

Desain SVPW Minverter Sebagai Driver Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan ANFIS

Dimas Rhocky Endika Putra¹

¹PT. Securindo Packatama Indonesia
Korespondensi: rhockydimas@gmail.com

Received: Maret 2023; Accepted: Mei 2023; Published: Juli 2023

DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v5i1.123>

Abstrak

Di dunia industri banyak digunakan motor induksi sebagai penggerak berbagai peralatan karena keunggulan yang dimiliki oleh motor induksi tersebut dalam hal harga, ukuran, berat, konstruksi, perawatan, dan efisiensi. Namun motor induksi ini lebih dipilih untuk sistem penggerak yang membutuhkan kecepatan putar yang konstan. Hal itu terjadi karena kontrol kecepatan pada motor induksi jauh lebih sulit dibandingkan pada motor DC. Untuk mengatasi permasalahan ini maka dikembangkan metode *switching inverter* untuk mengatasi kelemahan motor induksi. Untuk *driver* motor induksi dengan metode *switching inverter* itu sendiri masih memerlukan *inverter* untuk memberikan tegangan pada motor. Dalam penelitian ini akan diteliti penggunaan kontroler ANFIS pada inverter sebagai pengendali kecepatan motor induksi. Kontroler ANFIS digunakan sebagai rangkaian *switching inverter*, perancangan inverter ini berdasarkan metode inverter yang telah ada yaitu metode SVPWM. Inverter kontroler ANFIS yang dihasilkan kemudian disimulasikan pada motor induksi sehingga didapatkan suatu bentuk inverter yang dapat mengontrol kecepatan motor induksi dengan respon kecepatan terhadap waktu yang baik. Dari simulasi yang telah dilakukan telah didapatkan hasil yang bagus baik dari segi respon kecepatan rotor, arus stator, dan torsi pada motor induksi tiga fasa. Adapun hasil yang diperoleh yaitu *error* 0,16 % dibawah 5 rpm pada keadaan motor induksi tidak berbeban.

Kata kunci: ANFIS, inverter, *switching inverter*

Abstract

In the industrial world, induction motors are widely used as drivers for various equipment because of the advantages of induction motors in terms of price, size, weight, construction, maintenance, and efficiency. However, this induction motor is preferred for drive systems that require constant rotational speed. This is because speed control on induction motors is much more difficult than on DC motors. To solve this problem, developed a method switching inverter to overcome the disadvantages of an induction motor. For drivers induction motor with inverter switching method itself still requires an inverter to provide voltage to the motor. This research investigated the use of ANFIS controller inverter speed control induction motor. ANFIS controller is used as a switching circuit inverter, inverter design is based on the existing inverter method is the method of SVPWM. Inverter ANFIS controller is then simulated in induction motors to obtain a form inverter to control the speed of the induction motor with the speed of response to a good time. From the simulation has been done has obtained good results in terms of both response speed

of the rotor, stator current, and torque at three phase induction motor. The results obtained by the error of 0.16 % below 5 rpm on the state of the induction motor is not loaded.

Key words: ANFIS, Inverter, Switching inverter

I. PENDAHULUAN

Motor DC merupakan motor yang mudah untuk diaplikasikan. Karena kemudahannya, pada saat ini motor DC sering digunakan untuk macam – macam keperluan, seperti peralatan industri maupun rumah tangga [1]. Namun, motor DC memiliki kekurangan dimana ketika diberikan kendala akan mengakibatkan kecepatan motor DC akan terganggu [2]. Karena adanya kelemahan pada motor dc tersebut maka aplikasi pada industri telah banyak digantikan dengan motor induksi. Keunggulan yang dimiliki oleh motor induksi tersebut dalam hal harga, ukuran, berat, konstruksi, perawatan, dan efisiensi [3]. Namun motor induksi ini lebih dipilih untuk sistem penggerak yang membutuhkan kecepatan putar yang konstan. Hal itu terjadi karena kontrol kecepatan pada motor induksi jauh lebih sulit dibandingkan pada motor DC [4]. Pada dasarnya pengaturan kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan mengubah jumlah kutub motor atau mengubah frekuensi suplai motor. Pengaturan kecepatan dengan mengubah kutub motor sangat sulit dilakukan karena harus mengubah bentuk fisik motor, jadi pengaturan kecepatannya sangat terbatas [5].

Dalam aplikasinya motor induksi untuk pengendali kecepatannya sulit dilakukan, setelah adanya metode transformasi vektor masalah tersebut dapat diatasi sehingga motor induksi banyak digunakan diindustri. Metode transformasi vektor adalah pengaturan melalui pemisah (*decoupling*) variabel stator dan rotor, sehingga motor dapat dioperasikan seperti motor DC penguat terpisah. Untuk pengendali kecepatan motor induksi

menggunakan inverter dengan *switching* SVPWM karena memiliki distorsi harmonik yang rendah. Dalam penelitian tersebut nilai THD yang didapatkan sudah cukup baik, oleh karena itu dalam pemilihan metode untuk PWM peneliti memilih untuk menggunakan metode *Space Vector* PWM [6].

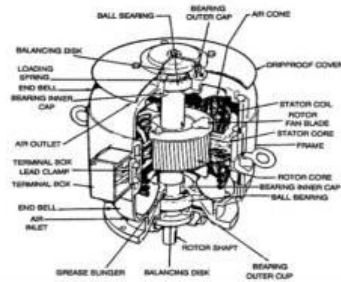
Pada penelitian ini, peneliti juga mengambil referensi dari penelitian sebelumnya yang menggunakan *fuzzy logic* sebagai pengatur *switching* SVPWM untuk pengendalian kecepatan motor induksi. Dalam penelitian tersebut respon tegangan terhadap kecepatan sudah cukup baik, namun belum ada pengujian untuk kecepatan rendah motor induksi 3 fasa [7].

Dalam skripsi ini peneliti menggunakan *Adaptive Fuzzy Inference System (ANFIS)* Di mana terdapat 2 buah *controller* yang seolah – olah digabungkan, namun untuk *controller* PI-Fuzzy ini, fuzzy digunakan untuk memperbaiki nilai yang diset pada *controller* PI. Dalam penelitian ini nantinya *controller* ini akan digunakan untuk mengontrol proses *switching* inverter yang akan mempengaruhi respon kecepatan rotor. Pada penelitian ini telah dibuktikan bahwa apabila menggunakan *controller ANFIS* maka akan mendapatkan nilai *error* sebesar 0,16% di bawah 5 rpm pada keadaan motor tanpa beban. Sedangkan untuk performa motor induksi dengan beban tetap memiliki nilai *error* 1,07% dibawah 10 rpm, untuk beban bertingkat 1,52% dibawah 35,6 rpm, dan untuk beban seketika 0,72% dibawah 19 rpm.

II. METODE PENELITIAN

Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi adalah suatu mesin listrik yang merubah energi listrik menjadi energi gerak dengan menggunakan gandengan medan listrik dan mempunyai slip antara medan stator dan medan rotor. Motor induksi merupakan motor yang paling banyak kita jumpai dalam industri [7].

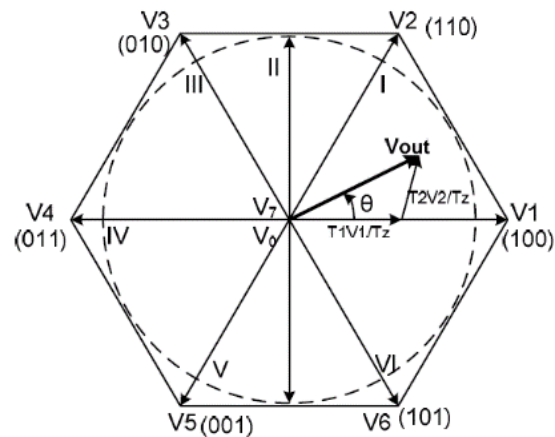


Gambar 1. Konstruksi Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan, terutama pada industri-industri. Prinsip kerja motor ini berdasarkan proses induksi yang terjadi pada bagian rotor, dimana arus yang mengalir pada kumparan rotor merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan putaran rotor dengan medan putar stator, yang dihasilkan oleh kumparan stator.

