

Research Article

Perancangan Modul Soft Starting Motor Induksi 3 Fasa dengan Atmega 8535Aditya Bakti Priahutama¹, Tedjo Sukmadi², Iwan Setiawan²

1. Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

2. Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

Abstract

Motor induksi adalah alat listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi mempunyai banyak keunggulan di segi teknis maupun ekonomis, karena itu motor induksi terutama jenis motor induksi 3 banyak digunakan pada banyak dunia industri. Akan tetapi motor induksi juga mempunyai kekurangan, antara lain arus awal (start) yang besar (5 sampai 7 kali arus normal) yang dapat mengakibatkan penurunan tegangan sistem dan mengganggu kerja sistem peralatan lain dalam satu saluran. Diperlukan suatu metode pengasutan pada motor induksi yang bertujuan untuk mengurangi arus pengasutan awal yang besar. Metode pengasutan yang digunakan pada penelitian ini 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. Soft starting dilakukan dengan menggunakan komponen elektronika daya yaitu triac, sedangkan tegangan masukan motor induksi diatur dengan memberikan sinyal tunda dan sulut pada triac dengan waktu tertentu. Sinyal tunda dan sulut untuk triac diatur oleh mikrokontroler ATmega 8535. Pada perangkat keras soft starting dapat digunakan juga sebagai pengereman soft stoping dengan mengurangi secara perlahan tegangan yang masuk ke beban. Modul soft starting yang dirancang mempunyai waktu soft start selama 24 detik dan waktu soft stop 9 detik. Pada beban motor induksi 3 fasa besar arus starting relatif terkendali dan lebih kecil jika dibandingkan dengan metode DOL dan wye delta walaupun masih terjadi sedikit lonjakan arus saat starting. Sedangkan untuk soft stoping dapat menghentikan motor secara perlahan walaupun tidak bias berhenti secara langsung.

Keyword : Motor induksi 3 fasa, soft starting, triac, mikrokontroler atmega 8535.

I. PENDAHULUAN**1.1 Latar Belakang**

Motor induksi mempunyai banyak keunggulan di segi teknis maupun ekonomis, karena itu motor induksi terutama jenis motor induksi 3 fasa terutama tipe sangkar tupai banyak digunakan pada banyak dunia industri.

Saat motor induksi di *starting* secara langsung, arus awal motor besarnya antara 500% sampai dengan 700% dari arus nominal. Ini akan menyebabkan drop tegangan yang besar pada pasokan tegangan PLN. Untuk motor daya kecil sampai 5 KW, arus starting tidak berpengaruh besar terhadap drop tegangan. Pada motor dengan daya diatas 30 KW sampai dengan 100 KW 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. *Soft starter* bertujuan untuk mendapatkan start motor yang terkendali, arus starting yg kecil, dan mencapai kecepatan nominal yang konstan pada aplikasi dengan torsi start rendah.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Merancang modul perangkat keras dan perangkat lunak rangkaian *soft starting* motor induksi tiga fasa yang

menggunakan sebuah mikrokontroler ATmega 8535 sebagai kontrol pemecuan sudut picu tegangan.

2. Mengetahui perbandingan karakteristik arus starting motor induksi 3 fasa dari metode *soft starting* terhadap metode yang lainnya yaitu DOL dan *wye -delta*.

1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, pembahasan dibatasi pada :

1. Motor yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa 380V / 220 V, 2.0A / 3.45 A, 1 HP jenis sangkar tupai dengan konfigurasi belitan stator hubung bintang serta delta yang terkopel generator DC penguatan terpisah 1 HP.
2. Metode pengasutan yang digunakan adalah metode *soft starting* dan metode pengereman menggunakan *soft stoping*.
3. Metode pengasutan DOL dan *wye delta* hanya digunakan sebagai pembandingan pada pembahasan dan tidak dibahas secara mendetail.
4. Tidak dibahas mengenai adanya harmonisa yang ditimbulkan pada saat pengasutan *soft starting* motor induksi maupun pengereman *soft stoping*.
5. Sistem pengaturan yang digunakan ialah sistem pengaturan *open loop*.
6. Mikrokontroler ATmega 8535 yang digunakan untuk mengatur sudut picu pada *triac*.
7. Pembahasan tentang *coding* pada mikrokontroler ATmega 8535 tidak dibahas secara detail.
8. Komponen dan rangkaian elektronika yang digunakan hanya dibahas pada fungsi kerjanya.

II. DASAR TEORI

2.1 Motor Induksi 3 fasa

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri atas dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor. Stator adalah bagian motor yang diam terdiri : badan motor, inti stator, belitan stator, bearing dan *terminal box*. Bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas rotor sangkar, poros rotor.

2.1.1 Stator Motor Induksi 3 Fasa

Inti stator motor induksi terbuat dari lapisan lapisan laminasi pelat baja yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau pelat baja yang dipabrikasi. Belitan motor dibuat terpisah 120° listrik. Belitan fasa dapat tersambung secara delta (Δ) atau bintang (Y).

