

RINGKASAN

Faiz Alfiyan Ni'am, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, November 2009, *Upaya Penghematan Biaya Energi Listrik dengan Meminimalkan Daya Reaktif Melalui Peningkatan Faktor Daya di PT. Cheil Jedang Indonesia*, Dosen Pembimbing: Ir. Teguh Utomo, MT., dan Dr. Ir. Harry Soekotjo Dachlan, MS.

Penghematan penggunaan energi listrik merupakan salah satu langkah yang dilakukan PT. Cheil Jedang Indonesia untuk menekan biaya produksinya. Besar penggunaan energi listrik yang digunakan dapat diketahui dengan mengamati besar daya aktif dan daya reaktif yang diserap beban pada salah satu feeder yaitu feeder trafo A 150/6.6 kV. Daya aktif dan daya reaktif yang terukur di bus 6.6 kV pada feeder trafo A tersebut berfluktuasi antara 10140 kW dan 4800 kVAr dengan kondisi faktor daya 0.903 hingga 10850 kW dan 4680 kVAr dengan kondisi faktor daya 0.918. Dengan memperhatikan besar daya reaktif yang diserap oleh beban di bus 6.6 kV, maka perlu dilakukan penekanan daya reaktif dengan derajat kompensasi daya reaktif yang diperbolehkan.

Kompensasi daya reaktif yang sering digunakan adalah kapasitor bank tetap (*Fixed Capacitor*). Meskipun cara ini dapat mengurangi daya reaktif dan meningkatkan faktor daya, namun penggunaan kapasitor bank tetap tidak mampu memberikan derajat kompensasi yang tetap untuk kondisi beban yang berfluktuasi. Untuk mengatasi kekurangan itu adalah dengan menggunakan kompensasi daya reaktif berupa *Fixed Capacitor-Thyristor Controlled Reactor (FC-TCR)*. *FC-TCR* dapat mensuplai maupun menyerap daya reaktif. Sehingga *FC-TCR* mampu mempertahankan faktor daya pada nilai yang diinginkan. Dengan kata lain *FC-TCR* dapat memberikan derajat kompensasi yang tetap meski beban berfluktuasi.

Pemasangan *FC-TCR* di bus 6.6 kV pada feeder trafo A dapat menaikkan dan mempertahankan faktor daya antara 0.979 (*lagging*) hingga 0.981 (*lagging*). Dengan kenaikan faktor daya tersebut daya reaktif turun menjadi 1934 kVAr hingga 2161 kVAr. Dan penurunan daya reaktif tersebut telah berhasil menghemat biaya energi listrik yang harus dibayar oleh PT. Cheil Jedang Indonesia kepada PLN sebesar Rp 21.639.610,- setiap bulan.

Kata kunci: Fluktuasi beban, *Fixed Capacitor (FC)*, dan *Thyristor Controlled Reactor (TCR)*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas berkah rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi. Sholawat serta salam penulis haturkan kepada Rosulullah Muhammad SAW.

Skripsi dengan judul “Upaya penghematan biaya energi listrik dengan meminimalkan daya reaktif melalui peningkatan faktor daya di PT. Cheil Jedang Indonesia” ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Dalam proses penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan motivasi dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Rudy Yuwono, ST., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak M. Azis Muslim, ST., MT., Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D., selaku KKDK Teknik Tenaga Elektrik Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.
4. Bapak Ir. Teguh Utomo, MT. dan Bapak Dr. Ir. Harry Soekotjo Dachlan, MS., selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan.
5. Ayah, Ibu, dan saudaraku yang telah memberikan motivasi dan do’a yang tiada hentinya demi kesuksesan penulis.
6. Seluruh Staf Pengajar dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.
7. Seluruh teman-teman yang terus memberikan banyak bantuan, masukan, motivasi dan juga do’anya.
8. PT. Cheil Jedang Indonesia yang telah membantu memberikan data-data yang dibutuhkan dalam skripsi.

Penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan dalam skripsi ini. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bermanfaat dan membangun. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Malang, 18 Desember 2009

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
RINGKASAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Pembahasan	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1 Faktor Daya	4
2.1.1 Konsep Dasar Faktor Daya	4
2.1.2 Pengertian Faktor Daya	6
2.1.3 Faktor Daya <i>Leading</i> dan <i>Lagging</i>	8
2.1.4 Perbaikan Faktor Daya	8
2.2 Sumber Daya Reaktif untuk Perbaikan Faktor Daya	11
2.3 Kapasitor Shunt	11
2.4 Kompensasi Daya Reaktif	13
2.5 Thyristor Controlled Reactor (TCR)	15
2.6 Thyristor Controlled Reactor (TCR) Tiga Fasa	18
2.7 Keuntungan TCR	21
2.8 Fixed Capacitor-Thyristor Controlled Reactor (FC-TCR)	21
2.8.1 Konfigurasi FC-TCR	21
2.8.2 Karakteristik Kerja (FC-TCR)	23
2.9 Prinsip Kerja Kontroler	25
2.10 PI Controller	26

2.11 Pulse Width Modulator (PWM)	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1 Studi Literatur	28
3.2 Pengumpulan Data	28
3.3 Desain Simulasi Peralatan Peningkat Faktor Daya dengan Menggunakan <i>Fixed Capacitor-Thyristor Controlled Reactor</i>	28
3.4 Pengujian Desain dengan Menggunakan <i>software Simulink Matlab</i>	28
3.5 Pengambilan Kesimpulan dan Saran	28
BAB IV ANALISA HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Kondisi Sistim di Feeder Trafo A150/6.6kV	30
4.2 Simulasi Kondisi Sistim di Feeder Trafo A 150/6.6 kV	30
4.2.1 Simulasi Kondisi Sistim di Feeder Trafo A 150/6.6 kV untuk Beban dengan Faktor Daya Terendah	30
4.2.2 Simulasi Kondisi Sistim di Feeder Trafo A 150/6.6 kV untuk Beban dengan Faktor Daya Tertinggi	33
4.3 Perencanaan Kapasitas Kapasitor Tetap (<i>Fixed Capacitor</i>)	36
4.4 Simulasi Kondisi Sistim dengan Kompensasi Menggunakan <i>Fixed Capacitor</i>	38
4.5 Perencanaan <i>Fixed Capacitor-Thyristor Controlled Reactor</i>	45
4.5.1 Penentuan Kapasitas Kapasitor Tetap (<i>Fixed Capacitor</i>)	46
4.5.2 Penentuan Kapasitas Induktor pada <i>Thyristor Controlled Reactor (TCR)</i>	46
4.5.3 Perancangan Sistim Kontrol	47
4.6 Simulasi Kondisi Sistim dengan <i>Fixed Capacitor-Thyristor Controlled Reactor (FC-TCR)</i>	49
4.7 Pengaruh Pemasangan <i>Fixed Capacitor-Thyristor Controlled Reactor</i> Terhadap Biaya Energi Listrik di PT. Cheil Jedang Indonesia	55
BAB V PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Fasor Rangkaian Arus Bolak Balik	7
Gambar 2.2	Blok Diagram dan Fasor Perbaikan Faktor Daya	9
Gambar 2.3	Pemasangan Kapasitor	9
Gambar 2.4	Kurva V, Losses terhadap Q_c	10
Gambar 2.5	Kapasitor Hubungan Delta	12
Gambar 2.6	Kapasitor Hubungan Star	13
Gambar 2.7	Static VAR Compensator	14
Gambar 2.8	Kompensator Ideal	15
Gambar 2.9	Rangkaian TCR dan Gelombang Tegangan-Arus	16
Gambar 2.10	Arus dan Tegangan pada <i>Thyristor Controlled Reactor</i>	16
Gambar 2.11	Karakteristik Tegangan-Arus Fundamental dari <i>Thyristor Controlled Reactor (TCR)</i>	18
Gambar 2.12	Rangkaian <i>Thyristor Controlled Reaktor (TCR)</i> tigs Fasa Hubungan Delta	19
Gambar 2.13	Arus Fasa dan Line <i>Thyristor Controlled Reactor (TCR)</i> 3 Fasa	19
Gambar 2.14	<i>SVC FC-TCR</i> dan Blok Control System <i>SVC</i>	22
Gambar 2.15	Karakteristik Operasi <i>Fixed Capacitor-Thyristor Controlled Reactor (FC-TCR)</i> tanpa <i>Coupling Transformer</i>	23
Gambar 2.16	<i>FC-TCR With Step Down Transformer</i> dan Karakteristik V-I	24
Gambar 2.17	Diagram Blok Kontroler	26
Gambar 2.18	Blok Diagram PI Controller	27
Gambar 2.19	<i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	27
Gambar 2.20	Hasil Simulasi <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	27
Gambar 3.1	Flow Chart Metodologi Penelitian	29
Gambar 4.1	Simulasi Kondisi Sistim di Feeder Trafo 1 150/6.6 kV	31
Gambar 4.2	Grafik Tegangan di Bus 6.6 kV Hasil Simulasi Matlab	32
Gambar 4.3	Grafik Arus di bus 6.6 kV Hasil Simulasi Matlab	32
Gambar 4.4	Grafik Daya Aktif P, Daya Reaktif Q, dan Faktor Daya di Bus 6.6 kV Hasil Simulasi Matlab	33
Gambar 4.5	Grafik Tegangan di Bus 6.6 kV hasil Silmulasi Matlab	34

