

SOFT STARTING DAN DYNAMIC BRAKING

PADA MOTOR INDUKSI TIGA FASA

MENGUNAKAN MIKROKONTROLER AT89S51

Agung Sugiharto B (L2F 302 453)
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Abstrak - Motor induksi rotor sangkar tupai pada saat dihubungkan langsung dengan tegangan jala – jala akan menarik arus yang sangat besar. Arus pengasutan akan mengalir pada sistem saluran tenaga sebesar 500% - 800% dari arus beban penuh motor, yang menyebabkan penurunan tegangan sistem yang cukup besar yang mungkin juga berpengaruh pada peralatan lain yang terpasang didalam satu jalur sistem saluran. Jika arus yang besar mengalir dalam waktu yang lama dapat membuat motor maupun kabel penghantar menjadi terlalu panas dan merusakkan isolasi. Pengereman motor induksi secara mekanis juga memiliki kerugian terutama kerugian mekanis dan panas yang ditimbulkan.

Metode pengasutan yang digunakan untuk mengatasi masalah tersebut adalah metode pengasutan soft starting. Soft Starting adalah rangkaian elektronika daya yang memiliki kemampuan untuk mengatur besar tegangan keluaran, sehingga dapat digunakan sebagai metode pengasutan motor induksi dan bertujuan untuk mendapatkan pengasutan yang dapat mengurangi arus start. Komponen elektronika daya yang digunakan dalam rangkaian soft starting adalah SCR (Silicon Controlled Rectifier). Nilai tegangan keluaran yang dihasilkan tergantung besarnya sinyal sudut pemicuan yang diterapkan pada SCR. Proses pemicuan pada SCR diatur menggunakan mikrokontroler AT89S51. Metode pengereman motor dapat dirancang secara dinamik, dengan menginjeksikan arus searah pada kumparan stator motor setelah hubungan kumparan stator dilepaskan dari sumber tegangan suplai sehingga akan menghasilkan torsi pengereman pada motor. Yang bertujuan untuk mengurangi kerugian – kerugian mekanis. Proses pergantian tegangan AC ke tegangan DC pada saat pengereman dikontrol oleh mikrokontroler AT89S51.

Metode pengasutan soft starting dapat digunakan untuk mengatur dan mengurangi arus pengasutan motor induksi, sehingga arus pengasutan dapat diatur mulai 40% hingga mencapai arus nominal motor dibandingkan dengan pengasutan DOL yang mencapai 120% dari arus nominal motor untuk sebuah motor induksi tiga fasa 380V, 2.0A jenis sangkar tupai dengan konfigurasi belitan stator hubung bintang. Metode pengereman dinamik digunakan untuk menghentikan motor induksi secara cepat tergantung pada besarnya arus injeksi DC yang diberikan.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor AC Memiliki kelemahan yang berupa arus pengasutan awal yang mencapai lima ratus hingga delapan ratus persen dari arus nominal kerja motor beban penuh, terutama untuk motor berdaya besar. Arus pengasutan awal yang besar dapat mengakibatkan penurunan tegangan sistem dan mengganggu kerja sistem peralatan lain dalam satu saluran, seperti peralatan – peralatan elektronik. Sehingga diperlukan suatu metode pengasutan dengan pengurangan tegangan pada motor induksi yang bertujuan untuk mengurangi arus pengasutan awal.

Metode Pengasutan yang digunakan yaitu, metode *soft starting*, diharapkan tegangan dan arus dari sumber tenaga dapat mengalir masuk kedalam motor AC secara bertahap, sehingga tidak memerlukan arus pengasutan yang besar.

Pengaturan metode *soft starting* dilakukan dengan menggunakan komponen elektronika daya yaitu, SCR (*Silicon Control Rectifier*). Tegangan masukan motor induksi diatur dengan memberikan sinyal tunda dan sulut pada SCR dengan waktu tertentu. Sinyal tunda dan sulut untuk SCR diatur oleh sebuah mikrokontroler. Besar kecil tegangan yang dihasilkan dari keluaran SCR tergantung dari waktu tunda dan penyulutan yang diatur oleh mikrokontroler.

Pengereman pada motor induksi, secara umum masih menggunakan cara sederhana, yaitu dengan memasang kampas rem pada poros motor induksi yang dikendalikan secara listrik maupun mekanik, pengereman tersebut memiliki kerugian antara lain kerugian mekanis. Pengereman untuk menghentikan putaran motor induksi dapat dirancang secara dinamik, yaitu dengan menggunakan sistem pengereman yang dilakukan dengan membuat medan magnetik motor stasioner. Keadaan tersebut dapat dilakukan dengan menginjeksikan arus searah (DC) pada kumparan stator motor setelah hubungan kumparan stator dilepaskan dari sumber tegangan suplai. Metode pengereman dinamis

memiliki beberapa keuntungan antara lain kemudahan pengaturan kecepatan pengereman terhadap motor dan kerugian – kerugian mekanis dapat dikurangi. Metode pengereman dinamis juga dikendalikan menggunakan mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler AT89S51 produksi ATMEL.

1.2 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Membuat perangkat keras rangkaian *soft starting* dan rangkaian *dynamic braking* untuk motor induksi tiga fasa, serta membuat perangkat lunak beserta sistem pengendalian rangkaian *soft starting* dan *dynamic braking* menggunakan mikrokontroler AT89S51.
2. Manfaat yang didapat dari pembuatan rangkaian *soft starting* dan *dynamic braking*, yang berupa arus pengasutan awal pada motor induksi yang tidak terlalu besar dan dapat diatur serta sistem pengereman pada motor induksi yang dapat mengurangi kerugian mekanis yang terjadi.

1.3 Pembatasan Masalah

Pembahasan dalam tugas akhir ini dibatasi oleh :

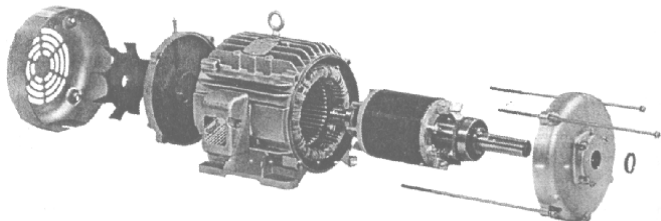
- a. Motor yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa 380V, 2.0A jenis sangkar tupai dengan konfigurasi belitan stator hubung bintang.
- b. Pembuatan perangkat keras *soft starting* dan *dynamic braking*. Dengan kemampuan tegangan maksimal 500V AC, 7,5A untuk rangkaian *soft starting* dan kemampuan tegangan maksimal 30V DC, 5A untuk rangkaian *dynamic braking*. Beserta pembuatan perangkat lunaknya.
- c. Tugas akhir ini lebih membahas pada metode *soft starting* dan tidak dibahas mengenai adanya

- harmonisa yang ditimbulkan pada saat pengasutan maupun pengereman motor induksi.
- Sistem pengaturan yang digunakan adalah *open loop*
 - Mikrokontroler yang digunakan adalah AT89S51 produksi ATMEL.

II. DASAR TEORI

2.1 Motor Induksi

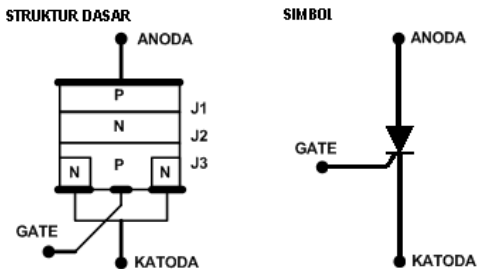
Motor induksi tiga fasa memiliki dua komponen dasar yaitu stator dan rotor, bagian rotor dipisahkan dengan bagian stator oleh celah udara (*air gap*). Tipe dari motor induksi berdasarkan pada jenis rotor dibagi menjadi dua macam yaitu *Wound* rotor (tipe motor yang memiliki rotor terbuat dari lilitan) dan *Squirrel-cage* rotor (tipe motor induksi dimana konstruksi rotor disusun oleh beberapa batangan logam yang dimasukkan melewati slot-slot yang ada pada rotor motor induksi, kemudian pada setiap bagian disatukan oleh cincin yang membuat batangan logam dihubung singkat dengan batangan logam yang lain).



Gambar 2.1 Motor tipe rotor sangkar tupai (*Squirrel-cage rotor*)

2.2 Thyristor

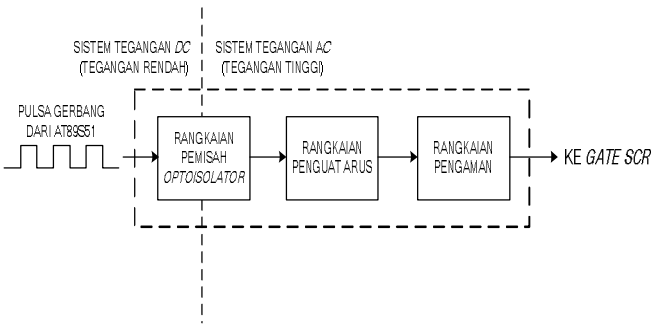
Thyristor berakar kata dari bahasa Yunani yang berarti ‘pintu’. Dinamakan demikian karena sifat dari komponen yang mirip dengan pintu yang dapat dibuka dan ditutup untuk melewatkan arus listrik. Ciri - ciri utama dari sebuah thyristor adalah komponen yang terbuat dari bahan *semiconductor silicon*. Thyristor yang digunakan adalah SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) yang merupakan komponen elektronika daya yang dapat digunakan sebagai sistem saklar. Salah satu keuntungan dari SCR adalah mampu mengalirkan daya ratusan watt dan hanya membutuhkan mili watt sinyal pemicuan.



(a) Struktur dasar thyristor
(b) Simbol thyristor

2.3 Penyulutan SCR

Terdapat dua macam cara untuk memicu / menyulut SCR sekaligus mengisolasi antara tegangan pengendali dengan tegangan jala-jala yaitu dengan menggunakan transformator pulsa dan *optoisolator*. Pada perancangan alat digunakan rangkaian isolasi menggunakan *optoisolator*.



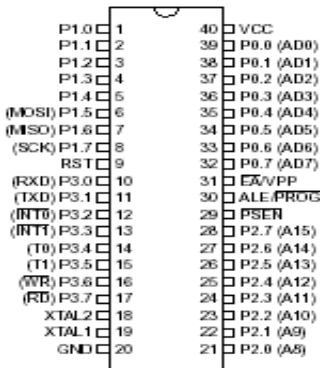
Gambar 2.3 Blok diagram penyulut SCR (*SCR drives*).

Pada gambar 2.3, keluaran pulsa gerbang dari mikrokontroler sebagai masukan kaki gate SCR dimasukkan menuju rangkaian pemisah *optoisolator*, yang kemudian arus keluaran dari *optoisolator* dikuatkan dengan rangkaian penguat arus yang terdiri dari dua buah transistor, *optoisolator* sendiri berfungsi sebagai rangkaian pemisah antara rangkaian sistem kontrol (tegangan rendah DC) dengan rangkaian sistem daya (tegangan tinggi AC). Kemudian melalui dioda pulsa gerbang menuju ke *gate* SCR. Dioda digunakan untuk meneruskan sinyal positif pada kaki *gate* SCR dan juga dimaksudkan sebagai pengaman apabila ada tegangan dan arus balik dari SCR, karena SCR bekerja pada tegangan tinggi AC.

2.4 Mikrokontroler AT89S51

Mikrokontroler ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut: 4 kbytes *flash memory*, *In System Programming (ISP)*, 32 I/O yang dapat diprogram, 128 x 8 bit RAM internal, 2 buah timer/counter 16 bit, dan memiliki waktu pemrograman yang lebih cepat..

Mikrokontroler digunakan untuk mengatur semua proses pemicuan SCR dan pengereman dinamis. Dimana mikrokontroler tersebut dapat diprogram secara langsung dari sebuah komputer tanpa harus mencopot / melepas mikrokontroler



Gambar 2.4 Diagram Pin Mikrokontroler AT89S51

2.5 Rangkaian Isolasi.

Rangkaian isolasi berfungsi sebagai pemisah antara tegangan rangkaian kontrol yang berupa tegangan rendah DC terhadap tegangan rangkaian daya yang berupa tegangan tinggi AC, berguna untuk melindungi rangkaian kontrol bilamana terjadi gangguan ataupun kesalahan pada rangkaian daya, sehingga rangkaian kontrol tidak dialiri tegangan tinggi AC yang mungkin dapat merusakkan sistem kontrol. Rangkaian isolasi dapat berupa transformator pulsa ataupun *optoisolator*.

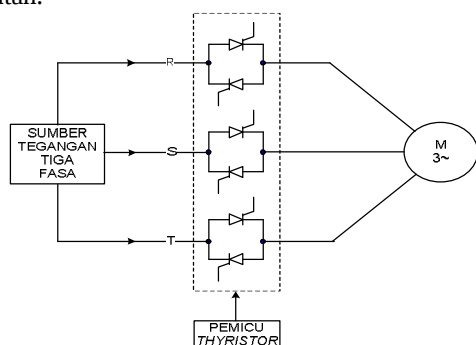
2.6 Deteksi Fasa

Deteksi fasa adalah rangkaian yang digunakan untuk mendekteksi apakah tegangan fasa berada pada posisi positif

atau negatif dilihat dari acuan netral dan berfungsi untuk mendapatkan kesesuaian fasa antara tegangan sumber tiga fasa terhadap tegangan fasa pada rangkaian *soft starting*. Kesesuaian fasa diperlukan untuk memulai dan mempermudah pengaturan sudut pemicuan pada masing – masing SCR

2.7 Soft Starting

2.7 *Soft starting*^{[2],[4],[5]} adalah suatu metode pengasutan Motor Induksi AC dengan cara mengatur tegangan pengasutan.



Gambar 2.5 Rangkaian dasar Soft Starting 3 fasa

Soft starting bertujuan untuk mendapatkan pengasutan yang terkendali dengan cara mengatur tegangan yang masuk pada stator secara bertahap.

2.8 Pengereman Pada Motor Induksi

Pada penggunaan motor induksi sering dibutuhkan proses menghentikan putaran motor dengan cepat, terutama pada aplikasi untuk konveyor. Untuk menghentikan putaran rotor torsi pengereman diperlukan, yang mana dapat dihasilkan secara mekanik maupun secara kelistrikan. Dalam pengereman mekanik torsi pengereman dihasilkan oleh peralatan pengereman yang berupa sepatu rem dan drum yang terpasang pada poros rotor, sedangkan pengereman secara listrik, torsi pengereman dihasilkan berdasarkan nilai arus injeksi yang diberikan pada belitan stator.

2.9 Pengereman dinamis

Pengereman dinamis (*Dynamic Braking*) dilakukan dengan cara menginjeksikan arus dan tegangan DC pada belitan stator motor induksi sesaat setelah dilepaskan dari sumber tegangan suplai fasa. Arus searah yang diinjeksikan pada kumparan stator akan mengembangkan medan stasioner 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 stasioner terhadap stator. Interaksi medan resultant dan gerak gaya magnet rotor akan mengembangkan torsi yang berlawanan dengan torsi motor sehingga pengereman terjadi.

