

PERBAIKAN FAKTOR DAYA OTOMATIS DI JARINGAN TEGANGAN RENDAH TIGA FASA BERBASIS SMART RELAY

Amir Hamzah

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Pekanbaru, 28293, Indonesia

E-mail: amirhzh.ur@gmail.com

Abstrak

Faktor daya merupakan perbandingan antara daya nyata (P) dengan daya semu (S). Dalam sistem tenaga listrik, faktor daya sering disebut juga dengan $\cos \phi$. Faktor daya yang rendah disebabkan oleh banyaknya peralatan listrik yang bersifat induktif. Faktor daya yang rendah ini mengakibatkan besarnya rugi-rugi yang terjadi di sistem kelistrikan akibat besarnya arus yang dibutuhkan untuk daya reaktif. Untuk memperbaiki faktor daya, salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah menggunakan bank kapasitor. Untuk memperbaiki faktor daya, maka dalam tulisan ini digunakan metode pensaklaran kapasitor secara otomatis dengan menggunakan smart relay sebagai saklar otomatis dalam menghidupkan dan melepas bank kapasitor. Input smart relay yang digunakan ada dua sensor yaitu pertama berfungsi untuk pengaktifan saklar kapasitor dan yang kedua untuk me-nonaktifkan kapasitor. Tegangan referensi sensor pertama yang digunakan untuk faktor yang rendah sebesar 6 Volt, dan sensor kedua untuk faktor daya yang tinggi sebesar 3 Volt. Pada pembebanan keseluruhan motor induksi diperoleh faktor daya sebesar 0,13, daya aktif sebesar 574 Watt, daya semu sebesar 3.993 VA dan arus sebesar 6,078 A. Setelah penggunaan perbaikan faktor daya menggunakan bank kapasitor diperoleh diperoleh faktor daya sebesar 0,98 dan arus sebesar 0,877 A.

Kata Kunci: smart relay, beban induktif, faktor daya, bank kapasitor.

1. PENDAHULUAN

Pemerintah dalam rangka optimalisasi penggunaan energi telah mengeluarkan kebijakan umum bidang energi yang meliputi kebijakan diversifikasi, intensifikasi, konservasi, harga energi, dan lingkungan. Kegiatan konservasi energi merupakan semua langkah yang diambil ke arah menurunkan berbagai kehilangan energi pada semua taraf pengelolaan, dari eksplorasi, pengangkutan, pemrosesan, sampai pemanfaatan energi listrik.

Penerapan dari beberapa bidang yang dituju untuk konservasi, salah satunya adalah meningkatkan kualitas daya listrik dalam sistem penggunaan dan penyalurannya. Salah satu peluang efisiensi energi yang dapat dilakukan dalam kelistrikan adalah meningkatkan kualitas dalam penyalurannya yaitu di sistem distribusi yang melayani industri. Mayoritas beban-beban di industri memiliki sifat induktif yang tinggi dan nonlinier seperti motor induksi, penggerak AC/DC, mesin las, tungku bakar, lampu fluorescent, kontrol elektronik dan

komputer. Beban-beban ini menyebabkan faktor daya menjadi rendah (Marlar Thein Oo, 2008).

Jika faktor daya ini tidak diperbaiki, maka dapat menimbulkan kerugian-kerugian seperti: lebih besarnya arus listrik yang dibutuhkan untuk beban sehingga diperlukan kapasitas yang besar untuk transformator, *switchgear*, dan kabel. Hal ini menyebabkan biaya untuk penyaluran semakin besar. Selain itu, faktor daya yang rendah menyebabkan jatuh tegangan semakin tinggi disisi penerima dan juga mengakibatkan fluktuasi tegangan akibat perubahan faktor daya yang terjadi di industri-industri (S.O. Onohaebi, 2010).

Pada umumnya, perbaikan faktor daya dilakukan dengan pemasangan kapasitor dengan nilai yang konstan menggunakan timer maupun dengan kontaktor (Sanjay L. Kurkute., 2010). Metode ini memiliki beberapa kelemahan diantaranya adalah masalah mekanik yang diakibatkan oleh kontaktor, kondisi *over/under compensation* pada jaringan listrik akibat *switching* kapasitor yang tidak tepat, waktu kerja yang lambat dan lain-lain.

