

SOFT STARTING PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA

Oleh:
Dwi Riyadi H.
L2F 096 581

ABSTRAK

Pada motor induksi yang diam apabila tegangan normal diberikan ke stator maka akan ditarik arus yang besar oleh belitan primernya. Motor induksi saat dihidupkan secara langsung akan menarik arus 5 sampai 7 kali dari arus beban penuh dan hanya menghasilkan torsi 1,5 sampai 2,5 kali torsi beban penuh. Arus mula yang besar ini dapat mengakibatkan drop tegangan pada saluran sehingga akan mengganggu peralatan lain yang dihubungkan pada saluran yang sama. Untuk motor yang berdaya besar tentu arus starting juga akan semakin besar, sehingga untuk motor dengan daya diatas 30 atau 50 hp tidak dianjurkan menghidupkan motor secara langsung.

Beberapa metode starting tradisional motor induksi diantaranya adalah DOL (Direct On Line), Y- Δ , auto-trafo, dan primary resistor, yang ternyata dalam pelaksanaannya masih menarik arus start yang besar, terlebih pada starting DOL. Pada starting Wye-Delta, perpindahan dari wye ke delta ternyata jugamenyebabkan hentakan yang cukup keras pada motor. Jika ini terus dilakukan, dikhawatirkan motor akan cepat mengalami kerusakan. Primary resistor adalah dengan mensekikan tahanan dengan sumber tegangan dengan maksud untuk menahan atau mengurangi arus start yang masuk kedalam motor, tetapi jika ternyata terjadi lonjakan tegangan yang berlebih tahanan tidak cukup untuk membendung arus lebih yang lewat karena tahanan (R) tidak otomatis bertambah nilainya seiring dengan naiknya tegangan.

Metode soft starting, yang tersusun atas komponen SCR (Silicon Control Rectifier) dengan konfigurasi konverter AC-AC anti paralel, diharapkan mampu mengendalikan tegangan dan arus yang masuk kedalam motor secara bertahap sesuai dengan pengaturan yang diinginkan. Dengan demikian masalah starting motor induksi tiga fasa dapat segera diatasi.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Motor induksi merupakan motor yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari aplikasi di lingkungan rumah tangga sampai aplikasi di industri-industri besar. Hal ini disebabkan karena motor induksi memiliki berbagai keunggulan dibanding dengan motor listrik yang lain, yaitu diantaranya karena harganya yang relatif murah, konstruksinya yang sederhana dan kuat serta karakteristik kerja yang baik.

Karena begitu luasnya penggunaan motor induksi maka banyak dilakukan berbagai penelitian untuk meningkatkan unjuk kerja dari motor induksi. Diantara banyaknya penelitian itu diantaranya adalah tentang metode starting motor.

Beberapa metode starting tradisional motor induksi diantaranya adalah DOL (Direct On Line), Y- Δ , auto-trafo, dan primary resistor.

Dengan metode soft starting, diharapkan tegangan dan arus dari sumber tenaga dapat mengalir masuk kedalam motor secara bertahap, sehingga Motor tidak menarik arus starting yang terlalu besar. Sehingga diharapkan motor akan aman dan berumur lebih lama.

1.2. Tujuan

Tujuan dari pengerjaan Tugas Akhir adalah :

- Mengerti dan memahami konsep dasar starting motor induksi 3 fasa.
- Memahami prinsip kerja pembuatan soft starter dengan komponen daya SCR (Silicon Control Rectifier).
- Menguji dan menganalisa soft starter yang dioperasikan pada motor induksi 3 fasa.

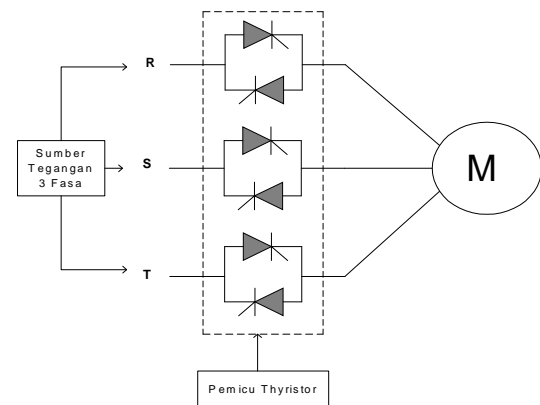
1.3. Pembatasan Masalah

Pada tugas akhir ini, masalah yang dibahas hanya meliputi hal-hal sebagai berikut :

- Analisa dibatasi pada respon motor induksi 3 fasa rotor sangkar terhadap soft starter pada keadaan motor tanpa beban dan berbeban.

