

PENGEREMAN DINAMIS KONVENSIONAL PADA MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Muhamad Hami Pradipta^{*)}, Tedjo Sukmadi, and Mochammad Facta

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)} *Email: hami.pradipta@gmail.com*

Abstrak

Motor Induksi tiga fasa adalah motor yang banyak digunakan pada industri untuk melakukan proses produksi, hal tersebut karena motor induksi memiliki banyak keuntungan yaitu harga relatif murah, perawatan mudah serta penggunaan yang sederhana. Dalam pengereman salah satu yang perlu diperhatikan adalah ketepatan dan kecepatan pengereman untuk membantu proses produksi. Dalam melakukan pengereman terdapat dua macam cara yaitu secara mekanis dan secara elektrik. Pengereman secara mekanis yaitu pengereman dengan menggunakan rem fisik untuk menghentikan putaran rotor sedangkan pengereman secara elektrik pengereman dilakukan dengan berbagai macam cara, dalam tugas akhir ini pengereman elektrik metoda pengereman dinamis dilakukan dengan cara membuat medan statis dengan menggunakan metoda DC inject dan Zero sequence braking, membuat medan yang arahnya berlawanan berdasarkan hukum lenz dengan menggunakan metoda pengereman magnetis, dan menyerap medan putar sisa dengan menggunakan metoda pengereman capacitor self-excitation. Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa metoda pengereman DC inject dengan menggunakan tegangan 10,1 V mempunyai waktu pengereman yang paling cepat yaitu 2,58 detik, sedangkan metodapengereman capacitor self excitation dengan menggunakan kapasitor 25uF memiliki waktu pengereman yang paling lama yaitu 7,94 detik, sedangkan untuk metoda pengereman magnetis memiliki waktu pengereman 7,09 detik dan metoda pengereman zero sequence dengan menggunakan tegangan 15,01 V memiliki waktu pengereman 5,03 detik

Kata kunci : motor induksi tiga fasa, pengereman dinamis.

Abstract

Three-phase induction motors are widely used in industry for the production process because it has many advantages In using of the induction motor, one thing to note is that the precision braking and braking speed is needed for production process . There are two ways of braking and those are mechanical and electrical braking. Mechanical braking is carried out by using physical brake to block the rotation of the rotor while braking electrically is done in various ways. Dynamic braking method is carried out by making a static field from DC inject and Zero sequence braking. Another method is implemented by making opposite direction field for magnetic braking based on lenz law, and the last metode is applied by absorb the rest of the field by using capacitor self - excitation braking method. The test results is DC braking inject method at 10,1 V has the most rapid braking in duration of 2.58 seconds , while the capacitor capacitor self excitation method using 25uF capacitor has the longest braking time in duration of 7.94 seconds. Magnetic braking method has braking time 7.09 seconds and zero sequence braking method with a voltage of 15,01 has a braking time 5.03 seconds

key word : three phase induction motor, dynamic braking.

1. Pendahuluan

Pada dunia industri penggunaan motor induksi tiga fasa semakin banyak digunakan karena penggunaan yang mudah, ketahanan yang tinggi, keandalan yang tinggi, efisiensi tinggi, biaya perawatan murah dan dapat melakukan *self-starting* dengan baik. Pada penggunaan dalam industri salah satu parameter kontrol yang

terpenting adalah pengereman. Dimana pengereman sangat dibutuhkan ketika sistem yang sudah dibuat harus melakukan proses berhenti, baik ketika operasi alat sudah selesai digunakan maupun ketika terjadi kesalahan pada sistem untuk mengamankan peralatan yang sedang bekerja. Pada dasarnya, sistem pengereman secara elektris adalah mekanisme membuat torsi perlambatan untuk menghentikan motor baik secara langsung maupun

perlahan-lahan, tergantung dari kebutuhan sistem. Dengan kata lain pengereman adalah penghilangan energi kinetik yang bekerja pada motor. Pada pengembangannya sudah banyak dilakukan penelitian tentang pengereman untuk membuat sistem pengereman yang lebih efektif. Pada dasarnya sistem pengereman dapat dibagi menjadi dua macam[2] yaitu,

1. Pengereman mekanis
2. Pengereman elektrik

Dimana pengereman secara elektrik dapat dibagi menjadi :

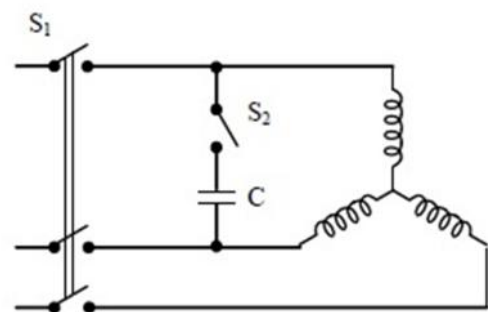
1. Pengereman regeneratif
2. Plugging
3. Pengereman dinamis
 - a. *Capacitor self-excitation braking*
 - b. *DC Inject braking*
 - c. *Zero sequence braking*
 - d. *Magnetic braking*

Ketika Rotor dari motor induksi bergerak lebih lambat daripada kecepatan sinkron yang terbentuk dari medan putar maka dalam keadaan ini motor induksi mengubah energi elektrik yang diperoleh dari sumber menjadi energi mekanis, Dalam kondisi ini mesin bergerak menjadi motor. Sedangkan ketika rotor bergerak lebih cepat daripada kecepatan sinkron yang terbentuk dari medan putar maka dalam keadaan ini motor induksi mengubah energi mekanis menjadi energi elektrik yang diperoleh dari sumber. Dalam keadaan ini motor induksi bekerja sebagai generator, dalam melakukan proses pengereman.

Pengereman dinamis adalah proses dimana energi kinetik dari motor didisipasikan ke internal atau eksternal resistor menjadi panas setelah motor diputus dari sumbernya. Pengereman dinamis (pengereman secara elektrik) banyak digunakan pada industri dimana pengereman dilakukan tanpa menggunakan rem mekanis dan tidak terjadi rugi rugi mekanis. Pada pengereman dinamis, stator tidak di catu daya ketika dilakukan pengereman. Meskipun tidak dilakukan catu daya, motor tetap berputar karena terdapat inersia dan terdapat medan sisa yang masih bekerja. Ketika stator tidak memiliki catu daya terdapat medan sisa dapat dimanfaatkan untuk membuat medan yang berlawanan arah, ataupun dapat diserap dengan menggunakan kapasitor, selain itu pengereman juga dapat dibuat dengan menambahkan medan statis dengan masukan DC, Teknik tersebut dinamakan teknik pengereman dinamis. Pengereman dinamis memiliki berbagai macam metoda, yaitu *Capacitor Self Excitation*, *Magnetic Braking*, *DC Injection Braking*, dan *Zero Sequence Braking*^[2].

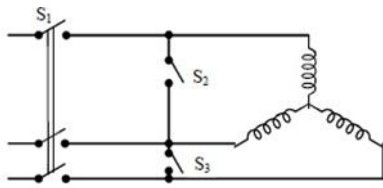
Dalam Pengereman dinamis metoda *Capacitor self-excitation*, Pengereman diperoleh ketika sumber yang mencatu motor dilepas dan rotor masih bergerak karena terdapat momen inersia dari motor yang membuat motor tidak dapat berhenti seketika. Ketika rotor bergerak tanpa catu daya di stator, *electrical magnetic force* akan

diinduksikan ke stator karena saat ini motor bekerja sebagai generator. Eksitasi diperoleh ketika saturasi magnetis membatasi *electrical magnetic force* yang diinduksikan ke stator, apabila kapasitor yang nilainya sesuai dihubungkan diantara dua terminal stator dan satu terminal stator dibiarkan terbuka, maka *capacitor self-excitation* diperoleh dan akan membuat pengereman lebih cepat karena kapasitor akan menyimpan energi yang terbentuk dari rotor. Pengereman hanya dapat terjadi ketika rotor dalam keadaan bergerak, sedangkan ketika rotor diam, pada motor tidak terdapat torsi pengereman. Berikut adalah gambar rangkaian dari *braking Capacitor self-excitation*^[1].



Gambar 1.1 Rangkaian *Capacitor self excitation*

Dalam metoda Pengereman *Magnetic Braking*, Pengereman diperoleh ketika dua atau tiga terminal dihubung singkat sesaat setelah sumber AC dilepas dari motor, Penggunaan *magnetic braking* juga dinilai lebih aman dalam proses operasi karena pengereman ini tidak membutuhkan input energi dari luar (AC atau DC) karena satu satunya yang bekerja pada pengereman ini berasal dari energi yang dikeluarkan oleh rotor yang berputar karena energi kinetik, sehingga pada pengereman ini panas yang dihasilkan lebih kecil[1]. *magnetic braking* bekerja karena adanya arus induksi dan hukum Lenz dimana hukum lenz berbunyi “Arus induksi mengalir pada penghantar atau kumparan dengan arah berlawanan dengan gerakan yang menghasilkannya” atau “medan magnet yang ditimbulkannya melawan perubahan fluks magnet yang menimbulkannya”. Ketika terdapat medan putar sisa setelah catu daya dilepas, medan sisa mengenai rangkaian tertutup yang nantinya akan membuat medan yang arahnya berlawanan. Hal tersebut membuat kecepatan rotor berkurang karena dilawan oleh medan magnet yang terbentuk. Pengereman hanya dapat terjadi ketika rotor dalam keadaan bergerak, sedangkan ketika rotor diam, pada motor tidak terdapat torsi pengereman. Efektifitas *magnetic braking* dipengaruhi oleh saturasi magnetis dari bahan konduktor stator. Dalam operasinya berikut adalah gambar rangkaian dari pengereman magnetis :

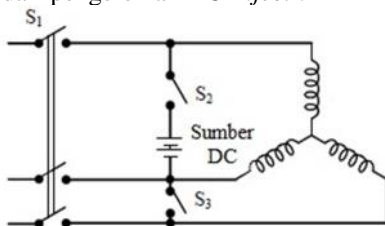


Gambar 1.2 Rangkaian Magnetic Braking

Dalam pengereman *DC Inject*, pengereman 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 DC^[1].

