

PENERAPAN ADAPTIF FUZZY PADA PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Ratna Ika Putri

Politeknik Negeri Malang, Jl. Veteran PO.BOX 04 Malang

Email: Ikaputri_ratna@yahoo.com

ABSTRAK

Motor induksi tiga fasa merupakan motor elektrik yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Salah satu kelemahan motor induksi yaitu memiliki beberapa karakteristik parameter yang tidak linier, terutama resistansi rotor yang memiliki nilai yang bervariasi untuk kondisi operasi yang berbeda, sehingga tidak dapat mempertahankan kecepatannya secara konstan bila terjadi perubahan beban. Oleh karena itu untuk mendapatkan kecepatan yang konstan dan peformansi sistem yang lebih baik terhadap perubahan beban dibutuhkan suatu pengontrol. Tujuan penelitian ini untuk merancang suatu pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan menggunakan pengontrol adaptif fuzzy dengan algoritma pembelajaran gradient descent. Dengan adanya pengaturan kecepatan ini diharapkan kecepatan motor induksi dapat steady state sesuai yang diinginkan walaupun terdapat gangguan atau perubahan beban. Berdasarkan hasil implementasi pengontrol adaptif fuzzy menghasilkan parameter transien yaitu settling time (t_s)= 3.78 detik, rise time (t_r)=2.295detik, delay time (t_d)=2.16 detik, time constant (τ)= 2.7 detik, error steady state 0.6% dan maksimum overshoot 0%. Sedangkan pada kondisi terbebani memiliki waktu pemulihan 3.78 detik.

Kata Kunci : Motor induksi, Adaptif fuzzy

PENDAHULUAN

Motor induksi 3 fasa adalah alat penggerak yang paling banyak digunakan dalam dunia 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. Motor induksi memiliki beberapa parameter yang bersifat non-linier, terutama resistansi rotor, yang memiliki nilai bervariasi untuk kondisi operasi yang

berbeda. Hal ini yang menyebabkan pengaturan pada motor induksi lebih rumit dibandingkan dengan motor DC.

Salah satu kelemahan dari motor induksi adalah tidak mampu mempertahankan kecepatannya dengan konstan bila terjadi perubahan beban. Apabila terjadi perubahan beban maka kecepatan motor induksi akan menurun. Untuk mendapatkan kecepatan konstan serta memperbaiki kinerja motor induksi terhadap perubahan beban, maka dibutuhkan suatu pengontrol. Penggunaan

motor induksi tiga fasa di beberapa industri membutuhkan performansi yang tinggi dari motor induksi untuk dapat mempertahankan kecepatannya walaupun terjadi perubahan beban. Salah satu contoh aplikasi motor induksi yaitu pada industri kertas. Pada industri kertas ini untuk menghasilkan produk dengan kualitas yang baik, dimana ketebalan kertas yang dihasilkan dapat merata membutuhkan ketelitian dan kecepatan yang konstan dari motor penggerakannya, sedangkan pada motor induksi yang digunakan dapat terjadi perubahan beban yang besar.

Dalam beberapa tahun terakhir logika fuzzy telah sukses diterapkan pada beberapa aplikasi kontrol. Menurut Mohammed, dkk (2000), berbeda dengan pengontrol konvensional, pengontrol logika fuzzy menggunakan hubungan heuristik *input-output* untuk menangani situasi yang kompleks dan tidak menentu. Pengontrol logika fuzzy dapat bekerja pada situasi dimana variasi parameter dan struktur dari plant memiliki ketidakpastian yang besar. Pengontrol adaptif merupakan suatu pengontrol yang dapat mengubah parameternya dan memiliki suatu mekanisme untuk penyetelan parameter-parameter tersebut. Sedangkan menurut Wang Xin-Li (1997), pengontrol adaptif fuzzy didefinisikan sebagai sistem logika fuzzy yang dilengkapi dengan algoritma pembelajaran. Pengontrol adaptif fuzzy akan mengubah dan menyesuaikan parameter kendali secara otomatis sesuai dengan kelakuan sistem yang dikehendaki melalui algoritma pembelajarannya.

