

RANGKAIAN OPTIMAL UNTUK MOTOR INDUKSI 1 FASE BERBASIS MIKROKONTROLER AT89S51 PADA APLIKASI POMPA AIR

Dedi Ary Prasetya

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
e-mail: dediary@gmail.com

Abstrak

Model rangkaian kendali untuk penghematan konsumsi energi listrik telah banyak dilakukan dengan tujuan mengurangi biaya pemakaian listrik. Motor listrik sebagai pompa air adalah perangkat yang banyak digunakan di rumah tangga maupun industri. Kendali optimal dengan memanfaatkan TRIAC pada SPIM (Single Phase Induction Motor) dapat diimplementasikan pada beban yang berupa pompa air.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pertama mencari titik sudut sulut yang optimal dengan mengubah-ubah sudut penyulutan pada triac antara sudut penyulutan 00 – 1000 dengan kelipatan 100 dengan rangkaian optimasi motor induksi dengan asumsi bahwa diatas sudut sulut 1000, motor induksi penggerak pompa air tidak dapat bekerja dengan baik. Penempatan rangkaian optimasi dalam metode penelitian pertama meliputi : penempatan rangkaian optimasi yang terhubung pada suplay sumber dan yang terhubung pada lilitan utama (main winding). Metode yang kedua adalah membuat algoritma optimasi berdasarkan hasil penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi konsumsi energi dari penelitian pertama sehingga dapat lebih mengurangi biaya penggunaan energi listrik.

Dari penelitian pertama didapat bahwa kinerja motor pompa air optimal pada penggunaan rangkaian optimasi yang terhubung ke lilitan utama (main winding) dengan sudut penyulutan 40o. nilai optimasi yang didapat sebesar 17,59 % dari kondisi nominal (motor pompa air tanpa rangkaian optimasi). Pengaruh metode optimisasi ini memang menurunkan kinerja motor induksi, namun relative kecil (tidak lebih dari 0,10%).

Pada penelitian kedua algoritma optimasi yang digunakan adalah pertama starting awal motor dimulai dari sudut sulut yang rendah (0o) kemudian menuju ke sudut sulut optimal (40o) secara bertahap, kedua starting awal motor pada sudut sulut yang tinggi (100o) kemudian menuju ke sudut sulut optimal (40o) secara bertahap, ketiga starting awal motor pada sudut sulut (100o)menuju ke sudut optimal (70o) secara bertahap.

Dari hasil penelitian kedua didapat bahwa penurunan energi yang dihasilkan menjadi sedikit lebih meningkat dari penelitian pertama yaitu 17,61% dari kondisi nominal (tanpa rangkaian optimasi) pada penggunaan algoritma yang kedua. Pengaruh terhadap kinerja motor menjadi lebih kecil yaitu 0,5% dari kondisi nominal. Selain itu, tidak menimbulkan lonjakan arus yang tinggi pada saat starting awal motor pompa air dinyalakan seperti yang terjadi pada kondisi nominal.

Rangkaian optimisasi yang digunakan dalam penelitian ini dapat juga digunakan pada motor induksi dengan kapasitas daya hingga sekitar 125 Watt, seperti kipas dan motor untuk keperluan industri.

Kata kunci: Sudut sulut, kinerja motor induksi , Penurunan energi

Latar Belakang

Pemakaian motor listrik yang digunakan di industri dan rumah tangga saat ini relatif banyak, salah satunya adalah untuk pompa air. Pompa air listrik adalah sebuah pompa yang digerakkan oleh motor listrik, yang berfungsi mengalirkan air dari sumur ke dalam sebuah bejana air di atas sebuah tower penampung air. Biasanya motor yang digunakan di rumah tangga adalah jenis Motor Induksi 1 Fase dengan tegangan 220 Volt dan berdaya antara 1 – 2 HP (0,75 kW hingga 1,5 kW). Umumnya, penggunaan motor untuk pompa air masih menggunakan tegangan nominal (220 Volt AC) baik saat awal (*start*) maupun saat sudah jalan (*running*). Namun besarnya arus yang digunakan untuk motor terdapat perbedaan antara saat motor *start* dan saat motor *running*.

Dengan kemajuan teknologi elektronika, tegangan bolak-balik (AC) dapat diubah-ubah sudut fase-nya yang menyebabkan pengurangan konsumsi tegangan dan arus pada beban (motor). Penelitian ini menggunakan peralatan kontrol kecepatan dengan pengaturan sudut fase tegangan sumber yang diserap oleh motor induksi satu fase yang diaplikasikan pada pompa air. Selain itu, TRIAC yang merupakan salah satu jenis saklar elektronik yang sangat ideal untuk mengatur tegangan (dan arus) bolak-balik yang masuk ke peralatan listrik, misalnya SPIM, digunakan

untuk pensaklaran tegangan. Pensaklaran (pengaturan sudut sulut) pada TRIAC dilakukan oleh sistem mikrokontroler AT89S51.

Selama ini penghematan dilakukan dengan mengubah nilai kapasitor yang terpasang pada SPIM. Dalam penelitian ini penghematan dilakukan melalui **pengubahan sudut fase tegangan** pada operasi kendali motor induksi satu *phase*. Diharapkan dengan penerapan metode ini dapat diperoleh penghematan konsumsi energi listrik, sehingga cukup signifikan dalam penghematan pembiayaan beban listriknya.

Perumusan Permasalahan

Permasalahan yang akan diangkat dan dijawab pada penelitian ini adalah :

1. Apakah pengubahan sudut fase tegangan dengan memanfaatkan TRIAC yang dikontrol dengan mikrokontroler pada motor pompa air dapat diimplementasikan pada beban yang berupa pompa air ?
2. Apakah metode yang diterapkan mampu mengurangi konsumsi energi listrik, sehingga meringankan pembiayaan rekening listrik ?
3. Bagaimana pengaruh metode ini terhadap kinerja motor pompa air dibandingkan dengan penggunaan biasa?

Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini adalah :

1. Mengimplementasikan pengetahuan tentang penentuan sudut sulut pada tegangan input SPIM saat dioperasikan sebagai penggerak pompa air.
2. Mendapatkan perbandingan besarnya kinerja (debit air per satuan waktu) antara SPIM saat kondisi nominal dan saat kondisi tegangan input motor sudah diatur sudut sulutnya.
3. Mendapatkan perbandingan penghematan energi antara SPIM saat kondisi nominal dan saat kondisi tegangan input motor sudah diatur sudut sulutnya.

Manfaat Penelitian

Manfaat Penelitian ini adalah

1. Dengan diketahuinya kondisi operasi SPIM yang telah diubah sudut fase tegangan dan kinerjanya, maka dapat dilakukan penghematan terhadap energi listrik yang dikonsumsi oleh pompa air.
2. Dapat diketahuinya pengaruh pengubahan sudut fase tegangan terhadap kinerja motor, seperti: debit air yang dihasilkan
3. Dapat dimanfaatkannya pengubahan sudut fase tegangan pada SPIM untuk jenis beban yang berbeda, misalnya fan.
4. Manfaat umum yaitu dapat digunakan sebagai kerangka acuan dalam penelitian sistem berikutnya.

Batasan Masalah

Banyak hal yang akan ditemui dan diperhatikan dalam upaya memahami karakter rangkaian optimisasi energi pada SPIM. Oleh karena itu penelitian yang dilakukan mempunyai batasan masalah sebagai berikut:

1. Motor yang digunakan adalah motor induksi satu fase 125 W merk DAB aqua dengan kapasitor-run untuk pompa air.
2. Pengontrolan motor menggunakan kontrol sudut fase dan sebagai komponen aktif digunakan *TRIAC*.
3. Peletakan komponen *TRIAC* pada dua posisi yaitu pada tegangan input motor (mengatur tegangan pada lilitan utama dan lilitan bantu) dan tegangan pada lilitan utama saja.
4. Pengukuran dan pengamatan motor pompa air dalam kondisi berbeban air dengan tinggi pipa hisap dan pipa buang masing-masing adalah 1 meter.
5. Hal-hal yang akan diamati dalam alat ukur adalah Daya (Watt), Tegangan (Volt), Arus (Ampere) dan Kinerja motor (debit air).

Keaslian Penelitian

Penelitian tentang motor induksi satu fase telah banyak dilakukan oleh penulis-penulis lain, tetapi dalam lingkup waktu, tempat, sasaran serta faktor keterkaitan yang berbeda-beda tetapi dengan tujuan yang sama, yaitu untuk mendapatkan penurunan dan perbaikan kinerja motor induksi.

Bambang Sutopo (2001) telah menggunakan algoritma penghematan energi pada motor induksi yang dikendalikan oleh sistem mikrokontroler 68HC11 dengan menggunakan pendekatan linier. Supari (2001) telah menganalisa unjuk kerja motor induksi dengan pengendali thyristor anti-paralel. Stephanus Antonius Ananda (2001) menganalisa perbandingan penurunan energi dari penempatan rangkaian pengontrol kecepatan motor induksi kapasitor running satu fase, 220 Volt, 30 Watt, 1370 RPM, yang terhubung pada suplai dengan yang terhubung pada main winding. Dediary (2006) telah mengamati penerapan sudut fase antara 0° hingga 100° tentang *TRIAC* sebagai pengatur daya pada beban SPIM untuk aplikasi pompa air dengan kapasitas daya 125 Watt.

Metode Penelitian

SPIM tersusun dari dua buah belitan stator, yaitu belitan utama (*Main Winding*) dan belitan bantu (*Auxiliary Winding*) dan sebuah rotor sangkar tupai (*Squirrel Cage Rotor*). Kedua belitan tersebut terpisah secara *quadrature* dan dicatu dari sumber satu fase yang sama.

Selama ini penghematan dilakukan dengan mengubah nilai kapasitor yang terpasang pada SPIM. Dalam penelitian ini penghematan dicoba dilakukan melalui perubahan sudut fase tegangan pada operasi kendali motor induksi satu fase.

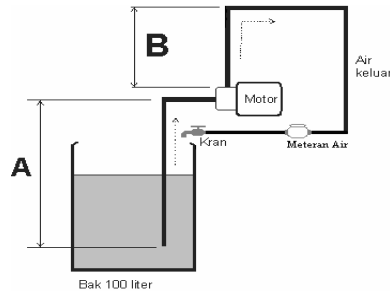
Pengujian yang dilakukan adalah dengan tahapan sebagai berikut:

1. Persiapan peralatan dan bahan.
2. Perancangan perangkat pengendali berbasis sistem mikrokontroler AT89S51.
3. Mengamati kinerja SPIM dengan penggunaan sudut sulut yang telah diubah.
4. Menentukan algoritma program pengendali SPIM yang dianggap optimal dengan melihat besarnya penghematan energi listrik yang bisa dilakukan dan kinerja SPIM saat menggunakan sudut sulut tertentu.
5. Pengamatan dan pengukuran.
6. Analisa dan kesimpulan

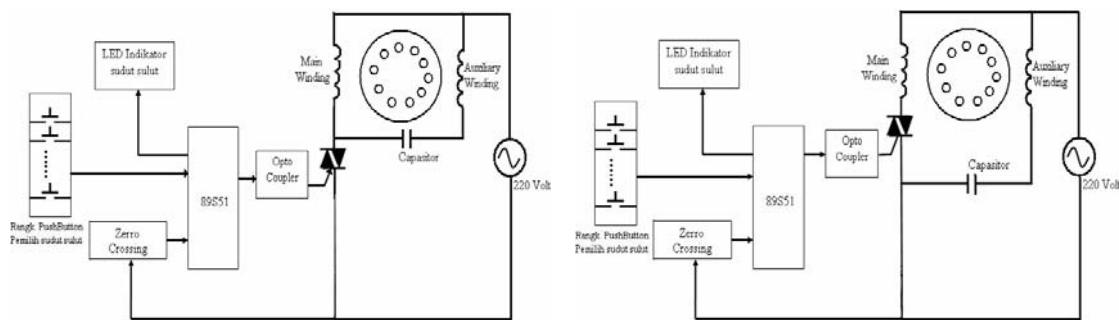
Perlakuan dan Rancangan Percobaan

Berikut ini Perlakuan dan rancangan percobaan yang dilakukan terhadap bahan-peralatan yang diteliti yaitu:

1. Pembuatan rangkaian kontrol dengan *TRIAC* yang telah diatur penyulutan sudut fasenya dengan gelombang sinus jala-jala listrik yang kemudian diaplikasikan pada motor induksi satu fase penggerak pompa air dalam kondisi berbeban air.
2. Mengubah-ubah penyalan sudut fase pada *TRIAC* untuk mencari sudut sulut optimal, yaitu untuk kondisi motor pompa berbeban air dengan mengubah-ubah sudut penyalan *TRIAC* dari mulai sudut 0° sampai 100° dengan kelipatan sudut setiap 10°.
3. Pengukuran dan pengamatan dilakukan pada motor pompa air dengan tinggi pipa hisap A adalah 1 meter dan pipa buang B adalah 1 meter.



Gambar 1. Perlakuan dan Rancangan Percobaan

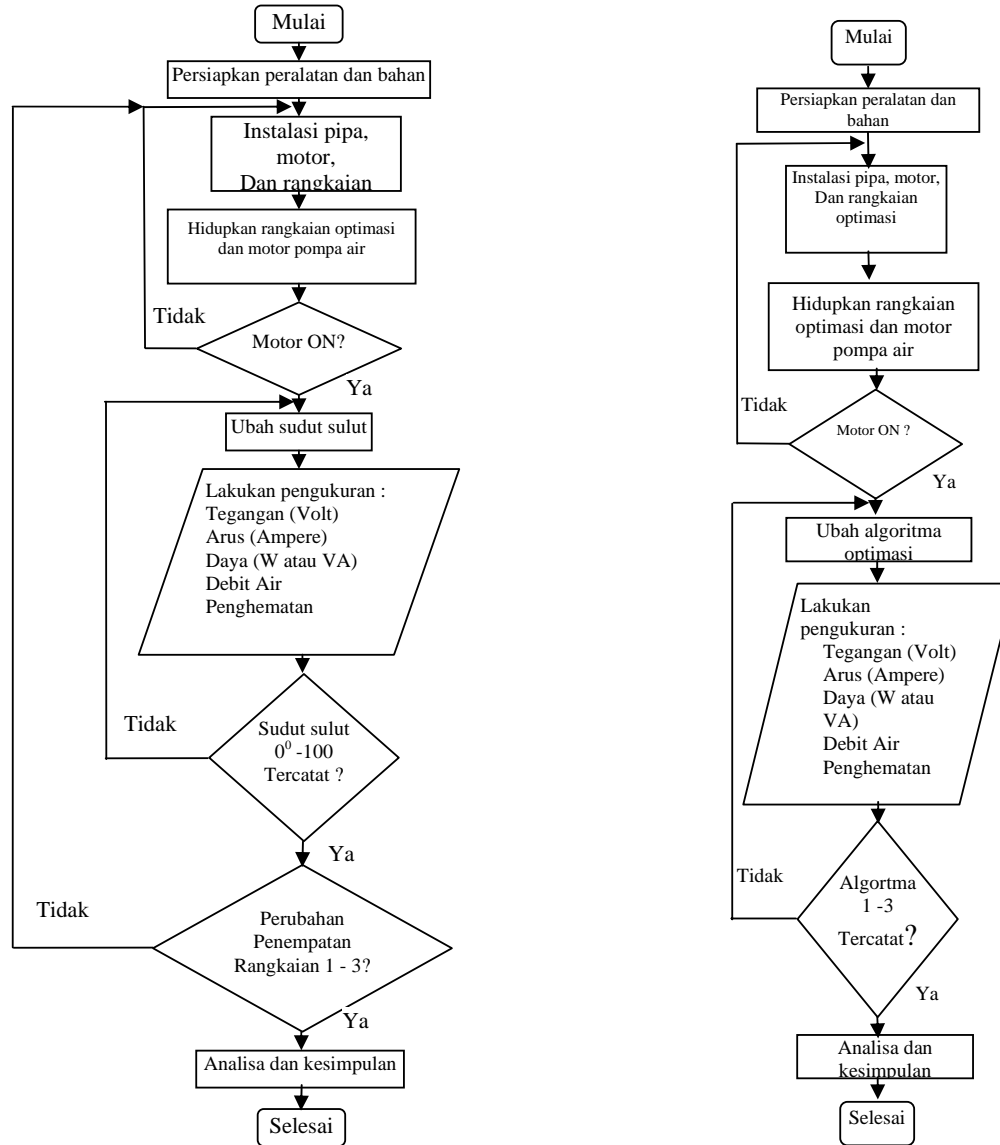


Gambar 2. Bagan kontak sistem kontrol tegangan pada suplay sumber dan Bagan kontak sistem kontrol tegangan pada lilitan primer

4. Sistem kontrol tegangan yang dilakukan meliputi 2 posisi penempatan rangkaian optimasi yaitu kontrol tegangan pada sumber dan lilitan utama (*main winding*).
 - a. Sistem kontrol tegangan pada suplay sumber

Pada pengujian 1 ini, rangkaian pengontrol tegangan yang diletakkan pada suplai disebut rangkaian 1, yang akan mengatur besarnya tegangan pada kumparan utama (*main winding*) dan kumparan bantu (*auxiliary winding*).

- b. Sistem kontrol tegangan pada lilitan primer (*main winding*)
 Pada pengujian ini, rangkaian pengontrol tegangan yang diletakkan pada suplai disebut rangkaian 2, yang akan mengatur besarnya tegangan pada kumparan utama (*main winding*).
- 5. Membuat suatu algoritma sistem optimasi yang bertujuan untuk meningkatkan penurunan energi yang telah didapat dari proses mencari sudut penyulutan optimal.



Gambar 3. Prosedur Percobaan Mencari Sudut Penyulutan Optimal (kiri) dan Prosedur Percobaan Algoritma Optimasi (kanan)

Perancangan Algoritma Optimasi

Perancangan algoritma optimasi merupakan tindak lanjut dari hasil penelitian mencari sudut sulut optimal yang bertujuan untuk meningkatkan besarnya penurunan energi listrik yang diperoleh dari proses mencari sudut penyulutan optimal.

Algoritma optimasi 1

Proses penyalaaan sudut sulut yaitu dari sudut sulut rendah (sudut 0⁰) kemudian menuju titik sudut sulut optimal 40⁰ dengan menaikkan sudut penyulutan secara bertahap.

Algoritma Optimasi 2

Proses penyalaaan sudut sulut yaitu dari sudut sulut tinggi (sudut 100⁰) kemudian menuju titik sudut sulut optimal 40⁰ dengan menurunkan sudut penyulutan secara bertahap.

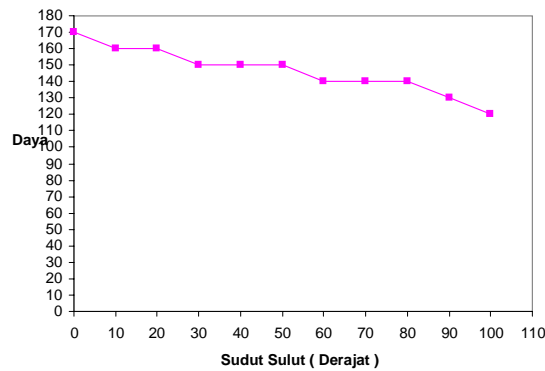
Algoritma Optimasi 3

Proses penyalaaan sudut sulut yaitu dari sudut sulut tinggi (sudut 100⁰) kemudian menuju titik sudut sulut optimal yang lebih tinggi yaitu 70⁰ dengan menurunkan sudut penyulutan secara bertahap.

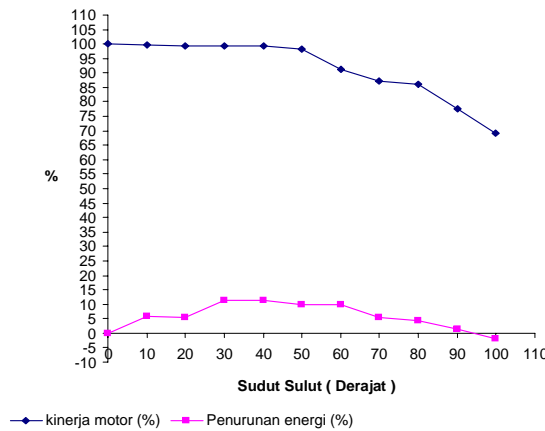
Prosedur Percobaan Algoritma Optimasi

Pengamatan dan pengambilan data dilakukan dengan alat ukur yang telah dipersiapkan setelah langkah-langkah perlakuan dan rancangan percobaan mencari sudut optimasi dilakukan. Pengambilan data dengan metode kuantitatif sebagai data pokok. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui tegangan, arus, dan daya menggunakan alat ukur kualitas daya (Power Quality meter merk FLUKE) dengan tampilan grafis yang mirip dengan Oscilloscope. Pengukuran kinerja motor pompa dilakukan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bejana air hingga 0,5 m3, sehingga dapat diperoleh kinerja motor pompa air optimal dari algoritma yang dibuat.

Pengujian Dan Analisa



Gambar 4. Konsumsi Daya dalam kW pada percobaan rangkaian 1



Gambar 5. Grafik Prosentase Kinerja motor dan Penghematan Energi pada percobaan rangkaian 1

Hasil pengujian

Pengamatan dan Pengukuran

Pengamatan dan pengukuran dilakukan dengan dua metode yaitu pertama rangkaian kontrol tegangan yang diletakkan pada suplay sumber yang akan mengontrol tegangan yang masuk pada lilitan utama (main winding) dan lilitan bantu (auxiliary winding) dan yang kedua adalah rangkaian kontrol tegangan yang diletakkan pada lilitan utama (main winding) saja, dengan asumsi tidak mengganggu fungsi kapasitor sebagai penstabil nilai beda fase pada lilitan utama dan lilitan bantu. Pada setiap pengamatan dan pengukuran kinerja motor pompa air dengan metode optimasi akan disertakan pula pengujian nominal (tanpa rangkaian optimasi) yang akan digunakan sebagai pembandingan dengan sistem optimasi yang telah dibuat.

Penurunan Daya diperoleh dengan persamaan :

$$\text{Penurunan (\%)} \text{ dalam kW} = \frac{\text{kW saat NOMINAL} - \text{kWdgn sudut sulut}}{\text{kW saat NOMINAL}} * 100\% \quad (1)$$

Gambar 4 memperlihatkan adanya penurunan konsumsi daya atau kenaikan penurunan daya saat motor mendapatkan suplai tegangan yang dikendalikan oleh TRIAC dengan pengaturan sudut sulut 0 hingga 100 derajat,

namun hal tersebut belum mengindikasikan adanya efisiensi kinerja dari motor pompa karena belum memperhitungkan kinerja (untuk menggantikan pengukuran torsi) dari motor pompa air. Pengukuran kinerja motor dihitung dengan menghitung waktu yang dibutuhkan oleh pompa air untuk mengalirkan air ke dalam bejana sebanyak 0,5 m³. Dari pengukuran ini dapat dikonversi menjadi volume air yang dapat dialirkan oleh pompa air per menitnya (m³/menit).

Konversi perhitungan waktu pengisian air hingga volume 0,5 m³ dapat diubah ke dalam debit air (m³ permenit) dengan persamaan:

$$\text{Debit air (m}^3 \text{/menit)} = \frac{10 \times 60}{s} \tag{2}$$

Dimana s adalah waktu yang dibutuhkan untuk memompa air 0,5 m³.

Kinerja Motor diperoleh dengan persamaan :

$$\text{Kinerja motor (\%)} = \frac{\text{Kinerja NOMINAL} - \text{Kinerja dgn sudut sulut}}{\text{Kinerja NOMINAL}} * 100\% \tag{3}$$

Sedangkan untuk mengetahui penurunan energi dari penggunaan motor pompa dihitung dengan persamaan:

$$\text{Penurunan Energi (\%)} = \frac{\text{Energi NOMINAL} - \text{Energi Motor dengan sudut sulut}}{\text{Energi NOMINAL}} * 100\% \tag{4}$$

Dari pengukuran kinerja motor dapat dilihat bahwa motor mengalami penurunan kinerja karena konsumsi daya yang berkurang. Adanya penurunan konsumsi daya dan penurunan kinerja motor sebenarnya tidak menurunkan penurunan energinya. Hal ini disebabkan kinerja motor mulai menurun secara drastis saat penggunaan sudut sulut lebih dari 80° sedangkan saat 10° – 80° penurunan kinerja motor tidak lebih dari 15%.

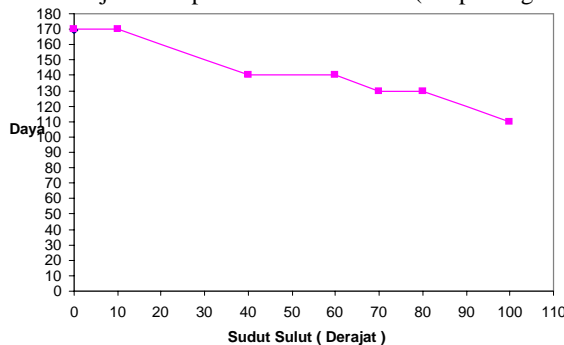
Dengan memperhitungkan energi yang dilakukan oleh motor pompa air (kW * s) yaitu dengan mengalikan Daya (kW) yang terserap dengan waktu yang dibutuhkan untuk memompa air sebanyak 0,5 m³ maka penurunan energi motor dapat diperoleh nilainya. Proses pengukuran air dilakukan saat motor sudah mulai memompa air dengan sudut sulut yang telah ditentukan. Penghitungan waktu dimulai saat meteran air pada posisi 0 dan berakhir saat angka pada meteran sudah mencapai angka 500 atau setara dengan 0,5 m³.

Pada pengujian rangkaian 1 ini, penurunan energi motor yang dapat diamati dari gambar 4 dapat dilihat bahwa penurunan paling besar adalah 11,29% terjadi saat motor diberi tegangan dengan sudut sulut sebesar 40°. Saat motor menggunakan tegangan dengan sudut sulut lebih dari 80°, penurunan turun hingga dibawah nol saat sudut sulut 100° karena motor tidak dapat memompa air lagi sehingga dapat dikatakan tidak ada penurunan energi atau bernilai negatif.

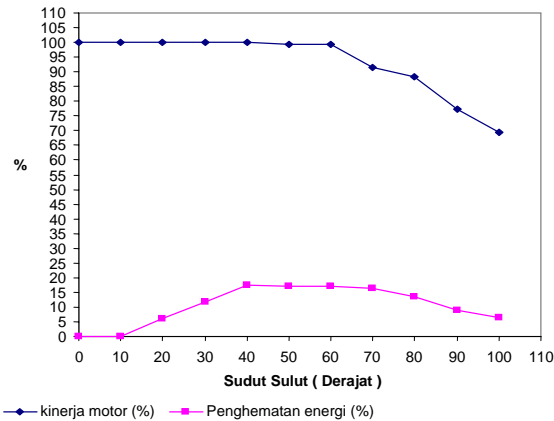
Pengujian Motor Pompa Air Berbeban Air dengan Rangkaian 2

Hasil percobaan yang akan dibahas masih sama dengan di atas dengan ketinggian pipa 1 meter menuju motor dan 1 meter di atas motor. Yang membedakan hanyalah pada penempatan rangkaian optimasinya. Pengujian yang pertama diatas adalah pengujian motor pompa air dengan rangkaian kontrol tegangan yang diletakkan pada suplay sumber. sedangkan pada pengujian yang kedua ini adalah pengujian dengan rangkaian kontrol tegangan yang diletakkan pada lilitan utama saja.

Efisiensi motor lebih besar jika dibandingkan dengan metode optimasi menggunakan rangkaian 1. Penurunan energi pada metode optimasi yang kedua ini mencapai 17,59%. Pada sudut penyulutan 40° dengan kinerja motor yang tidak jauh dari kinerja motor pada kondisi nominal (tanpa rangkaian optimasi).



Gambar 6. Konsumsi Daya dalam kW pada pengujian rangkaian 2



Gambar 7. Grafik Prosentase Kinerja motor dan Penurunan Energi pada percobaan rangkaian 2

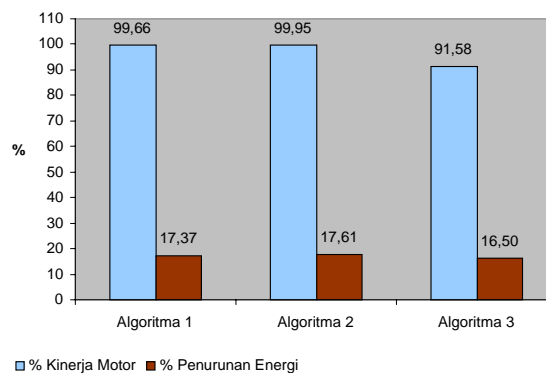
Analisa

Pengujian Algoritma Optimasi

Sebagai tindak lanjut dari hasil pengujian dan pengamatan rangkaian optimasi, pengujian algoritma optimasi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh algoritma optimasi yang telah dibuat terhadap kinerja motor dan penurunan energi. Setelah mengalami beberapa percobaan dan pengamatan didapat data hasil pengujian seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kinerja Motor Pompa Air dan Penurunan konsumsi energinya pada percobaan Algoritma Optimasi

Pengukuran	kinerja motor		kinerja motor (%)	Daya (kW)	Energi [kW*dt]	Penurunan energi (%)
	s / 0,5 m3	m3 / menit				
Nominal	2046	0,0147	100	0,17	347,82	0
Algrtm 1	2053	0,0146	99,66	0,14	287,42	17,37
Algrtm 2	2047	0,0147	99,95	0,14	286,58	17,61
Algrtm 3	2234	0,0134	91,58	0,13	290,42	16,50



Gambar 8. Grafik Prosentase Kinerja motor dan Penurunan Energi pada Pengujian Algoritma Optimasi

Konsumsi Energi (kWh)

Dari hasil pengujian ketiga algoritma optimasi dapat dilihat bahwa prosentase konsumsi energi pada penggunaan Algoritma 2 adalah yang paling tinggi dibandingkan prosentase konsumsi energi pada algoritma optimasi 1 dan 3.

Algoritma optimasi 2 juga terbukti meningkatkan penurunan energi dengan selisih 0,02 % lebih besar dari kondisi terpicu optimal sudut 40°. Nilai penurunan energinya mencapai 17,61 % sehingga penggunaan energi listrik untuk pemakaian motor pompa air sejenis juga mempunyai efisiensi yang sama. Penggunaan rangkaian optimasi

memiliki selisih arus sebesar 0,07 ampere dibanding tanpa menggunakan rangkaian optimasi sehingga kenaikannya pun tidak terlalu besar dibandingkan dengan nilai efisiensi yang didapat untuk menurunkan konsumsi energi listrik.

Kinerja Motor

Kinerja motor pompa air secara terukur didapat bahwa pada saat starting awal motor pompa dinyalakan, tidak terjadi lonjakan arus yang tinggi. Hal ini disebabkan karena starting motor pompa dimulai dari sudut penyulutan yang besar yaitu 100° dimana arus pada sudut tersebut cukup kecil berkisar 0,4 Ampere. Kemudian secara bertahap pindah ke sudut optimal 40° dengan menurunkan sudut penyulutan. Sehingga dapat mengurangi lonjakan arus dan meredam tegangan overload pada saat starting awal motor pompa.

Kesimpulan

1. Kendali optimal dengan memanfaatkan TRIAC pada SPIM dapat diimplementasikan pada beban yang berupa pompa air.
2. Algoritma metode optimisasi yang diterapkan mampu mengurangi konsumsi energi listrik, sehingga meringankan pembiayaan rekening listrik hingga 17,61 %.
3. Pengaruh metode optimisasi ini memang menurunkan kinerja motor, namun relative kecil 0,5% terutama pada penerapan sudut penyulutan 100° saat starting kemudian secara bertahap pindah ke sudut optimal 40° dalam jangka waktu sekitar 5 detik setelah motor ON. Penurunan energi yang dihasilkan cukup signifikan tanpa menimbulkan lonjakan arus yang tinggi.
4. Rangkaian optimisasi yang digunakan dalam penelitian ini dapat juga digunakan untuk pengatur kecepatan pada motor induksi dengan kapasitas daya hingga sekitar 125 Watt, seperti kipas dan motor untuk keperluan industri.

Daftar Pustaka

- _____, Engineering Data, (1999), “*Single-Phase AC Induction Squirrel Cage Motor*”, Twin City Fan Companies, Ltd,
- Ananda, Stephanus Antonius, (2002), “Analisa Perbandingan Efisiensi Energi Dari Penempatan Rangkaian Pengontrol Kecepatan Motor Induksi Kapasitor Running Satu Fase, 220 Volt, 30 Watt, 1370 RPM, Yang Terhubung Pada Suplai Dengan Yang Terhubung Pada Main Winding”, *Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 2 No. 1
- Ananda, Stephanus Antonius, (2002), “The Effects of Phase Angle Control Configuration Upon System Power Factor on The Single-Phase AC Phase Controller using A Transistor”, *Proceeding of the 2001 International Conference on Electrical, Electronics Communication and Information*, Jakarta March 7-8
- Prasetya, Dedi Ary, (2007), “Pengaruh Optimisasi Efisiensi Energi Terhadap Kebisingan dan Torsi pada Motor Induksi Satu Phase pada Aplikasi Pompa Air”, *Proceeding Research Grant*, Jakarta
- Supari, (2009), “*Analisis Unjuk Kerja Motor Induksi Dengan Pengendali Thyristor Anti-Paralel*”, <http://www.te.ugm.ac.id/~bsutopo/pari2.pdf> (diakses tanggal 4 Maret 2009)
- Sutopo, Bambang, “Algoritma Penghematan Energi pada Motor Induksi yang dikendalikan oleh Sistem Mikrokontroler 68HC11 dengan menggunakan Pendekatan Linier”, *Quality In Research*, Vol :III-1-2-7-1, UI-Jakarta
- Sutanto, Budhy, (2002), “Mengatur daya secara ‘phase control’ dengan MCS51”, First Release, March 2002
- www.fairchildsemi.com, (2002) “*Application Note AN-3006 Optically Isolated Phase Controlling Circuit Solution*”, Fairchild Semiconductor Corporation, (diakses pada tanggal 24 september 2007)
- Zuhal, (2000), “*Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*”, cetakan keenam, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta