

ALOKASI RUGI SALURAN DAN PENENTUAN HARGA ENERGI DI TITIK KONSUMEN PADA PENYULANG DISTRIBUSI RADIAL

Supriyatna

*Lab. Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Mataram
Jl. Majapahit No. 62 Mataram, NTB, Tlp (0370)636126, 6608703
E-mail: supri1990@yahoo.com*

ABSTRAK

Deregulasi sistem kelistrikan memperhatikan letak konsumen pada jaringan distribusi tenaga listrik, maka titik konsumen yang terdekat pembangkit atau titik awal penyulang akan membayar energi listrik lebih rendah dibandingkan titik konsumen yang letaknya jauh. Hal ini disebabkan semakin jauh titik konsumen maka diperlukan biaya investasi saluran lebih besar, juga terjadi rugi daya sepanjang saluran, serta biaya pemeliharaan tambahan. Pengalokasian rugi daya sepanjang saluran distribusi radial pada penelitian ini didasari metode penelusuran hilir ke hulu. Dimulai dari hasil aliran daya sistem yang berupa rugi tiap saluran dan data saluran serta beban tiap titik konsumen. Penelusuran dari titik konsumen terujung, penambahan daya tiap titik konsumen selain daya pemakaiannya adalah daya akibat rugi sepanjang saluran yang dilewatinya dan terbagi secara proporsional diantara titik-titik konsumen sampai pada hulu penyulang. Harga energi didasari penetapan harga di titik awal penyulang distribusi., penambahan harga energi tiap titik disebabkan tambahan rugi energi saluran antara tiap titik yang ditanggung oleh konsumen yang aliran dayanya melalui saluran tersebut. Model jaringan standar IEEE 13 simpul penyulang radial dan beberapa model bentuk jaringan digunakan sebagai model jaringan uji penelitian untuk mendapatkan program yang berlaku umum bagi tiap jaringan distribusi radial.

Kata kunci: alokasi rugi saluran, harga energi, jaringan distribusi radial, penelusuran hilir hulu.

Pendahuluan

Deregulasi sistem ketenagalistrikan menghendaki berbagai perubahan mendasar pada pengoperasian dan penetapan harga energi listrik. Penentuan harga energi (tarif) listrik per-kWh dapat dilakukan dengan memperhitungkan berbagai hal [1], yaitu;

- a. Biaya merepresentasikan harga, untuk pengalokasian sumber yang efisien

- b. Kejujuran dan keadilan, pengalokasian biaya konsumen tergantung pembebanan sistem oleh kebutuhan daya konsumen.
- c. Pendapatan menghendaki kesesuaian dengan kebutuhan
- d. Obyek ekonomi dan politik, memasukkan stabilitas harga, struktur tarif yang mudah dipahami dll.

Dari keempat hal di atas, penelitian ini hanya melihat pada hal b, yaitu aspek kejujuran dan keadilan. Kejujuran berupa penetapan tarif listrik berdasarkan komponen harga yang jelas. Sedangkan keadilan berupa tarif tiap konsumen ditentukan berdasarkan pembebanan sistem oleh kebutuhan daya konsumen.

Pembebanan sistem oleh kebutuhan daya konsumen akan tergantung pada besar kebutuhan daya dan letak konsumen dalam jaringan sistem kelistrikan. Semakin besar kebutuhan daya dan semakin panjang saluran yang dilewati akan berakibat rugi daya sepanjang saluran semakin besar. Rugi daya sepanjang saluran harus ditanggung oleh konsumen penggunaan daya yang melewati saluran tersebut. Dengan demikian tiap konsumen akan membayar harga energi berdasarkan harga energi patokan (sama semua konsumen) ditambah harga akibat rugi energi (berbeda untuk tiap konsumen).

Perhitungan alokasi rugi saluran harus mempertimbangkan beberapa hal [2], yaitu:

- mudah dipahami dan diimplementasikan
- konsisten dengan penyelesaian aliran daya
- dapat mempromosikan pengoperasian pasar yang efisien dimana rugi daya merepresentasikan jaringan yang digunakan dan posisi relatif bus pada jaringan.
- Kekonsistensian pada hukum–hukum listrik.
- Pemahaman biaya merepresentasikan tarif listrik untuk jaringan distribusi radial dengan memperhatikan pengalokasian rugi saluran [3].

