkendali kecepatan putaran motor yang stabil. Alat ini dapat mengontrol kecepatan putaran motor untuk pencampuran larutan natrium klorida dengan air. Maka perlu untuk melakukan penelitian rangkaian kontrol dengan metode PID, yang akan mengatur kontrol kecepatan putaran motor AC pada alat pengaduk yang stabil. Pengendalian ini penting untuk memastikan bahwa garam dicampurkan secara merata dalam air, yang pada nantinya akan memaksimalkan kinerja resin kation softener selama proses filterisasi[6]. Pemilihan metode Proportional-Integral-Derivative (PID) untuk mengontrol kecepatan dan putaran pada motor pengaduk pada sistem ini didasarkan pada beberapa penelitian sebelumnya. [7] dalam jurnalnya yang berjudul "Mixing System Design for Automatic Coffee Maker Using OMRON PLC and PID Control" menunjukkan bahwa Perputaran motor pencampur kopi otomatis yang dikontrol dengan PID akan mengontrol putaran motor dengan stabil dan menjaga agar bahan yang diaduk tidak meluap dan tetap berada di dalam wadah[7].

Salah satu jenis motor listrik yang menggunakan induksi elektromagnetik adalah motor induksi satu fasa. Sumber energi listrik pada motor induksi terletak pada sisi stator. Sebaliknya, sistem kelistrikan pada sisi rotor diinduksi melalui media elektromagnetik pada celah udara stator. Motor induksi satu fasa terdiri dari dua bagian: stator dan rotor. Pada motor induksi, stator adalah bagian yang tidak bergerak, dan rotor adalah bagian yang bergerak yang bertumpu pada bantalan poros terhadap stator. Kumparan stator dan rotor berfungsi menghasilkan gaya gerak listrik akibat adanya arus bolak-balik satu fasa yang melewati kedua kumparan tersebut. Akibatnya terjadi interaksi akibat medan magnet antara stator dan rotor[8].

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Alur Penelitian

Terdapat beberapa tahapan yang perlu dilakukan agar penelitian ini dapat berjalan dengan baik. Adapun tahapan-tahapan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.



Gambar 1 Diagram Alur Penelitian

a. Identifikasi Masalah

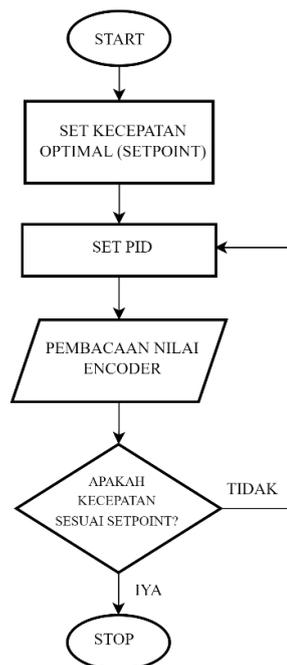
Masalah utama dalam penelitian ini adalah menjaga kecepatan motor pengaduk cairan garam (NaCl) agar tetap stabil pada kecepatan yang telah ditentukan. Pengadukan yang tidak stabil dapat membuat campuran tidak merata, yang akhirnya mempengaruhi kualitas produk. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan sistem kontrol yang efektif. Sistem kontrol PID yang dikendalikan oleh PLC dipilih karena dapat memberikan respons cepat dan stabil terhadap perubahan beban dan kondisi operasional.

b. Studi Literatur

Penelitian ini diawali dengan mempelajari teori-teori dan teknologi yang relevan. Teori kontrol PID menunjukkan bahwa metode ini sangat efektif dan banyak digunakan dalam industri. MATLAB digunakan untuk simulasi dan pemodelan sistem kontrol, sehingga parameter PID bisa diuji sebelum diterapkan pada perangkat keras. Prinsip kerja motor AC satu fasa dan peran rotary encoder dalam memberikan informasi kecepatan putar motor juga dipelajari. Selain itu, PLC (Programmable Logic Controller) dipelajari karena kemampuannya untuk mengotomatiskan proses industri dan mengimplementasikan algoritma kontrol PID.

