

Pengontrolan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metode *Sliding Mode Control* (SMC) Berbasis Algoritma Genetika

M. Nur Faizi¹, Fadli Gustame²
Politeknik Negeri Bengkalis^{1,2}
faizi@polbeng.ac.id¹, fadligustame07061999@gmail.com²

Abstract

Generally in the industry, the induction motor is more widely used than the direct current motor. Due to the characteristic of induction motor that are sturdy, realible, easy in maintenance, and the prices are relatively cheap, but control system in induction motor is more complicated than the direct current motor, the problem is caused by the complexity of the induction motor dynamics, and it needs complex algorithm to solve. Based on the problems, the author try to do research in induction motor by using *Sliding Mode Control* (SMC) methods with Genetic Algorithm. Genetic Algorithm is designed to optimized the parameter of *Sliding Mode Control* (SMC), namely (gain K) is optimal, in order to overcome the shortage in conventional *Direct Torque Control* (DTC), which is still causing high-ripple flux's fluctuation dan high-ripple torque's fluctuation during in steady state, the result from the design system with the metode that is proposed, can control the speed rotation of induction motor according to the references given at 1000 rpm the settling time is 0,6282 seconds, and can minimize the ripple flux's fluctuation and the ripple torque's fluctuation.

Keywords : *Sliding Mode Control*, *Induction Motor*, *Genetic Algorithm*, gain K.

1. PENDAHULUAN

Secara umum, dalam dunia industri motor arus bolak-balik lebih banyak digunakan daripada motor arus searah. Dikarenakan sifatnya yang kokoh, handal, mudah dalam perawatan, dan harga relatif murah [1], sedangkan motor arus searah banyak digunakan sebagai alternatif pada mesin-mesin yang memerlukan pengaturan kecepatan tertentu karena memiliki karakteristik dinamis yang linier dibanding motor arus bolak-balik. Namun motor arus searah juga memiliki beberapa kelemahan yaitu dari segi ekonomis karena biaya pemeliharannya lebih mahal dibanding motor arus bolak-balik, sedangkan pengontrolan pada motor arus bolak-balik jauh lebih kompleks dibandingkan dengan motor arus searah karena disebabkan oleh kompleksitas dinamika motor induksi, sehingga algoritma pengaturannya lebih kompleks [2]. Usaha-usaha memperbaiki keterbatasan motor arus bolak-balik tersebut untuk keperluan pengontrolan terdiri dari dua metode yaitu pengaturan skalar dan vektor. Pengaturan skalar beroperasi pada keadaan *steady state* dan juga dibutuhkan pengaturan kecepatan sudut dari arus, tegangan, dan *linkage* fluks dalam *space vector*. Dengan penjelasan demikian bahwa pengaturan skalar tidak dapat beroperasi dalam keadaan *transient state*. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat menggunakan pengaturan vektor, di mana metode tersebut bisa bekerja dalam keadaan *transient state* dan tidak hanya dapat mengatur sudut kecepatan dan magnitudo, tapi juga arus, tegangan, dan fluks. Salah satu metode pengaturan yang populer untuk pengaturan vektor adalah *Field Oriented Control* (FOC) yang diperkenalkan oleh F.Blaschke (Direct FOC) dan Hasse (Indirect FOC) diawal tahun 1970, di mana FOC dapat memberikan performa dan efisiensi tinggi untuk berbagai aplikasi industri [3]. FOC bagus untuk menghasilkan performa dinamik tinggi, *ripple* torsi dan fluks yang rendah, tapi FOC memiliki kekurangan, seperti memerlukan pengaturan arus, membutuhkan 2 koordianat transformasi dan sensitifitas parameter mesin yang tinggi. Kekurangan ini dapat