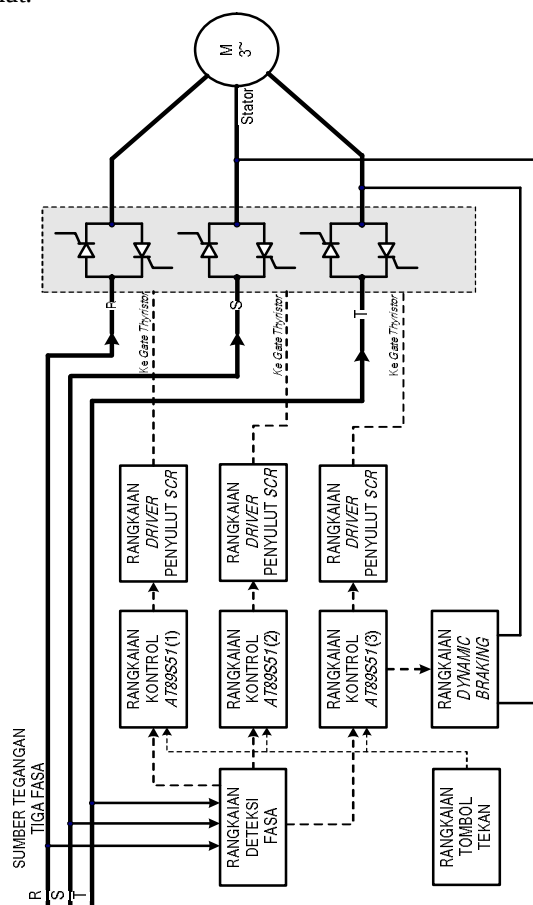
III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Pada bab perancangan dan pembuatan alat terbagi dalam 2 sub-bab, yaitu sub-bab perancangan perangkat keras (*hardware*) dan sub-bab perancangan perangkat lunak (*Software*) yang berupa program Mikrokontroller AT89S51.

3.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras (*hardware*) pada *soft starting* meliputi rangkaian catu daya +5V DC, catu daya +12V DC, catu daya +30V DC, rangkaian deteksi fasa, sistem minimum AT89S51, rangkaian pemisah dan penyulut SCR, rangkaian *soft starting*, dan rangkaian *Dynamic*

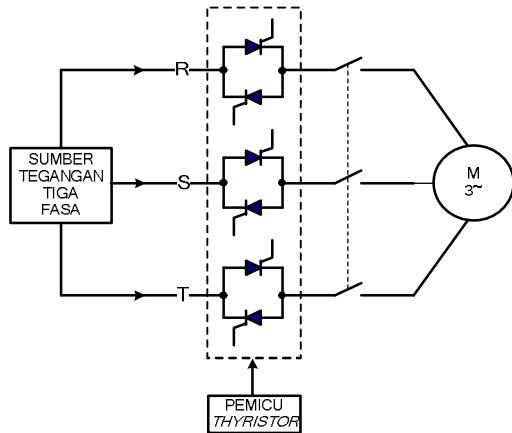
Braking. Gambaran dari rangkaian dasar perancangan *soft starting* dan *dynamic braking* dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Rangkaian dasar perancangan alat

Rangkaian *soft starting* dihubungkan secara seri dengan saluran tegangan yang masuk ke stator motor, *soft starting* bertujuan untuk mendapatkan proses pengasutan yang terkendali. Rangkaian *soft starting* motor induksi 3 fasa memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Sumber tegangan yang digunakan adalah AC tiga fasa 380V, 50Hz yang merupakan tegangan masukan rangkaian daya *soft starting*.
2. Kemampuan hantar arus maksimal rangkaian daya *soft starting* tiga fasa sebesar 7,5A.
3. Kemampuan tegangan maksimal rangkaian daya *soft starting* tiga fasa sebesar 500V.
4. Rangkaian kontrol untuk *soft starting* tiga fasa menggunakan sumber tegangan masukan AC satu fasa 220V, 50Hz.
5. Rangkaian *soft starting* tiga fasa terdiri dari tiga buah mikrokontroler yang masing – masing mengatur satu tegangan fasa dan bekerja secara bersamaan.
6. Setiap mikrokontroler hanya mendeteksi satu fasa dan mengatur proses pemucuan dua buah SCR yang bekerja secara bergantian.
7. Terdapat tiga tombol masukan, yaitu satu tombol STOP, satu tombol START, satu tombol RESET dan terdapat tiga masukan deteksi fasa serta enam keluaran indikator keadaan yaitu, LED biru untuk kondisi stop / mati (*Standby*) dan LED putih untuk kondisi hidup (*Run*).
8. Motor induksi tiga fasa yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa jenis *squirrel cage* yang memiliki tegangan *line to line* 380 V / 2,0 A dengan konfigurasi belitan stator hubung bintang.

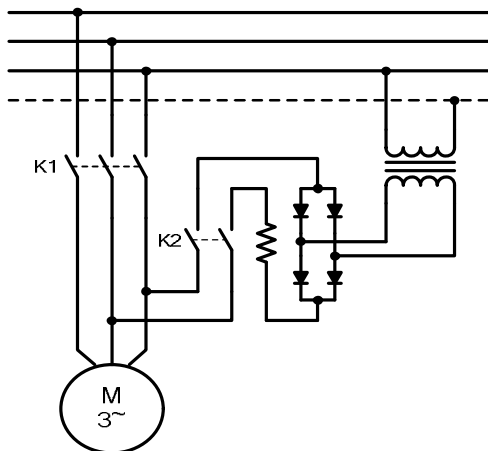


Gambar 3.2 Rangkaian dasar *soft starting* motor induksi tiga fasa.

Rangkaian *soft starting* dibuat menggunakan enam buah SCR tipe BT 151-500R yang memiliki spesifikasi tegangan maksimal 500V dan kemampuan hantar arus sebesar 7,5A. Enam buah SCR tersebut disusun dalam rangkaian penyearah gelombang penuh dengan konfigurasi seperti ditunjukkan pada gambar 3.2 diatas.

Rangkaian *Dynamic Braking* merupakan rangkaian pengereman terhadap motor induksi dengan cara menginjeksikan arus dan tegangan DC pada belitan stator motor induksi setelah dilepaskan dari sumber tegangan suplai AC tiga fasa. Rangkaian *Dynamic Braking* motor induksi tiga fasa memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Sumber tegangan yang digunakan adalah AC satu fasa 220V, 50Hz kemudian diturunkan menjadi tegangan 30V AC dan disearahkan menggunakan penyearah gelombang penuh menjadi tegangan +30V DC yang merupakan suplai daya masukan pada rangkaian *dynamic Braking*.
2. Nilai tahanan resistor luar yang digunakan sebesar $7.7 \Omega / 10W$.
3. Rangkaian *dynamic braking* bekerja dengan penekanan tombol masukan stop dan diatur oleh mikrokontroler AT89S51(3).
4. Kemampuan arus maksimal rangkaian *dynamic braking* sebesar 5A.
5. Tegangan keluaran maksimal rangkaian sebesar +30V DC.

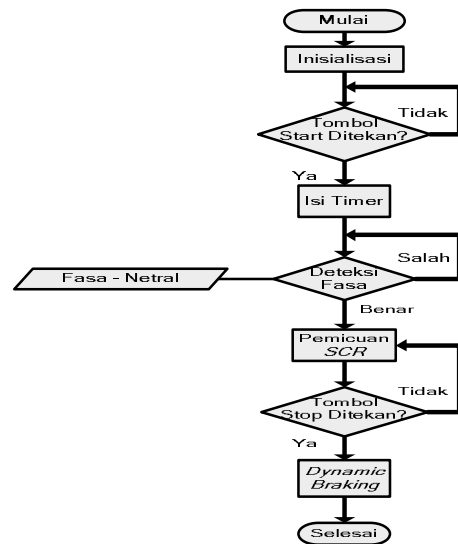


Gambar 3.3 Pengereman Dinamik Dengan Injeksi Arus Searah Pada Motor Induksi Tiga Fasa.

3.2 Perancangan Program

Perancangan perangkat lunak dikemukakan mengenai perancangan program perintah untuk mikrokontroler. Berupa instruksi – instruksi deteksi fasa, *soft starting* dan *dynamic braking*, dimana program yang sama diisikan ke dalam 3 mikrokontroler sejenis yang terpisah. Untuk

mempermudah dalam melakukan pemrograman pada mikrokontroler, terlebih dahulu dibuat diagram alir (*flowchart*) dari perancangan program.



Gambar 3.4 Flowchart program utama

Dari *flowchart* gambar 3.4, dibuat program dalam bahasa *assembly* menggunakan teks editor (*notepad*), setelah itu di *compile* menggunakan *software* ASM51 yang kemudian diisikan pada tiga buah mikrokontroler menggunakan *software* ISP (*In System Programmable*) yang berfungsi untuk mengatur seluruh proses *soft starting* dan proses *dynamic braking*.

IV. PENGUKURAN, PENGUJIAN DAN ANALISA

Pengukuran, pengujian dan analisa peralatan *soft starting* dan *dynamic braking* untuk motor induksi tiga fasa berbasis mikrokontroler AT89S51 meliputi:

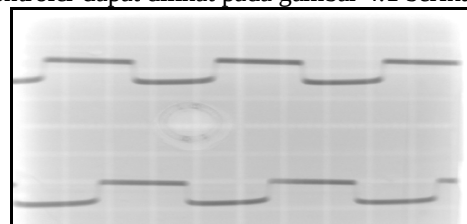
1. Pengambilan data bentuk gelombang masukan dan keluaran.
2. Pengukuran dan pengujian pengasutan dan pengereman motor induksi.

Pengukuran dan pengujian pada rangkaian *soft starting* untuk motor induksi tiga fasa dilakukan menggunakan tegangan masukan sebesar 380V AC dalam kondisi tidak berbeban dan tegangan masukan 220V AC untuk pengukuran dan pengujian rangkaian *dynamic braking* dan rangkaian kontrol.

Pengambilan data bentuk gelombang masukan dan keluaran diambil pada tegangan masukan sumber rangkaian *soft starting* dan *dynamic braking*, rangkaian deteksi fasa, rangkaian penguat pemicuan SCR, rangkaian *dynamic braking*, tegangan keluaran pada rangkaian daya *soft starting*, dengan pengambilan data tanpa beban dan beban motor induksi tiga fasa

4.1 Sinyal Deteksi Fasa

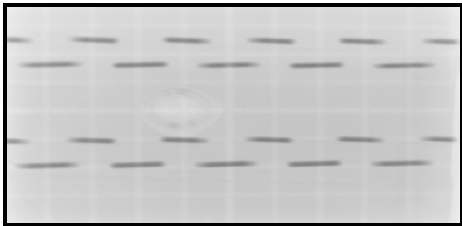
Hasil keluaran dari Deteksi fasa (keluaran dari pin 4 dan 5 *optoisolator* yang diterima oleh *port* 0.6 mikrokontroler dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Gelombang Keluaran Deteksi Fasa Antara Fasa A dan Fasa B

