

## PERBANDINGAN PENGENDALI PI, PD DAN PID PADA PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN MEMANFAATKAN SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION (SCADA)

Sariman<sup>1</sup>, Manlahima Padaridi<sup>2</sup>, Dindi Hamamie Mahfie<sup>3</sup>, Bhakti Yudho Suprpto<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya

[sariman78@yahoo.com](mailto:sariman78@yahoo.com)<sup>1</sup>, [mahfie.dindi@gmail.com](mailto:mahfie.dindi@gmail.com)<sup>2</sup>, [Ridi\\_as25@yahoo.com](mailto:Ridi_as25@yahoo.com)<sup>3</sup>, [bhakti@ft.unsri.ac.id](mailto:bhakti@ft.unsri.ac.id)<sup>4</sup>

Corresponding author : [hakti@ft.unsri.ac.id](mailto:hakti@ft.unsri.ac.id)

### ABSTRAK

Motor Induksi tiga fasa merupakan salah satu jenis motor yang paling banyak digunakan pada industri. Motor ini biasanya yang menjadi perhatian khusus adalah pengendalian kecepatan. Pengendali yang digunakan biasanya hanya pengendali Proportional Integral Derivative (PID). Namun terkadang pada proses kontrol, pengendali lain seperti Proportional Integral (PI) dan Proportional Derivative (PD) juga sering digunakan. Penelitian ini akan membandingkan pengendali-pengendali tersebut dalam proses pengendalian kecepatan pada motor induksi tiga fasa saat berbeban dan tanpa beban. Untuk memudahkan proses pengendaliannya, digunakan *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)* yang memiliki kemampuan dalam mengakuisisi data dan monitoring. Dalam pengujiannya didapatkan bahwa pada pengendali terbaik yakni PID dimana *error steady state* kecil, *settling time* cepat dan tetap stabil meskipun terdapat perubahan beban. Pengendali PID ini memiliki parameter  $K_p = 2$ ,  $T_i = 1$ ,  $T_d = 3$ . Sedangkan data yang ditampilkan oleh sistem SCADA dapat dikatakan baik dan valid, dimana persentase penyimpangan untuk data kecepatan sebesar 0,1%.

*Kata kunci: Pengendali PI, PD, PID, Motor Induksi Tiga Fasa, SCADA*

### I. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri, motor merupakan salah satu peralatan yang banyak digunakan, diantaranya untuk pompa, penggerak conveyor, penggerak lift, dan lain sebagainya. Salah satu jenis motor yang paling banyak digunakan yaitu motor induksi tiga fasa. Penggunaan motor induksi tiga fasa di beberapa industri membutuhkan performansi yang tinggi dari motor induksi untuk dapat mempertahankan kecepatannya walaupun terjadi perubahan beban. Oleh karena itu harus digunakan pengendali yang optimal agar mampu membuat motor induksi tiga fasa tersebut memiliki performansi yang baik. Hal inilah yang menjadi alasan para peneliti untuk mengembangkan penelitian tentang pengendalian kecepatan pada motor induksi. Diantara pengendali yang digunakan yaitu : pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID) (Wildan, Hakim, & Suhardi, 2016)(Ardana, 2013), *Fuzzy Logic*(Wahjono, 2016), Jaringan Syaraf Tiruan(Kurniawan & Harumwidiah, 2015), dan Direct Torque Control(Takahashi & Ohmori, 1989). Namun hingga saat ini, pengendali yang sering digunakan oleh industri yaitu pengendali PID karena pengendali ini sederhana, kokoh dan kuat. Hal ini dimungkinkan karena pada pengendali PID ini terdapat tiga parameter yakni  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang memiliki kelebihan dan kekurangan yang saling menutupi. Meskipun pengendali ini masih terdapat kelemahan yaitu masih bekerja pada kondisi yang linier, sulit untuk menentukan parameter pengendali, berbasis model matematik yang terkadang terjadi kesalahan dalam melakukan linierisasi dan sering mengabaikan parameter yang dianggap kecil.

Namun dalam proses kontrol yang lain dikenal pula pengendali PI dan PD meskipun penggunaan pengendali ini biasanya diikuti dengan metode pengendali lainnya atau sering disebut dengan *hybrid* seperti *hybrid* dengan *fuzzy logic*(Saghafinia, Ping, & Rahman, 2010)(Rubaai & Young, 2011). Pada pengendali PI dan PD ini juga memiliki parameter pengendali yang mirip dengan pengendali PID. Sehingga kelemahannya pun sama meskipun ada kelebihan bila dibandingkan dengan PID yang bergantung pada proses yang akan dikendalikan. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dibandingkan antara ketiga pengendali tersebut. Sehingga akan didapatkan pengendali yang paling cocok untuk mengendalikan kecepatan pada motor induksi tiga fasa. Untuk mengambil dan mengakuisisi data akan digunakan *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*. Dalam dunia industri sistem SCADA ini telah banyak digunakan seperti pada pengisian botol(Rachmat, Nugroho, & Atmaja, 2014), pengendalian level air(Susiono, Wicaksono, & Ferdinando, 2006), dan monitoring smart grid(Setiawan, 2016). Dengan demikian data yang dihasilkan akan dapat lebih terjamin dan dapat dimanfaatkan untuk menyusun analisis terhadap pengujian peralatan pada penelitian ini

### II. TINJAUAN PUSTAKA

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang banyak dipergunakan dalam dunia industry karena motor ini kokoh, harga pasaran yang relative murah, torsi yang ada cukup besar sehingga memungkinkan

untuk kerja dengan beban yang cukup berat. Pada motor induksi terbagi atas dua komponen utama yaitu stator dan rotor. Sedangkan rotor pada motor induksi ini terbagi atas rotor sangkar dan rotor belitan. Stator pada motor induksi ini, dibuat dari sejumlah stampings dengan slots yang berfungsi untuk meletakkan gulungan tiga fasa. Pada bagian stator ada beberapa slot yang merupakan tempat meletakkan konduktor dari tiga kumparan yang disebut dengan kumparan stator. Pada tiap-tiap kumparan ini akan memperoleh sumber atau suplai arus tiga fasa, maka pada kumparan tersebut akan timbul medan magnet putar. Medan magnet putar pada kumparan stator inilah yang akan mengakibatkan rotor berputar. Hal ini terjadi karena adanya induksi dari medan magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dan kecepatan putar stator.

Model motor induksi tiga fasa ini biasanya dikembangkan dari model transformator(Wahjono, 2016). Model transformator ini digunakan dengan mengasumsikan tegangan sumber berupa sinusoidal dan kondisi *steady state* meskipun pada kenyataannya tidak sinusoidal dan terdapat perubahan beban. Jadi untuk memodelkannya diperlukan model lain yang lebih fleksibel dalam menganalisa motor induksi tiga fasa. Model tersebut dikenal dengan model d-q-n. Model ini lebih efisien dan efektif dalam menganalisa motor induksi tiga fasa(Mohan, 2014). Dalam model koordinat d-q-n persamaan tegangan dengan persamaan tegangan simetri dinyatakan sebagai berikut :(Wahjono, 2016)

$$\begin{aligned} v_{qs} &= r_s i_{qs} + \omega \lambda_{qs} + p \lambda_{qs} \\ v_{ds} &= r_s i_{ds} - \omega \lambda_{qs} + p \lambda_{ds} \\ v'_{qr} &= r'_r i'_{qr} + (\omega - \omega_r) \lambda'_{dr} + p \lambda'_{dr} \\ v'_{dr} &= r'_r i'_{dr} - (\omega - \omega_r) \lambda'_{qr} + p \lambda'_{qr} \end{aligned} \quad (1)$$

Sedangkan fluksi magnet yang ada yaitu dapat dihitung dari persamaan berikut(Wahjono, 2016) :

$$\begin{aligned} \lambda_{ds} &= L_{ls} i_{ds} + L_M (i_{ds} + i'_{dr}) \\ \lambda'_{qr} &= L'_{lr} i'_{qr} + L_M (i_{qs} + i'_{qr}) \\ \lambda'_{dr} &= L'_{lr} i'_{dr} + L_M (i_{ds} + i'_{dr}) \end{aligned} \quad (2)$$

dimana

$$\begin{aligned} L_s &= L_{ls} + L_m \\ L'_r &= L'_{lr} + L_m \end{aligned} \quad (3)$$

Sehingga torsi electromagnet pada motor induksi tiga fasa dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$T_e = \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{P}{2}\right) (\lambda_{ds} i_{qs} - \lambda_{qs} i_{ds}) \quad (4)$$