dieliminasi menggunakan *Direct Torque Control* (DTC) yang diusulkan oleh Isao Takahashi dan Toshihiko Noguchi, pada tahun 1980. Dibandingkan dengan FOC, DTC lebih sederhana dalam hal struktur, kebutuhan komputasi yang sedikit, efisiensi dan performa yang tinggi [3]. *Direct Torque Control* (DTC) merupakan salah satu skema pengaturan berdasarkan pengaturan fluks stator dan torsi yang memberikan respon cepat dan kokoh yang diimplementasikan pada motor arus bolak-balik. DTC ini memiliki kelebihan antara lain lebih sederhana dan mempunyai performa dinamik yang baik serta tidak sensitif terhadap perubahan parameter, khususnya tahanan stator. Akan tetapi penggunaan DTC konvensional memiliki beberapa kekurangan yaitu dapat menimbulkan fluktuasi *ripple* fluks dan torsi yang tinggi saat kondisi *steady state* [3].

Dalam hal untuk mengatasi masalah ini, diusulkan DTC dengan *Sliding Mode Control* (SMC) di mana *Sliding Mode Control* (SMC) adalah salah satu teknik pengontrolan yang memiliki sifat kokoh terhadap gangguan maupun perubahan parameter [5]. Skema kontrolnya adalah dengan memaksa *vector error* dan *delta error* (trajektori) menuju kearah permukaan lurus. Namun kekurangan dari penggunaan kontroler *Sliding Mode Control* (SMC) adalah adanya fenomena *chattering*. Munculnya fenomena *chattering* ini, dikarenakan proses pemeliharaan *trajektori* pada permukaan lurus tersebut. Fenomena *chattering* ini dapat mengganggu stabilitas dari sistem kontrol yang kurang baik untuk respon sistem terutama pada fluktuasi *ripple* fluks dan torsi sehingga keberadaannya perlu direduksi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian yang berhubungan dengan sistem pengaturan motor induksi 3 fasa. Dalam penelitian ini, diperlukan teori-teori atau metode-metode yang berhubungan dengan apa yang diteliti. Teori atau metode yang berhubungan di antaranya adalah tentang pengaturan fluktuasi torsi.

Penelitian yang dilakukan T. Ramesh, dan A Kumar dalam penelitiannya menyebutkan, metode konvensional *Direct Torque Control* (DTC) mempunyai skema pengaturan yang sederhana, membutuhkan perhitungan yang sedikit, performa yang tinggi, dan efisien, tetapi akan penggunaan DTC ini menimbulkan fluktuasi *ripple* fluks dan torsi yang tinggi [3]. Sedangkan Chien-Feng Hu, Rong-Bin Hong, dan Chang-Huan Liu dalam penelitian pengaturan kecepatan dengan tuning kontroler PI, di mana tuning kontroler PI dapat mengatur kecepatan putaran motor induksi mencapai referensi kecepatan yang diinginkan, tetapi membutuhkan *continues tuning* nilai yang pasti dari gain proporsional (K_p) dan integral (K_i) untuk memperoleh performa kontroler yang bagus [4].

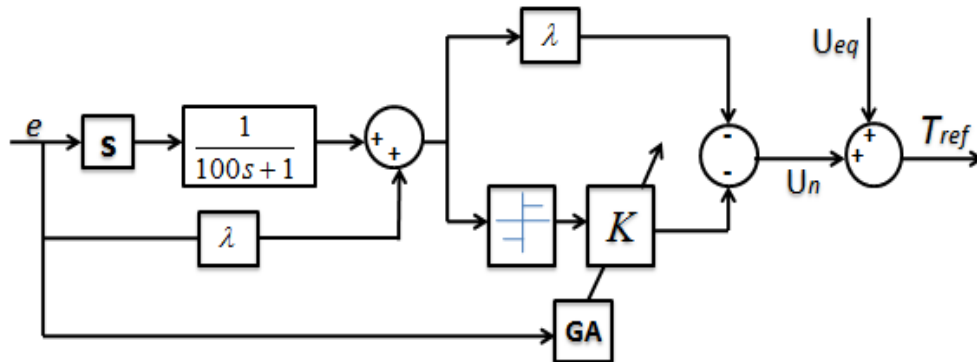
Dalam penelitian mengenai pengaturan kecepatan putaran motor induksi, Tanvir Ahammad, Abdul R. Beig, Khalifa Al-Hosani didalam penelitiannya [5], meningkatkan *Direct Torque Control* dari Motor Induksi dengan pendekatan modifikasi *Sliding Mode Control* (SMC) dapat membuktikan bahwa pengaturan motor induksi dengan metode *Sliding Mode Control* (SMC) kecepatan motor memiliki respon yang unggul, dan ketahanan yang baik dalam menghadapi ketidakpastian termasuk gangguan beban. Selain itu, akurasi *performance* dapat dicapai, serta fluktuasi *ripple* fluks dan torsi berkurang jika dibandingkan dengan teknik DTC konvensional. Namun pada penelitian ini permasalahan *chattering* belum bisa diatasi dengan sepenuhnya dimana fenomena *chattering* ini timbul akibat proses pemeliharaan trayektori pada salah satu sinyal kontrol dari metode *Sliding Mode Control* (SMC).

