

PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROLLER BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE

I Putu Sutawinaya¹ | Gede Wahyu Antara K.² | Gede Suputra Widharma³ | Made Wiryana⁴

¹²³⁴Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364

E-mail: sutawinayaputu@gmail.com, wahyuantara@pnb.ac.id, suputra@pnb.ac.id, dewiryana@pnb.ac.id

Abstrak – Motor induksi adalah salah satu motor listrik yang umum digunakan di industri-industri karena relatif murah. Secara umum untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan sistem kontrol berbasis kontroler PID (*Proportional, Integral, Derivative*). Semakin berkembangnya teknologi khususnya berkenaan dengan perkembangan teknologi berbasis kecerdasan buatan (*artificial intelligence*), maka penulis melakukan pengujian terhadap pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan sistem kontrol berbasis Fuzzy Logic. Sistem kontrol yang dirancang disimulasikan menggunakan perangkat lunak Simulink dari Matlab.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh hasil bahwa kecepatan motor induksi relatif stabil. *Rise time* dan *settling time* relatif cepat, namun *overshoot* dan *steady state error* masih perlu ditekan.

Kata kunci : Motor induksi; Fuzzy Logic; Simulink/Matlab.

Abstract - *Induction motors are one of the electric motors that are commonly used in industry because they are relatively cheap. In general, to regulate the speed of a three-phase induction motor, a control system based on a PID (Proportional, Integral, Derivative) controller is used. With the increasing development of technology, especially with regard to the development of artificial intelligence-based technology, the author carried out tests on the speed regulation of three-phase induction motors using a Fuzzy Logic-based control system. The designed control system is simulated using Simulink software from Matlab.*

Based on the test results, it was found that the speed of the induction motor was relatively stable. Rise time and settling time are relatively fast, but overshoot and steady state error still need to be reduced.

Keyword : *induction motor; Fuzzy Logic; Simulink/Matlab.*

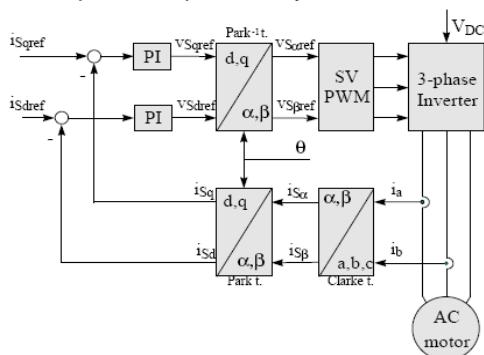
PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan salah satu motor listrik menggunakan arus bolak-balik (AC). Secara umum motor jenis ini memiliki kelemahan pada kestabilan putarannya ketika terjadi perubahan dinamika motor. Namun dengan dikembangkannya metode *field-oriented control* (FOC) pada motor induksi, di mana arus medan dan arus torsinya dapat dikontrol secara terpisah, maka kinerja motor induksi sudah dapat menyerupai motor arus searah (DC). Kelemahan yang lain dari motor induksi adalah tidak mampu mempertahankan kecepatannya dengan konstan bila terjadi perubahan kecepatan maupun perubahan torsi beban. Untuk mendapatkan kecepatan konstan serta mampu memperbaiki

kinerja motor induksi, maka dibutuhkan suatu rangkaian kontrol.

Kontroler PID (*Proportional-Integral-Derivative*) merupakan kontroler konvensional yang umum digunakan dalam pengaturan kecepatan motor induksi. Kelemahan kontroler ini adalah membutuhkan perhitungan matematik yang rumit dan kompleks. Sulit menentukan (mentala) nilai gain K_p , K_i dan K_d yang sesuai agar diperoleh kinerja motor yang bagus. Untuk mengatasi kelemahan kontroler tersebut, serta memperbaiki kinerja rangkaian pengaturan kecepatan motor induksi, maka dikembangkan suatu metode kontrol menggunakan teknologi Fuzzy Logic (*Fuzzy Logic Controller*).

Field Oriented Control (FOC) adalah suatu metode pengaturan medan pada motor ac, di mana dari sistem *coupled* dirubah menjadi sistem *decoupled*. Melalui sistem ini arus penguatan dan arus beban motor dapat dikontrol secara terpisah, dengan demikian torsi dan fluksi juga dapat diatur secara terpisah, seperti halnya motor dc.



Gambar 1. Skema dasar FOC [1-3]

Konsep himpunan Fuzzy sejak diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh telah banyak menarik minat peneliti untuk diterapkan diberbagai bidang, seperti pengendalian mesin-mesin listrik, pengenalan pola, manajemen pembuatan keputusan.

Penerapan teori himpunan Fuzzy dalam bidang pengendalian (*Fuzzy Logic Controller*) telah terbukti banyak menyelesaikan masalah-masalah yang ditemui dalam bidang pengendalian. Penerapan kontroler Fuzzy Logic pada industri-industri banyak dipelopori oleh para ahli Jepang, misalnya Prof. Sugeno dan kawan-kawan dari Tokyo Institute of Technology. Prof. Yamakawa dari Kyusu Institute of Technology melakukan penelitian dasar dari komputer fuzzy, sedangkan Togai dan Watanabe dari Bell Telephone Labs. berhasil menciptakan untuk pertama kali chip Fuzzy Logic.

Kontroler Fuzzy Logic dikategorikan dalam kontrol cerdas (*intelligence control*). Unit Fuzzy Logic memiliki kemampuan menyelesaikan masalah perilaku sistem yang kompleks yang tidak dimiliki oleh kontroler konvensional.

METODE PENELITIAN

Dengan tujuan untuk mengetahui kinerja motor induksi tiga fasa melalui penerapan sistem kontrol

pengaturan motor induksi menggunakan kontroler Fuzzy Logic, maka Penulis melakukan uji coba melalui simulasi perangkat lunak Matlab dengan fasilitas Simulink.

Secara konvensional dikenal beberapa metode kontrol untuk pengaturan motor induksi antara lain: metode *look-up table* atau dengan metode pemodelan secara matematis maupun kontrol PI (*Proportional-Integral*). Namun, kelemahannya adalah performansinya tidak sesuai dengan yang diharapkan, baik terhadap respon kecepatan referensinya maupun terhadap perubahan parameter motor. Untuk mengatasi kelemahan tersebut maka dikembangkan suatu metode kontrol berbasis pada teknologi *Fuzzy-Logic*.

Beberapa studi tentang pengendalian motor induksi telah dikembangkan oleh para peneliti yang menjadi acuan dalam penelitian ini. Pada penelitian ini dirancang suatu pemodelan pengaturan kecepatan motor induksi dengan metode *field-oriented control* (FOC) menggunakan kontroler Fuzzy Logic. Model diaplikasikan melalui suatu simulasi pemodelan perangkat lunak (*software*) menggunakan fasilitas Simulink dan Power System Blockset dari Matlab.

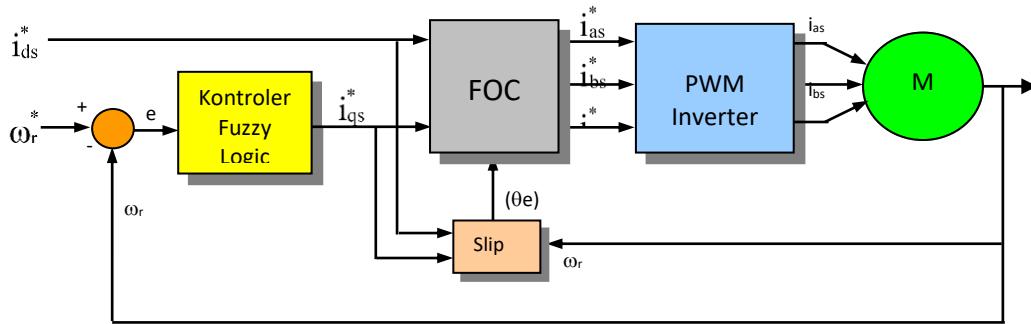
Hasil simulasi yang ditunjukkan dalam bentuk grafik akan dianalisis, apakah dengan menggunakan kontroler Fuzzy Logic mampu memberikan kriteria performansi yang tinggi. Respon dari kinerja motor induksi tiga fasa yang ditampilkan apakah lebih bagus, seperti *rise-time* dan *settling-time*, serta *overshoot*, *undershoot* dan *steady state error*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