- Motor induksi yang digunakan adalah sebagai model simulasi dengan kapasitas kecil, 125 W, 24 V 7 A 50 Hz.
- Membandingkan Soft Starting dengan DOL (Direct On Line) Starting, Wye-Delta Starting dan Auto Trafo Starting untuk keadaan motor tanpa beban dan berbeban meliputi slip dan torsi motor.

II. PERANCANGAN ALAT

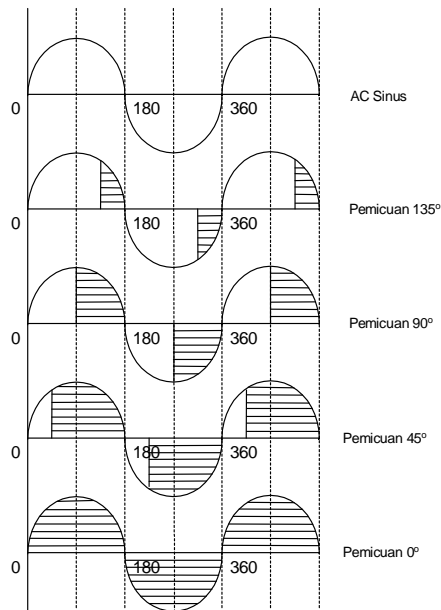


Gambar 1. Rangkaian dasar Soft Starter

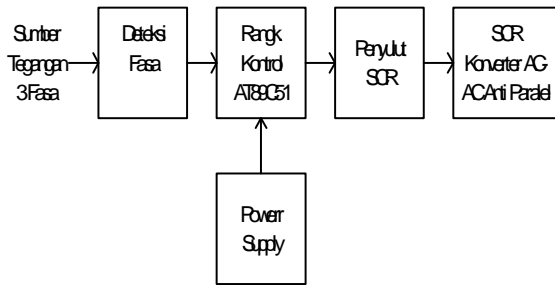
Komponen SCR memblokir aliran arus dalam satu arah tetapi meneruskan arus dalam arah yang lainnya setelah menerima sinyal triger atau “penyulut “ yang disebut pulsa gerbang. Enam buah SCR disusun dalam konfigurasi apa yang disebut konverter AC-AC anti paralel.

Dengan rangkaian kendali yang tepat dapat dicapai pengendalian arus motor atau waktu percepatan yaitu dengan mengenakan pulsa gerbang ke SCR pada waktu yang berbeda dalam setiap setengah siklus tegangan sumber. Jika pulsa gerbang dikenakan lebih dulu dalam setengah siklus, keluaran SCR tinggi. Jika pulsa gerbang dikenakan agak lambat dalam setengah siklus, keluarannya rendah.

Maka tegangan masukan ke motor dapat diubah dari nol sampai sepenuhnya selama periode start, sehingga motor melakukan percepatan dengan halus mulai dari nol sampai ke kecepatan penuh.



Gambar 2.2. Tahapan hasil pemucuan SCR yang diharapkan

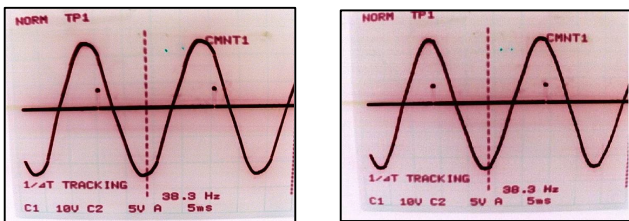


Gambar 2.3. Blok Diagram Soft Starter

III. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

3.1. Pengujian *Soft Starter*

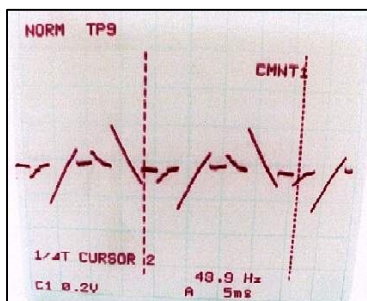
Setelah semua blok pendukung *soft starter* siap, maka *soft starter* siap diuji. Tahap pertama adalah melihat sinyal keluaran dari SCR dengan osiloskop pada beberapa sudut picu dan periode *starting* yang dirancang.



