

PENERAPAN THEOREMA FUZZY UNTUK MENENTUKAN LOKASI PEMASANGAN DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA SALURAN DISTRIBUSI PRIMER

Rukmi Sari Hartati, I Wayan Sukerayasa, Nyoman Setiawan
Staf Pengajar Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Email: rshartati@yahoo.co.uk, sukerayasa@ee.unud.ac.id
setiawan@ee.unud.ac.id
Kampus Bukit Jimbaran Bali, 80361

Intisari

Dalam penulisan ini dibahas tentang aplikasi teori himpunan Fuzzy untuk menyelesaikan penempatan optimal dan kapasitas kapasitor bank pada penyulang distribusi. Ada beberapa penyulang yang mempunyai kualitas rendah pada profil tegangannya, disebabkan karena adanya beban-beban induktif yang dipergunakan oleh konsumen. Sebagai contoh penyulang-penyulang yang melayani daerah-daerah turis yang baru seperti di kabupaten Tabanan (penyulang Penebel) dan daerah kabupaten Buleleng (penyulang Menjangan). Untuk mengatasi masalah tersebut, dapat dilakukan dengan memasang kapasitor bank untuk mengkompensasi beban-beban induktif. Optimal placement and sizing of capacitor bank on the feeders of Penebel and Menjangan can be calculated based on a combination of maximum sensitivities selection, Fuzzy theorem, and local variations algorithm.

Kesimpulan menunjukkan bahwa dengan mengaplikasikan metode ini untuk penyulang-penyulang Penebel dan Menjangan dapat memperbaiki profil tegangannya, sehingga tidak ada bus-bus pada kedua penyulang tersebut yang tegangannya melanggar batas-batas yang diijinkan. Demikian juga penghematan biaya tahunan cukup signifikan, yaitu sebesar 3043.94 USD untuk penyulang Penebel dan 2327.16 USD untuk penyulang.

Kata Kunci : kompensasi daya reaktif, kapasitor, optimasi, fuzzy

1. PENDAHULUAN

Pada daerah-daerah pariwisata yang baru berkembang seperti di kabupaten Tabanan dan kabupaten Buleleng, banyak fasilitas pendukung yang belum tersedia dengan kualitas yang baik. Salah satunya adalah penyediaan energi listrik. Pariwisata berkembang lebih cepat dan kemampuan penyediaan fasilitas energi listrik tidak seimbang, sehingga fasilitas energi listrik yang ada sekarang tidak memadai dari segi kualitas. Gangguan jatuh tegangan lebih rendah dari batas minimal yang diijinkan sering terjadi pada sistem tenaga listrik dengan penyulang yang panjang. Hal ini juga dialami didaerah ini, sehingga dapat mengganggu dan merugikan bagi konsumen.

Pesatnya perkembangan pariwisata yang diikuti dengan meningkatnya beban pada jaringan, dapat dipandang sebagai penambahan beban-beban yang semakin bersifat induktif. Sehingga kebutuhan daya reaktif semakin meningkat, yang mengakibatkan KVA yang harus disalurkan menjadi semakin meningkat pula.

Apabila suatu jaringan yang tidak memiliki sumber daya reaktif didaerah sekitar beban, maka semua kebutuhan beban reaktifnya dipikul oleh generator, sehingga akan mengalir arus reaktif pada jaringan. Apabila kebutuhan ini cukup besar maka arus yang mengalir di jaringan juga semakin besar yang akan berakibat : Faktor dayanya menurun, susut daya besar, jatuh tegangan pada ujung saluran meningkat, sehingga konsumen mendapat tingkat tegangan yang tidak semestinya. Demikian juga

regulasi tegangan memburuk, terjadi pemanasan pada kawat penghantar sehingga umur peralatan menjadi lebih pendek. Sehingga hal ini akan menimbulkan kerugian baik bagi perusahaan pengelola kelistrikan maupun konsumen. Untuk melakukan pengaturan tegangan sistem tenaga listrik, maka peranan kompensasi daya reaktif menjadi sangat penting. Instalasi kompensasi daya reaktif dapat menekan transportasi daya reaktif pada jaringan tenaga listrik, sehingga memungkinkan untuk menjaga profil tegangan yang selalu berada dalam batas batas yang diijinkan. Kapasitor shunt berfungsi sebagai sumber daya reaktif tambahan dipergunakan untuk mengkompensasi daya reaktif induktif akibat pembebanan. Dengan memasang kapasitor shunt pada sisi konsumen, maka akan diperoleh keuntungan menurunnya rugi-rugi daya, menurunnya biaya rekening listrik, meningkatnya tegangan pada beban yang berakibat maningkatnya efisiensi peralatan serta menurunkan arus listrik yang mengalir pada beban, sehingga memungkinkan untuk menambah beban tanpa menambah saluran baru.