Maka untuk mengatasi permasalahan tersebut, pada penelitian ini dilakukan pengaturan kecepatan putaran motor induksi 3 fasa dengan *Direct Torque Control* (DTC) Menggunakan *Sliding Mode Control* (SMC) Berbasis *Algoritma Genetika*. Dimana *Algoritma Genetika* mampu mengatasi permasalahan optimasi kombinasi, yaitu mendapatkan suatu nilai solusi optimal terhadap suatu permasalahan yang mempunyai kemungkinan banyak solusi [13].

3. METODE PENELITIAN

Kontroller *Sliding Mode Control* (SMC)

Kontroller dirancang untuk mengatasi masalah pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa. Metode yang dibuat adalah metode kontrol *Sliding Mode Control* (SMC) berbasis *Algoritma Genetika*, dimana *Algoritma Genetika* dirancang untuk masalah optimalisasi parameter *Sliding Mode Control* (SMC) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Diagram Blok Optimasi *Algoritma Genetika* Pada Parameter SMC.

Pada Gambar 1 di atas, dapat dijelaskan bahwa *error* hasil perbandingan putaran motor dengan referensi adalah sebagai input untuk *Algoritma Genetika* kemudian *error* tersebut dievaluasi untuk optimasi parameter *Sliding Mode Control* (SMC) yaitu *gain K*. Proses optimasi ini dilakukan secara *off-line*. Dengan persamaan sebagai berikut:

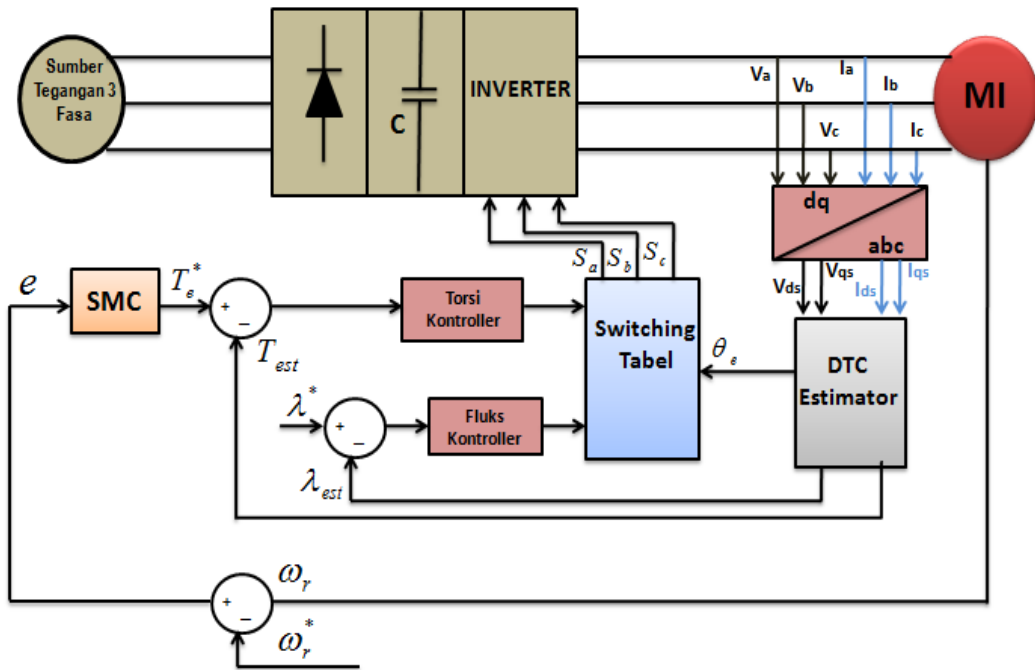
$$u_{eq} = \left(\ddot{\omega}_r - \dot{e} \lambda \left(\frac{1}{100s+1} \right) \right) J_{eq} \quad (1)$$

