

PERANCANGAN BANK KAPASITOR OTOMATIS SEBAGAI KOMPENSASI BEBAN INDUKTIF DI PT. SIMOPLAS (PABRIK I)

Agung Budi Santoso
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang
Jl. Kasipah No. 10 – 12 Semarang, Indonesia
E-mail: agungbudisantoso@gmail.com

ABSTRAK

Di dunia industri yang sebagian besar bebannya berupa motor-motor induksi mempunyai pengaruh terhadap sistem kelistrikan PLN secara menyeluruh, dikarenakan motor induksi memiliki faktor daya kurang dari satu. Dengan faktor daya yang kurang dari satu atau cenderung bersifat lagging (arus tertinggal terhadap tegangan) maka jaringan akan bersifat induktif dengan kata lain nilai rugi-rugi juga akan semakin besar. PLN menerapkan target untuk jaringan minimal faktor dayanya adalah 0,85 lagging. Dengan ketentuan ini maka jaringan dengan faktor daya kurang dari 0,85 lagging akan dikenakan denda oleh PLN. Perancangan bank kapasitor otomatis sebagai kompensasi beban induktif di PT. Simoplas (Pabrik I) merupakan solusi agar perusahaan tidak selalu membayar denda ke PLN dan juga untuk memperbaiki kualitas jaringan listrik agar semakin baik.

Kata kunci : bank kapasitor, beban induktif, dan koreksi faktor daya

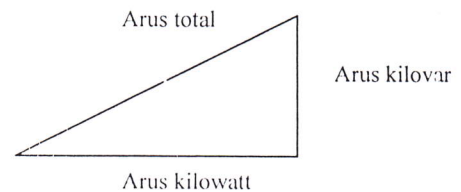
1. Pendahuluan

Arus listrik yang diperlukan oleh motor-motor induksi, transformator, pemanas induksi dan sejenisnya dapat diasumsikan terdiri dari dua arus yang berbeda yaitu arus magnetisasi dan arus kerja (penghasil daya nyata). Konsep ini sangat membantu dalam memahami penerapan kapasitor dalam sistem tenaga listrik.

Arus kerja (penghasil daya nyata) adalah arus yang dipakai oleh suatu beban listrik dan dikonversikan menjadi energi lain yang bermanfaat untuk melakukan kerja seperti memutar motor, memanasi, memompakan air, penerangan dan lain-lain. Unit pengukuran energi dari arus ini dikenal sebagai kilowatt jam (kWh).

Sedang arus magnetisasi (arus reaktif) adalah arus yang diperlukan untuk menghasilkan flux, penting dalam operasi alat-alat induktif. Tanpa magnetisasi energi tak dapat mengalir lewat inti sebuah transformator atau menyeberang ke celah udara dari motor induksi. Unit pengukuran energi dari arus magnetisasi dikenal sebagai kilovar jam (kVARh).

Jika kedua arus tersebut dijumlah maka menjadi arus total dengan memakai konsep segitiga daya. Untuk arus magnetisasi komponen dayanya disebut daya reaktif sedang arus kerja komponen dayanya disebut daya nyata. Jumlah dari dua macam daya tersebut lebih kita kenal dengan daya semu (kVA). Dengan konsep segitiga daya tersebut faktor daya dari suatu sistem tenaga dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata dengan daya semu. Namun secara gelombang sinusoidal dari arus bolak-balik sebenarnya faktor daya adalah cosines dari selisih sudut antara gelombang tegangan dan gelombang arus.



Gambar 1. Segitiga daya

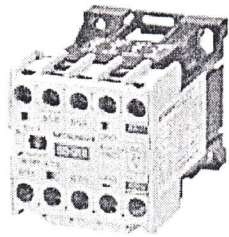
Faktor daya itu sendiri kita kenal ada dua macam yaitu faktor daya tertinggal (lagging) dan faktor daya mendahului (leading). Faktor daya tertinggal (lagging) jika beban memerlukan kilovar sedang faktor daya mendahului jika beban menyediakan kilovar. Jadi di sini motor induksi memiliki faktor daya lagging sebab kebutuhan magnetisasinya harus dicatu oleh sumber daya atau sumber yang lain.

