

ANALISIS SOFT STARTING MENGGUNAKAN ANTI PARALEL SCR UNTUK MOTOR INDUKSI 3 FASA 15 kW Analysis of Soft Starting using Anti Parallel SCR for 3 Phase Induction Motor 15 kW

Ananda Ghufan¹, I Made Ari Nrartha¹, dan Sabar Nababan¹

¹ Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mataram. Jl. Majapahit 62, Mataram, 83125 Lombok, Indonesia
Email: anandaghufan@gmail.com, nrartha@unram.ac.id, nababan.sabar@gmail.com

ABSTRAK

Starting dari motor induksi kapasitas besar menghasilkan arus *start* mencapai 5 sampai 7 kali dari arus nominal motor. Hal ini mengakibatkan drop tegangan pada sistem dan mengganggu peralatan lain yang dihubungkan pada saluran yang sama. Paper ini menggunakan simulasi MATLAB untuk analisis *soft starting* menggunakan anti paralel SCR pada rangkaian *start* motor induksi tiga fase 15 kW. Analisis meliputi arus *starting*, *Total Harmonic Distortion* (THD) dan energi yang dikonsumsi selama *starting*. Rangkaian anti paralel SCR untuk mengontrol tegangan input motor induksi dengan cara memberikan pulsa *trigger* secara bertahap pada *Gate* SCR dari sudut fase 162° sampai 0° dalam waktu 5, 10, 15, dan 20 detik. Hasil simulasi menunjukkan *soft starting* menggunakan anti paralel SCR dapat mengurangi arus *starting* menjadi 92.53 A untuk durasi *starting* 20 detik dibandingkan dengan metoda *Direct On Line* (DOL) yang menghasilkan arus *starting* 299.7 A. THD tegangan dan arus tertinggi diperoleh pada sudut fase tinggi. Konsumsi energi selama *starting* sangat dipengaruhi oleh durasi *starting*. Semakin lama durasi *starting*, energi yang dikonsumsi selama *starting* semakin besar.

Kata kunci: Anti paralel SCR, DOL, Energi, *Soft starting*, THD.

ABSTRACT

Starting of a large capacity induction motor produces starting current up to 5 to 7 times of the nominal current of the motor. That results, a huge voltage drop across the system and interferes with other equipment connected to the same line. This paper utilize a MATLAB simulation for analyzing of soft starting of a 3 phase 15 kW induction motor using anti-parallel SCR. The analysis includes starting current, Total Harmonic Distortion (THD) and energy consumed during starting. SCR anti-parallel circuit to control the induction motor input voltage by giving trigger pulses gradually on the SCR Gate from the phase angle of 162° to 0° within 5, 10, 15, and 20 seconds. The simulation results show that soft starting using anti-parallel SCR can reduce the starting current to 92.53 A for a starting duration of 20 seconds compared to the Direct On Line (DOL) method which produces a starting current of 299.7 A. The highest THD voltage and current are obtained at high phase angles. Energy consumption during starting is mostly determined by the starting duration. The longer the starting duration, the greater the energy consumed by motor at the starting period.

Key words: SCR anti-paralel, DOL, Energy, *Soft Starting*, THD.

PENDAHULUAN

Motor listrik sebagai penggerak sangat berperan penting dalam dunia industri. Jenis penggerak yang sering dipakai adalah motor AC khususnya motor induksi tiga fasa. Motor ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan motor jenis yang lain seperti konstruksi sangat sederhana, harga dan perawatan yang murah.

Permasalahan yang pasti pada motor induksi adalah pada saat motor di-*start*,

arus *starting* motor dapat mencapai lima kali sampai tujuh kali dari arus nominalnya. Fenomena melonjaknya arus awal saat motor induksi di-*start* tersebut dapat menyebabkan terjadinya drop tegangan pada pasokan tegangan. Pada pengaplikasian motor induksi dengan daya diatas 30 KW dapat mengakibatkan penurunan tegangan sistem dan mengganggu kerja sistem peralatan lain yang terhubung dalam satu saluran [1].

Karena begitu luasnya penggunaan motor induksi maka banyak dilakukan berbagai penelitian untuk meningkatkan unjuk kerja dari motor induksi. Penelitian-penelitian tersebut antara lain adalah tentang metode *starting* motor. Beberapa metode *starting* tradisional motor induksi seperti metoda *Direct On Line* (DOL), metoda Y- Δ , metoda autotrafo, dan metoda primary resistor. Disamping metoda-metoda tersebut terdapat metoda yang lebih smooth untuk mengurangi arus *starting* seperti metoda *soft starting* motor induksi.

Metode *soft starting* mengatur tegangan dan arus dari sumber mengalir masuk ke motor secara bertahap, sehingga motor tidak menarik arus *starting* yang terlalu besar. Sehingga diharapkan motor akan aman dan mempunyai umur lebih panjang [2].

Penelitian-penelitian *soft starting* dalam bentuk rancangan hardware sudah dilakukan menggunakan komponen TRIAC dengan mikrokontroler ATmega 8535 untuk *soft starting* motor tiga fase 1 HP [3], begitupula [4] menggunakan jenis mikrokontroler Atmega328 untuk mengontrol TRIAC untuk *soft starting* motor induksi tiga fase 1 kW. Kemudian rancangan *soft starting* namun menggunakan komponen elektronika daya yaitu SCR. Penelitian tersebut menggunakan komponen elektronika daya yaitu thyristor, dengan penyalanya dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Nano [5].

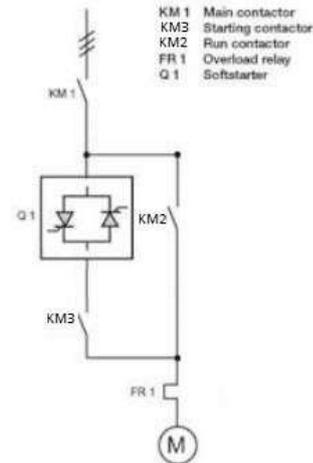
Simulasi *soft starting* pada software khususnya Simulink MATLAB sangat didukung oleh adanya model motor induksi tiga fase [6]. Metode *soft starting* pada penelitian ini terdiri dari modul SCR *soft starting* sistem untuk mengontrol tegangan dan arus ke motor secara bertahap, dengan demikian masalah *starting* motor induksi tiga fase dapat diatasi [7]. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini difokuskan pada analisis *soft starting* menggunakan anti paralel SCR untuk motor induksi dengan kapasitas 15 kW. Simulasi menggunakan MATLAB versi 2014. Lingkup analisis yang dibahas meliputi arus *starting*, harmonisa dan konsumsi energi selama *starting*.

ANTI PARALEL SCR

Soft starting merupakan suatu metoda *starting* motor dengan cara

mengatur tegangan yang masuk pada motor induksi. Pengaturan tegangan dilakukan dengan memanfaatkan komponen elektronika daya yaitu thyristor [8].

Pertama-tama motor hanya diberikan tegangan yang rendah sehingga arus dan torsi pun juga rendah. Selanjutnya tegangan akan dinaikkan secara bertahap sampai ke tegangan nominalnya dan motor akan berputar dengan kondisi RPM yang nominal [9]. Rangkaian *starting* metoda *soft starting* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram *starting* metoda *soft starting* [9]

a. Harmonisa pada *starting* dengan anti paralel SCR

Harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang dengan frekuensi perkalian bilangan bulat dari frekuensi dasar sebuah gelombang. Frekuensi yang terbentuk disebut frekuensi harmonisa yang timbul pada bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonik. Gelombang-gelombang ini menumpang pada gelombang aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmoniknya [10].

Kecacatan gelombang dapat dihitung dengan formula THD. Persamaan 1 adalah formula THD arus dan Persamaan 2 adalah formula THD tegangan.

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana, I_1 dan I_h adalah arus RMS komponen fundamental dan arus RMS komponen harmonisa.

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana, V_1 dan V_h adalah tegangan RMS komponen fundamental dan nilai tegangan RMS komponen harmonisa [12].

b. Konsumsi energi selama *starting* motor induksi

Starting motor induksi membutuhkan waktu sampai motor dapat bekerja secara normal. Proses *starting* mengkonsumsi energi listrik yang berbeda untuk perbedaan lama waktu start untuk motor induksi. Energi listrik yang dikonsumsi motor induksi selama *starting* dapat dihitung dengan Persamaan 3.

$$E = \frac{1}{1000} P * \frac{1}{3600} t \text{ kWh} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana, P dan t adalah daya dalam Watt dan waktu dalam sec.

METODELOGI PENELITIAN

a. Spesifikasi dan model komponen pada Simulink MATLAB untuk Simulasi

Spesifikasi motor induksi tiga fase yang diteliti mempunyai kapasitas Daya 15 kW, tegangan Y/Δ: 400/230 V, frekuensi: 50 Hz, kecepatan nominal: 1480 rpm, Perbandingan Input mekanik terhadap torsi mekanik dengan nilai 0.1, tipe rotor: sangkar tupai. Spesifikasi motor induksi dari data model mesin asinkron di Simulink MATLAB versi 2014.

Blok SCR/Diode pada Simulink MATLAB versi 2014 mempunyai parameter-parameter resistansi internal (Ron), resistansi snubber (Rs) dan kapasitor snubber (Cs). Nilai default digunakan pada penelitian ini yaitu: Ron = 1e-3 ohm, Rs = 1e5 ohm dan Cs = inf farad.

b. Metoda Penelitian

Beberapa model komponen untuk analisis *soft starting* menggunakan anti paralel SCR yaitu model pulsa penyalaan SCR dan model *soft starting*. Model pulsa penyalaan SCR untuk sinyal trigger SCR pada rentang sudut fase 1800 - 00 dalam waktu 5 detik, 10 detik, 15 detik, dan 20 detik.

Langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut:

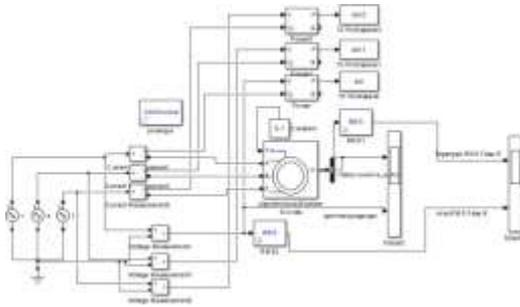
1. Simulasi *starting* motor induksi 3 fase 15 kW metoda DOL. *Starting* motor dengan memberikan tegangan 400 V ke fase-fase motor.
2. Pembuatan model pulsa penyalaan SCR. Model terdiri dari blok sawtooth generator, blok stair generator, blok pulse generator, blok divide dan blok relational operator.
3. Pengujian model pulsa penyalaan SCR pada SCR. Input SCR yaitu tegangan 400 V, gate SCR dihubungkan dengan model pulsa penyalaan SCR yang diatur dari sudut fase 180° sampai 0° untuk melihat hasil tegangan keluaran SCR.
4. Pembuatan model *soft starting* menggunakan anti paralel SCR 3 fase. Anti paralel SCR 3 fase menggunakan 3 pasang SCR. Setiap pasang diposisikan anti paralel.
5. Pengujian model *soft starting* untuk beban RL. Beban RL menggunakan blok series RLC branch. Tiga beban RL dihubung bintang, nilai R = 1 ohm dan L = 1 mH. *Soft starting* diseting dalam waktu 2 detik dengan 10 tahapan trigger SCR dari sudut fase 126° sampai 0°.
6. Simulasi *soft starting* pada motor induksi 3 fase 15 kW. Durasi waktu simulasi untuk *starting* adalah 5 detik, 10 detik, 15 detik dan 20 detik.
 - a. Waktu *starting* 5 detik, pulsa penyalaan SCR diatur secara bertahap (6, 10, dan 20) antara sudut fase 1800 sampai 00.
 - b. Waktu *starting* 10 detik, pulsa penyalaan SCR diatur seperti point a.
 - c. Waktu *starting* 15 detik, pulsa penyalaan SCR diatur seperti point a.
 - d. Waktu *starting* 20 detik, pulsa penyalaan SCR diatur seperti point a.
7. Analisis hasil *soft starting* untuk arus *starting*, harmonisa, dan energi yang dikonsumsi motor selama *starting*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. *Starting* motor induksi 3 fase metode DOL

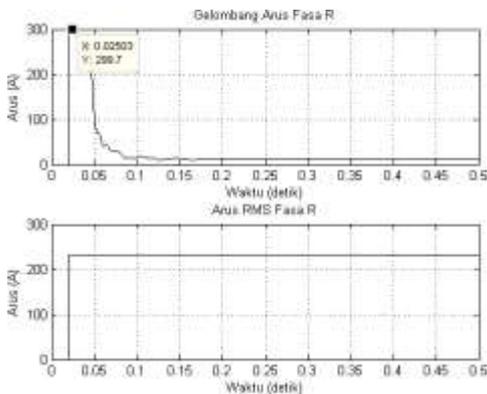
Gambar 5 adalah rangkaian *starting* metoda DOL untuk motor induksi tiga fase 15 kW. Rangkaian terdiri dari blok mesin asinkron SI units, dan blok sumber

tegangan AC satu fase yang disusun hubung bintang menjadi sumber AC tiga fase. Sumber AC tiga fase seimbang dengan magnitud yang sama dan selisih antar fase 120°, tegangan antar fase 400 V, dan frekuensi 50 Hz.



Gambar 2. Starting motor induksi tiga fase metode DOL

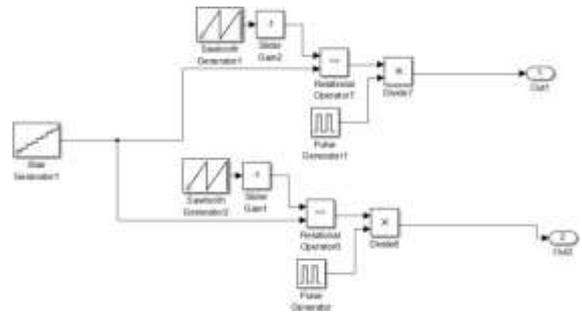
Sumber tegangan 400 V diberikan pada saat *start* sehingga terjadi lonjakan arus *starting* yang sangat tinggi. Lonjakan arus *starting* sebesar 299.7 A sebelum mencapai arus nominal motor 40 A, ditunjukkan pada Gambar 4 bagian atas. Gambar 4 bagian bawah adalah tegangan fase ke netral yang terukur yaitu 230 V.



Gambar 3. Arus dan tegangan fase R metoda DOL.

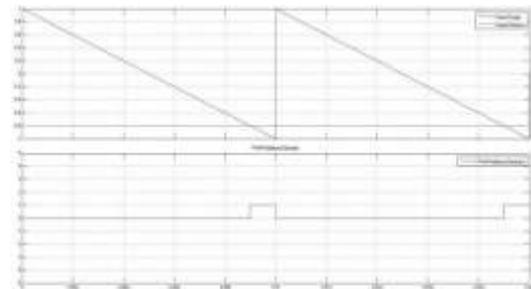
b. Model pulsa penyalan SCR untuk anti paralel SCR

Pembuatan model pulsa penyalan SCR menggunakan blok *sawtooth* generator, blok *stair* generator, blok *divide*, blok *pulse* generator dan blok *relational* operator. Model pulsa penyalan SCR ditunjukkan pada Gambar 4



Gambar 4 Model pulsa penyalan SCR

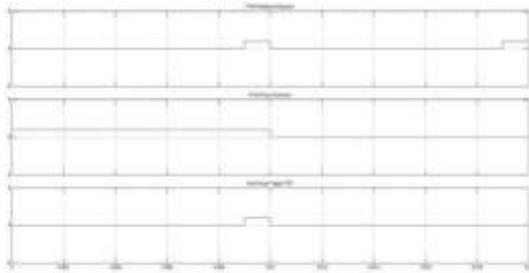
Prinsip kerja model pulsa penyalan SCR yaitu, pada saat nilai tegangan referensi lebih besar dari tegangan *carrier* yang dihasilkan oleh *sawtooth* generator maka keluaran blok *relational* operator akan bernilai *high*. Namun saat tegangan referensi bernilai lebih kecil dari tegangan *carrier*, maka keluaran blok *relational* operator akan bernilai *low*. Variasi nilai *high* dan *low* tersebut merupakan keluaran sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) dari blok *relational* operator. Sinyal PWM tersebut berfungsi sebagai pulsa penyalan SCR.



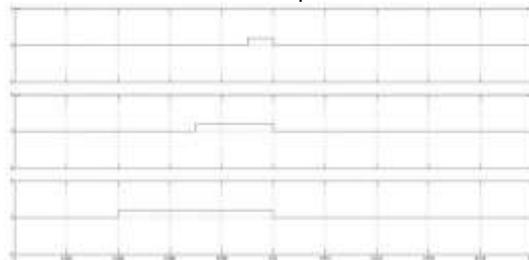
Gambar 5. Sinyal-sinyal pulsa penyalan SCR

Gambar 5 bagian atas adalah tegangan *carrier* yang dihasilkan oleh *sawtooth* generator. Gambar 5 bagian bawah adalah pulsa penyalan SCR berupa PWM yang memiliki frekuensi sebesar 100 Hz. Perubahan tegangan referensi dari -1 sampai dengan 1, menghasilkan sudut fase penyalan SCR dari 180° sampai dengan 0°. Tegangan referensi sebesar -0.8, menghasilkan sudut fase penyalan SCR yaitu 162°.

Pulsa penyalan SCR dari blok *relational* operator dibagi dengan sinyal PWM blok *pulse* generator menggunakan blok *divide* menghasilkan sinyal *trigger* SCR untuk siklus positif maupun negatif seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Pusal penyalan SCR untuk siklus positif

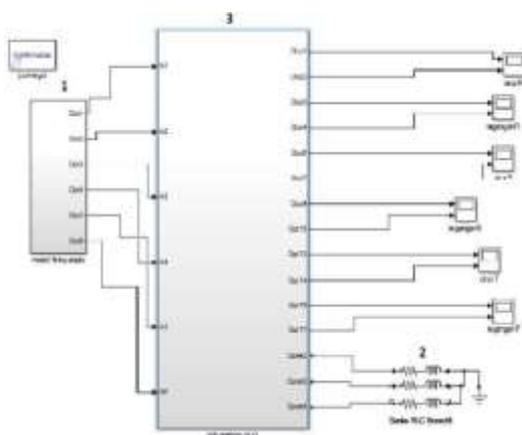


Gambar 7 Sinyal trigger SCR dengan sudut fase penyalan 162°, 126° dan 72°

Gambar 7 adalah hasil pulsa penyalan SCR untuk tegangan referensi dari -1 sampai 1. Dalam rentang tegangan tersebut dipeoleh sinyal triger SCR dengan sudut penyalan antara 1800 sampai 00.

c. Pengujian *soft starting* untuk beban RL.

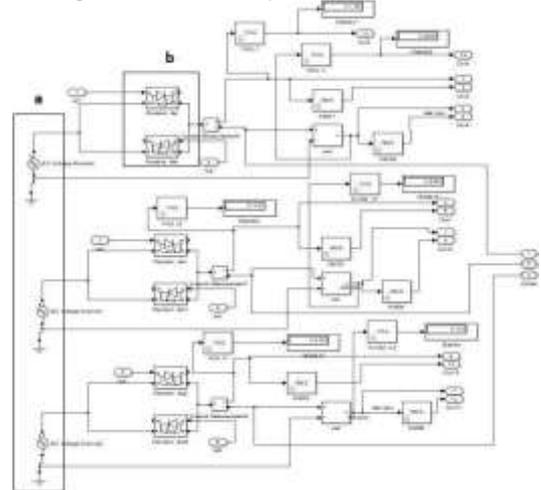
Rangkaian simulasi *soft starting* menggunakan anti paralel SCR untuk beban RL ditunjukkan pada Gambar 8. Rangkaian terdiri dari: model *soft starting*, blok series RLC branch dan model pulsa penyalan SCR. Rangkaian dilengkapi blok scope untuk melihat hasil pengukuran variabel-variabel sistem seperti tegangan, arus, dan THD.



Gambar 8. *Soft starting* untuk Beban RL

Blok model *soft starting* pada Gambar 8 ditampilkan pada Gambar 9. Model *soft starting* terdiri dari blok sumber

tegangan AC satu fase 3 buah, blok SCR/Diode 3 pasang, setiap pasang dirangkai secara anti paralel.



Gambar 9. Model *Soft Starting* SCR

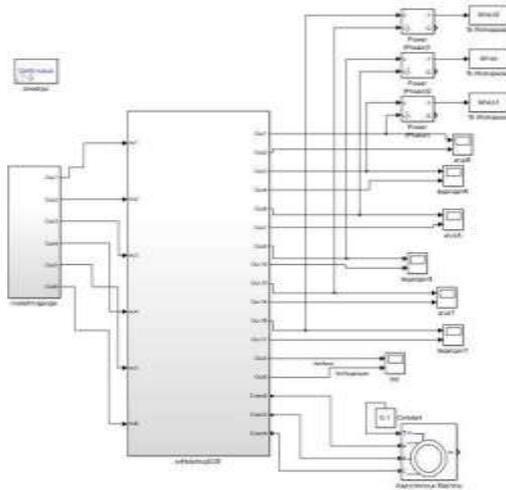
Tabel 1 menunjukkan hasil simulasi *soft starting* untuk beban RL. Sudut fase untuk trigger SCR dirubah dari sudut fase 1620 sampai 00 dalam 10 tahap. Perubahan sudut fase menghasilkan tegangan dan arus pada beban RL semakin besar apabila sudut fase dari pulsa penyalan SCR untuk triger SCR semakin kecil. Perubahan terjadi secara linear dan berbanding terbalik.

Tabel 1. Hasil simulasi *soft starting* beban RL

Sudut Penyalan (°)	Tegangan RMS (V)	Arus RMS (A)
162	8,8	20,25
144	33,8	52,5
126	67,84	90,12
108	105,2	128,5
90	141,2	163,6
72	172,4	192,4
54	196,4	213
36	211,8	225,1
18	219,3	230
0	219,3	230

d. Simulasi *soft statring* pada motor induksi 3 fase

Rangkaian *starting* seperti Gambar 8 dengan mengganti beban RL dengan model motor induksi tiga fase 15 kW, seperti ditunjukkan pada Gambar 10. Motor induksi 15 kW disuplai oleh sumber tiga fase melalui rangkaian *soft starting* dengan anti paralel SCR.



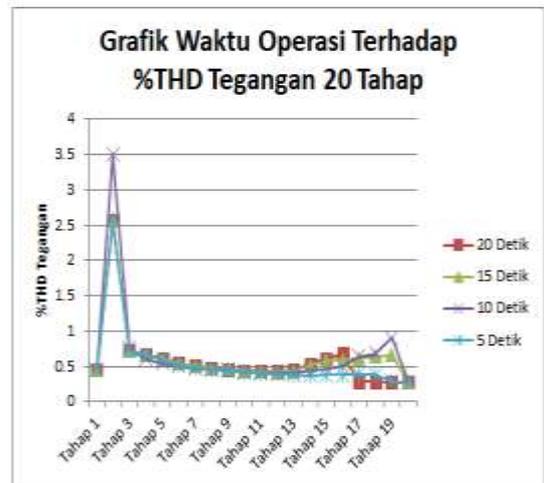
Gambar 10. Model *soft starting* motor Induksi 3 Fase

Gambar 11 adalah grafik arus *starting* hasil simulasi *soft starting* pada motor induksi 3 fase. Durasi *starting* 5, 10, 15 dan 20 detik, masing-masing untuk 5, 10 dan 20 tahap pengaturan pulsa penyalan SCR untuk trigger SCR. Hasil simulasi menunjukkan arus *starting* paling rendah terjadi untuk durasi *starting* 20 detik dan arus *starting* tertinggi terjadi pada durasi *starting* 5 detik untuk semua tahap *starting*. Tahap *starting* untuk semua durasi *starting* menghasilkan penurunan arus *starting* untuk tahap yang lebih banyak. sebagai contoh durasi waktu *starting* 5 detik untuk 20 tahap menghasilkan arus *starting* yang lebih kecil 265.8 A dibandingkan dengan 5 tahap 288.1 A. Hasil simulasi *soft starting* pada motor induksi tiga fase 15 kW, arus *starting* terendah dihasilkan dari durasi *starting* 20 menit dengan pengaturan pulsa penyalan SCR untuk trigger SCR sebanyak 20 tahap yaitu 92.55 A.



Gambar 11 Perbandingan durasi waktu dan tahap *starting* terhadap arus *starting*

Tahapan tegangan hasil dari *soft starting* menggunakan anti paralel SCR mengakibatkan munculnya harmonisa tegangan dan arus pada motor. Harmonisa muncul dari hasil pemotongan gelombang tegangan sinus oleh SCR selama durasi *starting*. Harmonisa dalam besaran THD terukur dalam selang waktu *starting*. THD tegangan untuk semua durasi waktu dalam 20 tahap *starting* ditunjukkan pada Gambar 12. Hasil pengukuran THD yang ditunjukkan pada Grafik Gambar 12 menghasilkan nilai THD tinggi pada saat pulsa penyalan SCR untuk trigger SCR pada beda fase tahap 2 dari 20 tahap untuk semua durasi *starting*. Secara nilai THD tegangan selama durasi *starting* masih dianggap rendah karena kurang dari 5% (standar IEEE 519-1992 untuk tegangan rendah).



Gambar 12 Perbandingan THD tegangan pada berbagai durasi waktu *starting* untuk 20 tahap

Hasil simulasi *soft starting* motor tiga fase 15 kW ditinjau dari konsumsi energi selama durasi waktu dan tahap *starting* ditunjukkan pada Gambar 13. Tahapan *starting* tidak banyak berpengaruh pada konsumsi energi selama *starting*, tetapi konsumsi energi sangat dipengaruhi oleh durasi waktu *starting*. Untuk semua tahap, durasi waktu *starting* semakin lama, energi yang dikonsumsi semakin besar. Konsumsi energi untuk durasi waktu 20 detik lebih tinggi dari 15, detik, 10 detik dan 5 detik secara berturut-turut.



Gambar 13 Pengaruh Waktu Operasi Terhadap Energi Soft Starting

KESIMPULAN

Soft starting menggunakan anti paralel SCR pada motor induksi tiga fase 15 kW dapat mengurangi arus *starting* secara signifikan dari 299.7 A metoda DOL menjadi 92.53 A metoda *soft starting* menggunakan anti paralel SCR untuk durasi waktu 20 detik dengan 20 tahap *starting*. *Soft starting* selama durasi *starting* menghasilkan harmonisa pada tegangan dan arus motor yang terukur dengan besaran THD. THD tegangan selama durasi waktu *starting* dipengaruhi oleh tahap-tahap *starting*. Untuk 20 tahap *starting*, tahap 2 memberikan kontribusi THD tertinggi selama *starting*, tetapi THD kecil bila dilihat dari standar IEEE 519-1992 untuk tegangan rendah. Konsumsi energi selama durasi *starting*, sangat dipengaruhi oleh lama durasi *starting*. Semakin lama durasi *starting* energi yang dikonsumsi semakin besar.

REFERENSI

- [1] T.N. Imamudin, "Perancangan *Soft Starting* pada Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Mikrokontroler Atmega328". Tugas Akhir. Teknik Elektro. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya, 2017.
- [2] D.H. Riyadi, "Perancangan Modul *Soft Starting* Motor Induksi 3 Fase dengan ATMEGA 8535. Transmisi," 12(4),160–167, 2010.
- [3] A.B. Priahutama, T. Sukmadi, I. Setiawan, "Perancangan Modul *Soft Starting* Motor Induksi 3 Fase dengan ATMEGA 8535. Transmisi" 12(4),160–167, 2010.
- [4] R. Ardiansyah, I.M.A. Nrartha, I.M.B Suksmadana, "Perancangan *Soft Starting* Pada Motor Induksi Tiga Phase Menggunakan Mikrokontroler ATMEGA328". Dielektrika, 2(2), (91- 96). 2015

- [5] A. Saputra, Syukriyadin, M. Syukri, . "Perancangan Rangkaian Pengasutan Soft Starting Pada Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Arduino Nano". Karya Ilmiah Elektro, 2(4), (45–51), 2017.
- [6] K. L. Shi, T. F. Chan, Y. K. Wong, S. L. Ho,. "Modelling and simulation of the three-phase induction motor using SIMULINK". Int. J. Electr. Eng. Educ. doi: 10.7227/IJEEE.36.2.6, 1999.
- [7] L. Quan, X., Wang, J., Zhou,. "Research and Simulation of SCR Soft-Start Asynchronous Motor". ICAEES. (1144-1148), 2015.
- [8] A. Sugiharto. "Soft *Soft* dan Dynamic Braking Pada Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Mikrokontroler AT89S51". Skripsi. Universitas Bengkulu. Bengkulu, 2014.
- [9] Y.R. Fauzi, "Perancangan *Soft Starting* pada Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Mikrokontroler Atmega328". Tugas Akhir. Teknik Elektro. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya, 2017.
- [10] N. Tribuana, & Wanhar, ."Pengaruh Harmonik pada Transformator Distribusi" 1999. <https://www.elektroindonesia.com>.
- [11] N. Mohan, T.M. Undeland, W.P. Robbins, "POWER ELECTRONICS (2 ed.). John Wiley & Sons, Inc. Rashid, M. Power Electronics. (2001). India : Academic Press.,1995