2.1.2 Rotor Motor Induksi 3 Fasa

Rotor dari motor induksi 3 fasa dibagi menjadi 2 macam yaitu :

1. Rotor Sangkar tupai / *Squirrel cage rotor*

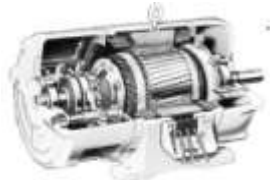
Inti dari rotor motor induksi tipe sangkar tupai terdiri dari lapisan lapisan konduktor yang dipasangkan sejajar dengan poros dan mengelilingi permukaan inti. Konduktor tidak terisolasi dari inti karena arus rotor secara alamiah akan mengalir menuju tahanan paling kecil yaitu konduktor rotor. Pada setiap ujung rotor, semua konduktor rotor dihubungkan singkat dengan cincin ujung sehingga konduktor rotor dan cincin cincin serupa dengan sangkar tupai yang berputar sehingga dinamakan motor induksi rotor sangkar tupai.



gambar 2.1 motor induksi sangkar tupai

2. Rotor Belitan / *Wound Rotor*

Wound rotor adalah tipe motor yang memiliki rototerbuat dari lilitan. Lilitan rotor tersebar secara seragam pada slot-slot dan secara umum dihubungkan secara wye, ketiga terminal tersebut dihubungkan dengan slip-ring kemudian dihubungkan dengan sikat yang diam (stationary brushes) dengan demikian maka motor bisa diberi resistor dari luar sehingga kecepatan motor dapat diatur dengan mengubah-ubah nilai tahanan resistor luar.



Gambar 2.2 motor induksi rotor belitan

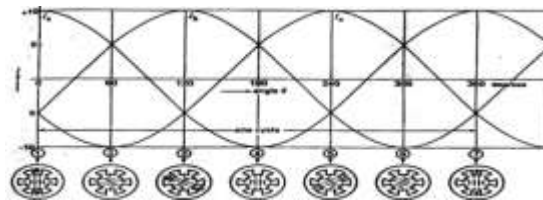
2.1.3 Prinsip Kerja Motor Induksi

Prinsip kerja motor induksi tiga fasa didasarkan pada hukum Faraday (tegangan induksi akan ditimbulkan oleh perubahan induksi magnetik pada suatu lilitan) dan hukum Lorentz. (perubahan magnetik akan menimbulkan gaya).

Prinsip dasar dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Tegangan induksi akan timbul pada setiap konduktor diakibatkan oleh medan magnet yang memotong konduktor (hukum Faraday).

2. Karena konduktor dihubungkan menjadi satu, membuat tegangan induksi menghasilkan arus yang mengalir dari konduktor ke konduktor lain.
3. Karena terjadi arus diantara medan magnet maka akan timbul gaya (hukum Lorentz).
4. Gaya akan selalu menarik konduktor untuk bergerak sepanjang medan magnetik.



Gambar 2.3 prinsip kerja motor induksi

Kecepatan motor induksi tiga fasa sangat oleh jumlah kutub pada stator dan frekuensi sumber tegangan yang dirumuskan sebagai berikut :

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{P} \quad \text{.....(2.1)}$$

dimana :

- ns = kecepatan sinkron (rpm)
- f = frekuensi (Hz)
- P = jumlah kutub

Selisih antara kecepatan rotor dan kecepatan sinkron disebut slip. Slip dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad \text{.....(2.2)}$$

dimana :

- s = Slip
- ns = Kecepatan Sinkron (putaran/menit)
- n = Kecepatan rotor (putaran/menit)

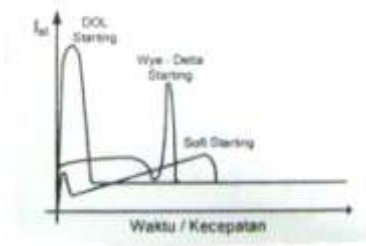
2.2 Pengasutan Motor Induksi

Motor induksi saat dihubungkan dengan tegangan sumber secara langsung akan menarik arus 500% sampai 700% dari arus beban penuh dan menghasilkan torsi 1,5 sampai 2,5 kali torsi beban penuh. Arus mula yang besar dapat mengakibatkan pengurangan (drop) tegangan pada saluran sehingga akan mengganggu peralatan lain yang dihubungkan pada saluran yang sama. Untuk motor berdaya besar maka arus pengasutan juga akan semakin besar, apabila arus yang besar tersebut mengalir dalam waktu yang lama dapat mengakibatkan motor dan saluran penghantar menjadi panas dan merusakkan isolasi. Untuk mengurangi besarnya arus pengasutan pada motor, ada beberapa metoda pengasutan motor induksi yang biasa digunakan, yaitu :

- o Pengasutan dengan *primary resistors* (rheostat)
- o Pengasutan dengan auto-transformator
- o Pengasutan bintang - segitiga (Y - Δ)
- o Pengasutan *soft starting*

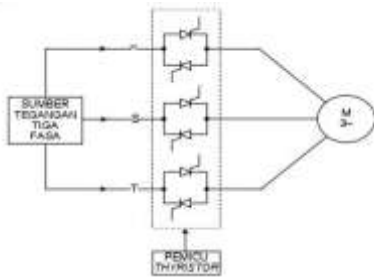
2.2.1 Pengasutan *Soft Starting*

Soft starting merupakan metode pengasutan yang bekerja dengan cara mengurangi tegangan pengasutan motor induksi dan kemudian menaikkan tegangan secara bertahap sampai tegangan penuh. Metode *soft starting* ini menjadi solusi atas tingginya nilai arus saat pengasutan motor induksi dan merupakan metode yang nilai arus pengasutannya rendah. Bisa dilihat dalam grafik dibawah ini :



Gambar 2.4 perbandingan I_{st} metode DOL, *wye delta* dan *soft starting*

Rangkaian *soft starting* dipasang seri dengan suplai tegangan ke motor. *Soft starting* terdiri dari komponen solid state yang berupa SCR / thyristor yang dipasang anti paralel untuk mengatur tegangan yang masuk ke motor secara bertahap sampai tegangan penuh. Dalam penelitian ini penggunaan thyristor anti paralel diganti dengan triac karena *triac* adalah komponen yang tersusun sedemikian rupa dari dua buah *thyristor*. Berikut adalah rangkaian dasar *soft starting*.