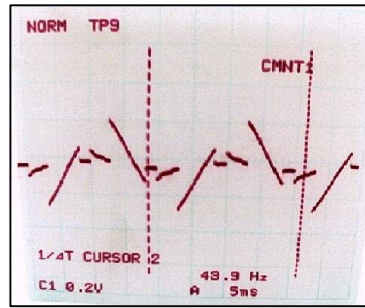
(a) Sudut picu 135° (b) Sudut picu 90°
Gambar 3.1. Keluaran sudut picu

Berikut ini adalah sinyal keluaran *soft starter* berdasar periode *starting*.

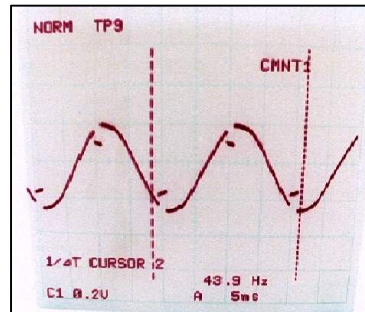
Periode *starting* 15 detik



Tundaan ke-5 detik



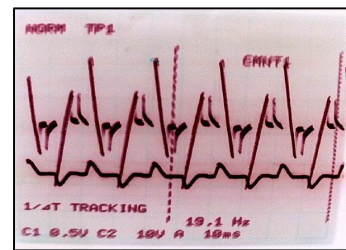
Tundaan ke-10 detik



Tundaan ke-15 detik

Gambar 3.2. Tahapan pemenuhan sinyal sinus periode *starting* 15 detik

Dari gambar di atas diperlukan waktu 15 detik bagi motor induksi 3 fasa untuk mencapai kecepatan penuh. Penambahan waktu (t) sebanding dengan penambahan tegangan yang masuk kedalam motor. Juga dapat dilihat tegangan dan arus *starting*nya :



Gambar 3.3. V dan I *starting*

Gambar di atas diambil pada saat start, dengan $t < 5$ detik, pada $V_{st} = 5,16$ V dan $I_{st} = 0,97$ A.

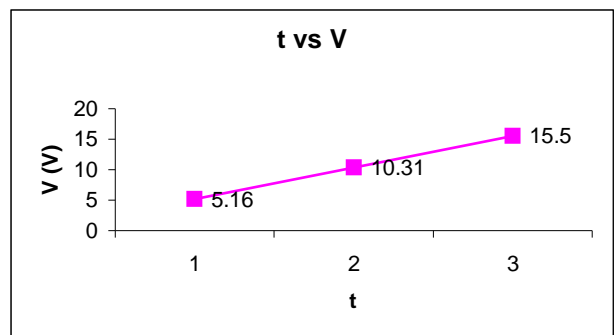
Periode (t) tundaan 15 detik

Dari pengukuran tegangan dan arus didapat data sebagai berikut:

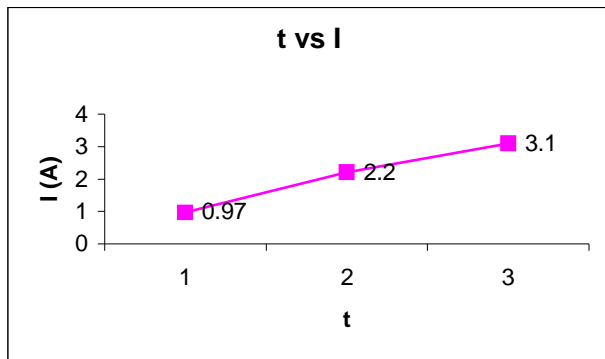
Tabel 1. Tegangan dan arus pada *starting* 15 detik

Periode (t)	V	I
$t_1 = 5$ detik	5,16	0,97
$t_2 = 10$ detik	10,31	2,2
$t_3 = 15$ detik	15,50	3,1

