

Perancangan ANFIS sebagai pengontrol Fluks dan Torsi pada SVPWM-DTC Motor induksi 3 Fasa

¹Iradiratu D.P.K, ²Restu Aji Mukti

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah Surabaya
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah Surabaya

¹iradiratu@hangtuah.ac.id ²restuajimukti@gmail.com

Abstrak- Motor induksi 3 fasa adalah motor penggerak yang paling banyak digunakan dalam bidang industri. Hal ini dikarenakan motor induksi mempunyai konstruksi yang sederhana, kokoh, harganya relatif murah, serta perawatannya yang mudah, sehingga motor induksi mulai menggeser penggunaan motor DC pada industri. Dalam aplikasinya motor induksi pengaturan kecepatannya sulit dilakukan, tetapi setelah adanya DTC (*Direct Torque Control*) masalah tersebut dapat diatasi. Dengan menggunakan metode speed control DTC-SVPWM mampu mengendalikan fluks dan torsi secara terpisah. Dalam penelitian ini akan diteliti penggunaan controller Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) sebagai pengendali kecepatan motor induksi tiga fasa yang dapat menghasilkan hasil respon kecepatan motor dengan memberikan kriteria performansi sistem kontrol tinggi. Hasil simulasi sistem terlihat bahwa penggunaan controller ANFIS mampu memberikan kriteria performansi sistem kontrol yang tinggi dengan menekan overshoot, dan steady state error mendekati nol serta rise time dan settling time relatif cepat dibandingkan controller secara konvensional. sistem dengan ANFIS mencapai target lebih cepat 0,1 detik dibanding sistem konvensional (PI), sistem dengan ANFIS mencapai target pada detik (0,46) dan terdapat *overshoot* sebesar 509 rpm atau sebesar 1,8% pada detik (0,49), sedangkan sistem konvensional (PI) mencapai target pada detik (0,56) dan terdapat *overshoot* sebesar 520 rpm atau sebesar 4% pada detik (0,62).

Kunci: DTC-SVPWM, *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS), Motor Induksi 3 fasa.

Abstrack 3-phase induction motor is the actuator that is most widely used in industry. This is because the induction motor has a simple construction, sturdy, relatively cheap, and easy maintenance, so that the induction motor start shifting the use of a DC motor in the industry. In the application of induction motors the speed setting is difficult, but once the Field Oriented Control (FOC) will fix the problem. By using the method of speed control Indirect Field Oriented Control (IFOC) able to control the flow of flux and torque currents separately. This research investigated the use of controller Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) speed control three-phase induction motor can produce a response speed of the motor to provide high control system performance criteria. The simulation results shown that the use of a controller system capable of providing criteria

performance ANFIS high control system by pressing the overshoot, and steady-state error close to zero and the rise time and settling time is relatively faster than conventional controller. systems with ANFIS achieved a target 0.1 second faster than conventional systems (PIs), systems with ANFIS reached the target in seconds (0.46) and there were 509 rpm overshoots or 1.8% in seconds (0.49), while the conventional (PI) system reaches the target in seconds (0.56) and there is an overshoot of 520 rpm or 4% in seconds (0.62).

Keyword : DTC-SVPWM, *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS), 3-phase induction motor.

I. Pendahuluan

Motor induksi 3 fasa merupakan motor penggerak yang paling banyak digunakan dalam bidang industri. Dengan perkembangan kemajuan teknologi teori kontrol mempermudah operasi dan kinerja dari motor induksi sehingga dapat menggantikan peran motor DC sebagai penggerak elektrik. Keunggulan motor induksi 3 fasa diantaranya adalah konstruksinya yang sederhana, harganya yang lebih murah dibandingkan motor jenis lain, serta perawatannya yang mudah. Sedangkan kekurangan dari motor induksi 3 fasa diantaranya adalah sifatnya yang tidak linier, teknik pengaturan kecepatannya yang relatif sulit dan membutuhkan arus starting yang tinggi sekitar enam sampai delapan kali arus nominal motor [1].

Pengaturan kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti kontrol tegangan/frekuensi (v/f) atau dikenal dengan kontrol skalar. Prinsipnya adalah memaksa motor memiliki hubungan yang konstan antara tegangan dan frekuensi. Serta kontrol vektor yang mengatur secara langsung arus stator motor. Metode kontrol vektor yang sekarang ini

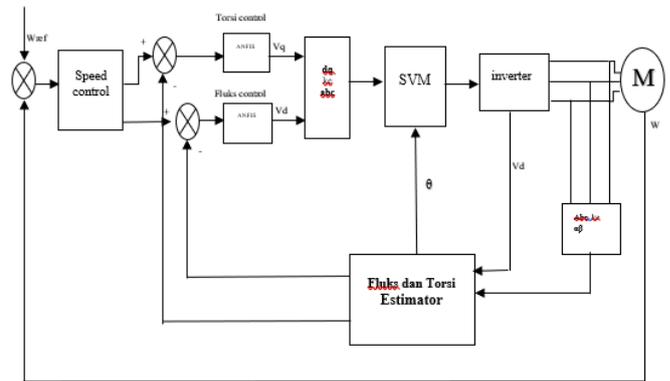
terus dikembangkan adalah metode DTC (*Direct Torque Control*). Sistem DTC telah menjadi teknik yang populer untuk drive motor induksi 3 fasa karena menyediakan respon torsi dinamis yang cepat dan ketahanan di bawah variasi parameter mesin tanpa menggunakan regulator arus. Sistem DTC memiliki masukan berupa fluks dan torsi dengan teknik kontrol yang mengarah pada pengaturan yang mana nilai torsi berubah sesuai kebutuhan beban. DTC pertama dikenalkan oleh ilmuwan berkebangsaan Jepang (Takahashi, 1984) dan ilmuwan Jerman (Depenbrock, 1985). Kerugian utama dari DTC adalah *steady state ripple* pada fluks dan torsi, *torque ripple* merupakan masalah nyata pada DTC drive motor induksi 3 fasa. Solusi yang paling umum untuk masalah ini adalah dengan menggunakan *space vector pulse width modulation* (SVPWM) yang bergantung pada acuan fluks dan torsi yang akan meningkatkan kinerja dari sistem DTC [2].

Pada tahun 2017, Try Bagus Tamtomo juga membahas tentang sistem DTC pada motor induksi 3 fasa dimana dia menambahkan SVPWM untuk memperbaiki kinerja dari DTC dengan *fuzzy logic controller* sebagai pengontrol tersebut. Pada penelitian Try Bagus Tamtomo. 2017, kelemahan dari penggunaan controller Logika Fuzzy adalah dalam menentukan aturan dasar Fuzzy (*Rule Base*). Parameter sistem ini masih menggunakan metode coba-coba (*Try and Error*), sehingga bila terjadi kondisi perubahan sistem perlu diadakan penyesuaian *rule base*. Pada penelitian ini dikembangkan menggunakan Kontroller ANFIS, hasil dari penelitian lebih handal dan dapat mengatur kecepatan dengan baik pada kondisi tanpa beban dan keadaan motor berbeban serta melihat respon sistem kecepatan tetap stabil dengan adanya pergantian beban yang bervariasi.

ii. Metode Penelitian

A. Blok Diagram Sistem

Berikut ini blok diagram sistem SVPWM_DTC *Adaptive Neural Fuzzy Inference System* (ANFIS) keseluruhan:



Gambar 1. Blok diagram sistem

Pada gambar 1 merupakan blok diagram sistem, dimana nilai input pada sistem berupa fluks dan torsi. Metode ANFIS di gunakan sebagai pengolah data dari pembacaan fluks dan torsi real yang kemudian di komparasi dengan nilai input fluks dan torsi yang telah di masukkan [3].

