

Analisis Pengereman dinamik pada Motor Induksi 3 Fasa dengan metode Injeksi Arus Searah dan Kapasitor Eksitasi Sendiri Fuzzy C-Means Clustering

Ri Munarto¹, Bobby Rinaldi¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten.

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 11 April 2018

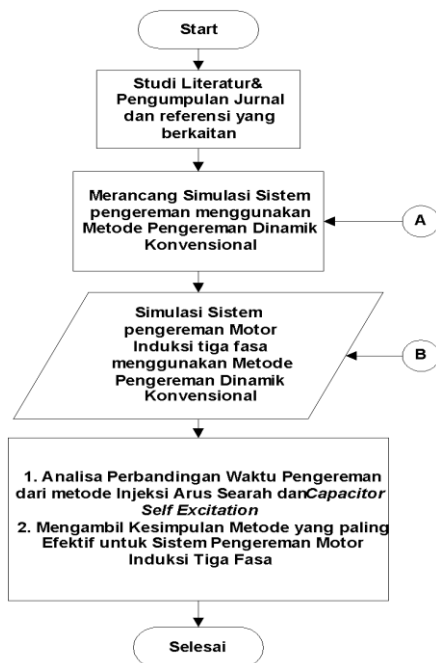
Direvisi : 20 Juni 2018

Disetujui : 24 Juni 2018

*Korespondensi Penulis :

veromatika@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

Induction motors are used in many industrial production processes because of their robustness, high reliability and efficiency, low cost, and good self starting. In a vast number of industrial applications and drives, a very important requirement is for motor to be able to be quickly stopped. This is also very necessary to save machine parts and prevent injuries to the people in the vicinity in case a fault occurs. This means that good braking techniques are needed which are able to efficiently remove the kinetic energy of the motor. From experiment using MATLAB Simulink R2014b with DC injection using 22 V and 110 V, found that 110 V DC inject have braking time 0.61 second without load and 0.46 second with load 4,29 N.m, beside that capacitor self excitation with capacitor 1000 μ F have braking time 29.16 second without load and 6.08 with load 4,29 N.m, so it can be found solution that DC inject the most effectif braking.

Key words: three phase induction motor, dynamic braking, DC inject, capacitor self-excitation.

Abstrak

Pada saat motor dihentikan, putaran motor tidak langsung berhenti karena masih ada sisa energi putar yang terdapat pada poros. Penghentian putaran motor induksi dipengaruhi beban yang dilayani, kecepatan putaran dan daya motor. Dua jenis pengereman dinamis yang sering digunakan adalah metode injeksi arus searah dan metode kapasitor eksitasi sendiri. Dari pengujian menggunakan Simulink Matlab diketahui bahwa metode pengereman dinamik injeksi arus searah pada motor induksi 3 fasa menggunakan tegangan 110 V DC dan 220 V DC, diperoleh pengereman dengan injeksi tegangan 110 V DC memiliki waktu pengereman lebih cepat yaitu 0,61 detik kondisi tanpa beban, dan 0,46 detik kondisi dengan beban 4,29 N.m, sedangkan metode pengereman kapasitor eksitasi sendiri menggunakan kapasitor 1000 μ F dan 2000 μ F, diperoleh waktu pengereman dengan kapasitor 1000 μ F memiliki waktu pengereman lebih cepat yaitu 29,16 detik tanpa beban dan 6,08 detik dengan beban 4,2 N.m, sehingga didapat kesimpulan pengereman dinamik dengan injeksi tegangan searah yang paling efektif.

Kata Kunci : Motor induksi tiga fasa, Pengereman dinamis, DC inject, capacitor self-excitation

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Penggunaan motor induksi di berbagai industri telah bertambah luas karena motor induksi bersifat kokoh, reliabilitas tinggi, efisiensi tinggi, ongkos perawatannya murah, dan kemampuan self startingnya bagus. Motor induksi digunakan pada industri untuk berbagai keperluan oleh peralatan industri, maka pengoperasian diatur dalam berbagai bentuk pengontrolan. Beberapa bentuk pengaturan yang sering dilakukan di industri antara lain pengasutan arus start, pengaturan dua arah, dan pengereman. Pengereman motor adalah salah satu parameter kontrol terpenting pada

penggunaan di industri. Penghentian sistem penggerak motor secara cepat dalam kondisi gangguan operasi dibutuhkan untuk menyelematkan bagian-bagian mesin dan personal operasi. Pada saat motor dihentikan, putaran motor tidak langsung berhenti karena masih ada sisa energi putar yang terdapat pada poros. Penghentian putaran motor induksi dipengaruhi beban yang dilayani, kecepatan putaran dan daya motor. Semakin besar beban motor, maka kemungkinan motor berhenti lebih cepat dibandingkan tanpa beban. Semakin cepat putaran motor maka kemungkinan berhenti lebih lama dibandingkan putaran lambat.

Semakin besar daya motor, maka kemungkinan berhenti semakin lama, karena torsi yang dihasilkan lebih besar[1]. Sistem pengereman motor listrik pada hakekatnya adalah suatu mekanisme untuk menghasilkan torsi lawan untuk menghentikan putaran motor dengan berhenti cepat atau lambat bergantung pada aplikasi dari sistem. Pengereman pada dasarnya penghilangan energi kinetik yang tersimpan dari bagian-bagian mekanik dari sistem. Penelitian pengembangan sistem pengereman motor induksi yang efektif dan efisien terus dilakukan. Sistem pengereman elektrik konvensional dapat dibagi sebagai pengereman regeneratif, plugging atau pengereman tegangan terbalik, dan pengereman dinamik. Pengereman dinamik dibagi lagi menjadi pengereman dinamik bolak-balik, pengereman eksitasi sendiri menggunakan kapasitor, pengereman dinamik arus searah, dan pengereman urutan nol [2].

Ketika rotor dari motor induksi diputar lebih lambat daripada kecepatan sinkron yang diset oleh daya output penggerak, motor tersebut akan mentransformasi energi elektrik yang diperoleh dari penggerak menjadi energi mekanik yang tersedia pada poros penggerak dari motor. Proses ini dinyatakan dengan “motoring”. Ketika rotor diputar lebih cepat daripada kecepatan sinkron oleh daya output penggerak, motor tersebut mentransformasi energi mekanik yang tersedia di poros dari motor menjadi energi elektrik yang dapat ditransfer balik ke jaringan utilitas. Proses ini dinyatakan dengan “regenerasi” atau mode “pengereman”. Sistem pengereman yang paling sesuai untuk proses tertentu bergantung pada berbagai faktor seperti penggunaan, kebutuhan energi dan biaya, kompleksitas rangkaian kontrol, keefektifan, dan reliabilitas. Pada penelitian ini, didesain sistem pengereman yang paling sesuai untuk aplikasi yang aman dari gangguan dari proses dengan kombinasi dua atau lebih teknik pengereman konvensional.

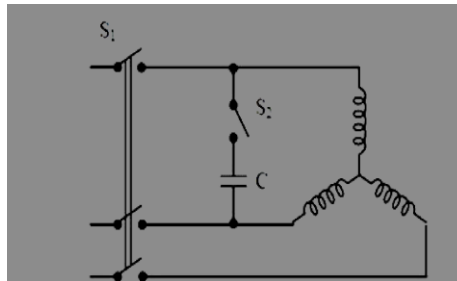
Pada pengereman dinamis, energi kinetik dari rotor didisipasikan pada resistor internal atau eksternal sebagai panas setelah dilepaskannya catu daya. Pengereman dinamik banyak digunakan di industri. Pada pengereman dinamis, dimungkinkan penghentian tiba-tiba motor listrik tanpa rugi-rugi dan keausan mekanik. Pada pengereman dinamik, stator tidak mendapatkan dari catu utama pada saat pengereman. Oleh karenanya rotor berputar kamagnetan sisa. Oleh karenanya, pada kebanyakan tipe motor, terdapat sumber fluks magnetik pada rotor. Ketika stator tidak mendapatkan catu daya dan rotor sedang berputar, fluks ini menginduksi tegangan pada stator. Dengan perkataan lain, motor bertindak sebagai generator dan energi kinetik rotor sekarang ditransfer ke stator sebagai energi elektrik.

Pengereman dinamik motor induksi tiga fasa didapat ketika motor dioperasikan pada catu daya satu fasa dengan melepas dari sumber daya dengan baik membiarkan terbuka atau menghubungkan dengan fasa lainnya. Saat dihubungkan ke catu daya tunggal, motor tersebut dapat dianggap diumpan oleh kumpulan tegangan tiga fasa urutan positif dan negatif. Torsi neto yang dihasilkan oleh mesin merupakan jumlah torsi yang disebabkan tegangan urutan positif dan negatif. Ketika rotor memiliki resistansi tinggi, torsi neto negatif dan operasi pengereman diperoleh.

Jika dimungkinkan disusun sistem yang mendisipasikan energi ini, pada kenyataannya dapat diturunkan pengereman dinamik. Pengereman dinamik menghasilkan pengereman yang halus dan tidak ada hentakan sehingga hampir tidak menimbulkan kerugian mekanis. Dalam pengereman dinamis, lama waktu pengereman ditentukan oleh nilai arus yang diinjeksikan pada kumparan stator dan kapasitas beban motor. Pada penelitian ini, akan diketahui besar arus searah yang diinjeksikan untuk dapat menghentikan putaran motor secara cepat dan aman.

