

PENGEREMAN DINAMIK BERTINGKAT UNTUK MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Syauqie Candra Buana^{*)}, Tejo Sukmadi, and Mochammad Facta

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: syauqiecdrab@gmail.com

Abstrak

Motor induksi tiga fasa di berbagai industri sangat penting untuk dapat dihentikan dalam waktu singkat atau dijaga pada keadaan diam. Pengereman dinamik motor induksi tiga fasa telah umum digunakan untuk menghentikan motor induksi secara elektrik. Umumnya, metode pengereman dinamik tidak dapat menghentikan putaran motor secara cepat layaknya pengereman mekanis. Dalam penelitian ini, akan dibahas mengenai metode pengereman dinamik bertingkat. Metode ini merupakan gabungan dari metode pengereman eksitasi sendiri kapasitor dan pengereman injeksi arus DC yang disusun dalam rentang waktu paling efektif. Hasil pengujian membuktikan bahwa metode pengereman dinamik bertingkat dapat menghentikan motor dengan waktu lebih cepat dibandingkan dengan metode pengereman dinamik tunggal. Pengereman dinamik bertingkat dengan menggunakan kapasitor 30 nF dan arus injeksi DC 0,38 A telah berhasil menghentikan motor dalam 0,44 detik untuk kondisi tanpa beban dan 1,85 detik untuk kondisi berbeban.

Kata kunci: motor induksi tiga fasa, pengereman dinamik bertingkat, eksitasi sendiri kapasitor, injeksi arus DC

Abstract

Three phase induction motors in various industries are very important to be stopped within a short time. Dynamic braking of three phase induction motor have been commonly used to brake an induction motor electrically. However, dynamic braking method does not stop the rotation of the motor as quick as mechanical braking. In this work, a method of multistage dynamic braking was presented. This braking method consisted of combination of two conventional braking methods. Those methods were Capacitor self excitation braking and DC injection braking. These methods were arranged by some effective grading time. The test results proved that multistage dynamic braking stopped the motor in shorter time than single dynamic braking method. The multistage dynamic braking using 30 nF capacitor and 0,38 A dc injection has successfully to stop motor within 0,44 second in no loaded condition and 1,83 second in loaded condition.

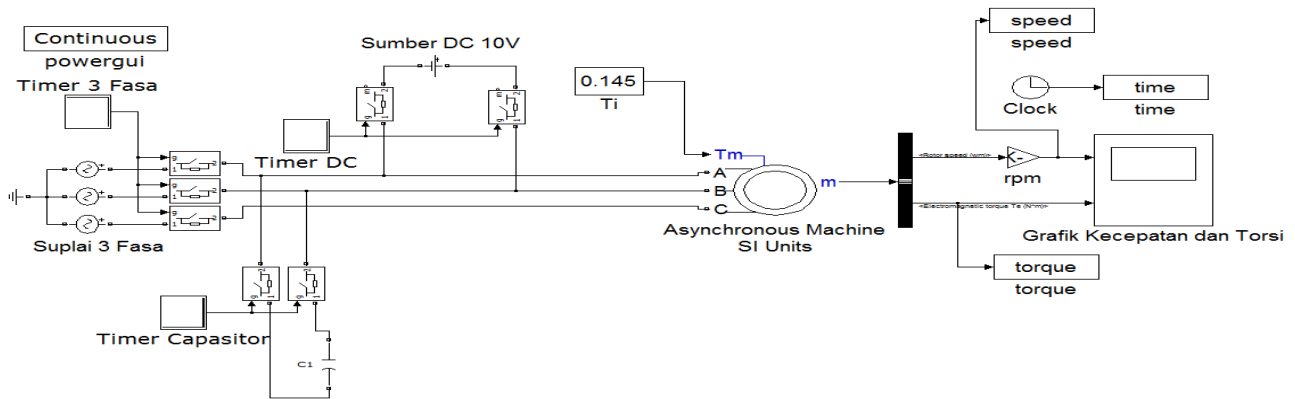
Keywords: 3-ph induction motor, multistage dynamic braking, capacitor self excitation, dc injection

1. Pendahuluan

Motor induksi tiga fasa merupakan peralatan yang sudah umum digunakan di berbagai industri untuk menunjang proses produksi. Motor induksi memiliki berbagai kelebihan seperti ketahanan tinggi, harga murah dan efisiensi yang tinggi [1]. Pengendalian peralatan motor di berbagai industri seperti contohnya konveyor batu bara, penggilingan baja lapis, lift, mesin pemisah sentrifugal dan mesin lainnya menjadi sangat penting untuk dapat dihentikan dalam waktu singkat atau dijaga pada keadaan diam [2]. Maka dari itu, diperlukan suatu teknik pengereman yang secara cepat. Metode pengereman dinamik bekerja dengan cara mengubah energi kinetik pada rotor menjadi panas sesaat setelah suplai motor

dilepas [3]. Metode ini umum diterapkan pada industri yang membutuhkan metode pengereman motor tanpa menyebabkan kerusakan mekanis.