$$u_n = \left(K \cdot \text{sign} \left(\lambda e + \dot{e} \left(\frac{1}{100s+1} \right) \right) - \lambda \right) \quad (2)$$

Sehingga jika dijumlahkan kedua persamaan tersebut menjadi sinyal kontrol untuk mendapatkan sinyal referensi atau T_{ref} sebagai masukan untuk sistem yang dirancang maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$T_{ref} = \left(\ddot{\omega}_r - \dot{e} \lambda \left(\frac{1}{100s+1} \right) \right) J_{eq} + \left(K \cdot \text{sign} \left(\lambda e + \dot{e} \left(\frac{1}{100s+1} \right) \right) - \lambda \right) \quad (3)$$

Kontroller *Sliding Mode Control* (SMC) berbasis *Algoritma Genetika* akan diterapkan pada *Direct Torque Control* (DTC) yang merupakan salah satu skema pengaturan motor induksi 3 fasa berdasarkan pengaturan fluks stator dan torsi. Secara keseluruhan sistem dapat digambarkan dalam diagram blok agar mudah untuk memahami cara kerja dan bagian-bagian sistem seperti pada Gambar 2 berikut ini.

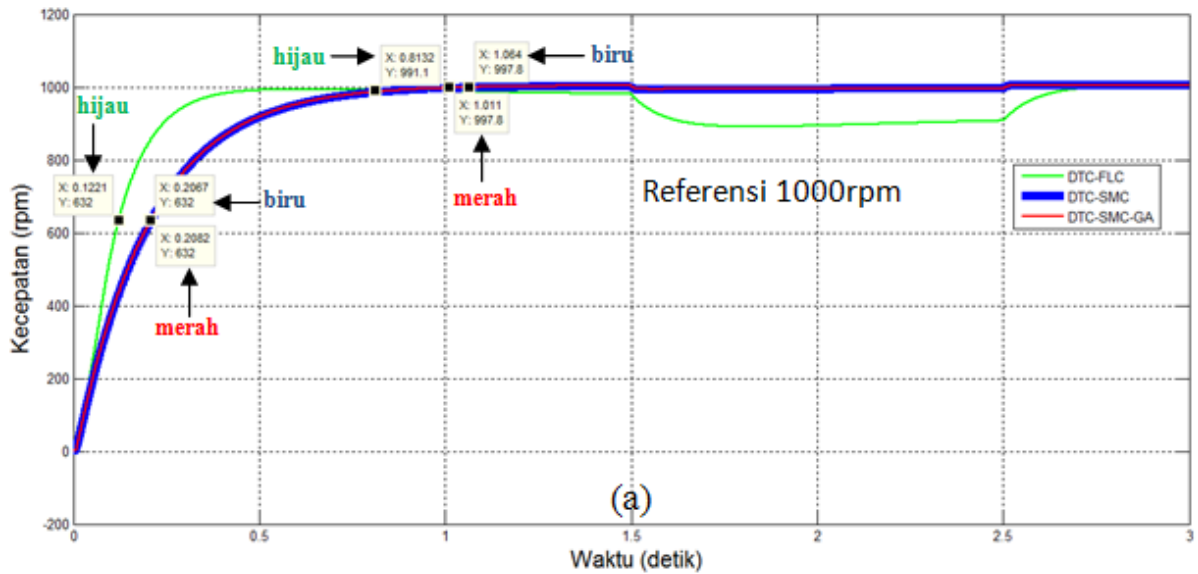


Gambar 2. Diagram Blok Sistem Keseluruhan

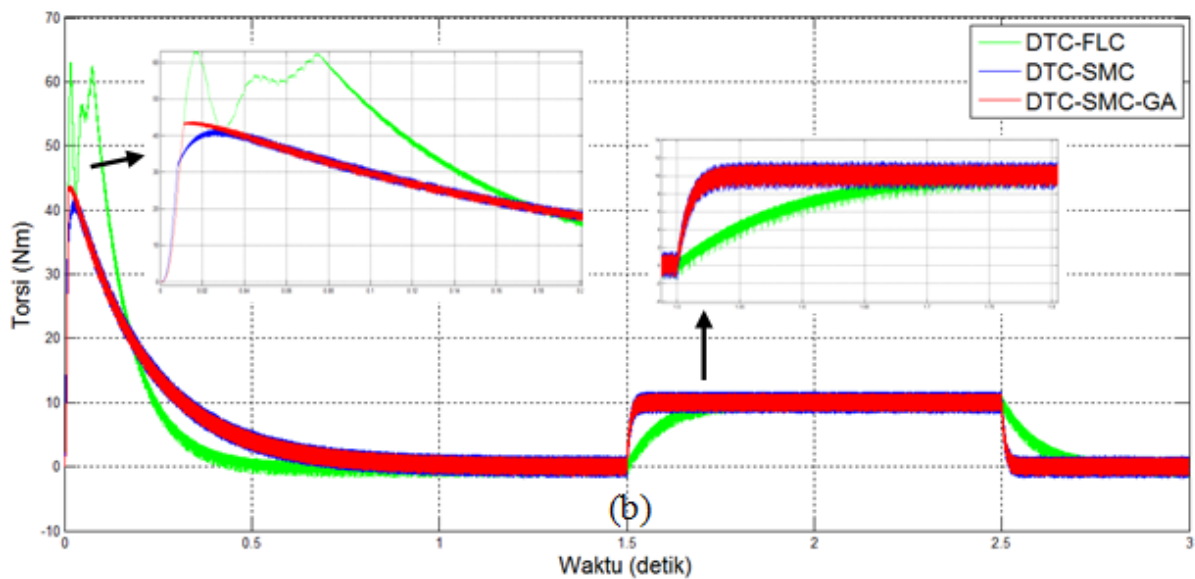
Gambar diagram blok di atas menunjukkan bahwa, keluaran inverter berupa tegangan tiga fasa sebagai masukan untuk motor induksi kemudian tegangan dan arus stator pada motor induksi yaitu V_a , V_b , V_c dan I_a , I_b , I_c akan ditransformasi oleh blok abc ke dq menggunakan