Untuk memperbaiki faktor daya yang rendah, maka dalam penelitian dibuat kompensasi yang bersifat otomatis dengan menggunakan *smart-relay* (Telemecanique) sebagai saklar terhadap bank kapasitor. Untuk mengendalikan sistem ini secara otomatis dibutuhkan pengukuran faktor daya secara dinamis.

2. Metode Penelitian

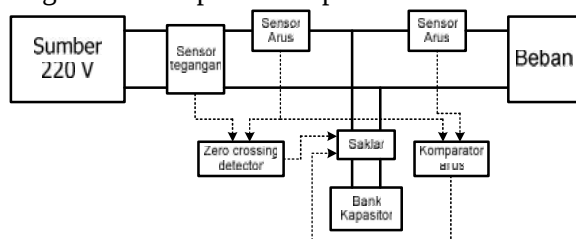
Istilah faktor daya atau *power factor* (PF) merupakan istilah yang sering sekali dipakai di bidang-bidang yang berkaitan dengan pembangkitan dan penyaluran energi listrik. Faktor daya merupakan istilah penting, tidak hanya bagi penyedia layanan listrik, namun juga bagi konsumen listrik terutama konsumen tingkat industri. Penyedia layanan listrik selalu berusaha untuk menghimbau konsumennya agar meningkatkan/ memperbaiki faktor daya untuk menjadi lebih baik (Marlar Thein Oo, 2008).

Seperti diketahui bahwa ada 3 jenis daya yang dibutuhkan oleh beban yaitu; daya aktif (kW) yang dipakai untuk gerak, panas, daya reaktif (kVAR) untuk magnetisasi, dan daya total (kVA). Perbandingan antara daya nyata (kW) dan daya aktif (kVA) akan menghasilkan faktor daya ($\cos \phi$). Kualitas daya yang baik adalah jika faktor daya $> 0,85$ ($\cos \phi > 0,85$), sehingga meningkatkan efisiensi tenaga listrik (Hendik Eko HS).

Untuk memperbaiki faktor daya pada sistem tenaga listrik dengan beban induktif diperlukan suatu kompensator daya listrik. Perbaikan faktor daya adalah kapasitas dari menyerap daya reaktif yang dihasilkan oleh beban. Mayoritas beban industri memiliki faktor daya induktif (Sanjay L. Kurkute, 2010). Faktor daya adalah suatu ukuran bahwa seberapa efektifnya daya nyata yang bergerak dari sumber tenaga ke beban listrik pada suatu sistem tenaga listrik.

Desain Sistem Perbaikan Faktor Daya

Metode perbaikan faktor daya otomatis menggunakan smart relay pada per-fasa dalam diagram blok dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok perbaikan faktor daya per-fasa

Sistem jaringan yang digunakan adalah tiga fasa, dengan menggunakan beban adalah motor induksi. Motor induksi yang digunakan berjumlah 5 buah. Penggunaan motor induksi sebagai beban untuk membuat desain sebagai miniatur dalam kondisi yang sebenarnya. Dimana penggunaan motor induksi banyak digunakan di industri-industri. Motor induksi merepresentasikan beban induktif yang menyebabkan faktor daya pada jaringan listrik semakin rendah.

Desain Beban Sistem Motor Induksi

Pada penelitian ini menggunakan motor induksi tiga sebanyak 5 buah. Data-data motor induksi yang digunakan adalah sebagai berikut:

Motor 1:

P : 180 W
V : 220/380 V. Δ/Y
I : 1/0,6 A
n : 2700 rpm

Motor 2:

P : 180 W
V : 220/380 V. Δ/Y
I : 1/0,6 A
n : 2700 rpm

Motor 3:

P : 180 W
V : 220/380 V. Δ/Y
I : 1/0,6 A
n : 2700 rpm

Motor 4:

P : 1,5 HP
V : 220/380 V. Δ/Y
I : 4,8/2,8 A
n : 1400 rpm

Motor 5:

P : 1,5 HP
V : 220/380 V. Δ/Y
I : 4,8/2,8 A
n : 1400 rpm

Lima buah motor ini dihidupkan dan dimatikan secara bertahap, yang bertujuan untuk memodelkan kondisi siklus pada suatu sistem beban di lapangan, misalkan pada suatu pabrik. Pembuatan model beban dapat dilihat di lampiran. Seperti diketahui, untuk merancang suatu peralatan perbaikan faktor daya, harus diketahui kondisi suatu sistem beban. Berapa besar daya sistem dan berapa besar kebutuhan kapasitansi yang dibutuhkan. Data pengujian beban motor induksi dapat dilihat pada Tabel 1.

Perhitungan Kebutuhan Daya Reaktif Untuk Perbaikan Faktor Daya

Bila faktor daya suatu sistem jaringan $\cos \phi_1$, adalah faktor daya sebelum diperbaiki telah diketahui nilainya dan faktor daya yang diinginkan $\cos \phi_2$ telah diperoleh, maka dapat dihitung besar daya reaktif dari bank kapasitor yang dibutuhkan untuk meningkatkan faktor daya. Dengan menggunakan persamaan daya reaktif berikut, diketahui besar daya reaktif yang dibutuhkan.

$$Q_c = P \cdot (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

Tabel 1. Pengujian beban motor.

NO	V (Volt)	S (VA)	P (Watt)	Cos phi	I (A)
1	380	316	60	0,19	0,480
2	380	314	58	0,19	0,470
3	380	317	60	0,19	0,500
4	380	1.569	204	0,13	2,384
5	380	1.477	192	0,13	2,244
Total		3993	574	0,16	6,078

Dalam sistem tiga fasa, bank kapasitor yang digunakan adalah tiga kapasitor yang memiliki kapasitansi yang sama, yang dapat dihubungkan secara delta atau bintang. Ketika memilih bentuk hubungan bank kapasitor, adalah lebih mudah menghitungnya dalam hubungan delta. Setiap kapasitansi disuplai dengan tegangan saluran (*line-to-line*), tetapi, pada level yang sama dibangkitkan daya reaktif, yang memiliki nilai sama dengan 1/3 dari nilai yang dihubungkan dengan hubungan bintang.

$$Q_{cY} = Q_{c\Delta} \rightarrow C_Y = 3 \cdot C_{\Delta}$$

Dari tabel 1 dapat dihitung kebutuhan daya reaktif yang dibutuhkan untuk meningkatkan faktor daya menjadi 0,95. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

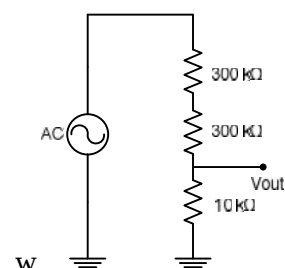
Tabel 2. Kebutuhan daya reaktif

NO	V (Volt)	S (VA)	P (Watt)	Cos phi	Cos phi 0,95	Q (VAR)	C (uF)
1	380	316	60	0,19	0,95	290,31	2,13
2	380	314	58	0,19	0,95	280,63	2,06
3	380	317	60	0,19	0,95	290,31	2,13
4	380	1.569	204	0,13	0,95	1488,86	10,9
5	380	1.477	192	0,13	0,95	1401,28	10,29

Pada Tabel 2, di kolom Q (VAR) adalah daya reaktif yang dibutuhkan untuk meningkatkan faktor daya sistem menjadi faktor daya 0,95.

