

# Estimasi Kerugian Energi Jaringan Distribusi Radial pada Penyulang NR 7 20 kV Kota Medan Menggunakan *Loss Factor*

Saifi Sabiq, Ontoseno Penangsang, dan Rony Seto Wibowo

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail:* ontosenop@ee.its.ac.id, ronyseto@ee.its.ac.id

**Abstrak**—Salah satu indikator untuk mengetahui efisiensi pola operasi sistem kelistrikan pada jaringan distribusi adalah perhitungan kerugian energi yang terjadi pada jaringan distribusi tersebut. Pihak penyedia listrik tentunya memerlukan perhitungan kerugian energi ini sebagai pertimbangan pembuatan kebijakan harga listrik maupun aturan yang harus diikuti oleh pihak pelanggan listrik. Para pelanggan dapat dikenakan biaya yang berbeda sesuai porsi kerugian yang diakibatkan dari pemasokan listrik terhadap masing-masing pelanggan. Perhitungan kerugian energi ini membutuhkan data pengukuran lapangan yang banyak dan teliti yang pada kenyataannya sulit diperoleh. Selain hal tersebut, metode perhitungan yang cepat dan akurat dengan hasil yang maksimal dan waktu perhitungan yang minimal juga merupakan kebutuhan. Maka dari itu dalam studi ini akan membahas metode estimasi kerugian energi dengan data pengukuran yang minimal serta proses perhitungan yang cepat. Studi ini juga akan menguji metode *loss factor* yang sesuai dengan karakteristik beban di Indonesia sehingga dapat digunakan untuk melakukan proses estimasi kerugian energi dengan tepat dan cepat bahkan digunakan untuk perencanaan system.

**Kata Kunci**—Karakteristik beban, estimasi pembebanan trafo, load factor, loss factor, rugi energi.

## I. PENDAHULUAN

JARINGAN distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang menyumbang kerugian energi terbesar. Kerugian energi yang besar ini dikarenakan penurunan level tegangan yang menyebabkan arus yang lebih besar mengalir pada jaringan sehingga kerugian daya dalam hitungan waktu juga semakin besar. Salah satu indikator untuk mengetahui efisiensi pola operasi sistem kelistrikan pada jaringan distribusi adalah dengan melakukan perhitungan kerugian energi yang terjadi pada jaringan distribusi tersebut [1]. Pihak penyedia listrik tentunya memerlukan perhitungan kerugian energi ini sebagai pertimbangan pembuatan kebijakan harga listrik maupun aturan yang harus diikuti oleh pihak pelanggan listrik [2]. Kerugian energi adalah bentuk dari kerugian biaya karena tarif biaya yang dikeluarkan oleh pelanggan selalu dikaitkan dengan energi yang telah mereka pakai bukan besarnya daya listrik (VA) yang mereka ajukan [3]. Para pelanggan dapat dikenakan biaya yang berbeda sesuai porsi kerugian yang diakibatkan dari pemasokan listrik terhadap masing-masing pelanggan.

Estimasi kerugian energi yang akurat tentunya memerlukan data yang banyak dan teliti. Data tersebut pada umumnya sulit diperoleh seperti data saluran, datasheet trafo pada tiap gardu, dan data pembebanan pada gardu distribusi. PT.PLN umumnya memiliki data pembebanan pada saluran outgoing yang keluar

dari gardu induk setiap 15 menit dengan pengukuran jarak jauh (SCADA) [4]. Data tersebut dihimpun selama 24 jam yang disebut sebagai kurva beban harian penyulang. Namun kurva beban harian adalah total pembebanan pada tiap gardu distribusi (trafo distribusi), sedangkan trafo distribusi mensuplai jenis-jenis beban yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Maka perlu dilakukan suatu pendekatan dengan identifikasi karakteristik jenis beban untuk estimasi pembebanan yang menghasilkan kurva beban harian gardu distribusi sesuai karakteristik beban yang di suplai.