Grafik Perbandingan t vs V :



Grafik Perbandingan t vs I :



Gambar 3.4(a) Grafik t vs V , (b) Grafik t vs I pada periode starting 15 detik

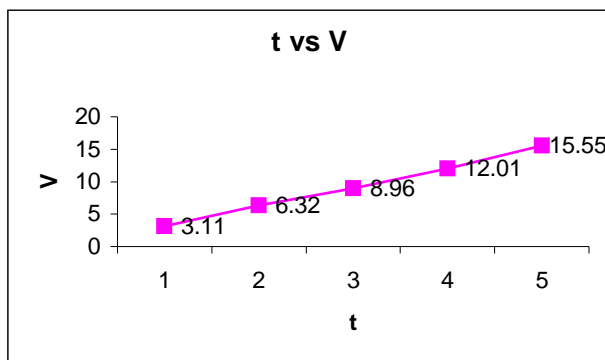
Periode (t) tundaan 25 detik

Dari pengukuran tegangan dan arus didapat data sebagai berikut:

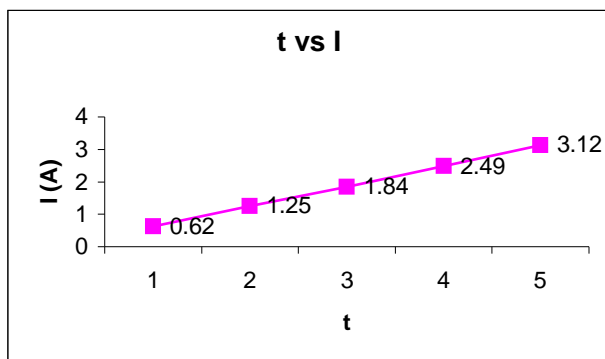
Tabel 2. Tegangan dan arus pada starting 25 detik

Periode (t)	V	I
t ₁ = 5 detik	3,11	0,62
t ₂ = 10 detik	6,32	1,25
t ₃ = 15 detik	8,96	1,84
t ₄ = 20 detik	12,01	2,49
t ₅ = 25 detik	15,55	3,12

Grafik Perbandingan t vs V



Grafik Perbandingan t vs I



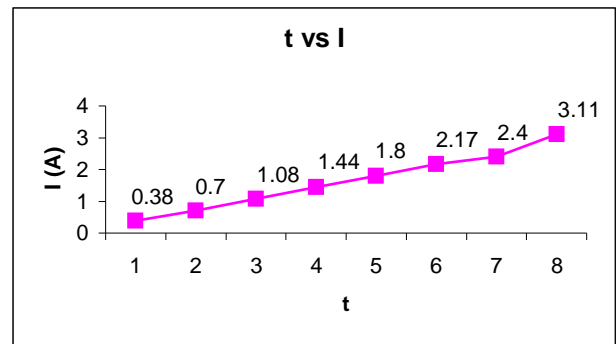
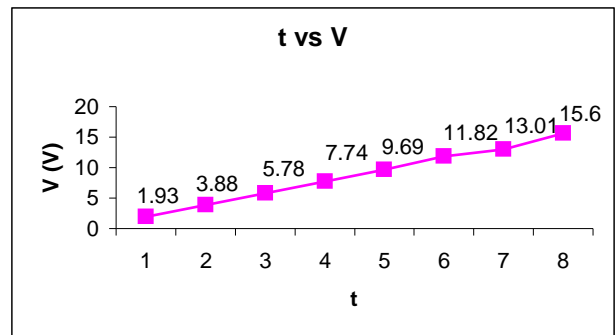
Gambar 3.5(a) Grafik t vs V , (b) Grafik t vs I pada periode starting 25 detik

Periode (t) tundaan 40 detik

Tabel 3. Tegangan dan arus pada starting 40 detik

Periode (t)	V	I
t ₁ = 5 detik	1,93	0,38
t ₂ = 10 detik	3,88	0,7
t ₃ = 15 detik	5,78	1,08
t ₄ = 20 detik	7,74	1,44
t ₅ = 25 detik	9,69	1,80
t ₆ = 30 detik	11,82	2,17
t ₇ = 35 detik	13,01	2,40
t ₈ = 40 detik	15,6	3,11

