

Desain Filter Pasif Pada Sistem Kelistrikan Industri Guna Mengurangi Distorsi Harmonisa

Soedibyo dan Sjamsjul Anam

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Surabaya Indonesia

dibyosoe@gmail.com; anam@ee.its.ac.id

Abstract— Kualitas daya listrik merupakan hal penting untuk menjaga stabilitas sistem tenaga listrik. Suatu proses produksi pada bidang industri sangat bergantung kepada peralatan listrik untuk menjaga kelangsungan proses produksinya. Pada saat yang bersamaan, beban yang terdapat pada sebuah industri saat sekarang ini tergantung pada proses elektronika dan kontrol.

PT Indopipe Polyplast yang memproduksi pipa jenis ekstrusi polietilena menggunakan motor DC sebagai penggerak utama (main drive) mempunyai permasalahan kualitas daya listrik yang meliputi; faktor daya, harmonisa dan tegangan kedip. Beban tak linier seperti variable speed drive, rectifier, inverter dan ups. membawa kerugian yaitu memberikan bentuk gelombang yang tidak sinusoidal. Gelombang tersebut terinterferensi dengan gelombang frekuensi tinggi (harmonisa) sehingga menyebabkan gangguan pada sistem tenaga listrik.

Rancangan passive filter yang sesuai, berguna mengurangi distorsi harmonisa yang terdapat dalam sistem dan juga berfungsi sebagai kompensator daya reaktif. Sebelum melakukan simulasi maka system yang sudah ada (existing) harus terlebih dahulu direpresentasikan kedalam software ETAP untuk melihat THD tegangan dan THD arus pada kondisi awal. Untuk mencegah timbulnya harmonisa, yang perlu dilakukan rekonfigurasi dari; kapasitor bank, inductor dan resistor sebagai filter pasif.

Keywords— Kualitas Daya; Distorsi Harmonisa, Filter Pasif.

I. PENDAHULUAN

Permasalahan kualitas daya listrik bagi suatu industri merupakan permasalahan yang sangat rumit dan melibatkan berbagai peralatan listrik yang berbeda pada sistem kelistrikannya. Beban-beban seperti elektronika, sering kali peka terhadap perubahan kualitas daya listrik dari pada beban elektromekanik yang lainnya. PT Indopipe Polyplast yang memproduksi pipa jenis ekstrusi polietilena menggunakan motor DC sebagai penggerak utama (main drive) mempunyai permasalahan kualitas daya listrik yang meliputi; faktor daya, harmonisa dan tegangan kedip. Faktor Daya yang ditetapkan oleh PLN adalah sebesar $> 85\%$ (SPLN 70-1). Untuk mencapai nilai tersebut maka perlu dipasang kapasitor bank yang berfungsi memperbaiki nilai dari faktor daya.

Peningkatan faktor daya ini tergantung dari besarnya nilai kapasitor (kVAR) yang dipasang. Beban tak linier yang merupakan penyebab utama munculnya harmonisa pada sistem kelistrikan PT. Indopipe Polyplast juga dapat menjadi masalah

dalam kualitas daya, harmonisa merupakan permasalahan yang sangat serius bagi industri. Beban tak linier adalah peralatan-peralatan elektronika daya seperti variable speed drive, rectifier, inverter dan ups. Peralatan elektronika daya tersebut membawa kerugian yaitu memberikan bentuk gelombang yang tidak sinusoidal. Gelombang tersebut terinterferensi dengan gelombang frekuensi tinggi (harmonisa) sehingga menyebabkan gangguan pada sistem tenaga listrik.

Tujuan yang hendak dicapai adalah bagaimana pengaruh pemasangan kapasitor bank dari sistem kelistrikan, khususnya tentang; faktor daya dan harmonisa, dengan memodelkan dan mensimulasikan sistem kelistrikan tersebut dengan software ETAP. Bagaimana merancang passive filter yang sesuai dengan kebutuhan sistem (standar yang dikeluarkan oleh IEEE) guna mengurangi distorsi harmonisa yang terdapat dalam sistem dan juga berfungsi sebagai kompensator daya reaktif. Dengan demikian, diharapkan terjadi perbaikan kualitas daya listrik, dan pemakaian daya listrik menjadi optimal