c. Analisis Kebutuhan dan Perancangan Sistem

Berdasarkan masalah yang diidentifikasi dan literatur yang dipelajari, langkah-langkah perancangan sistem dilakukan sebagai berikut: pertama, menentukan kecepatan optimal untuk pengadukan cairan garam melalui eksperimen awal. Kedua, menyesuaikan parameter PID ( $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ ) menggunakan MATLAB untuk mendapatkan respons sistem yang diinginkan. Ketiga, memilih komponen utama seperti motor AC satu fasa, rotary encoder, dan PLC berdasarkan kebutuhan dan spesifikasi teknis. Keempat, merancang alur kontrol yang diimplementasikan pada PLC, yang mencakup pengaturan kecepatan, pembacaan nilai encoder, perbandingan kecepatan aktual dengan target, dan penyesuaian sinyal kontrol. Terakhir, mengembangkan program untuk PLC yang mengimplementasikan algoritma PID. Adapun diagram alir perancangan PID dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 2 Flowchart Pembacaan PID

#### d. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa kontrol PID yang diterapkan dapat menjaga kecepatan motor sesuai dengan yang diinginkan. Langkah-langkah pengujian meliputi: pertama, simulasi awal kontrol PID menggunakan MATLAB untuk memverifikasi bahwa parameter yang ditentukan memberikan respons yang stabil. Kedua, menerapkan algoritma PID pada PLC dan mengujinya dengan motor AC satu fasa dan rotary encoder. Ketiga, menguji respons sistem dengan berbagai target kecepatan dan kondisi beban untuk memastikan sistem dapat menyesuaikan kecepatan motor dengan cepat dan stabil. Keempat, mengamati dan mengukur kecepatan motor, lalu membandingkannya dengan target untuk mengevaluasi kinerja sistem kontrol PID.

#### e. Analisa dan Pembahasan

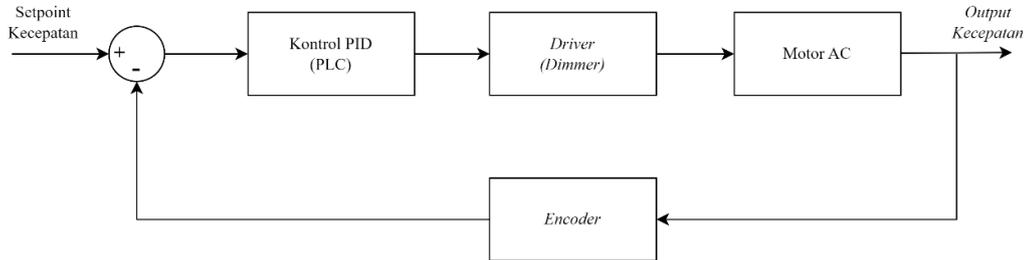
Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol PID berbasis PLC berhasil menjaga kecepatan motor pengaduk cairan garam sesuai dengan yang diinginkan. Data menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kecepatan motor dengan stabil tanpa overshoot yang signifikan, memberikan respons cepat terhadap perubahan target dan kondisi beban. Penggunaan rotary encoder terbukti efektif dalam memberikan data kecepatan yang akurat untuk pengendalian. Parameter PID yang diuji pada MATLAB memberikan hasil optimal ketika diterapkan pada PLC, menunjukkan pentingnya simulasi dalam perancangan sistem kontrol. Kesimpulannya, sistem kontrol PID berbasis PLC adalah solusi yang efektif untuk mengendalikan kecepatan motor pengaduk cairan garam, memastikan campuran tetap homogen dan kualitas produk konsisten.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Blok Diagram Sistem

---

Pada bagian ini akan menjelaskan alur dari diagram blok pada simulasi ini dapat dilihat pada Gambar berikut.