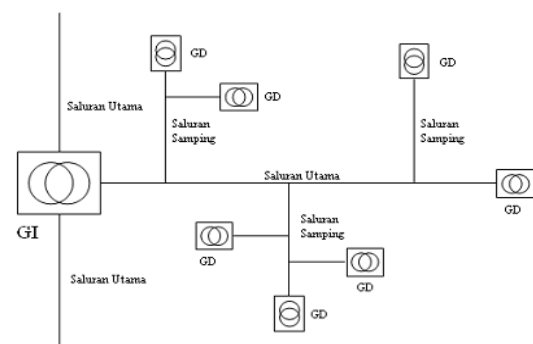
Setelah di peroleh kurva beban harian pada tiap gardu distribusi untuk menghitung kerugian energi jaringan tentunya membutuhkan bantuan metode analisis aliran daya yang sesuai dengan jaringan distribusi radial. Metode yang diharapkan adalah metode yang memiliki ketelitian yang tinggi dan proses iterasi yang minimal. Oleh sebab itu dipilih metode K-Matrik dan Zbr yang dapat menganalisis aliran daya pada jaringan distribusi radial dengan cepat dan tepat.

Dalam studi ini akan mengimplementasikan perhitungan energi dengan menggunakan *loss factor* sehingga proses perhitungan menjadi lebih singkat. Namun *loss factor* yang telah dikembangkan dan terpublikasi dalam journal internasional memiliki formula yang berbeda-beda. Oleh sebab itu formula-formula tersebut akan di uji dan di verifikasi pada jaringan dan karakteristik beban saat ini.

## II. TEORI PENUNJANG

### A. Jaringan Distribusi Radial

Jaringan distribusi radial merupakan jaringan yang paling sederhana dan banyak digunakan di Indonesia. Jaringan distribusi ini menghubungkan Gardu Induk dengan konsumen tenaga listrik secara radial, sehingga jaringan ini dinamakan jaringan distribusi radial. Jaringan ini tersusun atas suatu saluran utama (*Trunk Line*) dan saluran percabangan (*Lateral Line*) sebagaimana terlihat pada Gambar 1 [5].



Gambar 1. Skema Saluran Sistem Radial.

**B. Klasifikasi Beban**

Pihak penyedia listrik mensuplai energi listrik kepada konsumen yang memiliki beragam penggunaan , misalnya industri, rumah sakit , perumahan dan lain sebagainya. Oleh sebab itu beban-beban tersebut memiliki karakteristik pola operasi yang berbeda-beda.

Studi ini menggunakan sistem pengelompokan beban yang digunakan PT.PLN selaku pihak penyedia listrik di Indonesia. PT.PLN Persero mengelompokkan beban ke dalam 4 jenis diantaranya adalah :

1. Industrial

Beban industrial terdiri dari pemakai listrik yang memang khusus untuk menjalankan suatu usaha yang selalu membutuhkan energi listrik secara kontinyu tidak boleh terputus.

2. Residensial

Beban residensial terdiri atas pemakai listrik untuk kehidupan rumah tangga pada umumnya atau perumahan.

3. Komersial

Beban komersial adalah pemakaian listrik yang di tujukan untuk penunjang usaha bukan untuk menjalankan usaha yaitu seperti perkantoran, hotel, tempat penginapan, mall, pasar , tempat hiburan dan lain sebagainya yang mana tidak selalu membutuhkan suplai tanpa henti.

4. Publik

Beban publik adalah pemakaian listrik untuk fasilitas-fasilitas umum seperti halnya stasiun kereta api, rumah sakit, bandara, kantor pemerintahan, penerangan jalan umum (PJU), sarana transportasi, markas militer dan lain sebagainya.