Beberapa penelitian pengaturan kecepatan motor induksi yang telah dilakukan antara lain oleh Brian Heber, Longya Xu dan Yifan Tang (1997) menggunakan controller logika fuzzy

untuk memperbaiki performansi controller PID pada pengaturan kecepatan motor induksi. Demikian juga penelitian yang dilakukan oleh Mohammed dkk(2000) mengembangkan controller fuzzy yang digunakan untuk menala parameter PI. Controller fuzzy juga dikembangkan pada penelitian yang dilakukan Chekkouri MR dkk (2002) dan Lakhdar M & Katia K (2004) dengan melengkapi mekanisme adaptasi pada controller fuzzy pada pengaturan motor induksi.

Pada penelitian ini dirancang suatu pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa dengan menggunakan pengontrol adaptif fuzzy. Dengan adanya pengaturan kecepatan ini diharapkan kecepatan motor induksi dapat konstan sesuai yang diinginkan, walaupun mendapat perubahan beban, sehingga menghasilkan performansi motor induksi yang tinggi .

TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian yang berhubungan dengan pengaturan kecepatan motor induksi , pernah dilakukan. Brian Heber, Longya Xu dan Yifan Tang (1997) melakukan penelitian dengan mengaplikasikan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) yang dipadukan dengan pengontrol Proporsional-Integral-Diferensial (PID) konvensional untuk mengontrol kecepatan motor induksi. Penggunaan FLC dapat memperbaiki performansi dinamik motor induksi dibandingkan dengan penggunaan pengontrol PID konvensional. Penerapan logika fuzzy pada pengaturan kecepatan motor induksi juga diterapkan pada penelitian yang dilakukan Mohammed, dkk(2000). Pengontrol logika fuzzy digunakan untuk penalaan parameter Proporsional Integral (PI) dengan menerapkan prinsip-prinsip vektor kontrol pada motor induksi. Penggunaan logika

fuzzy pada penelitian ini juga dapat memperbaiki perfromansi dinamik dari motor induksi dibandingkan jika hanya menggunakan pengontrol PI saja.

Pada penelitian yang dilakukan Karsino (2002), pengontrolan kecepatan motor induksi dilakukan dengan pengontrol PID yang diimplementasikan pada mikropengontrol 8031. Penentuan nilai parameter pengontrol Konstanta proposional (K_p), *Time integration* (T_i) dan *Time diffrential* (T_d) berdasarkan *limit steady state Zieger-Nichols* dan metode *cut and try*. Penentuan parameter pengontrol dengan metode *cut and try* menghasilkan respon yang lebih baik. Sehingga dengan menggunakan pengontrol ini maka nilai parameter pengontrol yang akan digunakan harus ditentukan terlebih dahulu dengan tepat untuk memperoleh respon kecepatan yang baik.

Suatu analisa perbandingan antara kontrol PI dan *Fuzzy logic* menurut penelitian yang dilakukan Ibrahim Z & Levi E (2002), logika Fuzzy dapat memperbaiki respon performansi sistem. Penelitian ini dilakukan dengan memberikan lima *setpoint* untuk masing-masing pengontrol, ternyata untuk semua *setpoint* yang digunakan *fuzzy logic* menghasilkan respon yang sangat baik dengan *settling time* yang sama. Sebaliknya respon dengan pengontrol PI menjadi semakin buruk jika *setpoint* semakin kecil.