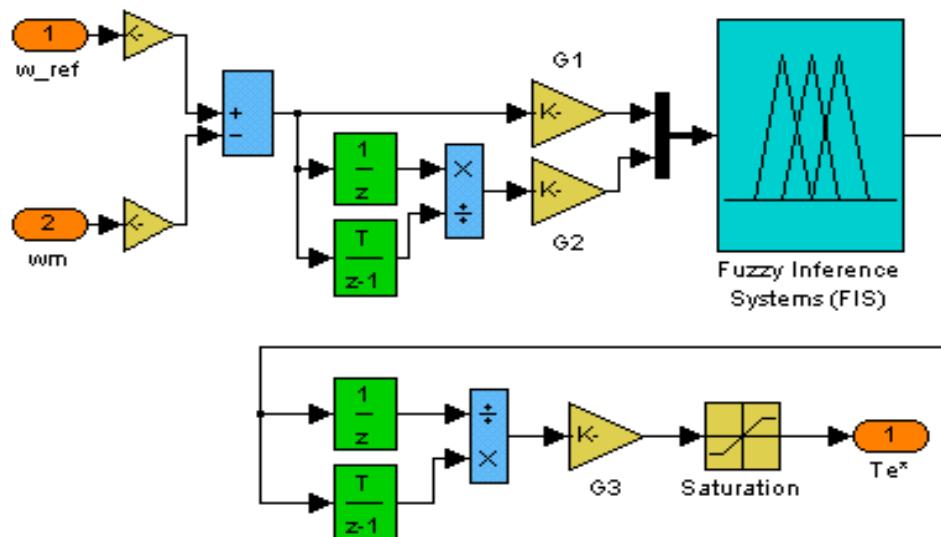
1. Simulasi Kontroler Fuzzy Logic

Mengembangkan dari beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti, maka blok diagram sistem pengaturan kecepatan motor induksi menggunakan metode FOC dengan kontroler Fuzzy Logic yang dirancang ditunjukkan pada gambar 2.

Pemodelan Kontroler Fuzzy Logic menggunakan Simulink dari Matlab yang dirancang adalah seperti ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 2. Blok diagram sistem pengaturan kecepatan motor induksi menggunakan metode FOC dengan kontroler Fuzzy Logic.



Gambar 3. Pemodelan Kontroler Fuzzy Logic menggunakan Simulink/Matlab

Tabel 1. Rule base kontroler Fuzzy Logic

E Δ E	nb	nm	nk	no I	pk	pm	pb
nb	<i>nb</i>	<i>nb</i>	<i>nb</i>	<i>nb</i>	<i>n</i> <i>m</i>	<i>nk</i>	<i>nol</i>
nm	<i>nb</i>	<i>nb</i>	<i>nm</i>	<i>n</i> <i>m</i>	<i>nk</i>	<i>nol</i>	<i>pk</i>
nk	<i>nb</i>	<i>nm</i>	<i>nk</i>	<i>nk</i>	<i>nol</i>	<i>pk</i>	<i>pm</i>
nol	<i>nb</i>	<i>nk</i>	<i>nk</i>	<i>nol</i>	<i>pk</i>	<i>pk</i>	<i>pm</i>
pk	<i>n</i> <i>m</i>	<i>nk</i>	<i>nol</i>	<i>pk</i>	<i>pk</i>	<i>pm</i>	<i>pb</i>
pm	<i>nk</i>	<i>nol</i>	<i>pk</i>	<i>p</i> <i>m</i>	<i>p</i> <i>m</i>	<i>pb</i>	<i>pb</i>
pb	<i>nol</i>	<i>pk</i>	<i>pm</i>	<i>pb</i>	<i>pb</i>	<i>pb</i>	<i>pb</i>

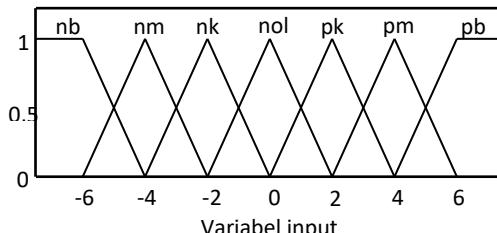
Untuk menentukan rule base digunakan metode pendekatan secara heuristik, dengan melakukan pengamatan respon terhadap masukan, kemudian dengan naluri keteknikan (engineering science) ditentukan rule base kontroler Fuzzy Logic yang

sesuai. Rule base kontroler Fuzzy Logic yang digunakan ditunjukkan pada tabel 1.