**C. Kurva Harian Trafo Distribusi**

Estimasi kurva beban harian trafo distribusi memerlukan data pengukuran, data pelanggan, database kurva beban harian tiap jenis beban. Data pengukuran berupa besar daya yang diukur beserta jam pengukurannya. Besar daya pengukuran akan digunakan untuk mencari prosentase pembebanan trafo saat dilakukan pengukuran. Selanjutnya data pelanggan adalah data yang berisi prosentase komposisi masing-masing jenis beban pada trafo tersebut. Sedangkan database kurva beban harian berisi kurva beban harian tiap jenis beban selama *weekday* dan *weekend* selama 24 jam serta factor daya masing-masing jenis beban. Contoh estimasi pembebanan trafo distribusi dengan jenis beban publik menggunakan persamaan 2.1 [4] sebagai berikut :

$$Pn_{pub} = \left( \frac{Pn_{ref\_pub}}{P_{ref\_pub}} \right) \cdot (kVA_{rating} \cdot If \cdot lc_{pub} \cdot pfn_{ref\_pub}) \quad (1)$$

Keterangan:

$Pn_{ref\_pub}$  = Daya referensi beban publik jam 1–24

$P_{ref\_pub}$  = Daya referensi beban publik ketika pengukuran

$pfn_{ref\_pub}$  = Faktor daya referensi beban publik jam 1–24 (%)

$kVA_{rating}$  = Rating transformer

$If$  = Prosentase pembebanan trafo (%)

$lc_{pub}$  = Komposisi beban publik (%)

$n$  = 1, 2, 3, ... , 24

Untuk estimasi jenis beban industrial, komersial dan residensial dapat menggunakan persamaan diatas namun dengan referensi daya, referensi faktor daya, dan komposisi beban sesuai jenis beban masing-masing.

Setelah masing-masing jenis beban telah dihitung dengan persamaan diatas maka tahap selanjutnya adalah mendapatkan nilai pembebanan trafo distribusi selama 24 jam

Seluruh trafo akan diestimasi seperti cara diatas sehingga didapatkan nilai pembebanan trafo selama 24 jam dengan menggunakan persamaan 2.2 [4] sebagai berikut :

$$Pn_{total\_trafo\_loading} = Pn_{res} + Pn_{pub} + Pn_{com} + Pn_{ind} \quad (2)$$

dimana  $n = 1, 2, 3, \dots, 24$

**D. Kurva Total Beban Harian**

Kurva total beban harian bisa dicari setelah dilakukan estimasi nilai kurva beban harian semua trafo distribusi. Kurva total beban harian pada suatu penyulang adalah penjumlahan tiap interval waktu (jam ke 1 sampai ke 24) yang dirumuskan dalam persamaan 2.3 berikut :

$$Pn_{total\_penyulang} = \frac{\sum_{m=1}^{jum\_trafo} Pn_m}{1000} \text{ (MW)} \quad (3)$$

Keterangan:  $m$  = banyaknya trafo

Kurva total beban harian penyulang ini akan memiliki bentuk yang identik sama dengan kurva hasil pengukuran pada saluran *outgoing* penyulang di gardu induk. Namun ada sedikit perbedaan yang terjadi disebabkan kerugian yang terjadi pada saluran distribusi belum dimasukkan dalam analisis.

**E. Rugi Daya Pada Trafo**

Kerugian daya yang terjadi pada transformator dapat di klasifikasikan menjadi dua yaitu kerugian daya tidak beban (*No Load Losses*) dan kerugian daya berbeban (*Load Losses*).

Kerugian daya tanpa beban memiliki nilai yang selalu tetap, sedangkan nilai kerugian daya kondisi berbeban akan memiliki nilai yang berubah-ubah sesuai kondisi pembebanan trafo. Data yang kita dapat dari datasheet trafo adalah kVA, *No-Load Losses* dan *Rated Load Losses*. Sehingga nilai kerugian daya berbeban dapat dicari dengan persamaan 2.4 [6] berikut :

$$kW_{loss-trf-L} = \left[ \frac{kVA_{load}}{kVA_{rated}} \right]^2 \times kW_{loss-R} \quad (4)$$

dimana :

$kW_{loss-trf-L}$  = Kerugian berbeban trafo (kW)