2. Manfaat Kapasitor

Karena kapasitor dapat dianggap sebagai pembangkit kilovar maka peranannya dalam perancangan bank kapasitor ini sangat penting. Dalam arus bolak-balik ketika tegangan melewati nol menuju tegangan maximum kapasitor menyimpan energi dalam medan elektrostatisnya dan peralatan induktif melepaskan energi dari medan elektromagnetnya. Sebaliknya ketika tegangan melewati tegangan maximum menuju tegangan terendah kapasitor memberikan energi dan peralatan induktif menyimpan energi.

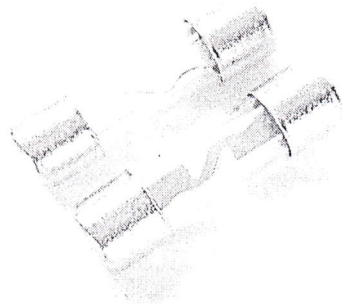
Oleh sebab itu jika kapasitor dan peralatan induktif dipasang dalam rangkaian yang sama akan ada pertukaran arus magnetisasi di antara keduanya. Arus leading yang diambil oleh kapasitor menetralkan arus lagging yang diambil oleh peralatan induktif. Jadi kapasitor mencatu arus magnetisasi terhadap peralatan induktif.

Pemanfaatan kapasitor dalam dunia industri khususnya bagi para pelanggan dengan beban-beban

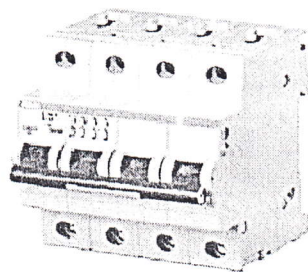


Gambar 3. Kontaktor Magnet

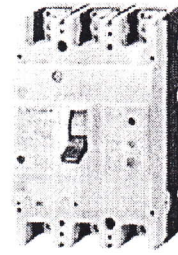
- B. Pengaman
- Fungsi dari peralatan pengaman pada umumnya adalah :
- Mengamankan hantaran, peralatan listrik dan motor – motor listrik terhadap gangguan beban lebih.
 - Sebagai pengaman terhadap hubung singkat antar fasa atau fasa dengan netral dan hubung singkat yang terjadi pada motor itu sendiri
 - Sebagai pengaman terhadap hubung singkat dengan rangkaian mesin atau peralatan listrik.



Gambar 4. Pengaman Lebur

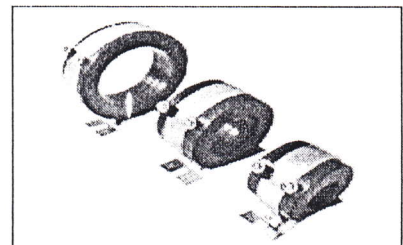


Gambar 5. Miniatur Circuit Breaker



Gambar 6. MCCB

- C. Alat Pengukur
- Lampu Tanda
Lampu tanda / indikator digunakan pada peralatan untuk menandai bekerja atau tidaknya suatu peralatan / rangkaian, sehingga mudah dipahami operator.
 - Alat ukur cos phi
Cos phi meter adalah suatu alat ukur untuk mengukur besarnya factor kerja (cos phi) dari aliran tukar. Adapun prinsip kerja dari instrument ini berdasarkan pada prinsip dynamometer, dengan spring kontrolnya dihilangkan.
- D. Transformator Arus (CT)
- Untuk pengukuran arus yang besar dipergunakan transformator arus yang dikombinasikan dengan amperemeter.



Gambar 7. Current Transformer

- E. Kapasitor
- Kapasitor terbuat dari dua plat penghantar yang mempunyai luas A , berjarak d satu sama lain, mempunyai kapasitansi $C = \epsilon A/d$ dimana ϵ adalah permitivitas yang merupakan sebuah konstanta dari bahan isolasi di antara kedua plat, sedangkan nilai $\epsilon = k \cdot \epsilon_0$ dimana k adalah tegangan dielektrik dan ϵ_0 adalah permitivitas ruang hampa, banyaknya muatan yang diterima kapasitor untuk setiap volt potensial yang dikenakan disebut kapasitansi dari kapasitor. Dalam rangkaian kapasitor bank nantinya akan dihubungkan secara delta karena disbanding hubung bintang kapasitor yang terhubung delta hanya akan membutuhkan kapasitansi

tiga kali lebih kecil. Sehingga bisa menghemat biaya perakitan bank kapasitor.



