

Algoritma Penghematan Energi pada Motor Induksi yang dikendalikan oleh Sistem Mikrokontroler 68HC11 dengan menggunakan Pendekatan Linier

Bambang Sutopo^(*), F. Danang Wijaya^(*), Supari^(**)

^(*) Jurusan Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

^(**) Jurusan Teknik Elektro, Universitas Semarang, Semarang

E-mail: bsutopo@te.ugm.ac.id

Abstrak

Penghematan energi pada motor induksi yang tidak terbebani penuh sudah lama diketahui. Motor dengan beban sebagian ini juga akan memperburuk kinerja motor induksi. Untuk mengatasi hal ini, beban motor harus selalu dimonitor dan tegangan terminal motor harus selalu dapat diatur agar dapat memberi tegangan sesuai kebutuhan beban. Hal ini dapat dilakukan dengan bantuan sebuah sistem mikrokontroler. Tegangan motor listrik diatur dengan menggunakan 3 pasang thyristor yang dipasang seri dengan terminal motor. Program dalam mikrokontroler selalu mendeteksi tanda motor dalam kondisi akan berhenti (*stalling*) dan saat arus mulai nol. Saat *stalling* ini ditandai dengan besarnya GGL lawan yang sama dengan nol sedang saat nilai arus mulai nol ditandai dengan sudut β , yang dihitung dari titik silang nol tegangan sampai saat arus mulai bernilai nol. Besarnya sudut β mewakili besarnya beban, dan saat *stalling* besarnya β adalah minimum. Suatu perangkat keras dibuat khusus untuk dua keperluan ini. Berdasar informasi *stalling* dan β , program dalam mikrokontroler mengatur sudut penyalan thyristor α , sehingga tegangan motor dapat diatur agar motor selalu dalam kondisi energi masukan minimum. Pengaturan ini dilakukan dengan mengurangi besarnya β secara linier sampai tercapai kondisi β minimum, yang menandakan energi masukan minimum. Hasil percobaan yang dilakukan pada motor induksi 3 fase, 1.5 KW, 380/220 V, terhubung Y, menunjukkan bahwa penghematan energi terjadi pada saat motor berbeban 5% yaitu sebesar 42%. Saat beban 60% mulai tidak dapat dilakukan operasi penghematan energi, sedang saat beban penuh tak terjadi penghematan energi. Pada saat penghematan energi terjadi pertambahan slip sebesar 0,27% pada beban kecil dan 0,35% pada beban besar.

Kata kunci : mikrokontroler, motor induksi, thyristor, energi

Abstract

The potential of energy saving in partly loaded induction motors, has been known since long time. Partly loaded induction motors in industrial application tend to reduce motor performances. To overcome these situations, we apply a microcontroller system to sense the load and controlling motor terminal voltages to meet the load requirement. The terminal motor voltages are controlled by 3 coupled of thyristors placed in series with the motor terminals. The program in this microcontroller system detects motor stalling conditions, and ceasing current. β represents load magnitude and stalling condition represents minimum energy requirement. When a motor operating in energy minimum, the value of β is minimum. By knowing the zero crossing and ceasing current we can controlled power input to the motor to meet the load requirement by adjusting the thyristor firing angle α . During running condition we make β actual approach β minimum using linear algorithm. The experiment results on a squirrel cage three phase induction motor, 1.5 KW, 380/220 V, Y connected, show that the biggest energy saved when motor at 5% load condition, is about 42 %. Energy saving is started at about 60% of rated load. There is no saved energy at full load condition. When motor on energy saving mode the slip increase in between 0.27% to 0.35% as motor load increase from 5% to 20%.

I. Pendahuluan

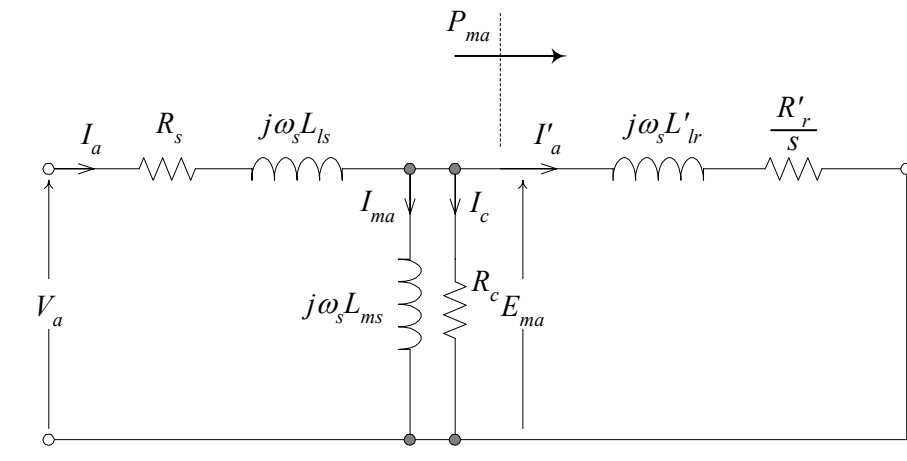
Potensi penghematan energi pada motor induksi yang berbeban tidak penuh sudah mulai banyak dibicarakan dua dekade yang lalu [4]. Konfigurasi yang umum digunakan adalah pengendali yang menggunakan tiga pasang thyristor yang dipasang seri dengan terminal motor. Thyristor ini digunakan untuk mengatur tegangan masuk pada motor dengan cara mengatur sudut penyalannya. Mikrokontroler digunakan sebagai otak pengendali cerdas sehingga motor selalu dapat menyesuaikan antara tegangan masuk dengan besarnya beban. Motor dengan beban tak penuh dalam aplikasi di industri banyak memberikan kerugian karena unjuk kerja motor yang menurun seperti faktor daya dan efisiensi, akibatnya kondisi ini juga akan mempengaruhi sistem listrik secara keseluruhan [1,2].

Penelitian ini bertujuan mengatasi masalah tersebut, dengan cara merasakan besarnya beban dan mengatur sudut penyalan thyristor tanpa menggunakan sensor beban. Algoritma perubahan sudut penyalan dihitung berdasarkan hubungan linier antara sudut arus mulai nol dengan sudut tak hantar thyristor. Cara ini belum pernah dilakukan oleh peneliti lain. Program dalam mikrokontroler mendeteksi urutan fase, sistem frekuensi listrik, kondisi motor akan berhenti, titik silang tegangan nol. Dengan mengukur urutan fase dan frekuensi secara otomatis maka sistem ini dapat bekerja langsung dengan sistem listrik tanpa harus ada pemeriksaan frekuensi dan urutan fase terlebih dahulu. Penghematan energi dilakukan dengan membuat energi masukan motor selalu minimum dan menjaga agar motor tak berhenti berputar.

Pada saat pengasutan (*starting*), β minimum terukur pada kondisi beban tertentu. Bila beban konstan maka sudut penyalan thyristor selalu diatur agar β selalu dekat dengan β minimum tadi. Digunakan pendekatan linier karena ternyata dari hasil empiris menunjukkan ada hubungan linier antara besarnya sudut tak hantar thyristor dan sudut β . Karena menggunakan mikrokontroler maka seluruh algoritma ini ditulis dalam bahasa mesin.

II. Latar Belakang Teori

Sebuah motor induksi dapat dianalisis dengan model satu fase sbb:



Gambar 1. Rangkaian ekivalen satu fase motor induksi

Berdasar gambar 1 dapat dihitung daya mekanis motor menggunakan rumus :

$$P_{mech} = \frac{3(1-s)}{s} R'_r (I'_a)^2 \text{ Watt} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Torsi yang dihasilkan adalah