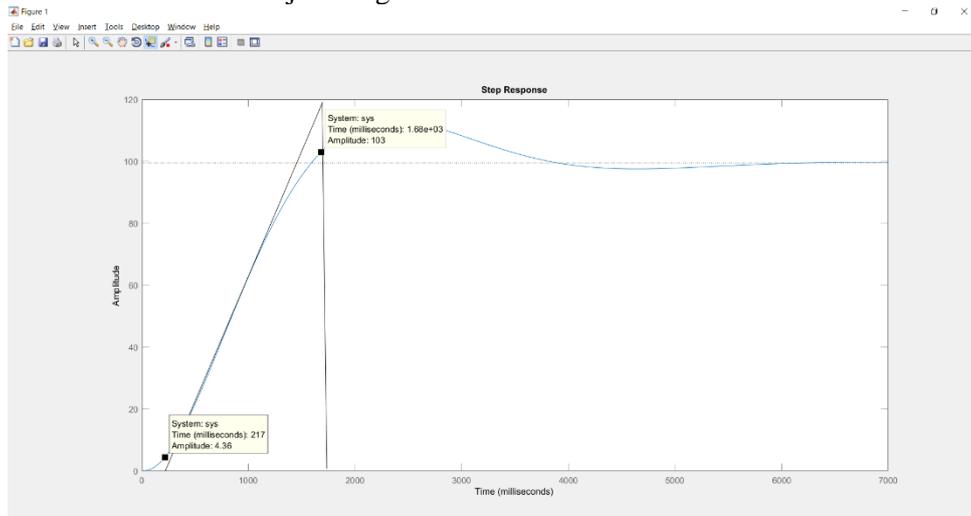


Gambar 3 Blok Diagram Sistem

Gambar diatas menjelaskan bahwa pada perancangan kontrol PID, terdiri dari blok kontrol PID yang berfungsi untuk mengatur putaran motor AC dengan membandingkan nilai RPM dari titik set dengan nilai RPM dari umpan balik sensor encoder. Selain itu, driver motor AC berfungsi untuk menyediakan arus listrik yang dibutuhkan motor untuk beroperasi. Selanjutnya, ada motor AC yang berfungsi sebagai aktuator pada alat pengadukan larutan NaCl.

### 3.2 Perancangan PID

Untuk menemukan nilai parameter awal PID untuk tanaman ini, perancangan PID dilakukan dengan menghitung data tanaman dan mengubahnya menjadi grafik open-loop sistem. Gambar berikut menunjukkan gambar tersebut.



Gambar 4 Grafik Respon Sistem

Pada grafik respons, nilai L adalah 4.36 detik dan nilai T adalah 103 detik. Setelah mengetahui nilai ini, kita dapat memulai perhitungan untuk menemukan nilai parameter PID awal dengan menggunakan rumus yang ada di Tabel. Perhitungan ini dijelaskan sebagai berikut.

- Proportional Gain (P)

$$K_p = \frac{T}{L} = \frac{103}{4,36} = 23,623$$

(1)

- Proportional and Integral Gain (PI)

$$K_p = 0.9 \frac{T}{L} = 0.9 \frac{103}{4,36} = 21,261 \quad (2)$$

$$T_i = \frac{L}{0.3} = \frac{4,36}{0.3} = 14,533 \quad (3)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{21,261}{14,533} = 1,462 \quad (4)$$

- Proportional, Integral and Derivative (PID)

$$K_p = 1.2 \frac{T}{L} = 1.2 \frac{103}{4,36} = 28,347 \quad (5)$$

$$T_i = 2L = 2 \times 4,36 = 8,72 \quad (6)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{28,347}{8,72} = 3,250 \quad (7)$$

