

LAPORAN PROYEK AKHIR

**PENGEMBANGAN SISTEM Pengereman
DINAMIS PADA MOTOR INDUKSI TIGA-FASA
DENGAN MENGGUNAKAN PLC**



Disusun oleh :

SUHARDIMAN R

HJ. MU' MINAH

DEDDY HERIYANTO P

PROGRAM STUDI TEKNIK KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
2008

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul **“PENGEMBANGAN SISTEM PENEREMAN DINAMIS PADA MOTOR INDUKSI TIGA-FASA DENGAN MENGGUNAKAN PLC”**

Oleh :

SUHARDIMAN R

NIM: 05 35 051

HJ. MU'MINAH

NIM : 05 35 052

DEDDY HERIYANTO P

NIM : 05 35 065

Telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Diploma III pada Program studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 03 November 2008

Mengesahkan,

Pembimbing I



Ir. Lewi, M.T.
Nip: 131 964 654

Pembimbing II



Sukma Abadi, S.T.
Nip: 132 304 387

Mengetahui,
a.n. Direktur,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Muh. Tejad, ST.MT
NIP. 131 884 322

PENERIMA PANITIA UJIAN

Pada hari ini, hari Senin Tanggal 03 November 2008, Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir, telah menerima dengan baik hasil Tugas Akhir oleh mahasiswa/i :

SUHARDIMAN R. NIM: 05 35 051

HJ. MU'MINAH NIM : 05 35 052

DEDDY HERIYANTO P. NIM : 05 35 065

dengan judul **“PENGEMBANGAN SISTEM Pengereman Dinamis
PADA MOTOR INDUKSI TIGA-FASA DENGAN MENGGUNAKAN PLC”**

Makassar, 03 November 2008

Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir :

1. Marwan, ST.,M.Eng.Sc. Ketua

(.....)

2. Ir. Herman N., M.T. Sekretaris

(.....)

3. Ir. Andareas P., M.T. Anggota

(.....)

4. Ir. Lewi, M.T Pembimbing I

(.....)

5. Sukma Abadi, S.T Pembimbing II

(.....)

ABSTRAK

Motor induksi merupakan salah satu mesin penggerak yang paling banyak digunakan di industri karena memiliki beberapa keuntungan antara lain sederhana, murah, dan pemeliharaannya mudah. Pengereman diperlukan untuk menghentikan motor dengan cepat. Dalam hal-hal tertentu, motor listrik diharapkan berhenti pada selang waktu yang diinginkan. Untuk itu dibutuhkan suatu kontrol pengereman yang dapat diatur. Pengereman dinamis pada motor induksi merupakan salah satu jenis pengereman yang dapat diatur secara elektrik. Metode pengereman dinamis (*dynamic braking*) memiliki keuntungan antara lain kemudahan pengaturan kecepatan pengereman terhadap motor induksi tiga fasa.

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan rangkaian kontrol sistem pengereman dinamis pada motor induksi tiga fasa yang mudah diatur dengan menggunakan komponen listrik dan elektronik, menentukan hubungan waktu pengereman dengan besarnya arus dc dan daya yang disuplai ke motor induksi pada saat pengereman terjadi, dan memperoleh hubungan belitan stator saat terjadi pengereman yang menghasilkan sistem pengereman yang paling efisien.

Dari hasil rancangan dan pengujian sistem pengereman dinamis motor induksi, diperoleh hasil bahwa dengan menggunakan PLC sebagai alat kontrol diperoleh sistem pengereman yang mudah diatur dan dimodifikasi/dikembangkan, makin besarnya arus dc dan daya yang diinjeksikan ke belitan motor induksi pada saat pengereman terjadi maka makin cepat motor berhenti, dan konfigurasi hubungan yang menghasilkan waktu pengereman cepat dengan arus dan daya yang terkecil adalah hubungan paralel dua belitan yang diserikan dengan belitan yang lain.

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulisan tugas akhir ini dapat selesai.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk menyajikannya dalam bentuk materi yang sebaik-baiknya, walaupun dengan segala keterbatasan, penulis menyadari bahwa penulisan ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu dengan segala kelapangan dada kami sangat mengharapkan kritik dan masukan dari berbagai pihak demi penyempurnaan tugas Akhir ini.

Oleh sebab itu dengan penuh ketulusan hati perkenankanlah kami menghaturkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya atas segala bimbingan, tuntunan, bantuan dan dorongan baik moril maupun materil, kepada :

1. Bapak Muh.Tekad, S.T.,MT selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
2. Bapak Jamal, S.T.,MT sebagai Ketua Program Studi Teknik Konversi Energi.
3. Bapak Ir. Lewi , MT selaku pembimbing I dan bapak Sukma Abadi, ST selaku pembimbing II yang telah berkenan memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Seluruh Staf Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah banyak membagikan ilmunya kepada kami selama kuliah.
5. Seluruh Staf Akademik Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang atas pelayanan yang diberikan kepada kami.

6. Ucapan Terima kasih terkhusus buat kedua orang tua, saudara/i dan Seluruh sanak keluarga kami yang tercinta atas segala asuhan dan bimbingannya serta segala jerih payah dan tanggung jawabnya dalam mendidik, membesarkan dan membiayai kami.
7. Seluruh rekan mahasiswa/i Teknik Mesin.

Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Sebagai penulis kami mengharapkan masukan yang bermanfaat dari semua pihak demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Makassar, Oktober 2008

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
PENERIMA PANITIA UJIAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Motor Induksi Tiga Fasa	4
2.2. Sistem Pengereman Motor Induksi Tiga Fasa	5
2.3. Catu Daya DC untuk Pengereman	8
2.4. Rangkaian Kontrol dan Daya	9
2.5. Pembuatan grafik dengan MATLAB	13
III. METODE PENELITIAN	16
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	16
3.2. Alat dan Bahan yang Digunakan	16
3.3. Metode Perancangan	17
3.4. Metode Pembuatan	21
3.5. Metode Pengujian	21
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1. Rangkaian Daya dan Kontrol	22
4.2. Data Hasil Pengamatan	28
4.3. Pembahasan	32

V. KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1. Kesimpulan	38
5.2. Saran-saran	38
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	Kumparan stator dan rotor motor induksi	4
Gambar 2.2	Pengereman dinamis pada motor induksi tiga-fasa	7
Gambar 2.3	Contoh pengaturan terminal pada kontaktor dan relai	9
Gambar 2.4	Konfigurasi dasar PLC	10
Gambar 2.5	Simbol <i>ladder diagram</i> untuk instruksi LOAD	11
Gambar 2.6	Simbol <i>ladder diagram</i> untuk instruksi LOAD NOT.....	11
Gambar 2.7	Simbol <i>ladder diagram</i> untuk instruksi AND	11
Gambar 2.8	Simbol <i>ladder diagram</i> untuk instruksi ANDNOT	12
Gambar 2.9	Simbol <i>ladder diagram</i> untuk instruksi OR	12
Gambar 2.10	Simbol <i>ladder diagram</i> untuk instruksi ORNOT	12
Gambar 2.11	Simbol <i>ladder diagram</i> untuk instruksi OUT	13
Gambar 3.1	Diagram alir prosedur perancangan, pembuatan dan pengujian	18
Gambar 3.2	Ketiga belitan diparalel (hubungan 1)	19
Gambar 3.3	Dua belitan diseri (hubungan 2)	19
Gambar 3.4	Kombinasi paralel-seri (hubungan 3)	19
Gambar 3.5	Ketiga belitan diseri (hubungan 4)	20
Gambar 3.6	Kombinasi seri-paralel (hubungan 5)	20
Gambar 3.7	Hanya satu belitan yang diberi tegangan DC (hubungan 6) ..	20
Gambar 3.8	Dua belitan diparalel (hubungan 7)	20
Gambar 3.9	Diagram kotak sistem pengereman dinamis motor induksi ...	21
Gambar 4.1	Rangkaian daya dan kontrol pada pengoperasian dan pengereman motor induksi dengan memparalelkan ketiga belitan motor saat terjadi pengereman	22
Gambar 4.2	Rangkaian daya dan kontrol pada pengoperasian dan pengereman motor induksi dengan menghubungkan seri dua belitan motor saat terjadi pengereman	23
Gambar 4.3	Rangkaian daya dan kontrol pada pengoperasian dan pengereman motor induksi dengan menghubungkan paralel-seri belitan motor saat terjadi pengereman	23
Gambar 4.4	Rangkaian daya dan kontrol pada pengoperasian dan pengereman motor induksi dengan menghubungkan seri ketiga belitan motor saat terjadi pengereman	24
Gambar 4.5	Rangkaian daya dan kontrol pada pengoperasian dan pengereman motor induksi dengan menghubungkan seri-paralel belitan motor saat terjadi pengereman	24
Gambar 4.6	Rangkaian daya dan kontrol pada pengoperasian dan pengereman motor induksi dengan menginjeksikan tegangan DC pada salah satu belitan motor saat terjadi pengereman	25
Gambar 4.7	Rangkaian daya dan kontrol pada pengoperasian dan pengereman motor induksi dengan menghubungkan paralel dua belitan motor saat terjadi pengereman	25
Gambar 4.8	Ladder diagram untuk rangkaian gambar 4.1, 4.2, 4.3, dan 4.7	26

Gambar 4.9	Ladder diagram untuk rangkaian gambar 4.4, 4.5 dan 4.6 ...	26
Gambar 4.10	Hubungan peralatan input-output dengan PLC	27
Gambar 4.11	Grafik Hubungan antara waktu pengereman dengan arus pengereman	33
Gambar 4.12	Grafik Hubungan antara waktu pengereman dengan daya pengereman	35
Gambar 4.13	Contoh simulasi waktu pengereman motor induksi	36



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Style baris, warna dan penandaan 14
Tabel 4.1	Pengalamatan peralatan I/O sistem pengereman motor induksi 26
Tabel 4.2	Hasil pengamatan waktu, arus dan daya pengereman pada rangkaian gambar 4.2 (hubungan 1) 28
Tabel 4.3	Hasil pengamatan waktu, arus dan daya pengereman pada rangkaian gambar 4.3 (hubungan 2) 29
Tabel 4.4	Hasil pengamatan waktu, arus dan daya pengereman pada rangkaian gambar 4.4 (hubungan 3) 29
Tabel 4.5	Hasil pengamatan waktu, arus dan daya pengereman pada rangkaian gambar 4.4 (hubungan 3) 30
Tabel 4.6	Hasil pengamatan waktu, arus dan daya pengereman pada rangkaian gambar 4.6 (hubungan 5) 31
Tabel 4.7	Hasil pengamatan waktu, arus dan daya pengereman pada rangkaian gambar 4.7 (hubungan 6) 31
Tabel 4.8	Hasil pengamatan waktu, arus dan daya pengereman pada rangkaian gambar 4.8 (hubungan 7) 32



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan semakin berkembangnya teknologi maka keinginan manusia semakin meningkat, baik secara kuantitas maupun secara kualitas. Untuk menghasilkan suatu produk dengan kualitas yang baik dan ketelitian yang tinggi, maka diperlukan suatu sistem kontrol yang baik. Salah satu bagian dari sistem kontrol tersebut adalah penggerak. Motor induksi merupakan salah satu mesin penggerak yang paling banyak digunakan di industri karena memiliki beberapa keuntungan antara lain sederhana, murah, dan pemeliharaannya mudah. Pengontrolan pada motor induksi meliputi *starting*, pengaturan putaran, dan pengereman.

Pengereman diperlukan untuk menghentikan motor dengan cepat. Dalam hal-hal tertentu, motor listrik diharapkan berhenti pada selang waktu yang diinginkan. Untuk itu dibutuhkan suatu kontrol pengereman yang dapat diatur. Pengereman dinamis pada motor induksi merupakan salah satu jenis pengereman yang dapat diatur secara elektrik. Metode pengereman dinamis (*dynamic braking*) memiliki keuntungan antara lain kemudahan pengaturan kecepatan pengereman terhadap motor induksi tiga fasa. Seiring dengan perkembangan bidang elektronik maka penggunaan komponen elektronik dalam sistem pengereman semakin berkembang pula.

Pada penelitian pengereman dinamis motor induksi sebelumnya (Warsito, 2006), telah dilakukan pengujian waktu pengereman motor induksi untuk beberapa hubungan belitan stator pada tegangan injeksi DC yang konstan. Pada pengujian tersebut belum diperoleh jenis hubungan stator yang menghasilkan pengereman yang paling efisien. Demikian juga rangkaian kontrol yang digunakan kurang fleksibel, karena setiap hubungan belitan mempunyai rangkaian kontrol yang berbeda.