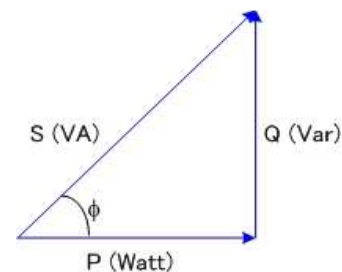
II. LANDASAN TEORI

A. Faktor Daya

Faktor daya sering disebut sebagai $\cos \phi$ dimana ϕ adalah sudut antara daya nyata (S) dengan daya aktif (P), P sendiri sama dengan $(S \cdot \cos \phi)$. Sedangkan Q (daya reaktif) sama dengan $(S \cdot \sin \phi)$ atau dapat juga diartikan sebagai perbandingan antara daya riil ($P = MW$) terhadap daya kompleks ($S = MVA$) pada suatu lokasi tertentu

$$\text{Faktor Daya} = \text{Daya Aktif (P)} / \text{Daya Nyata (S)}$$

$$= kW / kVA = V.I \cos \phi / V.I \quad (1)$$



Gambar 1. Segitiga Daya

Faktor daya mempunyai nilai range antara 0 s/d 1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen. Faktor daya yang baik bernilai mendekati satu.

$$\tan \varphi = Q / P \quad (2)$$

karena komponen daya aktif umumnya memiliki nilai konstan maka dapat dituliskan seperti berikut:

$$Q = P / \tan \varphi \quad (3)$$

Jika power faktor menjadi kecil maka kapasitas daya aktif yang digunakan akan berkurang. Power faktor dan daya aktif memiliki nilai sebanding, sehingga akan berdampak pada:

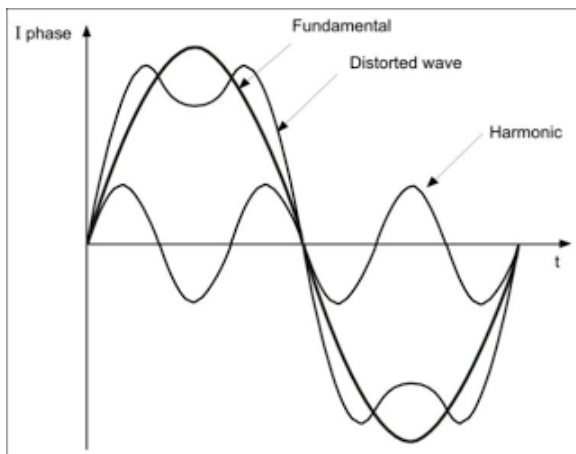
1. Mengersarnya penggunaan daya listrik kWh karena rugi – rugi.
2. Membesarnya penggunaan daya listrik kVAR
3. Mutu listrik menjadi rendah karena jatuh tegangan (voltage drop)

Rating kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya adalah,

$$\text{delta daya reaktif } (\Delta Q) = Q_1 - Q_2 = P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (4)$$

B. Harmonisa Sistem Tenaga Listrik

Dalam sistem tenaga listrik ideal, bentuk gelombang tegangan yang disalurkan ke peralatan konsumen dan bentuk gelombang arus yang dihasilkan adalah gelombang sinus murni. Dengan semakin meluasnya penggunaan beban-beban non-linier, gelombang arus maupun tegangan sinusoidal tersebut dapat terdistorsi dan bentuknya menjadi cacat. Harmonisa sistem tenaga didefinisikan sebagai komponen sinusoidal tegangan dan arus yang mempunyai frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar. Gelombang non sinusoidal dapat terbentuk dengan menjumlahkan gelombang-gelombang sinusoidal seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Gelombang harmonisa

Frekuensi dasar dari gelombang tersebut dinamakan frekuensi fundamental dan gelombangnya dinamakan komponen fundamental. Untuk sistem tenaga dengan frekuensi dasar f_0 , frekuensi dari harmonisa orde ke-n adalah $n \cdot f_0$. Pada satu

periode gelombang sinus yang mengalami distorsi oleh beberapa komponen harmonisa sesuai dengan banyak harmonisa atau n.

Filter pasif sebagian besar didesain untuk mengalihkan arus harmonik yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga. Ada dua macam filter pasif yaitu filter pasif seri dan filter pasif paralel. Filter pasif seri memiliki karakteristik sebagai resonansi paralel dan permupakan tipe filter yang bersifat sebagai penghalang, yang memiliki impedansi tinggi pada frekuensi tertentu. Sedangkan filter pasif paralel memiliki karakteristik sebagai resonansi seri dan merupakan filter yang bertipe trap yang memiliki impedansi yang rendah pada frekuensi tertentu.

Filter pasif tersusun dari induktansi, kapasitansi dan resistansi. Filter pasif ini mempunyai beberapa bentuk, berdasarkan susunan rangkaian komponen-komponen penyusunnya. Secara umum filter pasif dapat dibedakan dalam tiga jenis:

1. Filter dengan penalaan tunggal (*Single Tuned Shunt Filter*)
2. Filter dengan penalaan ganda (*Double Tuned Filter*)
3. High Pass Damp Filter Type.

Evaluasi hasil pengukuran harmonisa dilakukan berdasarkan Standar IEEE sebagai berikut:

Tabel 1. Standar 519 (1992) untuk THD voltage dan IHD voltage IEEE

Bus Voltage at PCC	IHDv (%)	THDv (%)
69 kV below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161 kV and above	1.0	1.5

IHDv = Individual Harmonic voltage Distortion

THDv = Total Harmonic voltage Distortion

Tabel 2. Standar 519 (1992) untuk THD current

I_{sc} / I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	THD (%)
< 20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
$20 \leq 50$	7	3.5	2.5	1	0.5	8
$50 \leq 100$	10	4.5	4	1.5	0.7	12
$100 \leq 1000$	12	5.5	5	2	1	15
> 1000	15	7	6	2.5	1.4	20

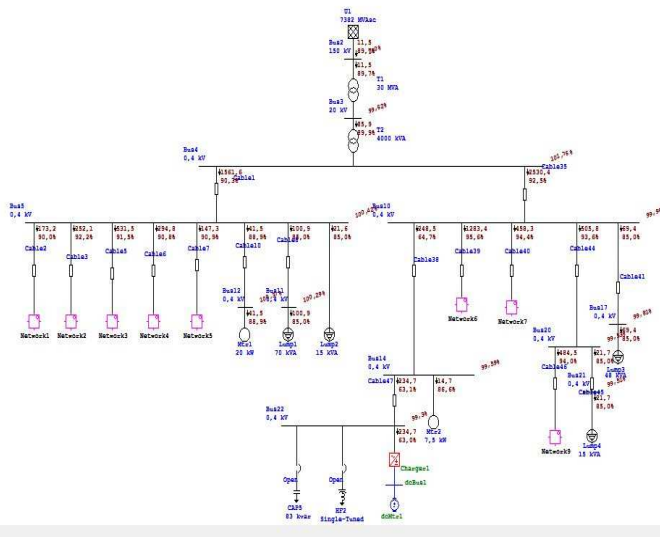
C. Harmonisa Sistem Tenaga Listrik

Suplai tenaga listrik PT. Indopipe berasal dari jaringan distribusi PLN 20 kV yang berasal dari Gardu Induk Petrokimia Gresik, dengan kontrak daya sebesar 865 kVA.

III. SIMULASI DAN ANALISIS

Electrical Transient Anyzer Program (ETAP) adalah software yang biasa digunakan untuk desain dan analisa system tenaga listrik dikembangkan oleh Operation Technology, Inc. software ini. Analisa system tenaga listrik yang terdapat daalam ETAP disini digunakan dalam analisa studi kasus ini antara lain adalah :

1. Load Flow Analysis (Power Factor)
2. Harmonic Analysis



Gambar 3. Single line diagram PT. Indopipe Polyplast

Pada Table 3. saat kondisi ekisting dapat dilihat hasil nilai profil factor daya yang rendah sebelum dipasang filter sebagai kompensator daya reaktif. Untuk harmonisa tegangan sudah memenuhi standar (berdasarkan IEEE Std. 519-1992) akan tetapi karena factor daya yang masih rendah maka akan dilakukan pemasangan kapasitor bank.

Tabel 3. Profie faktor daya pada system kelistrikan PT.Indopipe Polyplast

BUS	Power faktor (%)	Kondisi
Bus 2	75.8%	tidak ok
Bus 3	75.8%	tidak ok
Bus 4	70.9%	tidak ok
Bus 10	64.7%	tidak ok
Bus 14	63.1%	tidak ok

A. Evaluasi Peningkatan Faktor Daya

Perhitungan nilai kapasitor dilakukan dengan cara bertahap, supaya nilai dari kapasitor bank yang akan dipasang bisa di bagi menurut peredaman orde harmonisa. Dengan perhitungan rumus (ΔQ) maka besarnya kapasitas kapasitor yang dipasang pada bus-bus PT Indopipe untuk mendapatkan nilai factor daya diatas 85% dengan menggunakan perhitungan berikut, dimana akan

ditunjukkan beberapa perhitungan pada bus-bus yang mempunyai factor daya kritis

Perhitungan nilai kapasitor sebagai berikut :

Bus 22, pf = 63.0%

S pada BUS 22 :

$$S_1 = 102 + j126$$

$$S_2 = 9 + j5$$

Untuk Pemasangan kapasitor dipakai pf = 90% :

$$Q_1 = (102 + 9) \tan (\arccos 0.63) = 136.83 \text{ kVAR}$$

$$Q_2 = (102 + 9) \tan (\arccos 0.9) = 53.76 \text{ kVAR}$$

Maka, Qc yang dipilih untuk memperbaiki adalah sebesar :

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = 83 \text{ kVAR}$$

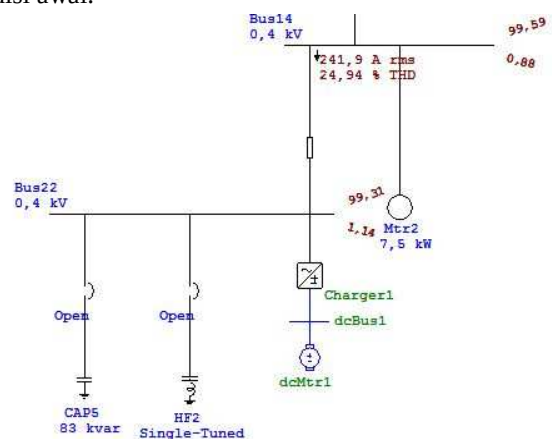
Tabel 4. Profie Faktor daya pada system setelah pemasangan kapasitro (tanpa filter)

BUS	Power Faktor (%)	Kondisi
Bus 2	87.6%	ok
Bus 3	87.6%	ok
Bus 4	89.2%	ok
Bus 10	91.1%	ok
Bus 14	91.5%	ok

B. Nilai Harmonisa setelah pemasangan Filter Pasif dan setelah perbaikan factor daya

Evaluasi beban pada system kelistrikan sebagian besar berupa motor yang dilengkapi dengan peralatan elektronika daya berupa pengatur kecepatan motor (Variable Speed Drive) serta peralatan elektronika daya yang lain seperti charger. Karena adanya peralatan elektronika tersebut, maka memicu timbulnya harmonic pada system kelistrikan.

Sebelum melakukan simulasi maka system yang sudah ada (existing) harus terlebih dahulu direpresentasikan kedalam software ETAP untuk melihat THD tegangan dan arus pada kondisi awal.



Gambar 4. Single line diagram tanpa pemasangan kapasitor dan filter

Pada Gambar 4 tersebut, belum sesuai maka diperlukan pemasangan kapasitor dan filter.

Perencanaan single tuned Filter

Tegangan line-netral = 0.4 kV

Frekuensi Sudut :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot (3.14) \cdot 50 = 314.16$$

Lebar band, Q = 30 – 50, dipilih Q = 30

Pada BUS 22, Single Tuned orde 5

kVAR yang digunakan (Qc) sebesar 83 kVAR, rating kapasitor (dalam Farad) component filter adalah

$$C = \frac{Q_c}{\omega \cdot V^2} = \frac{83}{(314.16) \cdot (0.4)^2} = 1.651 \text{ mF}$$

Frekuensi Tuning = 247 Hz (toleransi dari tuning 250 Hz) maka komponen reaktor filter:

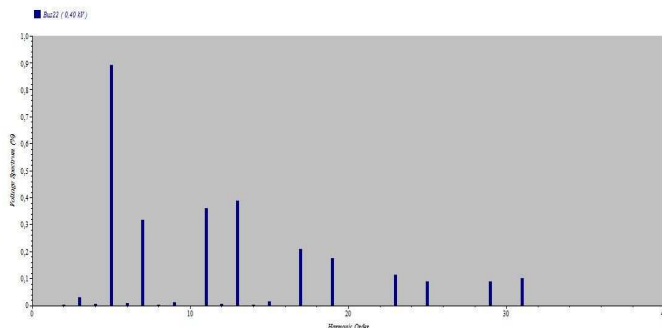
$$L = \frac{1}{(C) \cdot (\omega \cdot n)^2} = \frac{1}{(1.651 \cdot 10^{-3}) \cdot (2 \cdot \pi \cdot 247)^2} = 0.251 \text{ mH}$$

$$X_L = \omega \cdot L = 314.16 \cdot (0.251 \cdot 10^{-3}) = 0.0788 \Omega$$

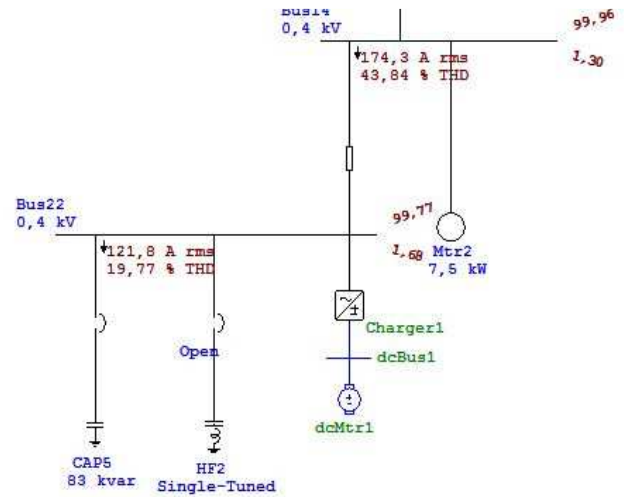
Dan komponen resistansi filternya adalah :

$$Q = \frac{X_L}{R}$$

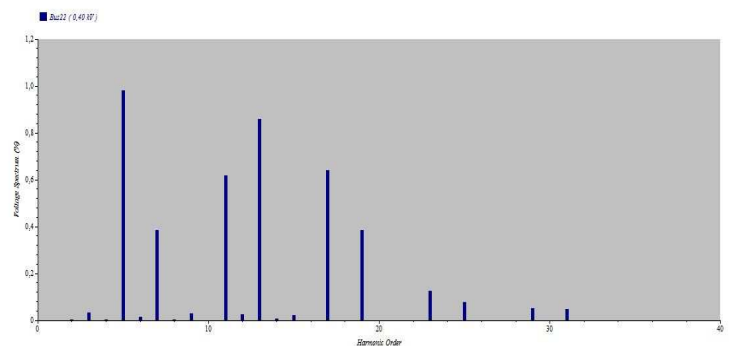
$$R = \frac{0.0788}{30} = 0.00262 \Omega$$



Gambar 5. Spektrum Harmonik Tegangan Bus 22 tanpa pemasangan kapasitor dan filter

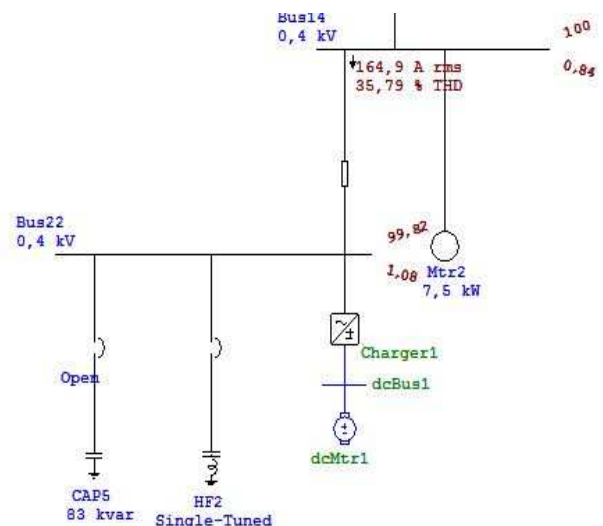


Gambar 6. Single line diagram pemasangan kapasitor tanpa filter

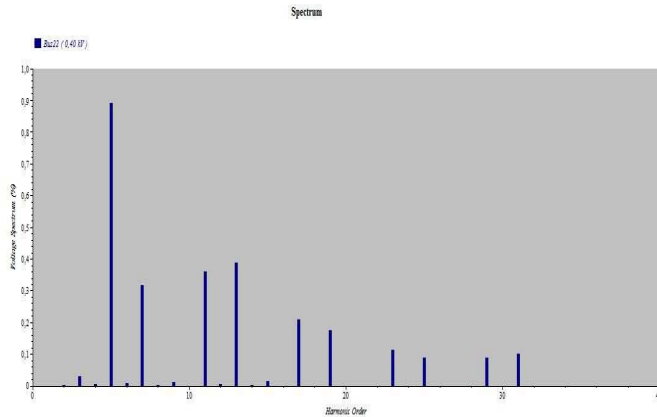


Gambar 7. Spektrum harmonik tegangan pada Bus 22 setelah pemasangan kapasitor tanpa filter

Pada Gambar 4. untuk THD 1.14% dan pf 99.31% dan setelah pemasangan kapasitor tanpa filter terlihat bahwa THD menjadi 1.68% dan pf 99.77%

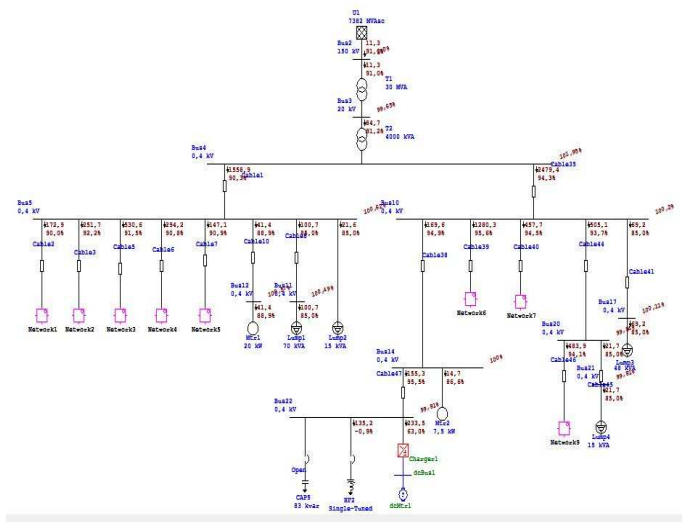


Gambar 8. Single line diagram pemasangan filter tanpa kapasitor



Gambar 9. Spektrum HarmonikTegangan Bus 22 setelah pemasangan filter tanpa kapasitor

Pada Gambar 4. untuk THD 1.14 % dan pf 99.31 % dan Gambar 5, setelah pemasangan kapasitor tanpa filter untuk THD menjadi 1.68 % dan pf 99.96 %. Setelah pemasangan filter disini nilainya semakin baik, terlihat bahwa untuk THD 1.08 % dan pf 99.82 %. Disini hanya mengambil salah satu sampel yaitu pada BUS 22.



Gambar 10. Single line diagram setelah pemasangan Filter

IV. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan analisis dapat disimpulkan bahwa :

1. Filter pasif merupakan salah satu metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk masalah harmonik.
2. Pemasangan filter passive yang sesuai dengan kebutuhan sistem, juga berfungsi sebagai kompensator daya reaktif sehingga terjadi perbaikan kualitas daya listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Edris Abdel, "Series Compensation Schemes Reducing the Potential of Sub Synchronous Resonance ", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 5 No. 1. Feb1990, pp. 219-226.
- [2] M. Baran, F.F. Wu, "Optimal Capacitor Placement on Radial Distribution Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, V01.4, No.1, Jan. 1989, pp.725-734
- [3] J. J. Grainger, and S. H. Lee, "Optimum Size and Location of Shunt Capacitors for Reduction of Losses on Distribution Feeders" IEEE Trans. on PAS, Vol.100, Marc.1981, pp.1105-1118.
- [4] Saadat, Hadi. 1999, *Power System Analysis*, Mc. Graw Hill, Inc, Singapore.