Gambar 8. Power capacitor

- F. Power Factor Regulator
Regulator digunakan sebagai pengatur pada kompensasi otomatis kapasitor bank. Power factor regulator mempunyai 4 fungsi berbeda yaitu :
- Untuk mengatur daya reaktif yang dikendaki dan mengendalikan perpindahan (in dan out) dari kapasitor step sesuai dengan faktor daya yang diinginkan.
 - Memutuskan hubungan saat tegangan nol
 - Insensibility terhadap harmonik
 - Memberi tanda terhadap perpindahan step
5. Perhitungan dan Pemilihan Peralatan - Peralatan Bank Kapasitor
- A. Kontaktor Magnet
Yang perlu diperhatikan dalam pemilihan kontaktor yaitu :
- tegangan nominal kumparan magnet
 - kemampuan hantar arus kontak
 - jumlah kontak
 - kontaktor dan tipe
- Kategori yang dipilih adalah AC 1 adalah kategori untuk mengatur suatu beban dengan factor daya tidak kurang dari 0,95. Misalnya pemanas. Dalam perancangan ini diperlukan 12 kontaktor magnet mengingat perancangan bank kapasitor terdiri dari 12 step.
- B. Pengaman
Pengaman dalam system bank kapasitor ini dibedakan menjadi tiga yaitu :
1. Fuse atau MCCB
Diketahui data :
- $Q_c = 50 \text{ kVAR}$
 $I_1 = 75 \text{ A}$
 $V = 380 \text{ Volt}$
 $f = 50 \text{ Hz}$
Kapasitor dihubung segitiga, maka :
- $$C = \frac{1}{3} \sqrt{3} \frac{I_1}{V_1 \omega} \text{ Farad}$$
- Untuk arus fuse (1 fuse)
 $I_{\text{fuse}} = 2 \times I_1$

Maka dipilih pengaman fuse atau MCCB jenis 150 A

2. MCB
MCB digunakan pengaman control, maka dipilih MCB 2 A

3. PCB
Diketahui data :
- $Q_c \text{ total} = 600 \text{ kVAR}$
 $V = 380 \text{ Volt}$
 $I = 911,6 \text{ A}$
Maka $I_{\text{PCB}} = 1,5 \times I$
 $I_{\text{PCB}} = 1367,1 \text{ A}$
Dipilih PCB 1600 A

- C. Alat Pengukur
1. Lampu tanda
2. Cos phi meter

- D. Transformator Arus (CT)
Harga arus input maksimal untuk regulator sebesar 5 A. Maka perlu menggunakan pengubah arus (Current Transformer / CT)
Data untuk CT :
- Daya total kapasitor 12 step = 600 kVAR
 $V = 380 \text{ Volt}$
- Arus primer
- $$I = \frac{KVA}{V \sqrt{3}} \times 1000$$
- Dianggap $\sin \phi = 1$
Maka, $KVA = 600$
Sehingga :
- $$I = \frac{600}{380 \sqrt{3}} \times 1000$$
- $I = 911,6 \text{ A}$
- Arus sekunder = 5 A
Jadi rasio CT yang dipilih adalah 1000/5

- E. Kapasitor
Diketahui data sebagai berikut :
- Daya beban $P = 839 \text{ kW}$
 $\cos \phi_1 = 0,7$
 $\cos \phi_2 = 0,95$
Sesuai table $\cos \phi$, $k = 0,69$
Daya reaktif yang diperlukan untuk perbaikan :
- $$Q_c = 839 \times 0,69$$
- $$= 578,91 \text{ kVAR}$$
- Kapasitor yang dipilih memiliki daya 50 kVAR. Direncanakan menggunakan 12 step, maka diperlukan 12 kapasitor dengan total daya 600 kVAR.