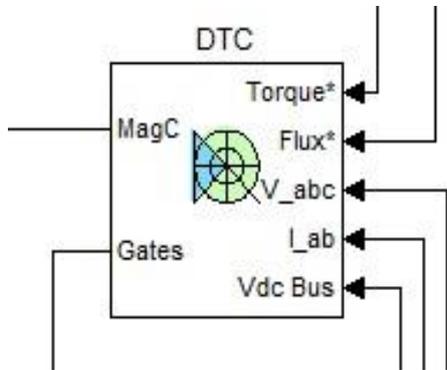
B. Pemodelan Motor Induksi Tiga Fasa

Model *d-q* motor induksi merupakan dasar pengaturan kecepatan motor induksi dengan metode transformasi vektor. Sistem koordinat tiga fasa statis di transformasikan ke koordinat dinamis *d-q*, koordinat ini berputar mengikuti kecepatan sinkron motor atau medan putar stator. Dengan transformasi ini di dapatkan model motor induksi yang lebih sederhana, model tegangan dan arus pada persamaan ini merupakan variable dengan referensi koordinat *d-q*, transformasi tegangan tiga fasa ke koordinat *d-q* menggunakan transformasi park [4].

C. DTC

Pada blok ini sistem yang digunakan yaitu DTC, yang mana DTC ini dapat mengatur atau sebagai penyeimbang antara blok *speed control* dan motor dengan pengontrolan torsi secara langsung [5]. Pada

blok ini terdapat *controller* di dalamnya untuk mengatur inputan tegangan, *controller* pada penelitian ini menggunakan *Adaptive Neural Fuzzy Inference System* (ANFIS).



Gambar 2 Blok DTC

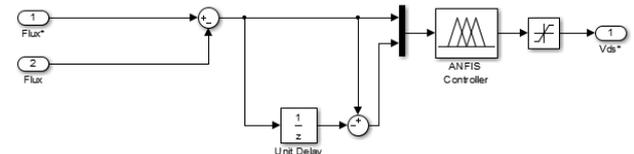
D. Perancangan Sistem Menggunakan Kontroler ANFIS

Pada penelitian yang dilakukan ini, kontroler yang dimasukkan pada motor merupakan kombinasi kontroler output secara konvensional dan ANFIS. Kontroler ANFIS didesain dengan memiliki dua masukan yaitu *setpoint* dan respon sistem ($Y(k)$) dengan satu keluaran sinyal kontrol. Sedangkan masukan untuk kontroler ANFIS berasal dari *error* dan *delta error* serta satu keluaran sinyal kontrol.

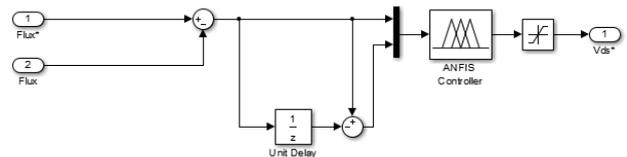
Pada Penelitian ini, kontrol yang digunakan dalam blok rangkaian simulasi *Speed Controller* berupa ANFIS yang digunakan untuk mengontrol kecepatan motor (W_r). Maka bisa dikatakan pengaturan kecepatan dalam skripsi ini ditentukan input untuk menentukan besarnya *setpoint* dan kontroler ANFIS yang mempunyai *setpoint* dan keluaran *feedback* dengan satu keluaran sehingga akan menuju nol (*error stady state* minimal). Sehingga dapat memperbaiki respon dari motor induksi tiga fasa ini.

Input 1 (Error)	Input 2 (De Error)	Ouput
0,8	0,8	200
-0.025	-3,80	-19
-0,002	-0,0015	1,25
-0,001	-0,001	1,58
0	-0,0005	1,91
0,001	0	2,24
0,002	0,0005	2,57
0,003	0,001	2,90
0,004	0,0015	3,25

Dibawah ini merupakan diagram dari controller ANFIS

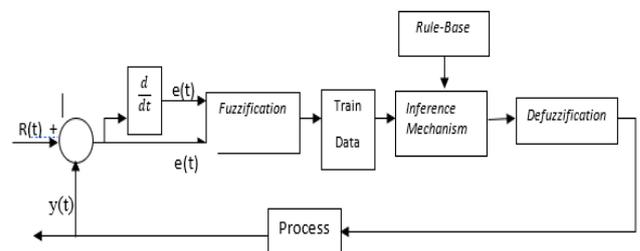


Gambar 2. Diagram *Simulink Controller* ANFIS Pada Fluks



Gambar 3. Diagram *Simulink Controller* ANFIS Pada Torsi

Berikut ini adalah gambar diagram blok Cara Kerja dari kontroler ANFIS yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4. Diagram blok Cara Kerja Kontroler ANFIS

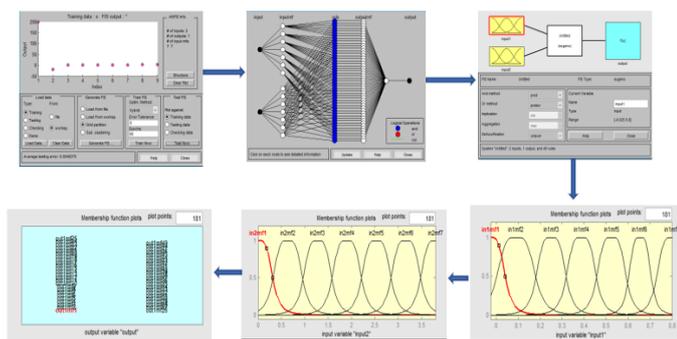
Pada gambar 4. merupakan blok diagram yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor pada motor induksi tiga fasa. Pada blok diagram tersebut *error* ($e(t)$)

diperoleh dari $e(t) = y(t) - R(t)$ dimana $y(t)$ dan $R(t)$ adalah *system output* dan *system input* sebagai referensi. Pada mulanya nilai *error* ($e(t)$) dan perubahan *error* ($\Delta e(t)$) akan dikonversi ke nilai variabel *fuzzy* pada blok *fuzzification*. Setelah proses *fuzzification*, keluaran dari *fuzzification* akan di training dulu dengan menggunakan ANFIS editor dengan mengetikkan comand “anfisedit” pada *comand* from matlab setelah itu hasil *fuzzification* yang telah di train tadi masuk ke proses *Inference Mechanisme* dengan mempertimbangkan *rule base* serta *membership function* yang secara otomatis terbuat setelah melakukan train data. Setelah itu diproses di *defuzzification* untuk merubah *variable fuzzy* ke bentuk keluaran akhir dalam sistem ini yaitu sudut penyalan dari *thyristor* (*thyristor’s firing angle*). *Rule base* yang digunakan dalam kontroler ANFIS tergantung dari training datanya. Berikut ini adalah tabel dari train data yang digunakan [6]:

Tabel 2. Training data ANFIS pada torsi

Input 1 (Error)	Input 2 (De Error)	Ouput
360	9,5	270
263	10,85	273
266	12,2	276
269	13,55	279
372	14,9	282
375	16,25	285
378	17,6	288
381	18,95	291
384	20,30	294
387	21,65	297
390	23	300