Gambar 2.5 rangkaian dasar *soft starting*

Dengan mengatur variasi sudut picu tegangan (α), V_0 dapat divariasikan dari 0 V sampai dengan V_s . Dengan rangkaian kendali yang tepat dapat dicapai pengendalian arus motor atau waktu waktu percepatan yaitu dengan mengenakan pulsa gerbang ke triac pada waktu yang berbeda dalam setiap setengah siklus tegangan sumber. Untuk mendapatkan nilai tegangan bertahap dari nol sampai tegangan penuh, maka pemuncian terhadap triac harus dimulai dari sudut 180° sampai 0° .

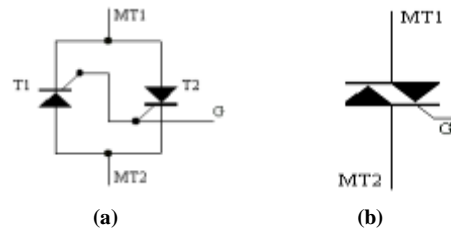
2.2.4 Soft Stopping^{[1][4]}

Selain untuk starting motor, *Softstarter* juga dilengkapi fitur *soft stop*. Jadi saat stop, tegangan juga dikurangi secara perlahan atau tidak dilepaskan begitu saja seperti pada *starter* yang menggunakan kontaktor. *Soft stopping* atau pengereman motor secara perlahan, berkebalikan dengan metode *soft starting*. Jika pada *soft starting* dilakukan penambahan tegangan sehingga sinyal sinusnya menjadi sempurna, maka pada *soft stopping* dilakukan pengurangan bertahap dari tegangan penuh saat motor telah mencapai kecepatan konstan.

2.3 Triac

Untuk pengendalian fasa pada pengontrol tegangan AC, umumnya digunakan *bidirectional triode thyristor* atau yang biasa dikenal sebagai *triac*, *triac* adalah komponen yang tersusun sedemikian rupa dari dua buah *thyristor* yang tersambung secara anti paralel dengan koneksi gerbang seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Karena *triac* merupakan komponen *bidirectional*, terminalnya tidak dapat ditentukan sebagai anode/katode. Koneksi-koneksinya diberi

nama *main terminal 1* (MT1), *main terminal 2* (MT2) dan *gate* atau gerbang (G).



Gambar 2.6 (a) Rangkaian ekuivalen triac
(b) Simbol Triac

2.4 Zero Crossing Detector

Agar bisa menentukan waktu tunda dengan tepat untuk mendapatkan hasil pengaturan daya yang akurat, mikrokontroler harus mengetahui saat titik nol (*zero crossing*) dari tegangan jala-jala listrik. *Zero crossing detector* adalah rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi gelombang sinus AC 220 volt saat melewati titik tegangan nol. Seberangan titik nol yang dideteksi adalah peralihan dari positif menuju negatif dan peralihan dari negatif menuju positif. Seberangan-seberangan titik nol ini merupakan acuan yang digunakan sebagai awal pemberian nilai waktu tunda untuk pemuncian *triac*.

2.5 Rangkaian Driver dan Isolasi

Rangkaian isolasi berfungsi sebagai pemisah antara tegangan rangkaian kontrol yang berupa tegangan rendah DC terhadap rangkaian daya yang berupa tegangan tinggi AC sedangkan *driver* penguat picuan berfungsi untuk membantu memperkuat sinyal keluaran mikrokontroler agar mampu memuncu *triac*.

2.6 Mikrokontroler ATmega 8535^{[13][15]}

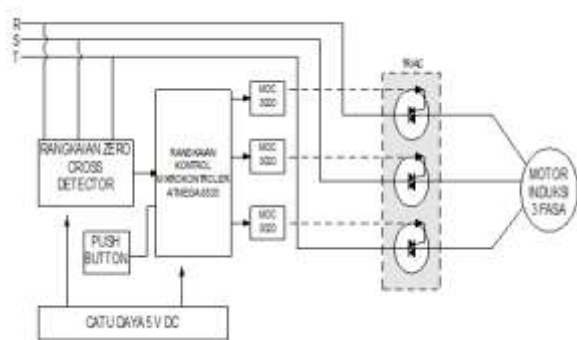
Mikrokontroler ATmega 8535 mempunyai spesifikasi sebagai berikut : 32 buah *register* umum, 64 buah *register* I/O, Sumber interupsi *internal* dan *eksternal*, dan 512 byte SRAM Internal, mikrokontroler AVR ATMEGA8535 telah didukung penuh dengan program dan sarana pengembangan seperti: kompilator kompilator C, simulator program, emulator dalam rangkaian, dan kit evaluasi.

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 pemrograman mikrokontroler ATmega 8535.