Berdasarkan hal tersebut di atas maka dalam penelitian ini akan dikembangkan suatu sistem pengereman motor induksi tiga fasa yang fleksibel, sehingga pengujian pengereman motor induksi dengan variasi tegangan injeksi DC pada beberapa macam hubungan belitan stator dapat dilakukan dengan mudah. Untuk mencapai hal tersebut, dibuat suatu sumber tegangan DC yang dapat diatur, dan menggunakan PLC sebagai alat kontrolnya. Sistem tersebut diharapkan dapat dimanfaatkan untuk menunjang kelancaran Praktikum Sistem Penggerak PS Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan beberapa hal untuk diteliti sebagai berikut:

1. Bagaimana rangkaian kontrol sistem pengereman dinamis motor induksi tiga fasa yang mudah diatur dengan menggunakan komponen listrik dan elektronik.
2. Bagaimana hubungan waktu pengereman dengan besarnya arus dc dan daya yang disuplai ke motor induksi pada saat pengereman terjadi.
3. Bagaimana hubungan belitan stator saat terjadi pengereman, sehingga diperoleh sistem pengereman yang paling efisien.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan tersebut di atas maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menghasilkan rangkaian kontrol sistem pengereman dinamis pada motor induksi tiga fasa yang mudah diatur dengan menggunakan komponen listrik dan elektronik.
2. Menentukan hubungan waktu pengereman dengan besarnya arus dc dan daya yang disuplai ke motor induksi pada saat pengereman terjadi.
3. Memperoleh hubungan belitan stator saat terjadi pengereman yang menghasilkan sistem pengereman yang paling efisien.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu :

Dapat digunakan untuk melengkapi job pengereman pada Praktikum Sistem Penggerak dan Job PLC pada Praktikum Sistem Kontrol.

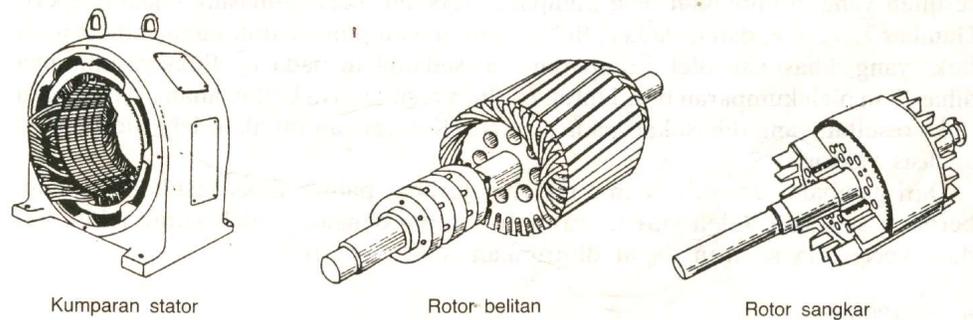


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi Tiga Fasa

Menurut Zuhail (1993), motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (ac) yang paling luas digunakan. Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron. Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan hukum Lenz, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Ada dua tipe motor induksi, yaitu motor induksi rotor belitan, dan motor induksi rotor sangkar. Kumparan stator dan rotor suatu motor induksi, diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Kumparan stator dan rotor motor induksi

Motor induksi jenis rotor belitan mempunyai rotor dengan belitan kumparan tiga-fasa, sama seperti pada kumparan stator. Kumparan stator dan rotor juga mempunyai jumlah kutub yang sama. Motor induksi dengan rotor belitan memungkinkan adanya penambahan (pengaturan) tahanan luar. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi arus mula yang besar pada saat start, dan dengan mengubah tahanan luar maka kecepatan motor dapat diatur. Motor induksi jenis rotor sangkar mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa sehingga menyerupai sangkar

tupai. Karena konstruksinya yang demikian maka tidak memungkinkan untuk pengaturan tahanan luar seperti pada rotor belitan.

2.2 Sistem Pengereman Motor Induksi Tiga-Fasa

Motor induksi tiga-fasa sebagai alat penggerak dalam suatu sistem perlu diberi pengereman untuk mempercepat berhentinya putaran bila suatu proses kerja telah selesai. Cara yang dapat dilakukan untuk mengerem motor induksi tiga-fasa adalah mengubah energi kinetik tersebut menjadi energi listrik atau dapat pula dilakukan dengan mengubahnya menjadi panas. Ditinjau dari segi sumber torsinya, pengereman dapat dilakukan dengan dua metode yaitu:

a. Metode Eksternal

Pengereman ini menggunakan kopel rem yang bekerja di luar mesin, sehingga semua jenis motor listrik dapat dihentikan dengan cara seperti ini. Pengereman ini dapat juga dilakukan dengan memberikan gesekan mekanis pada rotor motor. Contohnya adalah rem gesekan elektromekanis, yaitu suatu alat eksternal motor yang menyediakan torsi yang memperlambat. Alat ini mempunyai rem drum atau piringan rem yang tersusun dengan pegas dan dilengkapi dengan selenoid. Prinsip kerjanya adalah ketika motor berputar maka selenoid mendapat penguatan sehingga mempertahankan sepatu rem dari sentuhan drum yang dipasang pada poros motor. Ketika motor dimatikan selenoid tidak lagi mendapat penguatan sehingga terjadilah pengereman sebagai akibat gesekan antara permukaan sepatu dengan roda. Umumnya penggunaan dari alat ini pada *crane* atau alat pemindah barang.

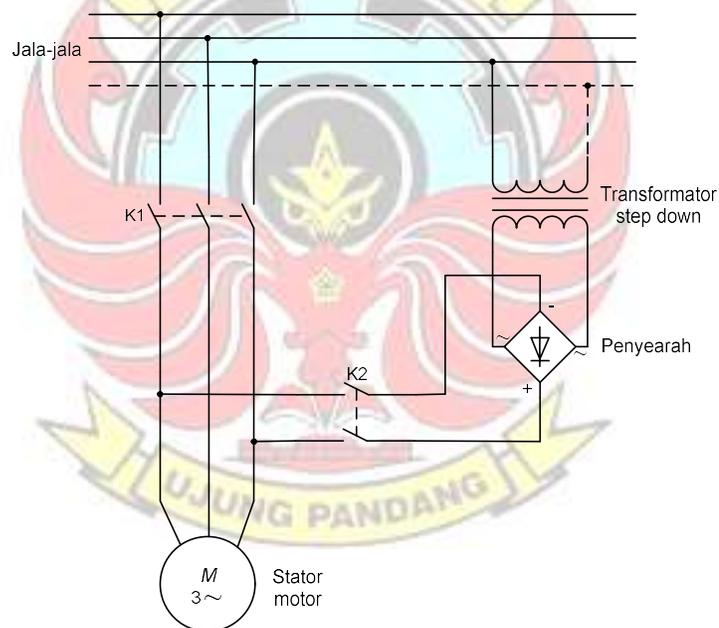
b. Metode Internal

Pengereman jenis ini memanfaatkan arus yang dialirkan ke belitan stator motor, sehingga motor listrik berubah menjadi generator dengan memberikan torsi lawan. Pengereman terjadi di saat energi kinetik diubah menjadi energi listrik.

Pada motor induksi tiga-fasa, umumnya pengereman dilakukan dengan metode internal (secara listrik) dengan cara:

- *Cara Plugging*, yaitu memberikan kopel lawan pada motor dengan membalik arah putaran. Saklar plugging ini akan membuka bila motor dalam keadaan tidak berputar atau putaran rendah dan menutup bila motor sedang berputar
- *Cara Regeneratif*, yaitu energi yang tersimpan pada putaran dikembalikan pada sistem jala-jala. Cara ini biasanya dipakai pada kereta api listrik yaitu pada saat kereta api berjalan menurun, kecepatan motor besar sekali. Pada saat daya dikembalikan ke jala-jala kecepatan menurun dan proses pengereman berlangsung seperti pada pengereman dinamik.
- *Cara Dinamis*, yaitu memperlakukan motor tersebut sebagai generator pada saat motor dilepas dari sumber jala-jala. Menurut Petruzella (2001), dengan memberikan sumber arus searah pada belitan stator yang berfungsi sebagai arus penguat putaran sisi motor dan selanjutnya di gunakan sebagai tenaga mekanik generator. Karena rotor motor sudah terhubung singkat maka pada rotor akan timbul *emf (electro motive force)*, dan arus rotor yang akan menyebabkan timbulnya kopel lawan yang cenderung memutar rotor dengan arah berlawanan putaran semula. Sedangkan menurut Wildi (1981), ketika rotor berputar dalam medan magnet yang tetap, tegangan akan diinduksikan pada rotor. Tegangan ini akan menghasilkan arus yang akan didisipasikan dalam bentuk energi kinetik. Motor akan berhenti jika energi kinetik tersebut habis didisipasi dalam bentuk panas pada rotor. Torsi pengereman sebanding dengan kuadrat arus pengereman dc. Kelebihan pengereman dc dibandingkan dengan pengereman plugging, yaitu panas yang dihasilkan jauh lebih kecil. Selanjutnya McIntyre (1991), menjelaskan bahwa pengereman dinamis menghasilkan kejutan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan pengereman secara mekanik, serta perawatannya lebih mudah.
- Pengereman pada motor induksi tiga-fasa, secara umum masih menggunakan metode yang sederhana, dengan cara pengereman mekanik dimana torsi pengereman dihasilkan oleh peralatan pengereman yang berupa sepatu rem dan *drum* yang terpasang pada poros motor. Sistem pengereman yang berkembang dewasa ini adalah sistem pengereman yang

dilakukan secara elektronik. Sistem ini menggunakan komponen *solid state* yang sangat handal tanpa mengurangi efisiensi sebagai perangkat pengereman. Pengereman dinamis pada motor induksi tiga-fasa dapat dilakukan dengan memberikan arus searah pada belitan stator motor ketika tegangan jala-jala telah terlepas dari belitan motor, sebagai contoh diperlihatkan pada Gambar 2. Arus searah yang diinjeksikan ke belitan stator menghasilkan medan stasioner untuk menurunkan tegangan pada rotor. Oleh karena kumparan rotor telah terhubung singkat, maka arus yang mengalir menghasilkan medan magnet. Medan magnet akan berputar dengan kecepatan yang sama dengan rotor tetapi dengan arah yang berlawanan untuk menjadikan stasioner terhadap stator. Interaksi medan resultan dan gaya gerak magnet rotor akan menghasilkan torsi yang berlawanan dengan torsi motor sehingga pengereman terjadi.



Gambar 2.2. Pengereman dinamis pada motor induksi tiga-fasa

Torsi pengereman yang dihasilkan tergantung pada besarnya arus injeksi dc/ arus pengereman pada belitan stator, karena besarnya torsi pengereman berbanding

lurus dengan arus injeksi dc/ arus pengereman. Menurut Wasito (2006), waktu pengereman makin cepat apabila arus injeksi DC makin besar.

2.3 Catu Daya DC Untuk Pengereman

Untuk memperoleh tegangan DC dari sumber tegangan AC/jaringan PLN dapat menggunakan rangkaian penyearah (Malvino, 1994). Karena sumber tegangan bolak-balik dari PLN ada yang satu fasa dan tiga fasa maka menurut Wildi (1981) dikenal beberapa jenis penyearah, yaitu:

1. Penyearah satu fasa :
 - a. Penyearah setengah gelombang satu fasa
 - b. Penyearah gelombang penuh satu fasa
2. Penyearah tiga fasa
 - a. Penyearah setengah gelombang tiga fasa
 - b. Penyearah gelombang penuh tiga fasa.

Oleh karena tahanan belitan stator motor induksi umumnya kecil maka tegangan dc yang diperlukan untuk pengereman juga kecil. Untuk itu diperlukan transformator untuk menurunkan tegangan jala-jala, dan untuk menghemat komponen maka jenis penyearah yang digunakan adalah penyearah gelombang penuh satu fasa. Menurut Malvino (1994), tegangan output dc penyearah gelombang penuh satu fasa tanpa filter adalah:

$$V_{dc} = 0,636 V_{2(\text{puncak})} = 0,9 V_{2(\text{efektif})}$$

dengan V_2 adalah tegangan pada sisi sekunder transformator.

Karena output penyearah masih merupakan tegangan yang masih berdenyut/beriak, maka untuk memperoleh tegangan DC yang rata (nilai tetap) dibutuhkan sebuah penapis (*filter*). Filter yang banyak digunakan adalah kapasitor yang dipasang paralel terhadap beban. Pada penyearah gelombang penuh dengan filter kapasitor, tegangan DC yang diperoleh adalah:

$$V_{dc} = V_m - \frac{I_{dc}}{4fC}$$

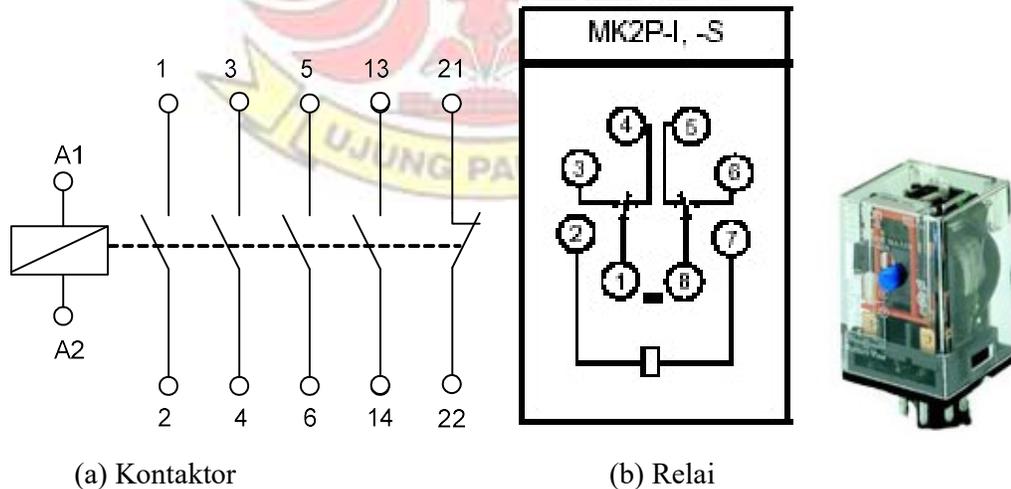
Dengan V_m adalah tegangan maksimum, f adalah frekuensi, C adalah kapasitas kapasitor, dan I_{dc} adalah arus beban.

Penentuan dioda yang digunakan adalah dengan memperhatikan puncak tegangan balik (*peak inverse voltage*, PIV) yang melintas pada dioda, dan besarnya arus pengereman maksimum yang diperlukan. Pada penyearah gelombang penuh satu fasa, puncak tegangan balik yang melintas pada dioda sama dengan tegangan maksimum (V_m) sisi sekunder transformator, dan arus pada setiap dioda sama dengan setengah arus beban/arus pengereman.

2.4 Rangkaian Kontrol dan Daya

Untuk memperoleh suatu sistem pengereman yang andal maka diperlukan rangkaian kontrol yang dapat mengatur proses pengereman tersebut. Ada dua jenis rangkaian kontrol yang sering dijumpai dalam pengontrolan motor listrik, yaitu sistem *wired logic* (konvensional), dan sistem *ladder diagram* (dengan PLC).

Komponen utama pada rangkaian pengontrolan motor adalah kontaktor, dan relai. Dasar pemilihan kontaktor dan relai adalah tegangan kerja dan kemampuan melewatkan arus. Contoh pengaturan terminal pada kontaktor dan relai diperlihatkan pada Gambar 2.4.

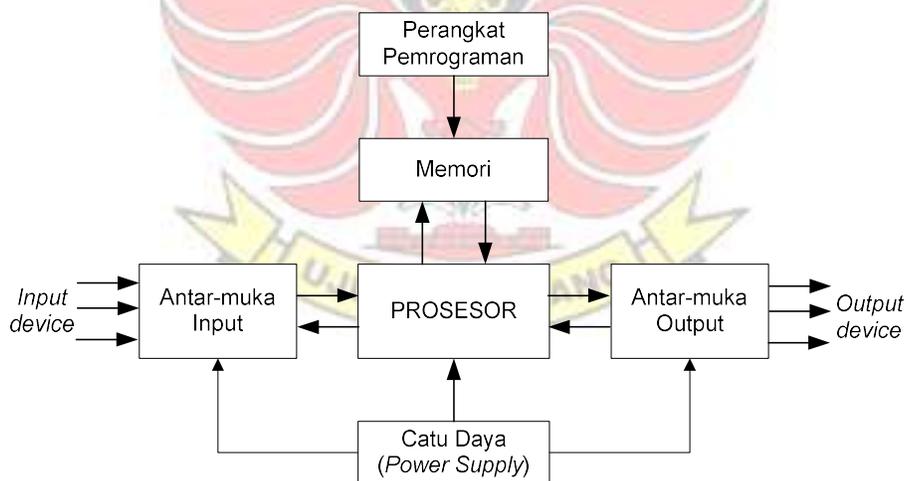


Gambar 2.3. Contoh pengaturan terminal pada kontaktor dan relai

”PLC adalah suatu peralatan elektronik yang bekerja secara digital, memiliki memori yang dapat diprogram, menyimpan perintah-perintah untuk melakukan fungsi-fungsi khusus seperti logika, sequencing, timing, counting, dan aritmetika untuk mengontrol berbagai jenis mesin atau proses.

Pada sistem kontrol dengan PLC, komputer digunakan sebagai alat untuk merancang *ladder diagram*, dan menginput program ke dalam PLC. PLC bekerja berdasarkan data atau sinyal yang diterima dari peralatan input (*input device*) seperti saklar, tombol atau sensor. Data yang masuk berupa sinyal-sinyal analog dan kemudian diubah oleh modul input menjadi sinyal-sinyal digital. Selanjutnya data yang telah diubah tersebut diproses di *Central Processing Unit (CPU)* dalam PLC. Sinyal tersebut diproses sesuai dengan program yang telah diinput ke dalam memorinya. Hasil kerjanya yang masih merupakan sinyal digital selanjutnya diteruskan ke modul output untuk diubah kembali menjadi sinyal-sinyal analog yang nantinya akan menggerakkan peralatan output (*output device*) seperti kontaktor atau relai.

Gambar 2.4 menampilkan konfigurasi dasar PLC.



Gambar 2.4. Konfigurasi dasar PLC

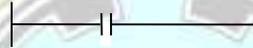
Ladder diagram adalah suatu diagram mirip anak tangga yang menggambarkan urutan kerja dari sistem kontrol. *Ladder diagram* menggunakan simbol standar untuk merepresentasikan elemen rangkaian dan fungsi dalam

sistem kontrol. *Ladder diagram* terdiri dari dua garis vertikal. Antara kedua garis-garis vertikal tersebut terdapat simbol-simbol *switch contact normally open (NO)*, *switch contact normally close (NC)*, *timer*, *counter*, dan *output*. Untuk menginput intruksi dalam bentuk ladder diagram ke PLC, digunakan *komputer*.

Berikut ini menunjukkan beberapa instruksi dasar yang sering digunakan dalam pemrograman PLC.

1. LOAD (LD)

Intruksi ini dibutuhkan jika urutan kerja pada suatu sistem kontrol hanya membutuhkan satu kondisi logika saja dan sudah dituntut untuk mengeluarkan satu output. Logikanya seperti kontak NO relai.



Gambar 2.5. Simbol *ladder diagram* untuk instruksi *LOAD*

2. LOAD NOT (LDNOT)

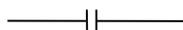
Intruksi ini dibutuhkan jika urutan kerja pada suatu sistem kontrol hanya membutuhkan satu kondisi logika saja dan dituntut untuk mengeluarkan satu output. Logikanya seperti kontak NC relai.



Gambar 2.6. Simbol *ladder diagram* untuk instruksi *LOAD NOT*

3. AND

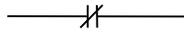
Intruksi ini dibutuhkan jika urutan kerja pada suatu sistem kontrol membutuhkan lebih dari satu kondisi logika yang harus terpenuhi semuanya untuk mengeluarkan satu output. Logikanya seperti kontak NO relay.



Gambar 2.7. Simbol *ladder diagram* untuk instruksi *AND*

4. ANDNOT

Instruksi ini dibutuhkan jika urutan kerja pada suatu sistem kontrol membutuhkan lebih dari satu logika yang harus terpenuhi semuanya untuk mengeluarkan satu output. Logikanya seperti kontak NC relay.



Gambar 2.8. Simbol *ladder diagram* untuk instruksi *ANDNOT*

5. OR

Intruksi ini dibutuhkan jika urutan kerja pada suatu sistem kontrol membutuhkan salah satu dari beberapa kondisi logika untuk mengeluarkan satu output. Logikanya seperti kontak NC relay.



Gambar 2.9. Simbol *ladder diagram* untuk instruksi *OR*

6. ORNOT

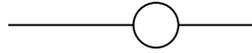
Intruksi ini dibutuhkan jika urutan kerja pada suatu sistem kontrol membutuhkan salah satu dari beberapa kondisi logika untuk mengeluarkan satu output. Logikanya seperti kontak NC relay.



Gambar 2.10. Simbol *ladder diagram* untuk instruksi *ORNOT*

7. OUT

Instruksi ini berfungsi untuk mengeluarkan output jika semua kondisi logika *ladder diagram* sudah terpenuhi. Logikanya seperti kontak NO relay.



Gambar 2.11. Simbol *ladder diagram* untuk instruksi *OUT*

2.5 Pembuatan Grafik dengan MATLAB

MATLAB (MATrix LABoratory), merupakan bahasa pemrograman yang mempergunakan teknik-teknik khusus *berbasiskan matriks* untuk menyelesaikan persoalan. Melalui kemampuan grafisnya, MATLAB menyediakan banyak pilihan untuk visualisasi data.

Perintah **plot** menggambarkan data dalam array pada sumbu yang bersesuaian, dan menghubungkan titik-titik tersebut dengan garis lurus.

Untuk memilih *style penandaan*, warna dan *bentuk garis* dapat dilakukan dengan memberikan argumen ketiga pada fungsi plot untuk setiap pasangan array data. Argumen tambahan ini adalah suatu karakter string yang terdiri dari satu atau lebih karakter dari Tabel 2.2.

Jika kita tidak memilih warna dan kita menggunakan *scheme default*, MATLAB akan memulainya dengan warna biru dan berputar berurutan ke ketujuh warna pertama dalam tabel untuk setiap penambahan baris. Default style garis adalah garis mulus, kecuali jika kita memberikan style garis yang lain. Tidak terdapat default penandaan, jika tidak ada penandaan yang dipilih, maka tidak ada penandaan yang diberikan. Penggunaan penandaan berarti menempatkan simbol yang dipilih pada setiap titik data.

Jika suatu warna, penandaan dan style garis, semuanya diberikan dalam string, warna yang dipilih juga berlaku untuk penandaan dan garis yang digunakan.

Tabel 2.1. *Style baris, warna dan penandaan*

<i>Simbol</i>	<i>Warna</i>	<i>Simbol</i>	<i>Penandaan</i>	<i>Simbol</i>	<i>Style Garis</i>
b	Biru	.	Titik	-	Garis mulus
g	Hijau	o	Lingkaran	:	Garis titik-titik
r	Merah	x	Tanda x	-.	Garis terpotong dan titik
c	Cyan	+	Tanda +		
m	Magenta	★	Bintang	--	Garis terpotong-potong
y	Kuning	s	Bujursangkar		
k	Hitam	d	Diamon		
w	Putih	^	Segitiga ke bawah		
		v	Segitiga ke atas		
		<	Segitiga ke kiri		
		>	Segitiga ke kanan		
		p	Pentagram		
		h	heksagram		

Style Grafik

Perintah *colordef* memungkinkan kita dapat memilih style untuk seluruh grafik. Style default yang digunakan adalah *colordef white*. Style ini menggunakan latar belakang putih, warna abu-abu disekeliling latar belakang putih, sumbu berwarna hitam dan memakai warna biru, hijau dan merah sebagai tiga warna pertama. Jika anda menyukai latar belakang hitam, gunakan *colordef black*. Style ini menggunakan latar belakang hitam, abu-abu gelap disekeliling latar belakang, sumbu berwarna putih dan tiga warna pertama yaitu kuning, magenta dan cyan.

Menggambar Grid, Kotak Keterangan, Label dan Legenda

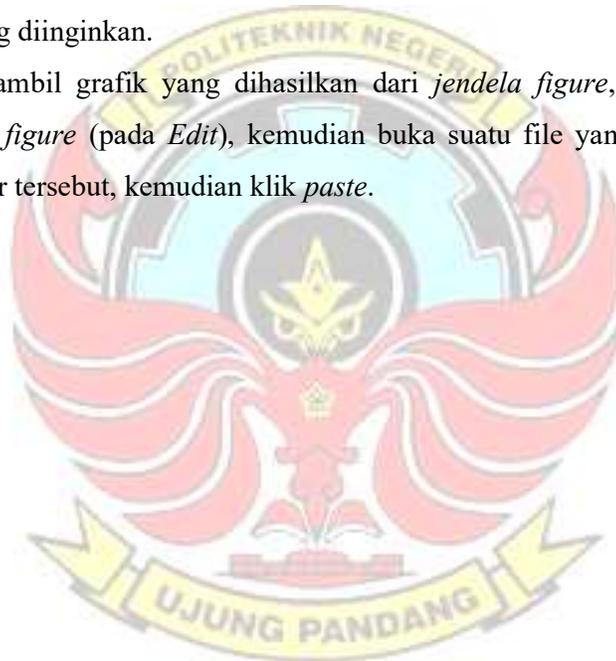
Perintah *grid on* memberikan garis-garis grid pada grafik yang ada pada titik-titik tanda pada sumbu. Perintah *grid off* menghilangkan garis-garis grid tersebut. *Grid* tanpa argumen segera akan menampilkan dan menghilangkan *grid*. Secara default MATLAB dimulai dengan *grid off* untuk grafik dua dimensi.

Normalnya sumbu dua dimensi dibatasi dengan garis mulus yang disebut *kotak sumbu*. Kotak tersebut dapat dihilangkan dengan perintah ***box off***.

Sumbu horizontal dan sumbu vertikal dapat diberi label dengan perintah *xlabel* dan *ylabel*. Perintah *title* akan menambahkan satu baris teks pada bagian atas grafik.

Salah satu cara penggunaan teks untuk mengidentifikasi data set dalam grafik, kita dapat menggunakan **legend**. Perintah legend menghasilkan kotak legenda dipojok kanan atas grafik, menampilkan teks apapun yang kita berikan untuk setiap garis dalam grafik. Jika ingin memindahkan legenda, lakukan dengan klik dan tahan tombol kiri mouse di dekat pojok legenda dan tarik legenda ke lokasi yang diinginkan.

Untuk mengambil grafik yang dihasilkan dari *jendela figure*, dapat dilakukan dengan *copy figure* (pada *Edit*), kemudian buka suatu file yang akan ditempati grafik/gambar tersebut, kemudian klik *paste*.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Sistem Kontrol PS Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin pada bulan Februari s.d. Juli 2008.