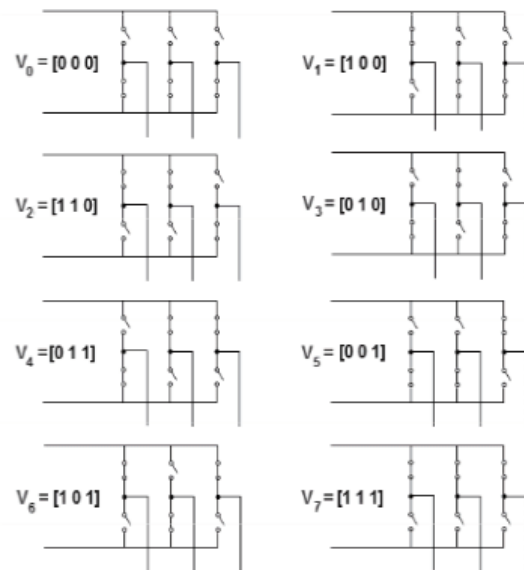
Space Vector PWM

SVPWM merupakan pengembangan dari metode PWM sebelumnya. Metode ini biasanya diterapkan pada inverter tiga fasa. Dibandingkan dengan metode PWM sebelumnya SVPWM membangkitkan distorsi harmonik lebih sedikit dan lokus vektor referensi berada didalam lingkaran dengan radius $1/\sqrt{3} V_{dc}$, utilitas tegangan SVPWM = $2/\sqrt{3}$ kali sinusoidal PWM. Metode PWM yang satu ini didasarkan pada adanya ruang vektor pada koordinator *abc* 3 fasa [8]. Ruang vektor ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Ruang vektor SVPWM inverter

Tegangan output SVPWM mempunyai 8 vektor tegangan inverter (V_0 - V_7). Seperti pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Kondisi 8 vektor tegangan output

Kontroler ANFIS

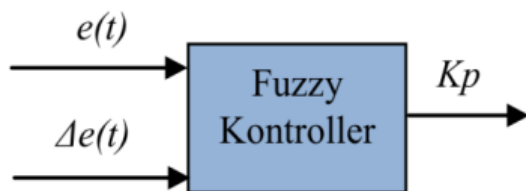
Fuzzy Neural Network atau Jaringan Syaraf Kabur atau *system neuro-fuzzy* adalah mesin belajar yang menemukan parameter sistem kabur (yaitu, himpunan *fuzzy*, aturan *fuzzy*) dengan memanfaatkan teknik pendekatan dari jaringan syaraf.

Jaringan syaraf dan *system fuzzy* memiliki beberapa kesamaan. Jika sudah tidak ada model matematika dari masalah

yang diberikan, maka keduanya dapat digunakan untuk memecahkan masalah (misalnya *pattern recognition*, *regression* atau *density estimation*). Jaringan syaraf dan *system fuzzy* hanya mempunyai kelemahan dan kelebihan yang hampir sepenuhnya hilang dengan menggabungkan kedua konsep-konsep tertentu.

Jaringan syaraf hanya dapat ikut berperan jika masalah yang ada diungkapkan oleh contoh yang diamati (dengan jumlah yang cukup). Observasi ini digunakan untuk pelatihan secara *blackbox*. Di satu sisi tidak ada pengetahuan tentang masalah ini perlu diberikan. Disisi lain, bagaimanapun, adalah tidak mudah untuk mengekstrak aturan yang mudah dipahami dari struktur jaringan syaraf tersebut.

Sebaliknya, sistem kabur menuntut aturan linguistic sebagai pengganti contoh pembelajaran sebagai pengetahuan sebelumnya. Selanjutnya variabel input dan output harus dijelaskan secara linguistik/bahasa. Jika pengetahuan tidak lengkap, salah atau bertentangan, maka sistem fuzzy harus disetel (*tuned*). Karena tidak ada pendekatan formal untuk itu, *tuning* dilakukan dengan cara heuristik. Hal ini biasanya sangat memakan waktu dan rawan kesalahan. Berikut merupakan perbedaan antara jaringan syaraf dan sistem fuzzy [9].