Metode yang digunakan pada kontroler Fuzzy Logic ini adalah metode statik, artinya sifat fungsi keanggotaan (*membership function*) bekerja dengan rentang kerja (*range*) tetap, yaitu antara -6 sampai dengan 6 untuk variabel input, dan antara -0,09 sampai dengan 0,09 untuk variabel output seperti ditunjukkan pada gambar 4.

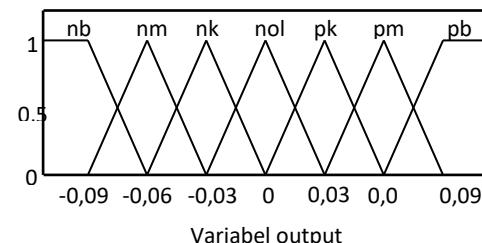
Error dan *delta error* yang terjadi selama sistem dioperasikan, terlebih dahulu dikuantisasi atau dipetakan melalui interpolasi biasa menjadi *error* terkuantisasi (*Qe*) dan *delta error* terkuantisasi (*dQe*). Pengkuantisan melalui interpolasi bertujuan untuk memetakan *error* dan *delta error* ke dalam semesta pembicaraan

dengan rentang kerja yang telah ditetapkan tersebut. Pengkuantisasian dibagi menjadi tujuh tingkat kuantisasi dengan variabel linguistik, yaitu negatif besar (nb), negatif menengah (nm), negatif kecil (nk), nol (nol), positif kecil (pk), positif menengah (pm),



Gambar 4. Membership Function variabel input dan output

positif besar (pb) seperti tabel 1 dan gambar 4. Penentuan rentang kerja tersebut harus seflexibel mungkin agar sistem mampu melakukan *tracking setpoint* dengan baik.

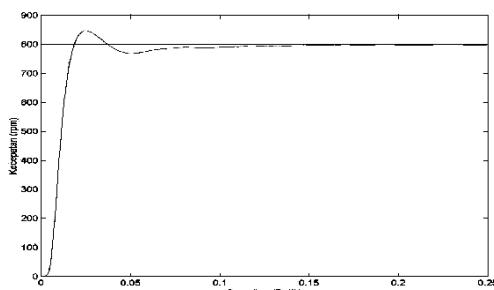


2. Hasil Simulasi dan Analisis

Simulasi program dilakukan pada tiga kondisi dinamik, yaitu simulasi pada kondisi *setpoint* tetap, perubahan *setpoint*, dan pemberian torsi beban (berbeban). Pada tiap kondisi diamati dan dianalisis kinerja motor induksi tiga fasa baik *overshoot*, *undershoot*, *rise time*, *settling time* dan *steady state error* melalui tampilan karakteristik kecepatan motor induksi pada blok “Scope [rpm]”.

• Kondisi Setpoint Tetap

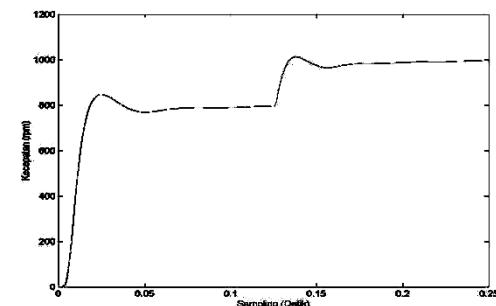
Pada kondisi ini, model yang dirancang diuji dalam kondisi *setpoint* tetap 800 rpm tanpa beban. Hasil pengujian dan respon seperti pada gambar 5 yaitu *settling time* berkisar 0,08 detik, *rise-time* berkisar 0,09 detik, *maximum overshoot* berkisar 6 % serta *error steady state* di bawah 1 %.



Gambar 5. Respon kecepatan motor kondisi setpoint tetap

• Kondisi Setpoint Berubah

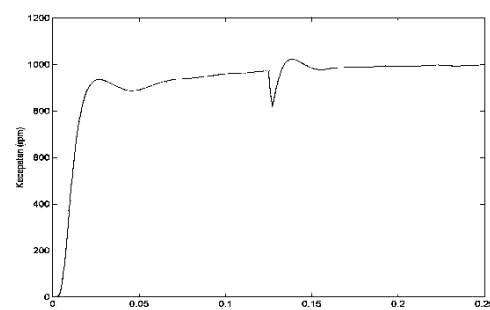
Pada kondisi ini, model yang dirancang diuji melalui perubahan *setpoint* dari 800 rpm ke 1200 rpm tanpa beban. Hasil pengujian dan respon seperti terlihat pada gambar 6 menunjukkan bahwa *settling time* berkisar 0,19 detik, *rise time* berkisar 0,20 detik, lonjakan *overshoot* I kurang 6% dan *overshoot*-II berkisar 1,2% serta *error-steady state* di bawah 1 %.



Gambar 6. Respon kecepatan motor kondisi setpoint berubah

• Kondisi Berbeban

Pada kondisi ini, model yang dirancang diuji dengan memasukkan torsi beban 0,5 Nm pada *time sampling* 0,12 detik. Hasil pengujian dan respon seperti terlihat pada gambar 7, di mana menunjukkan bahwa *settling time* berkisar 0,27 detik, *rise time* berkisar 0,29 detik, lonjakan *overshoot* I berkisar 2,7% dan lonjakan *overshoot* II berkisar 2,6% serta *error-steady state* berkisar 2%.



Gambar 7. Respon kecepatan motor kondisi berbeban

SIMPULAN DAN SARAN**• Simpulan**

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari simulasi kondisi *setpoint* tetap terlihat bahwa model kontroler yang dirancang mampu memberikan kriteria performansi sistem kontrol yang tinggi. *Rise time* dan *settling time* relatif cepat, *overshoot* relatif kecil dan *steady state error* mendekati nol.
2. Untuk kondisi perubahan *setpoint* dari 800-1200 rpm, *rise time* dan *settling time* yang ditunjukkan relatif cepat, *overshoot* dan *steady state error* masih perlu ditekan.
3. Pada kondisi berbeban, kontroler ini mampu mengatasi perubahan *plant* dengan kembali ke posisi *setpoint* relatif cepat.

• Saran

Maximum overshoot untuk model yang dikembangkan ini perlu ditekan lagi melalui pemberian pada aturan dasar (*rule base*) Fuzzy. Untuk mengatasi kelemahan ini maka model yang dikembangkan ini perlu disempurnakan kembali dengan menggunakan metode yang lain.

Ucapan Terima Kasih

Dengan terpublikasinya artikel ini, Penulis mengucapkan terima kasih kepada Redaktur Jurnal Vastuwidya dan pihak-pihak yang terkait dalam penulisan artikel ini. Begitu juga kami mengucapkan terima kasih kepada MathWorks, Perusahaan pengembang software Matlab atas perkenannya menggunakan ciptaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Heber Brian, Xu Longya, Tang Yifan, 1997, "Fuzzy Logic Enhanced Speed Control of an Indirect Field Oriented Induction Machine Drive", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 12, No. 5, pp. 772-773.
- Robyns Benoit, Berthereau Frederique, Hautier Jean-Paul, and Buyse Herve, 2000, "A Fuzzy-Logic-Based Multimodel Field Orientation in an Indirect FOC of an Induction Motor", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vo. 47, No. 2.
- Razzouk A.Ba, Cheriti A., 1997, "Field-Oriented Control of Induction Motors Using Neural-Network Decouplers", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 12, No. 4.
- Sutawinaya I Putu, 2013, "Pengembangan model Fuzzy Mamdani untuk pengaturan kecepatan motor induksi berbasis metode kontrol Field Oriented", LOGIC, vol 6 no. 1. PNB, Denpasar.
- Sutawinaya I Putu, 2013, "Pengembangan Model Transformasi Clarke-Park pada Pengendalian Motor Induksi Tiga Phasa Menggunakan Matlab/Simulink", LOGIC, volume 13 no. 1. PNB, Denpasar.
- Sutawinaya I Putu dan Narottama, 2010, "Simulasi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Kontroler PI dengan Observer ANFIS", LOGIC, volume 10 no. 1. PNB, Denpasar.
- Zhen Li, and Xu Longya, 2000, "Fuzzy Learning Enhanced Speed Control of an Indirect Field-Oriented Induction Machine Drives", *IEEE Transactions Control Systems Technology*, Vol. 8, No. 2