Jumlah konsumen listrik yang sangat banyak, menyebabkan penelitian ini menyederhanakan tinjauan dengan meninjau titik konsumen pada titik (simpul) masukan trafo distribusi. Harga energi patokan/dasar adalah harga energi di bus (titik) awal penyulang.

METODOLOGI PENELITIAN

Alokasi rugi saluran dan penetapan harga energi titik konsumen ini menggunakan metode penelusuran daya konsumen dari hilir ke hulu. Metode ini memerlukan data; jaringan distribusi radial dan hasil perhitungan rugi daya menggunakan studi aliran daya.

Data Jaringan dan Rugi Saluran Distribusi Radial

Data berupa gambar jaringan distribusi diperlukan untuk mengetahui jumlah saluran dan nomor kedua titik (simpul) penghubung tiap saluran. Juga untuk mengetahui jumlah, nomor dan kebutuhan tiap titik konsumen. Sedangkan rugi

tiap saluran diperoleh dari studi aliran daya. Perhitungan studi aliran daya pada penelitian ini tidak dilakukan, mengingat penelitian ini membahas algoritma pengalokasian rugi saluran distribusi dan perhitungan harga energi tiap titik konsumen.

Penelusuran Daya Konsumen

Penelusuran hilir ke hulu, semua titik konsumen (j) yang berada pada hilir mendapatkan prioritas perhitungan terdahulu. Hal ini karena rugi salurannya ($P_{rugi,i}$) hanya diperuntukkan pada titik hilir tersebut. Rumusan daya titik konsumen (P_j) terhilir ;

$$P_j = P_{beban,j} + P_{rugi,i} \quad (1)$$

Setelah semua P_j terhilir diperoleh, penelusuran diteruskan ke titik hulu saluran terhilir. Rumus daya titik konsumen yang dayanya melewati satu saluran (i) adalah;

$$P_{j1} = \frac{P_j^2}{\sum P_{i,j}^2} \cdot P_{rugi,i} + P_j \quad (2)$$

Perhitungan Pers. (2) dilakukan pada semua titik konsumen yang aliran dayanya melewati saluran yang sama.

Rumusan saluran hulu berikutnya, P_{j1} menjadi;

$$P_{j1} = \frac{P_{i,j}^2}{\sum P_{i,j}^2} \cdot P_{rugi,i} + P_{j1} \quad (3)$$

Pers. (3) digunakan untuk alokasi rugi daya saluran pada tiap titik konsumen yang dayanya melewati saluran tersebut. Perhitungan ini dilakukan sampai saluran terdekat sumber (hulu).

Harga energi (HE) kWh tiap titik konsumen (j) akan lebih besar dari harga energi dasar, dirumuskan;

$$HE_j = \frac{P_{j1}}{P_{beban,j}} \cdot HE_{dasar} \quad (4)$$

ALGORITMA PEMROGRAMAN

Penelusuran Titik-Titik Konsumen Terhilir

Titik-titik terhilir diperoleh jika Nomor Akhir Saluran I (NAK(I)) tidak ada yang sama dengan Nomor Awal Saluran I (NAW(I)) lain dari jumlah saluran (JS). Jika ini terpenuhi Pers. (1) digunakan, NAK(I) dan saluran I ini ditandai untuk penelusuran berikutnya.

```

DO 202 I=1,JS
  DO 203 J=1,JS
  IF(I.NE.J)THEN
    NB1(NAK(I))=0
    IF (NAK(I).EQ.NAW(J))GOTO 202
    NB1(NAK(I))=1
  ENDIF
203 CONTINUE
  IF(NB1(NAK(I)).EQ.1)THEN
    PLOAD1(NAK(I)) =PLOAD(NAKI)+PLOSS(I)
    IJ=IJ +1
    NSAL1(I)=1
  ENDIF
202 CONTINUE