Gambar 4. Blok diagram kontroller fuzzy

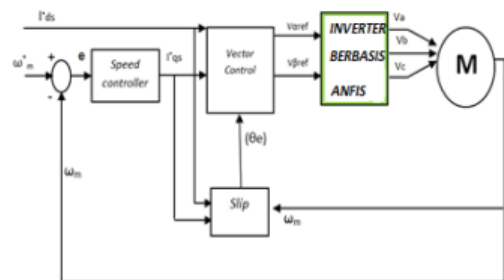
Output dari kontroller masih berupa variabel fuzzy untuk itu perlu dilakukan proses *defuzzyfikasi* untuk mengubah variabel *fuzzy* menjadi variabel linguistik. Output dari kontroller yang telah didefuzzyfikasi digunakan untuk

menentukan nilai dari parameter-parameter K_p . Fungsi *fuzzy logic* kontroller adalah untuk mengatur parameter PI secara otomatis.

Pada dasarnya kontroler PI-Fuzzy merupakan metode pengendali yang tersusun dari pengendali konvensional dan kecerdasan buatan. Pada pengendali konvensional terdapat kontroler PI yang terdiri dari kontroler proporsional (K_p) bahwa salah satu memiliki *error* dan juga perubahan *error input*, dan kontroler integral (K_i) kebutuhan hanya untuk mengintegrasikan *output* dari kontroler.

Sedangkan, pada kecerdasan buatan terdapat kontroler *Fuzzy* yang memiliki sifat mampu bekerja menirukan logika manusia untuk mempertimbangkan output pengontrol bukan sebagai sinyal kontrol, tetapi sebagai perubahan sinyal kontrol [10].

Secara keseluruhan sistem dapat dinyatakan dalam diagram blok agar mudah memahami cara kerja sistem ini. Diagram blok sistem ini ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Blok Sistem

Terdapat beberapa bagian dari sistem yang mempunyai fungsi-fungsi tertentu yaitu *plant* dalam sistem motor induksi tiga fasa. Sumber tegangan motor induksi didapatkan dari inverter terkendali. Terdapat variasi untuk menguji kehandalan sistem ini.

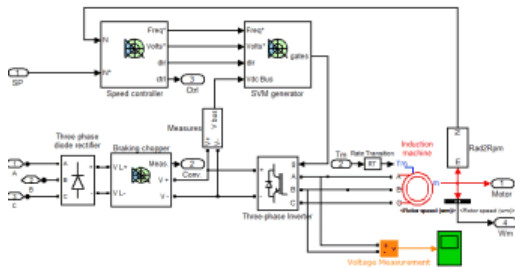
Perancangan Simulasi Sistem

Perancangan simulasi sistem ini terdiri dari beberapa bagian yaitu

perancangan pemodelan motor induksi tiga fasa, *switching* SVPWM inverter, dan kontroler PI – *Fuzzy Hybrid*.

Pemodelan Motor Induksi Tiga Fasa

Model $d-q$ motor induksi merupakan dasar pengaturan kecepatan motor induksi dengan metode transformasi vektor. Sistem koordinat tiga fasa statis ditransformasikan ke koordinat dinamis $d-q$, koordinat ini berputar mengikuti kecepatan sinkron motor atau medan putar stator. Dengan transformasi ini didapatkan model motor induksi yang lebih sederhana, model tegangan dan arus pada persamaan ini merupakan variabel dengan referensi koordinat $d-q$, transformasi tegangan tiga fasa ke koordinat $d-q$ menggunakan transformasi park seperti ditunjukkan pada persamaan. Bentuk pemodelan motor induksi dapat dilihat pada Gambar 6.



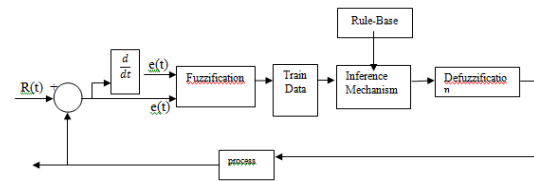
Gambar 6. Pemodelan motor induksi tiga fasa dengan SVPWM inverter

Pemodelan Kontroler ANFIS

Pada penelitian ini kontroler ANFIS digunakan untuk mengatur sudut penyalan dari *thyristor*. Penggunaan kontroler ANFIS diharapkan dapat mempercepat proses peredaman osilasi daya. Berikut ini adalah gambar diagram blok dari kontroler ANFIS yang digunakan dalam penelitian ini yang ditunjukkan pada Gambar 7.