$$T_d = 0.5L = 0.5 \times 4,36 = 2,180 \quad (8)$$

$$K_d = K_p T_d = 28,347 \times 2,180 = 61,796 \quad (9)$$

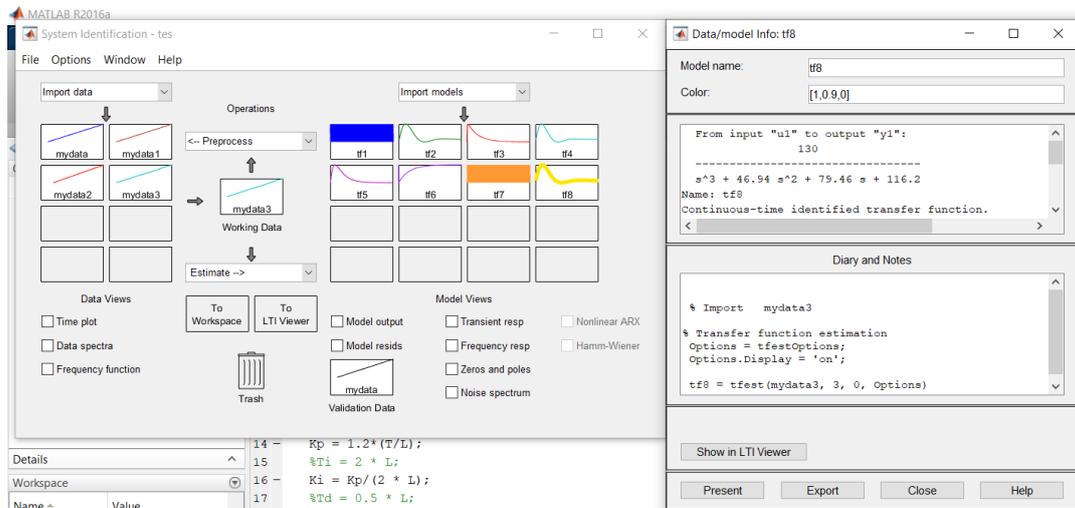
Hasil dari perhitungan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  menggunakan metode Ziegler-Nichols1 adalah sebagai berikut:  $K_p = 28,347$ ,  $K_i = 3,250$ , dan  $K_d = 61,796$ . Nilai-nilai parameter ini akan dimasukkan ke dalam blok PID pada Simulink untuk melihat respons langkah grafik.

Controller Parameters	
	Tuned
$K_p$	20.4153
$K_i$	21.1922
$K_d$	4.9167
$T_f$	n/a

Gambar 5 Hasil *Auto Tuning* Parameter

Berikut juga disajikan pencarian nilai konstanta gain menggunakan toolbox auto tuning dan mendapatkan hasil sebagai berikut:  $K_p = 20,4153$ ,  $K_i = 21,1922$ , dan  $K_d = 4,9167$ . Nilai-nilai parameter ini akan dimasukkan ke dalam blok PID pada Simulink untuk melihat respons langkah grafik.

Mendapatkan Transfer Function



Gambar 6 Hasil Transfer Function

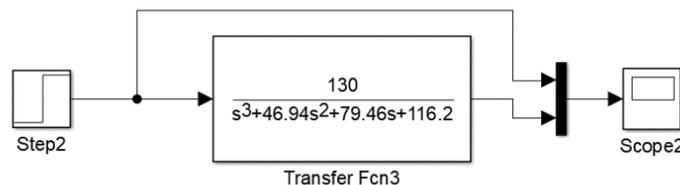
Hal pertama yang dilakukan adalah mengambil data dari hardware yang diuji. Data yang digunakan dalam simulasi ini didapatkan dari RPM motor AC yang diatur menggunakan nilai frekuensi, dimana semakin besar nilai frekuensi maka semakin cepat juga putaran RPM motor tersebut. Setelah didapatkan data tersebut dimasukan pada toolbox Matlab yaitu System Identification untuk mendapatkan nilai Transfer Function. Transfer Function itu digunakan untuk melakukan simulasi pada Matlab.

#### 4.2 Pengujian Simulasi Simulink

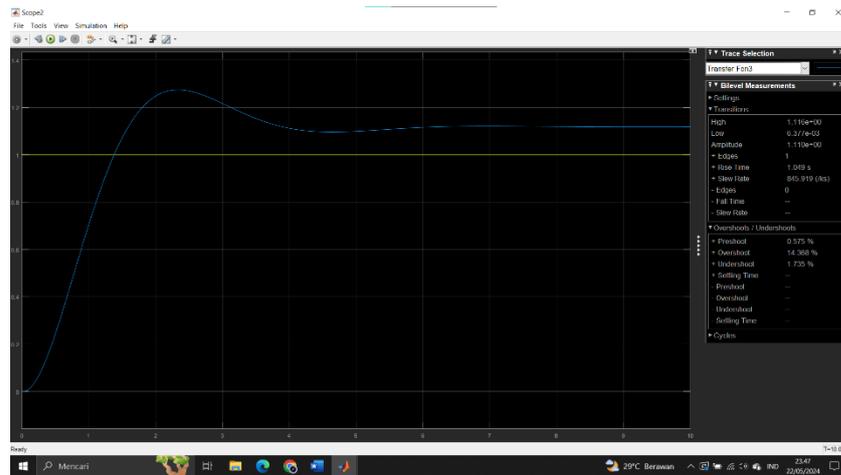
Pada sub-bab ini akan memaparkan hasil simulasi dari respon Open loop, Closed loop, PID Auto-tuning, dan PID dengan metode Zeigler Nichols.

