

Perancangan Pengereman Dinamik pada Motor Induksi 3 Fasa dengan Menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)*

¹Muhaimin, ²Zamzami

^{1,2} *Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA*

¹muhaimin@pnl.ac.id, ²zamzami@pnl.ac.id

Abstrak, Sering digunakan Aplikasi Motor induksi tiga fasa di dunia industri dengan pertimbangan motor ini sederhana, murah dan mudah pemeliharaannya. Penggunaan motor induksi membutuhkan proses penghentian putaran motor dengan cepat, Menghentikan putaran rotor, torsi pengereman diperlukan yang dapat dihasilkan secara mekanik maupun secara elektrik. Simulasi Pengereman untuk menghentikan putaran motor induksi dapat dirancang secara dinamik, yaitu sistem pengereman yang dilakukan dengan membuat medan magnetik motor stasioner. Keadaan tersebut dilaksanakan dengan menginjeksikan arus DC pada kumparan stator motor induksi tiga fasa setelah hubungan kumparan stator dilepaskan dari sumber tegangan suplai AC. Metode pengereman dinamik memiliki keuntungan antara lain kemudahan pengaturan kecepatan pengereman terhadap motor induksi tiga fasa dan kerugian mekanis dapat dikurangi. Direncanakan suatu sistem balik arah putaran motor induksi tiga fasa hubung star-delta dengan Programmable Logic Control (PLC) sebagai pengendali. Pada sistem mengharuskan adanya pertukaran arah putar dari arah putar kanan ke putar kiri., Proses untuk mengubah arah putaran motor memerlukan pengereman secara dinamik, yaitu sistem pengereman yang dilakukan dengan membuat medan magnetik motor stasioner. Proses pengereman tersebut dilaksanakan dengan menginjeksi arus DC pada kumparan stator motor induksi, monitoring untuk proses pengeremana dinamik digunakan perangkat lunak (Scada) yang kinerja berkaitan dengan PLC .Dengan mengaplikasikan pengereman dinamik pada motor induksi tiga fasa didapatkan hasil proses menghentikan putaran motor induksi lebih cepat dibandingkan tanpa pengereman dinamik. Arus injeksi yang diberikan pada motor induksi 3 fasa 1 KW untuk pengereman dinamik sebesar 2,2 A. Waktu berhenti motor untuk beban minimum 100 Watt tanpa pengereman sebesar 6,21 detik dan dengan pengereman sebesar 4,38 detik, untuk beban maksimum 600 W, tanpa pengereman.

Kata kunci : Motor induksi, pengereman dinamik, arus injeksi, PLC

Abstract, Often used Application three-phase induction motor in the industrial world with the consideration of this motor is simple, inexpensive and easy to maintain. The use of an induction motor requires the process of stopping motor rotation quickly, stopping rotor rotation, braking torque is needed which can be generated mechanically or electrically. Braking simulation to stop the induction motor rotation can be dynamically designed, namely the braking system which is done by making a stationary motor magnetic field. This situation is carried out by injecting a DC current in the three-phase induced motor stator coil after the stator coil connection is released from the AC supply voltage source. Dynamic braking methods have the advantage, among others, the ease of regulating braking speed against three-phase induction motors and mechanical losses can be reduced. A system is planned to reverse the direction of rotation of the three-phase delta three-phase induction motor with Programmable Logic Control (PLC) as the controller. The system requires an exchange of swivel directions from the right turn to the left. The process to change the direction of motor rotation requires dynamic braking, namely the braking system which is done by making a stationary motor magnetic field. The braking process is carried out by injecting a DC current on the induction motor stator coil, monitoring the dynamic drive process used by the software (Scada) which is related to PLC performance. By applying dynamic braking to the three phase induction motor, the process of stopping the induction motor is faster than without dynamic braking. The injection current given to a 3 KW 3 phase induction motor for dynamic braking is 2.2 A. The motor stop time for a minimum load of 100 Watt without braking is 6.21 seconds and with a braking of 4.38 seconds, for a maximum load of 600 W, without braking.

Keywords: induction motor, dynamic braking, injection current , PLC.

I PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa banyak digunakan oleh dunia industri karena memiliki beberapa keuntungan. Keuntungan yang dapat diperoleh dalam pengendalian motor-motor induksi tiga fasa yaitu, struktur motor induksi tiga fasa lebih ringan (20% hingga 40%) dibandingkan motor arus searah (DC) untuk daya yang sama, harga satuan relatif lebih murah, konstruksinya lebih sederhana dan kokoh, dan perawatan motor induksi tiga fasa lebih hemat. Pada penggunaannya, pada motor induksi sering dibutuhkan proses menghentikan putaran motor dengan cepat, terutama aplikasi pada konveyor. Salah satu pendekatan yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi energi pada saat dilakukan pengereman adalah dengan membuat medan magnetik motor stasioner. Keadaan tersebut dilaksanakan dengan menginjeksikan arus searah pada kumparan stator motor induksi tiga fasa setelah hubungan kumparan stator dilepaskan dari sumber tegangan suplai arus bolak-balik. Metode ini dikenal dengan *dynamic braking* (pengereman dinamis). Metode pengereman dinamis memiliki keuntungan, antara lain kemudahan pengaturan kecepatan pengereman terhadap motor induksi tiga fasa dan kerugian mekanis dapat dikurangi. Dengan mengaplikasikan pengereman dinamis pada motor induksi tiga fasa, didapatkan hasil proses menghentikan putaran motor induksi lebih cepat dibandingkan tanpa pengereman dinamis. Motor induksi yang sering digunakan adalah motor induksi 3 fasa. Motor ini memiliki kelebihan dari segi teknis dan segi ekonomis. Segi teknis, motor ini memiliki daya yang besar, konstruksi yang sederhana, kokoh dan perawatannya yang mudah, sedangkan dari segi ekonomis, motor ini memiliki harga yang murah sehingga motor induksi mulai menggeser penggunaan motor dc dalam dunia industri. Namun dalam kenyataannya, motor induksi paling banyak menimbulkan

goncangan tegangan (*flicker*) dan arus awal (*starting*) yang besar (5–7 kali Inominal). Hal ini akan menyebabkan drop tegangan yang besar pada pasokan tegangan PLN. Untuk motor dengan daya kecil, arus *starting* tidak terlalu berpengaruh terhadap drop tegangan, sedangkan untuk motor dengan daya yang lebih besar akan menyebabkan drop tegangan yang besar pula dan menurunkan kualitas listrik yang berpengaruh pada penerangan yang berkedip serta hentakan motor yang mengakibatkan motor cepat rusak. Selain itu, untuk motor berdaya besar, waktu berhenti putaran motor relatif lama. Hal ini menyebabkan proses produksi di industri mengalami penurunan. Salah satu alternatif untuk mengatasi kekurangan motor induksi adalah menggunakan metode pengasutan. Sistem. (Isna Joko Prakoso¹, Agung Warsito², Tejo Sukmadi, 2012).

Seiring dengan berkembangnya teknologi, banyak industri yang menuntut sistem pengoperasian motor yang murah dan mudah, khususnya untuk motor induksi. Pengoperasian yang mudah dan murah yaitu menggunakan komputer, terutama komputer jenis PC. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian pengereman dinamis dengan pengendali PLC. Serta memonitoring proses pengereman dinamis ini dengan

menggunakan perangkat lunak SCADA yang kompatibel dengan PLC, pengoperasian sistem dengan menggunakan PC. perumusan masalah yang muncul untuk adalah :

- Bagaimana simulasi menghentikan putaran motor dengan cepat dengan proses pengereman dinamik, motor induksi 3 fasa 1 HP
- Bagaimana pengereman yang dilakukan dengan membuat medan magnetik motor stasioner. dengan menginjeksikan arus DC pada kumparan stator motor induksi tiga fasa.

Tujuan Penelitian untuk

- Menganalisis penggunaan metode pengereman dinamis sebagai salah satu metode untuk menghentikan putaran motor induksi 3 fasa
- Membuat suatu model Simulasi untuk mengendalikan dan memonitor proses metode pengereman dinamis pada motor induksi tiga fasa pada aplikasi konveyor .