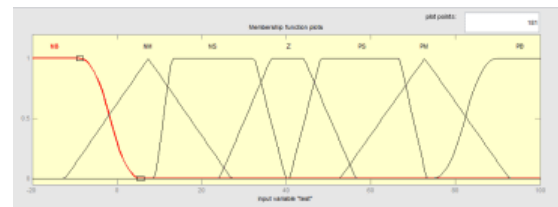
Dalam perancangan inverter pada tugas akhir ini dipergunakan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy input* dan *output* yang dinamis sesuai dengan *input* referensi atau setpoint. Fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk kedua *input* dan output dibuat

menjadi 4 macam yaitu *zmf*, *trimf*, *trapf*, dan *smf* dengan distribusi sebanyak 7 jenis himpunan *fuzzy*. Bentuk fungsi keanggotaan *input* seperti pada Gambar 8.

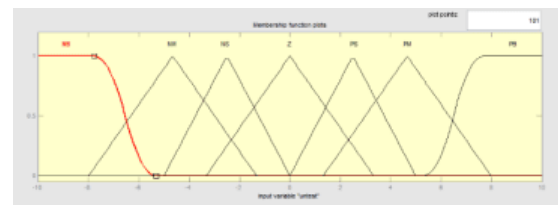


Gambar 7. Diagram simulink kontroler logika fuzzy

Dari percobaan menggunakan respon *close loop* didapatkan *range* sinyal kesalahan (*error*) yang dihasilkan antara -20 sampai 100. Untuk mendapatkan nilai perubahan sinyal kesalahan (*delta error*) dengan cara menunda sinyal kesalahan satu sampling, maka didapat nilai perubahan sinyal kesalahan (*delta error*) bervariasi dari -10 sampai 10. Derajat keanggotaan untuk sinyal perubahan kesalahan ditunjukkan pada Gambar 9.

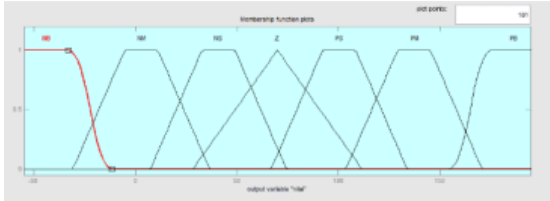


Gambar 8. Derajat keanggotaan sinyal kesalahan (*error*)



Gambar 9. Derajat keanggotaan perubahan sinyal kesalahan (*delta error*)

Derajat keanggotaan keluaran ditentukan antara -55 sampai dengan 195 yang dibagi menjadi 7 bagian. Derajat keanggotaan sinyal keluaran ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Derajat keanggotaan keluar (output)

Rule base yang akan digunakan ditunjukkan pada Tabel 1 yang merupakan tabel kesalahan yang terdiri dari 7 anggota dan memiliki keluaran sebanyak 49 anggota.

NB : *Negative Big*
 PS : *Positive Small*
 NP : *Negative Medium*
 PM : *Positive Medium*
 NS : *Negative Small*
 PB : *Positive Big*
 Z : *Zero*

Tabel 1. Rule Base Kontroler Logika Fuzzy

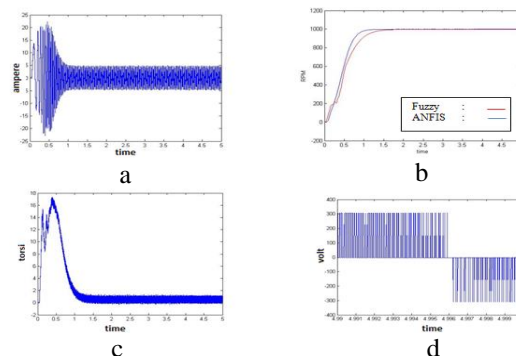
e/de	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z
NM	NB	NB	NB	NM	NS	Z	PS
NS	NB	NB	NM	NS	Z	PS	PM
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
PM	NS	Z	PS	PM	PB	PB	PB
PB	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB

Sedangkan untuk kontroler PI pada penelitian ini digunakan untuk mendukung kinerja dari kontroler *fuzzy*. Untuk pengaturan kontroler PI sendiri akan disesuaikan dengan output dari kontroler fuzzy karena dalam penelitian ini output dari fuzzy controller akan mengestimasi nilai dari Kp pada PI controller. Sedangkan untuk nilai Ki masih diatur secara manual, namun dalam penelitian ini peneliti mendapatkan nilai Ki yang konstan yakni 0.002 pada setiap kecepatan pada motor induksi tiga fasa.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi Motor Tanpa Beban dengan Kecepatan Referensi 1000 rpm

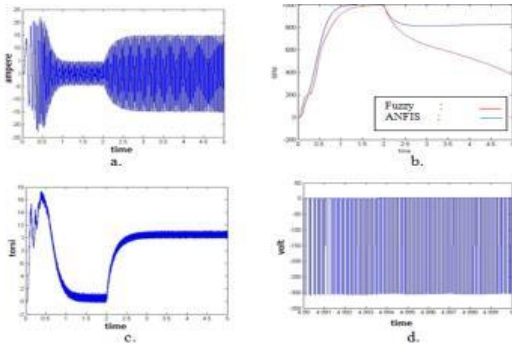
Gambar 11 adalah hasil simulasi motor induksi tiga fasa tanpa beban dengan kecepatan referensi 1000 rpm. Pada Gambar 11 bagian (a) menunjukkan tegangan output inverter, bagian (b) menunjukkan bahwa kontroler ANFIS dapat memperbaiki keadaan *overshoot* lebih baik bila dibandingkan dengan kontroler *fuzzy* yang memiliki *overshoot error* 0.12 % bila dibandingkan dengan kontroler *fuzzy* yakni 0.5 % lalu kontroler ANFIS memiliki nilai *steady state error* dan *rising time* yang juga lebih baik daripada kontroler *fuzzy* yakni 0.09 % dan 0,82 s dibandingkan dengan kontroler *fuzzy* yakni 0.13 % dan 1.73 s, bagian (c) adalah grafik arus stator, dan bagian (d) adalah grafik torsi motor. Sedangkan untuk nilai *total harmonic distortion* adalah 0,5626.



Gambar 11. (a.) tegangan *output inverter*, (b.) perbandingan ANFIS dan *fuzzy*, (c.) Arus stator, (d.) Torsi motor

Hasil Simulasi Kontroler Fuzzy dan Kontroler ANFIS Beban Tetap 10 Nm dengan Kecepatan Referensi 1000 rpm.

Gambar 12 adalah hasil simulasi motor induksi tiga fasa beban tetap 10 Nm dengan kecepatan referensi 1000 rpm.

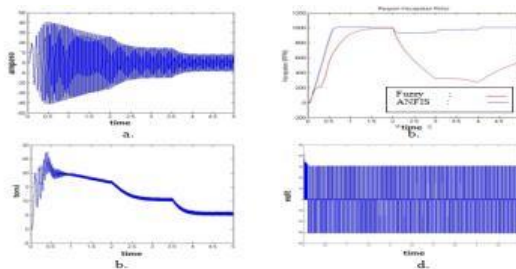


Gambar 12. (a.) tegangan *output inverter*, (b.) perbandingan ANFIS dan *fuzzy*, (c.) Arus stator, (d.) Torsi motor

Pada Gambar 12 bagian (a) adalah tegangan *output inverter*, bagian (b) menunjukkan bahwa kontroler ANFIS dapat memperbaiki keadaan *overshoot* lebih yaitu senilai 0.52 % bila dibandingkan dengan kontroler *fuzzy* yakni 1.1 % lalu kontroler ANFIS memiliki nilai *steady state error* dan *rising time* yang juga lebih baik yakni 1 % dan 0.82 s dibandingkan dengan kontroler *fuzzy* yakni 62.5 % dan 1.52 s. Bagian (c) adalah grafik arus stator dan bagian (d) adalah torsi motor. Sedangkan untuk nilai *total harmonic distortion* adalah 0.463.

Hasil Simulasi Kontroler *Fuzzy* dan Kontroler ANFIS Beban Bertingkat 15, 10, 5 Nm dengan Kecepatan Referensi 1000 rpm.

Gambar 13 adalah hasil simulasi motor induksi tiga fasa beban bertingkat 15, 10, 5 Nm dengan kecepatan referensi 1000 rpm.

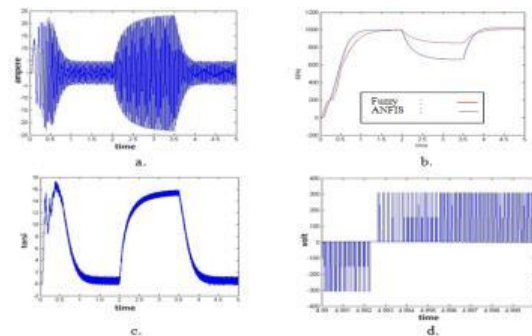


Gambar 13. (a.) tegangan *output inverter*, (b.) perbandingan ANFIS dan *fuzzy*, (c.) Arus stator, (d.) Torsi motor

Pada Gambar 13 bagian (a) adalah tegangan *output inverter*, bagian (b) menunjukkan bahwa kontroler ANFIS dapat memperbaiki keadaan *overshoot* lebih yaitu senilai 0.52 % bila dibandingkan dengan kontroler *fuzzy* yakni 1.1 % lalu kontroler ANFIS memiliki nilai *steady state error* dan *rising time* yang juga lebih baik yakni 3.56 % dan 0.82 s dibandingkan dengan kontroler *fuzzy* yakni 45.5 % dan 1.52 s. Bagian (c) adalah grafik arus stator dan bagian (d) adalah torsi motor. Sedangkan untuk nilai *total harmonic distortion* adalah 0.4803.

Hasil Simulasi Perbandingan Kontroler *Fuzzy* dengan Kontroler ANFIS Beban Seketika 15 Nm dengan Kecepatan Referensi 1000 rpm.

Gambar 14 adalah hasil simulasi motor induksi tiga fasa beban seketika 2 Nm dengan kecepatan referensi 1000 rpm.



Gambar 14. (a.) tegangan *output inverter*, (b.) perbandingan ANFIS dan *fuzzy*, (c.) Arus stator, (d.) Torsi motor

Pada Gambar 14 bagian (a) adalah tegangan *output inverter*, bagian (b) menunjukkan bahwa kontroler ANFIS dapat memperbaiki keadaan *overshoot* lebih yaitu senilai 0.52 % bila dibandingkan dengan kontroler *fuzzy* yakni 1.1% lalu kontroler ANFIS memiliki nilai *steady state error* dan *rising time* yang juga lebih baik yakni 1.9 % dan 0.82 s dibandingkan dengan kontroler *fuzzy* yakni 2.67 % dan 1.52 s. Bagian (c) adalah grafik arus stator dan bagian (d) adalah torsi motor. Sedangkan untuk nilai *total*

harmonic distortion adalah 0.4468. Sementara itu, pada Tabel 2 merupakan rangkuman hasil perbandingan antara kontroler *ANFIS* dan kontroler *Fuzzy*.

Dari Tabel 2 maka dapat disimpulkan bahwa secara umum penggunaan kontroler logika *ANFIS* pada SVPWM inverter motor induksi dapat memperbaiki respon yang dihasilkan oleh *switching inverter* yang memiliki respon *output* berkisar maksimal, nol dan satu. Baik itu dari segi *overshoot error*, *steady state error*, maupun *rising time* yang memiliki nilai relatif lebih kecil apabila dibandingkan dengan kontroler *fuzzy*. Respon yang dihasilkan lebih halus dengan kesalahan pada saat stabil lebih kecil. Dari hasil pengujian juga didapatkan bahwa kontroler logika *ANFIS* yang diterapkan pada *switching SVPWM inverter* dapat bekerja dengan baik pada torsi beban antara 2Nm-15Nm.