Chekkouri, MR, dkk (2002) melakukan penelitian mengenai kontrol adaptif fuzzy pada penggerak motor induksi. Adaptif fuzzy diterapkan dengan menggunakan supervisori fuzzy yang dilengkapi dengan faktor adaptasi. Pada penelitian ini menggunakan dua pengontrol yaitu PDF (*Pseudo Derivative Feedback*) dan supervisory fuzzy. PDF memiliki

parameter K_p dan Konstanta integral (K_i), sedangkan supervisory fuzzy digunakan sebagai penala parameter K_i . Lakhdar M & Katia K (2004) mengembangkan kontroller fuzzy untuk *self tuning* parameter PI dengan dua faktor penyekalaan dan mekanisme adaptasi. Dari hasil penelitian ini didapatkan penggunaan kontroller fuzzy dapat meningkatkan performansi penngaturan kecepatan motor induksi.

1. Adaptif fuzzy

Sistem kendali logika adaptif fuzzy akan mengubah dan menyesuaikan parameter kendali secara otomatis sesuai dengan kelakuan sistem yang dikehendaki (Wang Xin-Li, 1997). Sistem adaptif fuzzy dapat dipandang sebagai sistem logika fuzzy yang memiliki kemampuan membangkitkan aturan-aturan (*rule*) secara otomatis melalui pembelajaran.

Salah satu algoritma pembelajaran yang dapat digunakan yaitu pembelajaran dengan *gradient descent* yang disebut juga dengan *error backpropagation* (Wang Xi-Lin, 1997). Sistem logika fuzzy yang akan digunakan yaitu fuzzyfikasi singleton, defuzzyfikasi rata-rata tengah (*center average defuzzifier*), dan fungsi keanggotaan gaussian, sehingga keluaran adaptif fuzzy dapat dinyatakan dalam bentuk pers. (1)

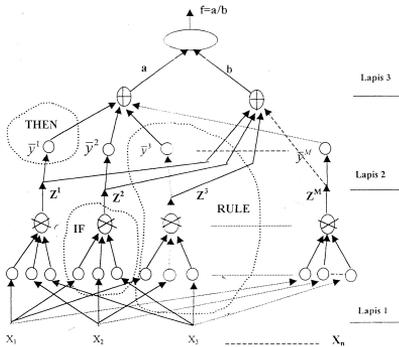
$$F(x) = \frac{\sum_{l=1}^m y^l \left[\prod_{i=1}^n a_i^l \exp \left(- \left(\frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\sigma_i^l} \right)^2 \right) \right]}{\sum_{l=1}^m \left[\prod_{i=1}^n a_i^l \exp \left(- \left(\frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\sigma_i^l} \right)^2 \right) \right]} \quad (1)$$

Parameter yang dapat diubah dari sistem logika fuzzy di atas yaitu

$$a_i^l \in (0,1), \sigma_i^l, y^l \in V, \bar{x}_i^l \in U_i,$$

dimana V adalah semesta pembicaraan pada keluaran sedangkan U_i adalah

semesta pembicaraan pada masing-masing masukannya. M adalah banyaknya fungsi keanggotaan fuzzy dan N adalah banyaknya masukan sedangkan $F(x)$ adalah sinyal keluaran jaringan fuzzy. Variabel \bar{x}_i^l dan σ_i^l masing-masing adalah parameter titik tengah dan lebar fungsi keanggotaan masukan Gaussian, sedangkan titik tengah fungsi keanggotaan keluarannya adalah y^l . Diasumsikan $a_i^l = 1$ karena harga dari fungsi keanggotaan maksimum berharga 1. Struktur jaringan adaptif fuzzy seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Jaringan Adaptif Fuzzy

Jika dimiliki pasangan masukan dan keluaran (x^p, y^p) , $x^p \in U \subset R^n$, $y^p \in U \subset R$ maka harus dirancang suatu sistem fuzzy $F(x)$ seperti dalam persamaan 1, sehingga error (e^p) dapat diminimalkan.