persamaan (3.1) dengan maksud untuk mengubah koordinat motor induksi dari 3 fasa ke dalam koordinat 2 fasa. Hasil dari transformasi berupa tegangan d_s , q_s dan arus d_s , q_s inilah sebagai masukan untuk blok DTC estimator, sehingga keluaran dari DTC estimator yaitu torsi estimator akan dibandingkan dengan torsi error referensi (torsi hasil kontroler SMC-GA) dan fluks estimator akan dibandingkan dengan fluks referensi sedangkan sudut fluks stator sebagai masukan untuk blok *switching table* gunanya untuk mengontrol fluks stator dan torsi untuk memenuhi nilai referensi yang telah ditentukan. Selanjutnya putaran motor akan dibandingkan dengan putaran referensi dan hasil perbandingan inilah nantinya akan dikontrol menggunakan metode SMC-GA.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini merupakan simulasi. Simulasi yang dilakukan dengan berbagai macam kontroler berbeda. Hal ini untuk melihat perbandingan respon kecepatan motor induksi. Selain itu untuk mengetahui kemampuan sistem. Pada simulasi ini kita ingin melihat respon putaran motor terhadap perubahan torsi beban, dengan nilai acuan/referensi untuk kecepatan berbeda-beda. Nilai referensi kecepatan inilah yang nantinya dijadikan acuan untuk nilai respon keluaran sistem yang diinginkan. Gambar 3 dan 4 merupakan respon kecepatan dan torsi motor induksi dengan kontroler berbeda.