Penjelasan mengenai pengereman dinamik bertingkat telah dibahas dengan baik pada penelitian sebelumnya [3], tetapi belum dianalisis secara rinci. Simulasi pengereman dinamik bertingkat juga telah dibahas pada penelitian sebelumnya [4], tetapi tidak membahas pengaruh beban elektrik terhadap waktu pengereman. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai perbandingan metode pengereman dinamik bertingkat dengan metode pengereman eksitasi sendiri kapasitor dan pengereman injeksi arus DC. Penelitian dilakukan dalam kondisi motor tanpa beban dan berbeban.



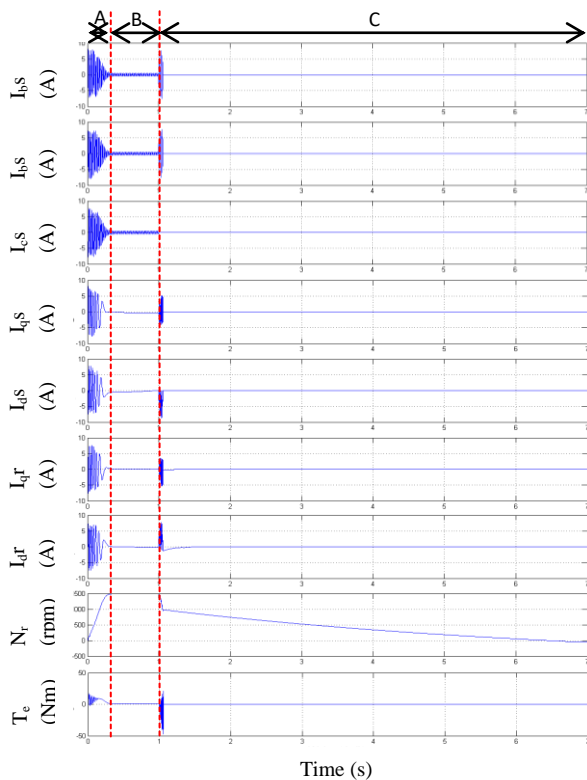
Gambar 1. Rangkaian Simulasi Metode Pengereman Dinamik Bertingkat

2. Metode

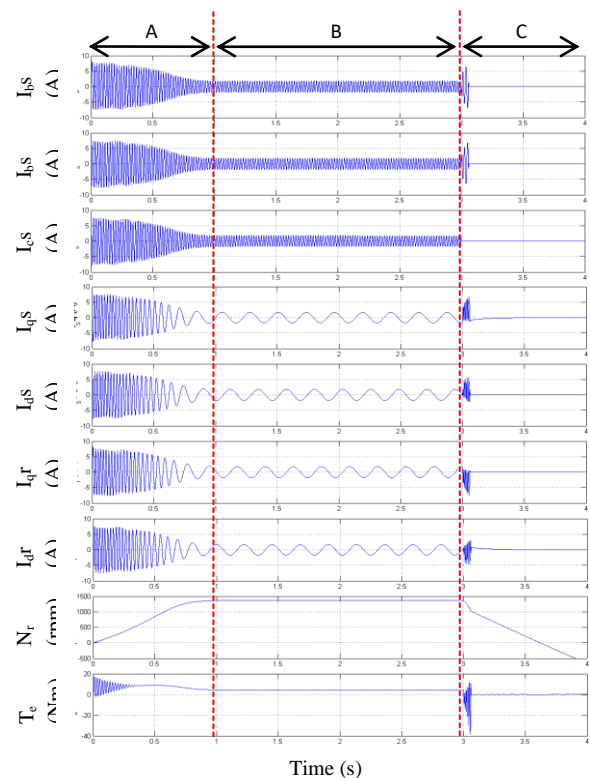
2.1. Simulasi

Simulasi telah dilakukan sebelumnya untuk merencanakan spesifikasi komponen untuk pembuatan perangkat keras. Software yang digunakan untuk keperluan simulasi adalah MATLAB R2008a/Simulink. Rangkaian pengujian pada simulasi terdiri dari *Asynchronous Machine*, *3-ph Voltage Source*, *DC Voltage Source*, *Capacitor*, *Magnetic Contactor and Timer* yang ditampilkan pada Gambar 1.

Hasil simulasi berupa arus stator dan rotor, kecepatan rotor dan torsi yang dibangkitkan motor terhadap waktu pada kondisi tanpa beban dan beban penuh ditampilkan dalam Gambar 2 hingga Gambar 7.



