

Perbaikan Nilai Arus Starting Pada Pompa Submersible Satu Fasa Menggunakan Kontroler PID

Yudhit Mimbar Ali Sakti¹, Andriani Parastiwi², Fathoni³

[Submission: 25-07-2021, Accepted: 31-07-2021]

Abstract— Induction motors are widely used because of their ease of maintenance and use. In the direct starting process, the induction motor has a disadvantage, namely, the starting current is high enough to reduce the efficiency of electrical energy and interfere with the performance of other electrical equipment in one electrical network. By starting using a softstarter, the electric current can be minimized. The softstarter works by providing a low voltage when the motor starts rotating and gradually increasing the voltage until the motor rotates at its nominal speed. By gradually increasing the voltage, the current spikes during the starting process can be minimized. Therefore, the PID control method is needed to adjust the motor starting current to match the setpoint. In this softstarter using constant values $K_p = 75$, $K_i = 10$, and $K_d = 0.1$. In this study using a 180 Watt Submersible Pump motor. When the starting process uses a softstarter, it still experiences a surge of 0.25A current from the nominal current when the motor is without water load and a 0.3A surge occurs from the nominal current of the motor with a water load.

Keywords – Induction Motor, Softstarter, PID, Submersible Pump

Intisari— Motor induksi banyak digunakan karena kemudahannya dalam perawatan dan penggunaannya. Pada proses starting secara langsung, motor induksi memiliki kekurangan yaitu arus starting yang cukup tinggi sehingga menurunkan efisiensi energi listrik dan mengganggu kinerja peralatan listrik lain dalam satu jaringan listrik. Dengan starting menggunakan softstarter maka lonjakan arus listrik dapat diminimalkan. Softstarter bekerja dengan memberi tegangan rendah saat motor mulai berputar dan secara bertahap menaikkan tegangannya sampai motor berputar dengan kecepatan nominalnya. Dengan menaikkan tegangan secara bertahap maka lonjakan arus saat proses starting dapat diminimalkan. Oleh karena itu, metode kontrol PID diperlukan untuk mengatur arus starting motor agar sesuai dengan setpoint. Pada softstarter ini menggunakan nilai konstanta $K_p = 75$, $K_i = 10$, dan $K_d = 0.1$. Penelitian ini menggunakan motor Pompa Submersible 180 Watt. Pada saat proses starting menggunakan softstarter, masih mengalami lonjakan arus 0,25A dari arus nominal ketika motor tanpa beban air dan terjadi lonjakan 0,3A dari arus nominal motor dengan beban air.

Kata Kunci - Motor Induksi, Softstarter, PID, Pompa Submersible

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok yang tidak dapat dipisahkan bagi masyarakat Indonesia, mulai dari kebutuhan penerangan rumah tangga, gedung perkantoran maupun pada peralatan industri. Dengan energi listrik maka pekerjaan manusia dapat dilakukan dengan mudah dan efisien. Energi listrik banyak digunakan karena mudah dikonversi ke energi lain seperti energi listrik dirubah ke energi mekanik, maka dibutuhkan suatu perangkat yang disebut dengan motor. Pada motor jenis induksi terdapat kelemahan yaitu arus *start* yang besar salah satunya pada motor pompa *submersible* yang memiliki arus *starting* dapat mencapai 7 kali arus nominal, sehingga mengakibatkan penurunan tegangan sistem dan mengganggu kinerja peralatan lain dalam satu jaringan listrik [1].

Lonjakan arus (*inrush current*) terjadi ketika rangkaian terhubung langsung dengan beban pada suatu rangkaian listrik tertutup dengan interval waktu yang sangat singkat dalam skala mikrodetik sampai milidetik[2]. Beberapa metode *starting* konvensional dalam pelaksanaannya masih memiliki kekurangan seperti hentakan yang terjadi saat proses *starting*, sehingga mengurangi umur pakai komponen mekanik motor tersebut. Banyak kekurangan pada metode *starting* konvensional tersebut, sehingga dibutuhkan suatu pengasutan yang baik, efisien dan juga mengurangi arus *start* awal yang tinggi. Oleh karena itu, dengan menggunakan *softstarter* maka kekurangan pada *starting* konvensional dapat diminimalkan. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengontrol arus *starting* pada pompa submersible satu fasa menggunakan metode *proportional integral derivative* (PID).

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Softstarter*

Fungsi utama *softstarter* adalah untuk membatasi arus awal yang akan melindungi kumparan dari distorsi panas khususnya untuk motor induksi dengan rotor sangkar tupai [3]. Rangkaian *softstarter* konvensional secara sederhana menggunakan komponen thyristor anti-paralel. Pengaturan tegangan stator dilakukan dengan mengatur sudut pemicu

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195

¹Mahasiswa, Program Studi D-IV Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, Jln. Soekarno Hatta no. 9 Malang.
e-mail: yudhitmimbar50@gmail.com

^{2,3}Dosen, Program Studi D-IV Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, Jln. Soekarno Hatta no. 9 Malang.
e-mail: andriani.parastiwi@polinema.ac.id, pakfapirus@yahoo.com



thyristor [4]. Penggunaan *softstarter* dapat memperpanjang umur pemakaian motor induksi. *Softstarter* dengan *thyristor* efektif mengendalikan motor induksi dengan perubahan beban dan meningkatkan efisiensi. Karakteristik motor induksi seringkali membawa kesulitan dalam pengendaliannya. Diantara metode pengendalian motor induksi yang berbeda-beda, metode pengaturan tegangan *thyristor VVCF (variable voltage constant frequency)* mampu mengurangi kerugian daya dan telah banyak digunakan *soft starter* motor induksi dan efektif bekerja dengan perubahan beban [5].

B. *PID (Proportional Integral Derivative Controller)*

Kontroler PID (*Proportional Integral Derivative Controller*) merupakan kontroler mekanisme umpan balik yang biasanya dipakai pada sistem kontrol industri. Sebuah kontroler PID secara kontinyu menghitung nilai kesalahan sebagai beda antara *setpoint* yang diinginkan dan variabel proses terukur. Kontroler mencoba untuk meminimalkan nilai kesalahan setiap waktu dengan penyetelan variabel kontrol, seperti posisi keran kontrol, damper, atau daya pada elemen pemanas, ke nilai baru yang ditentukan oleh jumlahan.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{e(t)}{dt} \quad (1)$$

Dengan:

K_p : Gain proporsional

K_i : Gain Integral

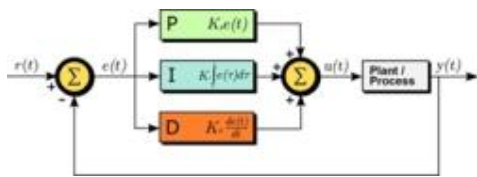
K_d : Gain Derivatif

Y_{sp} : Setpoint

Y_m : Variabel proses

T : Waktu

t : Variabel integrasi; nilainya diambil dari waktu nol sampai t .



Gambar 1. Diagram Blok PID

dengan K_p , K_i , and K_d , semuanya positif, menandakan koefisien untuk term proporsional, integral, dan derivatif, secara berurutan (atau P, I, dan D). Pada model ini:

- a. P bertanggung jawab untuk nilai kesalahan saat ini. Contohnya, jika nilai kesalahan besar dan positif, maka keluaran kontrol juga besar dan positif.
- b. I bertanggung jawab untuk nilai kesalahan sebelumnya. Contoh, jika keluaran saat ini kurang besar, maka kesalahan akan terakumulasi terus menerus, dan kontroler

akan merespon dengan keluaran lebih tinggi.

- c. D bertanggung jawab untuk kemungkinan nilai kesalahan mendatang, berdasarkan pada rate perubahan tiap waktu.

Karena kontroler PID hanya mengandalkan variabel proses terukur, bukan pengetahuan mengenai prosesnya, maka dapat secara luas digunakan. Dengan penyesuaian (tuning) ketiga parameter model, kontroler PID dapat memenuhi kebutuhan proses. Respon kontroler dapat dijelaskan dengan bagaimana responnya terhadap kesalahan, besarnya *overshoot* dari *setpoint*, dan derajat osilasi sistem. penggunaan algoritme PID tidak menjamin kontrol optimum sistem atau bahkan kestabilannya.

TABEL 1.
 KARAKTERISTIK PID

| Tanggapan Loop Tertutup | Waktu Naik | Overshoot | Waktu Turun | Error Steady State |
|-------------------------|-----------------|-----------|-----------------|--------------------|
| Proporsional (Kp) | Menurun | Meningkat | Perubahan Kecil | Menurun |
| Integral (Ki) | Menurun | Meningkat | Meningkat | Hilang |
| Derivative (Kd) | Perubahan Kecil | Menurun | Menurun | Perubahan Kecil |

C. *Motor Induksi Pompa Submersible*

Konstruksi motor induksi satu fasa terdiri atas dua komponen yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian dari motor yang tidak bergerak dan rotor adalah bagian yang bergerak yang bertumpu pada bantalan poros terhadap stator. Motor induksi terdiri atas kumparan stator dan kumparan rotor yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik.

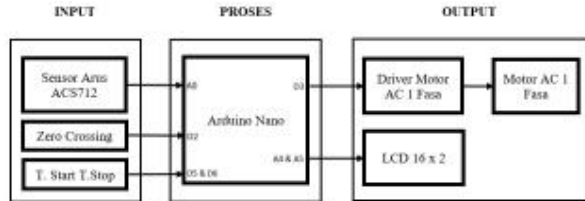
Prinsip kerja dari motor induksi 1 fasa yaitu motor ini disuplai oleh sebuah sumber AC 1 fasa. Ketika sumber AC diberikan pada stator winding dari motor, maka arus dapat mengalir pada stator winding. Fluks yang dihasilkan oleh sumber AC pada stator winding tersebut disebut sebagai fluks utama. Karena munculnya fluks utama ini maka fluks medan magnet dapat dihasilkan oleh stator. Maka motor akan berputar[6].

III. METODE PENELITIAN

Metode dalam penelitian ini yaitu berupa perancangan dan pembuatan alat yang terdiri dari dua bagian, yaitu bagian mekanik dan bagian elektrik. Perancangan dan pembuatan alat dilakukan secara bertahap, mulai dari perancangan software, blok rangkaian kontrol, blok rangkaian elektrik, mekanik dan perancangan sistem *softstarter* secara keseluruhan.



A. Diagram Blok Sistem



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Prinsip kerja dari sistem *softstarter* pompa *submersible* adalah dengan mengatur arus yang masuk ke motor pompa *submersible* sehingga arus *starting* motor pompa *submersible* tidak melampaui batas yang telah ditentukan. Motor pompa *submersible* akan mulai berputar ketika tombol *start* ditekan. Ketika motor pompa *submersible* mulai berputar, sensor arus akan mendeteksi besarnya arus yang digunakan selama proses *starting*. Hasil pembacaan data dari sensor arus akan diolah oleh mikrokontroler Arduino Nano.

Data dari hasil pembacaan sensor yang diolah mikrokontroler akan dibandingkan dengan *setpoint* melalui program pada mikrokontroler. Apabila arus *starting* melebihi *setpoint* yang telah ditentukan maka mikrokontroler akan memperbesar sudut penyalan triac, sehingga akan menurunkan tegangan efektif yang masuk ke motor. Apabila tegangan efektif yang masuk ke motor turun maka arus *starting* motor akan turun. Dan apabila hasil pembacaan sensor arus kurang dari *setpoint* maka mikrokontroler akan mengecilkan sudut pemicuan triac sehingga tegangan efektif dan arus *starting* motor akan naik. Apabila pembacaan sensor arus telah sesuai dengan *setpoint* maka mikrokontroler akan memperkecil sudut pemicuan triac untuk meningkatkan tegangan efektif sampai mencapai tegangan 220 volt dengan tetap menjaga nilai arus sesuai dengan *setpoint*.

Dalam pengontrolan ini menggunakan metode PID (*Proportional Integral Derivative*) yang tertanam di dalam program mikrokontroler yang berfungsi untuk menstabilkan atau mempertahankan nilai arus motor pompa *submersible* sesuai dengan *setpoint*.

B. Perancangan Mekanik

Berikut spesifikasi mekanik yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. Panjang : 20cm
- b. Lebar : 20cm
- c. Tinggi : 12,5cm
- d. Bahan box menggunakan besi



Gambar 3. Mekanik Tampak Dalam

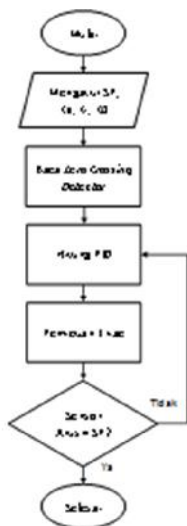


Gambar 4. Mekanik Tampak Depan

C. Perancangan Perangkat Lunak

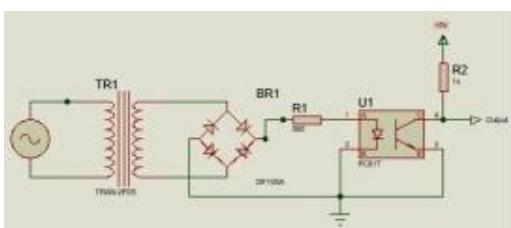
Sistem kendali yang menggunakan mikrokontroler sebagai pengendali utama memerlukan perancangan perangkat lunak dengan susunan algoritma pemrograman yang baik dan benar agar dapat bekerja sesuai dengan perintah-perintah yang ditulis dalam bentuk program. Program ditulis menggunakan bantuan Arduino IDE. Perangkat lunak ini akan menjalankan dan menghitung nilai output yang kemudian diumpukan kembali menggunakan sensor Arus ACS712. Untuk mencapai respon sistem yang baik, pada alat *softstarter* ini menggunakan metode PID, dimana pada metode ini sinyal *output* dikendalikan untuk meminimalisir lonjakan arus *starting* pada motor pompa *submersible* 1 fasa ketika proses *starting* terjadi.





Gambar 5. Diagram Alir Program

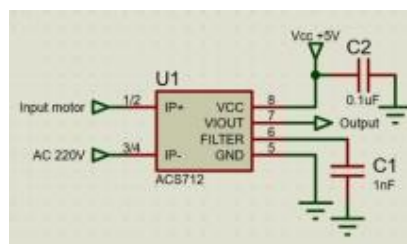
D. Perancangan Zero Crossing Detector



Gambar 6. Rangkaian zero crossing detector

Rangkaian *zero crossing detector* merupakan rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi titik nol pada gelombang sinus PLN. *Zero crossing detector* merupakan rangkaian pemberi acuan mulai waktu tunda pada mikrokontroler, sehingga mikrokontroler dapat memotong gelombang sinus PLN dengan presisi. Pada rangkaian ini menggunakan trafo *step down* 9 Volt yang disearahkan menggunakan jembatan diode sebagai *input* sinyal gelombang penuh yang akan digunakan sebagai acuan waktu tunda.

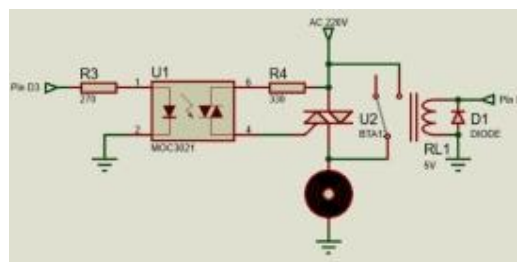
E. Perancangan Sensor Arus ACS712



Gambar 7. Rangkaian Sensor Arus ACS712

Pada sensor ACS712 didalamnya terdapat rangkaian *low-offset linear Hall* dengan satu lintasan yang terbuat dari tembaga. Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat didalamnya yang menghasilkan medan magnet yang di tangkap oleh *integrated Hall IC* dan diubah menjadi tegangan proporsional. Ketelitian dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan cara pemasangan komponen yang ada didalamnya antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan *hall transducer* secara berdekatan. Persisnya, tegangan proporsional yang rendah akan menstabilkan *Bi CMOS Hall IC* yang didalamnya yang telah dibuat untuk ketelitian yang tinggi oleh pabrik.

F. Rangkaian Dimmer



Gambar 8. Rangkaian Dimmer

skematik rangkaian *dimmer* untuk *softstarter* pompa *submersible*. Pada proses *starting* motor, gelombang sinus dicacah oleh triac sampai tegangan nominal motor tercapai, ketika tegangan nominal tercapai maka relay akan aktif yang ditandai oleh berpindahnya selektor dari *NC (normally close)* berpindah ke *NO (normally open)* untuk meminimalisir kegagalan sistem dan mengurangi beban pada triac ketika motor beroperasi dalam jangka waktu yang lama. Untuk mencacah gelombang sinus tegangan 220 volt diperlukan

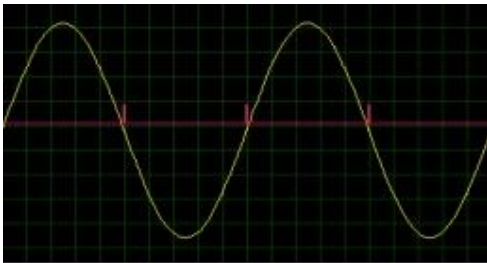


sinyal perintah dari mikrokontroler melalui *optocoupler* MOC3021.

I. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Rangkaian Zero Crossing Detector

Pengujian rangkaian *zero crossing detector* dilakukan dengan menyambungkan rangkaian *zero crossing detector* dengan transformator sebagai input sinyal yang memiliki frekuensi 50 Hz, kemudian sinyal tersebut disearahkan menggunakan penyearah gelombang penuh dengan menggunakan 4 buah dioda yang memiliki output sinyal dengan frekuensi 100 Hz. Dengan frekuensi 100 Hz dan tegangan diatas tegangan kerja mikrokontroler (5V) maka perlu di isolasi menggunakan *optocoupler* untuk meminimalkan kerusakan pada mikrokontroler.



Gambar 9. Bentuk Sinyal Zero Crossing Detector

B. Pengujian Sensor Arus ACS712

TABEL 2.

TABEL HASIL PENGUJIAN SENSOR ARUS ACS712

| Pembacaan ACS712 (A) | Pembacaan Ampere Meter (A) | Error (\pm A) | Error (%) |
|----------------------|----------------------------|------------------|-----------|
| 0,08 | 0,08 | 0 | 0 |
| 0,11 | 0,11 | 0 | 0 |
| 0,48 | 0,45 | 0,03 | 6,6 |
| 1,1 | 0,97 | 0,13 | 13 |
| 1,56 | 1,39 | 0,17 | 12 |

Pengujian sensor arus ACS712 dilakukan dengan cara membandingkan pembacaan sensor arus ACS712 dengan alat ukur arus yaitu ampere meter. Dari perbedaan nilai yang terbaca oleh ampere meter dengan sensor arus ACS712 akan didapat nilai *error* dari sensor ACS712. Persentase nilai *error* tersebut dapat ditentukan dengan rumus:

$$\%Error = \frac{X-Y}{Y} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana:

X = hasil pembacaan sensor arus ACS712 (A)

Y = hasil pembacaan ampere meter (A)

Hasil pengujian sensor arus ACS 712 membuktikan bahwa masih terdapat perbedaan hasil pembacaan antara sensor arus ACS712 dengan alat ukur ampere meter. Dengan rata-rata *error* setiap pembacaan *sensing* sensor dengan alat ukur adalah 6,32%.

C. Pengujian Rangkaian Dimmer Triac

Rangkaian *dimmer triac* merupakan salah satu *driver* motor yang banyak digunakan pada arus listrik bolak-balik AC (*Alternating Current*). Dengan menggunakan sudut penyalan triac maka dapat menghasilkan perubahan tegangan efektif (V_{rms}) yang berbeda pada arus listrik bolak-balik. Berikut rumus perhitungan menentukan waktu penyalan triac:

Dalam satu periode sinusoidal dengan frekuensi 50 Hz (PLN) dapat dihitung nilai periode dengan rumus:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50\text{Hz}} = 20\text{ms} \quad (3)$$

Maka untuk setengah periode sinusoidal nilai periode:

$$\text{Setengah periode sinusoidal} = \frac{1}{2} \times 20\text{ms} = 10\text{ms} \quad (4)$$

Besar nilai waktu tunda untuk setengah periode sinusoidal dapat dicari dengan persamaan:

$$\text{waktu tunda (ms)} = \frac{\text{Sudut penyalan } (\alpha)}{180^\circ} \times \text{setengah periode (ms)} \quad (5)$$

Pada gelombang sinus listrik bolak balik akan di potong bentuk gelombang-nya untuk menentukan tegangan keluaran pada sinyal sinus listrik bolak-balik tersebut. Berikut ini tabel sudut penyalan *triac*.

TABEL 3.

TABEL HASIL PENGUJIAN RANGKAIAN DIMMER TRIAC

| Sudut Penyalan () | Perhitungan Waktu Tunda (ms) | Pengujian Waktu Tunda (ms) | Error (ms) | Error (%) |
|--------------------|------------------------------|----------------------------|------------|-----------|
| 15° | 0,83 | 0,84 | 0,01 | 1,19 |
| 30° | 1,66 | 1,67 | 0,01 | 0,59 |
| 45° | 2,5 | 2,51 | 0,01 | 0,39 |

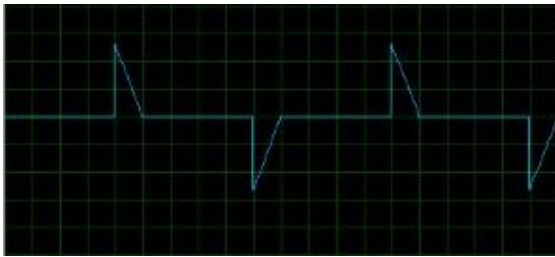


| | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 60° | 3,33 | 3,33 | 0 | 0 |
| 75° | 4,16 | 4,17 | 0,01 | 0,23 |
| 90° | 5 | 5,04 | 0,04 | 0,79 |
| 105° | 5,83 | 5,84 | 0,01 | 0,17 |
| 120° | 6,67 | 6,66 | 0,01 | 0,15 |
| 135° | 7,5 | 7,52 | 0,02 | 0,26 |

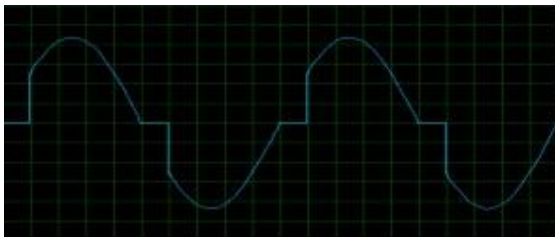
Persentase nilai *error* tersebut dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\%Error = \frac{\text{pengujian waktu tunda} - \text{perhitungan waktu tunda}}{\text{perhitungan waktu tunda}} \times 100\% \quad (6)$$

Hasil pengujian pada tabel 3 dan gambar 12 menunjukkan perubahan waktu tunda penyulutan berpengaruh terhadap sudut penyalaan triac dan rata-rata *error* antara pengujian waktu tunda dengan perhitungan waktu tunda adalah 0,418%.



Gambar 10. Bentuk Sinyal Dengan Waktu Tunda Besar



Gambar 11. Bentuk Sinyal Dengan Waktu Tunda Kecil

D. Pengujian Parameter PID

Pada pengujian parameter PID menggunakan metode Ziegler-nichols respon sistem pada metode ini tidak sesuai dengan yang diharapkan dimana pada bentuk gelombang yang dihasilkan tidak terjadi osilasi, maka dilakukan tuning dengan menggunakan metode trial and error agar respon sistem yang dihasilkan sesuai dengan perancangan, berikut konstanta nilai $K_p=75$, $K_i=10$, dan $K_d=0.1$.



Gambar 12. Grafik Pengasutan Langsung Tanpa Beban



Gambar 13. Grafik Pengasutan Softstarter PID Tanpa Beban



Gambar 14. Grafik Pengasutan Langsung Dengan Beban



Gambar 15. Grafik Softstarter PID dengan Beban



Pada pengambilan data terdapat perbedaan nilai arus nominal motor induksi tanpa beban dengan arus nominal motor induksi ketika mendapat beban. Perbedaan nilai arus nominal ini terjadi karena *propeler* yang terhubung pada poros rotor terbebani oleh air. Semakin besar beban yang diterima, maka semakin besar energi yang dibutuhkan untuk memutar poros rotor agar berputar. Pada saat poros rotor mulai berputar terjadi perbedaan putaran relatif antara stator dengan rotor motor induksi yang berakibat pada nilai slip yang besar yang dapat mengakibatkan tingginya nilai arus listrik pada saat proses *starting* motor terjadi. Sehingga dapat dianalisis bahwa ketika motor tanpa beban dengan motor berbeban memiliki nilai nominal arus *starting* yang berbeda, pada nilai arus *starting* pada motor induksi tanpa beban lebih rendah daripada nilai *starting* motor induksi berbeban. Hal ini terjadi karena nilai *starting* motor yang mendapatkan beban membutuhkan energi lebih besar untuk memutar poros rotor ketika proses *starting* motor terjadi.

TABEL 4.

HASIL PENGUJIAN PENGASUTAN TANPA BEBAN

| Parameter | Pengasutan Langsung | Pengasutan Softstarter |
|-------------------|---------------------|------------------------|
| Arus Starting (A) | 2,2 | 1 |
| Arus Nominal (A) | 0,75 | 0,75 |
| Settling Time (s) | 2,1 | 2,1 |

TABEL 5.

HASIL PENGUJIAN PENGASUTAN DENGAN BEBAN

| Parameter | Pengasutan Langsung | Pengasutan Softstarter |
|-------------------|---------------------|------------------------|
| Arus Starting (A) | 2,5 | 1,9 |
| Arus Nominal (A) | 1,6 | 1,6 |
| Settling Time (s) | 2,1 | 2,5 |

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Pembacaan sensor arus ACS712 memiliki rata-rata *error* pembacaan sebesar 6.32 %. Nilai parameter PID yang sesuai pada sistem *softstarter* motor pompa *submersible* 180 Watt satu fasa adalah $K_p=75$, $K_i=10$, dan $K_d=0.1$.
2. Pada proses *starting* motor pompa *submersible* dengan menggunakan *softstarter* membutuhkan waktu 2.1 detik

tanpa beban air, dan waktu 2.5 detik dengan beban air pada motor.

3. Arus *starting* menggunakan *softstarter* pada motor pompa *submersible* tanpa beban air memiliki efisiensi 75%, sedangkan *starting* menggunakan *softstarter* pada motor dengan beban air memiliki efisiensi 84.21%

B. Saran

1. Sebaiknya pengaktifan relay berdasarkan sensor tegangan pada output *softstarter* daripada menggunakan timer.
2. Perlunya uji coba lagi untuk mencari parameter PID yang lebih baik untuk menghilangkan nilai *overshoot* pada sistem.
3. Penambahan daya pada sistem *softstarting* agar dapat mengontrol arus *starting* motor dengan daya yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indriati, T., & Ristanto, S. (2017). Soft Starter untuk Pompa Submersible Satu Fasa dengan Controller PID TK4S-T4SN. *Prosiding SNATIF*, 1-9.
- [2] Adif, Mohamad. *Analisis Arus Inrush Saat Switchingkapasitor Bank Di Gardu Induk (Gi) Manisrejo Madiun*. Diss. Universitas Brawijaya, 2014.
- [3] Fu Chao, 2013, Design and Simulation of Three-phase AC Motor Soft-start, Intelligent System Design and Engineering Applications (ISDEA), pp: 554-557.
- [4] Oktavianus Dwi Artyanto, 2014, VSD dan Soft Starter, Schneider electric
- [5] Rani, B. S., Jayanthi, S., & Yuvaraj, C. (2015). Electronic Soft Starter for Induction Motor. *Int. J. Adv. Eng.*, 1(3), 135-140.
- [6] Gunawan, Indra. 2013. *Panduan Menggulus Ulang Kumparan Motor Listrik Satu Fasa*. Yogyakarta : Andi Offset.
- [7] Koes Indrakoesoema, 2011, Pengaruh Pada Arus Motor Pompa Pendingin Primer RSG-Gas, *Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, Yogyakarta*.
- [8] Primatama, A. (2013). Perancangan Soft Starter Motor Induksi Satu Fasa dengan Metode Closed Loop Menggunakan Mikrokontroler Arduino. *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 1(2).
- [9] Kambuno, D., Nurdin, M., Syahrir, S., & Abidin, Z. (2017). Pengembangan Soft Starting Dengan Kontrol PID Pada Motor Induksi Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Teknologi Elektroika*, 14(2), 174-181.
- [10] Antonov, A., & Oktarian, Y. (2016). Studi Pengaruh Torsi Beban Terhadap Kinerja Motor Induksi Tiga Fase. *Jurnal Teknik Elektro*, 5(1).