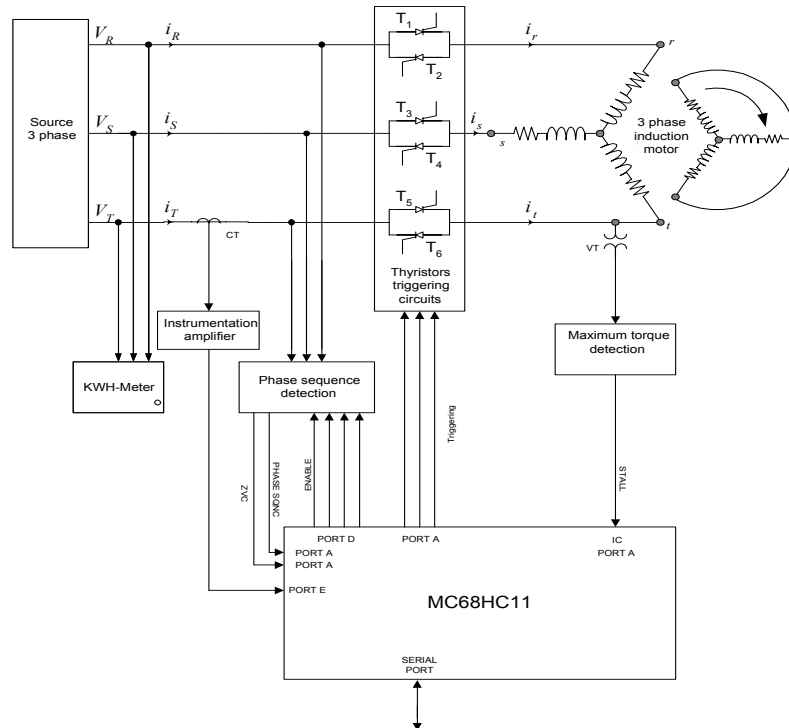
$$T = \frac{P_{mech}}{\omega_m} \text{ N.m} \quad \dots\dots\dots (2)$$

s : slip motor, ω_m : kecepatan sudut mekanis rotor.

Dalam pers. (1) dapat diketahui bahwa mengubah tegangan motor akan berpengaruh pada daya keluaran. Dari pers. (2) untuk tujuan menghasilkan torsi yang tetap, maka slip motor juga akan berubah. Penurunan slip ini hanya mungkin terjadi sampai tercapai slip maksimum yang terjadi pada saat titik kerja motor berada pada kondisi torsi maksimum untuk tegangan tertentu. Bila motor dalam kondisi titik kerja maksimum ini tegangan motor diturunkan maka yang terjadi adalah motor akan mulai berhenti (*stalling*) dan arus motor akan membesar dengan cepat, berarti daya makin membesar. Kalau kondisi ini dibiarkan maka arus yang besar akan membakar motor. Hasil perhitungan teoritis menunjukkan bahwa penurunan tegangan menyebabkan terjadi penurunan daya masuk motor, nilai ini mencapai minimum pada saat nilai slip yang menghasilkan torsi motor maksimum.

III. Metodologi

Untuk mengendalikan motor induksi agar dicapai cara pengendalian yang otomatis sewaktu motor berputar maka dibuat sistem pengendali dengan mikrokontroler 68HC11 seperti terlihat pada gambar 3.



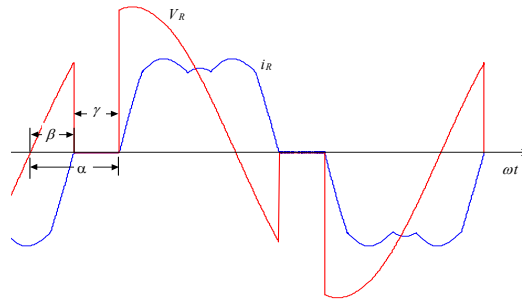
Gambar 3. Susunan perangkat keras sistem kendali motor induksi dengan mikrokontroler

Bentuk tegangan dan arus motor dapat dilihat dalam gambar 4. Tegangan motor diukur dari terminal motor ke titik netral sumber tenaga listrik. Arus motor adalah arus fase. Sudut β adalah sudut saat arus mulai bernilai nol dihitung dari silang tegangan nol. Sudut α adalah sudut penyalaan thyristor dan sudut γ adalah sudut tak hantar thyristor. Hubungan antara ketiga sudut ini memenuhi persamaan :