Desain Sensor Tegangan

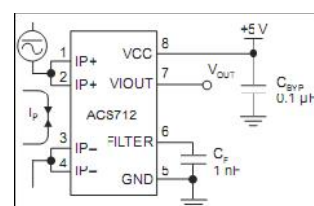
Untuk mengambil sinyal tegangan agar bisa dibaca oleh rangkaian detektor fasa digunakan resistor pembagi tegangan yang dihubungkan secara paralel antara fasa dengan netral (Gambar 2). Fungsi resistor ini adalah untuk menurunkan tegangan dari tegangan sumber menjadi tegangan yang dikehendaki atau yang dibutuhkan. Selain itu juga penggunaan resistor tidak mengubah harga beda fasa yang terjadi pada beban induktif yang terpasang.



Gambar 2. Rangkaian resistor pembagi tegangan

Desain Sensor Arus

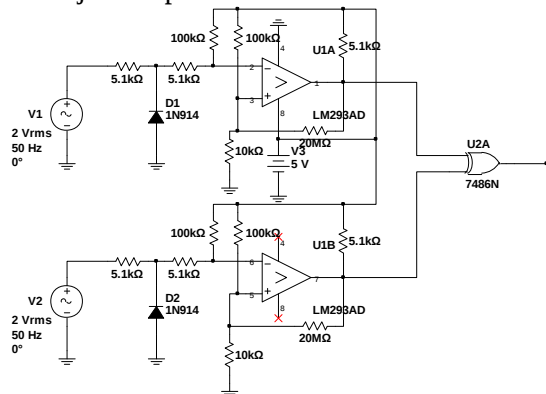
Sensor arus yang digunakan adalah ACS712 (Gambar 3), yang merupakan salah satu produk dari allegro. Sensor ini memiliki presisi, low-offset, dan rangkaian sensor *linier hall* dengan konduksi tembaga yang ditempatkan dengan permukaan dari aliran arus yang disensor. Ketika arus mengalir pada permukaan konduktor maka akan menghasilkan medan magnet yang dirasakan oleh IC *hall effect* yang terintegrasi kemudian oleh piranti tersebut dapat dirubah ke tegangan. Sensor ini memungkinkan untuk tidak menggunakan optoisolator karena antara terminal input arus dengan outputnya sudah terisolasi secara kelistrikannya. Hal ini karena yang dirasakan atau yang disensor adalah efek hall dari arus input yang disensor. Berikut adalah gambar aplikasi, blok diagram dan karakteristik input outputnya.



Gambar 3. Aplikasi dari rangkaian sensor arus ACS712

Zero Crossing dan Phase Detector (Detektor Fasa)

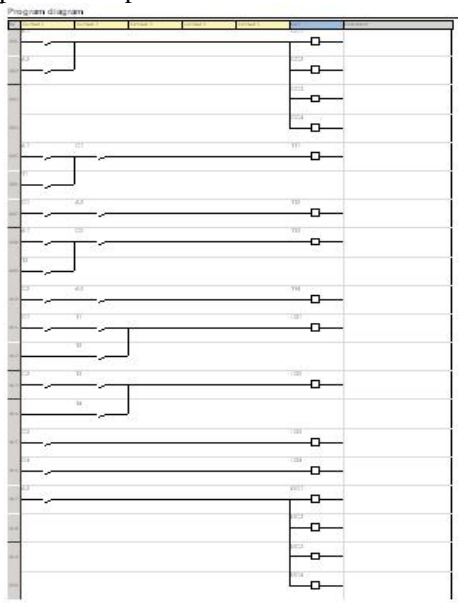
Rangkaian ini berfungsi untuk mendeteksi perbedaan sudut fasa yang mengalir ke beban. Detektor fasa dibuat menggunakan komparator dan gerbang logika XOR. Komparator digunakan untuk mendapatkan informasi saat nilai tegangan dan nilai arus tepat melewati titik nol. Gerbang logika XOR digunakan untuk mengetahui nilai beda sudut fasa. Nilai perbedaan sudut fasa didapat dengan menghitung selang waktu antara tegangan naik dan tegangan turun pada keluaran gerbang logika XOR. Rangkaian detektor fasa ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian detektor fasa

Pemrograman Ladder Diagram Smart Zelio

Pemrograman yang dipakai pada *smart relay* ini adalah menggunakan *software Zelio Soft 2*. Bahasa pemrograman yang dipakai adalah *ladder diagram* (LD). Gambar perancangan *ladder diagram* yang dibuat untuk perbaikan faktor daya ini dapat dilihat pada Gambar 5.

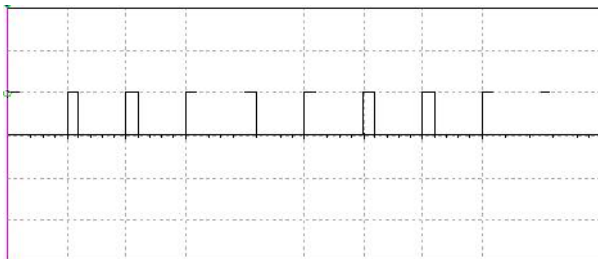


program akan melakukan kerja dengan mengaktifkan kontak Q1 hingga Q5. Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat *ladder diagram* pada *zelio soft 2* untuk mengaktifkan kontak Q1 hingga Q5.

Program ini kemudian ditransfer ke dalam *zelio smart relay* dengan menggunakan *usb downloader*. Setelah itu *zelio smart relay* disambungkan kerangkaian yang telah direncanakan. Hasil percobaan yang dilakukan menunjukkan program berjalan dengan baik dengan aktifnya kontak Q1, Q2, Q3, Q4 dan Q5. Hal ini berarti *zelio smart relay* dan *zelio soft 2* dapat disinkronkan dan *zelio smart relay* dapat berjalan dengan baik.

Pengujian Rangkaian Sensor

Dari sensor tegangan dan sensor arus, didapatkan dua sinyal sinusoidal yang mewakili tegangan dan arus. Untuk mendapatkan parameter faktor daya, kedua sinyal tersebut diolah untuk mengambil informasi tentang beda fasa antara sinyal tegangan dan sinyal arus. Untuk mengukur beda fase, digunakan teknik detektor fasa untuk mendapatkan sinyal yang menandai pergeseran fasa dengan dua level sinyal. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Output Rangkaian zero crossing detector

Pengujian Simulasi Perbaikan Faktor Daya dengan Bank Kapasitor

Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui faktor daya sistem sesudah ditambahkan bank kapasitor. Dari hasil pengujian diketahui faktor daya sistem menjadi sangat rendah. Hal ini disebabkan oleh pembebanan yang dilakukan menggunakan motor induksi beban nol. Data pengujian tanpa bank kapasitor dapat dilihat pada tabel 1 dan 2. Data pengujian setelah menggunakan bank kapasitor dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian

V (Volt)	S (VA)	P (Watt)	I (A)	C (uF)	cosphi
387	76,1	77,5	0,113	2	0,99
388	136	137	0,202	4	0,99
389	204	198	0,302	6	0,98
390	461	390	0,683	17	0,85
390	591	575	0,877	29,5	0,98

Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil kerja keseluruhan peralatan yang telah dirancang dan dibuat. Pengujian dilakukan dengan menghidupkan motor induksi secara bertahap, dari motor pertama hingga motor ke lima. Pada saat motor pertama dihidupkan, sensor faktor daya membaca perbedaan fasa antara arus dan tegangan yang terjadi di jaringan. Perbedaan fasa yang terjadi oleh sensor dikonversikan menjadi tegangan analog. Tegangan analog ini kemudian diinputkan ke smart relay zelio. Oleh *smart relay* tegangan ini di bandingkan dengan tegangan referensi yang telah di setting terlebih dahulu yaitu untuk faktor daya rendah sebesar tegangan 6 Volt. Tegangan referensi ini diperoleh dari pengukuran tegangan output sensor untuk faktor daya 0,2. Bila tegangan input di atas 6 Volt maka telah diprogram kontak pada Q1 akan menutup.

Kontak Q1 menutup, maka bank kapasitor 1 akan terhubung ke sistem jaringan. Kapasitor akan menyuplai daya reaktif ke sistem, yang akan menaikkan faktor daya sistem. Bila motor 2 dihidupkan, maka faktor daya sistem akan menjadi kembali rendah. Sensor akan merasakan dan menghasilkan tegangan keluaran yang naik, kemudian tegangan ini dibandingkan dengan tegangan referensi. Tegangan akan melebihi tegangan referensi yang menghasilkan perintah untuk menutup kontak Q2. Kontak Q2 akan menutup kontaktor pada bank kapasitor 2, dan akan menyuplai daya reaktif ke jaringan sistem. Begitu seterusnya untuk motor ke tiga hingga ke lima.

Langkah pembebanan oleh motor satu hingga ke lima ini memodelkan siklus yang sebenarnya terjadi pada konsumen energi listrik. Selanjutnya, bila motor induksi di matikan, maka sensor akan merasakan terjadinya perbedaan fasa, dimana keluaran tegangan sensor menjadi rendah. Untuk settingan faktor daya yang tinggi disetting sebesar faktor daya 0,95. Tegangan referensi yang digunakan sebesar 3 Volt. Bila tegangan yang dirasakan di bawah 3 Volt, maka *relay* akan

memerintahkan membuka kontak Q5. Begitu seterusnya ketika motor di matikan satu persatu, hingga semua kontaktor bank kapasitor membuka.

4. Kesimpulan

1. *Smart relay* yang digunakan sebagai pengendali pada peralatan perbaikan faktor daya dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan. Tegangan referensi yang digunakan untuk faktor daya yang rendah sebesar 6 Volt, dan untuk faktor daya yang tinggi sebesar 3 Volt.
2. Pada pembebanan keseluruhan motor induksi diperoleh faktor daya sebesar 0,16, daya aktif sebesar 574 Watt, daya semu sebesar 3.993 VA dan arus sebesar 6,078 A.
3. Setelah penggunaan perbaikan faktor daya menggunakan bank kapasitor diperoleh faktor daya sebesar 0,98 dan arus sebesar 0,877 A.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya, dapat dilakukan dan didesain peralatan perbaikan faktor daya yang dilengkapi dengan *filter* harmonisa. Hal ini untuk mengatasi terjadi harmonisa yang terjadi pada sistem jaringan listrik yang disebabkan oleh beban yang bersifat non linear.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Riau yang telah membantu dalam pemberian dana penelitian BOPTN.

Daftar Acuan

- [1] Hendik Eko H S, Yahya Chusna Arif, dan Indhana Sudiharto, 2010 "Teknik Pengurangan Arus Inrush dan Pengurangan Harmonisa Pada Kapasitor Bank Untuk

Beban Non Linier" ISSN: 2088-0596 @ Published by EEPIS.

- [2] J. H. C. Pretorius, J. D. van Wyk and P.H. Swart, 2000 "*An evaluation of some alternative methods of power resolution in a large industrial plant*", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15 3, pp. 1052-1059.
- [3] Marlar Thein Oo, Ei Ei Cho, 2008, "*Improvement of Power Factor for Industrial Plant with Automatic Capacitor Bank*", proceedings of world academy of science, engineering and technology volume 32, issn 2070-3740
- [4] S.O. Onohaebi, O.F. Odiase, S.I. Osafehinti, 2010, "*Improving the efficiency of electrical equipment by power factor correction-a case study of medium scale industry in nigeria*", Journal of Mathematics and Technology, ISSN: 2078-0257.
- [5] Sanjay L. Kurkute, Pradeep M. Patil, Vinod H. Patil, 2010, "*A Comparative Study and Analysis of Power Factor Control Techniques*", International Journal of Computer Science & Emerging Technologies (E-ISSN: 2044-6004) Volume 1, Issue 4,.
- [6] Telemecanique, Zelio Logic smart relays, compact and modular smart relay, 14102-EN-Ver1.0fm/2
- [7] Wagah F. Mohammad, Nabil Tawalbeh and Kasim M. Al-Aubidy, 2007, "*Fast Power Loss Computation and Shunt Capacitor Insertion Using Fuzzy Logic Technique*", American Journal of Applied Sciences 4 (1): 37-41, ISSN 1546-9239