$kVA_{load}$  = Beban trafo (kVA)

$kVA_{rated}$  = Kapasitas trafo (kVA)

$kW_{loss-R}$  = Kerugian beban penuh trafo(kW)

Kemudian dapat di ketahui total kerugian yang terjadi pada trafo adalah sebagai berikut :

$$kW_{loss-trf-T} = kW_{loss-trf-L} + kW_{loss-trf-NL} \quad (5)$$

dimana :

$kW_{loss-trf-T}$  = Total kerugian trafo (kW)

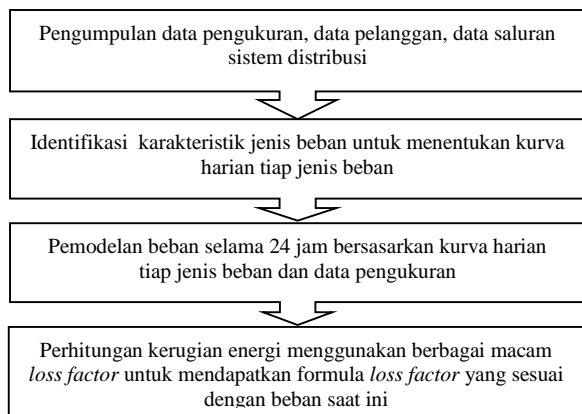
$kW_{loss-trf-L}$  = Total *Load Losses* (kW)

$kW_{loss-trf-NL}$  = Total *No-Load Losses* (kW)

**III. PERENCANAAN DAN PEMODELAN SISTEM**

**A. Konsep Dasar**

Studi ini akan dilakukan beberapa pendekatan untuk mengestimasi kerugian energi dengan langkah-langkah sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram alir proses estimasi kerugian energi dengan loss factor

Pada langkah awal dilakukan sekali pengukuran pada tiap trafo distribusi lalu dicatat besar daya, data pelanggan dan jam pengukuran. Besar daya, data pelanggan dan waktu pengukuran akan digunakan untuk mengestimasi pembebanan trafo pada jam lain (24 jam) berdasarkan data referensi karakteristik masing-masing beban yang telah disurvei oleh PT. Hagler Bailly Indonesia. PT. Hagler Bailly Indonesia telah melakukan survei lapangan untuk PT. PLN Persero tentang karakteristik beban daerah-daerah di luar Jawa.

Setelah mendapatkan pembebanan masing-masing trafo maka hasil estimasi tersebut di tambahkan dengan *load losses* trafo ikut sebagai beban untuk perhitungan analisis aliran energi sebanyak 24 kali simulasi.

Selanjutnya kurva permintaan beban harian penyulang yang telah kita dapatkan sebelumnya digunakan untuk mencari nilai *load factor* yang nantinya akan kita gunakan untuk mencari nilai *loss factor*. Kemudian dengan menggunakan nilai *loss factor* inilah kita akan melakukan perhitungan kerugian energi. Perhitungan analisa aliran daya pada jaringan hanya perlu dilakukan sekali saja yaitu ketika beban puncak penyulang terjadi bukan beban puncak pada masing-masing trafo distribusi. Tahap berikutnya adalah mendapatkan formula *loss factor* yang sesuai dengan beban saat ini. Caranya adalah dengan membandingkan hasil perhitungan kerugian energi menggunakan *loss factor* dan hasil perhitungan kerugian energi dengan perhitungan tiap jam.