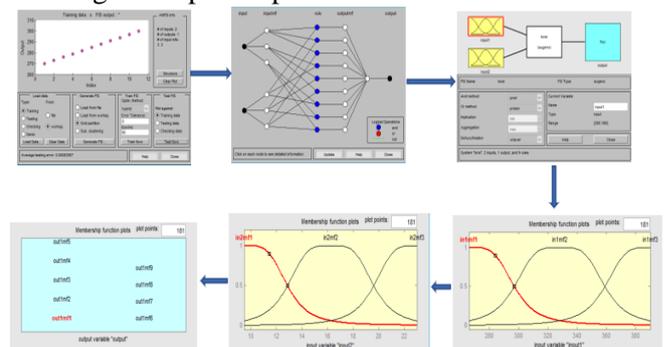
Tabel 1. Training data ANFIS pada fluks



Gambar 5. Proses kontrol ANFIS pada Fluks

Pada gambar 5. merupakan urutan *membership function* dari keluaran (*output*) untuk ANFIS berbeda dari *fuzzy* yang menggunakan metode mamdani untuk output nya yaitu mengatur sendiri sedangkan pada anfis metode yang di gunakan yaitu *sugeno* dimana nilai output di dapat pengaturan *rule base* pada input 1 dan input 2 yang akan membentuk output. Pada gambar tersebut juga terdapat 49 *membership function*. Pada *membership function* Output terbentuk dari nilai *membership function* input 1 dan input 2 yang secara otomatis di bentuk oleh *rule editor*.

Beikut gambar proses pembuatan ANFIS melalui matlab



Gambar 6. Proses kontrol ANFIS pada Torsi

Pada gambar 6 merupakan urutan *membership function* dari keluaran (*output*) untuk ANFIS berbeda dari *fuzzy* yang menggunakan metode mamdani untuk output nya yaitu mengatur sendiri sedangkan pada anfis metode yang di gunakan yaitu *sugeno* dimana nilai output di dapat pengaturan *rule base* pada input 1 dan input 2 yang akan membentuk output. Pada gambar tersebut juga terdapat 9 *membership function*. Pada *membership function* Output terbentuk dari nilai *membership function* input 1 dan input

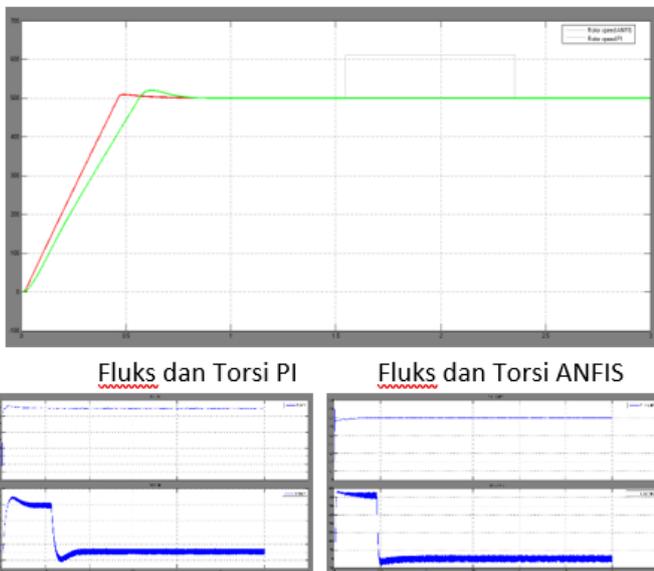
iii. Hasil dan Pembahasan

Pengujian pada sistem meliputi pengujian kecepatan motor pada range kecepatan serta perubahan kecepatan pada masing-masing pengujian akan dilakukan pencatatan hasil yang meliputi rise time (waktu puncak),

overshoot, undershoot dan waktu mencapai steady state. Pengujian akan dilakukan dengan menggunakan beberapa percobaan yaitu kecepatan tanpa beban, kecepatan bertingkat dan kecepatan berbeban ketika motor keadaan *Steady State* untuk membandingkan hasil pengujian menggunakan kontroller konvensional dan kontroller ANFIS.

A. Pengujian pada kecepatan rendah (500rpm)

Pada pengujian ini menggunakan kecepatan rendah dimana kecepatan yang digunakan adalah sebesar 500 rpm.



