

PEMODELAN *STATE SPACE* MOTOR INDUKSI TIGA FASA SEBAGAI PENGGERAK MOBIL LISTRIK

Angga Wahyu Aditya^{1,*}, Ihsan², Restu Mukti Utomo³, Hilmanysah⁴

¹Teknik Elektro, Politeknik Negeri Balikpapan, Jl. Soekarno Hatta Km. 8 – Kota Balikpapan, 76129

²Teknik Elektro, Politeknik Negeri Balikpapan, Jl. Soekarno Hatta Km. 8 – Kota Balikpapan, 76129

³Teknik Elektro, Politeknik Negeri Balikpapan, Jl. Soekarno Hatta Km. 8 – Kota Balikpapan, 76129

⁴Teknik Elektro, Politeknik Negeri Balikpapan, Jl. Soekarno Hatta Km. 8 – Kota Balikpapan, 76129

*Email: angga.wahyu@poltekba.ac.id

Diterima: 19 Mei 2019

Direvisi: 04 Agustus 2019

Disetujui: 13 Desember 2019

ABSTRAK

Penggunaan motor induksi pada mobil listrik dikembangkan semenjak teknologi kontrol vektor ditemukan dan dikembangkan. Pada teknologi kontrol vektor memerlukan pemodelan dinamis motor induksi pada sisi elektrik dan mekanik. Seiring dengan pengembangan teknologi sistem pengendali terutama pengendali yang didasarkan pada pemodelan sistem, pemodelan dinamis motor induksi yang sederhana dan mudah diolah untuk mendisain suatu pengendali sangat dibutuhkan. Persamaan state space merupakan solusi yang dapat digunakan untuk menyederhanakan pemodelan motor induksi sehingga memudahkan dalam menentukan persamaan kontrol vektor dan mendesain pengendali untuk mendapatkan performa motor induksi yang maksimal. Selain itu, persamaan state space motor induksi juga dapat digunakan untuk mendesain dan menentukan kestabilan dari suatu sistem pengaturan motor induksi. Respon karakteristik dasar motor induksi meliputi respon karakteristik arus stator, kecepatan rotor dan elektromagnetik torsi pada kondisi tanpa beban dan pada saat beban penuh.

Kata kunci: Persamaan state space, Motor induksi dan Mobil listrik

ABSTRACT

The use of induction motors in electric cars was developed since vector control technology was discovered and developed. In vector control technology requires dynamic modeling of induction motors on electrical and mechanical sides. Along with the development of controlling system technology, especially controllers based on system modeling, dynamic modeling of induction motors that are simple and easy to process to design a controller is needed. The state space equation is a solution that can be used to simplify induction motor modeling so that it is easier to determine vector control equations and design controllers to get maximum induction motor performance. In addition, the induction motor state space equation can also be used to design and determine the stability of an induction motor control system. The response to the basic characteristics of an induction motor includes the response of the characteristics of the stator current, rotor speed and electromagnetic torque at no-load conditions and at full load.

Keywords: State space equation, Induction Motor, and Electric Vehicle

PENDAHULUAN

Motor induksi saat ini banyak digunakan di dunia industri baik pada industri manufaktur maupun industri otomotif (Berlianti, 2015), (Yang, Shang, Brown, & Krishnamurthy, 2015), (Pavuluri, Wangy, Longz, Zhuox, & Lian, 2015). Pada dunia manufaktur, motor induksi dimanfaatkan sebagai penggerak utama alat – alat produksi seperti *conveyor*, pompa dan lain sebagainya. Pada dunia otomotive motor induksi banyak dikembangkan sebagai penggerak pada mobil hybrid, mobil listrik dengan penggunaan skala kecil seperti sebagai alat transportasi pariwisata sampai skala mobil mewah seperti Tesla – Model S (YAICH, HACHICHA, & GHARIANI, 2015), (Sieklucki, 2018). Motor induksi memiliki berbagai kelebihan, diantaranya : harga murah, handal, tenaga yang besar dengan daya listrik yang rendah dan hampir tidak memerlukan perawatan (Praharsena, et al., 2018), (Bose, 2001), (Teja, Verma, & Chakraborty, 2015). Namun, motor induksi memiliki kelemahan dalam pengaturan kecepatan dikarenakan perubahan kecepatan motor induksi bergantung pada perubahan frekuensinya.

Banyak publikasi ilmiah membahas mengenai pengaturan kecepatan pada motor induksi seperti : pengaturan kecepatan motor induksi dengan menggunakan beberapa pengendali seperti PI dan Fuzzy (Pati, Patnaik, & Panda, Comparative performance analysis of fuzzy PI, PD and PID controllers used in a scalar controlled induction motor drive, 2014), peningkatan performa pada respon *transient* dan *steady state* menggunakan *Sliding Mode Controller (SMC)* (Pati, Mohanty, & Patnaik, Improvement of transient and steady state performance of a scalar controlled induction motor using sliding mode controller, 2014), implementasi Wajung Blocksheets pada STM32F4 untuk mengatur kecepatan motor induksi secara real time (Hmidet & Hasnaoui, 2018) dan pengaturan kecepatan motor induksi pada *low speed response* atau kecepatan rendah menggunakan *Fuzzy Logic Controller (FLC)* dengan menggunakan *Four-Switch Three-Phase (FSTP)* inverter (Zaky & Metwaly, 2016). Pengaturan kecepatan motor induksi dapat dilakukan melalui kontrol *scalar* dan kontrol vektor. Kontrol *scalar* (v/f *constant*) merupakan pengaturan motor induksi yang mudah untuk dilakukan dan memberikan performa *steady state* yang baik. Bagaimanapun

juga respon dinamis kurang bagus dikarenakan tidak ada kontrol pada saat kondisi transient. Untuk mendapatkan performa dan respon dinamis yang lebih baik skema kontrol vektor di desain menggunakan sistem kendali *loop* tertutup (Abu-Rub, Iqbal, & Guzinski, 2012), (Karthik & Chelliah, 2016). Untuk mendapatkan pemodelan sistem suatu vektor kontrol diperlukan pemodelan matematis motor induksi. Pemodelan matematis motor induksi terdiri atas pemodelan elektrik dan pemodelan mekanik (Kim, Cho, Lee, Lee, & Lee, 2016), (Khoury, Ghosn, Fadel, & Tientcheu, 2016), (Jain, Sharma, & Baliwal, 2014). Persamaan *state space* digunakan untuk menyederhanakan pemodelan motor induksi guna memudahkan desain pengendali pada kontrol vektor terutama pengendali yang berbasis pemodelan sistem seperti *Sliding Mode Control (SMC)* (Aditya, Happyanto, & Sumantri, Application of Sliding Mode Control in Indirect Field Oriented Control for Model Based Controller, 2017).

Publikasi ilmiah ini membahas mengenai aplikasi motor induksi pada mobil listrik dan persamaan *state space* motor induksi pada kerangka referensi DQ. Persamaan *state space* didisain berdasarkan pemodelan elektrik motor induksi.

Motor Induksi Pada Mobil Listrik

Penggunaan motor induksi sebagai penggerak utama mobil listrik mulai dikembangkan setelah penemuan teknologi kontrol vektor. Hal ini dikarenakan teknologi kontrol vektor dapat mengatur fluks dan torsi dari motor induksi secara terpisah (Abu-Rub, Iqbal, & Guzinski, 2012), (Aditya, et al., 2018), (Quang & Dittrich, 2015). Dengan kata lain motor induksi dapat dikondisikan seperti motor DC. Fluks pada motor induksi dapat dikendalikan dengan melalui arus stator pada sumbu *direct* (i_{ds}), sedangkan torsi dapat dikendalikan melalui arus stator pada sumbu *quadrature* (i_{qs}) (Shu-ying, Shu, Zhen, Ming-yao, & Xing, 2017), (Oliveira, Aguiar, Monteiro, & Pereira, 2015).

Penggunaan motor induksi sebagai penggerak utama kendaraan hybrid mulai dikembangkan pada mobil hybrid oleh beberapa pabrikan asal Eropa dan Amerika seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 1 (Hashernia & Asaei, 2008), (Saleki,

Rezazade, & Changizian, 2017) dan mulai dikembangkan penggunaannya untuk mobil listrik oleh pabrikan asal USA yaitu Tesla untuk Model S.

Tabel 1. Penggunaan motor induksi pada mobil listrik (Sieklucki, 2018), (Hashernnia & Aseai, 2008)

Model	Negara
Renault / Kangoo	
	Perancis
Chevrolet / Silverado	
	USA
Daimler Chrysler / Durango	
	Jerman / USA
BMW / X5	
	Jerman
Tesla / Model S	
	USA

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan kajian – kajian mengenai perkembangan teknologi motor induksi yang diaplikasikan pada mobil listrik. Perkembangan sistem kemudi dan metode pengendali yang digunakan menjadi dasar yang penting dalam mengembangkan motor induksi pada mobil listrik. Bahan pustaka yang digunakan bersumber dari publikasi ilmiah bereputasi dalam bentuk seminar internasional, jurnal nasional, buku dan prosiding.

Penentuan persamaan motor induksi didasarkan pada referensi sumbu DQ. Persamaan motor induksi yang terdiri atas pemodelan elektrik dan mekanik. Penentuan persamaan *state space* didasarkan pada pemodelan elektrik motor induksi. Pemodelan *state space* yang telah didapatkan diimplementasikan pada MATLAB/Simulink untuk mendapatkan karakteristik dasar motor induksi. Pengujian karakteristik motor induksi dilakukan pada kondisi tanpa beban, variasi beban dan beban penuh.

State Space Motor Induksi

Pemodelan matematis dari motor induksi terdiri atas pemodelan elektrik dan mekanik. Pemodelan elektrik terdiri atas persamaan arus dan fluks yang ditulis dalam koordinat DQ seperti pada persamaan (1) (Abu-Rub, Iqbal, & Guzinski, 2012), (Aditya, Happyanto, & Sumantri, Application of Sliding Mode Control in Indirect Field Oriented Control for Model Based Controller, 2017), (Aditya, et al., 2018), (Mahmoudi, Madani, Benkhoris, & Boudjema, 1999) :

$$\frac{di_{ds}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} \left[-R_m i_{ds} + \omega_s \sigma L_s i_{qs} + \frac{L_m}{L_r} \left(\frac{\Phi_{rd}}{T_r} + P \omega_r \Phi_{rq} \right) + U_{ds} \right] \quad (1)$$

$$\frac{di_{qs}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} \left[-R_{sm} i_{qs} + \omega_s \sigma L_s i_{ds} + \frac{L_m}{L_r} \left(\frac{\Phi_{rq}}{T_r} + P \omega_r \Phi_{rd} \right) + U_{qs} \right] \quad (2)$$

$$\frac{d\Phi_{rd}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{ds} + \omega_{sl} \Phi_{rq} - \frac{1}{T_r} \Phi_{rd} \quad (3)$$

$$\frac{d\Phi_{rq}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{qs} + \omega_{sl} \Phi_{rd} - \frac{1}{T_r} \Phi_{rq} \quad (4)$$

dimana :

- U_{ds} : tegangan stator pada sumbu D
- U_{qs} : tegangan stator pada sumbu Q
- i_{ds} : arus stator pada sumbu D
- i_{qs} : arus stator pada sumbu Q
- Φ_{rd} : fluks rotor pada sumbu D
- Φ_{rq} : fluks rotor pada sumbu Q
- L_m : induktansi gabungan
- L_r : induktansi rotor
- L_s : induktansi stator
- R_r : resistansi rotor
- R_s : resistansi stator
- P : jumlah pasangan pole

Persamaan *state space* untuk pemodelan motor induksi untuk memudahkan desain pengendali kontrol vektor yang berbasis pada pemodelan sistem. *SMC* merupakan salah satu jenis pengendali *robust* yang membutuhkan persamaan *state space* untuk memudahkan mendesain pengendali (Aditya, Happyanto, & Sumantri, Application of Sliding Mode Control in Indirect Field Oriented Control for Model Based Controller, 2017). Selain itu, pemodelan *state space* dapat digunakan untuk menentukan kestabilan dari suatu sistem seperti pada teori kestabilan Lyapunov (Slotine & Li, 1991).

Persamaan (1) - (4) dapat ditulis dalam persamaan *state space* untuk memudahkan desain pengendali yang berbasis pemodelan suatu sistem maupun analisa kestabilan. Persamaan *state space* motor induksi ditulis pada persamaan (5).

$$\dot{X} = AX + BU \quad (5)$$

dimana :

$$A = \begin{bmatrix} -R_m/\sigma L_s & \Omega_s & R_r L_m/L_r^2 \sigma L_s & L_m \Omega_r/L_r \\ \Omega_s & -R_m/\sigma L_s & L_m \Omega_r/L_r & R_r L_m/L_r^2 \sigma L_s \\ L_m/T_r & 0 & -1/T_r & \Omega_{sl} \\ 0 & L_m/T_r & \Omega_{sl} & -1/T_r \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ \Phi_{rd} \\ \Phi_{rq} \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 1/\sigma L_s \\ 1/\sigma L_s \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; U = \begin{bmatrix} U_{ds} \\ U_{qs} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

dengan :

$$R_m = R_s + \frac{L_m^2}{L_r^2} R_r$$

$$\omega_{sl} = \omega_s - \omega_r \quad : \text{slip kecepatan}$$

$$T_r = L_r/R_r \quad : \text{rotor time constant}$$

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{(L_s + L_r)} : \text{total leakage factor}$$

Pemodelan mekanik dari motor induksi terdiri atas persamaan kecepatan rotor yang ditunjukkan oleh persamaan (6).

$$\frac{d\Omega_r}{dt} = \frac{L_m}{JL_r} (\Phi_{rd} i_{qs} - \Phi_{rq} i_{ds}) - \frac{1}{J} m_o \quad (6)$$

dengan J adalah momen inersia dan m_o adalah *torque load*. Persamaan elektromagnetik torsi (m_e) ditunjukkan oleh persamaan (7) :

$$m_e = \frac{3}{2} P \frac{L_m}{L_r} (\Phi_{rd} i_{qs} - \Phi_{rq} i_{ds}) \quad (7)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (6) dan (7), maka hubungan persamaan kecepatan rotor dengan elektromagnetik torsi adalah :

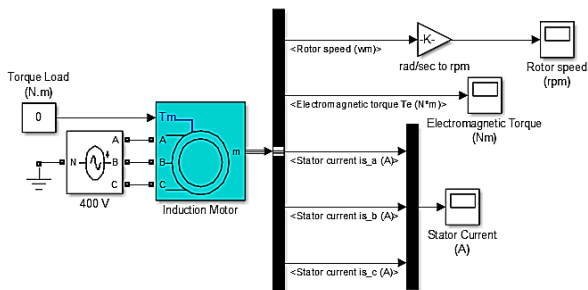
$$\frac{d\Omega_r}{dt} = \frac{2}{3PJ} m_e - \frac{1}{J} m_o$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

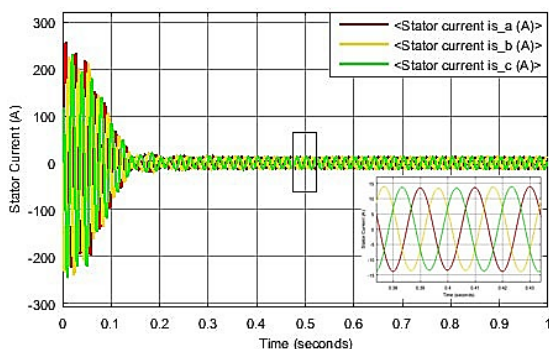
Pemodelan motor induksi tiga fasa pada persamaan (5) disimulasikan dengan menggunakan Simulink/MATLAB dengan data parameter motor induksi pada Tabel 2. Pada publikasi ilmiah ini, respon karakteristik motor induksi yang ditampilkan adalah respon kecepatan, elektromagnetik torsi, kurva karakteristik elektromagnetik torsi – kecepatan rotor dan arus pada referensi ABC. Kondisi beban penuh dan tanpa beban digunakan untuk mendapatkan performa motor induksi.

Tabel 2. Parameter motor induksi

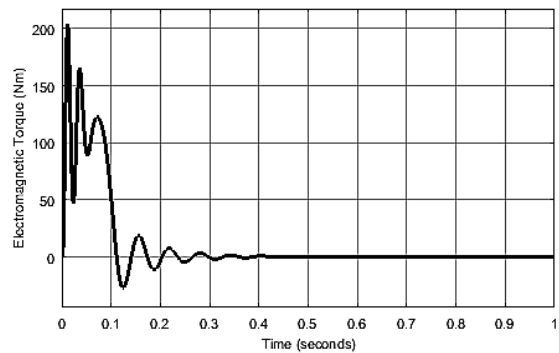
Parameter	Nilai	Satuan
Daya	20	HP
	15	KW
Tegangan	400	Volt
Elektromagnetik Torsi (Full Load)	49	Nm
Power Factor	90	%
Fasa	3	Phasa
Kecepatan Nominal (sinkronus)	3000	Rpm
Kecepatan Nominal (Full Load)	2920	Rpm
Frekuensi	50	Hz
L_m	0.07475	H
L_r	0.6513	H
L_s	0.001146	H
R_r	0.001146	Ohm
R_s	0.7218	Ohm
P	2	-
J	0.0343	Kg.m ²



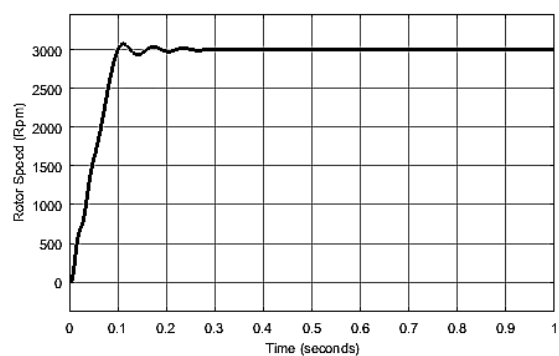
Gambar 1. Rangkaian pengujian motor induksi



Gambar 2. Respon arus stator motor induksi kondisi tanpa beban (*no-load*)

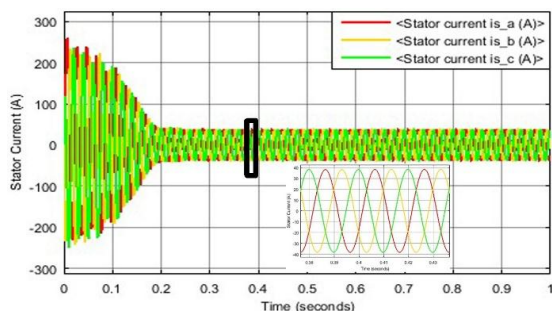


Gambar 3. Respon elektromagnetik torsi motor induksi (*no-load*)

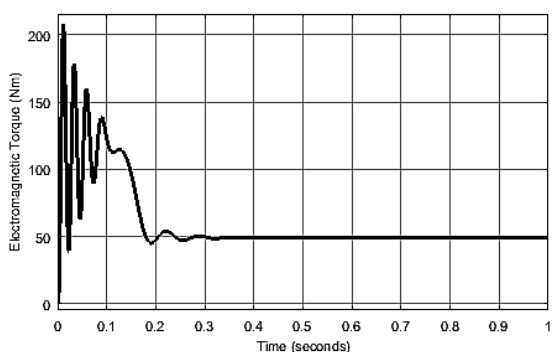


Gambar 4. Respon kecepatan motor induksi (*no-load*)

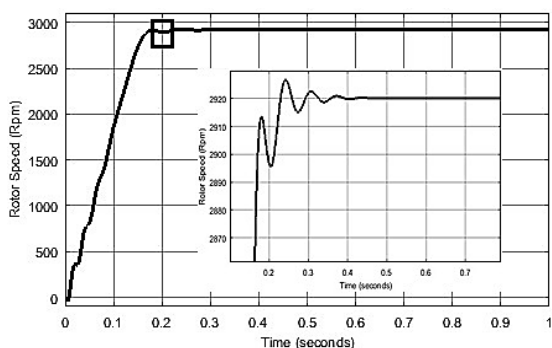
Pengujian motor induksi dilakukan pada kondisi *open loop* dengan kondisi tanpa beban seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan respon karakteristik dasar motor induksi. Motor induksi diberikan sumber tiga fasa yang sesuai dengan parameter motor (tegangan = 400, frekuensi = 50 Hz). Gambar 2 merupakan respon arus motor induksi pada saat tanpa beban. Pada respon arus tersebut terlihat bahwa arus *starting* motor melebihi 7 kali arus nominal motor pada saat kondisi *steady state*. Respon elektromagnetik torsi motor induksi pada Gambar 3 menunjukkan pada kondisi *steady state* respon elektromagnetik torsi berada pada angka 0 Nm. Respon kecepatan motor induksi mencapai kecepatan nominal (3.000 rpm) pada saat $t = 0.3$ detik ditunjukkan oleh Gambar 4. Hal inilah yang menjadi dasar pengembangan teknik pengaturan motor induksi dengan tujuan utama untuk mencapai kecepatan nominal secara cepat dengan nilai *overshoot* yang rendah dan nilai arus *starting* motor yang lebih rendah.



Gambar 5. Respon arus stator motor induksi kondisi beban penuh (*full load*)



Gambar 6. Respon elektromagnetik torsi motor induksi kondisi beban penuh (*full load*)



Gambar 7. Respon kecepatan motor induksi pada kondisi beban penuh (*full load*)

Kondisi beban penuh (*full load*) pada motor induksi yang digunakan tercapai pada saat *torque load* atau beban torsi sebesar 49 Nm (berdasarkan data parameter motor induksi pada Tabel 2). Respon arus stator pada saat beban penuh pada kondisi *steady state* hampir mencapai 38.14 A seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pada Gambar 6, respon elektromagnetik torsi motor induksi menunjukkan nilai 49 Nm. Hal ini menandakan bahwa motor induksi pada kondisi terbebani (beban penuh). Pada kondisi beban penuh, motor induksi akan mengalami

penurunan respon kecepatan pada kondisi *steady state* pada 2912 rpm dengan nilai *overshoot* yang lebih rendah dibandingkan kondisi tanpa beban seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7.

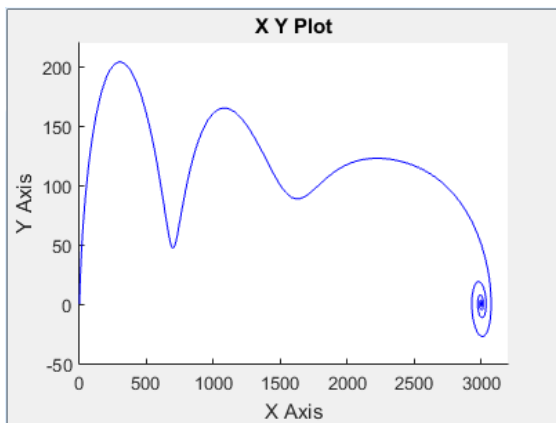
Tabel 3. Performa kecepatan motor induksi pada variasi beban torsi

Beban Torsi (Nm)	Parameter Performa Kecepatan		
	Rise Time (mili detik)	Steady State Response (Rpm)	Slew Rate (Rpm/mili detik)
0	74.697	3000	31.956
5	77.641	3000	30.786
10	80.542	2974	29.452
15	86.275	2991	27.684
20	91.997	2986	25.960
25	95.911	2949	24.629
30	101.349	2961	23.447
35	105.896	2942	22.342
40	112.683	2930	20.954
45	103.103	2921	19.639
49	109.528	2912	18.679

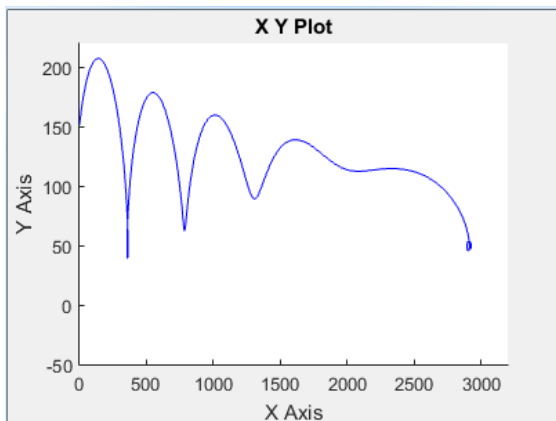
Pada Tabel 3, performa karakteristik kecepatan motor induksi di analisa pada sisi *rise time*, *steady state response* dan *slew rate*. Pada kondisi tanpa beban (beban torsi = 0 Nm) memiliki rise time 74.697 ms dengan *steady state response* 3000 rpm dengan *slew rate* 31.956 rpm/mili detik. Pada saat kondisi variasi beban torsi = 5 Nm, respon rise time mengalami penurunan menjadi 77.641 mili detik. ini berarti respon sistem mengalami perlambatan pada saat terbebani. *Steady state response* pada saat terbebani adalah 3000 rpm dengan *slew rate* yang mengalami penurunan menjadi 30.786 rpm / mili detik. Secara umum *rise time* akan mengalami perlambatan pada saat beban torsi semakin besar. Namun pada saat beban torsi = 45 Nm, *rise time* mengalami peningkatan dibandingkan pada saat beban torsi = 40 Nm. Namun, *steady state response* dan *slew rate* nya mengalami penurunan. Respon kecepatan motor induksi pada kondisi *steady state* saat terbebani akan mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan motor induksi tidak memiliki sistem pengendali atau dengan kata lain sistem dalam kondisi terbuka (*open*

loop condition). Hal ini juga berlaku pada *slew rate*. Untuk menjaga respon kecepatan motor induksi agar tidak berubah pada kondisi berbeban dan beban penuh, diperlukan suatu pengendali yang kokoh dan stabil.

Kurva karakteristik elektromagnetik torsi – kecepatan rotor pada kondisi tanpa beban (beban torsi = 0 Nm) ditunjukkan oleh Gambar 8. Sumbu X mewakili kecepatan rotor, sedangkan sumbu Y mewakili elektromagnetik torsi. Gambar 9 menunjukkan kurva karakteristik elektromagnetik torsi – kecepatan rotor pada saat beban penuh (beban torsi = 49 Nm). Berdasarkan Gambar 3, Gambar 6, Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan bahwa beban torsi mempengaruhi respon ripple elektromagnetik torsi. Ripple elektromagnetik torsi akan tereduksi pada saat motor induksi pada kondisi terbebani.

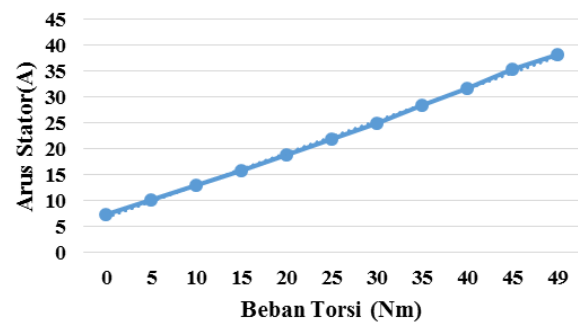


Gambar 8. Kurva karakteristik elektromagnetik torsi – kecepatan rotor pada kondisi tanpa beban

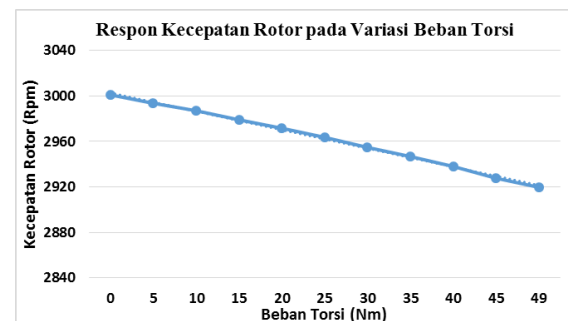


Gambar 9. Respon elektromagnetik torsi – kecepatan rotor pada kondisi beban penuh (49 Nm)

Respon Arus Stator pada Variasi Beban Torsi Root Mean Square (RMS)



Gambar 10. Respon arus stator pada variasi beban torsi



Gambar 11. Respon kecepatan rotor pada variasi beban torsi

Gambar 10 menerangkan tentang peningkatan konsumsi RMS arus stator pada referensi ABC pada saat motor induksi terbebani. Dengan menggunakan teknik linearisasi, peningkatan konsumsi arus stator pada saat terbebani memenuhi persamaan :

$$y_{sc} = 3.119x_{sc} + 3.5496$$

dimana :

x_{sc} = beban torsi

y_{sc} = arus stator

Peningkatan beban torsi pada motor induksi akan menurunkan respon kecepatan motor induksi pada saat *steady state*. Penurunan respon kecepatan motor induksi yang ditunjukkan oleh Gambar 11 memenuhi persamaan :

$$y_{rs} = -8.1545x_{rs} + 3011.2$$

dimana :

x_{rs} = beban torsi

y_{rs} = kecepatan stator

KESIMPULAN

Motor induksi mulai digunakan sebagai penggerak utama mobil listrik disaat teknologi kontrol vektor ditemukan dan dikembangkan. Pada teknologi kontrol vektor, membutuhkan pemodelan matematis dari motor induksi untuk mendapatkan persamaan kontrol vektor dan mendisain pengendali yang berbasis pemodelan sistem. Persamaan state space motor induksi digunakan untuk memudahkan desain pengendali yang mampu meningkatkan dan memperbaiki respon karakteristik dasar dari motor induksi terutama respon kecepatan rotor dan arus stator yang sangat dibutuhkan oleh mobil listrik pada sisi pengaturan kecepatan dan energi yang dikonsumsi.

Pada Tabel 3, meningkatnya beban torsi maka respon *rise time* kecepatan motor induksi akan semakin melambat, respon kecepatan *steady state* motor induksi akan semakin menurun. Begitupula respon *slew rate* nya akan menurun. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu metode pengendali yang mampu mengatur motor induksi sehingga dapat diaplikasikan pada mobil listrik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada pihak – pihak yang terlibat dan turut aktif menyelesaikan penelitian ini. Terutama kepada P3M – Politeknik Negeri Balikpapan (P3M – POLTEKBA) yang telah memberikan dukungan finansial dengan nomer kontrak : 23/PL32.13/SPK–LT/2019.

DAFTAR PUSTAKA

Abu-Rub, H., Iqbal, A., & Guzinski, J. (2012). *High Performance Control of AC Drives with MATLAB/Simulink Models*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.

Aditya, A. W., Happyanto, D. C., & Sumantri, B. (2017). Application of Sliding Mode Control in Indirect Field Oriented Control for Model Based Controller. *EMITTER International*

Journal of Engineering Technology, 5(2), 255-269.

- Aditya, A. W., Rusli, M. R., Praharsena, B., Purwanto, E., Happyanto, D. C., & Sumantri, B. (2018). The Performance of FOSMC and Boundary - SMC in Speed Controller and Current Regulator for IFOC-Based Induction Motor Drive. *International Seminar on Application for Technology of Information and Communication*. Semarang.
- Berlianti, R. (2015). ANALISIS MOTOR INDUKSI FASA TIGA TIPE ROTOR SANGKAR SEBAGAI GENERATOR INDUKSI DENGAN VARIASI HUBUNGAN KAPASITOR UNTUK EKSITASI. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 4(1), 110 - 119.
- Bose, B. K. (2001). *Modern Power Electronics and AC Drives*. Prentice Hall.
- Hashernnia, N., & Asaei, B. (2008). Comparative Study of Using Different Electric Motors in the Electric Vehicles. *International Conference on Electrical Machines* (pp. 1-5). Vilamoura: IEEE.
- Hmidet, A., & Hasnaoui, O. (2018). Waijung Blockset-STM32F4 Environment for Real Time Induction Motor Speed Control. *International Congress on Information Science and Technology (CiSt)*. Marrakech.
- Jain, S. K., Sharma, F., & Baliwal, M. K. (2014). Modeling and Simulation of an Induction Motor. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(4), 57 - 61.
- Karthik, D., & Chelliah, T. (2016). Analysis of Scalar and Vector Control Based Efficiency-Optimized Induction Motors Subjected to Inverter and Sensor Faults. *International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT)*. Ramanathapuram.
- Khoury, G., Ghosn, R., Fadel, M., & Tientcheu, M. (2016). Including Core Losses in Induction Motors Dynamic Model. *International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC)*. Zouk Mosbeh.

- Kim, J., Cho, E., Lee, Y., Lee, J., & Lee, J. (2016). C++ Based Dynamic Model of AC Induction Motor in Discrete Time Domain. *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC)*. Busan.
- Mahmoudi, M., Madani, N., Benkhoris, M., & Boudjema, F. (1999). Cascade sliding mode control of a field oriented induction machine drive. *The European Physical Journal Applied Physics*, 7, 217-225.
- Oliveira, C. M., Aguiar, M. L., Monteiro, J. B., & Pereira, W. C. (2015). Vector Control of Induction Motor using a Sliding Mode Controller with Chattering Reduction. *IEEE Brazilian Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC)*. Fortaleza.
- Pati, S., Mohanty, S., & Patnaik, M. (2014). Improvement of transient and steady state performance of a scalar controlled induction motor using sliding mode controller. *International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2014]*. Nagercoil.
- Pati, S., Patnaik, M., & Panda, A. (2014). Comparative performance analysis of fuzzy PI, PD and PID controllers used in a scalar controlled induction motor drive. *International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2014]*. Nagercoil.
- Pavuluri, V. K., Wangy, X., Longz, J., Zhuox, G., & Lian, W. (2015). Field Oriented Control of Induction Motors Using Symmetrical Optimum Method with Applications in Hybrid Electric Vehicles. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*. Montreal.
- Praharsena, B., Purwanto, E., Jaya, A., Rusli, M. R., Toar, H., Ridwan, . . . Sandhi, N. E. (2018). Evaluation of Hysteresis Loss Curve on 3 Phase Induction Motor by Using Cascade Feed Forward Neural Network. *International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA)*. Bali.
- Quang, N. P., & Dittrich, J.-A. (2015). *Vector Control of Three-Phase AC Machines*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Saleki, A., Rezazade, S., & Changizian, M. (2017). Analysis and Simulation of Hybrid Electric Vehicles for Sedan Vehicle. *Iranian Conference on Electrical Engineering*. Tehran.
- Shu-ying, Y., Shu, Y., Zhen, X., Ming-yao, M., & Xing, Z. (2017). A New Vector Control Strategy of Induction Motor based on Iron Loss Model. *Chinese Automation Congress*. Jinan.
- Sieklucki, G. (2018). An Investigation into the Induction Motor of Tesla Model S Vehicle. *International Symposium on Electrical Machines (SME)*. Andrychów.
- Slotine, J.-J. E., & Li, W. (1991). *Applied Nonlinear Control*. New Jersey: Prentice Hall.
- Teja, A. V., Verma, V., & Chakraborty, C. (2015). A New Formulation of Reactive Power Based Model Reference Adaptive System for Sensorless Induction Motor Drive. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, 62(11), 6797 - 6808.
- YAICH, M., HACHICHA, M. R., & GHARIANI, M. (2015). Modeling and Simulation of Electric and Hybrid Vehicles for Recreational Vehicle. *International conference on Sciences and Techniques of Automatic control & computer engineering - STA*. Monastir.
- Yang, Z., Shang, F., Brown, I. P., & Krishnamurthy, M. (2015). Comparative Study of Interior Permanent Magnet, Induction and Switched reluctance Motor Drives for EV and HEV Applications. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 245 - 254.
- Zaky, M. S., & Metwaly, M. K. (2016). A Performance Investigation of a Four-Switch Three-Phase Inverter-Fed IM Drives at Low Speeds Using Fuzzy Logic and PI Controllers. *IEEE*

Transaction on Power Electronics,
32(5), 3741 - 3753.