$$e^p = \frac{1}{2} [F(x^p) - y^p]^2 \tag{2}$$

Dengan menggunakan *gradient descent* dapat ditentukan parameter σ_i^l , \bar{x}_i^l dan \bar{y}^l . Penentuan \bar{y}^l dapat dilatih menggunakan

$$\bar{y}^l(q+1) = \bar{y}^l(q) - \alpha \frac{\partial e}{\partial \bar{y}^l} \Big|_q \tag{3}$$

dimana $l = 1, 2, 3, \dots, M$, $q = 0, 1, 2, \dots, n$ dan α adalah konstanta pembelajaran, dengan persamaan $f = a/b$ dan

$$a = \sum_{l=1}^m (\bar{y}^l z^l) \tag{4}$$

$$b = \sum_{l=1}^m (z^l) \tag{5}$$

$$z^l = \prod_{i=1}^n \exp \left(- \left(\frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\sigma_i^l} \right)^2 \right) \tag{6}$$

dimana a adalah hasil defuzzifikasi, b adalah jumlah nilai fungsi keanggotaan dan z adalah nilai fungsi keanggotaan dari x . Dengan menggunakan dalil rantai (*chain rule*) didapatkan

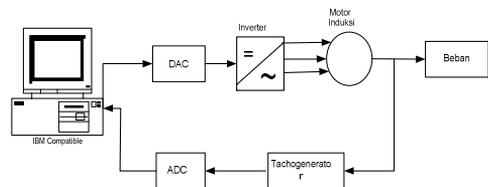
$$\bar{y}^l(q+1) = \bar{y}^l(q) - \alpha \frac{f - y}{b} z^l \tag{7}$$

dimana $l = 1, 2, 3, \dots, M$, $q = 0, 1, 2, \dots, n$.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Implementasi Sistem

Pengontrol diimplementasikan pada sistem dengan blok diagram seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.



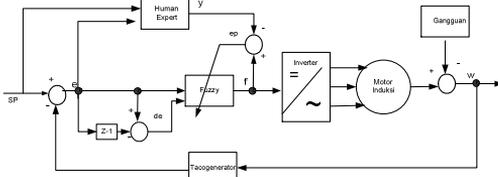
Gambar 2. Blok Diagram Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa

Nilai kecepatan motor induksi yang akan diatur (*setpoint*) dimasukkan melalui *Personal Computer* (PC). Pengontrol akan mengatur kecepatan dari motor induksi sesuai dengan nilai setpoint yang diinginkan dengan mengirimkan sinyal kontrol yang sesuai. Sinyal kontrol dikirimkan ke inverter melalui rangkaian *Digital to Analog Converter* (DAC).

Kecepatan motor induksi diukur dengan menggunakan tachogenerator yang digunakan sebagai sinyal umpan balik ke pengontrol. Keluaran tachogenerator di kirim ke komputer melalui rangkaian *Analog to Digital Converter* (ADC) untuk diolah oleh algoritma pengontrol yang ada di komputer. Antarmuka antara rangkaian ADC/DAC dengan komputer menggunakan 8255.

2. Perencanaan pengontrol

Blok diagram pengontrol adaptif fuzzy ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok Diagram Pengontrol Adaptif Fuzzy

Pengontrol adaptif fuzzy ini dapat merubah parameter fungsi keanggotaan fuzzy dan juga dapat membangkitkan aturan fuzzy secara otomatis melalui proses pembelajaran. Parameter keanggotaan fuzzy yang diubah yaitu titik tengah fungsi keanggotaan masukan (x_i), lebar fungsi keanggotaan masukan (σ_i) dan titik tengah fungsi keanggotaan keluaran (y_i). Pada pengontrol ini memiliki dua masukan dan satu keluaran yang masing-masing memiliki 5 fungsi keanggotaan. Masukan pada kontrol adaptif fuzzy ini adalah *error* (e) dan *delta error* (de), sedangkan keluaran pengontrol adaptif fuzzy merupakan sinyal kontrol $f(k)$.

Keluaran adaptif fuzzy ini dapat dinyatakan dengan pers (1). *Human expert* pada algoritma adaptif fuzzy berfungsi sebagai guru pada proses pembelajaran. Selisih antara keluaran fuzzy dengan

human expert digunakan untuk menala parameter keanggotaan fuzzy. Penentuan nilai *human expert* selama operasi berdasarkan nilai *setpoint* dan *look-up table*. Algoritma controller adaptif fuzzy ini diprogram menggunakan bahasa pemrograman DELPHI 6.