Tabel 2. Rangkuman hasil perbandingan antara kontroler *ANFIS* dan kontroler *fuzzy*

Kontroller	<i>Overshoot Error (%)</i>	<i>Steady State Error (%)</i>	<i>Rising Time (sec)</i>
<i>PI-Fuzzy Hybrid</i>	3.12	1.31	1.154
<i>Fuzzy</i>	6.6	10.91	1.877

IV. SIMPULAN

Dari hasil yang telah diperoleh maka dapat disimpulkan penggunaan kontroler *PI-fuzzy hybrid* pada SVPWM inverter motor induksi dapat memperbaiki respon yang dihasilkan oleh *switching inverter* yang memiliki respon *output* berkisar maksimal, nol dan satu. Respon yang dihasilkan lebih halus dengan kesalahan pada saat stabil lebih kecil. Dari hasil pengujian juga didapatkan bahwa kontroler *ANFIS* yang diterapkan pada *switching*

SVPWM inverter dapat bekerja dengan baik pada torsi beban antara 2Nm -15Nm.

Dan dari hasil pengujian ini juga didapatkan bahwa kontroler *ANFIS* yang diterapkan pada *switching SVPWM inverter* memiliki kesalahan dalam keadaan variasi beban, yaitu :

- Tanpa beban memiliki nilai *error* maksimal 0.52% dibawah 5 rpm.
- Tanpa beban dengan kecepatan bertingkat memiliki nilai *error* maksimal 0.45% dibawah 8 rpm
- Beban tetap memiliki nilai *error* maksimal 3.07% dibawah 10 rpm
- Beban bertingkat memiliki nilai *error* maksimal 2.99% dibawah 35,6 rpm
- Beban seketika memiliki nilai *error* maksimal 0.72% dibawah 19 rpm

V. RUJUKAN

- [1] Rosalina, I. Qosim, M. Mujiurudin, "Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontrol PID (Proportional Integral Derivative)," *Proceeding of TEKNOKA National Seminar* - 2, Vol. 2, 2017.
- [2] Miftachul, M. R. R. Mustofa, K. Aji, "Simulasi Pengendalian Motor DC Pada Komunikasi Serial Delphi 7 Menggunakan ATmega16," *J-Eltrik*, Vol. 4, No. 1, 2022.
- [3] Anton, T. Angraini, "Unjuk Kerja Dan Pemanfaatan Inverter Sebagai Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa," *Jurnal Elektron*, Vol. 5, No. 2, 2013.
- [4] F. Arvianto, M. Rameli, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Metode Flux Vector Control Berbasis Self-Tuning PI," *JURNAL TEKNIK ITS*, Vol. 6, No. 2, 2017.
- [5] R. Hutabalian, A. Hamzah, "Desain dan Analisa Inverter Tiga Fasa Dengan Metode SVPWM Sebagai Penggerak Motor Induksi Tiga Fasa Pada Aplikasi

- Sepeda Listrik,” *JOM FTEKNIK*, Vol. 3, No. 2, 2016.
- [6] B. M. Dikhrillah, “Perancangan Dan Simulasi SVPWM *Two Level Inverter* Sebagai Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa,” Skripsi, Surabaya: Universitas Hang Tuah, 2015.
- [7] B. Y. Dewantara, “Desain SVPWM Inverter Sebagai Driver Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Fuzzy Logic Controller,” Skripsi, Surabaya: Universitas Hang Tuah, 2014.
- [8] H. W. Van Der Broeck, Philips F., Aachen, West G., H. -C. Skudelny, G. V. Stanke, “Analysis and realization of a pulsewidth modulator based on voltage space vectors,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 24, No. 1, 1988.
- [9] M. A. A. Lubis, G. Prabowo, A. Jaya, E. Purwanto, “Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Teknik Artificial Intelegent Berbasis Vektor Kontrol,” Tugas Akhir, Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2010.
- [10] N. Ramadhani, M. S. Zuhrie, “Perancangan Sistem Pengendali Temperatur Pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) Menggunakan Kontroler PI-Fuzzy,” Skripsi, Surabaya: Universitas Negeri Surabaya, 2016.