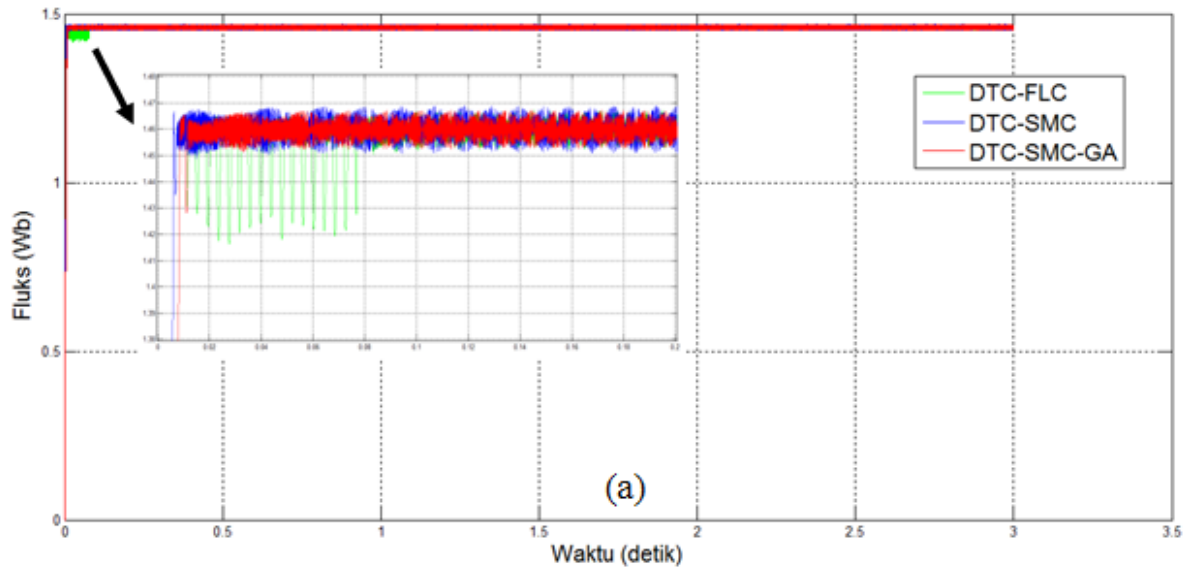


Gambar 3. Respon Kecepatan dengan Kontroller DTC-FLC, DTC-SMC dan DTC-SMC-GA, dengan kecepatan referensi 1000 rpm