```

Penelusuran Titik-Titik Konsumen Pada Titik Awal Saluran Terhilir

Titik-titik konsumen ini diperoleh jika titik akhir NAK(I) dari semua saluran yang NAW(I) pada titik ini sudah ditandai ((a)terpenuhi). Jika terpenuhi, Pers. (2) dihitung, titik konsumen dan saluran ini ditandai untuk penelusuran berikutnya.

```

DO 204 K=1,JS
  ii=0
  IF(NSAL1(K).EQ.1)THEN
    KK=NAW(K)
    DO 205 L=1,JS
      IF(K.EQ.L)GOTO 205
      IF(NAW(K).EQ.NAW(L))THEN
        IF(NSAL1(L).NE.1)THEN
          GOTO 204
        ENDIF
      IF(NSAL1(L).EQ.1)THEN
        NBUS1(NAK(I))=NAW(K)
        GOTO 205
      ENDIF
    ENDIF
  ENDIF
205 CONTINUE
  NBUS1(NAK(K))=NAW(K)
  NSAL1(K)=2
  IF(NAW(K).EQ.KKK)GOTO 204
  DO 206 N=1,JS
    IF(NAW(K).EQ.NAK(N))THEN
      NBUS1(NAK(N))=NAW(K)
      NSAL1(N)=1
    DO 207 IJ=1,JB

```

```

                IF(NBUS1(IJ).EQ.NAW(K))THEN
                IF(PLOAD1(IJ).EQ.0.0)
                    PLOAD1(IJ)=PLOAD(IJ)
                    PTOT(NAW(K)) =PTOT(NAW(K))+(PLOAD1(IJ))**2
                ENDIF
207          CONTINUE
        DO 208 IL=1,JB
            IF(NBUS1(IL).EQ.NAW(K))THEN
                PLOAD1(IL)
                =(PLOAD1(IL))**2/PTOT(NAW(K))*
                PLOSS(N)+ PLOAD1(IL)
            ENDIF
208          CONTINUE
        DO 211 IK=1,JB
            IF(NBUS1(IK).EQ.NAK(N))NBUS1(IK)=NAW(N)
211          CONTINUE
        ENDIF
206    CONTINUE
        ENDIF
204 CONTINUE

```

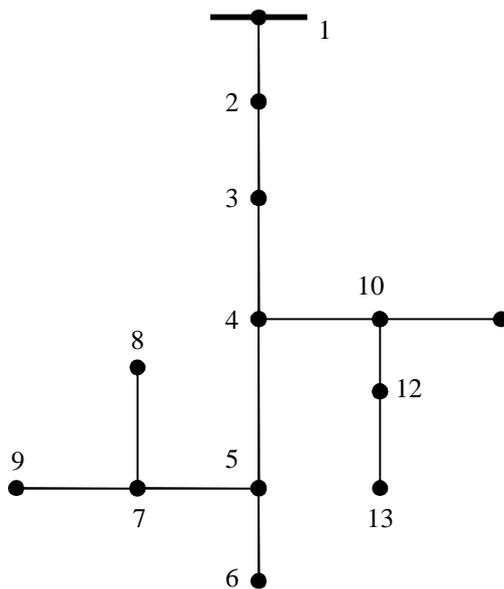
Penelusuran Titik-Titik Konsumen Berikutnya

Algoritma pemrograman ini mengikuti **(b)** dan berpatokan pada NAW(I) dari saluran I yang sudah ditandai. Jika terpenuhi, **Pers. (3)** digunakan untuk mendapatkan daya pada titik tersebut (daya beban ditambah alokasi rugi daya penyalurannya). Penelusuran ini berakhir jika semua jumlah saluran sudah ditandai (ditelusuri)

```

        DO 209 KI=1,JS
            Program (b)
209 CONTINUE

```



Gambar 1. Jaringan Uji 13 Titik Konsumen[4]

Perhitungan Harga Energi Tiap Titik

Jika (c) selesai, maka perhitungan Pers. (4) dilakukan untuk semua titik konsumen (jumlah bus 'JB')

Data Uji

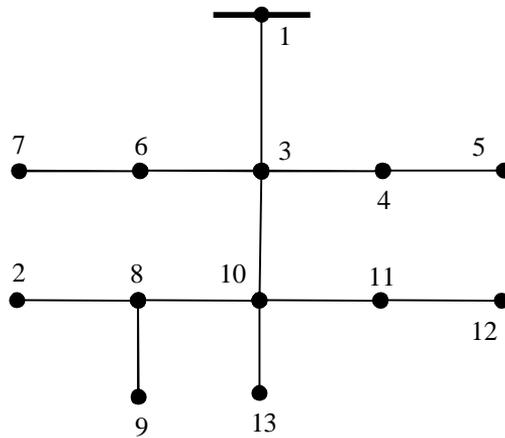
Data uji yang digunakan berdasarkan gambar jaringan distribusi radial pada beberapa sumber dengan penomoran dan beban bus dibuat sedemikian sehingga langkah penyelesaian teridentifikasi secara mudah. Hal ini juga dilakukan pada rugi tiap saluran tidak berdasarkan hasil riil aliran daya.