Terdapat beberapa teknik pengereman, salah satunya adalah pengereman dinamik. Didalam sistem pengereman dinamis eksitasi sendiri, segera setelah motor induksi tiga fasa dilepaskan dari catu daya, rotor dari motor terus berputar karena inersia dari beban dan suatu gaya gerak listrik akan terinduksi pada kumparan stator, dengan mengasumsikan terdapat kemagnetan sisa pada rotor. Jika sebuah kapasitor dengan nilai yang sesuai terhubung sepanjang setiap dua dari terminal stator dengan terminal tiga tetap terbuka, eksitasi akan tetap dipertahankan oleh kapasitor terminal tetapi

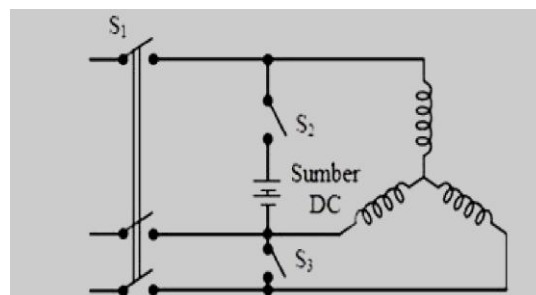
kejuhan magnetik membatasi gaya gerak listrik terinduksi. Gejala ini dikenal sebagai kapasitor eksitasi sendiri. Kapasitor akan menyimpan energi yang datang dari rangkaian magnetik rotor. Sekarang mesin akan bertindak sebagai generator. Tenaga listrik yang dibangkitkan akan didisipasikan pada tahanan yang ada dalam kumparan dan jadi pengereman dilaksanakan. Disini rotor merugi energi kinetiknya lebih cepat dan pengereman terjadi. Proses ini dikenal sebagai pengereman kapasitif apabila kapasitor digunakan dalam proses pengereman dan ditunjukkan dalam Gambar 1. 1. Untuk mesin tereksitasi sendiri, dibutuhkan nilai kapasitor minimum, dibawah mana tidak terjadi eksitasi. [3]



Gambar 1. Rangkaian pengereman dinamik konvensional kapasitor eksitasi sendiri

Pada pengereman injeksi arus searah, arus frekuensi nol diumpungkan ke kumparan stator, dihasilkan daya celah-udara nol. Motor induksi banyak fasa dapat menghasilkan torsi pengereman dengan menggantikan tegangan arus bolak balik pada kumparan stator dengan tegangan arus searah yang mana ditunjukkan dalam Gambar 2. Ketika tegangan arus searah dipengereman diperoleh ketika sumber arus searah dihubungkan diantara dua stator ketika sumber yang mencatu motor dilepas. Arus searah ini membentuk medan stasioner pada stator yang jumlah kutubnya sama dengan jumlah kutub dari motor, misal motor induksi 3-fasa 4 kutub, juga menghasilkan 4 kutub DC, walaupun hanya dua terminal motor yang dihubungkan dengan sumber arus searah [4].

Keunggulan dari pengereman dinamik dengan injeksi arus searah adalah menghasilkan panas yang jauh lebih kecil daripada pengereman plugging, dimana nilai dari panas hanya sejumlah energi kinetik yang terdapat pada rotor, tidak tiga kali lipat, selain itu pengereman dinamik injeksi arus searah efektif pada kecepatan rendah. Pada pengereman dinamik injeksi arus searah, semakin kecil arus searah yang digunakan akan semakin lama waktu pengereman, namun nilai arus searah dapat diperbesar sehingga akan mempercepat pengereman tanpa menghasilkan suhu yang terlalu tinggi pada stator. Ketika rotor bergerak melalui medan statis, maka tegangan AC akan terinduksi pada rotor, tegangan tersebut menghasilkan arus AC yang menyebabkan rugi rugi I^2R yang akan didisipasikan karena masih terdapat energi kinetik tersimpan pada rotor, motor akan berhenti ketika semua energi kinetik pada rotor sudah habis didisipasikan menjadi panas.



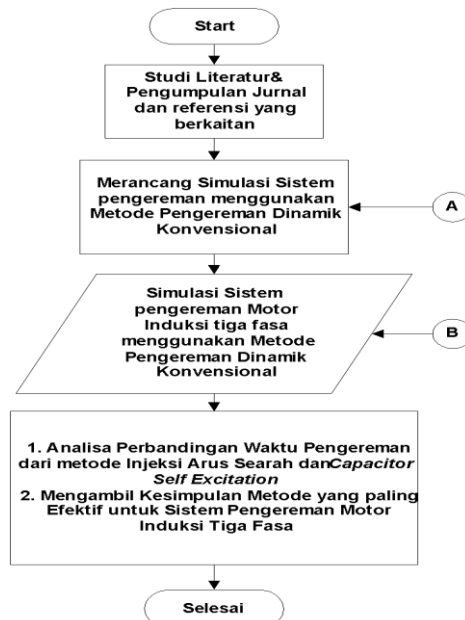
Gambar 3. Rangkaian pengereman injeksi arus searah

2. METODOLOGI PENELITIAN

Percobaan simulasi dilakukan secara terpisah pada pengereman dinamik metode kapasitor eksitasi sendiri dan injeksi arus searah. Simulasi menggunakan perangkat lunak Simulink Matlab R2014b. Setelah melakukan serangkaian percobaan pada masing-masing metode dengan merubah-beberapa parameter, data resultan ditabelkan dan grafik di plot untuk dianalisis data yang

diperoleh. Untuk semua percobaan simulasi, digunakan motor induksi sangkar tupai 3 fasa, 3 hp (2238 W), 415 V, 1500 rpm, 50 hz yang biasa terdapat di laboratorium.

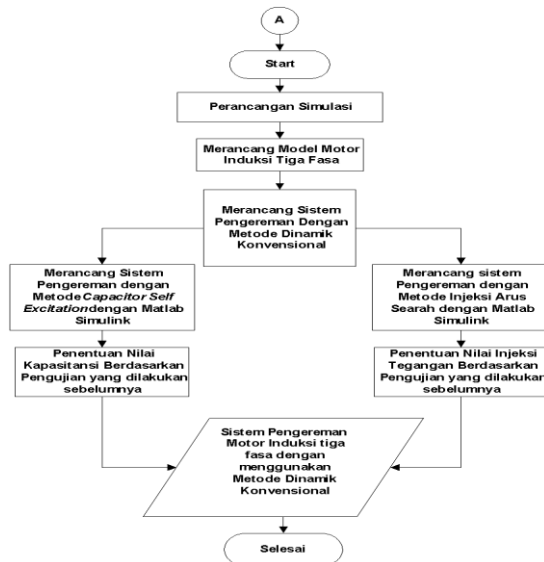
Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan sumber 3 fasa dengan tegangan tetap untuk setiap metode pengereman, motor yang digunakan adalah motor induksi 3 fasa jenis rotor sangkar bertenaga 3 hp dengan kecepatan maksimal. Dengan kondisi sumber dan motor yang sama nantinya diketahui perbedaan karakteristik pengereman dari hasil simulasi. Pertama, dilakukan pengujian tanpa pengereman, bertujuan untuk mengetahui motor berhenti dari kecepatan penuh, hingga berhenti agar dapat diketahui apakah dengan rangkaian pengereman dapat mempengaruhi lama motor berhenti.



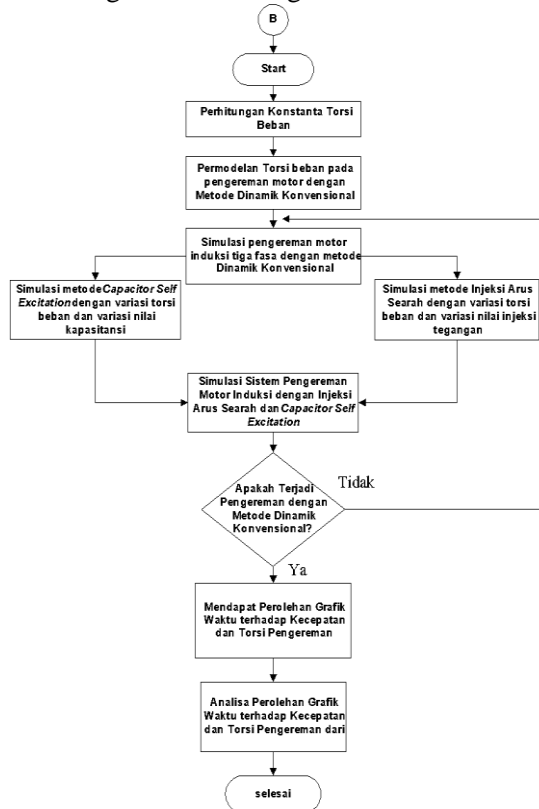
Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

I.1 Perancangan Simulasi

Perancangan simulasi sistem pengereman motor adalah hal yang pertama dilakukan sebelum data dan parameter dimasukkan. Tujuan percobaan kedua jenis pengereman dinamis adalah untuk menentukan metode pengereman mana diantara dua metode pengereman dinamik konvensional yaitu metode injeksi arus searah dan kapasitor eksitasi sendiri yang lebih efektif. Pemodelan motor induksi 3 fasa rotor sangkar, sistem pengereman dinamik konvensional injeksi arus searah dan kapasitor eksitasi sendiri dirancang dengan MATLAB Simulink R2014b. Nilai parameter injeksi tegangan arus searah pada pengereman injeksi arus searah dan nilai parameter kapasitor minimal pada pengereman kapasitor eksitasi sendiri ditentukan dengan cara try and error, juga kondisi beban diberikan. Selanjutnya ditampilkan grafik karakteristik pengereman kecepatan dan torsi terhadap waktu dari masing-masing metode pengereman dinamik injeksi arus searah dan metode kapasitor eksitasi sendiri tanpa dan dengan beban (3,29 N.m). Hasil keempat grafik masing-masing kecepatan dan torsi sebagai fungsi waktu dianalisis untuk memperoleh efektifitas kedua metode pengereman dinamik. Pengereman dinamik didapat ketika motor dioperasikan pada satu fasa dengan melepas satu fasa dari sumber dan baik membiarkan terbuka atau menghubungkan dengan fasa lainnya.



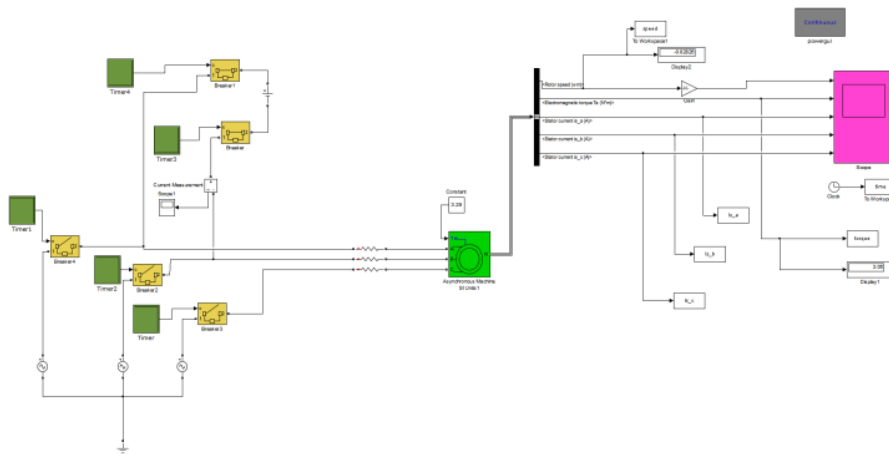
Gambar 5. Diagram Alir Perancangan Sistem Pengereman Dinamik Konvensional Motor Induksi



Gambar 6. Diagram Alir Sistem pengereman dinamik motor induksi pada masing-masing metode pengereman

2.2 Perancangan Sistem Pengereman injeksi arus searah

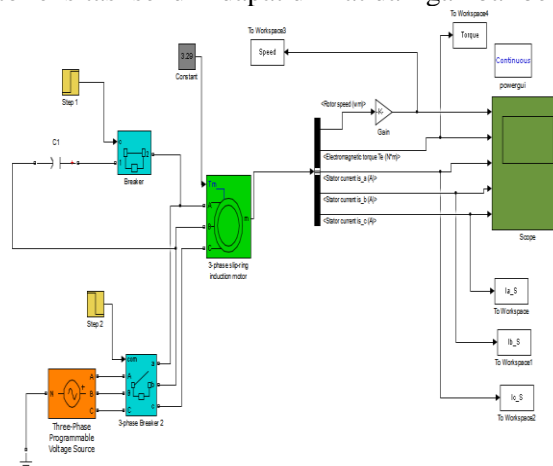
Injeksi arus searah pada sistem pengereman merupakan sumber tegangan arus searah seperti baterai yang terhubung pada masing-masing fasa motor induksi tiga fasa. Sistem pengereman dinamik konvensional injeksi arus searah diatur melalui pengaturan penyambungan (switching) *ideal switching* yang digunakan melalui pengesetan waktu Open dan Close pada *ideal switch*. Berikut rangkaian percobaan pada gambar 6 dibawah:



Gambar 7. Sistem pengereman dinamik konvensional injeksi arus searah

I.2 Perancangan Sistem Pengereman kapasitor eksitasi sendiri

Kapasitor eksitasi sendiri yang dirancang pada penelitian ini adalah terdiri dari kapasitor jenis polar dengan karakteristik memiliki kapasitansi yang besar. Pada perancangannya untuk sistem pengereman, Kapasitor dirancang dengan menghubungkannya pada terminal stator dalam konfigurasi delta. Pengereman dengan kapasitor eksitasi sendiri diatur dengan menggunakan fungsi step yang berfungsi sebagai saklar otomatis, sehingga pada saat motor berjalan, maka fungsi step akan mengaktifkan breaker yang sudah terhubung sehingga bekerja, memutus sumber arus bolak balik ke motor dan menghubungkan rangkaian kapasitor ke motor induksi tersebut. posisi pemasangan kapasitor pada rangkaian ini dilakukan secara paralel. Pemodelan rangkaian sistem pengereman motor kapasitor eksitasi sendiri dapat dilihat dari gambar berikut :



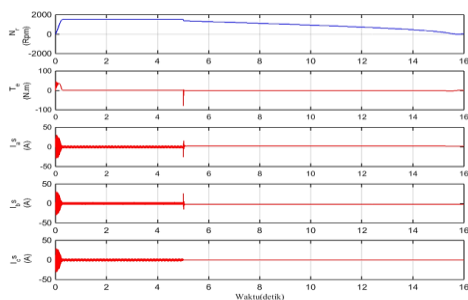
Gambar 8. Pemodelan sistem pengereman elektrik kapasitor eksitasi sendiri

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

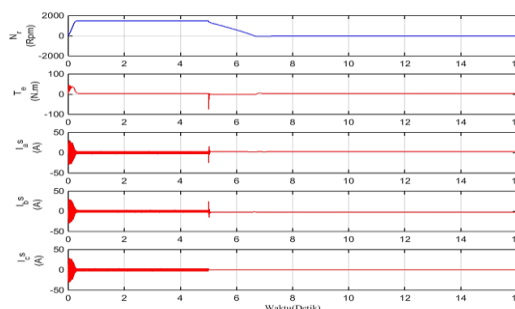
3.1 Simulasi Sistem Pengereman Motor Induksi dengan injeksi arus searah

Pengujian pengereman dinamik dengan injeksi arus searah bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan arus searah yang dihubungkan ke dua terminal dan untuk melakukan pengereman pada motor induksi 3 fasa sesaat setelah sumber 3 fasa dilepas dari motor. Sesaat setelah sumber dilepas maka motor induksi 3 fasa akan berhenti dari kondisi kecepatan penuh membutuhkan waktu rata-rata detik dengan arus searah yang digunakan ketika pengereman 0, A dan membutuhkan waktu rata-rata detik untuk berhenti dari kondisi kecepatan penuh dengan arus searah yang digunakan ketika pengereman. Kondisi awal sistem pengereman sebelum injeksi tegangan dilakukan terdiri dari 3 buah sumber AC 220 V, Timer, saklar ideal, torsi beban terhubung dan tanpa terhubung dengan masing-masing fasa dari motor induksi tiga fasa. Kemudian pada sistem pengereman injeksi arus searah, disimulasikan pemberian injeksi tegangan sebesar 22 V dan 110 V dengan kondisi tidak berbeban dan berbeban, dimana ketika pengereman diaktifkan, sumber dilepas

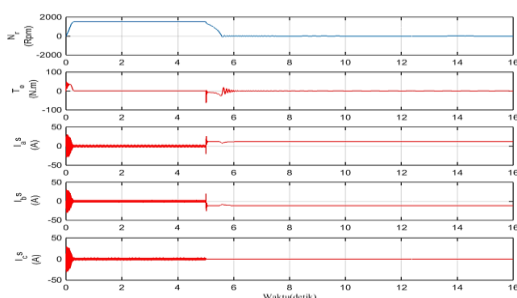
saat $t = 5$ detik. Grafik pengereman dinamik dengan injeksi tegangan 22 Volt dan 110 V dengan dan tanpa beban dapat ditunjukkan pada Gambar 9 sampai Gambar 12.



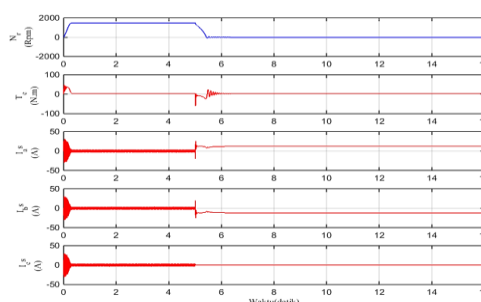
Gambar 9. Karakteristik pengereman dinamik motor induksi dengan injeksi tegangan 22 Volt kondisi tanpa beban



Gambar 10. Karakteristik pengereman dinamik motor induksi dengan injeksi tegangan 22 Volt kondisi beban 3,29 N.m



Gambar 11 Karakteristik pengereman motor induksi dengan Injeksi tegangan 110 Volt kondisi tanpa beban



Gambar 12. Grafik pengereman motor induksi dengan injeksi tegangan 110 Volt kondisi beban 3,29 Volt

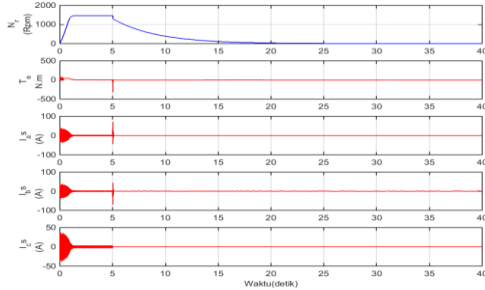
Tabel 3.1 Tabel data Pengereman injeksi arus searah

Metode Pengereman	Besar Injeksi tegangan (V)	Waktu Pengereman(detik)	Torsi Pengereman(N.m)
DC Inject (no Load)	22	10,75	0,63 N.m
DC Inject (Load) 3,29 N.m	22	1,75	4,63 N.m
DC Inject (no Load)	110	0,61	18,76 N.m
DC Inject (Load) 3,29 N.m	110	0,46	24,56 N.m

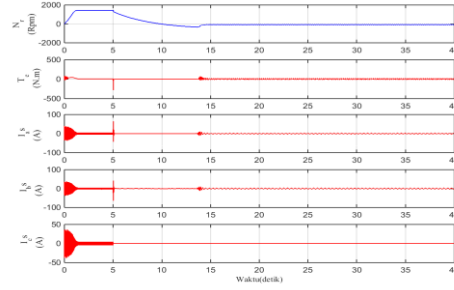
Dari Gambar 9 sampai Gambar 12 dan Tabel 3.1 dapat ditunjukkan dimana pada saat pengereman dioperasikan pada detik ke 5, hingga motor berhenti berputar, untuk injeksi tegangan 22 Volt kondisi tanpa beban motor berhenti pada detik ke 16 atau lama pengereman 10,75 detik, dan kondisi berbeban 3,29 N.m motor berhenti pada detik ke 6,3 atau lama pengereman 1,75 detik. Pada pengereman dinamik injeksi tegangan 110 Volt tanpa beban motor akan berhenti pada detik ke 6 atau lama pengereman 0,61 detik, torsi beban 18,76 N.m, sedang kondisi berbeban 3,29 detik motor akan berhenti pada detik kurang dari 6 atau lama pengereman kurang dari 0,46 detik, torsi beban 24,56 N.m. Dari Gambar 3.1 sampai Gambar 3.4 dan Tabel 3.1, dapat disimpulkan penambahan tegangan injeksi sampai tegangan 110 volt pengereman terjadi efektif baik tanpa atau dengan beban. Penggunaan beban akan menyebabkan lama pengereman akan berkurang. Pada injeksi tegangan 22 Volt, terjadi kenaikan torsi dari 0,63 N.m menjadi 4,63 N.m, dan pada injeksi tegangan 110 Volt terjadi kenaikan torsi dari 18,76 N.m menjadi 24,56 N.m.

1.1 Simulasi Sistem Pengereman Motor Induksi dengan kapasitor eksitasi sendiri

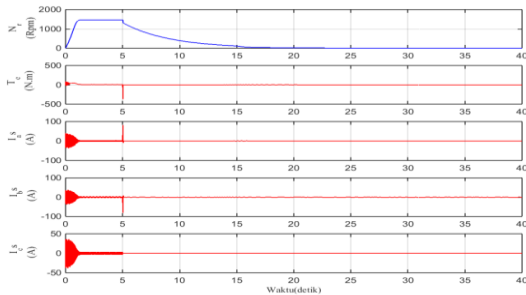
Metode ini memanfaatkan eksitasi komponen kapasitor yang digunakan dalam suatu sistem pengereman dinamik. Kapasitor yang digunakan untuk menyimpan energi yang terbentuk dari perputaran rotor. Prinsip kerjanya menggunakan tegangan yang tersimpan untuk diinduksikan ke stator. Pada simulasi pengujian pengereman dinamik kapasitor eksitasi sendiri pada motor induksi saat sumber dilepas, setelah detik ke 5, motor bergerak melambat dan berhenti pada detik ke , jadi waktu pengereman yang dibutuhkan oleh motor untuk berhenti dari kecepatan penuh yaitu detik pada simulasi menggunakan Simulink Matlab.



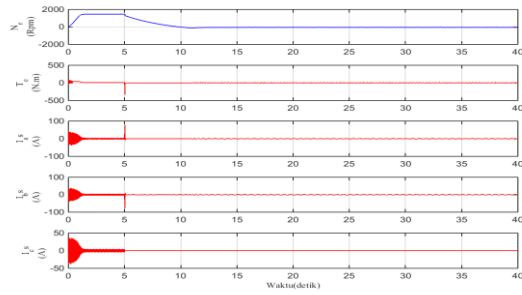
Gambar 13. Karakteristik pengereman dinamik motor induksi kapasitor ekistasi sendiri 1000 µF tanpa beban



Gambar 14. Karakteristik pengereman dinamik motor induksi kapasitor eksitasi sendiri 1000 µF beban 3,29N



Gambar 15. Karakteristik pengereman dinamik motor induksi kapasitor eksitasi sendiri 2500 µF tanpa beban



Gambar 16. Karakteristik pengereman dinamik motor induksi kapasitor eksitasi sendiri 2500 µF beban 3,29N

Hasil simulasi pengereman dengan kapasitor eksitasi sendiri dengan nilai kapasitor 1000 µF dan 2500 µF menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa beban, kenaikan torsi sebesar 12,29 N.m dan 15,20 N.m. dibutuhkan waktu berhenti selama 29,16 detik dan 6,08 detik.. Pada kondisi beban 3,29 N.m, kenaikan torsi sebesar 17,65 N.m dan 21,78 N.m, motor membutuhkan waktu waktu 6,08 detik dan 8,69 detik setelah pengereman dilakukan untuk dapat berhenti sepenuhnya.

Tabel 3.1 Data hasil Pengereman Kapasitor Eksitasi Sendiri

Metode Pengereman	Besar Kapasitansi (F)	Waktu Pengereman(detik)	Torsi Pengereman(N.m)
Capacitor Self Excitation (no Load)	1000 µF	29,16	12,29 N.m
Capacitor Self Excitation (Load) 6,59 N.m	1000 µF	6,08	17,65 N.m
Capacitor Self Excitation (no Load)	2500 µF	30,17	15,20 N.m
Capacitor Self Excitation (Load) 6,59 N.m	2500 µF	6,19	21,78 N.m

Dari simulasi dengan Simulink Matlab, penggunaan dua metode pengereman dinamik kapasitor eksitasi sendiri dan injeksi arus searah dapat diketahui perbedaan karakteristik pengereman pada motor induksi 3 fasa 3 hp sebagai berikut. Dari grafik pada Gambar 3.1 sampai Gambar 3.4 dapat ditunjukkan bahwa pengereman dengan injeksi arus searah pada motor induksi memiliki



waktu pengereman paling cepat detik. Semakin besar arus searah yang digunakan maka semakin cepat waktu pengereman yang dibutuhkan. Pada pengereman dinamik kapasitor eksitasi sendiri yang ditunjukkan dari Gambar 3.5 sampai Gambar 3.8 dibutuhkan waktu lebih lama. Berdasarkan hasil dan analisis yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut. Pada metode kapasitor eksitasi sendiri, hanya nilai-nilai kapasitor tertentu yang dapat digunakan.

Pada metode injeksi arus searah, dibutuhkan sumber arus searah untuk melakukan pengereman. Semakin besar nilai arus searah yang digunakan semakin cepat motor berhenti. Dari grafik rpm motor terhadap waktu dan torsi elektromagnetik terhadap waktu, pada kasus tanpa beban dan dengan torsi beban menunjukkan variasi waktu pengereman total untuk kondisi torsi beban berbeda.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan pembahasan simulasi penelitian yang telah dilakukan, diperoleh simpulan sebagai berikut :

1. Pada metode pengereman dinamik konvensional injeksi arus searah, semakin besar nilai arus searah yang digunakan maka semakin cepat motor akan berhenti. Pada kasus dengan dan tanpa beban ditunjukkan variasi waktu pengereman, motor akan semakin cepat berhenti saat diberikan beban.
2. Pada metode pengereman dinamik konvensional kapasitor eksitasi sendiri, hanya nilai-nilai kapasitor tertentu yang dapat digunakan.
3. Penggunaan pengereman dinamik dengan injeksi arus searah dan kapasitor eksitasi sendiri menghasilkan lama waktu pengereman dengan injeksi arus searah tegangan 22 volt dan 110 volt diperlukan waktu pengereman 1,75 detik dan 0,46 detik pada kondisi berbeban, sedangkan kapasitor eksitasi sendiri dengan nilai kapasitor 1000 μF dan 2500 μF memerlukan waktu pengereman 6,08 detik dan 8,69 detik pada kondisi berbeban, sehingga dapat disimpulkan semakin besar injeksi arus searah dan semakin besar kapasitor yang diberikan akan semakin cepat waktu pengeremannya. Dari hasil simulasi pengereman dinamik motor induksi dengan injeksi arus searah lebih efektif dibandingkan dengan kapasitor eksitasi sendiri, karena waktu pengereman yang didapat lebih cepat.

4.2 Saran

Metode konvensional memiliki kekurangan dimana hanya efektif pada daerah kecepatan tertentu. Sehingga, untuk daerah kecepatan lainnya, maka pengeremannya makin lambat. Hal ini akan menurunkan efisiensi proses pengereman. Permasalahan ini dapat diatasi dengan pendekatan multistage, dengan menggunakan metode pengereman konvensional banyak masing-masing pada daerah kecepatan dimana masing-masing paling efektif. Setiap metode diaktifkan hanya pada daerah kecepatan tertentu dimana yang paling efektif. Jika kecepatan melampaui daerah ini, teknik pengereman berikutnya, yang sekarang lebih efektif, diaktifkan setelah mematikan yang sebelumnya. Efisiensi dan kinerja secara sistem pengereman secara keseluruhan akan ditingkatkan dan waktu pengereman sangat berkurang dibandingkan dengan waktu yang diberikan oleh masing-masing metode pengereman konvensional.

REFERENSI

- [1] Rishabh Singh, Umashankar. S, D. Vijaykumar. “*Dynamic braking of induction motor – Analysis of conventional methods and an efficient multistage braking model*”. VIT University, Vellore, India. 2013
- [2] P.L. Rongmei, Shimi S.L, Dr. S. Chatterji, Vinood K. Sharma “*A Novel fast braking systems for Induction Motor*”, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 1, Issue 6, June 2012
- [3] Wildi, Theodore. “*Electrical Machine, Drives, and Power Systems*”, Prentice Hall Inc, New Jersey. 2002
- [4] Pradipta, Muhammad Hami. “*Pengereman Dinamis Konvensional Pada Motor Induksi Tiga Fasa*” Laporan tugas akhir, Universitas Diponegoro. 2013.
- [5] Zuhal, 1991, “*Dasar Tenaga Listrik*”, Bandung: Institut Teknologi Bandung

- [6] Arindya, Radita, S.T., M.T, 2013, “Penggunaan dan Pengaturan Motor Listrik”, Yogyakarta: Universitas Indonesia
- [7] Say M G. “Alternating Current Machines”. Great Britain. 1976
- [8] Sreenivasa s. Muthy, gunnar j. berg, Chandra s. jha, ajay k. Tandon “ *A Novel Method of Multistage Dynamic Braking of Three-Phase Induction Motors*”. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. ia-20. 1984

