

# Sistem Kendali PID Pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis PLC SCADA

Rahel Dorkas<sup>1</sup>, Yurika<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Otomasi Industri, Politeknik TEDC Bandung

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Teknik Otomasi Industri, Politeknik TEDC Bandung

Email: raheldorkas@gmail.com , yurika@poltektedc.ac.id

## ABSTRAK

Perkembangan teknologi yang pesat mendorong industri untuk meningkatkan efisiensi produksi, salah satunya melalui penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama mesin industri. Motor induksi tiga fasa, meskipun memiliki keunggulan dalam hal konstruksi yang sederhana, keandalan, dan efisiensi energi, masih memiliki kendala dalam pengaturan kecepatannya. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini mengembangkan sistem pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan *Variable Frequency Drive (VFD)*, *Programmable Logic Controller (PLC)*, dan *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*. Sistem ini dilengkapi dengan pengendalian *Proportional Integral Derivative (PID)* untuk menjaga kecepatan motor tetap konstan meskipun ada perubahan beban. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan kecepatan motor di sekitar nilai *setpoint* dengan respon yang cepat, stabil, dan minim *overshoot*. Selain itu, SCADA digunakan untuk memonitor dan mengendalikan parameter motor secara *real-time*. Namun, terdapat penurunan performa pada frekuensi rendah akibat keterbatasan sensor. Penelitian ini menunjukkan efektivitas penggunaan kontrol PID dalam pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dan memberikan kontribusi signifikan pada pengembangan sistem pengendalian motor di industri.

Kata Kunci: Motor Induksi Tiga Fasa, PID, PLC, SCADA, VFD.

## ABSTRACT

*The rapid advancement of technology has driven industries to enhance production efficiency, one of which is through the use of three-phase induction motors as the primary drivers of industrial machinery. Despite their advantages in terms of simple construction, reliability, and energy efficiency, three-phase induction motors still face challenges in speed regulation. To address this issue, this study developed a speed control system for three-phase induction motors using a Variable Frequency Drive (VFD), Programmable Logic Controller (PLC), and Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA). The system is equipped with Proportional Integral Derivative (PID) control to maintain a constant motor speed, even under varying load conditions. Testing results demonstrated that the system effectively maintained motor speed near the setpoint with a fast, stable response and minimal overshoot. Additionally, SCADA was utilized to monitor and control motor parameters in real-time. However, there is a decrease in performance at low frequencies due to sensor limitations. This research highlights the effectiveness of PID control in regulating three-phase induction motor speed and makes a significant contribution to the development of motor control systems in the industrial sector.*

Keywords: PID, PLC, Three-Phase Induction Motor, SCADA, VFD.

## 1. PENDAHULUAN

Pada era modern ini, perkembangan teknologi mengalami percepatan yang signifikan, mendorong perusahaan dan industri untuk memproduksi produk-produk mereka dengan lebih efisien dan cepat. Salah satu inovasi yang memainkan peran kunci dalam mempercepat proses produksi adalah penggunaan motor listrik sebagai penggerak mesin. Motor induksi tiga fasa merupakan jenis motor listrik yang paling umum digunakan di industri dan aplikasi komersial. Motor induksi tiga fasa memiliki konstruksi yang sederhana, tahan lama, perawatannya lebih mudah sehingga menjadikannya cocok untuk berbagai aplikasi industri dan komersial, seperti penggerak pompa, kipas, kompresor, penggerak konveyor, dan berbagai peralatan industri lainnya. Namun meskipun memiliki banyak keunggulan, motor induksi tiga fasa juga memiliki beberapa kekurangan, salah satunya adalah sulit mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa.

beberapa cara yang dapat digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor induksi antara lain dengan mengubah jumlah kutub, mengatur tegangan sumber, mengatur frekuensi sumber, dan menambahkan hambatan luar. Pengaturan kecepatan putar dengan mengubah jumlah kutub hanya dapat dilakukan dengan cara mengubah konstruksi belitan pada bagian stator nya. Hal ini berarti motor tersebut harus dibongkar dan dililit ulang belitannya atau motor tersebut didesain dari awal untuk beroperasi dengan beberapa kecepatan putar. Pengaturan tegangan sumber juga dapat digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor induksi tetapi daya keluarannya akan berubah sehingga kinerja bisa menurun. Penambahan tahanan luar untuk mengatur kecepatan putar hanya dapat dilakukan pada motor induksi jenis rotor belitan (Supardi et al., 2022).

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa yang lebih akurat dan mampu menjaga kecepatan motor tetap stabil meskipun terjadi perubahan beban. Pengaturan ini dilakukan dengan menggunakan VFD yang dikendalikan oleh PLC melalui metode *Proportional Integral Derivative* (PID). Kontrol PID secara kontinu menghitung nilai error sebagai selisih antara kecepatan yang diinginkan dengan kecepatan terukur, dan menyesuaikan variabel P, I, dan D untuk meminimalkan *error* tersebut setiap waktu (Listiana et al., 2024).

Sistem kendali ini dapat diintegrasikan dengan SCADA untuk memonitor dan mengontrol motor induksi tiga fasa secara *real-time*. SCADA memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh serta memberikan data *real-time* tentang kinerja motor. Dengan menggunakan sensor proximity untuk mendeteksi putaran per menit (RPM) motor secara akurat, sistem ini diharapkan meningkatkan efektivitas motor induksi di berbagai industri.

## 2. KAJIAN TEORI

### 2.1 Motor Induksi

Motor induksi merupakan jenis motor listrik yang menggunakan sumber tegangan *Alternating Current* (AC). Motor induksi dibagi lagi menjadi motor induksi satu fasa dan tiga fasa berdasarkan induksi medan magnet stator dan rotor (Priyandoko & Naufal, 2021).



Gambar 1. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi bekerja dengan prinsip induksi elektromagnetik dari kumparan stator ke kumparan rotor. Kumparan stator motor induksi tiga fasa akan menghasilkan medan *magnet* yang berputar jika dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa. Medan putar stator ini akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya, gaya gerak listrik (ggl) akan diinduksikan dalam kumparan rotor, yang dapat dinyatakan sebagai (Oktariani et al., 2016):

$$E = 4,44 \cdot f_2 \cdot N_2 \cdot \Phi_m \quad (2.1)$$

dengan:

E adalah tegangan induksi ggl

f adalah frekuensi

N adalah banyak lilitan

$\Phi_m$  adalah fluks magnetik maksimum

Karena kumparan rotor membentuk rangkaian tertutup, gaya gerak listrik (E) yang diinduksikan menghasilkan arus. Arus ini, dalam medan magnet, menciptakan gaya pada motor. Jika torsi awal yang dihasilkan oleh gaya pada rotor cukup besar untuk mengatasi torsi beban, rotor akan berputar mengikuti medan magnet putar stator ( $N_r = N_s$ ). Tegangan induksi muncul karena interaksi antara batang konduktor rotor dan medan magnet putar stator, yang memerlukan perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator ( $n_s$ ) dan kecepatan rotor ( $n_r$ ). Perbedaan ini disebut slip (s), dengan rumus:

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \quad (2.2)$$

dengan:

S adalah slip

$N_s$  adalah kecepatan medan magnet stator (RPM)

$N_r$  adalah kecepatan rotor (RPM)

Pada rangka stator, kumparan stator ditempatkan dalam slot-slot dan dililitkan di sekitar sejumlah kutub tertentu, yang menentukan kecepatan rotasi medan stator yang diinduksikan ke rotor. Penambahan jumlah kutub akan menurunkan kecepatan rotasi medan stator, dan sebaliknya. Kecepatan rotasi medan magnet ini disebut kecepatan sinkron, yang nilainya ditentukan oleh:

$$N_s = \frac{120f}{p} \quad (2.3)$$

dengan:

$N_s$  adalah Kecepatan putaran sinkron medan stator (RPM)

$f$  adalah Frekuensi sumber tegangan AC (Hz)

$P$  adalah Jumlah kutup pada motor (*pole*)

## 2.2 Variable Frequency Drive (VFD)

*Variable Frequency Drive* (VFD) adalah motor kontroler yang mengatur frekuensi dan tegangan yang disalurkan ke motor listrik. VFD juga dikenal sebagai *variable speed drive*, *adjustable frequency drive*, atau inverter. Frekuensi (hertz) berkaitan langsung dengan kecepatan motor (RPM); semakin tinggi frekuensi, semakin cepat RPM. VFD memungkinkan penyesuaian frekuensi dan tegangan sesuai kebutuhan, sehingga motor dapat dioperasikan dengan kecepatan yang diinginkan, terutama pada aplikasi yang tidak memerlukan kecepatan penuh. VFD dapat mengubah sumber daya AC tiga atau satu fasa menjadi DC, lalu dikonversi kembali menjadi AC tiga fasa dengan frekuensi yang diatur, sehingga memungkinkan pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa (Ramadhan, 2022).



Gambar 2. VFD Delta-EL

*Variable Frequency Drive* (VFD) bekerja dengan mengonversi arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) menggunakan penyearah atau converter. Setelah itu, DC link atau regulator digunakan untuk menghasilkan tegangan DC stabil. Kemudian, tegangan ini diubah kembali menjadi AC melalui inverter yang melakukan switching pada tegangan DC. Untuk mengatur frekuensi AC, digunakan teknik *Pulse Width Modulation* (PWM) yang memungkinkan pengaturan presisi frekuensi dan amplitudo keluaran. Inverter berfungsi mengontrol kecepatan motor AC dengan mengubah frekuensi output, yang menentukan kecepatan motor induksi tiga fasa (Ramadhan, 2022).

## 2.3 Programmable Logic Controller (PLC)

*Programmable Logic Controller* (PLC) adalah perangkat yang dirancang untuk menggantikan rangkaian relay *sequential* dalam sistem kontrol proses. PLC berfungsi dengan menerima masukan dari sensor, memproses data, dan mengaktifkan atau menonaktifkan keluaran sesuai kebutuhan (Ramadhan, 2022). Terdapat tiga aspek utama pada PLC, yaitu kemampuan untuk diprogram (*programmable*), kemampuan logika (*logic*) yang mencakup operasi aritmatika dan logika seperti AND dan OR, serta kemampuan mengendalikan proses untuk menghasilkan keluaran yang diinginkan (Romadhon, 2019).

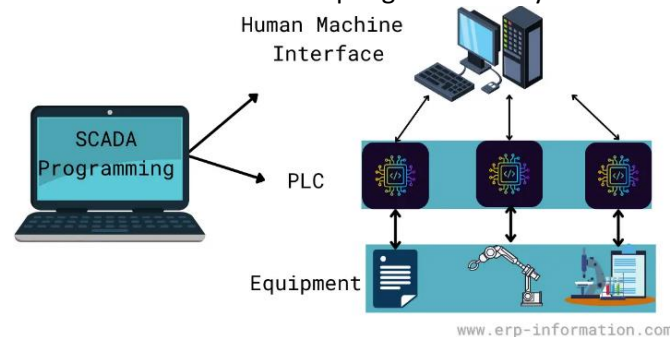


Gambar 3. Programmable Logic Controller

PLC dapat digunakan secara luas dalam kontrol berurutan (*sequential control*) dan pemantauan *plant*. Dalam kontrol berurutan, PLC mengubah sinyal input biner menjadi output yang digunakan dalam proses teknik secara berurutan. Dalam pemantauan *plant*, PLC memantau kondisi seperti suhu atau tekanan dan mengambil tindakan jika nilai melebihi batas tertentu. Selain itu, PLC juga dapat mendukung *Computerized Numerical Control (CNC)* dengan memberikan input untuk proses yang memerlukan ketelitian lebih tinggi (Romadhon, 2019).

#### 2.4 Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)

SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) adalah sistem yang mengawasi, mengendalikan, dan mengakuisisi data dari sebuah *plant* (Ramadhan, 2022). Dalam kontrol, *supervisory control* mengacu pada kontrol tidak langsung, yang menekankan koordinasi dan pengawasan, sementara kontrol utama dilakukan oleh PLC atau pengendali lainnya.



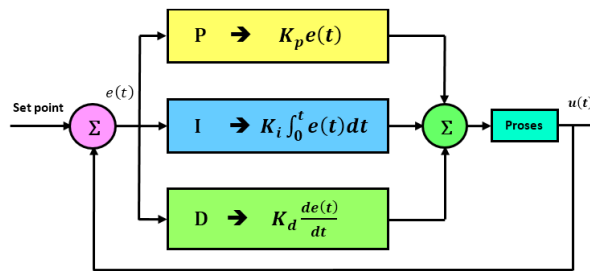
Gambar 4. Sistem SCADA

Secara umum, arsitektur SCADA terdiri dari beberapa komponen (Soetedjo, 2023):

- (a) Peralatan lapangan (sensor dan aktuator)
- (b) *Remote Terminal Unit (RTU)*
- (c) Jaringan komunikasi
- (d) Master Terminal Unit (MTU)
- (e) Stasiun pusat kendali

#### 2.5 Kontrol Proporsional, Integral, dan Derivatif (PID)

Sistem kendali PID (*Proportional-Integral-Derivative*) adalah metode pengendalian otomatis yang menggabungkan tiga komponen utama—proporsional, integral, dan derivatif—untuk mengurangi kesalahan antara nilai yang diinginkan dan nilai aktual.



Gambar 5. Sistem Kendali PID

Setiap parameter berperan berbeda: parameter P menentukan seberapa cepat sistem merespons kesalahan, namun jika terlalu tinggi dapat menyebabkan osilasi; parameter I menghilangkan *error steady-state* dengan mengakumulasi kesalahan seiring waktu; dan parameter D memperhitungkan laju perubahan kesalahan untuk mengurangi *overshoot* dan osilasi. Untuk mendapatkan nilai parameter P, I, dan D yang optimal, tuning PID dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya metode Cohen-Coon dengan rumus berikut:

Tabel 1. Rumus Tuning PID Cohen Coon *Closed Loop*

<i>Controller</i>	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{\left(\frac{1}{K}\right) \times (T + 0.5 L)}{L}$	-	-
PI	$\frac{\left(\frac{1}{K}\right) \times (T + 0.5 L)}{L \times \left(1 + \frac{0.5 L}{T + L}\right)}$	$(T + 0.5 L)$	
PID	$\frac{\left(\frac{1}{K}\right) \times (T + 0.5 L)}{L \times \left(1 + \frac{0.5 L}{T + L}\right)}$	$1 + \frac{0.5 L}{(T + L)}$	$\frac{0.5 \times L \times T}{T + 0.5 L}$

dengan :

K adalah gain proses

L adalah *dead time* (waktu tunda)

T adalah konstanta waktu sistem

### 2.6 Sensor Proximity

Sensor *proximity* induktif mendeteksi objek logam tanpa kontak fisik menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Medan elektromagnetik dihasilkan di sekitar sensor, dan saat objek logam mendekat, arus eddy terbentuk, mengubah medan tersebut dan memicu sinyal output sensor. Sensor ini sering digunakan dalam aplikasi industri, termasuk otomatisasi, sistem konveyor, dan mesin produksi, karena keandalan dan daya tahannya.



Gambar 6. Sensor *Proximity* Induktif

Sensor *proximity* induktif dapat berfungsi sebagai alternatif pengganti sensor photo interrupter untuk mendeteksi kecepatan putaran motor. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip induktansi, di mana fluktuasi arus listrik dalam bahan magnetik menginduksi gaya gerak listrik (emf) pada objek logam (Emillia et al., n.d.). Ketika objek logam melewati medan tersebut, arus eddy diinduksi, mengubah medan magnet dan menciptakan sinyal listrik berulang yang dapat dihitung untuk menentukan kecepatan rotasi motor dalam satuan rotasi per menit (RPM). Prinsip kerja ini berdasarkan Hukum Faraday, yang menyatakan bahwa gaya gerak listrik (emf) yang diinduksi sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik, dirumuskan sebagai:

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt} \tag{2.4}$$

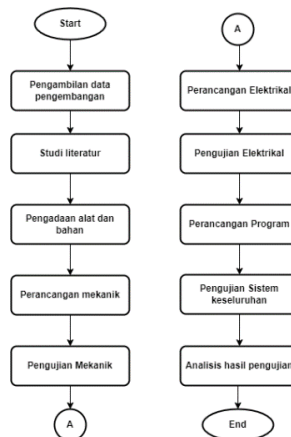
dengan:

$\varepsilon$  adalah gaya gerak listrik (emf)

$\Phi$  adalah fluks magnetik

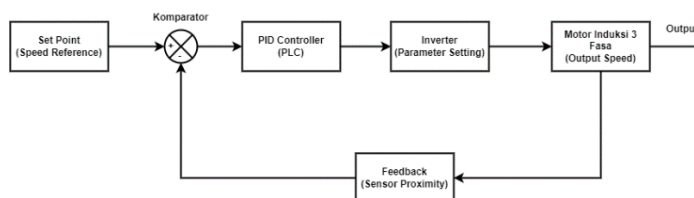
### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tahapan Perancangan Sistem



Gambar 7. Tahapan Perancangan Sistem

#### 3.2 Blok Diagram Sistem

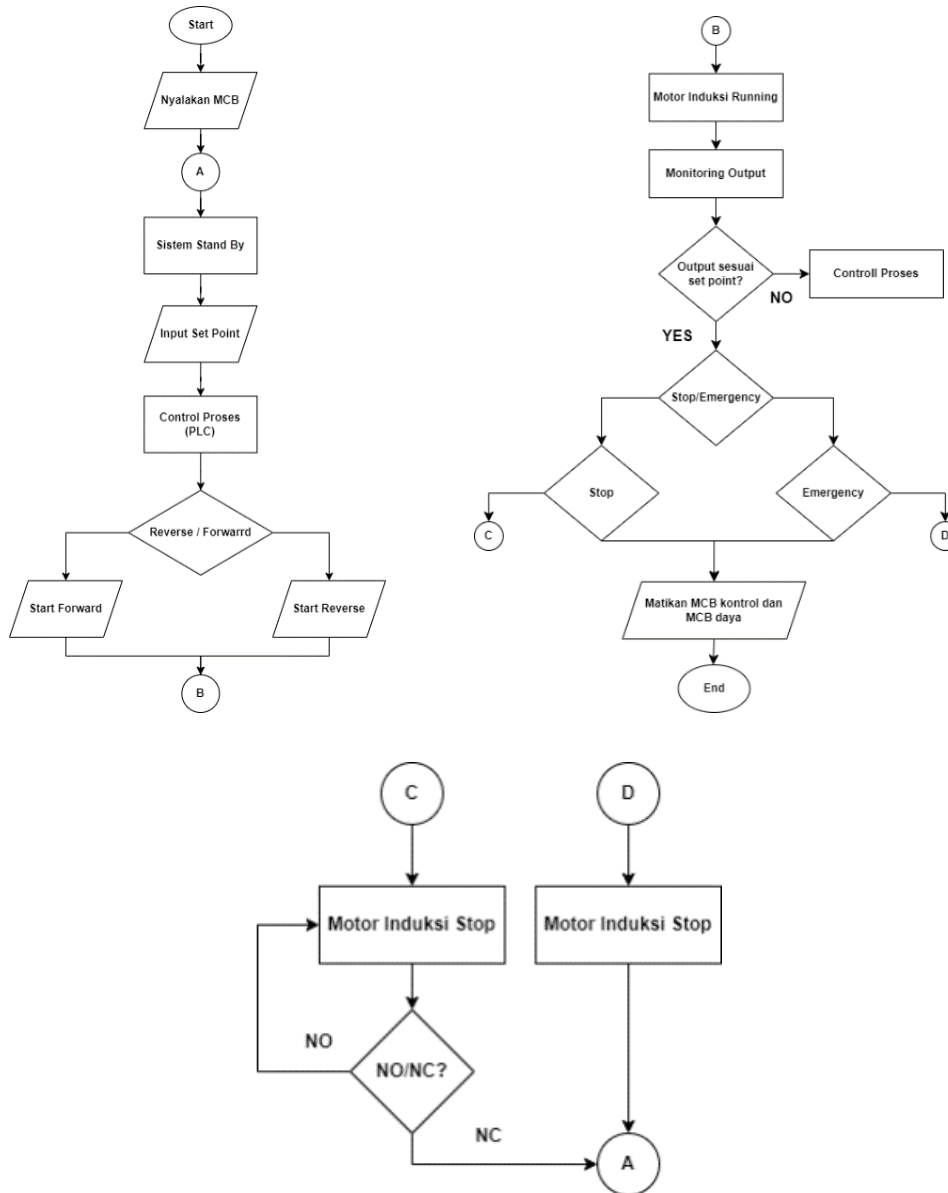


Gambar 8. Blok Diagram Sistem

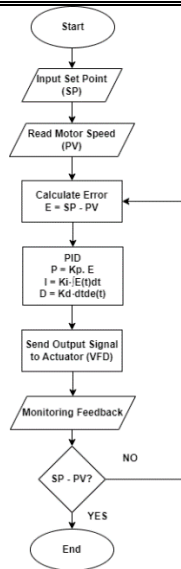
Nilai *set point* dapat diinput melalui HMI atau langsung dari PLC dalam rentang 0-50 Hz, lalu diproses oleh controller untuk menghasilkan sinyal kontrol ke *inverter*. *Inverter* mengatur frekuensi listrik yang menggerakkan motor agar sesuai dengan set point. Kecepatan motor aktual diukur oleh sensor proximity (rpm), yang kemudian dibandingkan dengan *set point* oleh komparator. Komparator

menghasilkan sinyal perbedaan yang diproses oleh kontrol PID untuk mengoreksi sinyal kontrol inverter, sehingga motor mencapai kecepatan sesuai *set point*. Sistem ini menjaga kecepatan motor stabil dan *optimal*.

### 3.3 Flowchart Sistem



Gambar 9. Flowchart Sistem



Gambar 10. Flowchart Sistem Kendali PID

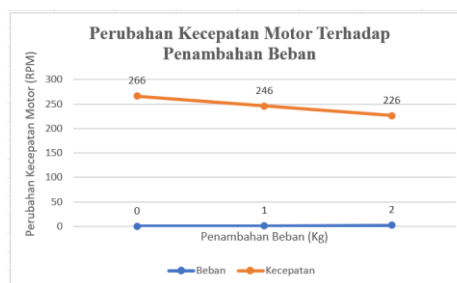
## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Pengujian tanpa kontrol PID

Tabel 2. Hasil pengujian tanpa kontrol PID

No	Kondisi	Set point	Beban	Nilai RPM aktual
1	Tanpa beban	10 Hz	0 kg	266
2	Ditambahkan beban	10 Hz	1 kg	246
3	Ditambahkan beban	10 Hz	2 kg	226

Berdasarkan data pada tabel, diperoleh grafik respon kecepatan motor terhadap penambahan beban sebagai berikut:



Gambar 11. Grafik respon kecepatan motor tanpa PID

Dari grafik tersebut, terlihat bahwa kecepatan motor menurun seiring dengan bertambahnya beban. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan beban pada motor induksi tiga fasa mempengaruhi kecepatan putaran motor. Semakin besar beban yang diberikan, semakin lambat putaran motor.

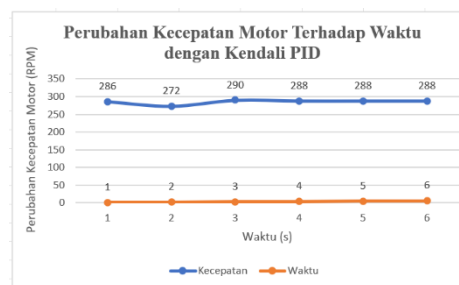
2. Pengujian dengan kontrol PID

Pengujian implementasi kendali PID pada plant meliputi beberapa langkah, yaitu :

- (1) Input nilai parameter PID melalui HMI SCADA,  $K_p = 25$ ;  $K_i = 15$ ;  $K_d = 0$ .
- (2) Input *set point* melalui HMI
- (3) Beri gangguan pada motor secara konstan
- (4) Monitoring hasil

Tabel 3. Hasil pengujian dengan kendali PID

Waktu	Set Point	Frekuensi	Kecepatan Aktual	Keterangan
1 s			286 RPM	Tanpa beban
2 s	286 RPM	10 Hz	272 RPM	Ada beban
3 s			290 RPM	Ada beban
4 s			288 RPM	Ada beban



Gambar 12. Grafik respon kendali PID terhadap *error*

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, terlihat bahwa performa kendali PID yang telah di setting bekerja dengan baik untuk menjaga kecepatan motor induksi tiga fasa tetap stabil meskipun ada variasi beban, dengan *respons* yang cepat dan minim *overshoot*.

3. Pengujian akurasi VFD

Tabel 4. Hasil pengujian akurasi VFD

No	Set Point	Frekuensi Inverter (Hz)	RPM Inverter ( $f \times 120/4$ )	RPM Aktual (Sensor)
1	5	5	150	65
2	6	6	180	80
3	7	7	210	75
4	8	8	240	92
5	9	9	270	271
6	10	10	300	304
7	11	11	330	333
8	12	12	360	363
9	13	13	390	394
10	14	14	420	422
11	15	15	450	453

Berdasarkan Tabel 4, Variable Frequency Drive (VFD) terbukti efektif dalam mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa dengan toleransi sekitar 1% pada frekuensi di atas 9 Hz. Namun, pada



frekuensi di bawah 9 Hz, terjadi penurunan kinerja yang cukup signifikan, kemungkinan disebabkan oleh keterlambatan pembacaan sensor digital.

## 5. KESIMPULAN

1. Implementasi PID pada pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa efektif dalam mempertahankan kecepatan di sekitar *setpoint* meskipun ada perubahan beban. *Tuning* PID dengan metode Cohen-Coon menghasilkan respons cepat, stabil, dan minim *overshoot*, menunjukkan kinerja optimal dalam mengatasi slip dan menjaga performa motor.
2. *Variable Frequency Drive* (VFD) dapat mengatur kecepatan motor dengan toleransi 1% pada frekuensi di atas 9 Hz, menunjukkan akurasi yang baik. Namun, pada frekuensi di bawah 9 Hz, akurasi menurun, kemungkinan akibat keterlambatan pembacaan sensor digital, sehingga diperlukan perbaikan sensor untuk meningkatkan akurasi pada frekuensi rendah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Depoinovasi. (n.d.). Sensor Proximity L12A3-4-Z-BX DC 6V-36V NPN *Inductive Proximity Murah*. Diambil 18 Agustus 2024, dari <https://www.depoinovasi.com/produk-1191-sensor-proximity-lj12a34z-bx-dc-6v36v-npn-inductive-proximity.html>.
- Emillia, Ta'ali, & Hastuti. (n.d.). *Jtev (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional) Sistem Monitoring dan Kontrol Motor AC 3 Fasa Melalui Inverter dengan Protokol Modbus Menggunakan Visual Basic Berbasis Atmega 2560*. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/jtev/index>
- Ramadhan, G. (2022). *Rancang Bangun Pengendalian Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Variable Frekuensi Drive Berbasis PLC SCADA Dilengkapi Dengan Komunikasi Modbus*. PoliteknikTEDCBandung.
- Listiana, R., Zakiyannisa, Z., Otomasi, T., & TEDC Bandung, P. (2024). *Perancangan Sistem Kontrol Pidat Perancangan Sistem Kontrol Pidat Pada Plant Water Level Menggunakan Plc (Programmable Logic Controller)* (Vol. 18, Issue 2).
- Oktariani, Y., Teknik Elektro, D., & Teknik Elektro, J. (2016). Studi Pengaruh Torsi Beban Terhadap Kinerja Motor Induksi Tiga Fase. In *Jurnal Teknik Elektro ITP* (Vol. 5, Issue 1). Januari.
- Priyandoko, G., & Naufal, E. R. (2021). *Deteksi Kerusakan Motor Induksi 3 Fasa*. PTLiterasiNusantaraAbadiGroup.
- PT Bina Indojoya. (2020). Mengenal Motor Listrik 3 Phase dan Prinsip Kerjanya. Diambil 18 Agustus 2024, dari <https://lirp.cdnwebsite.com/6ce3488c/dms3rep/multi/opt/Picture1-ba7c0d8a-960w.png>.
- Romadhon, A. S. (2019). *Programmable Logic Controller PLC* (1st ed.). MediaNusaCreative.
- RS. (n.d.). *Delta Electronics Inverter Drive, 1.5 Kw, 3 Phase, 400V ac, 4.3 A, VFD-EI Series*. Diambil 18 Agustus 2024, dari <https://my.rs-online.com/web/p/inverter-drives/8603907>.
- Soetedjo, A. (2023). *Otomasi Industri Plc Dan Scada*. PTLiterasiNusantaraAbadiGroup.
- Supardi, A., Umar, U., Setiyoko, I., & Saifurrohman, M. (2022). Rancang Bangun Sistem Kendali Dan Monitoring Kecepatan Motor Induksi Berbasis Programmable Logic Controller (PLC) Dilengkapi Layar Sentuh. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 22(1), 65–72. <https://doi.org/10.23917/emitor.v22i1.15784>