Tabel 1 Data Titik Konsumen dan Kebutuhan Daya Gambar 1

No Titik	Beban (KW)
1	500,00
2	525,900
3	430,500
4	290,780
5	400,940
6	350,750
7	350,890
8	453,320
9	400,000
10	250,000
11	600,600
12	700,700
13	300,250
Total	5555,130

Tabel 2. Data Saluran dan Rugi Gambar 1

No Saluran	Titik		Rugi (kW)
	Awal	Akhir	
1	1	2	70.00
2	2	3	62.61
3	3	4	55.50
4	4	5	25.30
5	5	6	12.70
6	5	7	18.90
7	7	8	11.00
8	7	9	10.80
9	4	10	27.89
10	10	11	14.57
11	10	12	22.85
12	12	13	15.50
Total			347.62



Gambar 2. Jaringan Uji IEEE 13 Bus [5]

Tabel 3. Data Saluran dan Rugi Gbr. 2

No Saluran	Titik		Rugi (kW)
	Awal	Akhir	
1	1	3	60,77
2	3	10	32,45
3	10	13	12,88
4	3	4	17,55
5	4	5	11,20
6	3	6	15,88
7	6	7	11,00
8	10	11	15,50
9	11	12	12,57
10	10	8	22,57
11	8	2	14,08
12	8	9	12,90
Total			239,08

Tabel 4. Data Titik Konsumen dan Kebutuhan Daya Gambar 2

No Titik	Beban (KW)
1	400,500
2	357,900
3	630,500
4	290,780
5	400,940
6	350,750
7	350,890
8	453,320
9	400,000
10	0,000
11	330,600
12	412,700
13	300,250
Total	4674,130

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Langkah mendapatkan hasil program dengan data jaringan uji 13 titik konsumen, dan harga energi dasar Rp. 789,55/kWh di titik awal jaringan diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Langkah Program Penelusuran Hilir- Hulu Jaringan Gbr. 1

Langkah	Titik Hilir	No Saluran	Titik Hulu
I	6, 8, 9, 11, 13	5, 7, 8, 10, 12	5, 7, 7, 10, 12
II	7	6	5
III	12	11	10
IV	5	4	4
V	10	9	4
VI	4	3	3
VII	3	2	2
VIII	2	1	1

Langkah I; penelusuran titik terhilir (terluar), yaitu; 6, 8, 9, 11 dan 13, dari saluran 5, 7, 8, 10, dan 12, sedangkan titik awal (hulu) saluran tsb. masing-masing titik 5, 7, 7, 10 dan 12. Pada titik-titik hilir ini dihitung Pers.(1).

Langkah II; dari titik 8 dan 9, titik hilir sudah diketahui di langkah I, maka diperoleh titik 7 (hilir) dan titik 5 (hulu) dari saluran 6. Pers.(2) digunakan untuk perhitungan daya semua titik-titik hilirnya (7, 8 dan 9) akibat ada rugi di saluran 6.

Langkah III; Titik terluar lain (titik 13) yang sudah diketahui, maka diperoleh titik 12 (hilir) dan 10 (hulu) dari saluran 11. Pers.(2) digunakan menghitung daya pada titik-titik hilirnya (13 dan 12).