Keutamaan dari penelitian ini adalah terletak pada kemampuan mengoptimalkan *pengereman pada motor induksi 3 fasa 1 HP, efisiensi pengereman yang meminimalkan rugi-rugi yang dapat terjadi untuk aplikasi di industri*. Sehingga diharapkan nantinya dapat dijadikan rujukan sebagai model pengereman dinamis motor induksi satu fasa di Nanggroe Aceh Darussalam.

Ada beberapa aspek sangat utama dalam penelitian ini, diantaranya adalah :

- a. Aspek keilmuan, penelitian ini *original*, karena penelitian yang dilakukan untuk mengatasi masalah pengeremana dinamik motor induksi bukan sesuatu yang baru, akan tetapi penggunaan metode monitoring dengan laptop merupakan pendekatan yang baru.
- b. Aspek manfaat, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bagian dari pengembangan teknologi untuk mengoptimalkan aplikasi berdasarkan perkembangan teknologi berbasis komputer sebagai suatu alternatif untuk mendapatkan hasil yang lebih baik..

Motor induksi saat dihidupkan secara langsung akan menarik arus 5 sampai 7 kali dari arus beban penuh dan hanya menghasilkan torsi 1,5 sampai 2,5 kali torsi beban penuh. Arus mula yang besar ini dapat mengakibatkan droptegangan pada saluran sehingga akan mengganggu peralatan lain yang dihubungkan pada saluran yang sama. Untuk motor yang berdaya besar tentu arus pengasutan juga akan semakin besar, sehingga untuk motor dengan daya besar tidak dianjurkan menghidupkan motor secara langsung. Untuk menghindari hal tersebut, suatu motor induksi sering kali di-start dengan level tegangan yang lebih rendah dari tegangan nominalnya. Starting motor induksi dapat dilakukan dengan cara : [Fakhrizal, Reza, 2007]

- Pengasutan DOL (Direct On Line)
- Pengasutan bintang-segitiga
- Pengasutan dengan autotrafo
- Pengasutan dengan tahanan mula bertingkat

- Pengasutan dengan Tahanan Primer
- Pengasutan dengan Soft Starter
- Pengasutan dengan saklar elektronik

Pada penggunaan motor Induksi sering dibutuhkan proses menghentikan putaran motor dengan cepat, terutama pada aplikasi konveyor. Untuk menghentikan putaran rotor torsi pengereman, diperlukan yang mana dapat dihasilkan secara mekanik maupun secara kelistrikan. Pengereman ini dilakukan dengan cara menginjeksikan arus dan tegangan DC pada belitan stator motor induksi setelah dilepaskan dari sumber tegangan suplai fasa. Arus searah yang diinjeksikan pada kumparan stator akan mengembangkan medan stationer untuk menurunkan tegangan pada rotor dan menghasilkan medan magnet. Medan magnet akan berputar dengan kecepatan yang sama dengan rotor tetapi dengan arah yang berlawanan untuk menjadikan stationer terhadap stator. Interaksi medan resultan dan gerak gaya magnet rotor akan mengembangkan torsi yang berlawanan dengan torsi motor sehingga

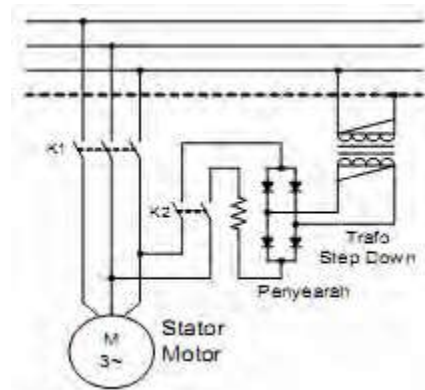
Pengereman Motor Induksi

Mesin pada keseluruhan dapat diperlambat kecepatannya secara mekanik, dan seperti sudah dikatakan sebelumnya, bahwa semua sistem pengereman mekanik memerlukan perawatan yang bersifat periodik karena adanya kecenderungan untuk cepat rusak. Oleh karena itu dibuatlah beberapa sistem pengereman yang dapat mengurangi efek negatif dari pemakaian sistem pengereman secara mekanik, yaitu pengereman regeneratif, plugging dan dinamik.

Metode pengereman tersebut penggunaannya tergantung dari kondisi yang diinginkan terjadi, misalnya untuk menghentikan putaran mesin atau hanya untuk memperlambat putarannya. Hal ini juga erat hubungannya dengan torsi dan slip yang terjadi pada mesin. Metode pengereman regeneratif terjadi ketika rotor dari motor induksi berputar lebih cepat dari medan putar stator sehingga terjadi slip negatif dan mesin menyuplai daya. Oleh karena itu, kapanpun motor mempunyai kecenderungan untuk berputar lebih cepat dari medan putar, pengereman regeneratif terjadi [6]. Kecepatan motor berkurang dan torsi pengereman membuat motor bekerja pada kecepatan konstan, dan tidak menutupi kemungkinan untuk bekerja lebih cepat. Ditinjau dari efek resistansi stator, torsi maksimum yang timbul selama proses regenerasi ini lebih besar daripada torsi maksimum selama proses *motoring*. Akan tetapi selama proses pengereman regeneratif, ada kemungkinan terjadinya kecepatan membahayakan jika torsi beban lebih besar dari torsi breakdown dari motor, karena torsi yang timbul tidak dapat memperlambat motor dan sebaliknya terjadi percepatan (Vedam Subrahmanyam, 1994).

Sedangkan untuk pengereman plugging (*plugging braking*) atau yang disebut juga dengan *counter current braking* bekerja dengan menukarkan *phase sequence* inputan motor induksi sehingga arah dari medan putar stator dapat dibalik. Pada prakteknya, metode ini dilakukan dengan *interchanging* suplai

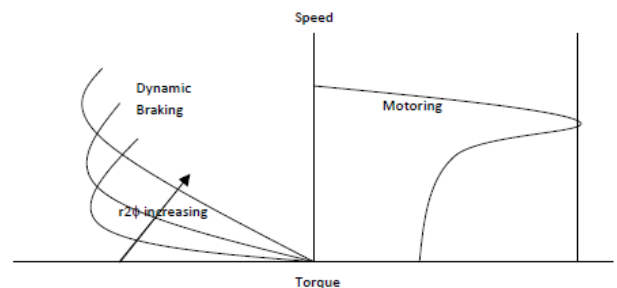
tegangan ke dua terminal motor, dengan demikian dapat timbul torsi pengereman dan motor dapat berhenti dengan cepat (Joko Prakoso, Isna, 2012). Akan tetapi motor harus tidak dihubungkan ke sumber tegangan ketika kecepatan nol terjadi.



Gambar 1. Rangkaian pengereman dinamik dengan injeksi arus searah

Metode pengereman motor induksi yang selanjutnya adalah metode pengereman dinamik (*dynamic braking*), digunakan untuk menghentikan putaran rotor motor induksi. Tegangan pada stator diubah dari sumber tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC) dalam waktu yang sangat singkat. Torsi yang dihasilkan dari pengereman tergantung pada besar arus DC yang diinjeksikan pada belitan stator. Pada gambar 2.5 menunjukkan bentuk rangkaian pengereman dengan injeksi arus searah pada motor induksi tiga fasa. Arus searah yang diinjeksikan pada kumparan stator akan mengembangkan medan magnet stasioner untuk menurunkan tegangan pada rotor. Oleh karena kumparan rotor terhubung singkat, arus yang mengalir menghasilkan medan magnet.

Rangkaian ganti dan diagram fasor dari motor induksi selama proses pengereman dinamik,. Ketika stator dialiri arus dc, maka terbentuk medan magnet stasioner di stator. Medan magnet yang terbentuk tergantung dari hubungan belitan stator, jumlah lilitan, dan besar arus (Vedam Subrahmanyam, 1994).



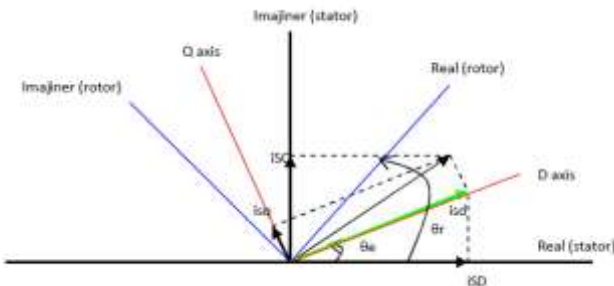
Gambar 2. Kurva kecepatan-torsi selama pengereman dinamik

Arus stator berpengaruh terhadap magnetisasi yang terbentuk, sedangkan arusrotor berpengaruh terhadap torsi. Sehingga dapat ditulis persamaan (Vedam ubrahmanyam,1994)

$$T = \frac{3}{2\pi N_s} I_2^2 \frac{R_2}{s} \quad (1)$$

Bahwa dari keseluruhan metode pengereman kecepatan putar motor induksi yang disebutkan di atas, dianggap metode yang paling efektif dan paling aman untuk digunakan untuk menghentikan putaran motor induksi karena sangat kecil kemungkinannya untuk terjadi rugi-rugidaya yang terbuang selama proses pengereman adalah metode pengereman dan penghentian motor dengan metode pengereman dinamik, yaitu dengan menginjeksi arus searah ke stator dari motor induksi tiga fasa.

Motor-motor induksi yang ada pada umumnya merupakan motor tiga fasasedangkan model yang dikembangkan sampai saat ini adalah model motor dua fasa karena perhitungan dan analisa yang dilakukan menjadi lebih mudah [3]. Oleh sebab itu, dibutuhkan transformasi dari tiga fasa menjadi dua fasa untuk memodelkan motor induksi yang digunakan. Gambar 2.9 menunjukkan sumbu untuk tiga fasa dan dua fasa. (Fitzgerald, A. E., Jr, Charles, Kingsley., Umans, Stephen, 2003). Motor induksi yang digunakan dalam simulasi, dimodelkan dengan menggunakan acuan fluks rotor (rotor flux reference frame) (Krishnan, R., 2005)



Gambar 3.. rotor flux reference frame

Adapun transformasi dari kerangka acuan stator menjadi kerangka acuan rotor direpresentasikan dalam persamaan berikut ini

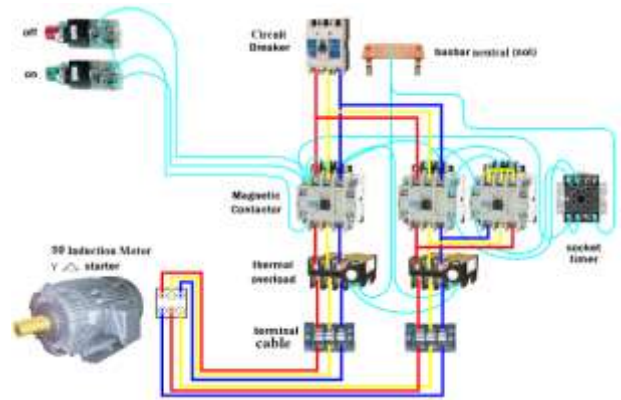
$$\begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_e & \sin \theta_e \\ -\sin \theta_e & \cos \theta_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sD} \\ i_{sQ} \end{bmatrix} \quad (2)$$

II METODOLLOGI PENELITIAN

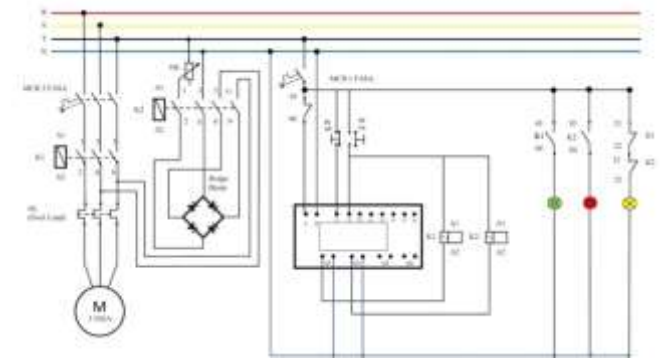
Pelaksanaan penelitian dilakukan, beberapa tahap yaitu