##### 4.2.1 Step-Respon Open loop

Berikut blok function open loop untuk menguji Transfer Function yang didapat.



Gambar 7 Blok Diagram Open loop

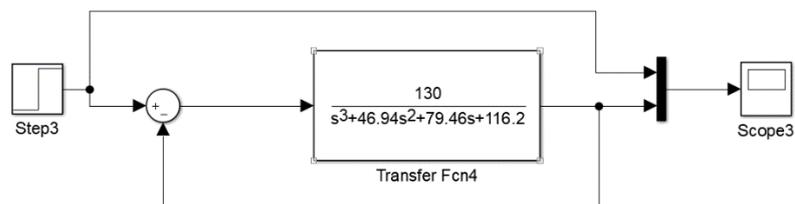


Gambar 8 Grafik Respon *Open loop*

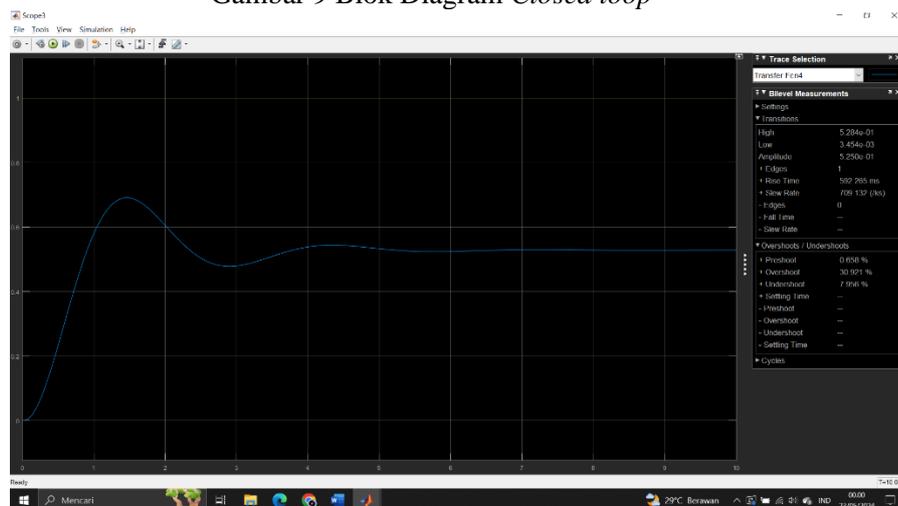
Gambar diatas merupakan hasil nilai Transfer Function yang sudah didapat dari System Identification, pada sub-bab nin menggunakan Step Respon Open loop yang langsung diuji tanpa metode PID. Disini terlihat bahwa sinyal masih mengalami overshoot sebesar 14,368% dan juga mengalami undershoot sebesar 1,735% serta mendapatkan nilai rise time selama 1,049s.

#### 4.2.1 Step-Respon Closed loop

Berikut blok function closed loop untuk menguji Transfer Function yang didapat.