$$\alpha = \beta + \gamma \quad \dots\dots\dots (3)$$

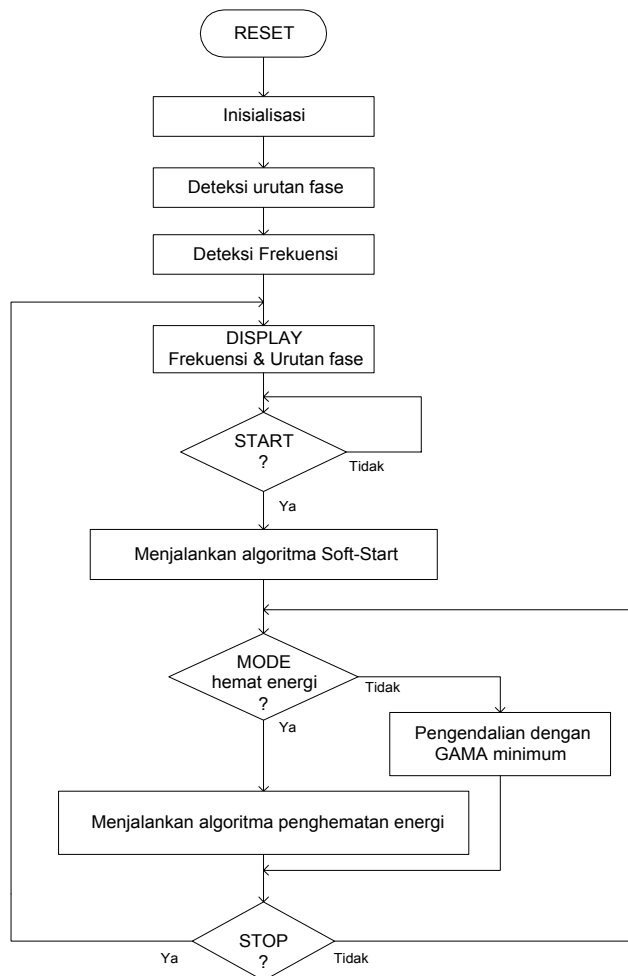
Besar sudut β dipengaruhi oleh besarnya beban. Untuk beban kecil, besar sudut β juga kecil, sedang pada beban besar menghasilkan sudut β kecil. Besar sudut β saat beban penuh tergantung dari daya motor, dalam praktek didapatkan nilai β antara 35° s/d 45° . Sudut α merupakan sudut penyalaan thyristor yang besarnya ditentukan oleh mikrokontroler. Dalam praktek sudut γ ditentukan oleh algoritma, dihitung berdasar besar sudut β terukur yang nilainya diketahui setiap saat dengan deteksi perangkat keras dan dihitung dengan program. Sudut penyalaan dihitung berdasar pers. (3). Proses ini

diulangi sehingga tercapai sudut β yang dikehendaki. Dalam hal penghematan energi sudut β harus mendekati β minimum.



Gambar 4. Bentuk arus dan tegangan motor terkendali thyristor

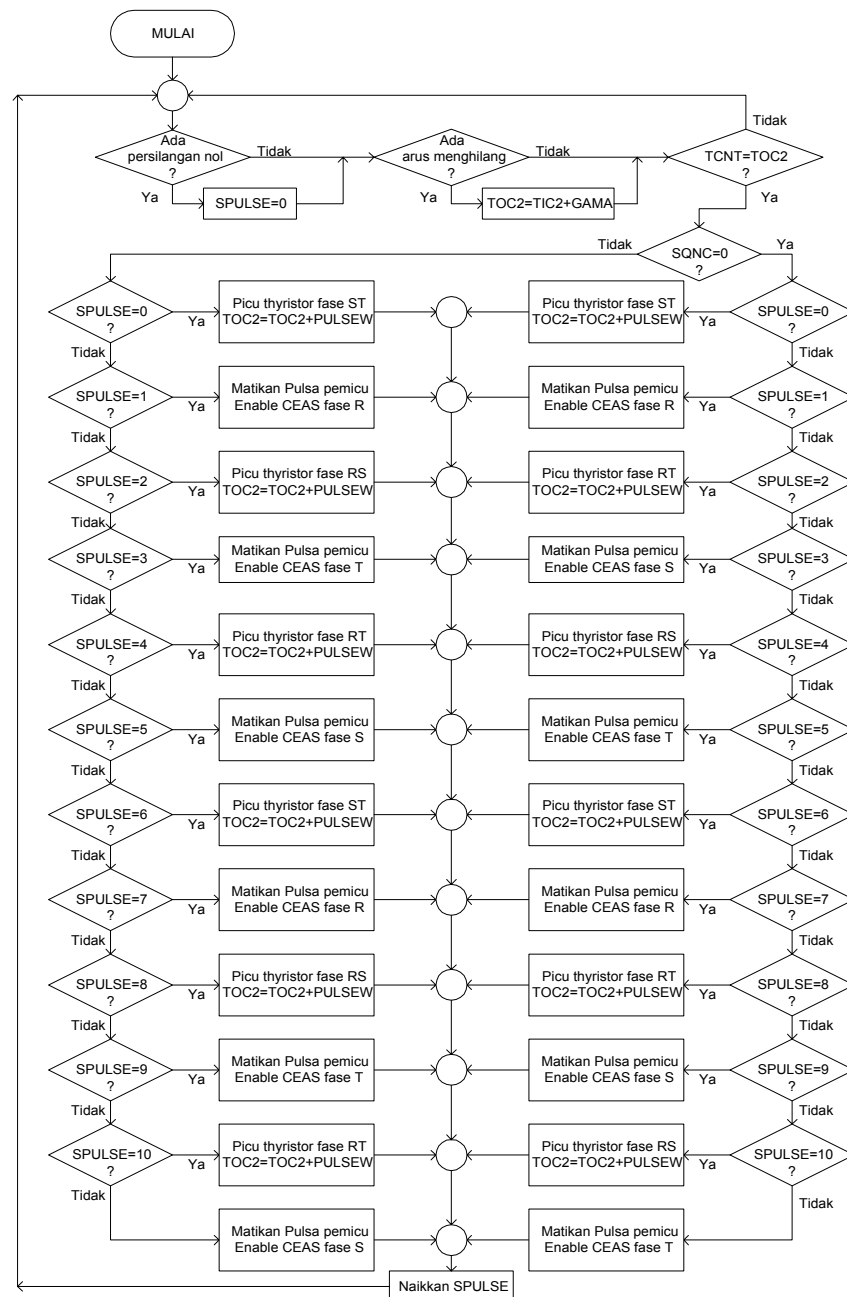
Perangkat lunak program utama yang ditulis dalam bahasa mesin mempunyai diagram alir gambar 5.



Gambar 5. Program utama pengendalian motor.

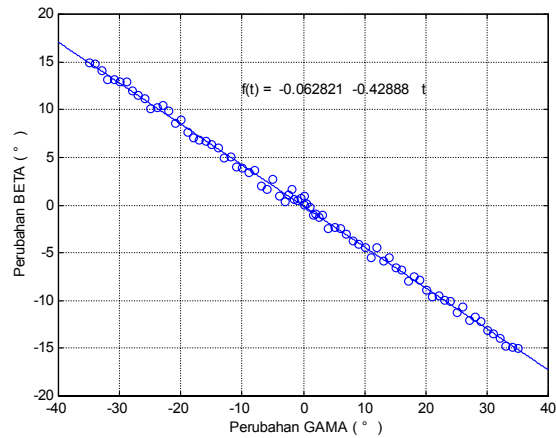
Program utama ini pertama kali, sebelum memutar motor, melakukan pemeriksaan frekuensi listrik sumber dan urutan fase. Kedua variabel ini diperlukan untuk dasar perhitungan saat penyalan thyristor dan urutannya. Dalam kondisi *starting*, program dapat mendeteksi nilai β minimum untuk beban pada saat itu. Nilai ini akan digunakan sebagai nilai

acuan β dalam penghematan energi untuk beban itu. Saat *starting* ini motor diberi tegangan secara gradual dari kecil ke besar sampai motor berputar dengan putaran nominal, dengan cara mengubah dari sudut γ . Pada saat awal sudut γ ditentukan besar, dan sudut γ ditentukan kecil saat motor mulai berputar. Program penghematan energi diaktifkan setelah selesai proses *starting*. Diagram alir untuk penyalan thyristor dapat dilihat dalam gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir pemecuan 6 buah thyristor

Untuk sumber tegangan dengan urutan fase R-T-S, urutan penyalan thyristor yang diberikan dalam setiap siklus adalah fase ST-TR-RS-ST-TR-RS. Ilustrasi mengenai pembakitan urutan pulsa penyalan thyristor ditunjukkan oleh diagram alir gambar 6.



Gambar 7. Hubungan empiris sudut tak hantar thyristor (γ) dan (β).

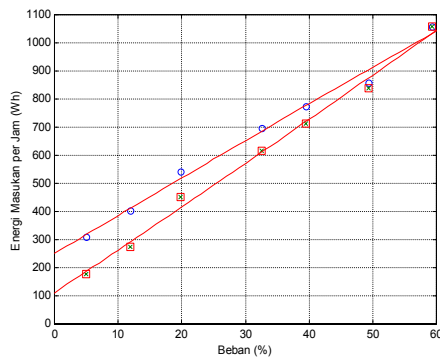
Dalam gambar 7 terlihat bahwa hubungan antara γ dan β yang diperoleh secara empiris. Hubungan ini dapat didekati dengan persamaan linier yang digunakan untuk pengendalian motor. Walaupun variabel yang dapat diatur adalah sudut penyalan thyristor α , tetapi yang digunakan sebagai variabel kendali adalah γ untuk menghasilkan β tertentu.

Dengan melakukan pendekatan fungsi linier terhadap titik-titik pada gambar 7 diperoleh persamaan

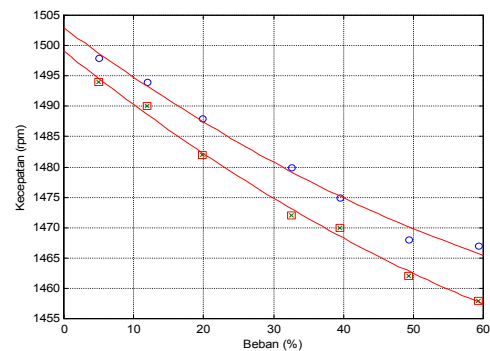
$$\Delta\gamma = -0,0628 - 0,48\Delta\beta \quad (4)$$

IV. Hasil pengamatan dan pembahasan

Dalam penelitian ini dihasilkan pengukuran kecepatan motor dan energi yang bisa dihemat untuk berbagai beban motor. Hasil dapat dilihat gambar 8a dan 8b.



Gambar 8a



Gambar 8b

Gambar 8a : Hubungan antara daya terpakai terhadap besar beban.

8b : hubungan antara kecepatan putar motor terhadap besar beban.

Dalam gambar 8a. terlihat bahwa pada beban sekitar 5 % dari beban penuh akan terjadi penghematan energi sebesar kira-kira 42%. Penghematan ini akan semakin mengecil, sehingga pada beban 60% tidak terjadi lagi penghematan energi. Sesuai dengan analisis teoritis bahwa mengoperasikan motor pada algoritma penghematan energi dapat menyebabkan penurunan kecepatan putar motor. Pada gambar 8b. terlihat bahwa pada beban 5% mengakibatkan penurunan kecepatan sebesar 0,27% . Algoritma penghematan energi hanya cocok digunakan pada motor induksi yang kecepatannya tidak harus konstan, misalnya pada penggerak pompa air dan fan.

V. Kesimpulan:

Hasil eksperimen pada motor induksi tiga fase, rotor sangkar tupai, 1.5 KW, 380/220 V, terhubung Y menunjukkan bahwa :

1. Pada beban 5 % , daya yang dapat dihemat sekitar 42%, dan slip bertambah sebesar 0,27%.
2. Pada beban 20%, daya yang dapat dihemat sebesar 22%, dan slip motor bertambah sebesar 0,35%.
3. Pada beban diatas 60% tak bisa dilakukan penghematan energi.
4. Mikrokontroler 68HC11 dapat bekerja sebagai pengendali yang handal untuk motor induksi dan bisa bekerja secara *on-line*.

VI. Daftar Pustaka:

- [1] Sundareswaran, K, and Palani, S., 1999, "Fuzzy logic approach for energy efficient voltage controlled Induction Motor drive", Proc. of the IEEE 1999 International Conference on Power Electronics and Drive Systems, PEDS '99 pp. 552-554, vol 1, 27-29 July 1999
- [2] Sutopo,B, 1991, "Energy Saving Algorithm on Thyristor Controlled Induction Motor", M.Phil thesis, University of Sussex, Brighton
- [3] Lipo, T.A., 1971, "The Analysis of Induction Motors with Voltage Control by Symetrically Triggered Thyristor, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS -90, No. 2, March-April 1971
- [4] Unsworth, P.J, 1988, "Controller for Induction Motors", United States Patent, Patent No. 4,767,975.