1. Perancangan Blok Rangkaian Pengendali

Diagram rangkaian pengendali diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 4..Diagram start delta – bintang



Gambar 5. Diagram pengawatan rangkaian pengendali

2. Perancangan Perangkat Lunak

PLC merupakan perpaduan dari perangkat keras dan perangkat lunak dimana keduanya mempunyai fungsi yang saling mendukung. Untuk dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan, PLC haruslah diprogram. Pemrograman dan pengiriman program ke PLC. Pengawatan rangkaian tenaga

1. Pengujian
2. Pengolahan dan analisis data
3. Menyimpulkan hasil dari analisa data

III HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian

Dalam pelaksanaan pengujian digunakan motor induksi 3 fasa untuk mensimulasikan berbeban dan tidak berbeban dengan spesifikasi sebagai berikut:

Spesifikasi Motor Induksi Tiga Fasa Untuk simulasi

- Motor Induksi Tiga Fasa
- Tegangan : 380 / 220 V
- Hubungan Motor : Y/Δ
- Arus : 4,7 A / 2,70 A

Daya : 1 KW
Rpm : 2830
Frekuensi : 50 Hz CONT.



Gambar 6.. Gambar motor induksi

Generator Induksi Tiga Fasa

Tegangan : 220 / 380 V
Hubungan generator : Y/ Δ
Arus : 8,8 A
Daya : 0,8 KW
Rpm : 1500 Rpm
Frekuensi : 50 Hz CONT.
Cos phi : 1



Gambar 7. Generator AC

pengujian pengereman dinamik dengan menggunakan Programmable Logic Control (PLC) ini menggunakan pengasutansegitiga (Δ)- bintang(Y)untuk mendapatkan dataa pengujian waktu pengereman pengereman.



Gambar 8.. PLC

Pengereman motor induksi 3 fasa dilakukan dengan metode dynamic breaking yaitu dengan menginjeksikan tegangan DC pada belitan stator setelah sumber tegangan AC 3 fasa Untuk mendapatkan nilai arus injeksi DC dilakukan perhitungan sebagai berikut pada (putaran rotor nominal motor 2380 RPM)). Arus injeksi yang diberikan diusahakan lebih kecil dari arus injeksi normalnya, hal ini dimaksudkan supaya pengereman tidak merusak motor karena arus yang terlalu besar.[15]. Pemilihan arus injeksi DC sebesar 45% (2,2 A) arus nominal karena memiliki torsi dan energi pengereman terbesar dan membutuhkan waktu pengereman paling kecil.



Gambar 9. Koneksi Hubungan Motor induksi dan generator

Pemberian beban generator berupa lampu pijar untuk melihat waktu pengeraman motor. Dalam pelaksanaan pengujian digunakan PLC untuk mensimulasikan kondisi operasional motor induksi dan pengereman.



Gambar.10. Operasional beban generator



Gambar 11. Sistem keseluruhan

Dari pengukuran dan pengujian yang dilakukan, dapat dibandingkan dan dianalisa antara tanpa dan dengan pengereman dinamik. Perbandingan ditunjukkan pada tabel.

Tabel 1

Tabel tabulasi data tanpa beban dan pengereman (5 kali pengulangan)

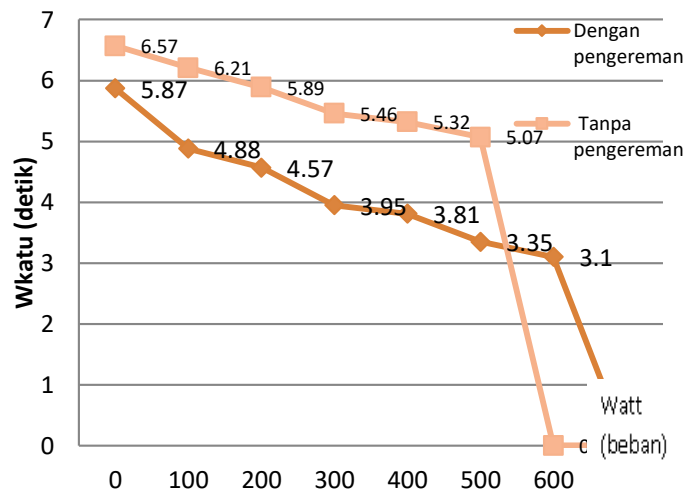
No	Waktu berhenti (detik)	Kecepatan motor (Rpm)
1	10,20	2820
2	10,34	2830
3	10,08	2820
4	10,5	2825
5	10,7	2828
Rata-rata	10,51	2824,6

Tabel .2

Tabel tabulasi data pada nilai arus eksitasi 1 A

No	Beban terhubung ke generator (Watt)	Waktu berhenti (detik)	
		Tanpa pengereman	Dengan Pengereman
1	0	6,57	5,87
2	100	6,21	4,88
3	200	5,89	4,57
5	300	5,46	3,95
6	400	5,32	3,81

7	500	5,07	3,35
8	600	4,80	3,10



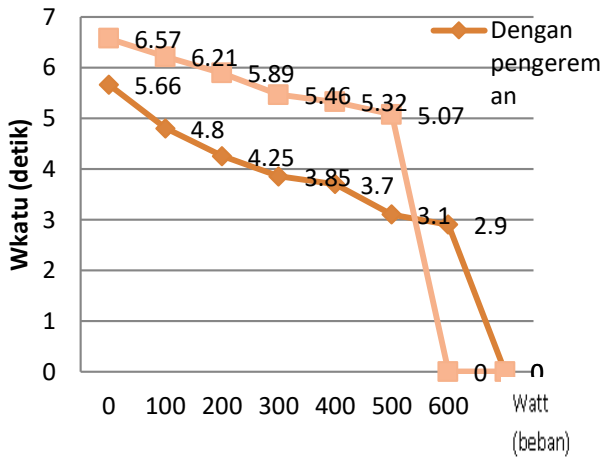
Gambar 12. Grafik data pada nilai arus eksitasi 1 A

Dari tabel .2. dapat dibuat grafik perbandingan tanpa dan dengan pengereman dinamik pada arus eksitasi 1 A. Grafik perbandingan ditunjukkan pada gambar 5.6 .

Tabel.3

Tabel tabulasi data pada nilai arus eksitasi 1,5 A

No	Beban terhubung ke generator (Watt)	Waktu berhenti (detik)	
		Tanpa pengereman	Dengan Pengereman
1	0	6,57	5,66
2	100	6,21	4,58
3	200	5,89	4,25
5	300	5,46	3,85
6	400	5,32	3,7
7	500	5,07	3,1
8	600	4,80	2,90



Gambar 13.. data pada nilai arus eksitasi 1,5 A

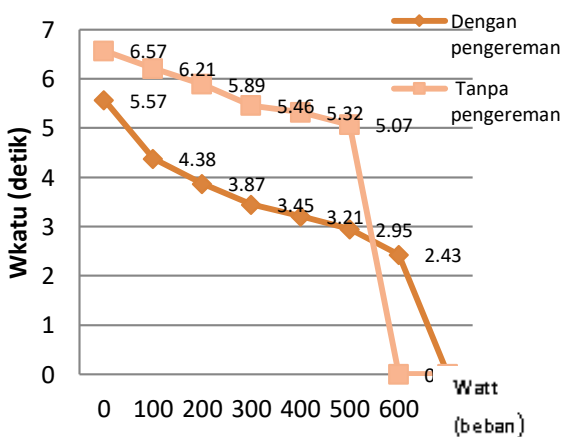
Dari tabel. 3. dapat dibuat grafik perbandingan tanpa dan dengan pengereman dinamik pada arus eksitasi 1,5 A. Grafik perbandingan ditunjukkan pada gambar 5.7 .

Tabel 4

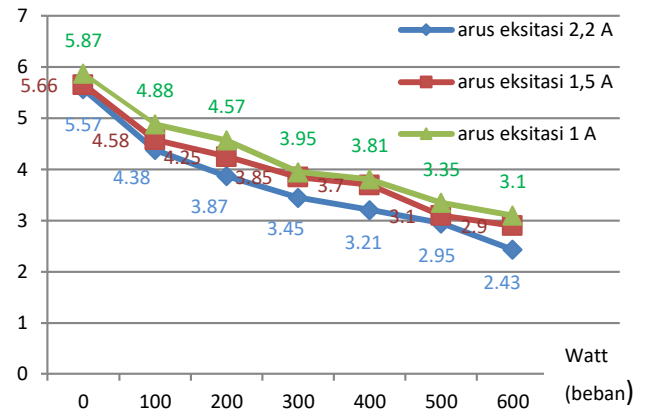
.Tabel tabulasi data pada nilai arus eksitasi 2,2 A

No	Beban terhubung ke generator (Watt)	Waktu berhenti (detik)	
		Tanpa pengereman	Dengan Pengereman
1	0	6,57	5,57
2	100	6,21	4,38
3	200	5,89	3,87
5	300	5,46	3,45
6	400	5,32	3,21
7	500	5,07	2,95
8	600	4,80	2,43

Dari tabel.4. dapat dibuat grafik perbandingan tanpa dan dengan pengereman dinamik pada arus eksitasi 2,2 A. Grafik perbandingan ditunjukkan pada gambar 5.8 .



Gambar 14. Grafik data pada nilai arus eksitasi 2,2 A



Gambar 15. Perbandingan arus eksitasi dan waktu pengereman

man dinamik lebih cepat dengan menggunakan arus eksitasi yang lebih tinggi . Hal ini dikarenakan sistem pengereman dinamik membuat medan magnetik motor stationer. Keadaan tersebut dilaksanakan dengan menginjeksikan arus DC pada kumparan stator motor induksi tiga fasa setelah hubungan kumparan stator dilepaskan dari sumber tegangan suplai AC. Metode pengereman dinamik memiliki keuntungan antara lain kemudahan pengaturan kecepatan pengereman terhadap motor induksi tiga fasa. Begitu juga dengan semakin besar bebannya maka waktu berhenti motor lebih cepat. Motor induksi tanpa beban generator dan pengereman memiliki waktu berhenti 10,51 detik.

IV KESIMPULAN

Kesimpulan dari pengujian dan analisa yang telah dilakukan :

1. Sistem pengasutan motor induksi dengan menggunakan PLC memberikan kemudahan dalam mengoperasikannya.
2. Arus injeksi yang diberikan pada motor induksi 3 fasa 1 KW untuk pengereman dinamik sebesar 2,2 A
3. Waktu berhenti motor untuk beban minimum 100 Watt tanpa pengereman sebesar 6,21 detik dan dengan pengereman sebesar 4,38 detik, untuk beban maksimum 600 W, tanpa pengereman sebesar 4,80 detik dan dengan pengereman sebesar 2,43 detik.

REFERENSI

- [1]. Anantha B P, M, 2006, “Pengereman Dinamik Pada M.otor Induksi Tiga Fasa”, Penelitian, Universitas Diponegoro, Semarang
- [2]. Fakhrizal, Reza, 2007, “Aplikasi Programmable Logic Controller (PLC) Pada Pengasutan Dan Proteksi Bintang (Y)-Segitiga (Δ) Motor Induksi Tiga Fasa”, Penelitian, Universitas Diponegoro, Semarang,
- [3]. Zuhail, 1995, Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya , Gramedia, Jakarta,
- [4]. Vas, Peter, 1992, Electric Machine and Drives: A Space Vector Theory Approach, Oxford University, New York,
- [5]. Vedam Subrahmanyam, 1994, Electric Drives, Concepts and Applications, Tata McGraw-Hill, New Delhi,
- [6]. Fitzgerald, A. E., Jr, Charles, Kingsley., Umans, Stephen, 2003, D, Electric Machinery, 6th edition, Mc Graw Hill,