Grafik perbandingan t vs V



Gambar 3.6(a) Grafik t vs V , (b) Grafik t vs I pada periode starting 40 detik

Setelah sinyal keluaran sesuai dengan yang diharapkan, maka *soft starter* siap diujikan pada motor induksi tiga fasa. Dalam hal ini motor yang digunakan adalah motor induksi 3 fasa dengan tegangan dan arus maksimal 24 V 8 A yang ada pada Laboratorium Ketenagaan dan Konversi Energi Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang. Motor tersebut biasa digunakan untuk keperluan praktikum atau penelitian oleh mahasiswa. Karena tegangan dan arus motor lebih rendah dari pada sumber tegangan tiga fasa dari jala-jala maka dalam operasionalnya diperlukan trafo *step down* tiga fasa untuk menurunkan tegangan jala-jala.

3.2. Perbandingan Metode Starting Motor Induksi 3 fasa

Tabel 4. Data pengukuran starting DOL tanpa beban .

Ist (A)	Iss (A)	Vst (V)	Vss (V)	RPM
1,32	1,23	17,2	17,6	1453

Tabel 5. Data pengukuran starting DOL dengan beban (Generator DC dan R=68Ω)

Ist (A)	Iss (A)	Vst (V)	Vss (V)	Idc (A)	Vdc (V)	RPM
1,64	1,24	17,3	17,6	0,12	7,83	1408

Maka pada starting DOL :

Tabel 6. Slip dan Torsi pada starting DOL

	Tanpa beban	Berbeban
Slip	3,13 %	6,13 %
Torsi	1,534.	3,004

Tabel 7. Data pengukuran starting Wye-Delta tanpa beban

Ist (A)	Iss (A)	Vst (V)	Vss (V)	RPM
1,7	3,28	1,3	20,3	1447 Y
				1473 Δ

Tabel 8. Data pengukuran *starting* Wye-Delta berbeban (Generator DC dan R= 68 Ω)

Ist (A)	Iss (A)	Vst (V)	Vss (V)	Idc (mA)	Vdc (V)	RPM
1,98	3,2	1,2	20,3	0,11	7,78	1434 Y 1418 Δ

Tabel 9. Slip dan Torsi pada *starting* Wye-Delta

	Tanpa beban	Berbeban
Slip	1,8 %	5,46%
Torsi	0,294	0,898

Tabel 10. Data pengukuran *starting* Auto Trafo tanpa beban .

Ist (A)	Iss (A)	Vst (V)	Vss (V)	RPM
0,65	0,65	4,23	4,23	450
0,63	0,62	6,00	6,01	1360
0,76	0,76	8,13	8,13	1440
0,93	0,93	9,80	9,82	1452
1,32	1,23	17,2	17,6	1453

Tabel 11. Data pengukuran *starting* Auto Trafo dengan beban (Generator DC dan R= 68 Ω)

Ist (A)	Iss (A)	Vst (V)	Vss (V)	Idc (mA)	Vdc (V)	RPM
0,99	1,19	6,15	7,47	0,9	1,24	456
	1,34		8,36	1,1	1,53	495
1,64	1,24	17,3	17,6	0,12	7,83	1408

Tabel 12. Data pengukuran *soft starter* tanpa beban

Periode (detik)	Ist (A)	Iss (A)	Vst (V)	Vss (V)	RPM
15	0,5	1,35	0,7	26,5	1473
25	0,6	1,32	0,7	26,5	1474
40	0,5	1,31	0,7	26,4	1477

Tabel 13. Data pengukuran *soft starter* dengan beban (generator DC dan R=68 Ω)

Periode (detik)	Ist (A)	Iss (A)	Vst (V)	Vss (V)	Idc (mA)	Vdc (V)	RPM
15	0,3	1,39	0,8	26,8	93,5	6,3	1459
25	0,5	1,36	1,1	26,6	93,5	6,3	1459
40	0,5	1,35	0,9	26,6	93,0	6,25	1457

Hasil perhitungan Slip dan Torsi pada *soft starting* tanpa beban :

Tabel 14. Hasil perhitungan slip dan torsi pada *soft starting*.

Periode (detik)	Slip	Torsi
15	1,8 %	0,0486
25	1,73 %	0,0381
40	1,53 %	0,0401

Hasil perhitungan Slip dan Torsi pada *soft starting* dengan beban :

Tabel 15. Hasil perhitungan Slip dan Torsi pada *soft starting* dengan beban generator dan R=68 Ω

Periode (detik)	Slip	Torsi
15	2,73 %	0,1264
25	2,73 %	0,0742
40	2,86 %	0,0772

Setelah dilakukan pengukuran dan perhitungan terhadap masing-masing metode *starting* motor induksi tiga fasa maka untuk slip dan torsi motor adalah sebagai berikut:

Tabel 16. Perbandingan slip dan torsi motor untuk setiap metode *starting*.

<i>Starting</i>	Slip (s)		Torsi	
	Tanpa beban	Ber Beban	Tanpa Beban	Ber Beban
DOL	3,13 %	6,13 %	1,534	3,004
Wye-Delta	1,8 %	5,46 %	0,294	0,898
Auto Trafo	3,13 %	6,13 %	1,534	3,004
Soft start	1,53 %	2,86 %	0,0401	0,0772

3.3. Soft Breaking sebagai fasilitas tambahan

Tabel 17. Periode (t) stop *soft breaking*

Start	Soft stop tanpa beban	Soft stop dengan beban Generator DC dan R=68 Ω
Soft start 15 detik	45 detik	35 detik
Soft start 25 detik	45 detik	35 detik
Soft start 40 detik	45 detik	35 detik

Sedangkan Stop lepas periode (t) stopnya adalah :

Tabel 18. Periode (t) stop lepas

Start	Soft stop tanpa beban	Soft stop dengan beban Generator DC dan R=68 Ω
Soft start 15 detik	15 detik	5 detik
Soft start 25 detik	15 detik	5 detik
Soft start 40 detik	15 detik	5 detik

Diketahui bahwa metode *soft starting* memiliki slip dan torsi paling rendah diantara metode yang lain pada keadaan tanpa beban maupun berbeban. Berubah-ubahnya kecepatan motor induksi (n_r) mengakibatkan berubah-ubahnya harga slip dari 100 % pada saat *start* hingga 0% pada saat motor diam ($n_s=n_r$). Karena slip adalah selisih antara kecepatan sinkron dan kecepatan rotor, maka supaya motor dapat berputar n_s tidak boleh sama dengan n_r atau nilai n_r harus lebih kecil dari n_s . Dengan slip yang rendah maka kecepatan sinkron dari motor induksi akan lebih cepat tercapai.

Adanya pertambahan beban akan memperbesar kopel motor yang akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip akan bertambah besar. Jadi, bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun atau semakin besar nilai slip pada motor induksi pencapaian kecepatan konstan (kecepatan sinkron) akan semakin lama.

Torsi adalah gaya putar yang dihasilkan motor untuk memutar beban.

$$Torsi\ starting = \frac{T_{st}}{T_f} = \left(\frac{I_{st}}{I_f} \right)^2 s_f$$

dimana : T_{st}, I_{st} = torsi dan arus *starting*

T_f, I_f = torsi dan arus beban penuh

s_f = slip beban penuh

Soft starter bertujuan untuk mendapatkan *start* dan *stop* yang terkendali, sehalus mungkin serta terproteksi dan mencapai kecepatan nominal yang konstan pada aplikasi

dengan torsi start rendah. *Soft starter* tidak memberikan torsi lebih. Hal ini dikarenakan adanya pengaturan waktu pada *soft starter* untuk V_{st} dan I_{st} sampai ke keadaan mantap atau beban penuh. Semakin lama pencapaian arus beban penuh maka akan semakin kecil torsi *start* yang didapat.

Berbeda dengan DOL starting yang ketika start langsung memaksa motor untuk berputar, sehingga torsi pun harus lebih besar. Jika melihat pada perbandingan metode *starting* untuk torsi. DOL *starting*, tanpa beban = 1,534 : 40 detik = 0,03835 atau = 0,0435, nilai ini adalah mendekati torsi pada *soft starter* tanpa beban periode 40 detik. Begitu pula pada keadaan berbeban = 3,004 : 40 detik = 0,0751 mendekati nilai torsi *soft starter* berbeban periode 40 detik .

Dari nilai-nilai yang mendekati ini dapat dikatakan bahwa torsi *starting* *soft starter* = $\frac{1}{4}$ torsi DOL starting.

IV. PENUTUP

Dari perancangan alat *Soft Starter* untuk motor induksi 3 fasa, pengujian serta analisisnya, maka berikut ini akan diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. *Soft starter* adalah metode *starting* lain untuk motor induksi 3 fasa yang memiliki keandalan yang lebih baik untuk mengatasi arus lebih pada saat start motor.
2. *Soft starter* disusun dasar komponen SCR (*Silicon Control Rectifier*) tipe BT151 dengan konfigurasi konverter AC-AC anti paralel
3. *Soft starting* bertujuan untuk mendapatkan start dan stop yang terkendali dan sehalus mungkin serta terproteksi dan mencapai kecepatan nominal yang konstan pada aplikasinya dengan torsi start rendah. *Soft starting* tidak memberikan torsi lebih.
4. Semakin besar periode (t) waktu tundaan *soft starting*, semakin besar prosentase slip motor tetapi nilai torsi semakin kecil.
5. Dari hasil perbandingannya dengan metode *starting* lain, slip dan torsi motor induksi 3 fasa pada *soft starting* lebih rendah (lihat tabel 4.17.).
6. Pemilihan periode start dapat dilakukan dengan memilih beberapa variasi yang disediakan pada sisi depan yaitu untuk *soft start* t=15 detik, t=25 detik, t=40 detik, selain itu juga disediakan vasilitas *soft breaking* dan *hold off breaking*.
7. *Soft starter* yang dibuat adalah untuk motor Induksi 3 fasa berkapasitas kecil 18-24 V 7 A, standar untuk keperluan praktikum dan penelitian.

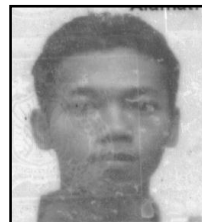
Saran-saran

1. Tugas Akhir ini dapat dikembangkan lagi dengan mengaplikasikannya pada jenis motor lain, atau tetap dengan motor induksi 3 fasa tetapi yang berkapasitas besar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Mohan, N., **Power Electronic, Converters, Applications and Design**, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1995.
2. M.S. Berde, **Thyristor Engineering**, Khana Publisher Delhi, Delhi 1984.
3. BL. Theraja, **A Text Book Of Electrical Technology**, Publication Division of Nirja Constuction & Development Co. Ltd. RAM Nagar, New Delhi, 1980.
4. Theodore Wildi, **Electrical Machines, Drives and Power System**.

5. Muhammad H Rashid, **Elektronika Daya, Rangkaian, Devais dan Aplikasinya**, Jilid 1, Edisi Bahasa Indonesia, Power Electronics, Second Edition, PT Prenhallindo, Jakarta, 1993.
6. A.E. Fitzgerald, Sharles Kingsley. Jr., Stephen D. Umans, Ir. Djoko Achyanto, M.Sc.EE, **Mesin-mesin Listrik**, Edisi keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1992.
7. Enguene C. Lister, **Mesin dan Rangkaian Listrik**, Edisi ke enam, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.
8. Zuhail, **Dasar Tenaga Listrik**, Penerbit ITB Bandung, 1991
9. Ir. Sulasno, **Analisa Sistem Tenaga Listrik**,
10. Agvianto Eko Putra, **Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55**, Gava Media, 2002
11. Isnanto Heru, **Laporan Tugas Akhir, Analisis Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metode Kerangka Referensi**, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2002.
12. Hery Nugraha, **Laporan Tugas Akhir, Cycloconverter 3 Fasa berbasis Mikrokontroler AT89C52**, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang 2003.
13. www.abb.com/motordrives
14. info@electronclab.com
15. www.saftronics.com/solidstatesoftstarter/ppt



Dwi Riyadi H. (L2F096581) lahir di Semarang. Saat ini sedang menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang dengan konsentrasi Ketenagaan

Pembimbing II

Mochammad Facta, ST, MT.
NIP 132 231 134