**B. Load Factor dan Loss Factor**

**1) Load Factor**

*Load factor* adalah perbandingan pembebanan rata-rata terhadap pembebanan waktu puncak dalam periode tertentu. Apabila faktor daya dianggap selalu konstan maka *load factor* dapat dijelaskan dengan persamaan 3.1 sebagai berikut :

$$F_d = \frac{\int_0^T S \cdot dt}{T \cdot S_{max}} \tag{6}$$

dimana :

- $F_d$  = Load Factor
- T = Periode
- S = Daya yang ditransmisikan
- $S_{max}$  = Daya maksimum yang ditransmisikan

**2) Loss Factor**

Pada studi ini akan menggunakan beberapa metode perhitungan kerugian energi dengan rumus *loss factor* yang telah terpublikasi dalam jurnal internasional. Rumus *loss factor* tersebut masih digunakan dalam praktis sampai saat ini. Penamaan rumus *loss factor* ini sering kali menggunakan nama penemu pertama rumus tersebut. Beberapa rumus yang

akan digunakan memiliki kemiripan satu sama lain seperti yang terlihat pada tabel 1.

Tabel 1.  
Beberapa Rumus Pendekatan Loss Factor

$F_s =$	Penemu
$0.3 \cdot F_d + 0.7 \cdot F_d^2$	Buller
$0.2 \cdot F_d + 0.8 \cdot F_d^2$	CitiPower
$0.15 \cdot F_d + 0.85 \cdot F_d^2$	Gangel
$0.083 \cdot F_d + 1.036 \cdot F_d^2 - 0.119 \cdot F_d$	Wolf
$0.08 \cdot F_D + 0.92 \cdot F_d^2$	Gustafon I
$F_d^{1.8}$	Gustafon II
$\frac{F_D^2 \cdot (2 + F_D^2)}{1 + 2 \cdot F_D}$	Sochinsky
$F_d^2 + 0.273 \cdot (F_d)$	Dewberry

**C. Estimasi Kerugian Energi**

Proses estimasi kerugian energi dimulai dengan menghitung *load factor* terlebih dahulu. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 3.1 setelah data yang dibutuhkan tersedia. Data yang dibutuhkan adalah data pembebanan setiap gardu distribusi selama 24 jam yang diestimasi dengan menggunakan persamaan 2.1 – 2.3 Serta tidak lupa diperhitungkan kerugian yang terjadi pada trafo distribusi sehingga diharapkan data memiliki akurasi yang baik. Kerugian pada trafo berbeban dapat diselesaikan menggunakan persamaan 2.4.

Tahap berikutnya adalah menghitung nilai *loss factor* yang telah dipaparkan dalam tabel 1. Beberapa rumus memiliki persyaratan yang harus dipenuhi seperti Dewberry tidak hanya memerlukan nilai *load factor* namun juga memerlukan nilai pembebanan minimum dan nilai pembebanan maksimum selama periode yang digunakan serta nilai *load factor* harus dibawah 0.8.

Tahap ketiga adalah melakukan kerugian daya sesaat yang terjadi pada beban puncak dengan menggunakan metode analisa aliran daya K-Matrik dan ZBr. Metode analisa daya tersebut memiliki akurasi yang baik namun proses iterasi yang minim khusus untuk jaringan distribusi radial. Setelah nilai kerugian pada beban puncak diketahui maka didapatkan kerugian selama 24 jam dengan mengalikannya dengan *loss factor* masing-masing metode. Kerugian tersebut adalah kerugian berbeban , sedangkan kerugian tidak berbeban berupa data kerugian trafo tidak beban. Kerugian energi selama satu tahun dapat di estimasi dengan persamaan 3.2 berikut :

$$E_{loss-T} = E_{loss-load} + E_{loss no load} \tag{7}$$

$$= (H \times 24 \times P_{max load loss} \times F_s) + (H \times 24 \times P_{no load})$$

dimana :

- $E_{loss-T}$  = Kerugian energi selama setahun
- $E_{loss-load}$  = Kerugian energi berbeban
- $E_{loss no load}$  = Kerugian energi tidak berbeban
- H = Jumlah hari dalam setahun (365)
- $P_{max load loss}$  = Rugi daya ketika beban puncak
- $F_s$  = Loss factor
- $P_{no load}$  = Rugi tidak berbeban

Tahap akhir adalah memilih rumus *loss factor* yang sesuai dengan karakteristik beban saat ini ,yaitu dengan membandingkan hasil estimasi menggunakan *loss factor* dengan data yang digunakan sebagai referensi. Data referensi ini adalah data kerugian energi hasil perhitungan kerugian daya sesaat kondisi berbeban selama 24 jam atau biasa disebut

sebagai *Energy Flow* . Persamaan 3.3 berikut ini akan menjelaskan proses perhitungan *Energy Flow* :

$$E_{load losses} = \sum_{k=1}^n P_k \quad (8)$$

dimana :

- $E_{load losses}$  = Kerugian Energi berbeban (kWh)
- $P_k$  = Rugi daya interval ke-k (kW)
- n = Jumlah interval (24 jam).

### III. SIMULASI DAN ANALISA

#### A. Hasil Estimasi Pembebanan Penyulang

Berikut ditunjukkan hasil identifikasi karakteristis total beban harian penyulang NR7.

Tabel 2 .  
Hasil estimasi pembebanan penyulang NR7

Jam	P (MW)	Jam	P (MW)
1	4.273,06	13	2.566,955
2	4.091,175	14	2.421,787
3	3.799,945	15	2.525,275
4	3.589,645	16	2.604,86
5	3.533,49	17	3.046,149
6	3.978,045	18	3.291,754
7	4.418,347	19	4.889,751
8	3.657,119	20	6.046,851
9	3.041,064	21	6.276,735
10	2.852,306	22	6.171,314
11	3.059,231	23	5.879,181
12	3.053,603	24	4.985,96

#### B. Hasil Simulasi Analisa Aliran Energi

Aliran energi di dapatkan dari perhitungan aliran energi sebanyak 24 interval yang dapat dilihat pada tabel 3 dan di dapatkan total kerugian pada jaringan selama satu hari.

Tabel 3.  
Analisis Total Aliran Energi Per Hari Pada Penyulang NR7

JTM	Kerugian Energi (kWh)		Pembebanan (kWh)	Total Aliran Energi (kWh)
	Losses Trafo			
	Load	No Load		
342,04	719,853	386,64	94.688,3	96.136,83

#### C. Hasil Estimasi Kerugian Energi Menggunakan Loss Factor

##### 1) Load Factor

Nilai *load factor* di dapatkan dari kurva total pembebanan penyulang yang diselesaikan dengan persamaan 3.3. Nilai *load factor* penyulang NR7 adalah 0,622533

##### 2) Loss Factor

Setelah nilai *Load Factor* didapatkan maka nilai *Loss Factor* dengan persamaan 3.1.

Tabel 4.  
Hasil Perhitungan Loss Factor

Penemu	Nilai Loss Factor
Perhitungan Simulasi	<b>0,4239</b>
Buller	0,4580
CitiPower	0,4345
Gangel	0,4228
Wolf	0,4245
Gustafon I	0,4063
Gustafon II	0,4041

Sochinsky	0,4121
Dewberry	0,4528
Junge	0,4261

#### 3) Hasil Estimasi Rugi Energi

Rugi energi yang terjadi pada trafo memiliki hasil yang sama dengan metode aliran energi . Sedangkan hasil estimasi rugi energi pada JTM dapat dilihat pada tabel 5 beserta hasil perbandingannya. Beban puncak penyulang terjadi pada interval ke 21 yaitu pukul 20.00 – 21.00 WIB. Besar kerugian daya pada beban puncak adalah 33,8104 kW pada penyulang.

Tabel 5.  
Hasil Estimasi Kerugian Energi Per Hari JTM NR7 Menggunakan Loss Factor

Penemu	Kerugian Energi (kWh)	Error
Gangel	343,07669	0,30 %
Wolf	344,42696	0,70 %
Junge	345,74304	1,08 %
Sochinsky	334,43276	2,22 %
Citi Power	352,61064	3,09 %
Gustafon I	329,72915	3,60 %
Gustafon II	327,86844	4,14 %
Dewberry	367,42333	7,42 %
Buller	371,67855	8,67 %

Estimasi kerugian pertahun yang terjadi pada JTM dan Trafo dapat di lihat pada tabel 6.

Tabel 6.  
Hasil Estimasi Kerugian Energi Per Tahun Menggunakan Loss Factor

Penemu	Total Kerugian (kWh)/hari	Total Kerugian Energi (MWh)/tahun
Gangel	1.449,570	529,093
Wolf	1.450,920	529,586
Junge	1.452,236	530,066
Sochinsky	1.440,926	525,938
Citi Power	1.459,104	532,573
Gustafon I	1.436,222	524,221
Gustafon II	1.434,361	523,542
Dewberry	1.473,916	537,979
Buller	1.478,72	539,533

### V. KESIMPULAN/RINGKASAN

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari perancangan dan pembuatan studi ini, dapat diperoleh beberapa kesimpulan antara lain:

- Bentuk kurva karakteristik pembebanan penyulang NR7 menyerupai bentuk kurva residensial karena komposisi beban pada penyulang tersebut didominasi dengan beban residensial.
- Beban puncak penyulang NR7 terjadi pada interval ke 21 yaitu pukul 20.00 – 21.00. Hal ini dikarenakan jam tersebut merupakan puncak pemakaian energi listrik oleh beban perumahan.
- Prosentase pembebanan tiap jenis beban sebagai berikut: beban residensial = 81.25 %, beban publik = 7.81 %, beban komersial = 10.94 %, dan beban industri = 0 %.
- Nilai *load factor* penyulang NR7 adalah 0,622533.
- Estimasi kerugian energi dengan analisis aliran energi membutuhkan 24 kali simulasi sedangkan estimasi

kerugian energi dengan *loss factor* hanya membutuhkan sekali simulasi ketika beban puncak terjadi.

Metode *loss factor* yang memiliki eror terkecil terhadap hasil perhitungan metode aliran energi pada penyulang NR7 adalah Gangel dengan error 0.3% , Wolf dengan eror 0.7% dan Junge dengan eror 1.83%.

#### B. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan perangkat lunak yang telah dibuat adalah :

1. Perlunya di adakan survei kurva karakteristik beban dengan interval yang lebih banyak sehingga hasil estimasi dapat memiliki hasil yang lebih baik.
  2. Perlunya penelitian lebih lanjut untuk perhitungan kerugian energi dengan *loss factor* pada penyulang yang tidak di dominasi dengan beban residensial.
  3. Dapat dilakukan penelitian tentang penurunan kerugian energi dengan *loss factor* pada jaringan distribusi radial menggunakan algoritma tertentu.
- PT.PLN dapat memanfaatkan kurva penyulang dari saluran outgoing trafo untuk menentukan *load factor*

penyulang dan melakukan pengukuran daya pada setiap titik beban pada jam terjadinya beban puncak penyulang sehingga dapat menghitung kerugian energi pada penyulang tersebut cukup dengan sekali simulasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Y. Priyanga, "Pengembangan Software Analisis Aliran Energi Tiga Fasa Untuk Estimasi Aliran Energi Tiga Fasa Pada Jaringan Distribusi," ITS, 2005.
- [2] J. B. Cardell, "Improved Marginal Loss Calculations During Hours of Transmission Congestion," in *Hawaii International Conference on System Sciences*, 2005.
- [3] P. S. J. Dickert, M. Hable, "Energy Loss Estimation in Distribution Network for Planning Purpose," in *IEEE Bucharest Power Tech Conference*, 2009.
- [4] M. Z. Rohmawan, "Identifikasi Karakteristik Jenis Beban Pada Jaringan Distribusi Radial Untuk Estimasi Pembebanan Trafo Distribusi," ITS, 2006.
- [5] A. S. Pabla, *Electric Power Distribution 5th Edition*. McGraw-Hill Book Co, 2003.
- [6] J. F. Jeff Triptett, Stephen Riniel, "Evaluating Distribution System Losses Using Data From Deployed AMI dan GIS System," in *IEEE Rural Power Conference (REPC)*, 2010.