3.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan perangkat keras (*hardware*) pada *soft starting* meliputi rangkaian suplai daya 5 VDC, suplai daya 12VDC, rangkaian deteksi fasa (*zero cross detector*), rangkaian daya kendali tegangan AC, dan perancangan rangkaian tambahan. Gambaran dari rangkaian dasar perancangan modul *soft starting* motor induksi 3 fasa dapat dilihat dalam gambar dibawah ini :



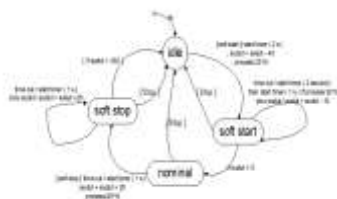
Gambar 3.1 rangkaian dasar modul soft starting

Perancangan *hardware* meliputi pembuatan suplai daya 5 VDC untuk suplai *zero cross detector* dan mikrokontroler, 12 VDC untuk suplai daya kipas dan relai DC, pembuatan rangkaian *zero cross detector*, rangkaian daya pengendali tegangan dan rangkaian bantu berupa 2 buah kontaktor dan led indikator.

3.2 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

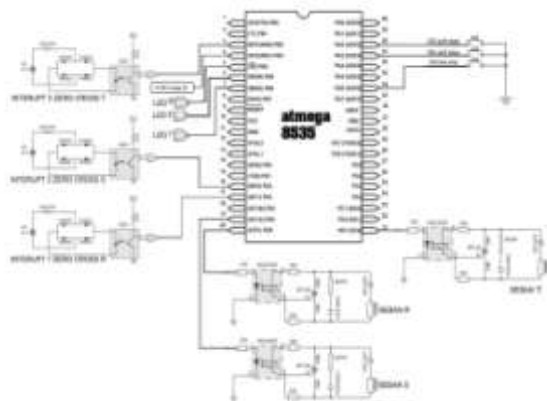
Pemrograman mikrokontroler ATmega 8535 dilakukan dengan menggunakan bahasa *assembly* dan C. Perancangan perangkat lunak Penelitian ini digunakan bahasa C dengan kompiler Code Vision AVR 2.03.9. Pemilihan bahasa C dikarenakan kemudahan, kesederhanaan, serta fleksibilitas pemrograman.

Perancangan program utama sangatlah penting karena merancang secara keseluruhan program yang akan dibuat dan dijalankan. Pada perancangan program utama menggunakan pendekatan diagram keadaan (*statechart*). Hal ini untuk memudahkan fungsi masing masing bagian dari program dan keadaan yang dirancang pada program utama.



Gambar 3.2 diagram keadaan program utama

Langkah terakhir ialah menentukan port mikrokontroler yang akan digunakan. Pemilihan port ini harus tepat karena setiap port memiliki fungsi masing masing yang spesifik. Sistem mikrokontroler digunakan sebagai unit kendali utama dalam proses pengendalian sudut fasa tegangan AC.

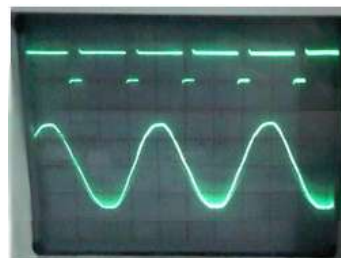


Gambar 3.3 skematik alokasi port pada sistem minimum mikrokontroler Atmega8535.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA PEMBAHASAN

4.1 Sinyal Zero Cross Detector

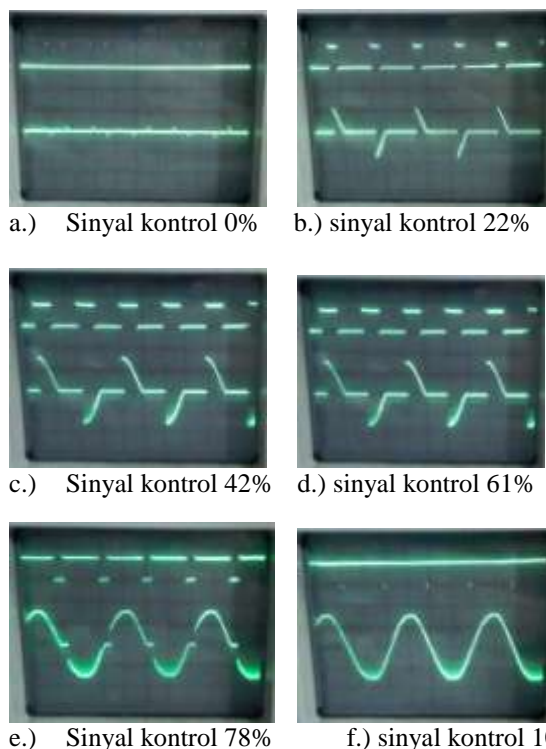
Sesuai dengan fungsinya untuk mendeteksi setiap gelombang sinus melewati titik nol, maka diperoleh frekuensi gelombang keluaran sebesar dua kali dari frekuensi gelombang sinus masukan. Adapun frekuensi gelombang sinus masukan adalah 50 Hz, sehingga frekuensi gelombang keluaran adalah $2 \times 50 = 100$ Hz.



Gambar 4.1 gelombang out dan in zero crossing detector.

4.2 Pengujian Sinyal Kontrol dan Rangkaian Daya Kendali Tegangan AC

Pengujian yang dilakukan pada rangkaian daya kendali tegangan AC menggunakan bantuan rangkaian *zero crossing detector* dan sistem mikrokontroler ATmega8535, selain itu juga digunakan bantuan perangkat lunak yaitu rutin layanan *interupsi eksternal 1* dan layanan *interupsi timer 0*. Pengamatan dilakukan dengan osiloskop terhadap gelombang picu dari mikrokontroler dan keluaran rangkaian daya yang diberikan kebebasan berdasarkan pengaturan sinyal kontrol.