Gambar 4.6	Grafik Arus di Bus 6.6 kV Hasil Simulasi Matlab	34
Gambar 4.7	Grafik Daya Aktif P, Daya Reaktif Q, dan Faktor Daya di Bus 6.6 kV Hasil Simulasi Matlab	35
Gambar 4.8	Simulasi Kondisi Sistim dengan Kompensasi Menggunakan <i>Fixed Capacitor</i>	39
Gambar 4.9	Grafik Tegangan di Bus 6.6 kV Saat Kondisi Faktor Daya Awal 0.903 Hasil Simulasi Matlab	40
Gambar 4.10	Grafik Arus di Bus 6.6 kV Saat Kondisi Faktor Daya Awal 0.903 Hasil Simulasi Matlab	40
Gambar 4.11	Grafik Daya Aktif, Daya Reaktif, dan Faktor Daya di Bus 6.6 kV Kondisis Fakor Daya Awal 0.903 Hasil Simulasi	41
Gambar 4.12	Grafik Tegangan di Bus 6.6 kV saat kondisi Faktor Daya Awal 0.918 Hasil Simulasi Matlab	42
Gambar 4.13	Grafik Arus di Bus 6.6 kV saat Kondisi Faktor Daya Awal 0.918 Hasil Simulasi Matlab	42
Gambar 4.14	Grafik Daya Aktif, Daya Reaktif, dan Faktor Daya di Bus 6.6 kV Kondisi Faktor Daya Awal 0.918 Hasil Simulasi	43
Gambar 4.15	Pemasangan <i>Fixed Capacitor</i> dan Pengaruhnya Terhadap Tegangan	44
Gambar 4.16	Skema Penerapan <i>Controller PI</i> dan <i>FC-TCR</i>	48
Gambar 4.17	Simulasi Kondisi Sistim dengan kompensasi Menggunakan <i>Fixed Capacitor-Thyristor Controlled Reactor (FC-TCR)</i>	49
Gambar 4.18	Rangkaian Simulasi Pengontrol <i>Thyristor Controlled Reactor (TCR)</i>	51
Gambar 4.19	Rangkaian Simulasi <i>Thyristor Controlled Reactor (TCR)</i>	52
Gambar 4.20	Grafik Daya Aktif, Daya Reaktif, dan Faktor Daya di Bus 6.6 kV saat Menggunakan <i>Fixed Capacitor-Thyristor Controlled Reactor (FC-TCR)</i>	53
Gambar 4.21	Grafik Tegangan di Bus 6.6 kV saat Menggunakan <i>Fixed Capacitor-Thyristor Controlled Reactor (FC-TCR)</i>	53
Gambar 4.22	Garfik Arus di Bus 6.6 kV saat Menggunakan <i>Fixed Capacitor Thyristor Controlled Reactor (FC-TCR)</i>	54

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Tarif Dasar Listrik Untuk Keperluan Industri	1
Tabel 4.1	Data Hasil Simulasi Matlab di Bus 6.6 kV	35
Tabel 4.2	Data Hasil Simulasi Matlab Sistem dengan <i>Fixed Capacitor</i> di Bus 6.6 kV	44
Tabel 4.3	Data Hasil Simulasi Matlab Sistem Tanpa <i>Fixed Capacitor</i> dan dengan <i>Fixed Capacitor</i> di Bus 6.6 kV.....	45
Tabel 4.4	Tabel Hasil Simulasi Sistim dengan <i>FC-TCR</i>	54
Tabel 4.5	Perbandingan Hasil Simulasi Sistim tanpa <i>FC-TCR</i> dan Sistim Dengan <i>FC-TCR</i> di Bus 6.6 kV dengan Kondisi Beban Fluktuasi	55