Metode Optimasi digunakan untuk menentukan dimana lokasi yang cocok dan berapa besar kapasitas kapasitor yang harus dipasang (Baghzouz, Y. and Ertem, S., 1990; Baran, M.E. and Wu, F.F.,1989). Tujuan optimasi ini adalah untuk meminimalkan biaya total yang diakibatkan oleh biaya kVA Substation, rugi-rugi energi sistem dan investasi kapasitor. Untuk mencapai tujuan tersebut, fungsi Penghematan biaya tahunan harus dimaksimumkan (Baran, M.E. and Wu, F.F.,1989; Suradharmika, I

G.A. 1996). Kendala yang harus dipenuhi adalah tegangan pada ujung saluran tidak boleh melanggar batas yang diijinkan. Teori Fuzzy set adalah merupakan alat yang natural dan cocok untuk menyatakan hubungan yang tidak eksak. Teori ini dapat digunakan untuk memodelkan kendala-kendala yang tidak eksak. Berdasarkan pada teori fuzzy set ini masalah optimasi dapat dimodifikasi dengan menyertakan fungsi tujuan dan kendala fuzzy.

Studi profil tegangan jaringan distribusi sudah pernah dilakukan oleh Team Teknik Elektro UGM (1998) pada jaringan distribusi PLN Jawa Tengah.

Dalam penelitian ini akan diteliti tentang usaha untuk memperbaiki profil tegangan pada penyulang-penyulang yang diindikasikan mempunyai profil tegangan yang kurang baik dengan memasang kapasitor shunt. Metode yang digunakan adalah dengan mengaplikasikan teori fuzzy set pada optimasi letak dan kapasitas kapasitor shunt. Program Matlab digunakan untuk membantu menyelesaikan algoritma numerik dalam penelitian ini

2. LANDASAN TEORI

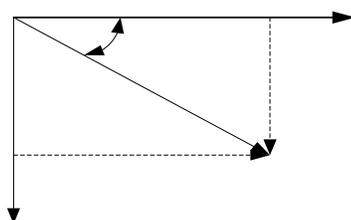
2.1 Penurunan Tegangan

Akibat adanya arus yang mengalir pada penyulang serta impedansi saluran maka akan timbul penurunan tegangan pada penyulang tersebut. Pada jaringan yang dialiri arus listrik akan timbul penurunan tegangan disisi beban. Penurunan tegangan yang paling besar terjadi pada saat beban puncak. Penurunan tegangan maksimum pada beban penuh, yang dibolehkan dibeberapa titik pada jaringan distribusi adalah (SPLN 72 :1987) :

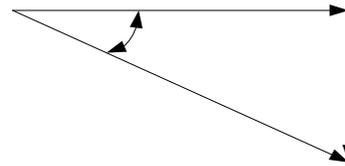
- a. SUTM = 5 % dari tegangan kerja bagi sistem radial diatas tanah dan sistem simpul.
- b. SKTM = 2 % dari tegangan kerja pada sistem spindel dan gugus.
- c. Trafo distribusi = 3 % dari tegangan kerja
- d. Saluran tegangan rendah = 4 % dari tegangan kerja tergantung kepadatan beban.
- e. Sambungan rumah = 1 % dari tegangan nominal.

2.2 Koreksi Faktor Daya

Pada sistem distribusi beban, arus tertinggal terhadap tegangan dengan sudut fase θ seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.(a). Cosinus sudut antara arus dan tegangan diketahui sebagai faktor daya dari suatu rangkaian.



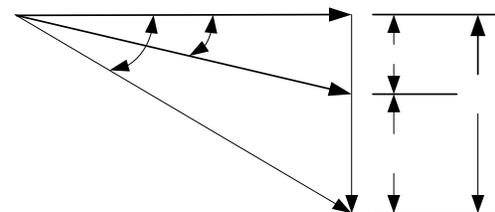
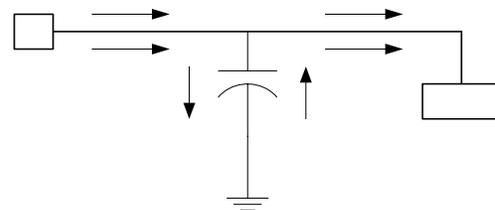
(a)



(b)

Gambar 1. (a) Diagram fasor, (b) Segitiga daya untuk beban yang didistribusikan

Pembangkitan daya reaktif pada perencanaan daya dan pensuplaiannya ke beban-beban yang berlokasi pada jarak yang jauh adalah tidak ekonomis, tetapi dapat dengan mudah disediakan oleh kapasitor yang ditempatkan pada pusat beban (Sauer, P.W. 2003; Stevenson, W.D., 1994). Gambar 2. menunjukkan koreksi faktor daya yang berikan oleh sistem.



Gambar 2. Koreksi faktor daya

Seperti yang diilustrasikan pada gambar diatas, kapasitor mempunyai faktor daya mendahului (leading) terhadap sumber. Kapasitor tersebut mengkompensasi daya reaktif beban. Dengan mengasumsikan beban disuplai dengan daya nyata (aktif) P , daya reaktif tertinggal Q_l , dan daya semu S_l , pada faktor daya tertinggal bahwa :

$$\cos \theta_1 = \frac{P}{S_1}$$

atau

$$\cos \theta_1 = \frac{P}{\sqrt{(P^2 + Q_1^2)}} \dots\dots\dots (1)$$

ketika kapasitor shunt Q_c kVA dipasang pada beban, faktor daya dapat ditingkatkan dari $\cos \theta_1$ ke $\cos \theta_2$, dimana :

$$\begin{aligned} \cos \theta_2 &= \frac{P}{S_2} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_2^2}} \\ &= \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_1 - Q_C)^2}} \end{aligned} \quad (2)$$

Daya semu dan daya reaktif menurun dari S_1 kVA menjadi S_2 kVA dan dari Q_1 kVAr menjadi Q_2 kVAr. Koreksi faktor daya menghasilkan penghematan ekonomi melalui pengurangan kapasitas kilovoltampere dan penurunan rugi daya.

Dengan adanya perbaikan faktor daya, maka kVA yang mengalir pada jaringan akan menurun. Sehingga pada jaringan tersebut dapat ditambahkan sejumlah kVA sebesar penurunan kVA yang terjadi. Dengan adanya kVA tambahan pada suatu jaringan, akan menambah jumlah beban yang dapat ditanggung oleh jaringan tersebut. Hal ini merupakan suatu keuntungan, karena apabila ada tambahan beban pada daerah dimana jaringan itu berada, daya listriknya dapat dikirim melalui jaringan tersebut tanpa perlu membangun jaringan yang baru.

2.3 Optimasi Pemasangan Kapasitor Fungsi Obyektif dan Kendala Pemasangan Kapasitor

Dalam optimasi pemasangan kapasitor besarnya tegangan rms akan dipakai sebagai kendala dalam perhitungan (Baran, M.E. and Wu, F.F.,1989). Tujuannya adalah memaksimalkan F dengan batasan

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \dots\dots (3)$$

dengan: V_i^{\min} dan V_i^{\max} adalah batas toleransi minimum dan maksimum dari tegangan nominal.

Fungsi obyektif adalah total biaya tahunan dari pemasangan kapasitor dan penurunan rugi daya dapat dinyatakan sebagai berikut (Baran, M.E. and Wu, F.F.1989; Masoum,2000):

$$\begin{cases} \text{maks } F \\ \text{subject to } V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \\ i = 1, \dots, m \end{cases}$$

$$F = K_p (\Delta P_{loss}) - \sum_{j \in S_c} (K_{cf} Q_f) \dots\dots\dots (4)$$

dengan,

P_{loss} = rugi daya aktif total

Q_f = kapasitor *fixed*

S_c = seting dari bus yang diperbolehkan untuk pemasangan kapasitor

K_p = harga ekivalen per kW per tahun dari kerugian daya aktif puncak (\$/kW/tahun)

K_{cf} = harga per unit dari kapasitor *fixed* (\$/kVAr/tahun) (Masoum,2000). (2)

Sensitifitas Fungsi Objektiv Dan Kendala

Sensitifitas dari kendala didapat dengan menggunakan perhitungan parsial mula dari kendala tersebut. Penambahan daya reaktif pada setiap bus yang akan dikompensasi didapat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Masoum,2000):

$$\frac{dF_{cost}}{dQ_j} = \frac{F_{cost}^{(j+1)} - F_{cost}^{(j)}}{Q_{(j+1)} - Q_j} \dots\dots\dots (5)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial P} \\ \frac{\partial P_{loss}}{\partial Q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \theta} & \frac{\partial Q}{\partial \theta} \\ \frac{\partial P}{\partial V} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \theta} \\ \frac{\partial P_{loss}}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (6)$$

2.4 Logika Fuzzy

Pada tahun 1965, Zadeh memodifikasi teori himpunana dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang bernilai kontinyu antara 0 sampai 1. Himpunan ini disebut dengan Himpunan Kabur (*Fuzzy Set*).

Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan (membership function) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik – titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1.

Membangkitkan Nilai Keanggoatan Fuzzy

Himpunan *fuzzy* konsisten terhadap suatu garis lurus dari domain *false* ke *true*. Permukaan himpunan *fuzzy* yang merupakan bagian tersebut yang mendefinisikan fungsi keanggotaan, dapat dibuat dalam berbagai bentuk. Biasanya permukaan tersebut berupa suatu garis kontinyu yang bergerak dari kiri ke kanan. Kontur dari suatu himpunan fuzzy menunjukkan properti sematik dari konsep fuzzy tersebut. Ada beberapa cara mendeskripsikan himpunan fuzzy salah satunya adalah representasi kurva Trapesium. Kurva Trapesium pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (linear), hanya

saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1. Ada 4 parameter yang dapat digunakan yaitu [a b c d].

Fungsi keanggotaan dinyatakan sebagai :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x - a)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ (d - x)/(d - c); & c \leq x \leq d \\ 0; & x \geq d \end{cases} \quad (7)$$

Nilai Ambang Alfa-Cut

Level alfa (α -cut) ini merupakan nilai ambang batas domain yang didasarkan pada nilai keanggotaan untuk tiap – tiap domain. Himpunan ini berisi semua nilai domain yang merupakan bagian dari himpunan fuzzy dengan nilai keanggotaan lebih besar atau sama dengan α (Kusumadewi,2002).

- α -cut lemah dapat dinyatakan sebagai $\mu_A(x) \geq \alpha$
- α -cut kuat dapat dinyatakan sebagai $\mu_A(x) > \alpha$.

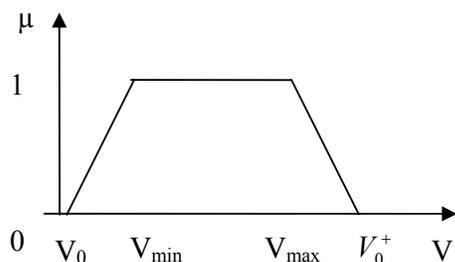
Penggunaan Teori Fuzzy

Mengingat fungsi obyektif merupakan satu – satunya kriteria untuk mendapatkan optimasi bisa menyebabkan hasil menjauh dari kendala yang diinginkan. Untuk mengatasi masalah ini dipakai teori fuzzy. Daerah kombinasi yang cocok dari fungsi obyektif dan kendala yang dihasilkan digunakan sebagai kriteria optimasi. Pemfuzzyfikasian fungsi kendala ditunjukkan pada gambar 3.

Kombinasi dari sensitivitas yang telah difuzzykan ini digunakan sebagai kriteria utama untuk mengurut bus yang akan dikompensasi.

$$\mu_{total}^{sensitivitas} = \mu_V^{sensitivitas}, \mu_F^{sensitivitas} \quad \dots\dots (8)$$

Dalam mengatur algoritma kearah batasan yang diinginkan digunakan batas alfa (alfa-cut) pada setiap iterasinya. Untuk melakukan ini harga dari α untuk V dan F diseting sama dengan harga iterasi sebelumnya atau harga α konstan untuk setiap iterasinya (Masoum,2000).



Gambar 3. Fungsi kendala yang difuzzykan

3. METODE

Metode Lokal Variasi (Local Variation Method)

Metode *Local Variation* (LV) adalah metode yang akurat untuk pembatasan masalah dengan ciri tersendiri, dilengkapi dengan kondisi awal dalam wilayah yang diijinkan dari kendala yang telah ada. Solusi dari algoritma LV sangat tergantung pada kondisi awal, untuk itu digunakan aplikasi dari teori fuzzy untuk menghitung kondisi awal yang optimal.

Dalam menentukan pemasangan kapasitor yang optimal dipakai kombinasi dari teori fuzzy (untuk mengarahkan solusi ke wilayah yang diijinkan dengan memperhitungkan kondisi awal yang optimal) dan metode variasi lokal (untuk memperbaiki ketelitian dari solusi). Fungsi sensitivitas maksimum dipakai untuk menentukan kandidat – kandidat bus yang akan dipasang kapasitor. Langkah – langkahnya adalah sebagai berikut (Masoum,2000):

- Langkah 1 : masukkan parameter - parameter dari sistem. Pilih level beban pertama (misal, k = 1) dan nol sebagai nilai kapasitor awal untuk semua bus yang akan dikompensasi.
- Langkah 2 : hitung sensitivitas dari fungsi obyektif, kendala dan kombinasi fuzzy. Tentukan daftar kandidat bus.
- Langkah 3 : tentukan urutan kandidat bus dan pilih beberapa bus yang mempunyai sensitivitas maksimum dan jumlah total dari kapasitor terpasang kurang dari U^{max}
- Langkah 4 : pergunakan α -cut process dan hitung nilai keanggotaan yang baru dengan mematuhi topologi yang ada.
- Langkah 5 : tambahkan satu unit kapasitor ke salah satu kandidat bus. Hitung aliran daya dan catat nilai fungsi keanggotaannya yang berhubungan dengan bus yang bersangkutan.
- Langkah 6 : lepaskan kapasitor yang baru dipasang dari bus tersebut dan ulangi langkah ini untuk semua kandidat bus.
- Langkah 7 : jika semua fungsi keanggotaan bernilai nol, maka lanjutkan kelangkah 10
- Langkah 8 : diantara semua kandidat bus, pilih salah satu bus dengan nilai tertinggi dari total fungsi keanggotaan dan pasang satu unit kapasitor pada bus tersebut. Catat nomor bus, nilai kapasitansi yang sesuai $Q^{c*} = \{Q_1^c, Q_2^c, \dots, Q_S^c\}$ dan nilai dari fungsi obyektif ($F = F^*$).
- Langkah 9 : jika total kapasitansi dari kapasitor tidak melewati penjumlahan dari beban reaktif dan total jumlah kapasitor terpasang dibawah U^{max} , kembali ke langkah 2
- Langkah 10 : ubah nilai kapasitor pada setiap lokasi kapasitor dari Q_0 ke LQ_0 sementara kapasitansi dari lokasi kapasitor yang lain tetap
- Langkah 11 : jalankan aliran daya dan hitung fungsi obyektif

- Langkah 12 : bandingkan F dengan F^* . Jika $F < F^*$ kembali kelangkah 10, lanjutkan jika $F^* = F$ dan $Q^{c*} - Q^c$.
- Langkah 13 : ubah topologi sistem dengan kombinasi ukuran kapasitor yang mana mengacu pada fungsi obyektif teringgi ($Q^c = Q^{c*}$).
- Langkah 14 : ulangi langkah 10 – 13 untuk setiap lokasi kapasitor
- Langkah 15 : jika solusi tidak ditemukan (misal, F^* berubah dalam dua iterasi berikutnya), ulangi langkah 10 – 14
- Langkah 16 : ini adalah nilai solusi optimal pada level baban k . Jika level beban terakhir dicapai, lanjutkan kelangkah 18
- Langkah 17 : pilih level beban selanjutnya ($k = k+1$), pakai Q^c sebagai parameter sistem dan lanjutkan kelangkah 2
- Langkah 18 : cetak hasil dan berhenti

Menjangan. Hasil simulasi dibandingkan sebelum dengan setelah pemasangan kapasitor.

Sebelum Pemasangan Kapasitor

Sebelum pemasangan kapasitor tegangan terendah pada penyulang Penebel adalah 18,41 kV, dengan drop tegangan 7,9 % dan rugi daya aktif sebesar 331,5 kW, sedangkan pada penyulang Menjangan adalah 18,23 kV, dengan drop tegangan 8,84 % dan rugi daya aktif sebesar 208,77 kW.

Setelah Pemasangan Kapasitor

Setelah pemasangan kapasitor tegangan terendah pada penyulang Penebel adalah 19,03 kV dengan drop tegangan 4,86% dan rugi daya aktif sebesar 180,8 kW, sedangkan pada penyulang Menjangan tegangan terendah sebesar 19,00 kV dengan drop tegangan sebesar 4,98% dan rugi daya aktif sebesar 101,4 kW.

4. HASIL SIMULASI

Simulasi dilakukan terhadap jaringan tegangan menengah 20 kV penyulang Penebel dan penyulang

	Penebel		Menjangan	
	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah
Lokasi Kapasitor	-	Bus 26	-	Bus 40
Kapasitas Kapasitor (kVAR)	-	1650.00		1050
Tegangan Minimum (kV)	18,41	19,03	18,23	19,00
Rugi daya aktif (kW)	331.48	180.80	208.77	101.41
Harga rugi daya aktif (\$/tahun)	16.389,03	7.120,78	4.274,095	1.702,0905
Harga Kapasitor (\$/tahun)	-	2079.00	-	1323.00
Total (\$/Tahun)	11270.30	8226.36	7098.12	4770.96
Penghematan (\$/tahun)		3043.94		2327.16

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa dengan memasang kapasitor shunt pada penyulang-penyulang Penebel dan Menjangan sebesar masing-masing 1650 KVAR dan 1050 KVAR, maka profil tegangan menjadi lebih baik. Tidak ada bus-bus yang tegangannya berada diluar batas yang diijinkan. Tegangan terendah sebesar 19 KV, yang berarti bahwa drop tegangan maksimum sebesar 5% terpenuhi. Rugi daya aktif juga menurun cukup signifikan, sehingga mengakibatkan menurunnya biaya per tahun yang harus dikeluarkan oleh penyedia. Dengan demikian maka akan diperoleh penghematan setiap tahunnya sebesar 3043,94 USD untuk penyulang Penebel dan 2327,16 USD untuk penyulang Menjangan.

5. KESIMPULAN

Penelitian tentang penempatan dan perhitungan kapasitas kapasitor shunt yang harus dipasang pada penyulang-penyulang Penebel dan Menjangan telah dilaksanakan. Dengan mengaplikasikan teori fuzzy set pada metode optimasi diperoleh hasil bahwa dengan memasang kapasitor shunt pada penyulang-penyulang Penebel dan Menjangan dengan kapasitas masing-masing sebesar 1650 KVAR dan 1050 KVAR maka diperoleh penghematan sebesar 3043,94 USD/tahun dan 2327.16 USD /tahun. Drop tegangan pada masing-masing penyulang juga sudah tidak melampaui batas yang diijinkan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Baghzouz, Y. and Ertem, S. 1990. *Shunt Capacitor Sizing For Radial Distribution Feeder With Distorted Substation Voltages*. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 5, No.2.
- [2]. Baran, M.E. and Wu, F.F.1989. *Optimal Sizing Of Capacitors Placed On Radial Distribution System*. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4. No.1.
- [3]. Baran, M.E. and Wu, F.F.1989. *Optimal Capacitor Placement On Radial Distribution Systems*. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4. No.1.
- [4]. Masoum M.A.S., Ladjevardi M., Jafarian A. and Sarvi M.. 2000. *Application of Fuzzy Theory and Local Variations Algorithm for Optimal Placement of Capacitor Banks in Distorted Distribution Feeder*. Department of Electrical Engineering Iran University of Science & Technology
- [5]. Kusumadewi, S. 2002. *Analisa & Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*. Yogyakarta. Graha Ilmu.
- [6]. Sauer, P.W. 2003. *What is Reactive Power?*. Urbana-Champaign : University of Illinois
- [7]. Suradharmika, I G.A. 1996. *Metoda Optimasi Ukuran, Waktu Terhubung Dan Lokasi Kapasitor Shunt Untuk Memaksimalkan Penghematan Biaya*. Jimbaran. Teknik Elektro Universitas Udayana.
- [8]. Rukmi Sari Hartati, dkk, Laporan Hibah Pekerti Tahun II, 2005. Denpasar