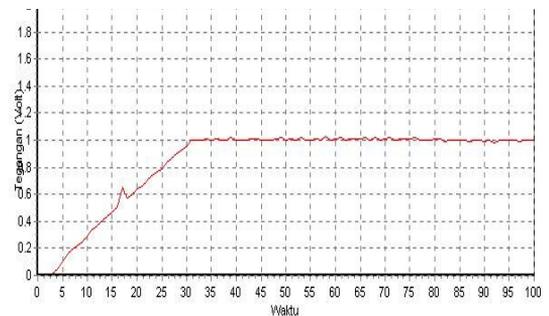
3. Pengambilan Data

Pengambilan data meliputi data respon untaiian terbuka dan respon untaiian tertutup dengan pengontrol. Pengambilan data respon terbuka bertujuan untuk identifikasi *plant* dan mengetahui perilaku sistem tanpa pengontrol.

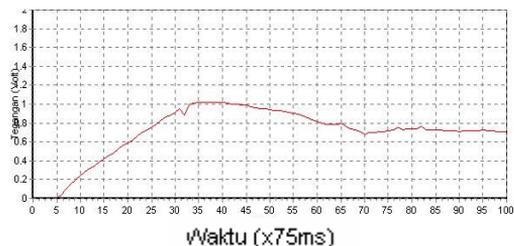
Pada saat pengambilan data dilaksanakan menggunakan nilai *Setpoint* 1000 Rpm dan *time sampling* yang digunakan sebesar 54 ms (54×10^{-3} detik). Beban menggunakan *magnetic powder brake* dengan cara memutar panel untuk mengatur beban yang akan diberikan ke motor. Data yang diambil berupa respon kecepatan motor dan sinyal kontrol terhadap waktu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Respon *plant* untaiian terbuka tanpa beban dapat dilihat pada Gambar 4, sedang respon untaiian terbuka dengan memberikan beban sebesar 1 Nm ditunjukkan pada Gambar 5.



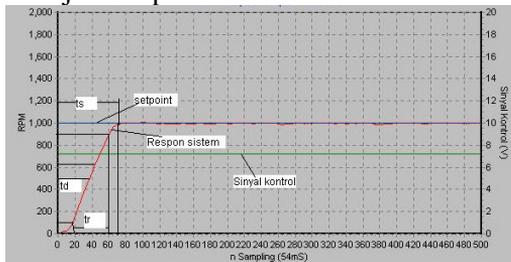
Gambar 4. Respon Untaiian Terbuka Tanpa beban



Gambar 5. Respon Untaian Terbuka Dengan beban 1 N.m

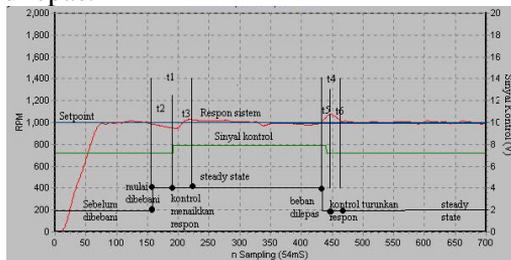
1. Hasil Implementasi Pengontrol Adaptif Fuzzy

Respon untai tertutup sistem dengan pengontrol adaptif fuzzy dengan beban nol ditunjukkan pada Gambar 6.



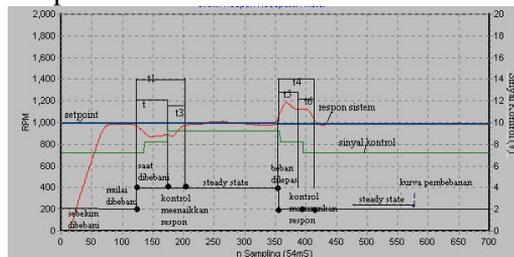
Gambar 6. Respon Sistem Dan Sinyal Kontrol Adaptif Fuzzy Dengan Beban Nol

Gambar 7 menunjukkan hasil pengujian respon untai tertutup dengan memberikan perubahan beban. Kondisi pertama sistem dibebani sebesar 0.5N.m atau 33% beban maksimum sedangkan kondisi kedua, beban 0.5N.m tersebut dilepas.