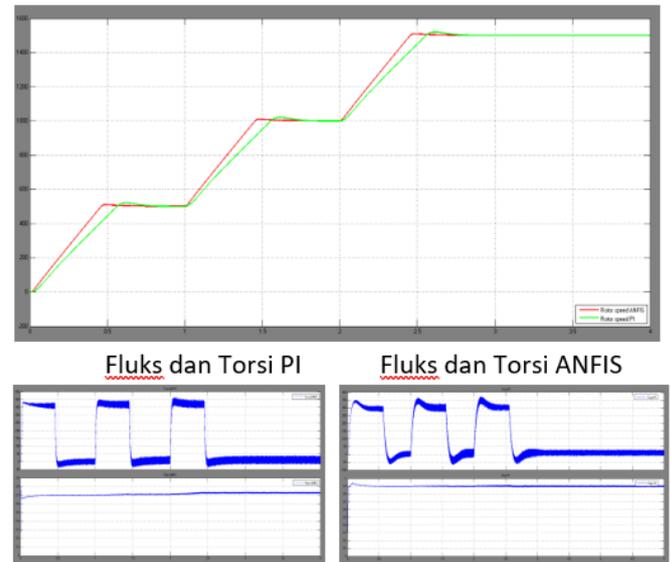
Gambar 7 pengujian sistem pada kecepatan 500 rpm

Dari hasil pengamatan diatas diperoleh nilai dari hasil pembandingan antara proses kontroller secara konvensional dan kontroller ANFIS. Nilai pada motor induksi menggunakan ANFIS sebagai pengendali, menunjukkan respon lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan Konvensional. Pada simulasi dengan kecepatan referensi 1000 rpm tanpa beban sistem dengan ANFIS mencapai target lebih cepat 0,1 detik dibanding sistem konvensional (PI), sistem dengan ANFIS mencapai target pada detik (0,46) dan terdapat *overshoot* sebesar 509 rpm atau sebesar 1,8% pada detik (0,49), sedangkan sistem konvensional (PI) mencapai target pada detik (0,56) dan terdapat *overshoot* sebesar 520 rpm atau sebesar 4% pada detik (0,62).

B. Pengujian pada kecepatan bertingkat

Pada pengujian ini akan digunakan kecepatan yang berbeda yaitu pada kecepatan 500 rpm naik ke 1000 rpm dan turun ke 1500 rpm

Berikut gambar dari respon kecepatan bertingkat dari ANFIS dan PI.



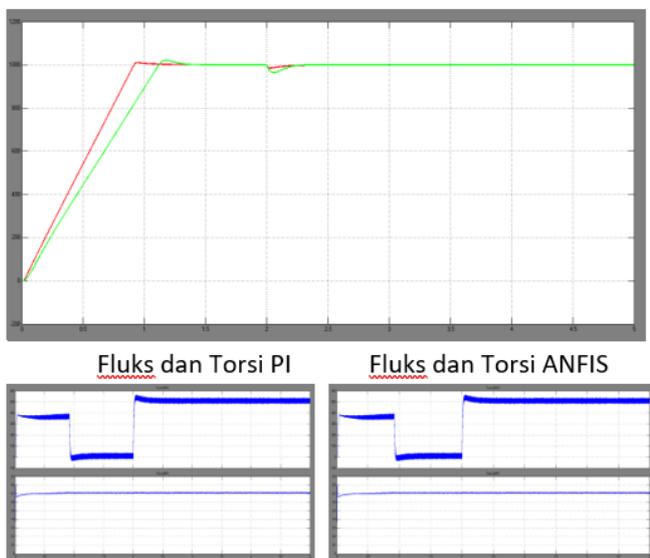
Gambar 10 Pengujian kecepatan bertingkat

Dari hasil pengamatan diatas diperoleh nilai ANFIS sebagai pengendali, menunjukkan respon lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan Konvensional. Pada simulasi dengan kecepatan referensi 500 rpm tanpa beban sistem dengan ANFIS mencapai target lebih cepat 0,1 detik dibanding sistem konvensional (PI), sistem dengan ANFIS mencapai target pada detik (0,47) dan terdapat *overshoot* sebesar 509 rpm atau sebesar 1,8% pada detik (0,49), sedangkan sistem konvensional (PI) mencapai target pada detik (0,57) dan terdapat *overshoot* sebesar 520 rpm atau sebesar 4% pada detik (0,62).