- F. Power Factor Regulator
Regulator yang digunakan dalam perancangan ini adalah Regulator merk *Novar 300*

6. Analisa dan Investasi Bank Kapasitor

Tujuan dari pemakaian bank kapasitor adalah untuk memperbaiki faktor daya sehingga dapat menghindari dari pembayaran kelebihan pemakaian daya reaktif (kVARh) pada tagihan rekening listrik. Dengan terhindarnya dari biaya kelebihan kVARh, maka kita telah melakukan penghematan biaya.

Berikut ini penulis berikan bukti dari penekanan biaya rekening listrik dengan pemakaian bank kapasitor. Dalam hal ini penulis mengambil data dari pengukuran meteran pada kWh-meter dan KVarh-meter dari Pabrik Simoplas I pada bulan April 1997. Dari data tersebut penulis akan membandingkan jumlah biaya yang dikeluarkan oleh PT. Simoplas bila sudah memasang bank kapasitor dengan biaya bila bank kapasitor belum dipasang.

A. Tanpa Menggunakan Bank Kapasitor

Untuk bulan April 1997 Pabrik Simoplas I apabila kapasitor belum dipasang maka total biayanya adalah sebagai berikut.

Dari hasil pengukuran pada meteran didapat jumlah pemakaian sebagai berikut :

- Jumlah pemakaian kWh
= 218,7 kWh
- Jumlah pemakaian kVarh
= 212,9 kVARh
- Faktor meter
= 1600
- Pemakaian kVarh
Pemakaian kVARh x factor meter
= 212,9 x 1600 = 340640 kVARh
- Prosentase pemakaian
= (kVARh/kWh) x 100 %
= (340640/349920) x 100 %
= 97,34 %
- Denda kelebihan pemakaian kVarh dibayar jika lebih dari 62% dari beban kWh
62 % dari beban kWh = 0,62 x 349920
= 216950,4 kWh
- Harga kelebihan pemakaian kVarh (Rp/kVarh) untuk Gol. I-4/TM adalah Rp. 122,50
- Maka denda biaya kelebihan kVarh
= (340640-216950) x Rp. 122,50
= 123690 x Rp. 122,50
= Rp. 15.152.025,00
- Total biaya yang dikeluarkan untuk pembayaran rekening listrik adalah
Bea beban
= 1250 x Rp. 5060,00
= Rp 6.325.000,00
Bea pemakaian
LWBP = 287680 x Rp. 117,50
= Rp. 33.802.400,00
WBP = 62240 x Rp. 117,50
= Rp. 7.313.200,00
Bea kVARh
= Rp. 15.152.025,00

TOTAL = Rp. 62.592.625,00

B. Menggunakan Bank Kapasitor

Untuk pembayaran rekening listrik pada bulan April 1997, bila Pabrik Simoplas I telah memasang bank kapasitor, maka total biayanya adalah sebagai berikut :

Dari hasil pengukuran pada meteran didapat jumlah pemakaian:

- Jumlah pemakaian kWh
= 218,7
- Jumlah pemakaian kVarh
= 135,6 (misal)
- Faktor meter
= 1600
- Pemakaian kVarh
= Jumlah kVARh x factor meter
= 135,6 x 1600
= 216960 kVARh
- Prosentase pemakaian :
= (kVARh/kWh) x 100%
= (216960/349920) x 100 %
= 62 %

Denda kelebihan pemakaian kVARh dibayar jika lebih dari 62 % dari beban kWh. Ternyata prosentase pemakaian kVARh tidak melebihi 62 % dari beban kWh, sehingga dibebaskan dari biaya denda kelebihan pemakaian kVARh.