Gambar 7. Respon Sistem Dan Sinyal Kontrol Adaptif Fuzzy Dengan Beban 0.5N.m

Gambar 8 menunjukkan respon untai tertutup dengan memberikan perubahan beban 1N.m atau 67% beban maksimum. Kondisi pertama sistem dibebani sebesar 1N.m, sedangkan pada kondisi kedua, beban 1N.m tersebut dilepas.



Gambar 8. Respon Sistem Dan Sinyal Kontrol Adaptif Fuzzy Dengan Beban 1N.m

2. Pembahasan

Pada kondisi tanpa beban, kecepatan motor dapat sesuai yang diinginkan, tetapi pada pemberian beban maka kecepatan motor akan turun. Semakin besar beban yang diberikan maka penurunan kecepatan motor juga akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena dengan pemberian beban akan menyebabkan torsi beban bertambah besar sehingga slip bertambah besar yang akan menyebabkan putaran motor berkurang.

Berdasarkan respon kecepatan motor induksi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, dapat dilakukan analisa untuk menentukan parameter respon sistem dengan pengontrol adaptif fuzzy seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter respon sistem

No.	Parameter	Adaptif Fuzzy
1.	Settling Time	3.78 detik
2.	Maksimum Overshoot	0 %
3.	Rise Time	2.295 detik
4.	Delay Time	2.16 detik
5.	Time constan	2.7 detik
6.	Error Steady state	0.6 %

Pada kondisi tanpa beban seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, dengan menggunakan pengontrol adaptif fuzzy motor berputar dari 0 rpm hingga mencapai nilai setpoint membutuhkan waktu tempuh (*settling time*) selama 3.78 detik. Pada adaptif fuzzy tidak menyebabkan *overshoot* pada respon sistem, sedangkan *error steady state* yang terjadi pada sistem dengan adaptif fuzzy sebesar 0.6%.

Respon sistem pada kondisi pemberian beban ditunjukkan pada Gambar 7, dengan memberikan *setpoint* 1000 rpm. Setelah respon berada pada daerah *steady state* diberi beban sebesar 0.5 N.m sehingga respon akan turun di bawah setpoint. Waktu yang dibutuhkan respon dari kondisi mulai terbebani hingga mencapai *steady state* kembali (waktu pemulihan) untuk pengontrol adaptif fuzzy ini selama 3.78 detik. Perubahan respon saat dibebani dan pelepasan beban 0.5N.m ditunjukkan pada Tabel 2.

Pada Gambar 7 menunjukkan setelah diberi beban dan mencapai kondisi *steady state* kembali maka beban 0.5 N.m tersebut dilepaskan. Pada saat beban dilepaskan maka terjadi *overshoot*. Oleh karena putaran motor melebihi setpoint maka pengontrol akan bekerja menurunkan respon menuju setpoint hingga mencapai *steady state* kembali. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Karsino (2002) dengan metode PID, respon kecepatan motor memiliki *settling time* sebesar 3.8 detik, maksimum *overshoot* 12.75%, *rise time* sebesar 2.3 detik dan *error steady state* sebesar 1.29%. Sehingga jika dibandingkan dengan metode PID, metode adaptif fuzzy pada penelitian ini lebih baik,

Tabel 2. Perubahan Respon Saat Dibebani Dan Pelepasan Beban 0.5 N.m

No.	Parameter	Adaptif Fuzzy
1.	t1	3.78 detik
2.	t2	2.05 detik
3.	t3	1.73 detik
4.	t4	1.377 detik
5.	t5	0.702 detik
6.	t6	0.675 detik

Keterangan :

- t1:waktu transien saat pembebanan hingga *steady state*
- t2:Waktu kontrol menetapkan posisi beban untuk menaikkan respon ke *steady state*.
- t3:Waktu kontrol mengembalikan ke *steady state* saat dibebani
- t4:Waktu transien saat beban dilepas hingga *steady state*
- t5:Waktu kontrol mendeteksi respon saat terjadi pelepasan beban menuju ke *steady state*
- t6:Waktu kontrol megembalikan respon ke *steady state* saat beban dilepas.

Pada saat beban ditambah lebih besar dibanding beban pertama yaitu 1N.m, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8, waktu pemulihan yang dibutuhkan menjadi lebih lama. Tabel 4 menunjukkan perubahan respon saat pembebanan dan pelepasan beban 1 Nm .

Tabel 4. Perubahan Respon Saat Dibebani Dan Pelepasan Beban 1N.m

No.	Parameter	Adaptif Fuzzy
1.	t1	5.138 detik
2.	t2	2.592 detik
3.	t3	2.546 detik
4.	t4	3.240 detik
5.	t5	1.458 detik
6.	t6	1.782 detik

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi, pengujian dan analisis pada sistem pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan pengontrol adaptif fuzzy dengan algoritma pembelajaran *gradient descent*, dapat disimpulkan:

1. Pada implementasi pengontrol adaptif fuzzy dengan metode pembelajaran *gradient descent* tanpa beban, respon kecepatan motor dapat mencapai *setpoint*, sebesar 1000 rpm, dengan parameter transien yaitu *settling time* (t_s) = 3.78 detik, *rise time* (t_r) = 2.295 detik, *delay time* (t_d) = 2.16 detik, *time constant* (τ) = 2.7 detik, *error steady state* = 0.6% dan tanpa *overshoot*.

2. Pada implementasi pengontrol adaptif fuzzy dengan metode pembelajaran *gradient descent* memberikan perubahan beban, pengontrol dapat mempertahankan kecepatan sesuai *setpoint* dengan waktu pemulihan sebesar 3,78 detik pada saat diberi beban 0.5 Nm dan pada saat beban tersebut dilepas memiliki waktu pemulihan sebesar 1.377 detik.

2. Saran

Human expert pada pengontrol adaptif fuzzy berfungsi sebagai guru dalam pembelajaran. Oleh karena itu perlu adanya pengembangan algoritma untuk penentuan nilai *human expert*, sehingga didapatkan hasil yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Brian Heber, Longya Xu, Tang Yifan, 1997. *Fuzzy Logic Enhanced Speed Control of an Indirect Field Oriented Induction Machine Drive*. IEEE Transaction on Power Electronic. Vol 12 No.5.
- Chekkouri, MR, dkk, 2002. *Fuzzy Adaptive Control of an Induction Motor Drive*. EPE-PEMC Dubrovnik & Cavtat.
- Ibrahim Z & Levi E, 2002. *Comparative analysis of Fuzzy Logic and PI speed Control in High Performance AC Drives Using Experimental Approach*, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 38, NO. 5,
- Karsino, 2002. *Sistem Pengaturan Motor Induksi tiga Fasa Dengan Pengontrol PID Menggunakan Mikropengontrol 8031*, Thesis Jurusan Teknik Elektro, PPS ITS. Surabaya.
- Lakhdar M & Katia K, 2004, *Influence of Fuzzy Adapted Scaling Factor On The Performance of A Fuzzy Logic Controller Based On An Indirect Vector Control For Induction Motor Drive*, Journal of ELECTRICAL ENGINEERING, VOL. 55, NO. 7-8.
- Mohammed, dkk, 2000. *A Fuzzy Logic Vektor Control of Induction Motor*, IEEE Control System.
- Wang Xi-lin, 1997. *A Course in Fuzzy System and Control*, Prentice Hall International. New Jersey.