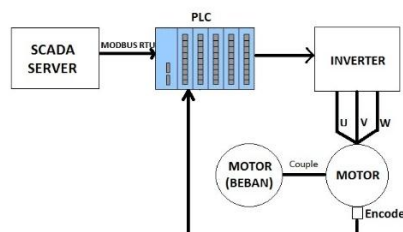
Oleh karena itu persamaan dinamis dari Motor Induksi yaitu :

$$T_e - T_L = \frac{2J}{P} \frac{d\omega_r}{dt} \quad (5)$$

Dimana :  $T_L$  merupakan torsi beban,  $J$  adalah momen inersia ( $\text{kg.m}^2$ ),  $T_e$  yaitu torsi Elektromagnetik,  $P$  adalah jumlah kutub dan  $\omega_r$  merupakan kecepatan sudut roto ( $\text{rad/detik}$ ). Berdasarkan persamaan (4) dan (5) maka torsi dan persamaan guna menghitung dan menganalisa motor induksi tiga fasa telah didapatkan

### III. METODE PENELITIAN

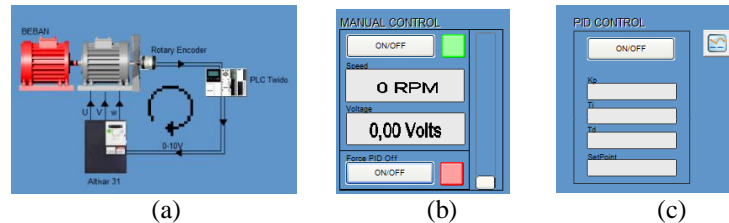
Beberapa tahapan yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya yaitu perancangan sistem, pengujian dan analisis. Dalam tahapan perancangan ini ada beberapa yang dilakukan yakni perancangan software pada sistem SCADA, PLC dan perancangan pengendali. Pada penelitian ini, sistem SCADA menggunakan perangkat lunak Vijeo Citect V7.3. Sedangkan pemrograman PLC menggunakan perangkat lunak TwidoSuite V2.2. Berikut ini adalah gambar instalasi hubungan alat yang akan dikendalikan:



Gambar 1. Instalasi hubungan alat penelitian

Pada gambar 1 terlihat bahwa untuk menjalankan motor induksi tiga fasa ini diperlukan juga inverter dan PLC sebagai pengendalinya dimana algoritma PI, PD dan PID ada di dalam perangkat lunak PLC. Data hasil pengendalian ini akan dapat dilihat pada monitor SCADA. Komunikasi antara SCADA dengan PLC

menggunakan modul modbus. Modul ini merupakan salah satu modul komunikasi yang banyak digunakan pada PLC dalam industri selain ethernet. Setelah dilakukan perancangan secara hardware maka selanjutnya dilakukan perancangan software yakni pada software SCADA dan PLC. Adapun tampilan pada monitor dari software SCADA seperti terlihat pada gambar 2 berikut :



Gambar 2. Tampilan system SCADA a) sistem yang dikendalikan b) tampilan manual c) tampilan Pengendali PID

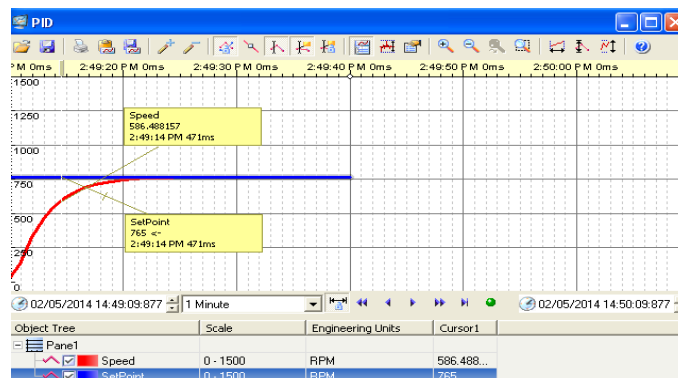
Gambar 2 menampilkan semua objek sistem yang dikendalikan mulai dari inverter, motor induksi, *rotary encoder*, dan motor sebagai beban. Objek pada motor akan berputar bila dalam keadaan *running*, dan akan berhenti bila dalam keadaan *stop*. Selain itu tampilan pada gambar 2 ini juga menunjukkan tampilan lain yang ada pada SCADA. Tampilan tersebut seperti *manual control* yang digunakan untuk menghidupkan atau mematikan motor induksi serta mengendalikan kecepatan motor secara manual. Selain itu tampilan ini juga menampilkan nilai tegangan output dan data kecepatan putaran motor melalui pembacaan *encoder*. Tampilan berikutnya adalah pengendali PID yang digunakan untuk melakukan setting terhadap parameter pengendali seperti  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ . Tujuan penelitian ini adalah membandingkan PI, PD dan PID. Namun parameter masing-masing dari pengendali tersebut berbeda-beda. Parameter yang berbeda ini diambil dengan melihat respon keluaran terhadap setpoint pada masing-masing pengendali tersebut. Adapun yang menjadi standar dari masing-masing parameter tersebut adalah *error steady state* kecil, *settling time* cepat, tidak ada *overshoot*, namun jika masih ada, *overshoot* tersebut nilainya kecil. Sehingga pengujian dilakukan dengan membandingkan ketiga pengendali tersebut. Kemudian pengujian lainnya adalah *response time* SCADA dalam merespon aksi yang diberikan pada SCADA tersebut.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dilihat hasil pengujian yang telah dilakukan. Setpoint pada penelitian ini yaitu kecepatan motor induksi yaitu 765 rpm. Sehingga motor induksi tersebut harus mampu mencapai dan mempertahankan kecepatan sebesar 765 rpm tersebut. Begitu pun saat diberikan pembebanan, motor induksi harus juga mampu untuk mempertahankan atau mencapai kecepatan sebesar 765 rpm.

##### A. Pengendali Proportional Integral (PI)

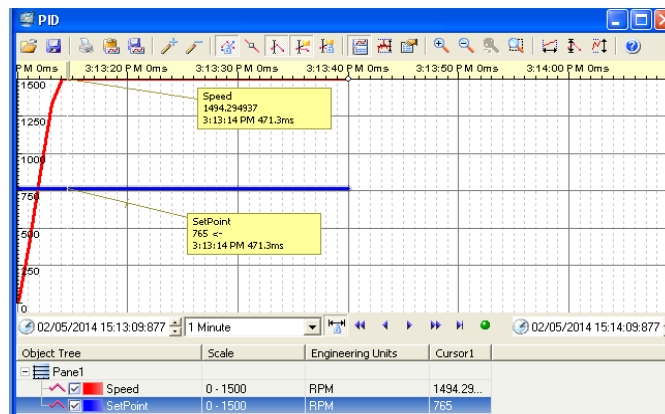
Pada pengujian menggunakan kendali PI telah dilakukan dengan beberapa nilai parameter  $K_p$  dan  $K_i$ . Pada gambar 4 menunjukkan pengujian pengendali PI yang terbaik yakni dengan nilai  $K_p=1$  dan  $K_i=0.4$  dan *set point* 765 rpm. Pada gambar 4 tersebut tidak ada *overshoot* yang terjadi. Namun, jika diamati, respon kecepatan motor sangat lambat sehingga mengakibatkan *settling time* yang lama dalam mencapai *set point* yang ditentukan yaitu 10,5 detik.



Gambar 4. Pengujian Pengendali PI dengan  $K_p = 1$ ,  $K_i = 1$

**B. Pengendali Proportional Derivative (PD)**

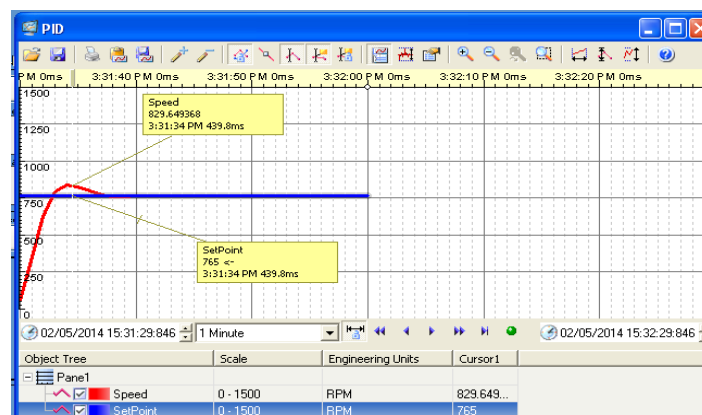
Pengujian dengan menggunakan pengendali PD dilakukan dengan nilai parameter yang berbeda, pada penelitian ini terlihat bahwa parameter PD tidak dapat dijadikan acuan sebagai pengendali kecepatan motor induksi tiga fasa, karena *overshoot* yang terjadi sangat besar yaitu diatas 765 rpm dan tidak mampu kembali ke *set point* yang ditentukan seperti terlihat pada gambar 5 dimana *rise time* yang terjadi sangat cepat yaitu 1,5 detik dan mengakibatkan *overshoot* yang sangat besar yaitu diatas 765 rpm.



Gambar 5. Pengujian Pengendali PD dengan  $K_p = 1$ ,  $K_d = 1$

**C. Pengendali Proportional Integral Derivative (PID)**

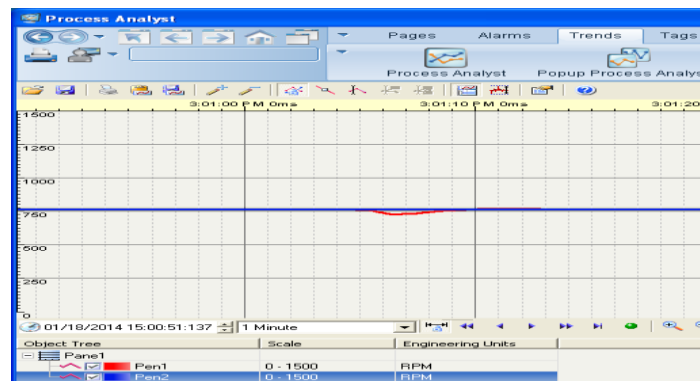
Nilai parameter PID yang baik pada penelitian ini yaitu  $K_p = 2$ ,  $K_i = 1$ ,  $K_d = 3$  seperti terlihat pada gambar 6, pengendali PID dapat mengurangi *error steady state* meskipun ada *overshoot* namun nilainya kecil. Respon dari kecepatan motor menjadi stabil dari *set point* yang telah ditentukan.



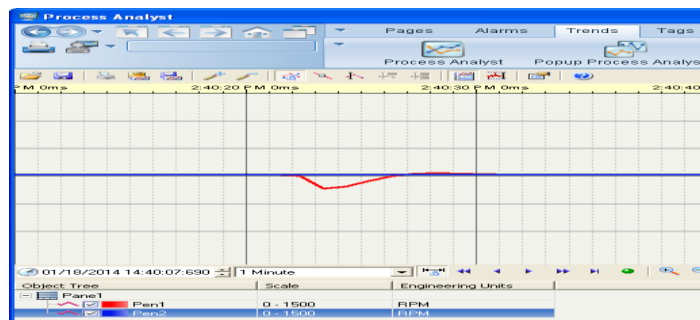
Gambar 6. Pengujian Pengendali PID dengan  $K_p = 2$ ,  $K_i = 1$  dan  $K_d = 3$

**D. Pengendali Proportional Integral Derivative (PID) dengan gangguan**

Selanjutnya pengendali PID ini yang akan diuji dengan perubahan beban. Hal ini disebabkan karena pada kondisi pengendalian tanpa beban, pengendali ini yang paling baik dari ketiga pengendali. Uji perubahan beban yang diberikan yaitu dengan meng-kople motor induksi tiga fasa ini dengan motor induksi satu fasa dengan arah yang berlawanan sehingga memperberat putaran pada motor induksi tiga fasa. Sehingga dapat dilihat apakah motor induksi tiga fasa tersebut mampu untuk mempertahankan kecepatannya pada nilai setpoint yang diinginkan yakni 765 rpm. Beban motor tersebut diputar 100, 200 dan 300 rpm.

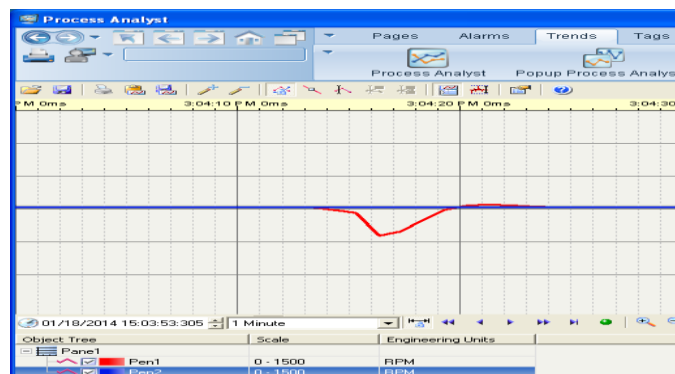


Gambar 7. Pengujian Pengendali PID dengan Beban 100 rpm



Gambar 8. Pengujian Pengendali PID dengan Beban 200 rpm

Pada gambar 7 dan 8 terlihat kecepatan motor induksi tiga fasa dapat kembali ke *set point* awal meskipun terjadi gangguan. Pembebanan dilakukan dengan cara menaikkan tegangan melebihi *set point* yang ditentukan. Hal ini membuktikan bahwa parameter PID yang digunakan sudah cukup baik kinerjanya sebagai pengendali kecepatan motor induksi tiga fasa karena mampu mempertahankan kecepatan pada nilai setpointnya diberikan meskipun terdapat osilasi sedikit. Nilai osilasi ini terjadi semakin besar seiring dengan penambahan nilai gangguan yang diberikan seperti terlihat pada gambar 9 berikut :