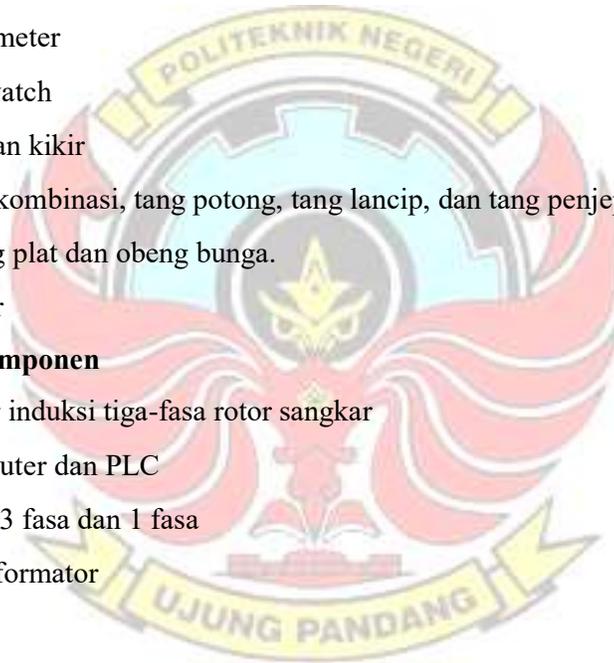
3.2 Alat dan Bahan yang Digunakan

a. Alat:

- Voltmeter
- Amperemeter
- Multimeter
- Stopwatch
- Bor dan kikir
- Tang kombinasi, tang potong, tang lancip, dan tang penjepit kabel
- Obeng plat dan obeng bunga.
- Solder

b. Bahan/Komponen

- Motor induksi tiga-fasa rotor sangkar
- Komputer dan PLC
- MCB 3 fasa dan 1 fasa
- Transformator
- Dioda
- Kapasitor
- Kontaktor
- Relai
- Tombol tekan/*push button*
- Saklar putar/*rotary switch*
- Timah
- PCB (*Printed Circuit Board*)
- Terminal



- Kabel

3.3 Metode Perancangan

Metode yang digunakan dalam perancangan ini adalah menghitung dan memilih. Proses perhitungan komponen yang akan digunakan ini penting, karena dapat menghindarkan kesalahan-kesalahan dalam pembuatan sistem yang diinginkan serta pembuatan lebih terarah dan teratur dari awal sampai akhir. Sedangkan pemilihan komponen dilakukan, karena tidak semua nilai dari hasil perancangan yang dihasilkan diperoleh di pasaran. Adapun prosedur perancangan, pembuatan dan pengujian sistem pengereman dinamis motor induksi tiga-fasa tersebut dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 3.1.

a. Menentukan input perancangan

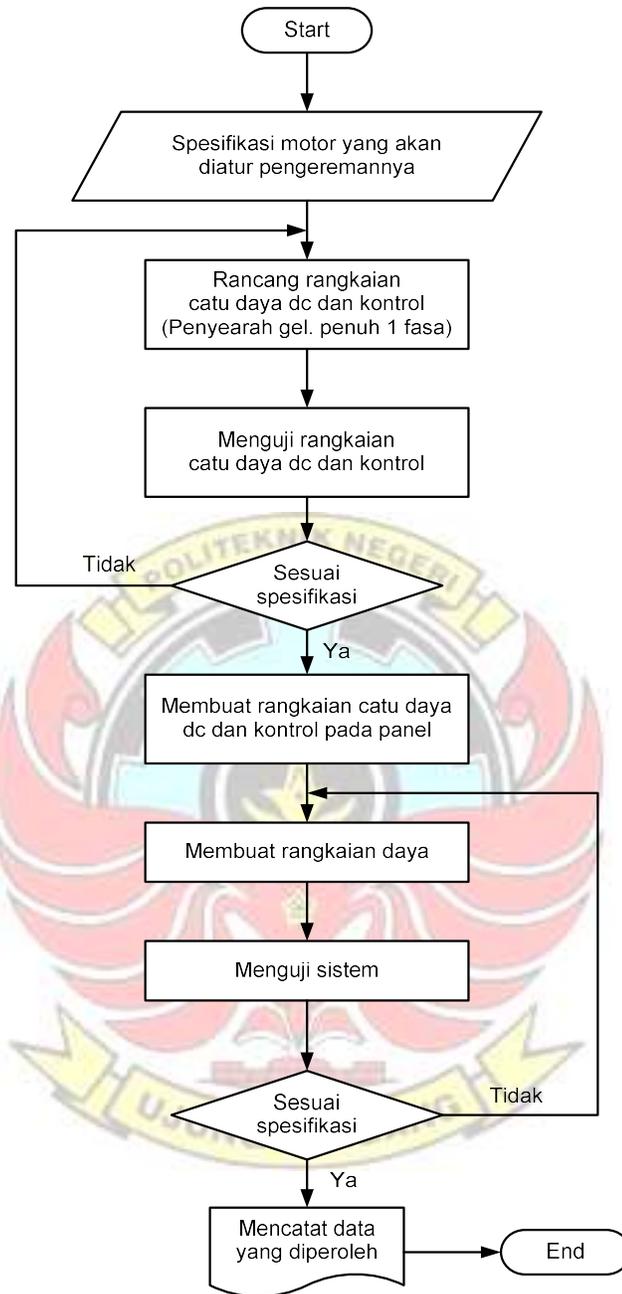
Input perancangan dari alat ini yaitu data yang diperoleh dari *name plate* motor dan dari hasil pengukuran langsung, seperti mengukur tahanan belitan motor. Data awal ini sangat penting untuk diketahui karena data tersebut merupakan acuan untuk memilih komponen-komponen yang digunakan, sehingga pada pembuatan alat tidak terjadi kesalahan.

b. Perancangan dan pemilihan komponen catu daya DC

Catu daya dc ini bertujuan untuk menghasilkan torsi pengereman ketika motor direm. Besar tegangan DC yang dibutuhkan, disesuaikan dengan arus motor dan besarnya tahanan belitan motor pada beberapa variasi belitan motor saat proses pengereman terjadi.

c. Perancangan rangkaian kontrol dan daya

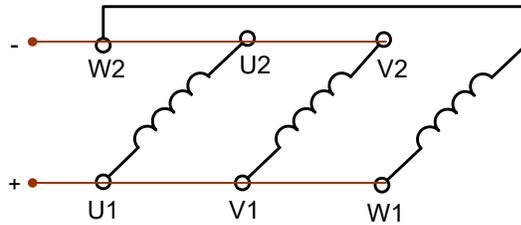
Ada dua jenis rangkaian kontrol yang akan dirancang, yaitu sistem *wired logic* (konvensional), dan sistem *ladder diagram* (dengan PLC).



Gambar 3.1 Diagram alir prosedur perancangan, pembuatan dan pengujian

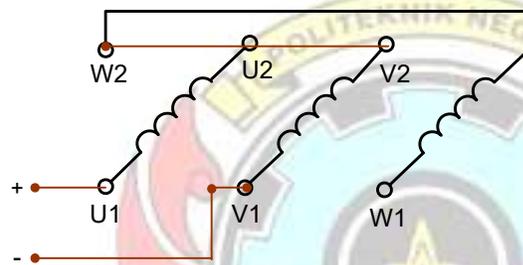
Beberapa hubungan ketiga belitan motor yang dapat dibuat saat proses pengereman terjadi adalah:

- Ketiga belitan diparalel (hubungan 1)



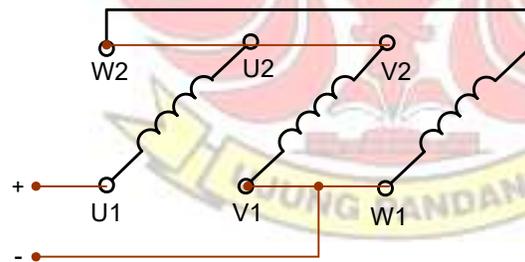
Gambar 3.2.

- Dua belitan diseri (hubungan 2)



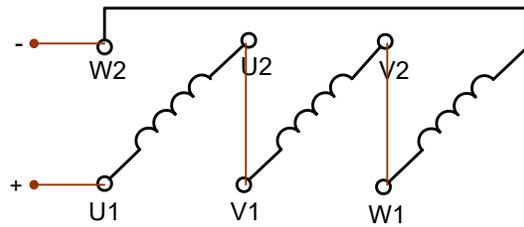
Gambar 3.3.

- Kombinasi paralel-seri (hubungan 3)



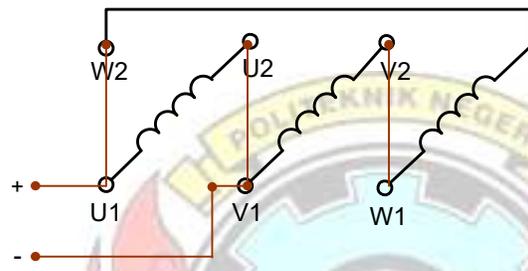
Gambar 3.4.

- Ketiga belitan diseri (hubungan 4)



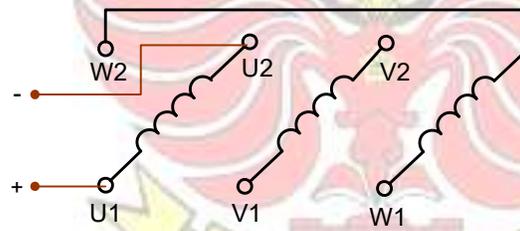
Gambar 3.5.

- Kombinasi seri-paralel (hubungan 5)



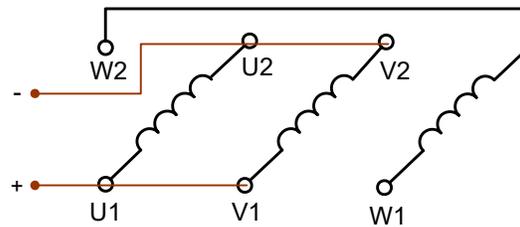
Gambar 3.6.

- Hanya satu belitan yang diberi tegangan DC (hubungan 6)



Gambar 3.7.

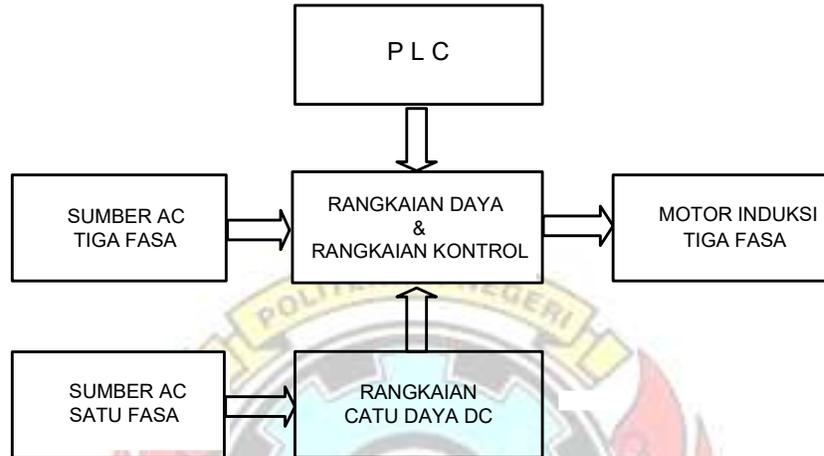
- Dua belitan diparalel (hubungan 7)



Gambar 3.8.

3.4 Metode Pembuatan

Komponen-komponen yang telah ditentukan berdasarkan hasil rancangan, selanjutnya akan dirangkai pada papan pengujian dengan susunan yang teratur sehingga memudahkan pengujian/pengambilan data. Diagram kotak sistem yang akan dibuat, diperlihatkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Diagram kotak sistem pengereman dinamis motor induksi

3.5 Metode Pengujian

Setelah pembuatan alat selesai, maka untuk mengetahui keberhasilan sistem pengereman dinamis ini dilakukan pengujian terhadap sistem tersebut. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian catu daya dc dan pengujian lama waktu berhenti motor induksi tiga-fasa. Adapun bentuk pengujiannya adalah sebagai berikut :

1. Pengujian catu daya dc untuk pengereman
2. Pengujian rangkaian kontrol.
3. Pengujian lama waktu berhenti motor induksi tiga-fasa
 - a. Pengujian tanpa pengereman dinamis.
 - b. Pengujian dengan pengereman dinamis sebagai fungsi arus pengereman (variasi tegangan DC) pada beberapa hubungan belitan motor seperti pada Gambar 3.2 s.d. 3.8.

Data yang telah diperoleh selanjutnya diolah menggunakan program komputer (MATLAB).

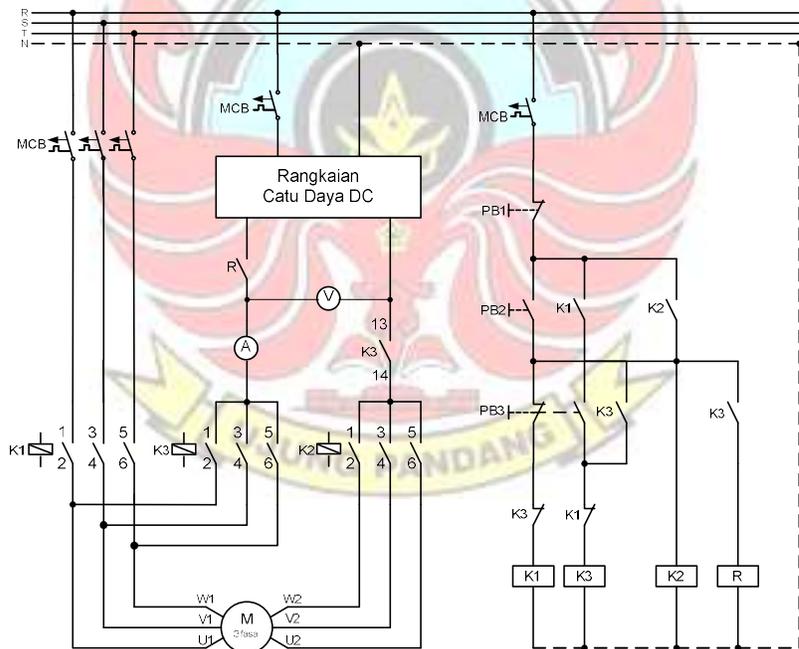
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Name plate motor induksi tiga-fasa rotor sangkar yang akan dibuatkan sistem pengereman dinamisnya adalah sebagai berikut:

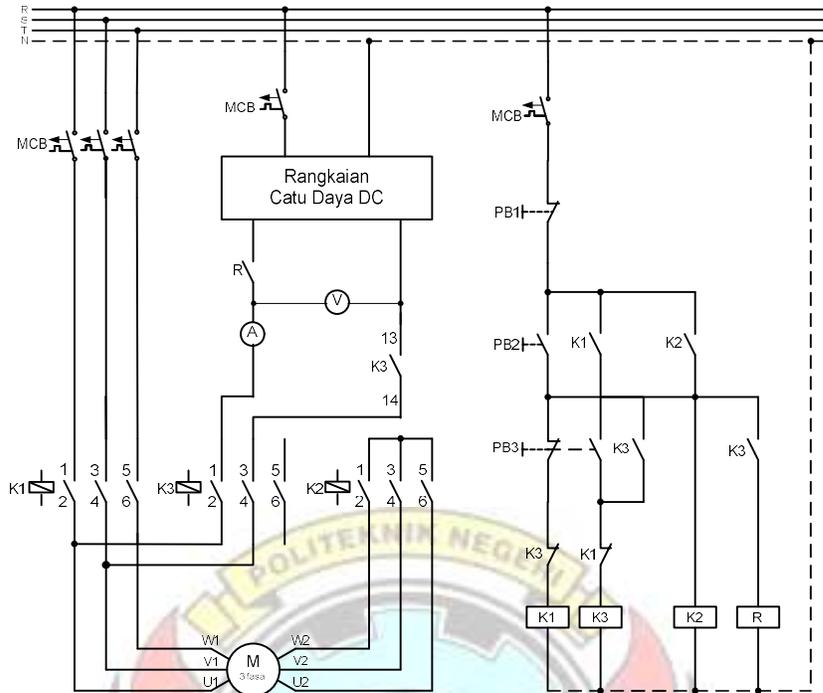
Tipe : JW 8014
P : ½ HP
V : 220/380 volt
I : 1,9/1,1 ampere
Hubungan : Δ/Y
n : 1400 rpm
f : 50 Hz
Isolasi kelas : E

Tahanan belitan statornya, rata-rata 18Ω per fasa.

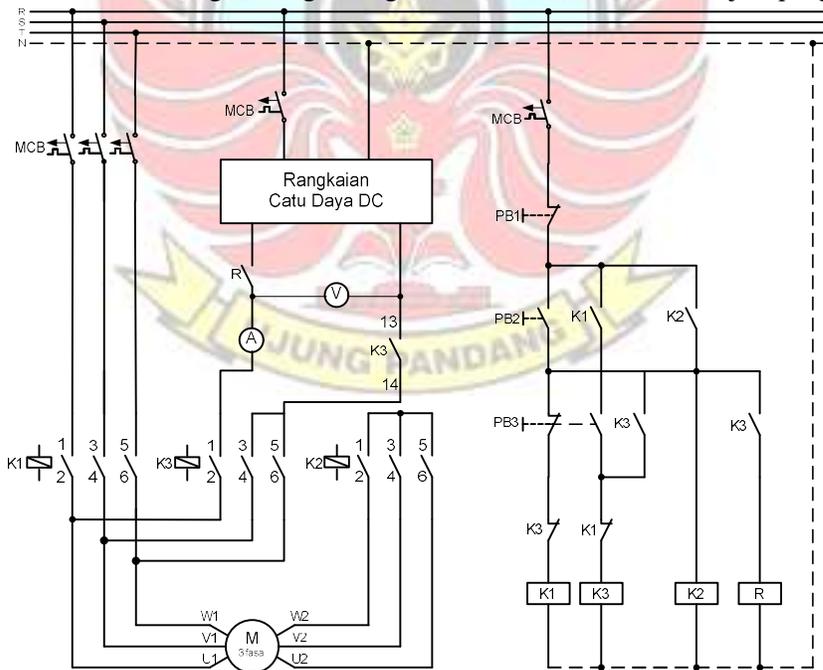
4.1 Rangkaian Daya dan Kontrol



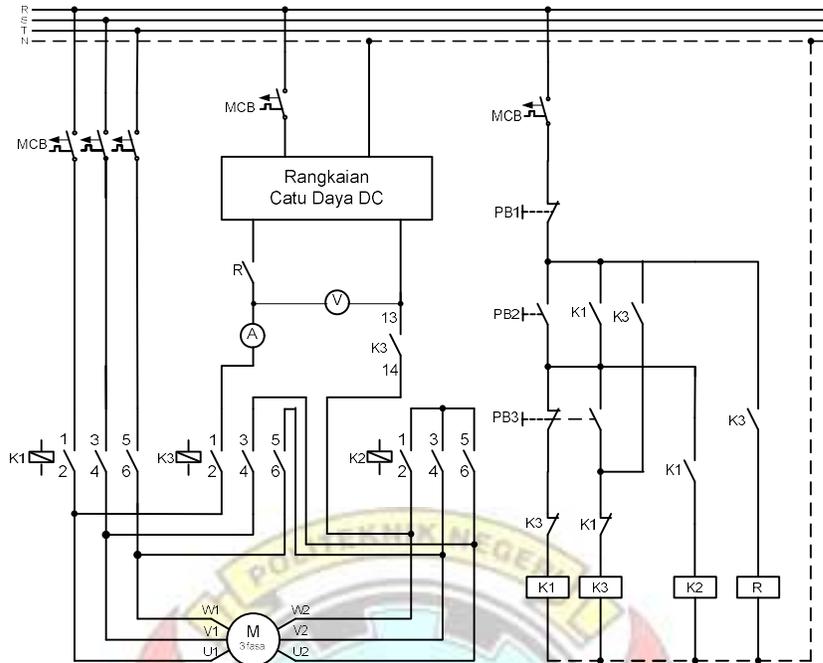
Gambar 4.1. Rangkaian daya dan kontrol pada pengoperasian dan pengereman motor induksi dengan memparalelkan ketiga belitan motor saat terjadi pengereman



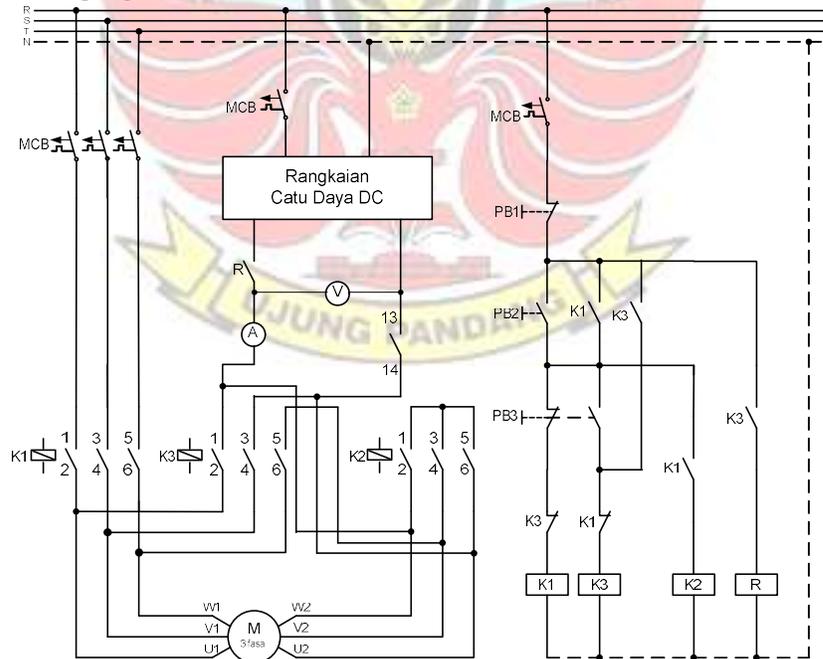
Gambar 4.2. Rangkaian daya dan kontrol pada pengoperasian dan pengereman motor induksi dengan menghubungkan seri dua belitan motor saat terjadi pengereman



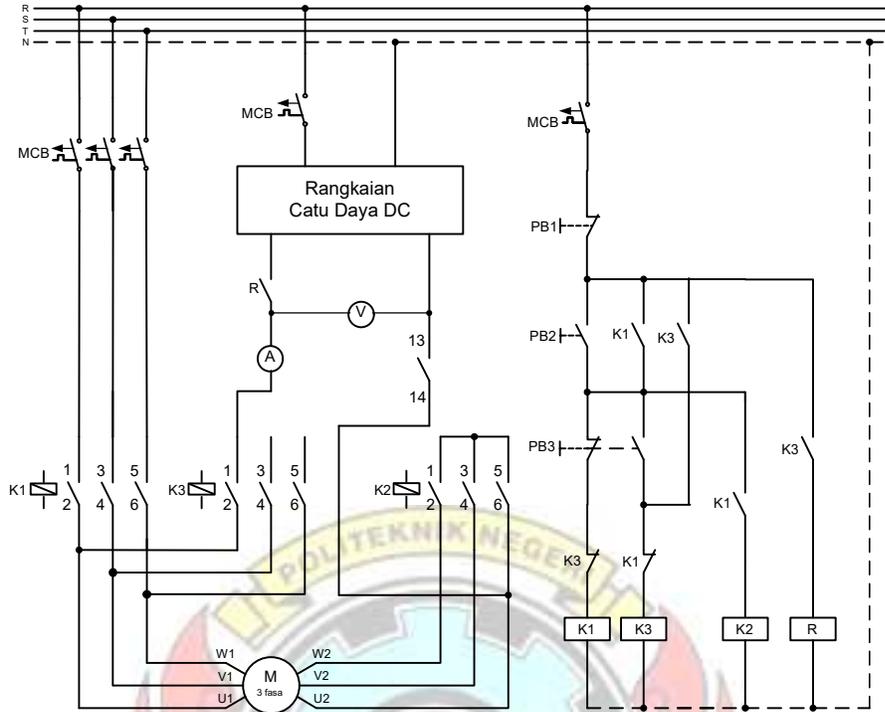
Gambar 4.3. Rangkaian daya dan kontrol pada pengoperasian dan pengereman motor induksi dengan menghubungkan paralel-seri belitan motor saat terjadi pengereman



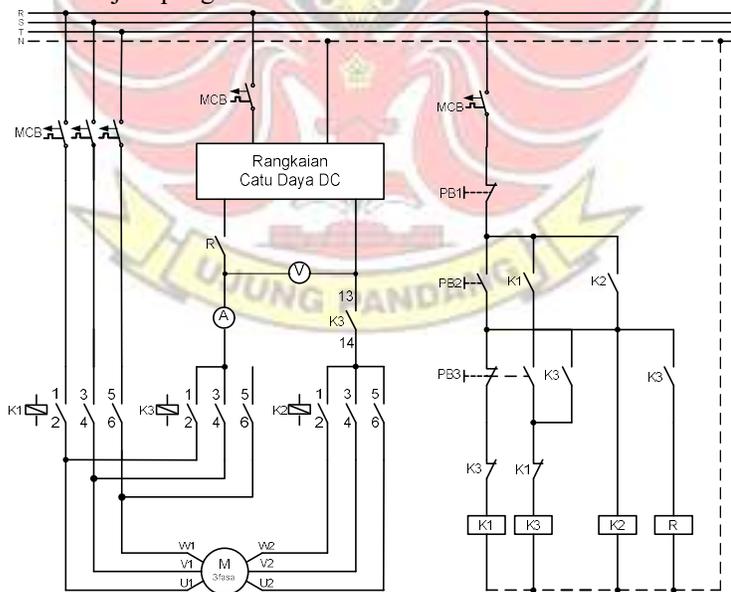
Gambar 4.4. Rangkaian daya dan kontrol pada pengoperasian dan pengereman motor induksi dengan menghubungkan seri ketiga belitan motor saat terjadi pengereman.



Gambar 4.5. Rangkaian daya dan kontrol pada pengoperasian dan pengereman motor induksi dengan menghubungkan seri-paralel belitan motor saat terjadi pengereman



Gambar 4.6. Rangkaian daya dan kontrol pada pengoperasian dan pengereman motor induksi dengan menginjeksikan tegangan DC pada salah satu belitan motor saat terjadi pengereman

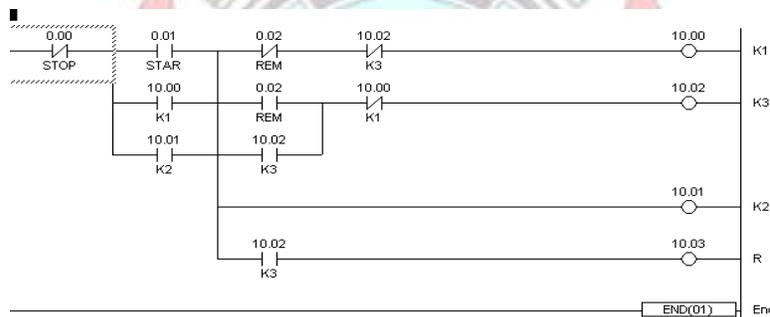


Gambar 4.7. Rangkaian daya dan kontrol pada pengoperasian dan pengereman motor induksi dengan menghubungkan paralel dua belitan motor saat terjadi pengereman

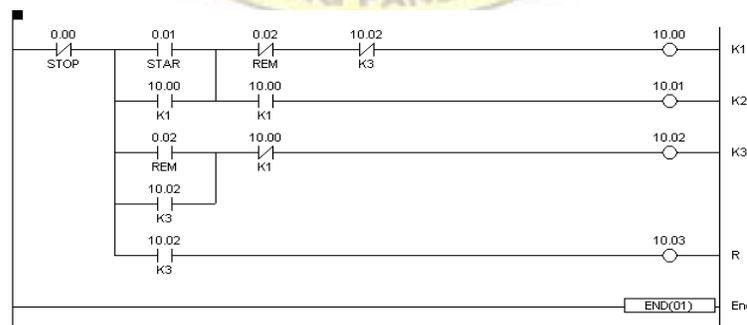
Dengan pengaturan alamat peralatan input-output seperti pada Tabel 4.1 maka diperoleh *ladder-diagram* untuk rangkaian Gambar 4.1, 4.2, 4.3, dan 4.7, *ladder-diagram*-nya seperti pada Gambar 4.8, sedangkan untuk rangkaian Gambar 4.4, 4.5, dan 4.6, *ladder-diagram*-nya seperti pada Gambar 4.9.

Tabel 4.1. Pengalamatan peralatan I/O sistem pengereman motor induksi

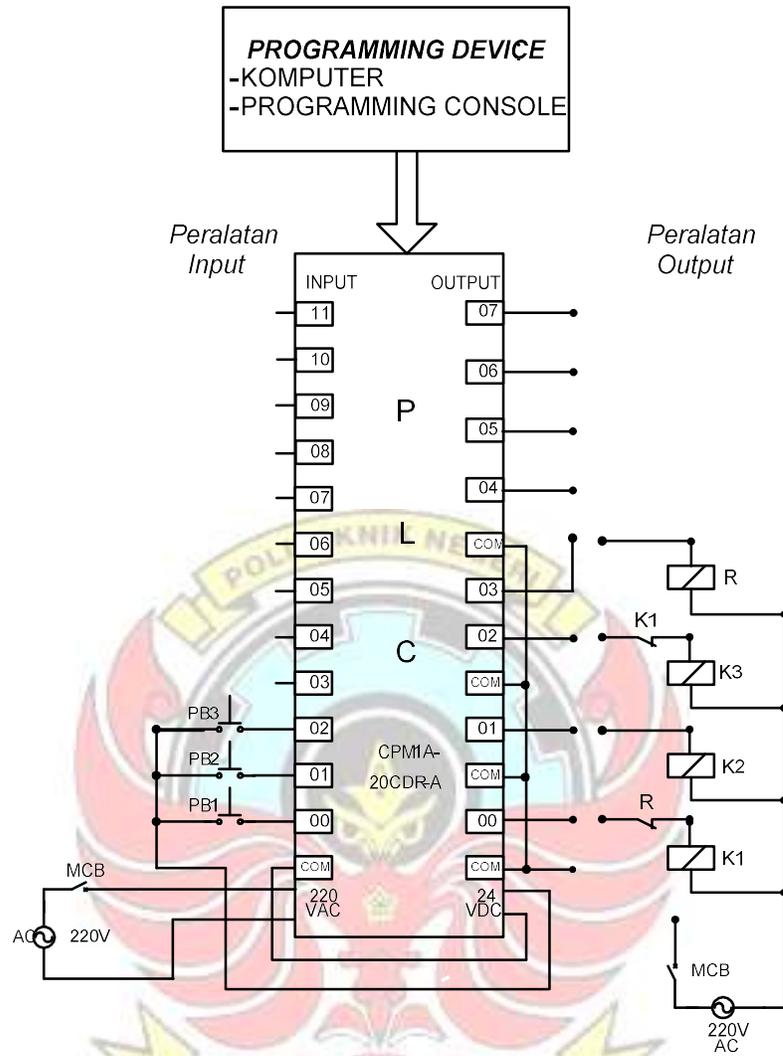
Input		Output	
Pengalamatan	Peralatan	Pengalamatan	Peralatan
0.00	PB1 (STOP)	10.00	Kontaktor K1
0.01	PB2 (START)	10.01	Kontaktor K2
0.02	PB3 (REM)	10.02	Relai R



Gambar 4.8. Ladder diagram untuk rangkaian Gambar Gambar 4.1, 4.2, 4.3, dan 4.7.



Gambar 4.9. Ladder diagram untuk rangkaian Gambar Gambar 4.4, 4.5, dan 4.6.



Gambar 4.10. Hubungan peralatan input-output dengan PLC

4.2 Data Hasil Pengamatan

Berdasarkan hasil rancangan rangkaian daya dan rangkaian kontrol maka diperoleh data hasil pengujian seperti pada Tabel 4.2. s.d. Tabel 4.8.

4.2.1 Analisa data pada hubungan 1

Contoh perhitungan diambil data pada nomor 1.

- Daya pengereman :

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 4,6 \times 0,68 \\ &= 3,13 \text{ W} \end{aligned}$$

- Arus pada belitan saat pengereman :

$$\begin{aligned} \text{➤ } I_1 &= \frac{0,68}{3} = 0,23 \text{ Ampere} \\ \text{➤ } I_2 &= \frac{0,68}{3} = 0,23 \text{ Ampere} \\ \text{➤ } I_3 &= \frac{0,68}{3} = 0,23 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Tabel 4.2. Hasil pengamatan waktu, arus, dan daya pengereman pada rangkaian Gambar 4.1 (Hubungan 1)

Posisi Saklar	Vp [V]	Ip [A]	t [det]	Arus pada belitan saat pengereman			Daya pengereman [W]
				I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	
1	4,6	0,68	2,65	0,23	0,23	0,23	3,13
2	6,8	1,06	1,19	0,35	0,35	0,35	7,21
3	9,4	1,44	0,57	0,48	0,48	0,48	13,54
4	11	1,7	0,45	0,57	0,57	0,57	18,70
5	12,4	1,9	0,33	0,63	0,63	0,63	23,56

4.2.2 Analisa data pada hubungan 2

Contoh perhitungan diambil data pada nomor 1.

- Daya pengereman :

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 6 \times 0,18 \\ &= 1,08 \text{ W} \end{aligned}$$

- Arus pada belitan saat pengereman :
 - $I_1 = \frac{0,18}{1} = 0,18$ Ampere
 - $I_2 = \frac{0,18}{1} = 0,18$ Ampere
 - $I_3 = 0$ Ampere

Tabel 4.3. Hasil pengamatan waktu, arus, dan daya pengereman pada rangkaian Gambar 4.2 (Hubungan 2)

Posisi Saklar	Vp [V]	Ip [A]	t [det]	Arus pada belitan saat pengereman			Daya pengereman [W]
				I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	
1	6	0,18	3,87	0,18	0,18	0	1,08
2	9,6	0,28	1,75	0,28	0,28	0	2,69
3	13,4	0,38	1,41	0,38	0,38	0	5,09
4	16,8	0,46	0,93	0,46	0,46	0	7,73
5	19,6	0,54	0,4	0,54	0,54	0	10,58

4.2.3 Analisa data pada hubungan 3

Contoh perhitungan diambil data pada nomor 1.

- Daya pengereman :

$$\begin{aligned}
 P &= V \times I \\
 &= 6 \times 0,22 \\
 &= 1,32 \text{ W}
 \end{aligned}$$
- Arus pada belitan saat pengereman :
 - $I_1 = \frac{0,22}{1} = 0,22$ Ampere
 - $I_2 = \frac{0,22}{2} = 0,11$ Ampere
 - $I_3 = \frac{0,22}{2} = 0,11$ Ampere

Tabel 4.4. Hasil pengamatan waktu, arus, dan daya pengereman pada rangkaian Gambar 4.3 (Hubungan 3)

Posisi Saklar	Vp [V]	Ip [A]	t [det]	Arus pada belitan saat pengereman			Daya pengereman [W]
				I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	
1	6	0,22	2,28	0,22	0,11	0,11	1,32
2	9,4	0,36	0,69	0,36	0,18	0,18	3,38
3	12,8	0,48	0,53	0,48	0,24	0,24	6,14
4	16,1	0,59	0,31	0,59	0,295	0,295	9,50
5	18,8	0,66	0,25	0,66	0,33	0,33	12,41

4.2.4 Analisa data pada hubungan 4

Contoh perhitungan diambil data pada nomor 1.

- Daya pengereman :

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 6 \times 0,19 \\ &= 1,14 \text{ W} \end{aligned}$$

- Arus pada belitan saat pengereman :

$$\begin{aligned} \text{➤ } I_1 &= \frac{0,19}{1} = 0,19 \text{ Ampere} \\ \text{➤ } I_2 &= \frac{0,19}{1} = 0,19 \text{ Ampere} \\ \text{➤ } I_3 &= \frac{0,19}{1} = 0,19 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Tabel 4.5. Hasil pengamatan waktu, arus, dan daya pengereman pada rangkaian Gambar 4.4 (Hubungan 4)

Posisi Saklar	Vp [V]	Ip [A]	t [det]	Arus pada belitan saat pengereman			Daya pengereman [W]
				I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	
1	6	0,19	5,53	0,19	0,19	0,19	1,14
2	9,6	0,27	2,88	0,27	0,27	0,27	2,59
3	13,2	0,37	1,65	0,37	0,37	0,37	4,88
4	16,4	0,45	1,44	0,45	0,45	0,45	7,38
5	19,4	0,53	1,09	0,53	0,53	0,53	10,28

4.2.5 Analisa data pada hubungan 5

Contoh perhitungan diambil data pada nomor 1.

- Daya pengereman :

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 5,3 \times 0,42 \\ &= 2,23 \text{ W} \end{aligned}$$

- Arus pada belitan saat pengereman :

$$\begin{aligned} \text{➤ } I_1 &= \frac{0,42 \times 2}{3} = 0,28 \text{ Ampere} \\ \text{➤ } I_2 &= \frac{0,42}{3} = 0,14 \text{ Ampere} \\ \text{➤ } I_3 &= \frac{0,42}{3} = 0,14 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Tabel 4.6. Hasil pengamatan waktu, arus, dan daya pengereman pada rangkaian Gambar 4.5 (Hubungan 5)

Posisi Saklar	Vp [V]	Ip [A]	t [det]	Arus pada belitan saat pengereman			Daya pengereman [W]
				I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	
1	5,3	0,42	1,22	0,28	0,14	0,14	2,23
2	8,3	0,66	0,84	0,44	0,22	0,22	5,48
3	11	0,89	0,60	0,59	0,30	0,30	9,80
4	13,6	1,09	0,50	0,73	0,36	0,36	14,82
5	15,8	1,23	0,39	0,82	0,41	0,41	19,43

4.2.6 Analisa data pada hubungan 6

Contoh perhitungan diambil data pada nomor 1.

- Daya pengereman :

$$\begin{aligned}
 P &= V \times I \\
 &= 5,4 \times 0,31 \\
 &= 1,67 \text{ W}
 \end{aligned}$$

- Arus pada belitan saat pengereman :

- $I_1 = \frac{0,31}{1} = 0,31 \text{ Ampere}$
- $I_2 = 0 \text{ Ampere}$
- $I_3 = 0 \text{ Ampere}$

Tabel 4.7. Hasil pengamatan waktu, arus, dan daya pengereman pada rangkaian Gambar 4.6 (Hubungan 6)

Posisi Saklar	Vp [V]	Ip [A]	t [det]	Arus pada belitan saat pengereman			Daya pengereman [W]
				I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	
1	5,4	0,31	2,94	0,31	0	0	1,67
2	8,6	0,48	1,66	0,48	0	0	4,13
3	11,8	0,64	0,85	0,64	0	0	7,55
4	14,6	0,77	0,59	0,77	0	0	11,24
5	17	0,92	0,53	0,92	0	0	15,64

4.2.7 Analisa data pada hubungan 7

Contoh perhitungan diambil data pada nomor 1.

- Daya pengereman :

$$\begin{aligned}
 P &= V \times I \\
 &= 5 \times 0,54 \\
 &= 2,70 \text{ W}
 \end{aligned}$$

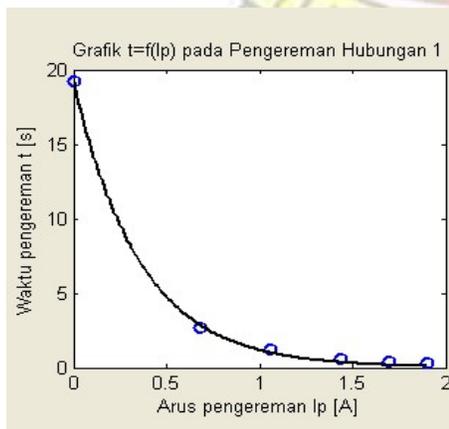
- Arus pada belitan saat pengereman :
 - $I_1 = \frac{0,54}{2} = 0,27$ Ampere
 - $I_2 = \frac{0,54}{2} = 0,27$ Ampere
 - $I_3 = 0$ Ampere

Tabel 4.8. Hasil pengamatan waktu, arus, dan daya pengereman pada rangkaian Gambar 4.7 (Hubungan 7)

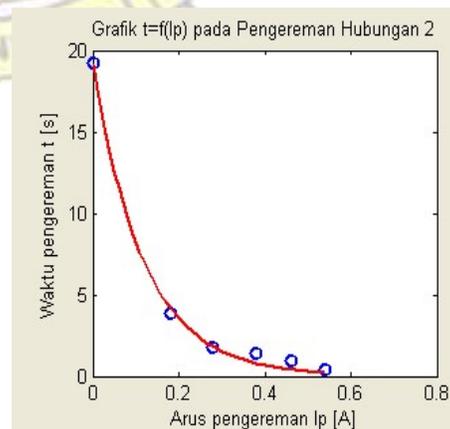
Posisi Saklar	V_p [V]	I_p [A]	t [det]	Arus pada belitan saat pengereman			Daya pengereman [W]
				I_1 [A]	I_2 [A]	I_3 [A]	
1	5	0,54	1,69	0,27	0,27	0	2,70
2	7,6	0,8	0,98	0,4	0,4	0	6,08
3	10,4	1,1	0,53	0,55	0,55	0	11,44
4	12,4	1,32	0,34	0,66	0,66	0	16,37
5	14,4	1,52	0,22	0,76	0,76	0	21,89

4.3 Pembahasan

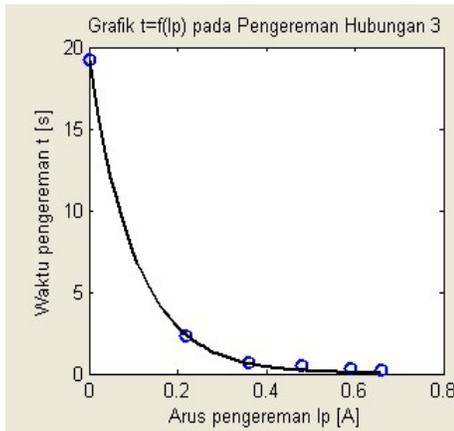
Berdasarkan data hasil pengamatan pada Tabel 4.2 s.d. Tabel 4.8, dengan menggunakan pendekatan fungsi eksponensial (dengan bantuan program MATLAB) untuk menggambarkan hubungan antara waktu pengereman (t) dengan arus injeksi/ arus pengereman (i_p) maka diperoleh grafik seperti pada Gambar 4.11. Dengan cara yang sama, diperoleh grafik hubungan waktu pengereman (t) dengan daya pengereman (P), seperti diperlihatkan pada Gambar 4.12.



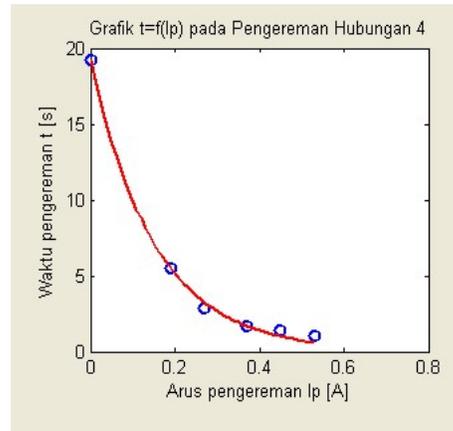
(a)



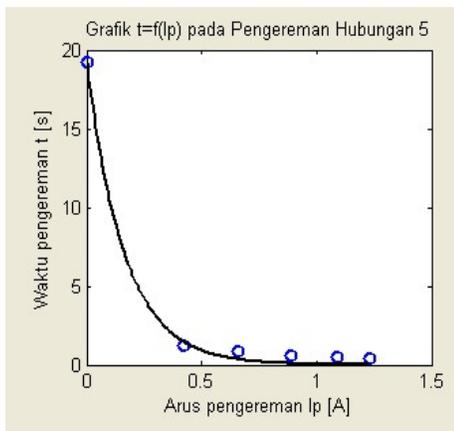
(b)



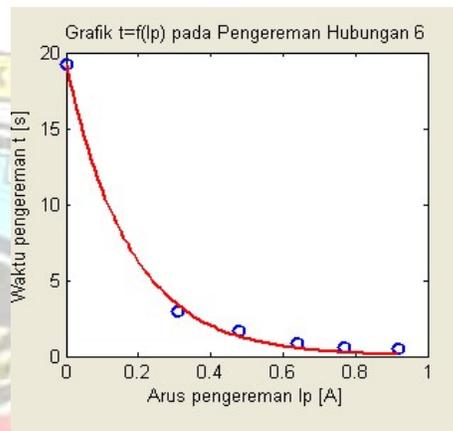
(c)



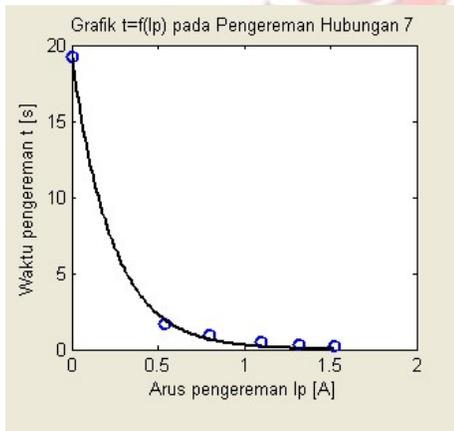
(d)



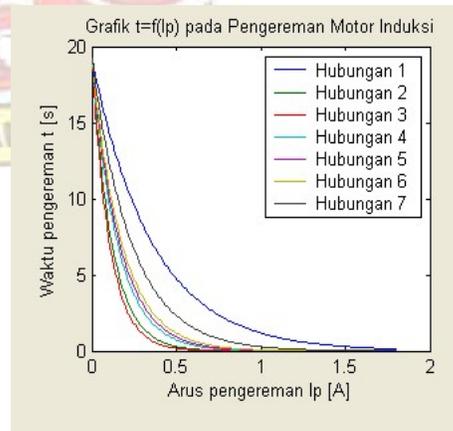
(e)



(f)



(g)



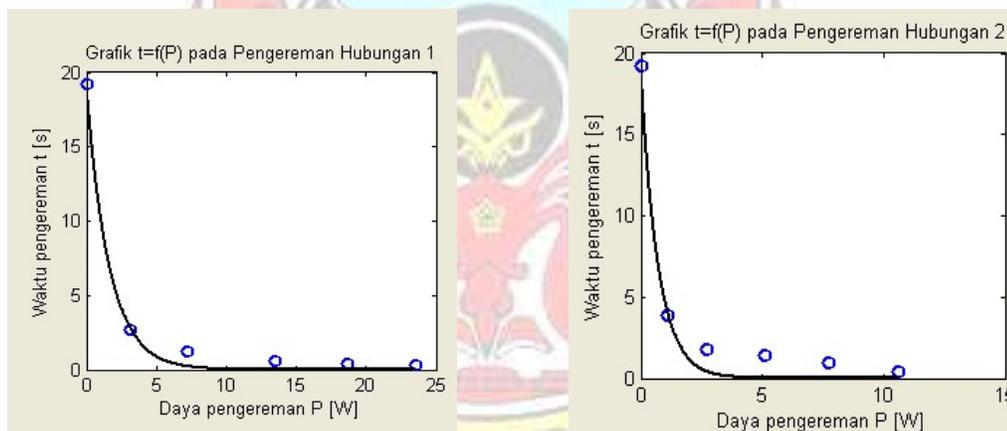
(h)

Gambar 4.11. Grafik hubungan waktu pengereman dengan arus pengereman

Hubungan fungsional antara waktu pengereman (t) dan arus pengereman (i_p), adalah sebagai berikut:

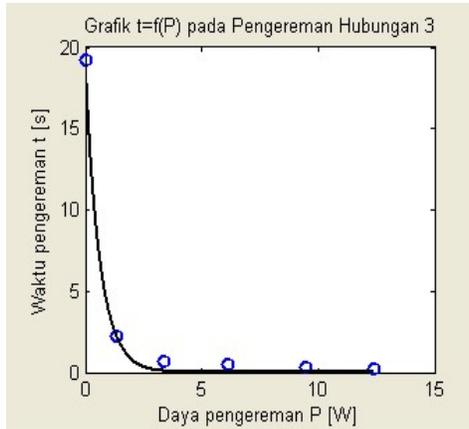
- Hubungan 1 : $t = 19,2 e^{-2,793 i_p}$
- Hubungan 2 : $t = 19,17 e^{-8,405 i_p}$
- Hubungan 3 : $t = 19,21 e^{-9,468 i_p}$
- Hubungan 4 : $t = 19,19 e^{-6,561 i_p}$
- Hubungan 5 : $t = 19,21 e^{-6,085 i_p}$
- Hubungan 6 : $t = 19,19 e^{-5,615 i_p}$
- Hubungan 7 : $t = 19,21 e^{-4,235 i_p}$

Dari Gambar 4.11(h), nampak bahwa konfigurasi hubungan yang menghasilkan waktu pengereman cepat untuk arus yang kecil adalah hubungan 3 (dua belitan paralel + 1 belitan seri).

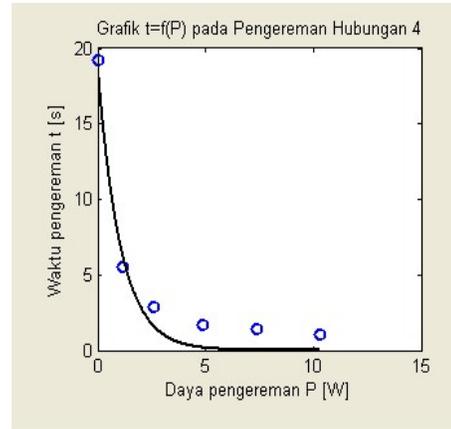


(a)

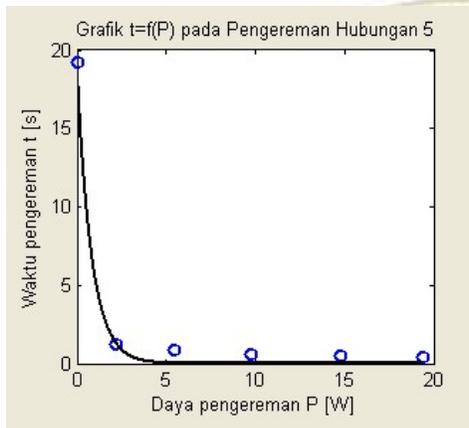
(b)



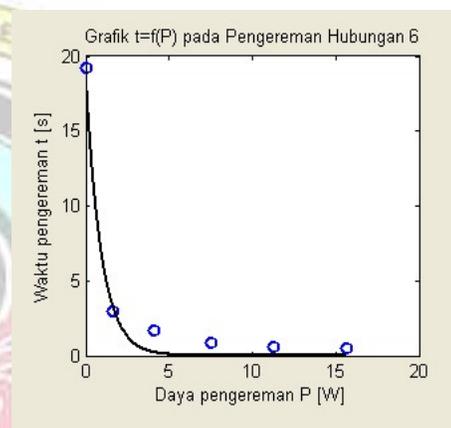
(c)



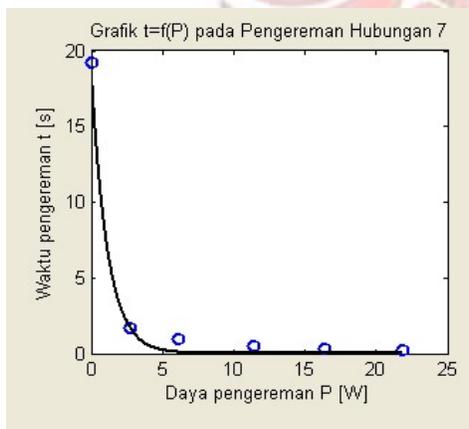
(d)



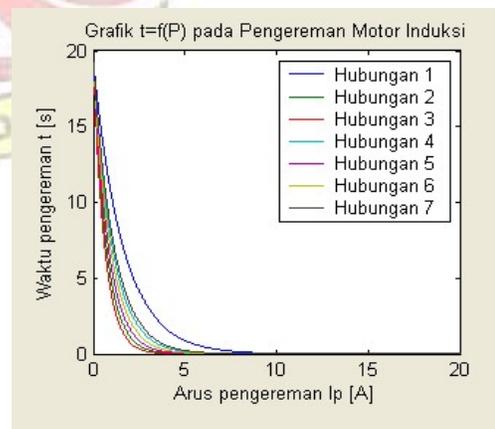
(e)



(f)



(g)



(h)

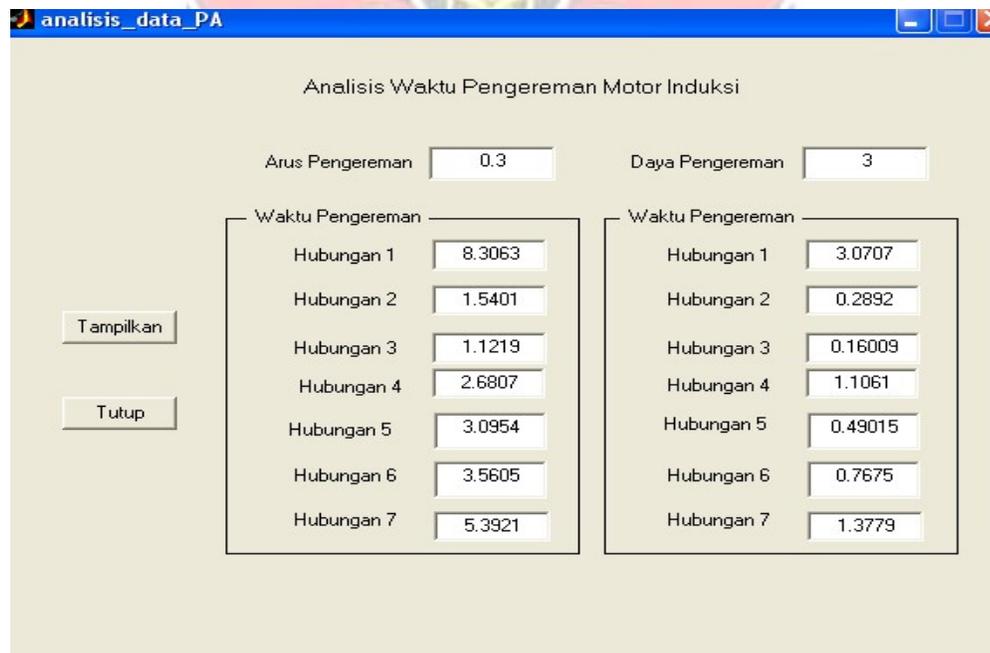
Gambar 4.12. Grafik hubungan waktu pengereman dengan daya pengereman

Hubungan fungsional antara waktu pengereman (t) dan daya pengereman (P), adalah sebagai berikut:

- Hubungan 1 : $t = 19,2 e^{-0,611 P}$
- Hubungan 2 : $t = 19,17 e^{-1,398 P}$
- Hubungan 3 : $t = 19,22 e^{-1,596 P}$
- Hubungan 4 : $t = 19,03 e^{-0,9484 P}$
- Hubungan 5 : $t = 19,22 e^{-1,223 P}$
- Hubungan 6 : $t = 19,19 e^{-1,073 P}$
- Hubungan 7 : $t = 19,21 e^{-0,8783 P}$

Dari Gambar 4.12(h), nampak bahwa konfigurasi hubungan yang menghasilkan waktu pengereman cepat untuk daya yang kecil adalah hubungan 3 (dua belitan paralel + 1 belitan seri).

Berdasarkan hubungan fungsional di atas maka untuk mensimulasikan waktu pengereman pada arus dan daya tertentu, dengan menggunakan program Matlab diperoleh contoh hasil seperti pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13. Contoh simulasi waktu pengereman motor induksi

Dari hasil tersebut di atas, diperoleh bahwa konfigurasi hubungan yang menghasilkan waktu pengereman cepat dengan arus dan daya yang terkecil adalah hubungan 3 (dua belitan paralel + 1 belitan seri).



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil rancangan dan pengujian sistem pengereman dinamis motor induksi, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan PLC sebagai alat kontrol pada sistem pengereman dinamis motor induksi tiga fasa diperoleh sistem pengontrolan yang mudah diatur dan dimodifikasi/dikembangkan.
2. Makin besarnya arus dc dan daya yang diinjeksikan ke belitan motor induksi pada saat pengereman terjadi, makin cepat motor berhenti.
3. Konfigurasi hubungan yang menghasilkan waktu pengereman cepat dengan arus dan daya yang terkecil adalah hubungan paralel dua belitan yang diserikan dengan belitan yang lain.

5.2. Saran

Untuk memperoleh hubungan belitan yang menghasilkan waktu pengereman yang paling efisien maka perlu pengamatan lebih lanjut tentang pengaruh arah arus dalam belitan terhadap waktu pengereman.

Untuk pengereman motor dengan menggunakan motor berkapasitor besar disarankan untuk menggunakan kontaktor lebih besar pula dari sebelumnya serta diimbangi arus pengereman yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Malvino, Albert Paul. 1994. *Prinsip-prinsip Elektronika*. Diterjemahkan oleh: M. Barmawi dan M.O. Tjia. Jakarta: Erlangga.
- McIntyre, Robert L. and Rex Losee. 1991. *Industrial Motor Control Fundamentals*. 4th Edition. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Petruzella, Frank D. 2001. *Elektronik Industri*. Diterjemahkan oleh Sumanto. Yogyakarta: Andi Offset.
- Sugiharto, Aris. 2006. *Pemrograman GU dengan MATLAB*. Jogyakarta: Andi Offset.
- Warsito, Agung, M. Facta, dan M. Anantha B.P. 2006. *Pengereman Dinamik Pada Motor Induksi Tiga Fasa*. Transmisi Vol. 11 No. 1.
- Wildi, Theodore. 1981. *Electrical Power Technology*. New York: Sperika Enterprise Ltd.
- Zuhal. 1993. *Dasar Teknik Listrik Dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.



LAMPIRAN





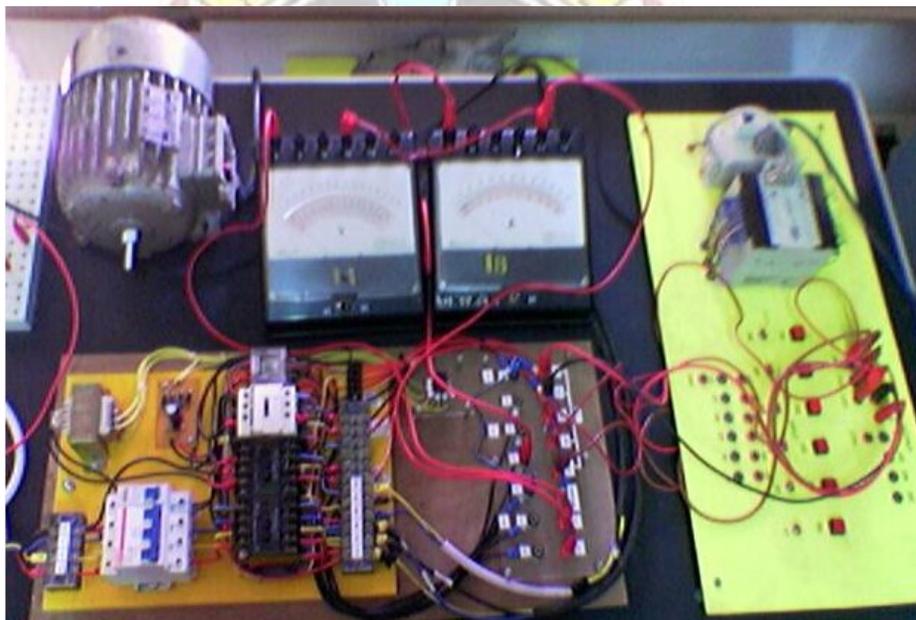
Gambar 1 Catu daya 1-fasa DC



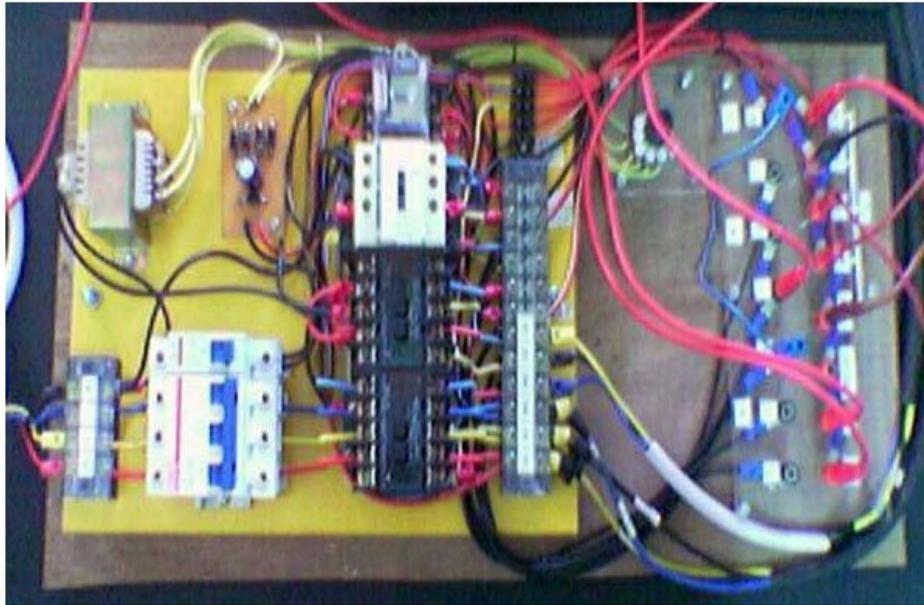
Gambar 2 Motor induksi tiga-fasa rotor sangkar



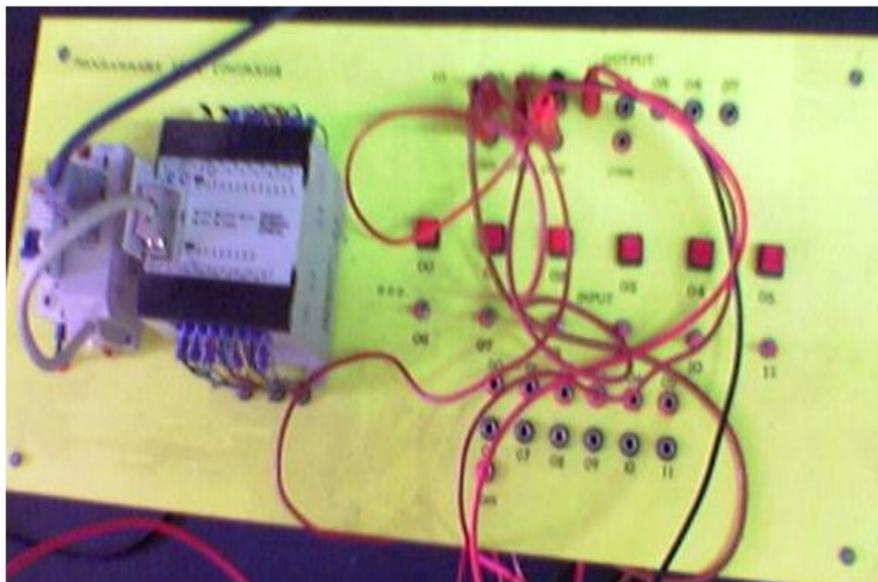
Gambar 3 Potensiometer



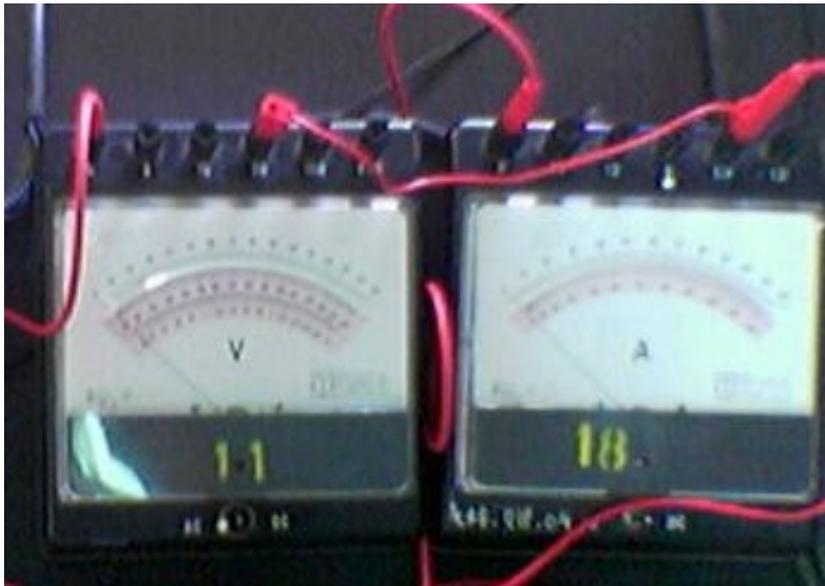
Gambar 4 Pengujian pengereman dinamis pada motor induksi tiga-fasa keseluruhan



Gambar 5 Pengujian pengereman dinamis pada motor induksi tiga-fasa



Gambar 6 Panel PLC



Gambar 7 Instrumen penelitian