Gambar 4.2 tahapan sinyal proses pemicuan

Proses pemicuan tegangan *soft starting* mempunyai 16 tahap sudut picu dari proses 0% hingga 100% dengan nilai TCNT 8 bit dan 16 bit pada setiap sudut picu. Semakin besar nilai TCNT maka semakin sinus tegangan yang dihasilkan dan semakin besar tegangan yang masuk ke beban.

Table 4.1 tabel tahapan pemecuan dan sinyal kontrol

Tahap pemecuan	Sudut picu	Lama pemecuan (detik)	Sinyal kontrol (%)	Nilai TCNT 8 bit	Nilai TCNT 16 bit
1	180	-	0	99	25536
2	140	2	22	134	34425
3	135	2	25	138	35536
4	130	2	28	142	36647
5	120	2	33	151	38869
6	110	2	39	160	41092
7	105	2	42	164	42203
8	100	2	44	168	43314
9	95	2	47	173	44425
10	90	2	50	177	45536
11	80	1	56	186	47758
12	70	1	61	194	49980
13	60	1	67	203	52203
14	40	1	78	220	56647
15	20	1	89	238	61092
16	0	-	100	255	65536

4.3 Pengukuran dan Pengujian Metode Soft Starting

Pengujian dilakukan dengan memasang seri modul *soft starting* dengan suplai 3 fasa dan stator motor induksi 3 fasa , pada hubung delta menggunakan trafo step down 3 fasa untuk menurunkan tegangan menjadi 220 VAC.

Tabel 4.2 tabel Ist *soft starting* hubung bintang

waktu (detik)	sudut picu	Ist <i>soft starting</i> (bintang) A		
		R	S	T
0	180	0	0	0
1	140	0.07	0.09	0.09
2	140	0.98	1.01	1.00
3	135	1.10	1.16	1.15
4	135	1.20	1.21	1.21
5	130	1.21	1.28	1.23
6	130	1.35	1.37	1.37
7	120	1.48	1.48	1.49
8	120	1.47	1.48	1.48
9	110	1.88	1.98	1.92
10	110	1.59	1.61	1.63
11	105	1.65	1.71	1.68
12	105	1.67	1.72	1.69
13	100	1.67	1.72	1.69
14	100	1.67	1.72	1.69
15	95	1.67	1.72	1.69
16	95	1.67	1.72	1.69
17	90	1.67	1.72	1.69
18	90	1.67	1.72	1.69
19	80	1.67	1.72	1.69
20	70	1.67	1.72	1.69
21	60	1.67	1.72	1.69
22	40	1.67	1.72	1.69
23	20	1.67	1.72	1.69
24	0	1.67	1.72	1.69
25	0	1.67	1.72	1.69
26	0	1.67	1.72	1.69
27	0	1.67	1.72	1.69
28	0	1.67	1.72	1.69
29	0	1.67	1.72	1.69
30	0	1.67	1.72	1.69

Sedangkan pengambilan data dengan motor dihubung delta didapat tabel sebagai berikut :

Tabel 4.3 Ist *Soft starting* hubung delta

Waktu (detik)	Sudut picu	Ist <i>soft starting</i> delta (A)		
		R	S	T
0	180	0	0	0
1	140	0.11	0.18	0.19
2	140	1.23	1.25	1.25
3	135	1.40	1.41	1.44
4	135	1.67	1.70	1.71
5	130	1.87	1.89	1.89
6	130	2.41	2.45	2.46
7	120	3.24	3.31	3.43
8	120	2.96	2.95	2.98
9	110	2.75	2.82	2.84
10	110	2.75	2.82	2.84
11	105	2.75	2.82	2.84
12	105	2.75	2.82	2.84
13	100	2.75	2.82	2.84
14	100	2.75	2.82	2.84
15	95	2.75	2.82	2.84
16	95	2.75	2.82	2.84
17	90	2.75	2.82	2.84
18	90	2.75	2.82	2.84
19	80	2.75	2.82	2.84
20	70	2.75	2.82	2.84
21	60	2.75	2.82	2.84
22	40	2.75	2.82	2.84
23	20	2.75	2.82	2.84
24	0	2.75	2.82	2.84
25	0	2.75	2.82	2.84
26	0	2.75	2.82	2.84
27	0	2.75	2.82	2.84
28	0	2.75	2.82	2.84
29	0	2.75	2.82	2.84
30	0	2.75	2.82	2.84

Pada pengujian metode *soft starting* arus starting relatif kecil dan terkendali, arus starting sedikit demi sedikit mendekati arus nominal dan sempat mengalami lonjakan arus melebihi arus nominal di detik 9 pada hubung bintang dan detik ke 7 pada hubung delta. Pada *soft starting* hubung bintang ini lonjakan arus berkisar sebesar 111 % - 114 % di detik ke 9 , lonjakan arus dengan metode *soft starting* masih lebih kecil jika dibandingkan dengan metode DOL. Pada *soft starting* hubung delta, arus nominal akan didapatkan di waktu pengasutan detik ke 9. Pada *soft starting* hubung delta ini lonjakan arus berkisar sebesar 117 % - 121 % di detik ke 7 dan 104 % - 108% di detik ke 8. Lonjakan arus dengan metode *soft starting* masih lebih kecil jika dibandingkan dengan metode DOL dan wye -delta.

4.4 Pengukuran dan Pengujian Soft Stopping

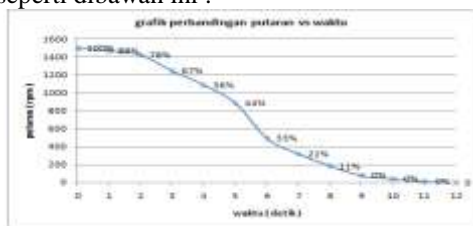
Pengukuran dan pengujian *soft stopping* dilakukan dengan cara mengukur tegangan *line to line* dan *line to netral* saat *soft stopping* serta waktu dari motor saat putaran nominal hingga berhenti . Berikut tabel tahapan pemecuan dan tegangan saat proses *soft stop*.

Tabel 4.4 data *soft stopping*

Waktu	Sudut pemecuan	Tahap pemecuan	V _{L-N} (V AC)	V _{L-L} (V AC)	Putaran (rpm)
0	0	100 %	237	410	1499
1	20	89%	228	395	1471
2	40	78%	190	330	1423
3	60	67%	163	282	1246
4	80	56 %	139	239	1088
5	100	44%	113	190	886
6	120	33%	79	135	494
7	140	22%	37	64	321
8	160	11%	29	45	186
9	180	0%	0	0	80

10	180	0%	0	0	44
11	180	0%	0	0	12
12	180	0%	0	0	0

Dari data hasil pengujian di atas dibuat suatu grafik perbandingan antara putaran dengan waktu pada proses *soft stopping* seperti dibawah ini :



Gambar 4.3 putaran vs waktu soft stopping

Proses *soft stopping* yang mengurangi tegangan suplai secara perlahan lahan berpengaruh langsung terhadap berkurangnya putaran motor secara perlahan karena besar tegangan sumber berbanding lurus dengan putaran motor. Dari hasil pengujian *soft stopping*, alat membutuhkan waktu 9 detik dalam proses *soft stopping* untuk mencapai proses 0% namun motor induksi baru akan berhenti sempurna (putaran nol) dalam detik ke 12. Hal ini dikarenakan masih adanya gaya putar yang dihasilkan oleh motor setelah proses *soft stopping*. Pengereman *soft stop* memberikan alternatif pengereman yang hemat dan kompak dimana tidak diperlukannya rangkaian tambahan dalam perancangan alat *soft starter* dan pengereman dengan pengurangan suplai tegangan dari sumber secara perlahan lahan memungkinkan tidak adanya resiko hentakan pada motor dan beban maupun rugi rugi pada motor induksi.

4.5 Analisa dan Pembahasan Pengasutan Motor Induksi

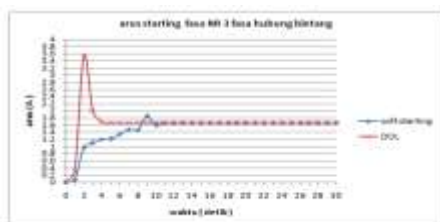
Adapun untuk pembahasan pengasutan motor induksi 3 fasa ini dibutuhkan data spesifikasi motor yang digunakan secara lengkap. Tabel 4.5 menunjukkan spesifikasi motor yang digunakan.

Tabel 4.5 nameplate motor

Motor Induksi Tiga Fasa	
Tegangan Output	: 380 V AC (Y) / 220 V AC (Δ)
Arus	: 2,0 A (Y) / 3,45 A (Δ)
Daya	: 1 HP / 0,75 KW
Rpm	: 1380
Frekuensi	: 50 Hz
Merk	: MEZ Mohelnice

Motor induksi ini terkopel dengan generator DC penguatan terpisah dengan daya 1 HP. Dari *nameplate* terlihat bahwa motor bekerja dalam tegangan kerja 380 VAC dan arus nominalnya 2 A saat digunakan dalam hubung bintang. Saat hubung delta motor bekerja dengan tegangan kerja 220 VAC dan arus nominalnya 3,45 A.

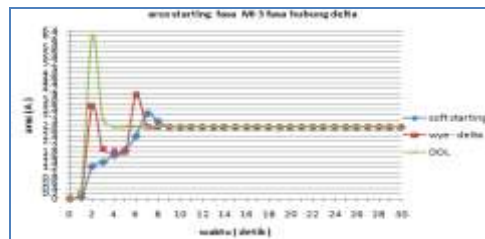
4.5.1 Analisa Arus Pengasutan Pada Motor Hubung Bintang



Gambar 4.4 perbandingan arus starting hubung bintang

Dari ketiga grafik perbandingan di atas terlihat bahwa lonjakan arus pada metode DOL pada hubung bintang sebesar 211,4 % dari arus nominal pada fasa R, 214,5 % dari arus nominal pada fasa S, dan 214,8 % dari arus nominal pada fasa T. Sedangkan jika menggunakan metode *soft starting* arus starting awal lebih kecil dan relatif terkendali. Lonjakan arus yang terjadi relatif kecil yaitu sebesar 112,6 % dari arus nominal R, 111,2% dari arus nominal S, dan 113,6 % dari arus nominal T. Dengan metode *soft start* arus nominal akan diperoleh dalam detik ke 12. Bisa disimpulkan bahwa metode *soft starting* lebih baik daripada metode DOL untuk pengasutan motor induksi 3 fasa hubung bintang.

4.5.1 Analisa Arus Pengasutan Pada Motor Hubung Delta



Gambar 4.5 perbandingan arus starting hubung bintang

Dari grafik perbandingan terlihat bahwa lonjakan arus pada metode DOL pada hubung bintang sebesar 226 % dari arus nominal pada fasa R, 223 % dari arus nominal pada fasa S, dan 224 % dari arus nominal pada fasa T. Pada metode wye – delta lonjakan arus saat memasuki hubung delta sebesar 143,6 % dari arus nominal pada fasa R, 142,5 % dari arus nominal fasa S dan 144 % dari arus nominal fasa T. Sedangkan jika menggunakan metode *soft starting* arus starting awal lebih kecil dan relatif terkendali. Lonjakan arus yang terjadi relatif kecil yaitu sebesar 117,8 % dari arus nominal R, 117,4% dari arus nominal S, dan 120,7 % dari arus nominal T. Dengan metode *soft start* arus nominal akan diperoleh dalam detik ke 9. Bisa disimpulkan bahwa metode *soft starting* lebih baik daripada metode DOL dan wye delta untuk pengasutan motor induksi 3 fasa hubung delta.

4.6 Analisa Arus Pengasutan Dengan Metode Soft Starting

Karakteristik *Soft starter* memiliki kemampuan mengubah besaran tegangan dan frekuensi sesuai kebutuhan namun pada penelitian ini modul *soft starter* hanya mampu mengubah besar tegangan yang masuk ke beban. Kemampuan pengendaliannya untuk pengasutan awal dan bahkan untuk pengaturan putaran. Karakteristik arus fungsi putaran motor, akan menarik 600% dari arus nominal dengan pengasutan langsung, dengan pengasutan *soft starter* mampu ditekan hingga hanya 200% arus nominalnya^[11]. Pada hasil pengujian pengasutan *soft starting* hubung bintang lonjakan arus starting berkisar sebesar 111 % - 114 % dari arus nominal dan 117 % - 121 % dari arus nominal saat dihubung delta. Hasil yang dicapai sudah sesuai teori yang ada.

Dengan menggunakan metode *soft starting* ini dapat diketahui bahwa nilai arus keluaran dapat diatur dengan mengatur sudut picu tegangan. Hal ini terjadi karena sudut picu mengatur tegangan yang masuk yang diberikan pada motor induksi sehingga motor induksi dianggap sebagai impedansi Z yang konstan sehingga apabila tegangan berubah maka arus juga ikut berubah, perubahan nilai tegangan dan arus berbanding lurus hingga diperoleh nilai arus nominal

pada pemecuan 100% (sudut picu 0⁰). Namun pada pengujian arus nominal sudah diperoleh pada detik ke 12 pada *soft starting* hubung bintang dengan sudut picu 105⁰ dan pada hubung delta arus nominal diperoleh di detik ke 9 dengan sudut picu 110⁰ . Besar arus pengasutan yang telah mencapai nominal walaupun belum mencapai sudut pemecuan 0⁰ dikarenakan beban motor induksi merupakan beban induktor hanya saja pada motor induksi medan magnet yang ditimbulkan akan diubah menjadi arus dan kemudian karena terdapat arus yang besar yang terletak pada daerah medan magnet maka akan terjadi gaya gerak yang berupa perputaran motor. Beban induktor tersebut merupakan beban yang dapat menyimpan energi. Energi yang tersimpan dalam induktor ditentukan seperti rumusan berikut ^[8].

$$Wl = \frac{1}{2}LI \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana :

- Wl = Energi yang tersimpan
- L = Induktor (H)
- I = Arus yang melewati konduktor (A)

Dari rumus diatas dapat diketahui semakin besar induktor yang digunakan maka akan semakin besar energi yang tersimpan begitu pula semakin besar arus yang melewati lilitan maka energi yang tersimpan juga semakin besar. Energi yang tersimpan ini yang akan dilepaskan yang kemudian mengakibatkan triac yang seharusnya mati tetap akan mengalirkan arus sampai energi yang tersimpan induktor habis terbuang yang mengakibatkan arus nominal sudah diperoleh walaupun sudut picu belum 0⁰.

4.4.3 Analisa Karakteristik Putaran Motor dan Torsi Motor Dengan Metode Soft Starting

Soft starter bertujuan untuk mendapatkan start motor yang terkendali, sehalus mungkin, dan mencapai kecepatan nominal yang konstan pada aplikasi dengan torsi start rendah. *Soft starter* tidak memberikan torsi lebih, hal ini dikarenakan adanya pengaturan tegangan yang membatasi arus pada *soft starter* hingga ke keadaan nominal. Berbeda dengan metode DOL yang ketika start torsi nya besar dan melebihi torsi nominal motor serta memaksa motor untuk langsung berputar dan metode *wye delta* yang memberikan hentakan pada motor saat hubung bintang berganti delta. Berdasarkan pengambilan data didapatkan tabel data putaran motor saat *soft start* seperti berikut ini:

Tabel 4.6 data putaran motor metode soft start

waktu pemecuan	Proses pemecuan (%)	V hub Y (VAC)	Putaran n Y (rpm)	V hub Δ (VA C)	Putaran n Δ (rpm)
0	0	0	0	0	0
1	22	106	80	91	90
2	22	112	186	102	178
3	25	122	321	112	486
4	25	131	494	135	486
5	28	140	736	157	1431
6	28	163	1146	199	1499
7	33	185	1469	215	1498
8	33	331	1499	226	1499
9	39	352	1499	231	1499
10	39	369	1499	235	1499
11	42	370	1499	235	1499
12	42	385	1499	235	1499

Dari data diketahui bahwa putaran motor berbanding lurus dengan besar tegangan yang masuk ke beban, jadi semakin besar tegangan semakin cepat pula putaran motor. Sementara itu perhitungan torsi bisa dilakukan dengan rumus :

$$\frac{\text{torsi start}}{\text{torsi beban penuh}} = \left(\frac{I_{st}}{I_{\text{beban penuh}}} \right)^2 \cdot S \dots\dots(4.2)$$