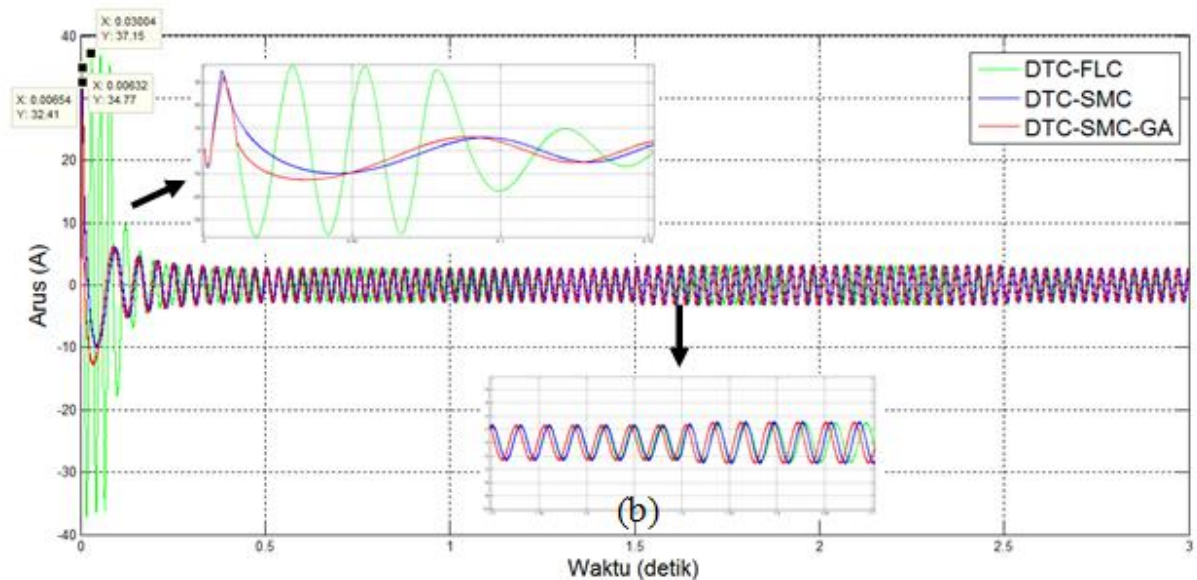


Gambar 4. Respon Torsi dengan Kontroller DTC-FLC, DTC-SMC dan DTC-SMC-GA, dengan kecepatan referensi 1000 rpm

Gambar 3 dan 4 menunjukkan respon kecepatan dan torsi motor induksi ketika diberi beban sebesar 10 Nm, diterapkan pada 1.5 detik dan beban dihilangkan pada 2.5 detik dengan menggunakan kontroler yang berbeda yaitu DTC-FLC, DTC-SMC dan DTC-SMC-GA dengan referensi kecepatan 1000 rpm. Respon kecepatan dengan DTC-SMC dan DTC-SMC-GA terlihat bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan DTC-FLC, namun pada respon torsi jika diamati terdapat perbedaan yaitu fluktuasi *ripple* minimum. Dan untuk respon fluk stator dan arus stator dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Respon Fluks Stator dengan Kontroller DTC-FLC, DTC-SMC dan DTC-SMC-GA, dengan kecepatan referensi 1000 rpm



Gambar 6. Respon Arus Stator dengan Kontroller DTC-FLC, DTC-SMC dan DTC-SMC-GA, dengan kecepatan referensi 1000 rpm

Gambar 5 dan 6 menunjukkan respon fluks stator dan arus stator pada motor induksi dengan kontroler berbeda, di mana pada DTC-FLC pada saat *steady state* awal fluktuasi *ripple* fluks yang dibangkitkan sangat besar, begitu juga dengan arus *starting* awal yang dibangkitkan sekitar 37.15A dan waktu *steady state* lebih lama dibandingkan dengan menggunakan kontroler DTC-SMC dan DTC-SMC-GA.

Tabel 1 menunjukkan karakteristik respon waktu masing-masing sistem.

Kecepatan (rpm)	Karakteristik respon	DTC-FLC (detik)	DTC-SMC (detik)	DTC-SMC-GA (detik)
1000	τ	0,1221	0,2067	0,2082
	t_s	0,3663	0,6201	0,6246
	t_r	0,2682	0,4541	0,4574
	t_d	0,0846	0,1432	0,1443
1100	τ	0,1144	0,1794	0,1783
	t_s	0,3432	0,5382	0,5349
	t_r	0,2513	0,3941	0,3917
	t_d	0,0792	0,1243	0,1235
1200	τ	0,1104	0,1583	0,1753
	t_s	0,3312	0,4749	0,5259
	t_r	0,2425	0,3478	0,3851
	t_d	0,0765	0,1096	0,2669

Dari Tabel 1 di atas dapat dilihat adanya perbedaan karakteristik respon sistem dengan kontroler yang berbeda. Namun untuk sistem kecepatan yang berbeda, perbedaan terjadi pada waktu *rise time*. Dengan digunakan kontroler DTC-FLC, nilai konstanta waktu (τ) dengan referensi yang berbeda rata-rata adalah 0.1156 detik. Dengan demikian diperoleh rata-rata *settling time* adalah sebesar 0.3468 detik. Tetapi ini hanya terjadi pada saat *starting* awal motor induksi saja. Sedangkan pada saat *steady state* dan terjadi perubahan beban, respon kecepatan dengan DTC-FLC mengalami penurunan kecepatan yang sangat signifikan dan membutuhkan waktu untuk mencapai *steady state* lebih lama jika dibandingkan dengan DTC-SMC-GA, hampir tidak mengalami perubahan kecepatan dan waktu mencapai *steady state* lebih cepat.

5. KESIMPULAN

Proses pengontrolan model motor induksi DTC dengan kontroler SMC berbasis *Algoritma Genetika* dapat memberikan respon kecepatan rotor yang membentuk grafik respon seperti karakteristik sistem orde pertama. Selain itu grafik respon mampu mencapai nilai kecepatan acuan yang diberikan yaitu 1000, 1100 dan 1200rad/m dengan rata-rata *settling time* yaitu 0.5618 detik. Dengan digunakan kontroler DTC-SMC dan DTC-SMC berbasis *Algoritma Genetika* respon kecepatan motor induksi hampir tidak mengalami perubahan kecepatan dari referensi yang diberikan pada saat terjadi perubahan beban, dan waktu respon kecepatan dan torsi mencapai *steady state* lebih cepat. Saat diterapkan beban pada saat waktu 1.5 detik respon torsi mencapai *steady state* yaitu 1.55 detik, sedangkan pada DTC-FLC respon torsi mencapai *steady state* yaitu 1.68 detik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Mochammad Rameli .(2014), “Bahan Kuliah Pegaturan Mesin Listrik: Motor Listrik”. Teknik Sistem Pengaturan, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ramesh, T., Panda, K. A. (2012), “Direct Flux and Torque Control of There Phase Induction Motor Drive Using PI and Fuzzy Logic Controllers for Speed Controller for Regulator

- and Low Torque Ripple ”. Department of Electrical Engineering, National Institute of Technology, India.
- Hu, F.C., Hong, B. R., Liu, H.C. (2014), “Stability analysis and PI controller tuning for a speed sensorless vector-controlled induction motor drive”, *30th Annual Conference of IEEE Inds. Elec.*, Society, IECON, vol.1, 2-6 Nov, Korea.
- Ahammad, T., Beig, A.R., Al-Hosani, K. (2013), “An Improved Direct Torque Control of Induction Motor with Modified Sliding Mode Control Approach”. *IEEE 2013*
- Aguilar, G.M., Cortez, L. (2012), “Implementation of the Direct Torque Control (DTC) in current model, with current starting limiter”. Faculty of Sciences of the Electronics, BUAP Puebla, Mexico.
- Sun, D. (2010), “Sliding Mode Direct Torque Control for Induction Motor with Robust Stator Flux observer”, *IEEE 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, China.
- Robyns, B., Franscois, B., Degobert, B., Hautier, P. J. (2012), “Vector Control of Induction Machines Desensitisation and Optimisation through Fuzzy Logic”, Springer, France.
- Ned, M. (2001), “Advanced Electric Drives”, MNPERE, United States of America.
- Cao-Minh, T., Chakraborty, C., Hori, Y. (2009), “Efficiency Maximization of Induction Motor Drives for Electric Vehicles Based on Actual Measurement of Input Power”. Department of Electrical Engineering, University of Tokyo, Japan.
- Wong, C. C., Chang, Y. S. (1998), “Parameter Selection in the Sliding Mode Control Design Using Genetic Algorithms”. Department of Electrical Engineering, Tamkang University, Taiwan.
- Hermawanto, D. (2007), “Algoritma Genetika dan Contoh Aplikasinya”. *Komunitas eLearning IlmuKomputer.com*
- Goldberg, D. E. (1989), “Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning”. Addison-Wesley.