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 benda yang bergerak (rotor), motor akan berhenti bergerak ketika semua energi kinetik pada rotor sudah habis didisipasikan menjadi panas.

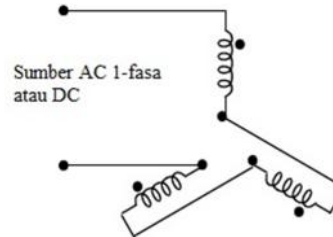
Keunggulan dari pengereman dengan *DC Inject* adalah menghasilkan panas yang jauh lebih kecil daripada pengereman *plugging*, dimana nilai dari panas hanya sejumlah energi kinetik yang terdapat pada rotor, tidak tiga kali lipatnya, selain itu *DC Inject* efektif pada kecepatan rendah. Pada pengereman *DC Inject* semakin kecil arus DC yang dipakai semakin lama waktu pengereman, namun nilai arus DC dapat diperbesar yang mempercepat pengereman tanpa menghasilkan suhu yang terlalu tinggi pada stator. Berikut adalah gambar rangkaian dari pengereman *DC Inject* :



Gambar 1.3 Rangkaian DC Injection Braking Zero Sequence Braking

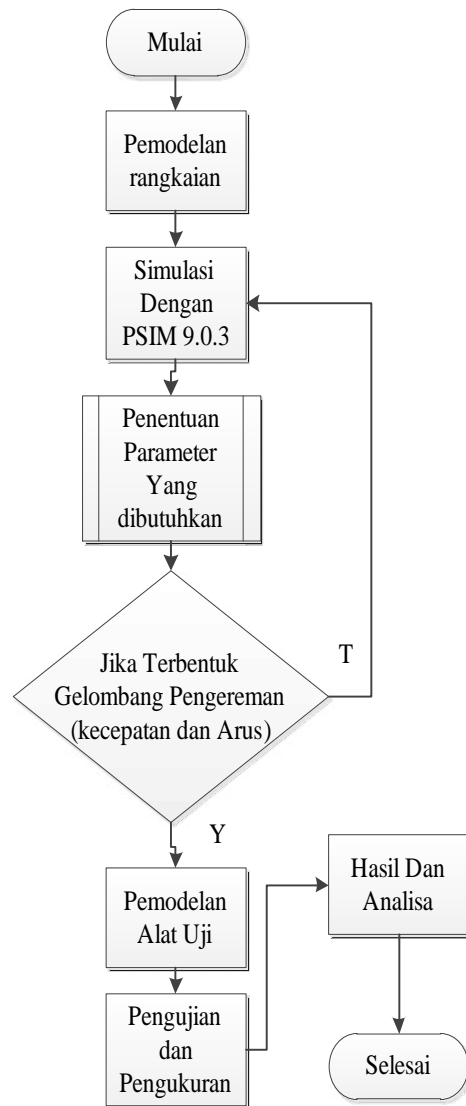
Pada pengereman *Zero Sequence Braking*, pengereman diperoleh ketika ketiga terminal stator dihubungkan secara seri lalu dicatu dengan arus AC atau DC. Arus AC atau DC akan menghasilkan medan statis dalam gulungan stator yang nantinya akan melawan rotasi rotor yang masih bergerak. Pengereman ini disebut *zero sequence* karena arus yang mengalir pada stator ketika pengereman memiliki sudut fasa yang sama (*co-fasal*). Medan yang terbentuk akibat adanya arus pada *zero sequence braking* ini memiliki kutub yang jumlahnya tiga kali lipat dari

jumlah kutub mesin yang sebenarnya. Pengereman dinamis dengan *Zero-sequence* tidak dapat mengubah energi kinetik rotor menjadi energi listrik yang dapat dipakai kembali tidak seperti pengereman *DC Inject* biasa. Berikut adalah gambar rangkaian dari pengereman dinamis *Zero-sequence* :



Gambar 1.4 Rangkaian Zero Sequence Braking

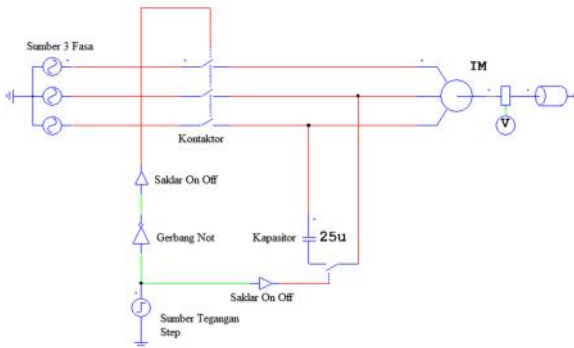
2. Metode



Gambar 2.1 Bagan alir penelitian

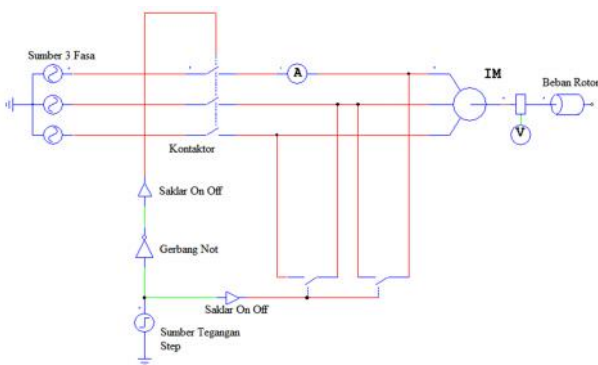
2.1 Simulasi dengan Software PSIM 9.0.3

Berikut rangkaian percobaan pada PSIM



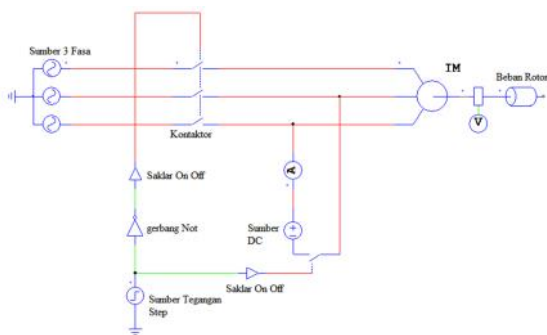
Gambar 2.2 simulasi pengereman Capacitor Self-Excitation

Pada simulasi *Capacitor Self-Excitation Braking*, tidak semua nilai kapasitor dapat digunakan untuk pengereman, melainkan ada range nilai tertentu yang dapat menyebabkan proses pengereman pada motor yang digunakan pada penelitian ini, dengan metoda *trial and error* diketahui nilai kapasitor yang dapat dipakai dalam penelitian antara 18uF hingga 3000uF.



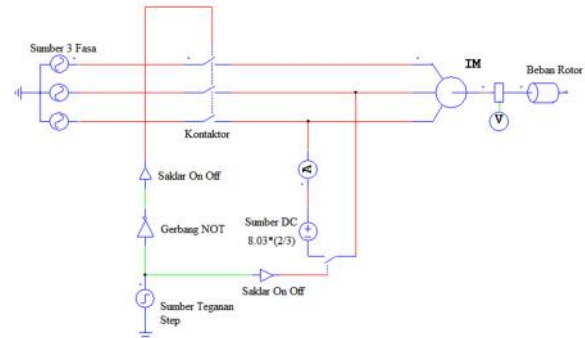
Gambar 2.3 simulasi pengereman Magnetic Braking

Pada simulasi magnetic braking, ketika sumber lepas dari motor, fasa R, S dan T dihubung singkatkan sehingga terbentuk rangkaian tertutup pada stator motor.



Gambar 2.4 simulasi pengereman DC Inject

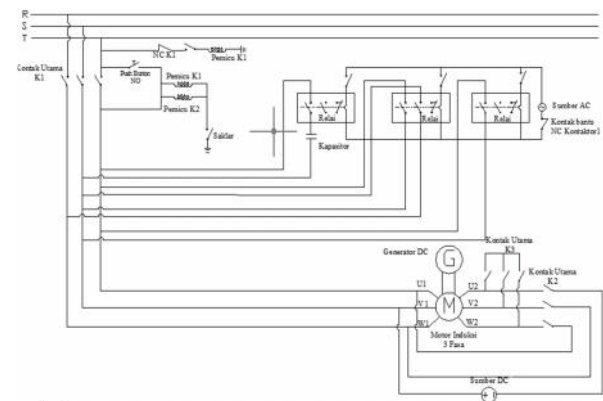
Pada simulasi *Dc Inject*, tegangan arus searah yang di masukkan ke dalam stator berpengaruh terhadap kecepatan pengereman, pada simulasi ini nilai tegangan dari masukan arus searah yang dipakai antara 5 hingga 20 Volt karena dengan tegangan tersebut arus yang terbentuk berkisar antara 0,20 A hingga 0,80 A dimana dengan arus tersebut motor sudah berhenti dengan sangat cepat.



Gambar 2.5 simulasi Zero sequence braking

Pada simulasi zero sequence braking dilakukan variasi yaitu dengan menggunakan satu buah sumber yang dihubungkan ke dua fasa dari stator namun diganti nilai tegangannya agar menghasilkan arus keluaran yang sesuai dengan perangkat keras

2.2 Pemodelan Alat Uji



Gambar 2.6 rangkaian alat uji

Rangkaian diatas diperoleh dari gabungan dari setiap metoda pengereman yang sudah disebutkan diatas (*Capacitor self-excitation, magnetic braking, DC inject dan zero sequence*) yang sudah dibuat dengan konfigurasi yang paling singkat.

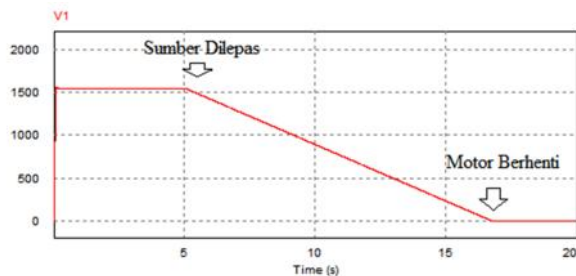
3. Hasil dan Analisa

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan sumber 3 fasa dengan menggunakan humpden dengan tegangan yang tetap untuk setiap metoda pengereman, motor yang digunakan adalah motor induksi 3 fasa bertenaga 1hp

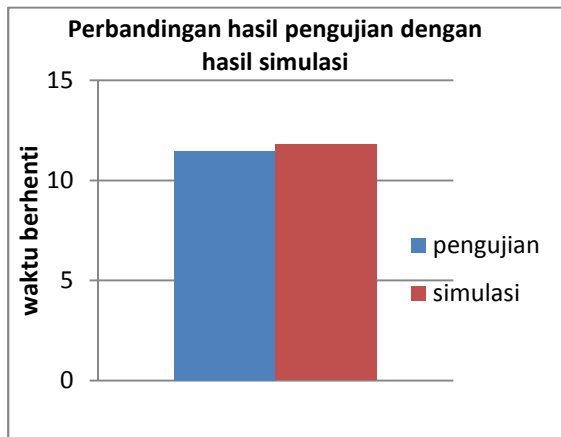
dengan kecepatan maksimal 1500 rpm. Dengan kondisi sumber dan karakteristik motor yang sama nantinya akan diketahui perbedaan performa pengereman dan dapat diketahui karakteristik pengereman dari hasil simulasi.

3.1 Pengujian tanpa pengereman

Pengujian tanpa pengereman bertujuan untuk mengetahui lama berhenti dari motor dari kecepatan penuh hingga berhenti yang nantinya akan menjadi dasar untuk mengetahui apakah dengan rangkaian pengereman dapat mempengaruhi lama berhenti dari rotor.



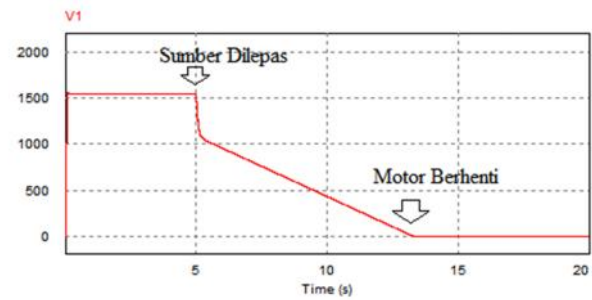
Gambar 3.1 Hasil simulasi pengujian tanpa pengereman



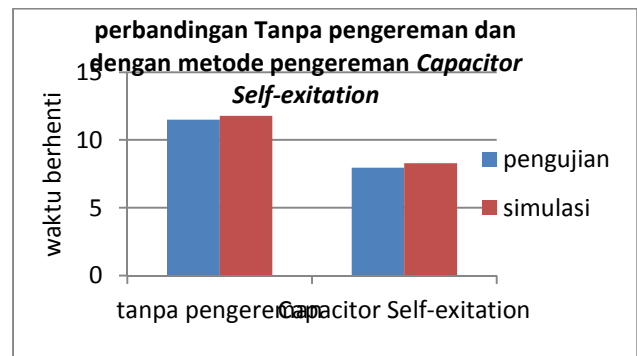
Gambar 3.2 Grafik perbandingan hasil pengujian dengan hasil simulasi

3.2 Pengujian dengan Capacitor Self-Excitation Braking

Pengujian pengereman Capacitor self-excitation bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan kapasitor untuk melakukan pengereman pada motor induksi 3 fasa ketika sumber dilepas dari motor, pada pengujian ini kapasitor yang digunakan yaitu kapasitor AC non-polar dengan kapasitas 25uF 400V, pada pengujian kapasitor polar tidak dapat digunakan meskipun kapasitasnya lebih besar daripada kapasitor AC.



Gambar 3.3 Grafik hasil simulasi pengujian Capacitor Self-excitation

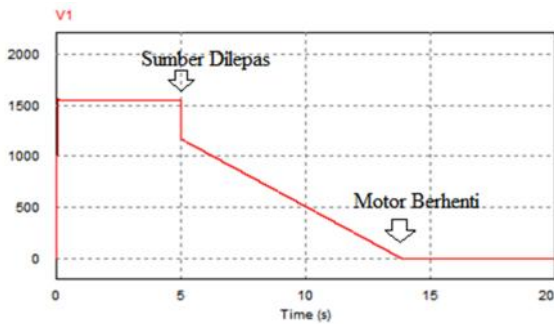


Gambar 3.4 Grafik perbandingan Tanpa pengereman dan dengan metode pengereman Capacitor Self-excitation

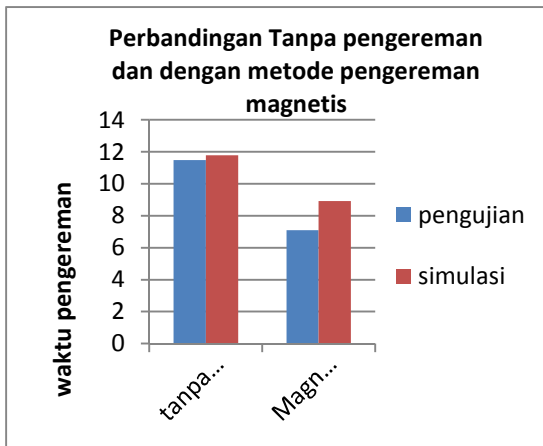
pada pengujian menggunakan metoda pengereman *Capacitor Self-excitation* pada motor induksi bergerak melambat, dimana sumber dilepas saat detik ke 05,00 dan berhenti pada detik ke 13,28 Jadi waktu yang dibutuhkan oleh rotor untuk berhenti dari kecepatan penuh yaitu 8,28 detik pada simulasi dengan menggunakan PSIM. Hal tersebut sudah sesuai dengan hasil pengujian, dimana perbedaan 0,38 detik

3.3 Pengujian dengan Magnetic Braking

Pengujian pengereman *Magnetic* bertujuan untuk mengetahui pengaruh pengereman motor induksi 3 fasa dimana sumber dilepas dari motor terminal U1, V1 dan W1 (fasa R,S dan T) dihubung singkat dalam kondisi hubung bintang yang berarti U2, V2 dan W2 dalam kondisi hubung singkat juga. pada pengujian ini tidak menggunakan komponen maupun input daya tambahan, hanya dilakukan konfigurasi rangkaian.



Gambar 3.5 Grafik hasil simulasi pengujian Magnetic braking

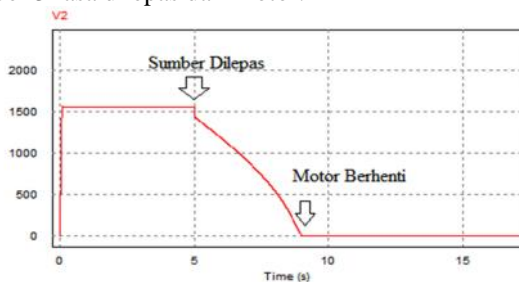


Gambar 3.6 Grafik perbandingan Tanpa pengereman dan dengan metode pengereman magnetis

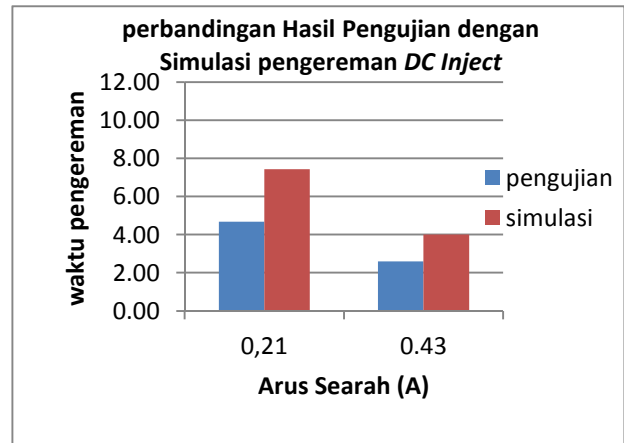
Pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa pada pengujian menggunakan metoda pengereman *magnetic* pada motor induksi bergerak melambat, dimana sumber dilepas saat detik ke 05,00 dan berhenti pada detik ke 13,92 Jadi waktu yang dibutuhkan oleh rotor untuk berhenti dari kecepatan penuh yaitu 8,92 detik pada simulasi dengan menggunakan PSIM.

3.4 Pengujian dengan DC Inject

Pengujian pengereman *DC Inject* bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan arus searah yang dihubungkan ke dua terminal dari motor untuk melakukan pengereman pada motor induksi 3 fasa sesaat setelah sumber 3 fasa dilepas dari motor.



Gambar 3.7 Grafik Arus yang bekerja ketika pengereman DC Inject

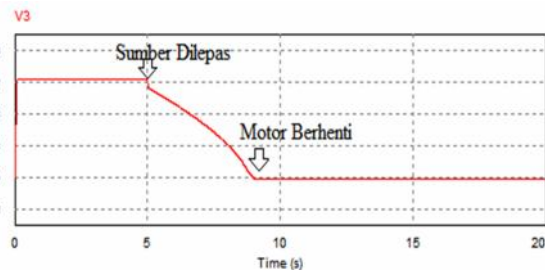


Gambar 3.8 Grafik perbandingan Hasil Pengujian dengan Simulasi pengereman DC Inject

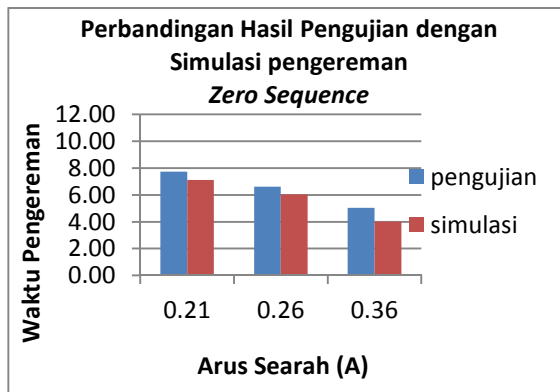
ketika menggunakan metoda pengereman *DC Inject* sesaat setelah sumber yang mencatu motor lepas maka rotor dari motor induksi 3 fasa membutuhkan waktu rata – rata 4,68 detik untuk berhenti dari kondisi kecepatan penuh dengan arus searah yang digunakan ketika pengereman adalah 0,21 A. Sedangkan motor induksi membutuhkan waktu rata-rata sebesar 2,588 detik untuk berhenti dari kondisi kecepatan penuh dengan arus searah yang digunakan ketika pengereman adalah 0,43 A. Hal tersebut menunjukkan perbedaan antara pengereman menggunakan metoda *DC Inject* dan tanpa pengereman dengan selisih waktu 6,81 detik ketika menggunakan arus searah 0,21A dan memiliki perbedaan 8,9 detik ketika menggunakan arus searah 0,43A .