Dapat diketahui bahwa torsi start sebanding dengan kuadrat arus starting, sehingga dengan karakteristik arus starting pada metode *soft starting* yang rendah dan sedikit demi sedikit menuju arus nominalnya maka karakteristik torsi yang didapat pada metode *soft starting* pun relatif sama. Metode *soft starting* menawarkan karakteristik torsi start yang rendah , biasanya digunakan pada aplikasi pompa sentrifugal dan fan pada industri *oil and gas* atau *water plant* untuk menghindari kondisi *load hammering*. Sedangkan untuk aplikasi pada konveyor bertujuan agar tidak merusak *belt* yang bisa terputus jika torsi start terlalu besar.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian, dan analisa yang telah dilakukan pada Penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Modul *soft starting* yang dibuat bisa digunakan untuk motor induksi 3 fasa baik dalam konfigurasi bintang maupun delta dengan lama waktu proses *soft starting* 24 detik dan memiliki rating kerja alat dengan arus maksimal 12 A dan tegangan maksimal 600 V AC, rating ini berdasarkan rating *triac* sebagai komponen utama rangkaian daya kendali tegangan AC.
2. Sebuah mikrokontroler ATmega 8535 sebagai kontrol utama alat dan dapat mengatur dengan baik proses pemecuan ketiga buah *triac* sehingga dapat berjalan serempak. Semakin besar nilai TCNT pada pemrograman maka semakin besar pula tegangan yang masuk ke beban.
3. Motor induksi tiga fasa dengan metode *soft starting* dapat mengasut motor induksi 3 fasa dengan arus dan tegangan yang relatif terkendali walaupun sempat mengalami lonjakan arus pengasutan berkisar 111 % - 114 % dari arus nominal saat hubung bintang dan 117 % - 121 % dari arus nominal saat dihubung delta. Arus pengasutan ini relatif lebih kecil jika dibandingkan arus pengasutan metode DOL, dan wye-delta .
4. Metode *soft stoping* dapat menghentikan kerja motor induksi 3 fasa secara perlahan, dengan waktu kerja *soft stoping* 10 detik. Penghentian kerja motor induksi dilakukan dengan sedikit demi sedikit mengurangi pasokan tegangan dari sumber dan motor induksi berhenti di detik ke 12 waktu pengereman *soft stoping*.

5.2 Saran

1. Ditambahkannya sistem pengereman dengan metode yang cepat, tepat dan efisien. Bisa menggunakan metode pengereman *plugging* ataupun *dynamic breaking*.
2. Penambahan sistem proteksi pada alat yang berupa sekering, *Over Current Relay*, *Phase Failure Relay* dan *Thermal Overload Relay*.
3. Pemilihan dan penggunaan komponen yang tepat sehingga saat *soft starting* benar benar tidak ada lonjakan arus yang terjadi. Penggunaan triac bisa diganti dengan IGBT ataupun thyristor.

4. Pembuatan modul *soft starting* dengan sistem pengaturan *closed loop* atau dengan metode *torque control* ataupun *soft start frekuensi controller*.

Daftar Pustaka

- [1.] Agrawal, K C, *Industrial Power Engineering and Applications Handbook*, Butterworth-Heinemann, Great Britain, 2001
- [2.] Basuki Sugiharto, Agung, *Soft Starting dan Dynamic Braking Pada Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Mikrokontroler AT89S51*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2005.
- [3.] Bose, Bimal, *Power Electronics and Motor Drives Advances and Trends*, Academic Press, Tennessee, 2006
- [4.] Dwi Riyadi, *Soft Starting Pada Motor Induksi 3 Fasa*, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2001.
- [5.] Fakhri Reza, *Aplikasi Programmable Logic Control (PLC) Pada Pengasutan dan Proteksi Bintang Delta Motor Induksi Tiga Fasa*, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2007.
- [6.] Heryanto Ary M, ST, Adi Wisnu P, *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATMEGA 8535*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2008.
- [7.] Lister, *Rangkaian dan Mesin Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.
- [8.] P.C Sen, *Principles of Electric Machines and Power Electronics, 2nd Edition*, John Wiley & Sons, USA, 1997.
- [9.] Shafi M, Ahmad, *Aplikasi Kendali PID Menggunakan Skema Gain Scheduling Untuk Pengendalian Suhu Cairan Pada Plant Electric Water Heater*, Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang, 2011.
- [10.] Sidiq Supradi, Fajar, *Soft Starting dan Dynamic Braking Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan TCA 785*, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2005.
- [11.] Siswoyo, *Teknik Listrik Industri*, Depdiknas, Jakarta, 2008.
- [12.] Wildhi, Theodore, *Electrical Machines, Drives, And Power System 3rd*, Prentice-Hall International Inc, New Jersey, 1997.
- [13.] Wardhana L., *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535 Simulasi, Hardware, dan Aplikasi*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2006
- [14.] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, PT. Gramedia, Jakarta, 1990.
- [15.] -----, ATmega32 Data Sheet, <http://www.atmel.com>.
- [16.] -----, Siemens, *Basic AC motor*
- [17.] -----, *soft starter handbook*, ABB
- [18.] <http://www.datasheetcatalog.com>
- [19.] <http://www.wikipedia.com>
- [20.] José de Oliveira, Ademir Nied, *Study on the Energy Efficiency of Soft Starting of an Induction Motor with Torque Control*, State University of Santa Catarina