Pada simulasi dengan kecepatan referensi 1000 rpm tanpa beban sistem dengan ANFIS mencapai target lebih cepat 0,1 detik dibanding sistem konvensional (PI), sistem dengan ANFIS mencapai target pada detik (1,45) dan terdapat *overshoot* sebesar 1009 rpm atau sebesar 0,9% pada detik (1,48), sedangkan sistem konvensional (PI) mencapai target pada detik (1,55) dan terdapat *overshoot* sebesar 1020 rpm atau sebesar 2% pada detik (1,61).

Pada simulasi dengan kecepatan referensi 1500 rpm tanpa beban sistem dengan ANFIS mencapai target lebih cepat 0,1 detik dibanding sistem konvensional (PI), sistem dengan ANFIS mencapai target pada detik (2,45) dan terdapat *overshoot* sebesar 1509 rpm atau sebesar 0,6% pada detik (2,48) sedangkan sistem konvensional (PI) mencapai target pada detik (2,55) dan terdapat *overshoot* sebesar 1520 rpm atau sebesar 1,33% pada detik (2,61).

C. Pengujian berbeban 500 Nm pada kecepatan 1000rpm



Gambar 10 pengujian dengan beban

Pada simulasi dengan kecepatan referensi 1000 rpm dengan beban 500 N.m pada detik ke 2 sistem dengan (ANFIS) mencapai target lebih cepat 0,205 detik dibanding sistem konvensional (PI), sistem dengan (ANFIS) mencapai target pada detik (0,945) dan terdapat *overshoot* sebesar 1010 rpm atau sebesar 1% pada detik (0,94), pada saat detik ke 2 motor di beri beban 500 N.m terdapat *undershoot* sebesar 985 atau sebesar 1,5% pada detik ke (2,02) sedangkan sistem konvensional (PI) mencapai target pada detik (1,12) dan terdapat *overshoot* sebesar 1020 rpm atau sebesar 2% pada detik (1,79), pada

saat detik ke 2 motor di beri beban 500 N.m terdapat *undershoot* sebesar 964 atau sebesar 3,6% (2,06).

iv. Kesimpulan

Kesimpulan yang di dapat pada penelitian dan percobaan yang telah di lakukan di atas adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan motor induksi tiga fasa mempengaruhi pengontrolan sistem, semakin tinggi kecepatan motor maka pengontrolan sistem akan lebih sulit dan butuh waktu lebih untuk mencapai kecepatan tinggi yang diinginkan.
2. ANFIS controller mampu mengontrol torsi dan fluks lebih cepat.
3. Respon kecepatan yang dihasilkan oleh sistem dengan ANFIS controller terlihat lebih halus (stabil) dibanding dengan sistem konvensional (PI).

Daftar Pustaka

- [1] Nugroho, Emanuel. "Kajian Sistem Kendali Space Vector Pulse Width Modulation Sebagai Pengendali Motor Induksi 3 Fasa"
- [2] Fikri Azharul. 2010. "Perancangan Dan Simulasi Direct Torque Control Pada Motor Induksi Menggunakan Space Vector Pulse Width Modulation Three Phase Two Level Inverter", Jurnal Teknik POMITS.
- [3] Jang JSR. 1997. ANFIS: *Adaptive-network-based Fuzzy Inference System*. *IEEE Transactions on Systems, Mans and Cybernetics*. www.jurnalteknologi.com. Diakses 22 Desember 2014.
- [4] Kurniawan Panji. 2010. "Perancangan Dan Simulasi Metode Direct Torque Control (DTC) Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa", Jurnal Teknik POMITS.
- [5] Prastiwi Widyanka. 2012. "Perancangan Dan Implementasi Direct Torque Control 2 Level Inverter Pada Motor Induksi", Jurnal Teknik POMITS.
- [6] Era Purwanto, *Application of Adaptive Neuro Fuzzy Inference System on the Development of the Observer for Speed Sensorless Induction Motor*, IEEE Catalogue No. 01CH37239-7803-7101-1, 2000