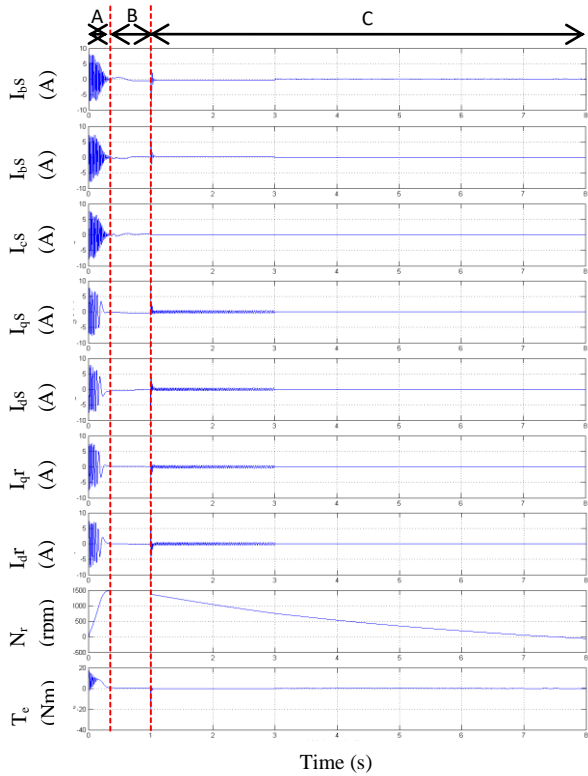
Gambar 2. Karakteristik Pengereman Eksitasi Sendiri Kapasitor 30nF Kondisi Tanpa Beban



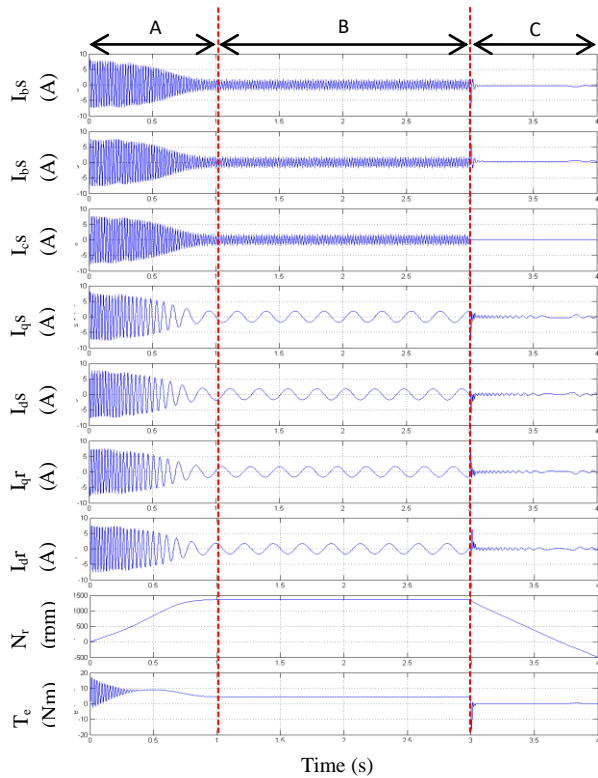
Gambar 3. Karakteristik Pengereman Eksitasi Sendiri Kapasitor 30nF Kondisi Beban Penuh 3,5 N.m

Gambar 2 hingga Gambar 7 terbagi dalam tiga zona. Zona A merupakan kondisi transient saat starting motor, Zona B merupakan kondisi steady state motor dan Zona C merupakan kondisi pengereman.

Hasil simulasi pengereman eksitasi sendiri kapasitor 30nF menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa beban, kecepatan putar rotor sebesar 1498 rpm. Motor membutuhkan waktu 6 detik setelah pengereman dilakukan untuk dapat berhenti sepenuhnya. Pada kondisi beban penuh 3,5 N.m, kecepatan putar rotor turun menjadi 1480 rpm. Motor membutuhkan waktu 0.6 detik setelah pengereman dilakukan untuk dapat berhenti sepenuhnya.