Gambar 9 Blok Diagram *Closed loop*

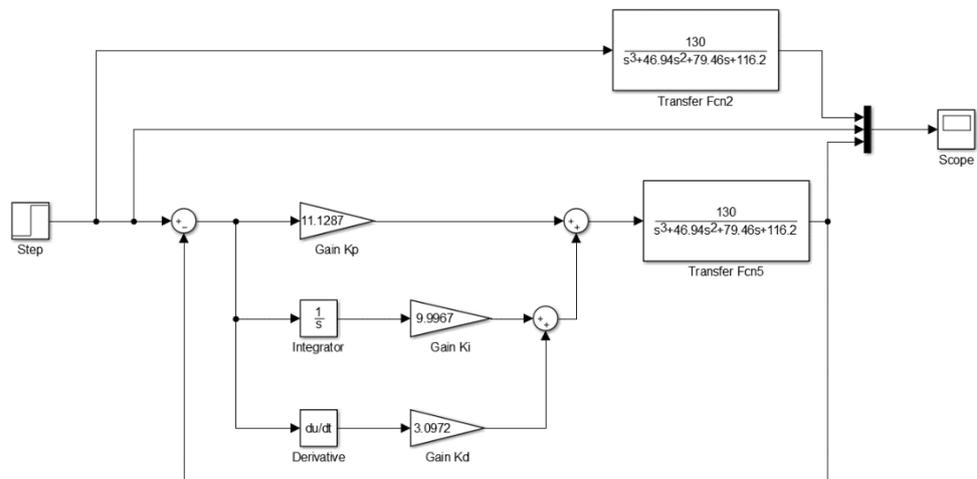


Gambar 10 Grafik Respon *Closed loop*

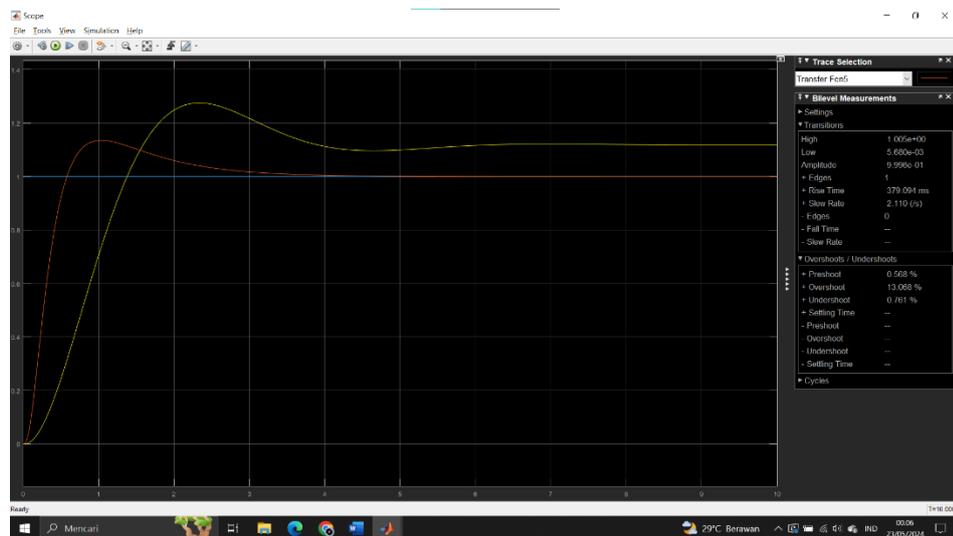
Gambar diatas merupakan hasil nilai Transfer Function yang sudah didapat dari System Identification, pada sub-bab nin menggunakan Step Respon Closed loop yang langsung diuji tanpa metode PID. Disini terlihat bahwa sinyal masih mengalami overshoot sebesar 30,921% dan juga mengalami undershoot sebesar 7,956% serta mendapatkan nilai rise time selama 592.265ms atau 0.592265s.

#### 4.2.2 Step-Respon dengan PID Zeigher Nichols

Berikut blok function PID Zeigher Nichols untuk menguji Transfer Function yang didapat.



Gambar 11 Blok Diagram PID Zeigher Nichols



Gambar 12 Grafik Respon PID Zeigher Nichols

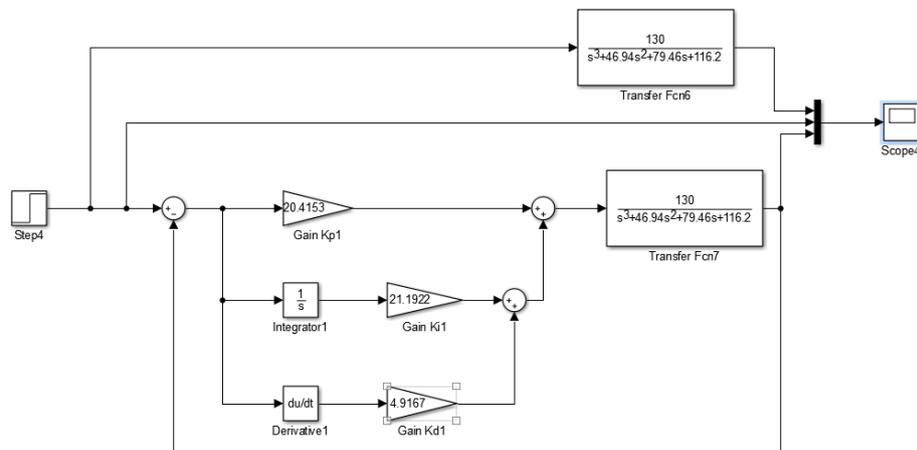
Gambar diatas merupakan hasil nilai Transfer Function yang sudah didapat dari System Identification, pada sub-bab nin menggunakan Step Respon PID Zeigher Nichols yang langsung diuji dan dibandingkan dengan non-PID. Disini terlihat bahwa sinyal masih mengalami