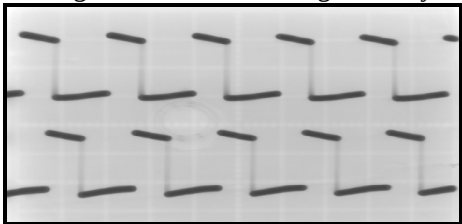
4.2 Sinyal Pemicuan

Sinyal pemicuan merupakan sinyal yang dihasilkan oleh rangkaian mikrokontroler pada *port* 0.0 dan *port* 0.1 yang berfungsi untuk memicu SCR pada rangkaian daya. Hasil tegangan pemicuan dari mikrokontroler dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Sinyal Pemicuan Pada SCR+ dan SCR- fasa A Sebelum *Optoisolator*

Selanjutnya sinyal pemicuan dari mikrokontroller dilewatkan ke rangkaian *optoisolator* dan rangkaian penguat output dari rangkaian ini yang akan memicu SCR. *Optoisolator* berfungsi untuk memisahkan *ground* pemicuan dan mengisolasi rangkaian kontrol dari rangkaian daya.

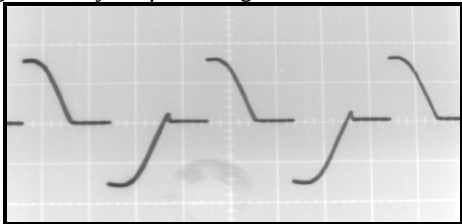


Gambar 4.3 Sinyal Pemicuan Pada SCR+ dan SCR- fasa A Setelah *Optoisolator*

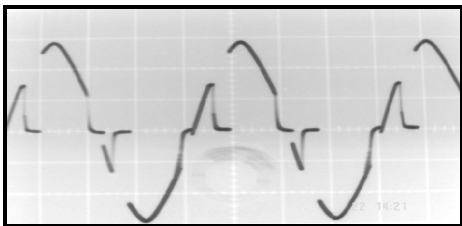
Adanya karakteristik *on delay* dan *off delay* yang dimiliki *optoisolator*, mengakibatkan sinyal pemicuan mengalami perubahan bentuk.

4.3 Sinyal Keluaran *Soft Starting* Dan *Dynamic Braking*

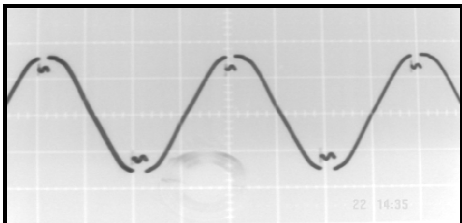
Berikut ini merupakan sinyal keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian daya *soft starting*.



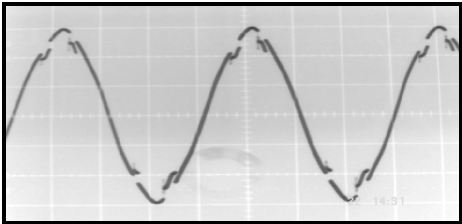
Gambar 4.4 Gelombang tegangan keluaran tanpa beban (Fasa – netral).



Gambar 4.5 Gelombang tegangan keluaran tanpa beban (Fasa – Fasa).

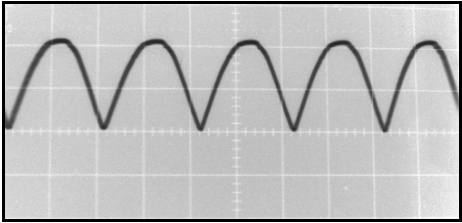


Gambar 4.6 Gelombang tegangan keluaran beban motor induksi (Fasa – netral).



Gambar 4.7 Gelombang tegangan keluaran beban motor induksi (Fasa – Fasa).

Pada gambar 4.5 urutan gelombang tegangan keluaran tanpa beban hasil gelombang keluaran menunjukkan adanya *spike* (cacat) pada gelombang. Hal tersebut dikarenakan proses pemicuan pada ketiga buah mikrokontroler tidak dapat berjalan secara serempak pada saat pemicuan, akibat adanya tunda waktu yang tidak sama pada rangkaian tombol tekan dan rangkaian deteksi fasa yang terdiri dari *optoisolator*. Proses pemicuan kembali serempak pada saat pemicuan 0° karena ketiga mikrokontroler memberikan penyulutan pada SCR tanpa menunggu hasil deteksi fasa. Sedangkan bentuk gelombang tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian *dynmaic braking* dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8 Tegangan Keluaran rangkaian *Dynamic braking*

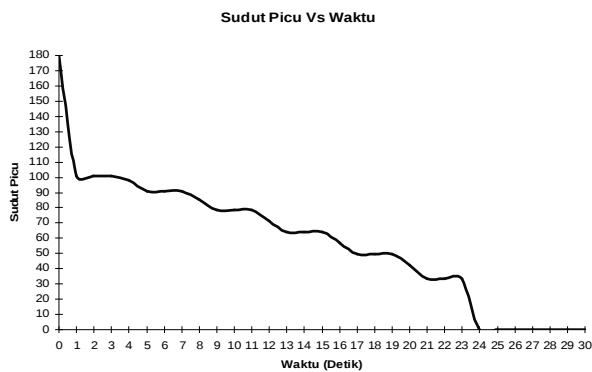
4.4 Pengujian pengasutan

Pada pengujian pengasutan didapatkan data tabel sebagai berikut.

Tabel 4.1 Lama Waktu Sudut picu Dan Hasil Arus Starting.

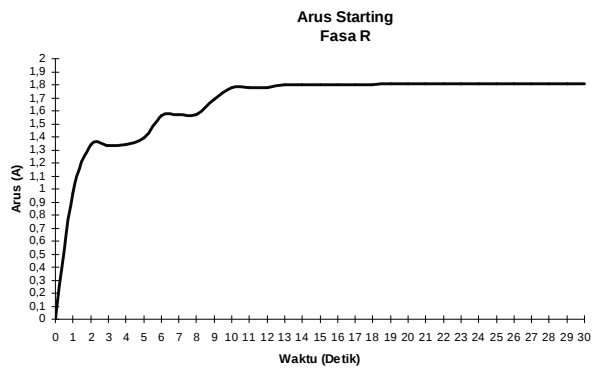
Waktu (Detik)	Sudut Picu	Arus Pengasutan (Ampere)					
		Fasa R		Fasa S		Fasa T	
0	180 ⁰	0	0%	0	0%	0	0.000%
1	100,8 ⁰	0,96	53.038%	0,74	38.541%	0,81	41.327%
2	100,8 ⁰	1,34	74.033%	1,52	79.166%	1,42	72.449%
3	100,8 ⁰	1,33	73.480%	1,48	77.083%3	1,42	72.449%
4	98,1 ⁰	1,34	74.033%	1,47	76.562%	1,43	72.959%
5	90,9 ⁰	1,39	76.795%	1,52	79.166%	1,45	73.980%
6	90,9 ⁰	1,56	86.187%	1,69	88.020%	1,56	79.592%
7	90,9 ⁰	1,57	86.740%	1,71	89.062%	1,67	85.204%
8	85,5 ⁰	1,57	86.740%	1,71	89.062%	1,68	85.714%
9	78,3 ⁰	1,69	93.370%	1,82	94.791%	1,73	88.265%
10	78,3 ⁰	1,78	98.342%	1,89	98.437%	1,86	94.898%
11	78,3 ⁰	1,78	98.342%	1,91	99.479%	1,91	97.449%
12	71,1 ⁰	1,78	98.342%	1,91	99.479%	1,92	97.959%
13	63,9 ⁰	1,8	99.447%	1,92	100%	1,93	98.469%
14	63,9 ⁰	1,8	99.447%	1,92	100%	1,96	100.000%
15	63,9 ⁰	1,8	99.447%	1,91	99.479%	1,96	100.000%
16	56,7 ⁰	1,8	99.447%	1,91	99.479%	1,96	100.000%
17	49,5 ⁰	1,8	99.447%	1,92	100%	1,96	100.000%
18	49,5 ⁰	1,8	99.447%	1,92	100%	1,96	100.000%
19	49,5 ⁰	1,81	100%	1,92	100%	1,94	98.980%
20	42,3 ⁰	1,81	100%	1,92	100%	1,95	99.490%
21	33,3 ⁰	1,81	100%	1,92	100%	1,96	100.000%
22	33,3 ⁰	1,81	100%	1,92	100%	1,95	99.490%
23	33,3 ⁰	1,81	100%	1,92	100%	1,95	99.490%
24	0 ⁰	1,81	100%	1,92	100%	1,95	99.490%
25	0 ⁰	1,81	100%	1,92	100%	1,95	99.490%
26	0 ⁰	1,81	100%	1,92	100%	1,95	99.490%
27	0 ⁰	1,81	100%	1,91	99.479%	1,95	99.490%
28	0 ⁰	1,81	100%	1,92	100%	1,95	99.490%
29	0 ⁰	1,81	100%	1,92	100%	1,95	99.490%
30	0 ⁰	1,81	100%	1,92	100%	1,95	99.490%

Dari tabel 4.1 diatas dapat diperoleh beberapa gambar grafik berikut



Gambar 4.9 Grafik grafik Sudut Picu (α) Vs Waktu

Dari gambar grafik 4.9 dapat diketahui bahwa sudut pemecuan dimulai dari 100,8⁰ pada saat pengasutan dimulai dan membutuhkan waktu selama 23 detik untuk mencapai sudut pemecuan 0⁰.



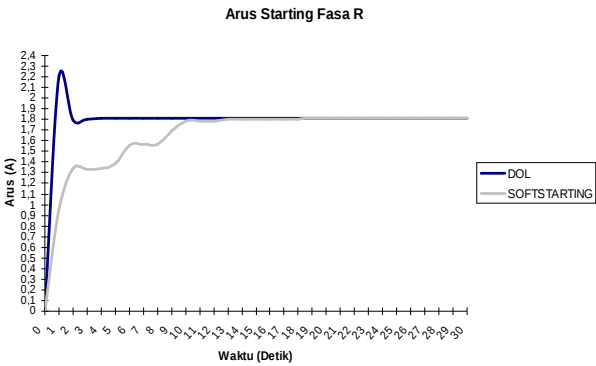
Gambar 4.10 Grafik Arus Starting Vs Waktu (Detik) Pada Fasa R.

Dari tabel 4.1 dan gambar grafik arus starting versus waktu pada ketiga fasa dapat diketahui bahwa arus pengasutan awal pada ketiga fasa hanya sebesar 38,54% hingga 53,04% dari arus normal pada motor tiga fasa 380V 2,0A dengan belitan stator hubung bintang. Kemudian dengan bertambahnya waktu arus yang masuk pada belitan stator juga bertambah secara bertahap hingga mencapai arus normalnya.

Pada pengasutan motor induksi tiga fasa metode DOL, didapatkan data tabel sebagai berikut.

Fasa	Arus (A)		
	I_{ST}	I_N	
A	2,21A	122,099%	1,81A
B	2,34A	120,618%	1,94A
C	2,41A	122,959%	1,96A

Pada tabel 4.2 diatas dapat diketahui bahwa arus pengasutan metode DOL sebesar 120,618% hingga 122,959% dari arus normal untuk motor induksi tiga fasa 380V 2,0A dengan belitan stator hubung bintang. Sehingga didapatkan perbandingan untuk metode pengasutan *soft starting* dan metode pengasutan DOL, dengan gambar grafik 4.11 sebagai berikut.



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Arus Starting Vs Waktu (Detik) Pada Fasa R.

4.5 Pengujian Pengereman

Pengereman motor induksi tiga fasa dilakukan dengan metode *dynamic braking* yaitu dengan menginjeksikan tegangan DC pada belitan stator setelah sumber tegangan AC tiga fasa dilepaskan dan telah mencapai putaran rotor nominal motor. (1498 RPM). Didapatkan data berupa tegangan keluaran rangkaian *dynamic braking* tanpa beban sebesar 29,10 DC, dengan arus injeksi sebesar 2,51A.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil pengukuran, pengujian dan analisa yang dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- 1. Rangkaian *soft starting* dapat digunakan untuk mengatur tegangan AC sehingga dapat digunakan untuk mengatur arus pengasutan pada motor induksi secara bertahap hingga mencapai arus nominal. Dengan arus pengasutan awal sebesar 38,54% hingga 53,04% dari arus nominalnya pada motor tiga fasa 380V 2,0A dengan belitan stator hubung bintang.
- 2. Tiga buah mikrokontroler AT89S51 yang digunakan dapat mengatur dengan baik proses pemecuan enam buah SCR pada rangkaian *soft starting*, tetapi tidak dapat berjalan secara serempak karena perbedaan tunda ON dan tunda OFF pada *optoisolator*.
- 3. Rangkaian *dynamic braking* mampu menghentikan putaran rotor pada motor induksi tiga fasa 380V 2,0A belitan stator hubung bintang, dengan sangat cepat, tidak menimbulkan kerugian mekanis berupa gesekan dan tidak menghasilkan panas karena arus DC yang diinjeksikan hanya sesaat.

5.2. Saran

- 1. Pengembangan dalam pembuatan rangkaian kendali *soft starting* yang menggunakan tiga buah mikrokontroler AT89S51 dirasakan kurang ekonomis, akan lebih baik apabila dapat digunakan hanya sebuah mikrokontroler saja.
- 2. Rangkaian kendali *soft starting* sangat rentan terhadap hentakan atau pun getaran, sehingga disarankan penggunaan rangkaian berupa kontaktor, kipas, relai dan beban motor tidak dibuat dekat dengan rangkaian kendali (rangkaiannya kendali dibuat secara terpisah dari sistem).
- 3. Penggunaan *soft starting* pada motor dalam keadaan berbeban.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Theodore Wildi, **Electrical Machines, Drives and Power Systems 3rd**, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1997.
- [2] Vedam Subrahmanyam, **Electric Drives, Concepts and Applications**, Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1994.
- [3] Charles A. Schuler and William L. McNamee, **Industrial Electronics And Robotics**, McGraw-Hill Book Company
- [4] M. Rashid, **Elektronika Daya, Rangkaian, Devais Dan Aplikasinya. Jilid 1**, PT. Prenhallindo, Jakarta, 1993.
- [5] P. C. Sen, **Principles Of Electric Machines And Power Electronics, Second Edition**, John Wiley & Sons, USA, 1997.
- [6] Agfianto Eko Putra, **Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 (Teori Dan Aplikasi)**, Penerbit Gava Media, 2002.
- [7] Paulus Andi Nalwan, **Panduan Praktis Teknik Antarmuka Dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51**, Elek Media Komputindo, Jakarta, 2003.
- [8] http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2487.pdf
- [9] <http://www.aec-electronics.co.nz/software.htm>
- [10] <http://te.ubaya.ac.id/~eka>
- [11] <http://www.philipsmcu.com/pip/bt151-500r.html>
- [12] Fitzgerald, Kingsley, Umans, **Mesin - Mesin Listrik**, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1997.
- [13] M. V. Deshpande, **Electric Motors: Applications And Control**, A. H. Wheeler & Co.Ltd, India, 1990.
- [14] Malvino, **Prinsip - Prinsip Elektronik**, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1984.

Mengetahui / Mengesahkan :

Dosen Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET
NIP. 131 668 485

Mochammad Facta, ST MT
NIP. 132 231 134



Agung Sugiharto B

Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro,
Fakultas Teknik, Universitas
Diponegoro. Semarang, dengan
pilihan konsentrasi Tenaga listrik.