3.5 Pengujian dengan Zero Sequence Braking

Pengujian pengereman *Zero Sequence* bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan arus searah yang dihubungkan ke terminal rotor dimana konfigurasi dibuat agar fasa R, S dan T dapat disupply oleh sumber DC sehingga memiliki nilai arus yang sama pada setiap fasa, sumber arus Searah dicatukan ke rotor dari motor untuk melakukan pengereman pada motor induksi 3 fasa sesaat setelah sumber 3 fasa dilepas dari motor.



Gambar 3.9 Grafik hasil simulasi pengujian kecepatan pengereman Zero Sequence

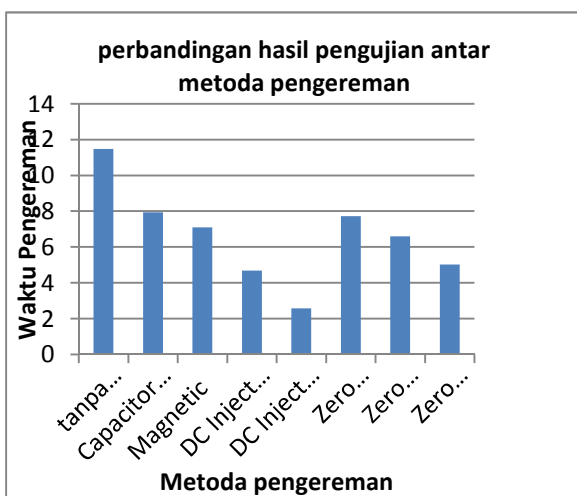


Gambar 3.10 Grafik perbandingan Hasil Pengujian dengan Simulasi pengereman Zero Sequence

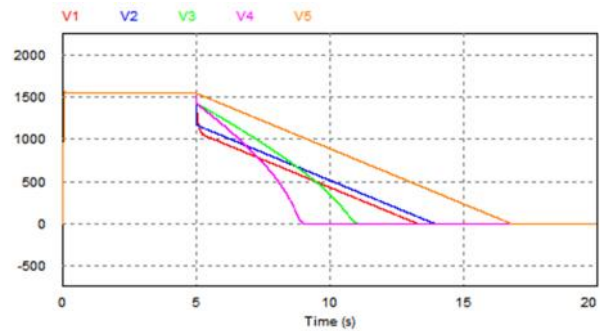
ketika menggunakan metoda pengereman *Zero sequence* sesaat setelah sumber yang mencatu motor lepas maka rotor dari motor induksi 3 fasa melakukan pengereman, pada pengujian dilakukan tiga kali variasi pengereman dimana digunakan arus yang berbeda beda yaitu 0,21 A, 0,26 A dan 0,36 A. Pada data percobaan dapat diketahui bahwa nilai arus yang mengalir pada fasa R, S dan T bernilai sama karena konfigurasi yang dibuat sedemikian rupa. Ketika menggunakan arus searah 0,21 A, waktu yang dibutuhkan oleh motor untuk berhenti 7,73 detik sedangkan ketika menggunakan arus searah 0,26 A waktu yang dibutuhkan oleh motor untuk berhenti adalah 6,6 detik, dan waktu ketika arus yang digunakan 0,36 A maka waktu yang dibutuhkan motor untuk berhenti adalah 5,03 detik.

3.6 Perbandingan Setiap pengereman

Dari Keempat pengereman diatas dapat dapat diketahui bagaimana performa dari setiap pengereman apabila dilakukan pada motor induksi 3 fasa 1 hp skala laboratorium.



Gambar 3.11 Grafik perbandingan hasil pengujian antar metoda pengereman

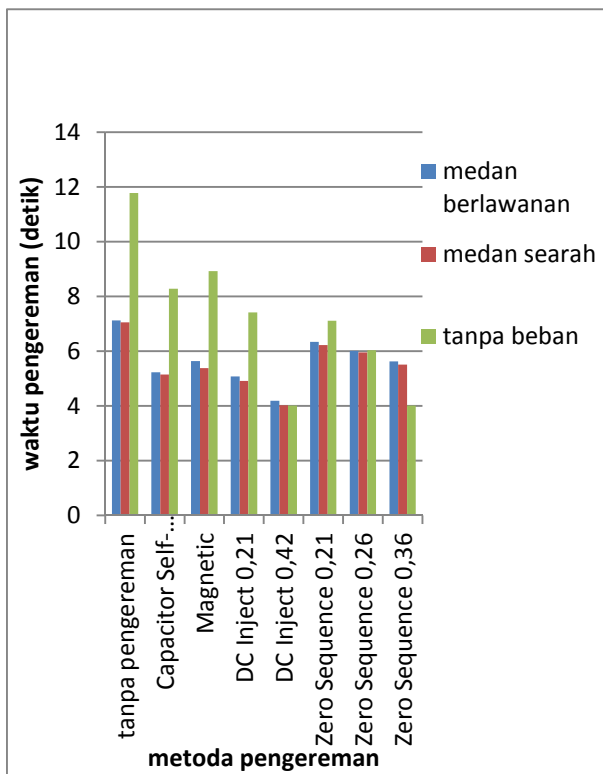


Gambar 3.12 Grafik perbandingan hasil simulasi antar metoda pengereman

Dari grafik pada gambar 4.17 dapat dilihat bahwa pengereman dengan metoda *DC inject* memiliki waktu pengereman yang paling cepat dimana dengan menggunakan *DC Inject* semakin besar arus searah yang digunakan maka semakin cepat waktu pengereman yang dibutuhkan. Pengereman metoda *DC Inject* dan *Zero Sequence* sama sama menggunakan sumber DC namun dengan arus yang bernilai sama, metoda *DC Inject* dapat melakukan pengereman lebih cepat daripada metoda *Zero Sequence*. Sedangkan metoda yang membutuhkan waktu pengereman paling lama adalah metoda *Capacitor Self-excitation*, hal tersebut dikarenakan pada metoda ini kapasitor yang digunakan berkapasitas 25uF dimana pemilihan 25uF dikarenakan nilai tersebut nilai yang tersedia di lapangan, sedangkan pada simulasi semakin besar nilai kapasitor semakin cepat waktu pengeremannya, sehingga dengan menggunakan kapasitor 25uF tidak bisa menjadi tolok ukur performa pengereman, namun peneliti dapat membuktikan dengan metoda ini motor dapat melakukan pengereman.

3.7 Pengereman Dengan Beban Generator DC

Pengujian pengereman ketika motor menggunakan generator DC sebagai bebannya hanya dilakukan satu kali pengambilan untuk setiap datanya, dimana dilakukan dua variasi untuk setiap pengereman yaitu dengan menggunakan medan yang dibuat searah dengan putaran motor dan medan yang arahnya berkebalikan dengan putaran motor.



Gambar 3.13 Grafik Pengujian dengan beban Generator DC dengan tanpa beban

Merujuk pada Gambar 3.13 dapat dilihat bahwa pada pengereman dengan menggunakan generator DC memiliki tren yang sama dengan pengereman tanpa beban amun pada pengujian waktu pengereman yang dibutuhkan lebih cepat hal tersebut dikarenakan oleh konstanta gesek yang mempercepat waktu pengereman hal tersebut berbanding terbalik seharusnya semakin dibebani, waktu pengereman semakin lama.

4. Penutup

Berdasarkan hasil dan analisis yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut : Pada metoda pengereman Capacitor Self-Excitation hanya nilai-nilai kapasitor tertentu yang dapat digunakan, pada motor yang digunakan pada pengujian kapasitor yang dapat bekerja yaitu kapasitor dengan kapasitas 300uF – 18uF. Pengereman dengan metoda ini efektif pada kecepatan tinggi Pada metoda pengereman magnetis, tidak dibutuhkan peralatan tambahan ataupun masukan sumber dari luar, hanya dilakukan hubung singkat pada ketiga rangkaian stator untuk membentuk rangkaian tertutup, pengereman ini efektif pada kecepatan tinggi Pada metoda Pengereman DC inject dan Zero Sequence Braking, dibutuhkan input Arus Searah untuk melakukan pengereman, semakin besar nilai arus searah, yang digunakan pada pengereman, semakin cepat motor berhenti, metoda ini bekerja efektif pada kecepatan

rendah. Dari keepat pengereman, metoda yang paling efektif untuk melakukan pengereman pada motor iduksi 3 fasa 1hp skala laboratorium, yaitu dengan menggunakan metoda pengereman DC inject dengan arus 0,43 Ampere yaitu hanya membutuhkan waktu 2,58 detik sedangkan yang paling lama yaitu dengan metoda Capacitor Self-Excitation yaitu membutuhkan waktu 7,94 detik dengan kapasitor berkapasitas 25uF.

Ketika pengereman menggunakan beban, waktu pengereman seharusnya lebih lama karena pengaruh momen inersia yang semakin besar, namun pada pengujian waktu pengereman untuk semua metoda lebih cepat hal tersebut dikarenakan gaya gesek yang parameternya tidak dapat diketahui. Adapun saran sebagai berikut :

Penelitian dapat dilakukan dengan menggunakan optokopler untuk mendapatkan grafik arus yang presisi. Pengereman dapat dikembangkan dimana menggabungkan dua atau 3 metoda untuk melakukan sekali pengereman dengan menggunakan bantuan PLC, atau dinamakan *multistage braking*.

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. 2005
- [2]. 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
- [3]. Wildi, Theodore. "Electrical Machines, Drives, and Power System", Prentice Hall Inc, New Jersey. 2002.
- [4]. Anantha, Mas. "Pengereman dinamik pada motor induksi tiga fasa" Laporan tugas akhir, Universitas Diponegoro. 2006.
- [5]. Say M G. "Alternating Current Machines". Great Britain. 1976
- [6]. sreenivasa s. murthy, gunnar j. berg, chandra s. jha, ajay k. Tandon " A Novel Method of Multistage Dynamic Braking of Three-Phase Induction Motors". iee transactions on industry applications, vol. ia-20. 1984