- Harga kelebihan pemakaian kVarh (Rp/kVarh) untuk Gol. I-4/TM adalah Rp. 122,50
- Maka denda biaya kelebihan kVarh
= 0 x Rp. 122,50
= Rp. 0,00
- Total biaya yang dikeluarkan untuk pembayaran rekening listrik adalah
Bea beban
= 1250 x Rp. 5060,00
= Rp. 6.325.000,00
Bea pemakaian
LWBP = 287680 x Rp. 117,50
= Rp. 33.802.400,00
WBP = 62240 x Rp. 117,50
= Rp. 7.313.200,00
Bea kVARh
= 0 x Rp. 122,50 = Rp. 0,00

TOTAL = Rp. 47.440.600,00

C. Investasi Bank Kapasitor

Setelah mengetahui jumlah biaya yang dihemat jika pabrik memasang bank kapasitor maka berikut ini penulis akan memerinci investasi pemakaian bank kapasitor beserta anggaran *break even point*-nya. Anggaran untuk pembuatan bank kapasitor adalah sebagai berikut :

- Kontaktor Magnet
@ Rp. 564.000,00
= Rp. 6.768.000,00

- Kapasitor 50 KVAR
@ Rp. 1.635.000,00
= Rp. 19.620.000,00
- PCB
= Rp. 9.171.000,00
- MCB
= Rp. 12.000,00
- Power factor regulator
= Rp. 2.300.000,00
- MCCB
@Rp. 285.000,00
= Rp. 3.420.000,00
- Current Transformer
@Rp. 145.000,00
= Rp. 1.740.000,00
- Lampu tanda
@ Rp. 7500,00
= Rp. 22.500,00
- Fan
= Rp. 135.000,00
- Cos phi meter
= Rp. 550.000,00
- Selektor A/M
Rp. 48.000,00
- Tombol
@ Rp. 12.500,00
Rp. 150.000,00
- Box panel 80x90x180 cm
Rp. 1.053.000,00
- Busbar 8 x 50 mm
= Rp. 540.000,00
- Alat Bantu
= Rp. 1.010.000,00
- CT 5/1200
@ Rp. 145.000,00
= Rp. 290.000,00
- Selektor volt
= Rp. 45.000,00
- Amperemeter
= Rp. 480.000,00
- Wattmeter
= Rp. 1.600.000,00
- Voltmeter
= Rp. 480.000,00
- Perakitan dan pemasangan 10% x bea keseluruhan
= Rp. 4.943.450,00

TOTAL = Rp. 54.377.950,00

Perhitungan bea balik modal dari bank kapasitor :

Total penghematan rekening per bulan
= Rp. 15.152.025,00

Total anggaran rancangan bank kapasitor
= Rp. 54.377.950,00

Dimisalkan penurunan nilai 7 % (untuk yang diperkirakan mempunyai masa hidup 15

tahun) dan biaya bunga pinjaman 18 % per tahun, penurunan nilai keseluruhan dan bunga akan menjadi :
= Rp. 54.377.950,00 x 25 % x 1/12
= Rp. 1.132.900,00

Karenanya penghematan bersih tiap bulan
= Rp. 15.152.025,00 – Rp. 1.132.900,00
= Rp. 14.019.125,00

Jadi biaya pemasangan kapasitor secara lengkap kembali dalam :

$$\frac{Rp. 54.377.950,00}{Rp. 14.019.125,00 / bulan} = 3,9 \text{ bulan}$$

Dalam hal ini biaya bank kapasitor akan balik modal setelah **3,9 bulan**.

D. Pedoman Pengoperasian Bank Kapasitor

- Persiapan
 - Teliti kembali jalur hubungan antara panel utama dengan panel kapasitor bank
 - Periksa kembali hubungan penghantar antara fuse dengan kapasitor dan dengan kontaktor
 - Pendingin atau kipas yang terdapat di dalam panel kapasitor harus dapat berfungsi dengan baik
 - Dilakukan penyettingan pada regulator (VAR) sebelum supply dihubungkan
 - Gunakan obeng kecil untuk melakukan penyettingan.
- Penyettingan
 - Sequence : 0 0 0 0
Sequence (urutan langkah kapasitor yang digunakan). Untuk pengaturan langkah atau urutan kapasitor yang digunakan. Menurut buku pedoman dari regulator Novar 300, sequence disetting 000 berarti urutan pengaturannya adalah 1 : 1 : 1 : 1 : 1, maksudnya Regulator akan mengatur kenaikan setiap step capacitor 1 : 1 : 1 : 1 : 1.
 - Penundaan Waktu : 0 0 0
Yang dimaksudkan adalah penundaan waktu antar step yang satu ke step yang lain dan waktu yang diperlukan untuk melepaskan muatan melalui resistor. Time delay disetting 000 berarti kita menginginkan penundaan waktu selama 10 detik.
 - Langkah yang digunakan
Stage limit disetting x x 1 1, berarti kita menginginkan jumlah step yang dipakai adalah 12 step.
 - c/k

