# Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa dengan *Variabel Speed Drive* TECO FM50-202 Menggunakan Metode *Proportional Integral Derivative*

**Ramdan Wahyu Ramdani[1,*], Siswoyo[2], Sofyan Muhammad Ilman[3]**

*[1,2,3]Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559*
*E-mail : [1,*]ramdan.wahyu.toi19@polban.ac.id; [2]siswoyo@polban.ac.id; [3]sofyan.muhammad@polban.ac.id*

**ABSTRAK**

Mesin *mixing* merupakan salah satu bentuk implementasi motor induksi yang sering dijumpai di industri. Pada pengoperasiannya dibutuhkan kecepatan yang konstan sekalipun diberikan pembebanan yang beragam. Untuk mengubah kecepatan pada motor induksi dapat dilakukan melalui pengaturan tegangan dan frekuensi dengan menggunakan inverter atau *Variable Speed Drive* (VSD). Dalam penelitian kali ini, upaya untuk menjaga kecepatan motor induksi sekalipun dalam kondisi pembebanan yang berubah dilakukan dengan menerapkan kendali *Proportional Integral Derivative* (PID) untuk mengubah frekuensi secara otomatis menggunakan VSD. Penelitian ini bertujuan untuk menjaga kecepatan motor agar tetap konstan pada *setpoint* 1000 rpm dalam kondisi motor tanpa beban dan berbeban melalui penerapan kendali PID dengan metode *tuning* Ziegler Nichols 1 dan *tuning* manual yang telah diujikan secara eksperimen menggunakan modul VSD yang telah dibuat. Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa kendali PID berhasil mencapai *maximum overshoot* dibawah 15% ketika motor induksi dalam keadaan tanpa beban maupun berbeban dengan *Error Steady State* dibawah 10%.

**Kata Kunci**
*VSD, PID, Ziegler Nichols I*

## 1. PENDAHULUAN

Pada dunia industri motor induksi sangat umum digunakan, motor jenis ini memiliki banyak kelebihan yaitu desain yang relatif sederhana, efisiensi yang cukup tinggi berkisar antara 80% sampai 95%. Selain itu kelebihan yang utama adalah memiliki torsi awal yang tinggi sehingga memungkinkan untuk digunakan pada beban yang berat ataupun tahanan yang tinggi. Oleh sebab itu, salah satu implementasi dari motor induksi adalah pada mesin *mixing* atau mesin pengaduk. Secara sederhana prinsip kerja dari mesin *mixing* adalah mengaduk dan mencampur bahan-bahan dengan karakteristik yang berbeda. Selama proses pencampuran berlangsung bahan-bahan akan terus ditambahkan, hal tersebut tentunya berpengaruh kepada kecepatan motor yang akan melambat seiring meningkatnya pembebanan. Dalam upaya menjaga kecepatan mesin *mixing* pada pembebanan yang berubah, perlu diterapkan kendali loop tertutup di dalamnya.

Kendali PID dipilih untuk mengendalikan kecepatan motor induksi pada penelitian kali ini. Pengendalian kecepatan dilakukan dengan mengatur besarnya frekuensi menggunakan inverter. Metode optimasi Ziegler Nichols 1 dipilih untuk menentukan nilai Kp, Ki, dan Kd pada kendali PID.

Telah banyak dilakukan pengendalian kecepatan dari motor induksi, salah satunya adalah pada penelitian [1] dan [8] yang menerapkan kendali PID untuk mengendalikan motor induki 3 fasa dengan memanfaatkan *Variable Speed Drive* untuk mengubah tegangan menjadi frekuensi. Pada penelitian tersebut sinyal penggerak diperoleh dari PLC yang diterapkan kendali PID didalamnya dengan Kp = 20, dan Ti = 1. Hasilnya adalah tidak ada *overshoot*, dan *settling time* 2.2 detik. Hasil dari pengujian penelitian karakteristik pada penelitian [8] diperoleh peningkatan efisiensi kerja pada motor. Penelitian lainnya [2] membandingkan pengendalian kecepatan motor induksi menggunakan inverter dengan sistem auto trafo. Diperoleh hasil bahwa penggunaan inverter lebih hemat penggunaan energinya sampai 65.61

kWh dalam pengoperasian 6 jam dengan kecepatan 500-600 rpm. Pengendalian kecepatan motor induksi menggunakan inverter juga telah dilakukan [3], inverter digunakan untuk mengatur putaran motor induksi 3 fasa sesuai dengan kebutuhan. Hasil dari penelitian tersebut adalah semakin tinggi tegangan referensi maka frekuensi akan semakin besar juga, hal tersebut berpengaruh pada meningkatkanya kecepatan putaran pada motor induksi.

Penggunaan *Programmable Logic Controller* sangat sering digunakan pada pengendalian kecepatan motor induksi, seperti pada penelitian [4] yang menggunakan program *Ladder* untuk mengendalikan kecepatan motor induksi melalui inverter. Pada penelitian tersebut besarnya frekuensi divariasikan dari 5-60 Hz dengan kecepatan 124-1441 rpm. Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah semakin besar frekeunsi yang diatur PLC maka kecepatan putaran motor induksi akan semakin cepat juga. Adapun pada penelitian [5], *Human Machine Interface* ditambahkan guna memudahkan pemantauan respon dari pengendalian kecepatan motor induksi. Hasil dari penelitian tersebut adalah nilai *error* sebesar 0.02%.

Selain menggunakan PLC, kontroller seperti Arduino juga telah digunakan seperti pada penelitian [6]. Penelitian tersebut putaran motor untuk roda robot dibuat dengan kendali PID. Parameter pada kendali PID ditentukan menggunakan metode manual *tuning*, diperoleh nilai *error* kecepatan sebesar 2.81%. Kendali PID dengan metode tuning Ziegler Nichols 1 pernah diterapkan pada penelitian [7]. Kendali PID diterapkan untuk menjaga kecepatan pada motor di *quadcopter* agar tetap pada 4000 rpm, nilai *settling time* yang diperoleh sebesar 14.5 detik dengan ketinggian yang stabil pada 3.05 meter. Kendali PID sangat umum digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor induksi dengan mempertimbangkan keunggulan dari kendali PID seperti respon yang cepat, stabilitas yang baik, serta kemampuan penyesuaian yang baik [9].

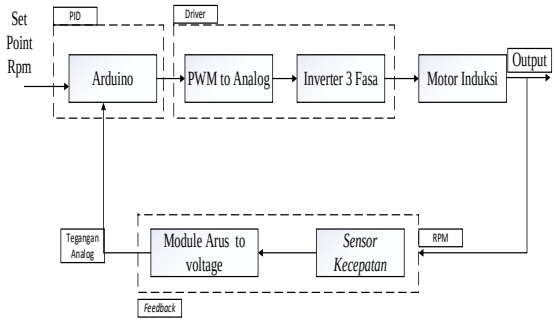
Adapun keterkaitan pada penelitian kali ini dengan sebelumnya adalah pada penerapa kendali PID untuk mengubah frekuensi pada VSD seperti pada penelitian [1][2][7]. Adapun pembaharuan pada penelitian ini ialah dalam upaya mengendalikan kecepatan motor induksi dilakukan dengan menerapkan kendali PID dengan kontroler berupa Arduino UNO. Pengendalian kecepatan dilakukan dengan mengubah besarnya frekuensi yang dibutuhkan, perubahan frekuensi dilakukan dengan menggunakan VSD yang bertujuan menjaga kecepatan motor konstan pada *setpoint* 1000 rpm dalam kondisi pembebanan maupun tidak berbeban , dengan *maximum overshoot* dibawah 15% dan memperoleh *error steady state* dibawah 10% dan *maximum overshoot* dibawah 15% yang dilengkapi dengan fitur *Human Machine Interface* dalam upaya untuk memudahkan dalam melakukan pemantauan nilai kecepatan yang dihasilkan.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Perancangan sistem ini dilakukan dengan merancang kendali PID dengan metode *tuning* Ziegler Nichols 1 yang selanjutnya akan diimplementasikan.

### 2.1 Perancangan Kendali PID

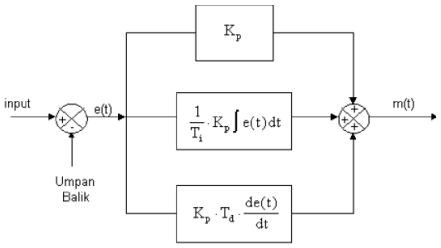
Pada pengendalian dengan menentukan nilai *setpoint* yang berupa kecepatan referensi. Selanjutnya nilai *setpoint* akan dikurangi dengan *feedback* yang merupakan kecepatan motor yang terukur oleh sensor kecepatan. Selisih antara nilai *setpoint* dan *feedback* akan menghasilkan nilai *error*. Nilai *error* ini selanjutnya menjadi masukan untuk kendali PID. Hasil dari kendali PID akan mengendalikan *motor driver* untuk menggerakan motor induksi. Adapun diagram sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.




Gambar 1. Diagram Blok Sistem Keseluruhan

Sistem secara keseluruhan dimulai dengan Arduino UNO yang menghasilkan sinyal kendali dengan masukan berupa *setpoint* kecepatan 1000 rpm dan *feedback* putaran motor dengan beban yang diubah-ubah dari 0-3 Nm. Keluaran dari Arduino UNO berupa sinyal PWM yang selanjutnya dikonversi menjadi tegagan analog menggunakan *PWM to Analog Converter*. Tegangan yang dihasilkan akan

masuk ke inverter analog dengan tujuan mengubah nilai frekuensi yang sesuai agar putaran kecepatan motor tetap stabil sesaui dengan *setpoint*. Kecepatan motor yang dihasilkan akan diukur oleh sensor kecepatan yang berupa *Tacho Generator* dengan hasil ukur berupa tegangan analog sebesar 15 Volt DC yang harus diubah menjadi besaran arus dengan rentang 4-20mA menggunakan terminal autonic. Agar dapat diproses oleh Arduino UNO, arus tersebut diubah menjadi tegangan DC dengan rentang 0-2.5 Volt. Data dari pengukuran tersebut akan menjadi masukan *feedback* untuk Arduino UNO. Kendali PID tersusun atas tiga jenis aksi kontrol, yaitu proposional, integral, dan derivatif. Aksi proposional berpengaruh terhadap *rise time* respon, integral memberi pengaruh pada nilai *error* yang dihasilkan, dan aksi derivatif untuk meredam *overshoot* dan *undershoot* [10]. Blok diagram kendali PID adalah sebagai berikut.

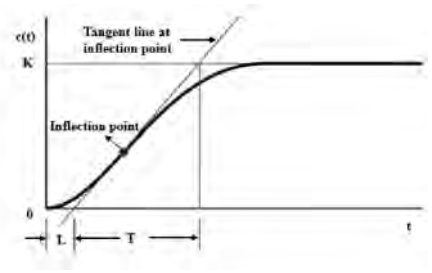



Gambar 2. Diagram blok kendali PID

Masukan pada kendali PID berupa nilai *error* yang merupakan selisih antara *setpoint* yang dikurangi dengan umpan balik (*feedback*). Nilai *error* pada kendali PID tersebut selanjutnya akan dilakukan perhitungan matematis dengan mengalikan pada parameter kendali PID yaitu Kp, Ki dan Kd. Hasil ketiga parameter tersebut akan dijumlahkan dan menghasilkan sinyal kendali. Apun persamaan pada kendali PID adalah sebagai berikut.

$$u(t) = Kpe(t) + Ki \int e\,(t)dt + Kd\,e(t) \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan diatas, dapat diketahui bahwa pada kendali PID terdapat beberapa parameter yaitu nilai Kp, Ti, dan Td. Dalam upaya memeroleh nilai dari ketiga parameter tersebut dilakukan proses *tuning* baik menggunakan metode Ziegler Nichols 1 maupun *trial and error*.




Gambar 3. Kurva S Sistem *Open Loop*

Penentuan parameter kendali PID dengan menggunakan metode *tuning* Ziegler Nichols 1 dilakukan dengan analisa respon *loop* terbuka untuk memeroleh nilai L dan T dari kurva S. Pada penelitian kali ini metode Ziegler Nichlos 1 diterapkan dalam upaya memeroleh parameter pada kendali PID. Tahapan pertama yang harus dilakukan dalam metode Ziegler Nichols 1 adalah menganalisa grafik respon pada sistem kendali *loop* terbuka. Analisa tersebut dilakukan dengan memberikan plant masukan kecepatan motor maksimum hingga sekitar 1000 rpm. Dibawah ini merupakan respon dari loop terbuka. Diperoleh nilai L = 2.1 s, dan T = 4.51 s. Kedua nilai tersebut kemudian digunakan untuk mencari nilai Kp, Ti, dan Td menggunakan persamaan dibawah ini.

$$Kp = 1.25\ x\ \frac{T}{L}\ ; Ti = 2\ x\ L\ ; Td = 0.5\ x\ L \quad (2)$$

$$Ki = \frac{Kp}{Ti}\ ; Kd = Kp\ x\ Td \quad (3)$$

Dari hasil perhitungan diatas, diperoleh hasil yang dipaparkan pada tabel dibawah ini.

*Tabel 1. Hasi tuning Ziegler Nichols 1*

| Tipe Kontrol | Kp | Ti | Td |
|---|---|---|---|
| P | 2,15 | ∞ | 0 |
| PI | 1,93 | 7,00 | 0 |
| PID | 2,58 | 4,20 | 1,05 |

Parameter Kp, Ki, dan Kd yang telah diperoleh selanjutnya diubah menjadi bentuk persamaan PID yang dapat diproses oleh Arduino UNO. Adapun bentuk persamaan kendali PID pada mikrokontroller adalah sebagai berikut.

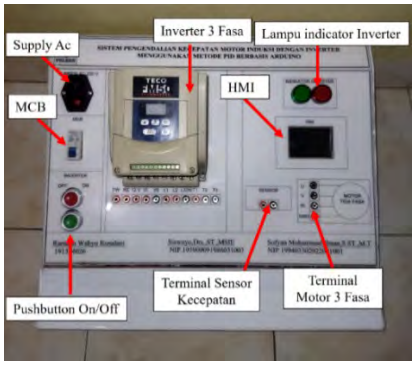
$$PID = Kp\ x\ error + Ki\ x\ sum_error + Kd\ x\ d_error \quad (4)$$

Pada persamaan 5 nilai *error* merupakan nilai *error* saat ini, *sum error* merupakan penjumlahan nilai *error* secara terus menerus

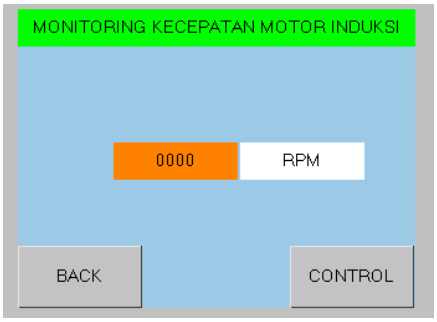
dari *error* mula sampai *error* saat ini, sementara *derror* merupakan perubahan besarnya *error*.

### 2.2 Perancangan *Hardware* Modul VSD TECO FM50

Gambar 4. merupakan modul VSD untuk mengendalikan kecepatan motor.




Gambar 4. Realisasi Modul VSD TECO FM50




Gambar 5. Fitur HMI Pada Modul VSD

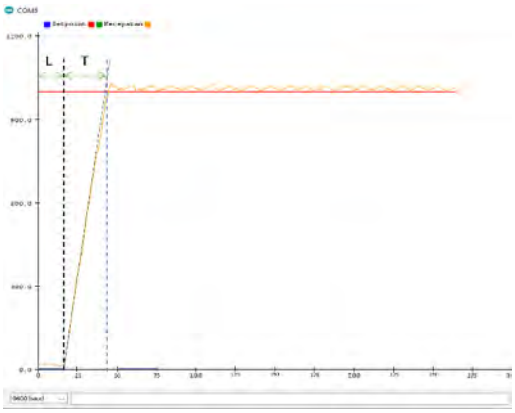
Cara kerja dari modul inverter yang dibuat adalah masuknya tegangan AC sebesar 220 Volt yang dihubungkan dengan MCB untuk memutus tegangan listrik apabila ada arus berlebih atau hubung singkat. Selanjutnya terdapat mikrokontroler yang bertugas untuk mengasilkan sinyal PWM berdasarkan masukan *setpoint* kecepatan dan *feedback* berupa data yang terukur oleh *tacho generator*. Sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler telah dikonversikan beberapa kali sampai akhirnya dihasilkan tegangan untuk masukan inverter yang akan menghasilkan frekuensi sesuai dengan pembebanan yang diberikan. Terdapat lampu indikator yang berwarna hijau sebagai indikasi sistem sedang bekerja. Ditambahkan juga HMI untuk memantau kecepatan motor yang terukur oleh sensor kecepatan motor.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan melakukan eksperimen menggunakan modul yang sudah dibuat, adapun beberapa pengujian yang dilakukan adalah pengujian *loop* terbuka (tanpa kendali), pengujian kendali PID (tanpa beban), serta pengujian kendali PID *tuning* manual (tanpa beban), dan pengujian kendali PID (berbeban).

### 3.1 Pengujian *Loop* Terbuka Tanpa Kendali

Pengujian loop terbuka tanpa kendali dilakukan untuk mengetahui respon motor yang selanjutnya digunakan untuk menentukan parameter PID yang digunakan dengan menggunakan metode Zeigler Nichols 1. Sesuai pada dasar teori dalam melakukan *tunning* dimulai dari mencari analisis grafik respons berbentuk kurva S dengan kendali *loop* terbuka untuk memperoleh nilai L dan T.

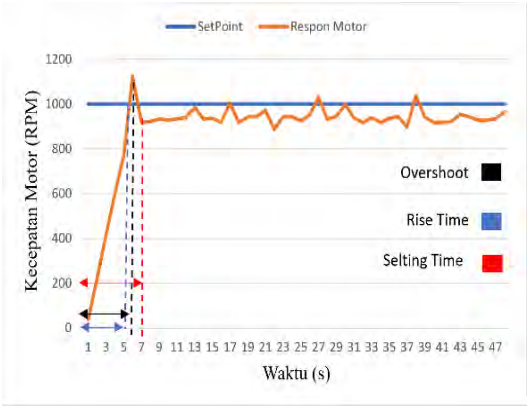



Gambar 6. Kurva S Pengujian Sistem *Loop* Terbuka

Pada Gambar 6. merupakan kurva S pada sistem keadaan *loop* terbuka (tanpa kendali), dimana motor dijalankan dengan kecepatan mencapai 1000 RPM.

### 3.2 Pengujian *Loop* Tertutup Dengan Kendali PID (Tanpa Beban)

Pada pengujian dengan parameter kendali PID hasil *tuning* Ziegler Nichols 1 sebagai berikut Kp = 2.57; Ki = 0.611 ; Kd = 2.69. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan kendali PID dalam menghasilkan respon yang sesuai dengan nilai *set point*. Adapun respon pengendalian adalah sebagai berikut.




Gambar 6. Respon Kendali Tanpa Beban

Berdasarkan Gambar 6. respon motor menghasilkan nilai *overshoot* sebesar 12.4%. Selain itu kondisi *steady state* juga tidak tercapai. Berikut analisa respon tuning Ziegler Nichols 1.

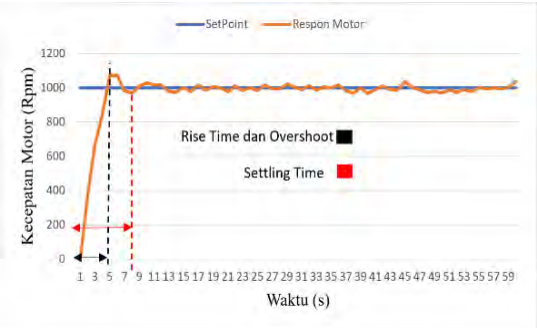
*Tabel 2. Hasi pengujian tuning Ziegler Nichols 1*

| Parameter | Nilai |
|---|---|
| *Maksimum Overshoot* (Mp) | 12,40% |
| *Seltting Time* (TS) | 7s |
| *Peak Time* (TP) | 6s |
| *Error Steady State* (ESS) | 5,75% |

Dalam upaya menghasilkan respon yang lebih baik dengan *overshoot* yang lebih kecil, dilakukan perhitungan kembali untuk menentukan parameter kendali PID melalui *tuning* manual.

### 3.3 Pengujian Optimasi Dengan *Tuning Manual* (Tanpa Beban)

*Tuning* manual untuk kendali PID dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh respon yang lebih baik dengan cara mengubah nilai parameter PID yang sebelumnya diperoleh dari tuning Ziegler Nichols 1. Berikut parameter kendali PID dengan *tuning* manual. Kp = 2.57; Ki = 0.87 ; Kd = 0.95. Respon kendali dapat dilihat pada gambar dibawah ini.




Gambar 7. Respon Kendali Dengan *Tuning Manual*

Dari Gambar 7 dapat dilihat besarnya *overshoot* lebih teredam dengan respon yang mendekati kondisi *steady state*. Adapun analisa dari respon diatas dipaparkan pada tabel dibawah ini.

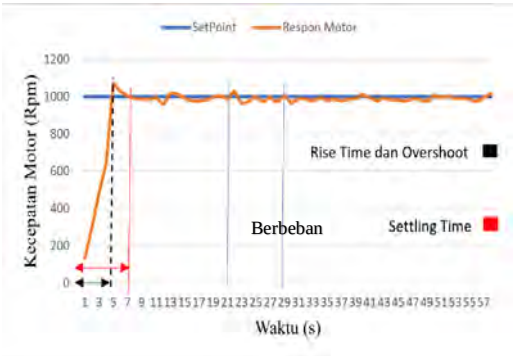
*Tabel 3. Hasi pengujian tuning manual*

| Parameter | Nilai |
|---|---|
| *Maximum Overshoot (Mp)* | 7,10% |
| *Seltting Time (TS)* | 11 s |
| *Peak Time (TP)* | 5 s |
| *Error SteadyState (ESS)* | 0,41% |

Dampak dari *tuning* manual parameter PID adalah nilai *overshoot* berkurang menjadi 7,10% begitu juga dengan ESS sangat menurun menjadi 0,41%. Meskipun begitu perubahan ini berpengaruh kepada *settling time* yang meningkat menjadi 11s.

### 3.4 Pengujian *Loop* Tertutup Dengan Kendali PID (Berbeban)

Pada pengujian kendali PID pada setpoint 1000 Rpm kemudian akan diberi pembebanan pada motor sebesar 3 Nm. Pengujian berbeban dilakukan untuk mengetahui kemampuan kendali PID untuk tetap mengikuti nilai *set point* sekalipun menghadapi gangguan berupa pemberian beban.



Gambar 10. Respon Kendali Dengan Beban

Gambar 10. merupakan respon kendali kecepatan dengan beban dan didapatkan hasil bahwa untuk mencapai *setpoint* membutuhkan 5 detik tetapi memiliki *overshoot* sebesar 1071,38 Rpm atau 7,13% dari *setpoint* yang ditentukan yaitu sebesar 1000 Rpm. Pada saat diberi beban sebesar 3 Nm pada detik ke-21 sampai detik ke 29 mengalami ganguan error sebesar 1,36% dikarena kan mengalami rata-rata penurunan sebesar 986 Rpm dan beban saat dilepas mengalami *undershoot* dan kembali ke *setpoint* 1000 Rpm pada saat detik ke-29 sampai ke detik ke-31 atau pada saat 2 detik.

Pada percobaan kendali PID kondisi berbeban 3 Nm pada motor induksi, nilai error yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan penerapan pada motor roda robot sebesar 2.81% [7]. Error yang lebih besar pada penelitian sebelumnya dapat disebabkan karena parameter kendali PID ditentukan langsung dengan metode tuning manual tanpa adanya batasan dari tuning dengan metode Ziegler Nichols 1.

## 4. KESIMPULAN

Penerapan kendali PID pada modul pengendalian kecepatan pada motor induksi tiga fasa telah diimplementasikan pada penelitian kali ini. Pengendalian kecepatan dilakukan dengan mengatur frekuensi yang dihasilkan oleh VSD. Parameter Kp, Ki, dan Kd dengan respon terbaik diperoleh saat menggabungkan *tuning* menggunakan metode Ziegler Nichols 1 dan optimasi dengan *tuning* manual. Kendali PID berhasil mencapai maximum *overshoot* dibawah 15% ketika motor induksi dalam keadaan tanpa beban maupun berbeban dengan *Error Steady State* dibawah 10%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung melalui Wakil Direktur Akademik yang telah memberikan bantuan pendanaan TA yang tercantum dalam surat 290/B/275/PL1/HK.02.00/2023 dengan kelompok pembiayaan A1.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] T. Hidayat, S. Wardono, and M. Dwiyaniti. "Performansi Pengendalian Kecepatan Motor Induksi berbasis PLC-PID-SCADA." ELECTRICES, vol. 2, no. 2, pp. 62- 70. 2020.

[2] B. P. Hartono, and E. Nurcahyo. "Analisis Hemat Energi Pada Inverter Sebagai Pengatur Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa." Elektrika: Jurnal Teknik Elektro, vol. 1, no. 1, pp. 8-16. Sept. 2017.

[3] Zulfikar, N. Evalina, A. Azis, Y. T. Nugraha "Analisis Perubahan Kecepatan Motor Induksi 3 Phasa Dengan Menggunakan Inverter 3G3MX2." Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK) UISU. vol. 2, no. 1, pp. 174-177. 2019.

[4] N. Evalina, 'Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable logic controller', vol. 3, no. 2, p. 8. 2018.

[5] A. Supardi, U. Umar, I. Setiyoko, and M. Saifurrohman, "Rancang Bangun Sistem Kendali Dan Monitoring Kecepatan Motor Induksi Berbasis Programmable Logic Controller (PLC) Dilengkapi Layar Sentuh," emitor, vol. 22, no. 1, pp. 65–72, Mar. 2022, doi: 10.23917/emitor.v22i1.15784.

[6] A. Priyambudi, B. Firman, and S. Kristiyana, "KENDALI KECEPATAN MOTOR PADA ROBOT DENGAN EMPAT RODA OMNI MENGGUNAKAN METODE PID," vol. 10, no. 2, 2018.

[7] Y. Ambabunga "Peningkatan Effisiensi Kerja Motor Induksi 3 Phasa (Pengujian Karakteristik Motor Induksi 3 Phasa)." Journal Dynamic Saint, vol. 5, no. 1, pp. 884-889. April. 2020.

[8] Y. Ambabunga "Peningkatan Effisiensi Kerja Motor Induksi 3 Phasa (Pengujian Karakteristik Motor Induksi 3 Phasa)." Journal Dynamic Saint, vol. 5, no. 1, pp. 884-889. April. 2020.

[9] E. Kartika, and Hastuti. "Sistem Monitoring dan Kontrol Motor AC 3 Phasa Melalui Inverter dengan Protokol Modbus Menggunakan Visual Basic Berbasis Atmega 2560." JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional), vol. 6, no. 2, pp. 204-211. 2020.

[10] K. R. S. Suda, E. Purwanto, B. Sumantri, H. H. Fakhruddin, and A. A. Muntashir, "PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN SISTEM (DTC) DIRECT TORQUE CONTROL," Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, vol. 18, no. 2, 2021.