## Simulasi Metode PID Pada Motor Pengaduk Cairan NaCl Berbasis PLC

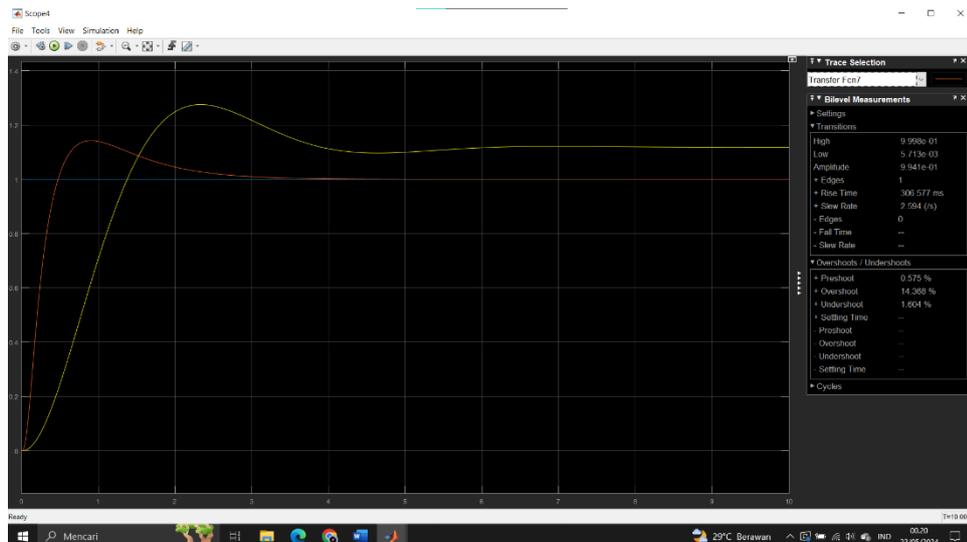
overshoot sebesar 13,068% dan juga mengalami undershoot sebesar 0,761% serta mendapatkan nilai rise time selama 379,094ms atau 0.379094s.

### 4.2.3 Step-Respon dengan PID Auto-Tuning

Berikut blok function PID Auto-Tuning untuk menguji Transfer Function yang didapat.



Gambar 13 Blok Diagram PID *Auto-Tuning*



Gambar 14 Grafik Hasil PID *Auto-Tuning*

Gambar diatas merupakan hasil nilai Transfer Function yang sudah didapat dari System Identification, pada sub-bab nin menggunakan Step Respon PID Auto-Tuning yang langsung diuji dan dibandingkan dengan non-PID. Disini terlihat bahwa sinyal masih mengalami overshoot sebesar 14,368% dan juga mengalami undershoot sebesar 1,064% serta mendapatkan nilai rise time selama 306,577ms atau 0.306577s.

Berikut adalah hasil perbandingan dari keempat analisis yang digunakan, Dimana analisis PID Zeigher Nichols memiliki hasil yang lebih baik daripada 3 analisis yang lain.

Tabel 1 Perbandingan Analisis Hasil Grafik

	<i>Overshoot (%)</i>	<i>Undershoot (%)</i>	<i>Rise time (s)</i>
<i>Open loop</i>	14,368	1,735	1,049
<i>Closed loop</i>	30,921	7,956	0.592265
<i>PID Zeigher Nichols</i>	13,068	0,761	0.379094
<i>PID Auto-Tuning</i>	14,368	1,064	0.306577

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil perbandingan ujicoba simulasi diatas, dapat disimpulkan bahwa:

- Meskipun memiliki overshoot dan undershoot yang tinggi, closed loop menunjukkan respons waktu yang cepat.
- Memiliki kelebihan dalam mengurangi overshoot dan undershoot dengan waktu naik yang relatif cepat, membuatnya efektif untuk kontrol yang stabil.
- Menawarkan waktu naik tercepat, tetapi overshoot dan undershoot lebih besar dibandingkan PID Ziegler-Nichols.
- Sistem ini menunjukkan performa yang kurang baik dalam semua parameter dibandingkan metode lainnya, dengan overshoot, undershoot, dan rise time yang sangat tinggi.
- Secara keseluruhan, PID Ziegler-Nichols dan PID auto-tuning memberikan kontrol yang lebih baik dibandingkan dengan sistem open loop dan closed loop dalam hal stabilitas dan kecepatan respon.

#### 5. SARAN

Berdasarkan hasil analisis, disarankan menggunakan metode PID Ziegler-Nichols karena menghasilkan overshoot dan undershoot terendah serta waktu naik yang cepat. Optimasi lebih lanjut diperlukan untuk PID auto-tuning guna mengurangi overshoot dan undershoot, meskipun waktu naiknya tercepat. Sistem closed loop perlu dievaluasi untuk mengurangi overshoot dan undershoot dengan mungkin mengintegrasikan metode PID. Hindari penggunaan sistem open loop karena performanya yang paling buruk. Pelatihan dan pengujian berkala juga penting untuk memastikan sistem tetap optimal dan sesuai kebutuhan operasional. Langkah-langkah ini diharapkan meningkatkan performa sistem secara signifikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Eka Putra Setyabudi, S. Purwoto, and H. Tulloh Husaini, "Removal Natrium (Na<sup>+</sup>), Klorida (Cl<sup>-</sup>), Dan Kesadahan Air Payau Dengan Resin Penukar Ion," *WAKTU J. Tek. UNIPA*, vol. 18, no. 1, pp. 7–14, 2020, doi: 10.36456/waktu.v18i1.2305.
- [2] A. Rokot, P. Momor, A. T. Watung, A. Kabuhung, and Y. Kawatu, "Uji Efektivitas Penyaringan Air Multi Media Dalam Penurunan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Pada Air Sumur Bor," *Pros. Semin. Nas. Dies Natalis Poltekkes Kemenkes Manad.*, pp. 39–54, 2023.
- [3] A. S. Widodo *et al.*, "Perancangan Prototipe Penjernihan Air Melalui Filtrasi Dengan Bantuan Filter Tabung Tipe FRP," vol. 1, pp. 131–137, 2023.
- [4] L. Aba, L. O. M. Sety, L. O. Sahiddin, A. Okto, and Irfan, "Bimbingan Teknis Penurunan Kesadahan Air Sumur Menggunakan Metode Filtrasi bagi Masyarakat Kelurahan Padaleu Kecamatan Kambu Kota Kendari," *J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 2, no. 1, pp. 37–41, 2023.

- [5] I. A. S. Aliyah Shahab, “Efektifitas Volume Resin Ion Exchanger Terhadap Kapasitas Pertukaran Ion Dan Waktu Jenuh Pada Unit Demin Plant Di PT PLN (Persero) UPDK Keramasan,” vol. 2, no. 3, pp. 310–324, 2023, [Online]. Available: <https://bnr.bg/post/101787017/bsp-za-balgaria-e-pod-nomer-1-v-buletinata-za-vota-gerb-s-nomer-2-pp-db-s-nomer-12>.
- [6] Z. Y. Leong and H. Y. Yang, “Capacitive Deionization of Divalent Cations for Water Softening Using Functionalized Carbon Electrodes,” *ACS Omega*, vol. 5, no. 5, pp. 2097–2106, 2020, doi: 10.1021/acsomega.9b02330.
- [7] A. Setiawan and A. Ma’arif, “Stirring System Design for Automatic Coffee Maker Using OMRON PLC and PID Control,” *Int. J. Robot. Control Syst.*, vol. 1, no. 3, pp. 390–401, 2021, doi: 10.31763/ijrcs.v1i3.457.
- [8] L. Rahmadhani, “Rancang Bangun Sistem Pendingin Pada Motor Induksi 1 Fasa Menggunakan Kipas Pwm Berbasis Fuzzy Logic,” *Univ. Islam NEGERI SUNAN GUNUNG DJATI BANDUNG*, pp. 9–34, 2023.