$$c/k = \frac{50000}{\sqrt{3} \times 380 \times 1000} \times 5 = 0,38$$

Penyettingan tingkat kesensitifan (c/k) regulator terhadap perubahan arus yang terjadi untuk mengontrol perpindahan setiap step berdasarkan persamaan :

$$c/k = \frac{\text{kapasitor / step(VAR)}}{\sqrt{3} \times V \times I} \times 5$$

Di mana :

V = tegangan sumber

I = arus primer pada trafo arus (CT)

- Faktor daya yang diinginkan yaitu 0,95

- Pengoperasian secara otomatis
 - MCCB dalam posisi ON
 - Regulator secara otomatis akan mengadakan test sendiri terhadap tegangan dan rangkaian yang ada
 - Bila terjadi kesalahan hubungan pada urutan fasa maka regulator akan memberikan tanda dengan menyalanya lampu indikator (LED) kapasitif (CAP) dan induktif (IND) secara bergantian
 - Display akan menampilkan sesuai penyettingan pada regulator dengan menekan tombol yang ada.
- Pengoperasian secara manual
 - MCCB di-ON-kan
 - Dengan menekan tombol manual maka display akan menampilkan "0"
 - Menekan tombol "+" akan memasukkan satu langkah pada kapasitor bank.
 - Menekan tombol "-" akan mengurangi satu langkah pada kapasitor bank.
 - Dengan menekan tanda manual, akan pindah pada pengoperasian manual secara otomatis.

7. Penutup

A. Kesimpulan

1. Untuk mengkompensasi beban induktif diperlukan adanya bank kapasitor, sebagai piranti yang dapat mengubah factor daya dari lagging menjadi pf yang mendekati satu.
2. Ketepatan dalam penentuan range dari transformator arus sangat berpengaruh terhadap kerja regulator.
3. Dengan memasang kapasitor pada instalasi yang mempunyai factor daya kurang dari 0,85 kita dapat menghilangkan pembayaran kelebihan kVarh pada rekening listrik. (Pelanggan dengan tarif golongan S-4, SS-4, U-3, I-3, I-4, I-5, H-2, H-3, dan G-2)

B. Saran

1. Jangan terlalu sering menekan tombol operasi manual karena akan merusak tombol pada regulator. Tombol operasi manual hanya dipergunakan untuk perbaikan dan pengetesan saja.
2. Sebelum mengoperasikan panel control bank kapasitor hendaknya dilakukan pengecekan terlebih dahulu pada posisi manual dan posisi otomatis.
3. Pemakaian bank kapasitor hanya digunakan untuk investasi jangka panjang.
4. Bank kapasitor sebaiknya untuk perbaikan faktor daya dengan beban pada industri.

8. Daftar Pustaka

1. Harten Van dan Setiawan, E.Ir. Instalasi Listrik Arus Kuat, Edisi 1 dan 3, Bina Cipta, Bandung
2. Marappung Muslimin, Ir. Alat-alat ukur Listrik dan Pengukuran Listrik, Armico, Bandung, 1984.
3. Sumanto, MA, Drs, Teori Transformator, Andi Offset, Yogyakarta.
4. Voglaire Franz, Power Factor Correction With Capacitors, Pamphlet BJ 90-01, ABB.
5. Bloomquist, W.C., Capacitors for Industry, John Wiley & Son, Inc., New York, 1950.
6. Pabla, A.S. dan Abdul Hadi, Ir., Sistem Distribusi Daya Listrik, Erlangga, Jakarta, 1991.
7. LIPI, PUUL, 1987, Panitia Revisi PUUL, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta.