

Aplikasi Pendekatan Aliran Daya untuk Estimasi Rugi-Rugi Energi Sistem Distribusi Radial 20 kV

Daniel Rohi, Radita Sonixtus Arauna, Ontoseno Penangsang

Abstrak. Salah satu faktor yang bisa digunakan untuk menentukan efisiensi pengelolaan energi listrik adalah jumlah rugi-rugi energi yang terjadi pada sistem. Salah satu pendekatan dalam menentukan rugi-rugi energi adalah dengan menggunakan pendekatan aliran daya yang dikerjakan dengan program komputer yakni ETAP PowerStation. Untuk mendapatkan hasil yang cepat dan akurat dapat menggunakan dua metode perhitungan yang berbeda, yakni metode *Energy Load Flow* dan metode *Loss Factor*. Pengambilan data berupa data penggunaan energi atau kurva beban untuk menentukan karakteristik beban, yakni perubahan beban pada sistem berdasarkan pada fungsi waktu, yang selanjutnya digunakan dalam pemodelan beban pada simulasi aliran daya yang diproses dengan perangkat lunak ETAP PowerStation. Berdasarkan hasil analisa, dengan menggunakan metode *Energy Load Flow*, didapat rugi-rugi energi yang terjadi pada jaringan tegangan menengah adalah sebesar 0.92% dan 1.32% pada trafo distribusi. Sedangkan dengan menggunakan metode *Loss Factor*, didapatkan rugi-rugi energi pada jaringan tegangan menengah sebesar 0.85 % dan 1.29 % pada trafo distribusi.

Kata kunci : Rugi-rugi Energi, Sistem Distribusi, Aliran Daya

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan masyarakat akan energi listrik terus meningkat seiring dengan meningkatnya gaya hidup dan peralatan yang dipakai. Kondisi ini mensyaratkan ketersediaan energi listrik yang efisien dan berkualitas. Efisien dalam pengertian energi yang diproduksi dapat digunakan secara maksimal oleh pelanggan atau tidak mengalami kehilangan energi pada jaringan maupun peralatan listrik seperti trafo. Kehilangan energi perlu diprediksi dan diantisipasi agar terjadi dalam batas normal dan wajar. Berkualitas berarti pengaturan energi listrik sesuai dengan peralatan yang digunakan.

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri – Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto 121-131 Surabaya 60236
Telp. (031)2983075, Fax. (031)841802,
rohi@peter.petra.ac.id

Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui keandalan dari sistem distribusi adalah dengan menghitung besar rugi-rugi energi yang ada sebagai indikator efisiensi sistem kelistrikan. Estimasi rugi-rugi energi memerlukan data yang teliti dan banyak jumlahnya, sedangkan metode yang digunakan saat ini belum menggunakan metode aliran daya dan banyak menggunakan asumsi-asumsi akibat sumber daya yang tersedia terbatas

Salah satu pendekatan yang digunakan dalam menggunakan metode aliran daya adalah dengan menggunakan kurva beban untuk menentukan karakteristik beban, yakni perubahan beban pada sistem berdasarkan pada fungsi waktu, yang nantinya digunakan dalam pemodelan beban pada simulasi aliran daya yang dikerjakan dalam program komputer.

Proses perhitungan rugi-rugi energi dilakukan dengan dua metode, yakni Metode *Energy Load Flow* dan Metode *Loss Factor*, dimana semua simulasi dan perhitungan dilakukan dalam kondisi *off-line*.

II. DASAR TEORI

A. Sistem Distribusi Radial

Pada sistem distribusi radial, rangkaian sistem mengalir dari sumber tenaga utama ke gardu-gardu distribusi. Sistem radial ini sangat sederhana dan memiliki biaya instalasi yang relatif murah, akan tetapi nilai kelangsungan pelayanan terhadap pelanggan juga sangat rendah, hal ini dikarenakan penempatan beban-beban yang ada hanya disambungkan pada 1 (satu) sumber tenaga saja, sehingga jika terjadi gangguan pada jalur sumber tenaga tersebut, maka seluruh sistem bisa ikut padam, termasuk mungkin beberapa daerah pada sistem yang tidak ikut mengalami gangguan.

Dengan kelemahan semacam itu, maka sistem radial ini tidak disarankan pemakaiannya, terutama untuk mensuplai beban-beban vital, sebagai contoh dalam rumah sakit, yang membutuhkan aliran tenaga listrik secara terus-menerus. Walaupun begitu, masih banyak sistem distribusi, terutama di Indonesia yang menggunakan sistem ini, mengingat nilai ekonomisnya yang lebih terjangkau. Selain itu, sistem ini juga masih

digunakan untuk mensuplai beban-beban dengan jangkauan jarak yang pendek, yang memiliki sedikit kemungkinan gangguan pada saluran.

B. Karakteristik Beban

Beban energi listrik yang ada bisa diklasifikasikan berdasarkan karakter umum pelanggan dari beban tersebut, yaitu: Beban residensial/rumah tangga, beban industri, dan beban komersial.

Karakteristik perubahan besarnya daya yang diterima oleh beban sistem tenaga setiap saat dalam suatu satuan interval tertentu dikenal sebagai kurva beban. Penggambaran kurva ini dilakukan dengan mencatat besar beban tiap jam. Sumbu vertikal menyatakan skala beban, sedangkan sumbu horizontal menyatakan skala waktu.

Faktor beban (*load factor*) adalah rasio perbandingan antara beban rata-rata selama suatu periode tertentu terhadap permintaan maksimum atau beban puncak selama jangka waktu periode tersebut yang disederhanakan melalui persamaan berikut:

$$LoadFactor = \frac{BebanRataRata}{BebanMaksimum} \quad (2.1)$$

C. Transformator

Trafo memiliki karakteristik tersendiri dimana ia memiliki rugi-rugi daya saat kondisi berbeban maupun juga saat kondisi tidak berbeban. Rugi-rugi daya pada trafo dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$kW_{loss-trf-L} = \left[\frac{kVA_{load}}{kVA_{rated}} \right]^2 \times kW_{loss-rated} \quad (2.2)$$

dimana: $kW_{loss-trf-L}$ = Rugi-rugi berbeban trafo (kW)
 kVA_{load} = Beban trafo (kVA)
 kVA_{rated} = Kapasitas trafo (kVA)
 $kW_{loss-rated}$ = Rugi-rugi berbeban trafo (kW)

Selanjutnya rugi-rugi berbeban trafo tersebut dijumlahkan dengan rugi-rugi tanpa beban trafo sehingga dapat diketahui total rugi-rugi daya pada trafo dengan persamaan:

$$kW_{loss-trf-T} = kW_{loss-trf-N} + kW_{loss-trf-L} \quad (2.3)$$

dimana: $kW_{loss-trf-T}$ = Total rugi-rugi trafo (kW)
 $kW_{loss-trf-N}$ = Rugi-rugi tanpa beban (kW)
 $kW_{loss-trf-L}$ = Rugi-rugi berbeban trafo (kW)

D. ETAP PowerStation 4.0.0

ETAP PowerStation 4.0.0 merupakan program yang digunakan untuk menganalisa jaringan listrik. Program ini diciptakan dengan tiga konsep utama yakni pertama

operasi nyata virtual (*Virtual Reality Operation*) Pengoperasian program ini menyerupai operasi sistem listrik yang sesungguhnya. Kedua data gabungan total (*Total Integration of Data*) ETAP PowerStation versi 4.0.0 menggabungkan sifat *electrical, logical, mechanical, dan physical* dari sistem dalam database yang sama. Hal ini mencegah data ganda dimasukkan ke dalam satu komponen. Ketiga, kesederhanaan input data (*Simplicity in Data Entry*) ETAP PowerStation 4.0.0 menggunakan data lengkap dari peralatan listrik yang hanya membutuhkan satu jenis pemasukan data saja. *Data Editor* dirancang untuk mempercepat pemasukan data dengan menggunakan data minimum saja. Hal ini dilakukan dengan cara menyusun *property editor* untuk memasukkan data yang dibutuhkan saja pada analisa dan desain yang berbeda.

Salah satu fasilitas yang terdapat pada ETAP PowerStation 4.0.0 adalah kemampuannya untuk menjalankan analisa aliran daya baik dengan menggunakan metode Accelerated Gauss Siedel, Newton Raphson, maupun Fast de Coupled secara lebih cepat dan tepat daripada metode manual.

E. Estimasi Rugi-rugi Energi

Dalam mengestimasi besarnya rugi-rugi energi yang terjadi, terlebih dahulu perlu ditentukan batasan mengenai karakteristik beban yang terdiri dari berapakah persentase dari jumlah pelanggan yang ada pada sistem tersebut serta estimasi beban dari tiap titik beban yang ada pada setiap simulasi. Persamaan yang digunakan dalam menentukan karakteristik beban pada sistem adalah:

$$\%pelanggan = \frac{kVA_{pelanggan}}{kVA_{total}} \times 100\% \quad (2.4)$$

$$kW_i = \%pelanggan \times \frac{kVA_{trafo}}{kVA_{totalpelanggan}} kW_{avr} \quad (2.5)$$

dimana: kW_i = Daya pada titik beban i (kW)
 $\%pelanggan$ = Persentase pelanggan (%)
 kVA_{trafo} = Kapasitas trafo pada titik beban i (kVA)
 $kVA_{totalpelanggan}$ = Besar kapasitas total trafo tiap jenis beban (kVA)
 kW_{avr} = Rata-rata beban pada tiap interval (kW)

Data yang didapatkan dari karakteristik beban tersebut, nantinya akan disimulasikan dengan analisa aliran daya dengan tujuan untuk mengetahui berapa besarnya aliran daya yang mengalir pada sistem dan juga besar rugi-rugi daya yang terjadi. Hasil aliran daya dan rugi-rugi daya tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menghitung aliran energi dan rugi-rugi energi

dengan menggunakan 2 (dua), yakni: *Energy Load Flow* dan *Loss Factor*.

1) Metode *Energy Load Flow*

Untuk metode *Energy Load Flow*, data yang dibutuhkan adalah kurva beban yang selanjutnya dibagi menjadi interval-interval. Data-data tersebut nantinya akan digunakan untuk mengestimasi total aliran energi dan juga rugi-rugi energi total yang terjadi pada sistem. Aliran energi dan rugi-rugi energi tersebut diestimasi dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E = k \times Int_k \times P \quad (2.6)$$

dimana: E = Aliran Energi/Rugi-rugi Energi (kWh)
 k = Konstanta hari dalam setahun (365)
 Int_k = Besar interval ke-k (Jam)
 P = Aliran Daya/Rugi-rugi Daya (kW)

2) Metode *Loss Factor*

Untuk penghitungan aliran energi dengan menggunakan metode ini, digunakan titik acuan yang sama dengan metode *Energy Load Flow*. Sedangkan untuk menghitung rugi-rugi energi dengan metode *Loss Factor*, dibutuhkan data rugi-rugi daya saat terjadi beban puncak. Aliran rugi-rugi energi diestimasi dengan menggunakan bantuan *load factor* pada sistem, yang selanjutnya dipergunakan dalam menghitung nilai *loss factor* untuk perhitungan rugi-rugi energi dengan persamaan:

$$LF = 0.2 \times L + 0.8 \times L^2 \quad (2.7)$$

dimana: L = *Load Factor*
 LF = *Loss Factor*

$$E_{loss} = H \times 24 \times kW_{loss} \times LF \quad (2.8)$$

dimana: LF = *Loss Factor*
 H = Jumlah hari (365)
 kW_{loss} = Rugi-rugi Daya
 E_{loss} = Rugi-rugi Energi

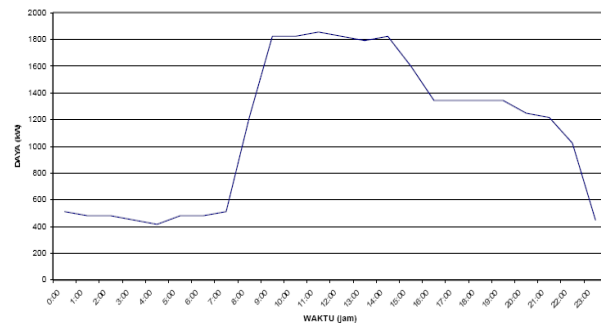
Sebagai catatan, terkhusus untuk penggunaan persamaan 2.2 pada perhitungan rugi-rugi energi pada trafo, kW_{loss} yang dipergunakan hanyalah kW_{loss} saat kondisi berbeban saja. Sedangkan kW_{loss} saat kondisi *no-load*, tetap dihitung dengan menggunakan persamaan 2.5. Selanjutnya hasil yang didapatkan dari kedua rugi-rugi energi trafo tersebut dijumlahkan untuk mengetahui total rugi-rugi energi pada trafo. Dalam persamaan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$E_{loss-T} = E_{loss-load} + E_{loss-noload} \\ = (H \times 24 \times kW_{loss-L} \times LF) + (k \times Int_k \times kW_{loss-NL})$$

III. DATA DAN ANALISIS

Kasus yang dianalisa adalah pada sistem distribusi

Jawa Timur penyulang Gardu Induk Waru, Sidoarjo. Data harian yang dipakai diambil pada tanggal 4 September 2007. data tersebut selanjutnya diproses menjadi grafik yang kemudian dijadikan Kurva beban seperti pada gambar 1. Dari kurva ini terlihat bahwa beban tertinggi terjadi pada jam 11 yakni 1856kW dan terendah terjadi pada jam 23 yakni 448kW



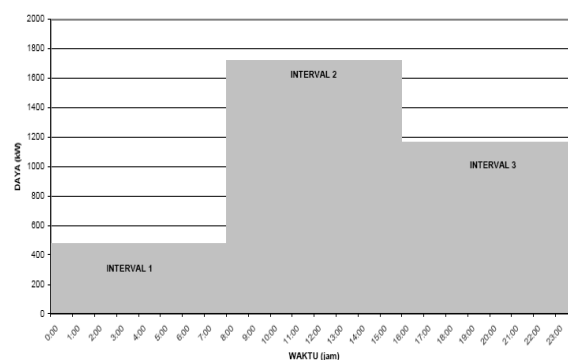
Gambar 1. Kurva Beban Harian

Untuk metode *Energy Load Flow*, kurva beban tersebut dibagi menjadi interval-interval yang dibagi tidak didasarkan pada satuan waktu, tapi sesuai bentuk kurva beban yang ada. Pembagian data dalam 3 interval, waktu dengan besar yang sama yakni 8 jam setiap bagiannya seperti pada tabel 1. Dalam pembagian tersebut terlihat bahwa beban rata-rata terbesar terjadi pada interval waktu berkisar dari jam 08.00-16.00 dan beban puncak terjadi pada interval tersebut, hal ini menunjukkan bahwa dalam kasus ini pelanggan terbanyak pada jenis industri dan komersial yang kalau ditotal sebesar 67,2%, pada jam tersebut aktivitas industri dan komersial berjalan secara maksimal.

TABEL 1. PEMBAGIAN INTERVAL

In t	Waktu	Beban Rata- Rata (kW)	Lama Interval (jam)
1	00.00 – 08.00	1113.84	8
2	08.00 – 16.00	4024.80	8
3	16.00 – 24.00	2723.76	8

Dari data pada tabel 1 didapat kurva beban untuk beban rata-rata seperti pada gambar 2



Gambar 2 Kurva Beban Rata-Rata

Sedangkan untuk metode *Loss Factor* digunakan data

pada beban puncak yakni pada pukul 11.00 sebesar 4343.04 kW.

Beban yang dihitung adalah beban pada sektor domestik, beban Industri dan beban komersial. Presentasi terbesar adalah beban komersial mencapai 39,3% diikuti beban domestik 32,8% dan beban industri 27,9% seperti pada tabel 2. dari aspek *power faktor* yang terburuk adalah di sektor domestik, karena tidak menggunakan peralatan penunjang untuk mengatur *power factor*

TABEL 2. TOTAL KVA BEBAN PELANGGAN

Pelanggan n	PF (%)	Beban (kVA)	Prosentasi (%)
Domestik	92	2690250	32.8
Komersia	97	3232900	39.3
Industri	99	2297000	27.9

Besar beban pada tiap titik beban diestimasi dengan menggunakan persamaan 2.4 dan 2.5. hasil perhitungan tersebut merupakan data yang selanjutnya dipakai dalam proses simulasi.

Hasil semulsi diperoleh bahwa rugi-rugi jaringan sebesar 46.60kW dan trafo sebesar 47.7935kW seperti pada tabel 3, merupakan rugi-rugi terbesar terjadi pada interval kedua atau pada rata-rata beban puncak yang mana pada saat tersebut energi listrik maksimal digunakan di sektor komersial dan industri

TABEL 3. ALIRAN DAYA DAN RUGI-RUGI DAYA

	Rugi-rugi Daya		Aliran Daya
	JTM (kW)	Trafo (kW)	(kW)
Int 1	3.70	22.9504	1113.84
Int 2	46.60	47.7935	4024.8
Int 3	21.70	33.2113	2723.76
Tota			
l	72.00	103.9554	7862.4

Data-data ini menunjukkan bahwa rugi-rugi energi berbanding lurus dengan rata-rata tingkat konsumsi energi di sisi pelanggan, semakin besar pelanggan menggunakan energi, maka semakin besar rugi-rugi energi yang ditimbulkan, selain itu aliran daya berbanding terbalik dengan rugi-rugi energi.

TABEL 4. RANGKUMAN RUGI-RUGI DAYA BEBAN PUNCAK

	Rugi-rugi Daya	
	JTM (kW)	Trafo (kW)
B.Puncak	54.20	52.2163

Aliran Energi dan Rugi-rugi Energi

Setelah didapatkan hasil aliran daya dan rugi-rugi

daya, maka selanjutnya aliran energi dan rugi-rugi energi dihitung dengan kedua metode yang digunakan.

1) Metode Energy Load Flow

Untuk metode *Energy Load Flow*, digunakan data-data yang didapatkan dari simulasi interval 1, 2, dan 3. Data-data tersebut nantinya akan digunakan untuk mengestimasi total aliran energi dan juga rugi-rugi energi total yang terjadi pada sistem. Aliran energi dan rugi-rugi energi tersebut diestimasi dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E = k \times Int_k \times P$$

dimana:

E = Besar Aliran Energi/Rugi-rugi Energi (kWh)

K = Konstanta jumlah hari dalam setahun (365)

Int_k = Besar interval ke-k pada saat energi dihitung (Jam)

P = Besar Aliran Daya/Rugi-rugi Daya (kW)

Dari metode *Energy Load Flow* tersebut didapatkan data sebagaimana tabel 5. Data ini menunjukkan bahwa rugi-rugi energi terbesar terjadi pada interval kedua yakni 1,16% pada jaringan dan 1,19% pada trafo, sedangkan aliran energi justru yang terkeci. Hal ini menunjukkan rugi-rugi energi terbesar terjadi pada saat beban maksimal untuk sektor industri dan komersial

TABEL 5. ESTIMASI DENGAN METODE ENERGY LOAD FLOW

Rugi-rugi Energi					Aliran Energi (kWh)
JTM		Trafo			
(kWh)	%	(kWh)	%		
Int 1	10804	0.33	67015.38	2.0	3252412.8
	13607			6	
Int 2	2	1.16	139557.26	1.1	11752416
				9	
				1.2	
Int 3	63364	0.80	96977.21	2	7953379.2
Tota	21024			1.3	
l	0	0.92	303549.86	2	22958208

2) Metode Loss Factor

Untuk penghitungan aliran energi digunakan titik acuan yang sama dengan metode *Energy Load Flow*. Sedangkan untuk menghitung rugi-rugi energi dengan metode *Loss Factor*, dibutuhkan data rugi-rugi daya saat terjadi beban puncak, seperti yang telah disimulasikan pada simulasi ke-4. Aliran rugi-rugi energi diestimasi dengan menggunakan bantuan *load factor* pada sistem. Dalam kasus ini, dihitung dengan bantuan persamaan 2.1, didapatkan nilai dari *load factor* sebesar 0.603448276. Nilai ini akan dipergunakan untuk menghitung rugi-rugi energi dengan persamaan sebagai berikut:

$$LF = 0.2 \times L + 0.8 \times L^2$$

dimana: $L = \text{Load Factor}$

$LF = \text{Loss Factor}$

$$E_{\text{loss}} = H * 24 * kW_{\text{loss}} * LF$$

dimana: $LF = \text{Loss Factor}$

$H = \text{Jumlah hari (365)}$

$kW_{\text{loss}} = \text{Rugi-rugi Daya}$

$E_{\text{loss}} = \text{Rugi-rugi Energi}$

Sebagai catatan, pada perhitungan rugi-rugi energi pada trafo, kW_{loss} yang dipergunakan hanyalah kW_{loss} saat kondisi berbeban saja. Sedangkan kW_{loss} saat kondisi *no-load*. Selanjutnya hasil yang didapatkan dari kedua rugi-rugi energi trafo tersebut dijumlahkan untuk mengetahui total rugi-rugi energi pada trafo. Dalam persamaan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$E_{\text{loss-trafo}} = E_{\text{loss-load}} + E_{\text{loss-noload}}$$

$$= (H \times 24 \times kW_{\text{loss-load}} \times LF) + (k \times \text{Int}_k \times kW_{\text{loss-noload}})$$

Dari metode *Loss Factor* tersebut didapatkan data sebagaimana tabel 6:

TABEL 6. ESTIMASI DENGAN METODE LOSS FACTOR

	Rugi-rugi Energi				Aliran Energi (kWh)
	JTM		Trafo		
	(kWh)	%	(kWh)	%	
B.Punca		0.8	296059.4	1.2	
k	195618.82	5	1	9	22958208

Note: load factor sistem = 0.6034

Pada beban puncak rugi-rugi energi pada jaringan sebesar 0,85% dan pada trafo sebesar 1,29%. Hal ini menunjukkan pada beban puncak energi terkonsentrasi pada trafo sehingga rugi-rugi meningkat. Dari dua metode yang dipergunakan terdapat perbedaan yang sangat kecil yakni 0,07% pada jaringan dan 0,03% untuk trafo. Dengan demikian perbedaan kedua metode ini tidak signifikan atau keduanya sah untuk digunakan.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan data dan hasil analisa, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Aliran energi terbesar terjadi pada interval ke 2 yaitu pada durasi jam 08.00 sampai 16.00, dan *peak load* tercapai pada pukul 11.00.
2. Rugi-rugi pada trafo lebih disebabkan besarnya kapasitas daya dari trafo yang memiliki nilai rugi-rugi tanpa beban yang besar pula.
3. Dengan metode *Energy Load Flow*, rugi-rugi energi yang didapatkan sebesar 0.92 % untuk JTM, dan 1.32 % pada trafo dari total aliran energi sebesar 22958208 kWh.
4. Dengan metode *Loss Factor*, rugi-rugi energi

yang didapatkan sebesar 0.85 % untuk JTM, dan 1.29 % pada trafo dari total aliran energi sebesar 22958208 kWh.

5. Dengan membandingkan hasil antara kedua metode, maka disimpulkan bahwa kedua metode tersebut dapat dipergunakan dalam menghitung rugi-rugi energi pada sistem, dengan tingkat selisih keakuratan 93.05 s/d 97.53 %.
6. Penggunaan metode *Energy Load Flow*, akan memiliki tingkat keakuratan yang lebih baik, terutama jika didukung dengan interval yang lebih banyak pula dalam perhitungannya. Akan tetapi hal ini juga mempengaruhi dalam banyaknya perhitungan dan simulasi yang harus dilakukan.
7. Penggunaan metode *Loss Factor*, memiliki hasil akhir yang mendekati dengan penggunaan metode *Energy Load Flow*. Hal ini akan memudahkan dalam perhitungan, mengingat simulasi yang dibutuhkan hanya saat terjadi beban puncak.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan dalam kelanjutan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dengan banyaknya jumlah penyulang yang dimiliki oleh PLN, penggunaan metode *Loss Factor* akan lebih tepat mengingat lebih sedikitnya simulasi dan perhitungan yang harus dilakukan.
2. Diperlukan data yang lebih lengkap agar estimasi energi dapat dilakukan dengan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Booth and Associates. *Distribution System Loss Evaluation Manual*. North Carolina: North Carolina Alternative Energy Corporation, 1986.
- [2] Bungay and McAllister. *Electrical Cables Handbook*. 2th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- [3] Gonen, Turan. *Electric Power Distribution System Engineering*. Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1986.
- [4] Gross, Charles A. *Power System Analysis*. 2th ed. Canada: John Wiley & Sons, 1986
- [5] Kadir, Abdul. *Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta: UI – Press, 2000.
- [6] Marsudi, Djiteng. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [7] Pansini, Anthony J. *Electrical Distribution Engineering*. Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1986.
- [8] Priyanga, Heneka Yoma. *Pengembangan Software Analisis Aliran Energi Tiga Fasa untuk Estimasi Aliran Energi Tiga Fasa pada Jaringan Distribusi Radial*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2005.
- [9] Stevenson, William D. *Analisa Sistem Tenaga*. Malang: Lembaga Penerbitan Universitas

- Brawijaya, 1982.
- [10] Zuhail. *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung: ITB, 1991.