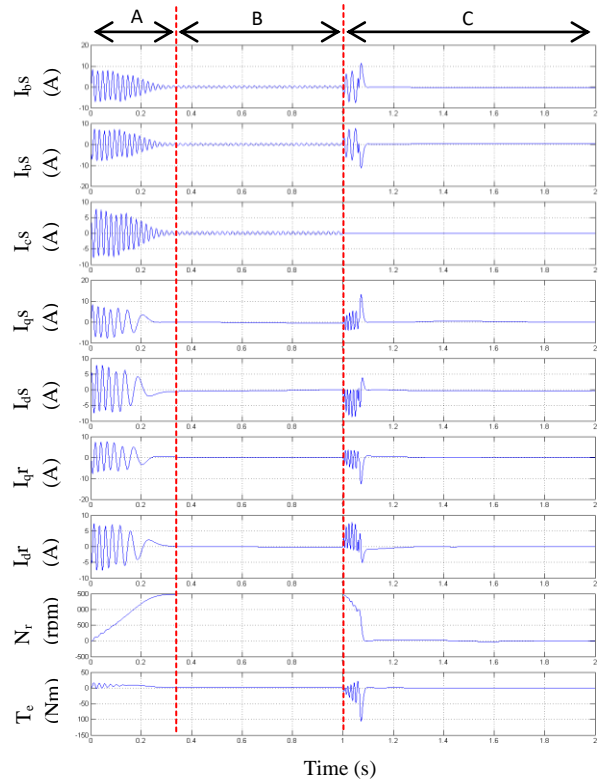


Gambar 4. Karakteristik Pengereman Injeksi Arus DC 0,38 A Kondisi Tanpa Beban

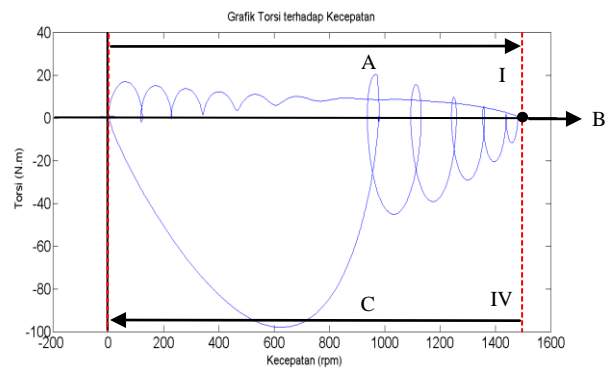


Gambar 5. Karakteristik Pengereman Injeksi Arus DC 0,38 A Kondisi Beban Penuh 3,5 N.m

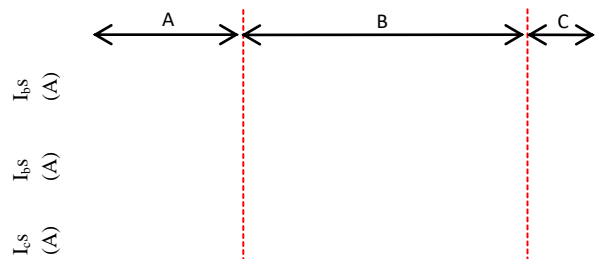
Hasil simulasi pengereman injeksi arus DC 0,38 A menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa beban, kecepatan putar rotor sebesar 1498 rpm. Motor membutuhkan waktu 7 detik setelah pengereman dilakukan untuk dapat berhenti sepenuhnya. Pada kondisi beban penuh 3,5 N.m, kecepatan putar rotor turun menjadi 1480 rpm. Motor membutuhkan waktu 0.7 detik setelah pengereman dilakukan untuk dapat berhenti sepenuhnya.

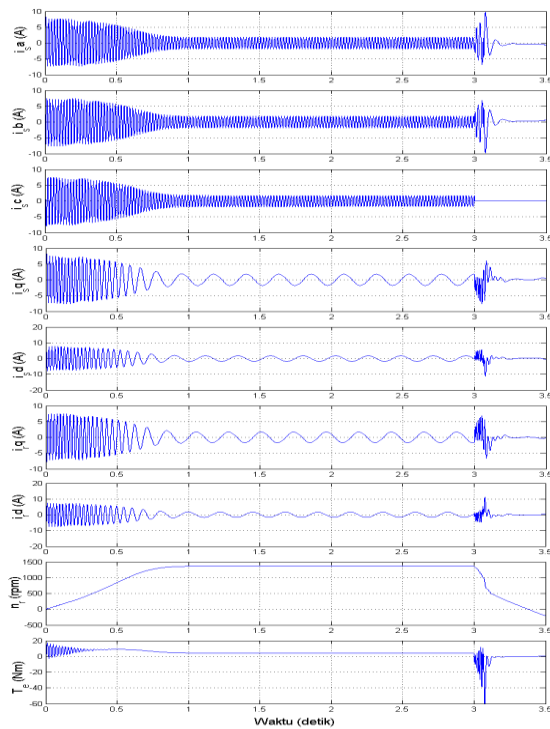


Gambar 6. Karakteristik Pengereman Dinamik Bertingkat Kondisi Tanpa Beban

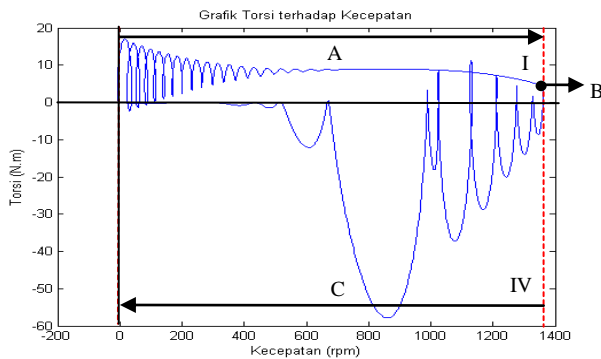


Gambar 7. Kurve Torsi Kecepatan Pengereman Dinamik Bertingkat Kondisi Tanpa Beban





Gambar 8. Karakteristik Pengereman Dinamik Bertingkat Kondisi Beban Penuh 3,5 N.m



Gambar 9. Kurve Torsi Kecepatan Pengereman Dinamik Bertingkat Kondisi Beban Penuh

Gambar 7 dan Gambar 9 terbagi dalam tiga zona dan dua kuadran. Zona A merupakan kondisi transient saat starting motor, Zona B merupakan kondisi steady state motor dan Zona C merupakan kondisi pengereman. Kuadran I merupakan kondisi *motoring*. Kuadran IV merupakan kondisi *braking*.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa beban, kecepatan putar rotor sebesar 1498 rpm. Motor membutuhkan waktu 0.8 detik setelah pengereman dilakukan untuk dapat berhenti sepenuhnya. Pada kondisi beban penuh 3,5 N.m, kecepatan putar rotor turun menjadi

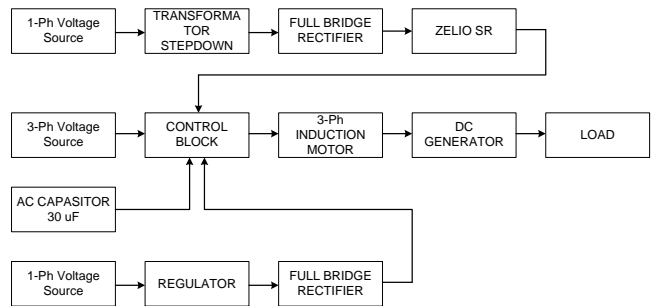
1480 rpm. Motor membutuhkan waktu 0.4 detik setelah pengereman dilakukan untuk dapat berhenti sepenuhnya.

Pengereman dinamik bertingkat dilakukan selama 5,01 detik sesaat setelah suplai motor dilepas dengan mengacu waktu pengereman paling efektif melalui hasil simulasi.

Hasil simulasi pada Gambar 2 hingga Gambar 9 digunakan sebagai rujukan perancangan realisasi perangkat keras. Kabel yang digunakan adalah tipe NYA 1,5 mm² dengan nilai KHA terus menerus 73 A [20]. MCB 3 fasa sebagai pengaman menggunakan spesifikasi 16 A merk Hager agar MCB tidak jatuh dikarenakan arus maksimal saat starting motor dan arus maksimal saat pengereman. Pengukuran kecepatan motor menggunakan tachometer digital merk Lutron DT-2235B dengan resolusi kecepatan 5 – 99,999 rpm. Pengukuran waktu henti motor menggunakan stopwatch dengan nilai pembacaan terkecil 0,2 detik.

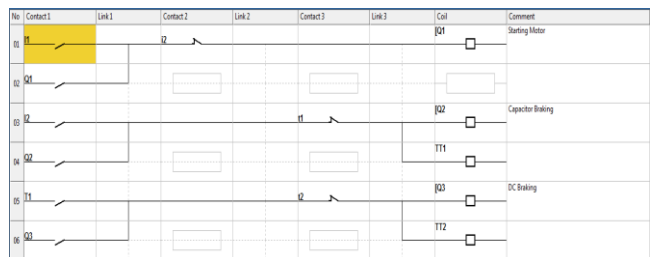
2.2. Perancangan Perangkat Keras

Hasil simulasi digunakan sebagai acuan untuk pemilihan spesifikasi komponen. Perangkat keras untuk blok rangkaian kendali dan blok rangkaian daya telah didisain untuk melakukan pengujian. Gambar 10 menunjukkan blok diagram perancangan perangkat keras.

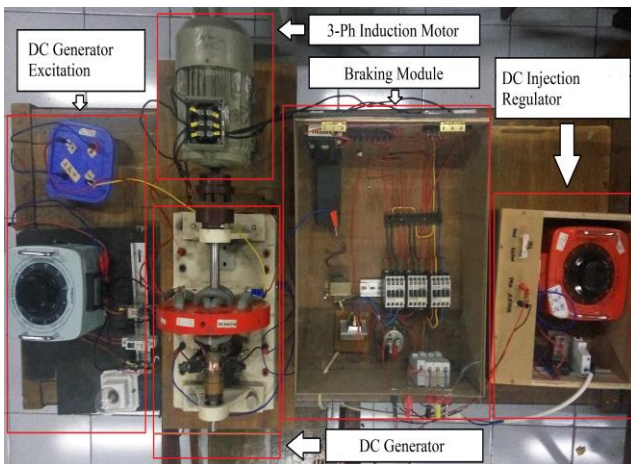


Gambar 10. Blok Diagram Perangkat Keras

Pengendalian metode pengereman menggunakan Telemecanique SR1 B121BD ZELIO SR. Smart Relay tersebut memiliki fungsi timer untuk mengatur waktu transisi pengereman dinamik bertingkat.



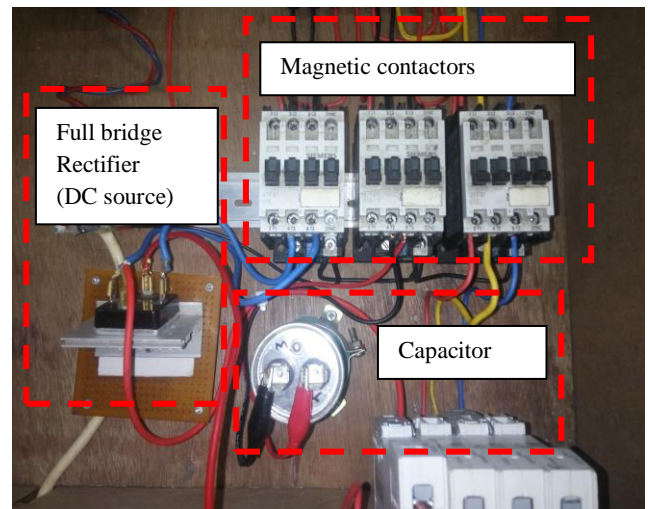
Gambar 11. Ladder diagram ZELIO SR untuk Pengujian Pengereman



Gambar 12. Perangkat Keras Pengujian Secara Keseluruhan

Pengereman tingkat pertama merupakan pengereman eksitasi sendiri kapasitor. Metode pengereman ini dilakukan selama 10 milidetik sesaat setelah suplai motor induksi dilepas. Metode pengereman ini efektif pada rentang kecepatan tinggi [3]. Rangkaian kendali pengujian ditampilkan pada Gambar 12.

Pengereman tingkat kedua merupakan pengereman injeksi arus DC. Metode pengereman ini dilakukan selama 5 detik sesaat setelah kapasitor dari pengereman sebelumnya dilepas. Metode pengereman ini efektif pada rentang kecepatan rendah [4]. Sisa putaran motor dari pengereman tingkat sebelumnya dapat dihentikan sepenuhnya dengan menggunakan arus DC rendah.

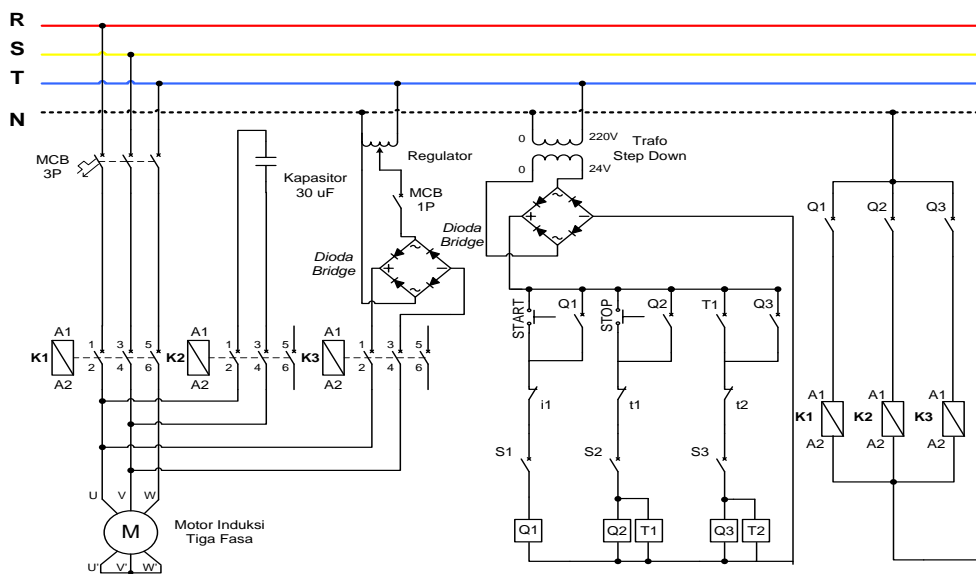


Gambar 14. Blok Kendali Pengereman Dinamik Bertingkat

3. Hasil dan Analisa

Pengujian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik dan Sistem Tenaga. Beban yang digunakan merupakan Generator DC yang dikopel secara mekanis. Generator DC digunakan untuk mensuplai beban lampu sein.

Motor induksi tiga fasa sangkar tupai yang digunakan memiliki spesifikasi : hubungan Y (wye), 1 HP (750 W), 400 V, 1498 RPM, 50 Hz. Motor tersebut merupakan motor induksi yang umum digunakan di laboratorium. Perbandingan hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 1.