Gambar 9. Pengujian Pengendali PID dengan Beban 300 rpm

Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap hasil pembacaan nilai RPM kecepatan motor induksi tiga fasa sebagai validasi dari pembacaan di SCADA. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada tabel 1 dimana terdapat penyimpangan hasil pengukuran 0,1 %. Sehingga pembacaan yang dilakukan menggunakan sistem SCADA ini dapat dikatakan berhasil karena penyimpangan yang ada sangat kecil antara pembacaan dari SCADA yang dibandingkan dengan pembacaan tachometer.

**Tabel 1. Perbandingan pengukuran Data Kecepatan**

| Tegangan(Volt) | Kecepatan Scada (RPM) | Tachometer (RPM) |
|----------------|-----------------------|------------------|
| 1              | 203                   | 203,3            |
| 2              | 342                   | 341,1            |
| 3              | 480                   | 480              |
| 4              | 621                   | 620              |
| 5              | 762                   | 762,5            |
| 6              | 908                   | 909,2            |
| 7              | 1052                  | 1052             |
| 8              | 1199                  | 1198             |
| 9              | 1348                  | 1348             |
| <b>Jumlah</b>  | <b>6915</b>           | <b>6914,1</b>    |

## V. SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa Pengendali yang mampu bekerja optimal dalam pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa yaitu pengendali PID dimana parameter PID-nya adalah sebesar  $K_p = 2$ ,  $T_i = 1$ ,  $T_d = 3$ . Setelah dilakukan pengujian dengan perubahan beban, Pengendali PID ini pun mampu menjaga kestabilan kecepatan motor induksi tiga fasa meskipun terjadi perubahan beban. Selain itu pula system SCADA yang digunakan pada penelitian ini mampu bekerja dengan baik salah satu parameternya yaitu kemampuan pengukuran kecepatan motor yang tepat dengan hanya mempunyai penyimpangan sebesar 0,1 % setelah dilakukan validasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ardana, I. W. R. (2013). Simulasi Sistem Kontroler Pid Untuk Motor Induksi Menggunakan Perangkat Lunak Matlab/Simulink. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 7(2).
- Kurniawan, A., & Harumwidiah, A. (2015). Strategi Kendali Kecepatan Motor Induksi Menggunakan PWM Inverter Berbasis Jaringan Saraf Tiruan. *Transmisi*, 17(2), 83–88.
- Mohan, N. (2014). *Advanced electric drives: analysis, control, and modeling using MATLAB/Simulink*. John wiley & sons.
- Rachmat, H., Nugroho, D. S., & Atmaja, D. S. E. (2014). Perancangan Sistem Otomatisasi Terintegrasi Bottling Plant Air Minum dalam Kemasan (AMDK) Menggunakan Programmable Logic Controller di PT XYZ.
- Rubaai, A., & Young, P. (2011). EKF-based PI-/PD-like fuzzy-neural-network controller for brushless drives. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 47(6), 2391–2401.
- Saghafinia, A., Ping, H. W., & Rahman, M. A. (2010). High performance induction motor drive using hybrid fuzzy-pi and pi controllers: A review. *Int. Rev. Electr. Eng. IREE*, 5(5), 2000–2012.
- Setiawan, A. B. (2016). Peningkatan Keamanan Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) Pada Smart Grid Sebagai Infrastruktur Kritis. *Jurnal Penelitian Pos Dan Informatika*, 6(1), 59–78.
- Susiono, A., Wicaksono, H., & Ferdinando, H. (2006). Aplikasi Scada System pada Miniatur Water Level Control. *Jurnal Teknik Elektro*, 6(1).
- Takahashi, I., & Ohmori, Y. (1989). High-performance direct torque control of an induction motor. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 25(2), 257–264.
- Wahjono, E. (2016). Pengaturan kecepatan motor induksi sebagai penggerak mobil listrik dengan kontroler fuzzy logic berbasis direct torque control. *Jurnal Ilmiah Mikrotek*, 1(3), 136–144.
- Wildan, F. M., Hakim, E. A., & Suhardi, D. (2016). Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Kontroler PID Berbasis Genetic Algorithm. *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*, 1(1), 23–32.