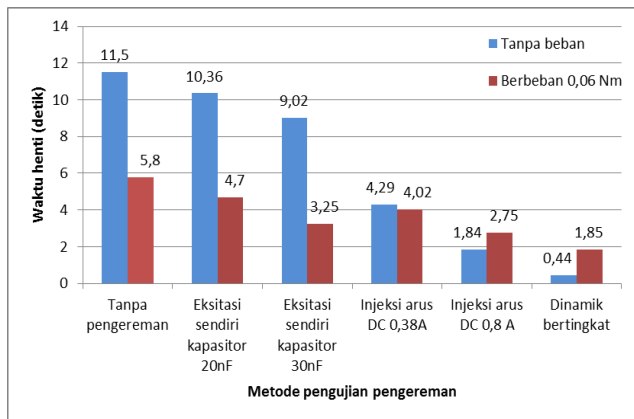


Gambar 13. Rangkaian Kendali Pengereman Dinamik Bertingkat

Tabel 1. Perbandingan Hasil Pengujian

| No | Metode pengujian | Tanpa beban | | | Berbeban 0,06 N.m | | |
|----|---------------------------------|--------------------|-------------|---------------------|--------------------|-------------|---------------------|
| | | Arus Kapasitor (A) | Arus DC (A) | Waktu henti (detik) | Arus Kapasitor (A) | Arus DC (A) | Waktu henti (detik) |
| 1 | Tanpa pengereman | - | - | 11,50 | - | - | 5,80 |
| 2 | Eksitasi sendiri kapasitor 20nF | 2,5 | - | 10,36 | 2,68 | - | 4,70 |
| 3 | Eksitasi sendiri kapasitor 30nF | 2,88 | - | 9,02 | 3,36 | - | 3,25 |
| 4 | Injeksi arus DC 0,38A | - | 0,38 | 4,29 | - | 0,38 | 4,02 |
| 5 | Injeksi arus DC 0,8A | - | 0,8 | 1,84 | - | 0,8 | 2,75 |
| 6 | Dinamik bertingkat | 3 | 0,38 | 0,44 | 3,36 | 0,38 | 1,85 |

Hasil pengujian pada Tabel 1 dapat ditampilkan dalam grafik. Gambar 8 merupakan grafik perbandingan hasil pengujian tanpa beban dan berbeban pada seluruh metode telah dilakukan pengujian.



Gambar 14. Grafik Perbandingan Hasil Pengujian

Gambar 14 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan waktu pengereman saat motor pada kondisi tanpa beban dan berbeban. Perbedaan tersebut dikarenakan oleh beberapa faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi adalah torsi beban (T_L), momen inersia (J) dan gaya gesek (β).

Beban lampu sein memiliki torsi beban listrik yang memiliki arah berlawanan dengan torsi yang dibangkitkan motor. Pembebanan motor menggunakan generator DC juga menyebabkan massa rotor bertambah. Hal ini menyebabkan nilai momen inersia keseluruhan mesin bertambah sesuai Persamaan 1 [5].

$$J = m \frac{D^2}{4} \quad (1)$$

dimana :

- J = Momen inersia (kg.m²)
- m = Massa rotor (Kg)
- D = Diameter rotor (m)

Hal tersebut secara teori akan menyebabkan waktu henti pengereman motor semakin lama. Beberapa data hasil pengujian menunjukkan bahwa pembebanan justru menyebabkan waktu henti pengereman motor semakin cepat. Hal tersebut disebabkan oleh pengaruh gaya gesek pada beban generator DC. Hubungan gaya gesek terhadap waktu henti pengereman motor dapat dilihat pada Persamaan 2 sampai Persamaan 5 [6].

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_d(t) - T_L(t) + \beta \quad (2)$$

$$dt = J \frac{d\omega}{T_d(t) - T_L(t) + \beta} \quad (3)$$

$$\Delta t = J \int_{\omega_0}^{\omega_1} \frac{d\omega}{T_d(t) - T_L(t) + \beta} \quad (4)$$

$$\Delta t = J \frac{\omega_1 - \omega_0}{T_d - T_L + \beta} \quad (5)$$

Persamaan 5 menunjukkan hubungan torsi beban dan gaya gesek terhadap lama waktu henti motor. Torsi beban yang makin besar mengakibatkan waktu henti motor semakin lama. Gaya gesek yang makin besar mengakibatkan waktu henti motor semakin singkat.

Metode pengereman dinamik bertingkat merupakan metode pengereman dengan waktu henti paling singkat. Perbedaan waktu henti tiap variasi metode pengereman kondisi tanpa beban lebih drastis dibandingkan dengan kondisi berbeban. Hal ini disebabkan oleh pengaruh momen inersia dan torsi beban.

Hasil pengujian seluruh metode pengereman kondisi berbeban memiliki tren yang hampir sama dengan kondisi tanpa beban. Pengujian pengereman kondisi berbeban metode eksitasi sendiri kapasitor 30 nF memiliki waktu henti lebih cepat dibandingkan dengan metode injeksi arus DC 0,38 A. Hal ini menunjukkan bahwa arus pengereman kondisi berbeban pada metode eksitasi kapasitor 30 nF memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai arus pengereman injeksi arus DC 0,38A.

4. Kesimpulan

Penelitian ini membahas mengenai metode pengereman dinamik untuk motor induksi tiga fasa. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk merancang modul pengereman dinamik bertingkat dan membandingkannya dengan metode pengereman dinamik tunggal lainnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengereman dinamik bertingkat dapat menghentikan putaran motor lebih cepat dibandingkan dengan metode pengereman dinamik tunggal. Pengereman dinamik bertingkat bekerja efektif ketika dikombinasikan dengan urutan yang benar. Metode pengereman dinamik bertingkat yang digunakan merupakan gabungan metode pengereman eksitasi sendiri kapasitor dan injeksi arus DC pengereman. Pengereman eksitasi sendiri kapasitor bekerja secara efektif pada kecepatan tinggi. Pengereman injeksi arus DC bekerja secara efektif pada kecepatan rendah.

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menggunakan PLC atau mikroprocessor. Pengaturan nilai arus eksitasi kapasitor dan injeksi DC dapat dikontrol menggunakan rangkaian elektronika daya

Referensi

- [1]. Wildi, Theodore. "Electrical Machines, Drives, and Power System", Prentice Hall Inc, New Jersey. 2002.
- [2]. Anantha, Mas. "Pengereman dinamik pada motor induksi tiga fasa", Transmisi, Vol 8, No. 1, Juni 2006.
- [3]. P. L. Rongmei, Shimi S. L, Dr. S. Chatterji, Vinod K. Sharma, "A Novel Fast Braking System for Induction Motor", International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 1, Issue 6, June 2012.
- [4]. Rishabh Singh, Umashankar. S, D. Vijaykumar, Kothari. D. P, "Dynamic braking of induction motor – Analysis of conventional methods and an efficient multistage braking model", Proceedings of 2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), Nagercoil, pp. 197-206, 10-12 April 2013.
- [5]. El-Sharkawi, Mohamed. "Fundamentals of Electric Drives", Brooks/Cole Publishing Company, United States of America, 2000.
- [6]. De, NK. Sen, PK. "Electrical drives", Eastern Economy edition.
- [7]. Chapman, Stephen J. "Electric Machinery Fundamentals", Second Edition Mc Graw Hill Companies, Singapore, 1991.
- [8]. Krause, Paul C. "Analysis of Electric Machinery and Drive Systems Third Edition" John Wiley & Sons., Hoboken, New Jersey, Canada, 2013.
- [9]. G.K. Dubey, "Fundamentals of Electric Drive", Narosa Publishing House, 1995.
- [10]. Zuhail, "Perinsip Dasar Elektroteknik", Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2004.
- [11]. Chilikin, M. "Electric Drive", Mir Publisher, Moscow, 1970.
- [12]. Pillai, S.K, "A First Course On Electrical Drives", Wiley Eastern Limited, New Delhi, 1982.
- [13]. Sen, P.C, "Principles of Electric Machines and Power Electronics", John Wiley & Sons, Inc. 1997.
- [14]. I.J, Nagrath, D.P, Kothari, "Electric Machines", Tata McGraw-Hill Publishing Co. Ltd., New Delhi, 1985.
- [15]. M.V, Deshpande, "Electric Motors: Applications And Control", A. H. Wheeler & Co.Ltd, India, 1990.
- [16]. Mexico City, Mexico, pp. 302-308, 7-9 September 2005.
- [17]. S. S. Murthy, and Gunnar J. Berg, Chandra S. Jha and A. K. Tandon, "A Novel Method of Multistage Dynamic Braking of Three-Phase Induction Motors", IEEE Transaction on Industry Application, Vol. 1A-20, No. 10, pp.328-334, April 2008.
- [18]. Prakoso, Isna Joko. "Perancangan Pengasutan Bintang – Segitiga dan Pengereman Dinamik pada Motor Induksi 3 Fasa dengan Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC)", Transmisi, Vol 14, No. 1, 2012.
- [19]. Pradipta, Muhammad Hami. "Pengereman Dinamis Konvensional pada Motor Induksi Tiga Fasa", Transient, Vol. 3, No. 4, Desember 2014.
- [20]. Handoko, Hanif Nika. "Pengendali Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Programable Logic Control (PLC) Untuk Pengolahan Kapuk", Transient, Vol. 3, No. 1, Maret 2014.
- [21]. Haryanto, Jagra Bagus, "Perancangan Automatic Main Failure dan Automatic Transfer Switch Dilengkapi Dengan 10 Kondisi Display Dan 4 Kondisi Backlighting Menggunakan Zelio Logic Smart Relay (SR)", Transient, Vol. 2, No. 3, September 2013.
- [22]. Elkholy, Mahmoud Mohamed. "Braking of Three Phase Induction Motors by Controlling Applied Voltage and Frequency Based on Particle Swarm Optimization Technique", International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS) Vol 5, No 4: 2015 page. 520-528. Publisher: Institute of Advanced Engineering and Science
- [23]. Peraturan Umum Instalasi Listrik 2000.