Tabel 6. Alokasi rugi daya dan harga energi tiap titik konsumen jaringan Gambar 1

No Titik	Beban (kW)	P. Rugi	Harga (Rp/kWh)
1	500,500	0,000	789,550
2	252,900	1,890	795,491
3	430,500	10,739	809,246
4	290,780	7,285	809,330
5	400,940	19,272	827,502
6	350,750	28,484	853,669
7	350,890	19,674	833,819
8	453,320	45,948	869,579
9	400,000	37,971	864,499
10	250,000	7,087	811,931
11	600,600	58,835	866,895
12	700,700	80,127	879,838
13	300,250	31,007	871,088
Total	5282,130	348,319	837,107

Langkah IV; Dari titik-titik hilir (6, 8, 9 dan 7) yang sudah diketahui, maka diperoleh titik 5 (hilir) dan titik 4 (hulu) dari saluran 4. Pers.(3) digunakan menghitung daya pada titik-titik hilirnya (6, 7, 8, 9 dan 5). Langkah V sampai VIII pada dasarnya sama seperti langkah IV.

Daya, alokasi rugi daya saluran dan harga energi di tiap titik konsumen pada jaringan Gambar 1 diperlihatkan pada Tabel 6.

Harga energi tiap titik yang memperoleh tambahan daya akibat rugi saluran akan lebih besar dari harga energi dasar (harga energi titik awal (titik 1)). Besarnya harga energi tiap titik ini sesuai Pers. (4) dan rerata harga energi Rp. 837,107/kWh dari harga energi dasar Rp. 789,550/kWh. Titik 8 misalnya dalam Tabel 6 harga energi dapat diperoleh juga dengan cara;

$$\begin{aligned}
 HE_8 &= \frac{453,320 + 45,948}{453,320} \times 789,550 \\
 &= 869,579
 \end{aligned}$$

Harga energi termahal pada titik konsumen 12 sebesar Rp. 879,838,-/kWh atau Rp. 90,288 lebih mahal dari harga dasarnya. Hal ini disebabkan letak titik 12

diujung jaringan dan bebannya terbesar. Sedangkan di titik 2 hanya Rp. 5,901,- lebih mahal dari harga dasarnya karena letaknya terdekat dan bebanya juga sedikit.

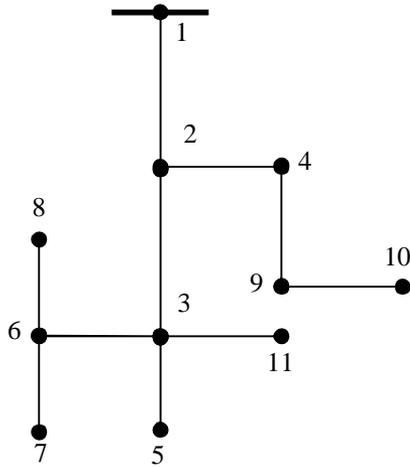
Pengujian program juga dilakukan dengan data Jaringan Gambar 2 dan Gambar 3. Hasil menjalankan program dengan data jaringan Gambar 2 dapat dilihat pada lampiran.

KESIMPULAN

Metode penelusuran hilir-hulu ini dapat digunakan sebagai satu alternatif perhitungan harga energi perkilo-Watt-jam di tiap titik konsumen. Perhatian pada prinsip keadilan, daya yang dikonsumsi konsumen adalah daya beban konsumen ditambah daya akibat rugi daya sepanjang alirannya dari titik awal. Logika sederhana pada penerapan metode ini memudahkan pemahaman konsumen akan perbedaan harga energi yang mereka harus bayar.

REFERENSI

- C. N. Macqueen and M. R. Irving, "Allocation of Distribution System Losses to Consumers in Deregulated Electricity Supply Industries", Fourth International Conference on Power System Control and Management, pp 268-272, April 1996.
- V. S. C. Lim, McDonald, J. D. F., Saha, K. T., "Comperative Distribution of System Losses to Market Participants using Diffeent Loss Allocation Methods". IEEE/PES Transmission and Distibution Confeence & Exhibition; Asia Pasific, Daliah Cina, 2005
- Paul M. Sotkiewicz dan Maio Vignolo, J., "Towards a Cost Reflective Tariff for Distribution Networks". Working Paper IEEE, April 2006.
- W. H. Kersting, "Distribution System Modeling and Analysis", CRC Press, 2002
- W. H. Kersting, "Radial Distribution Test Feeder", Distribution System Analysis Subcommittee Report, on-line pada <http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders.html>.



Gambar 3. Jaringan Uji 11 Titik Konsumen

Tabel 3. Data Saluran dan Rugi Gambar 3

No Saluran	Titik		Rugi (kW)
	Awal	Akhir	
1	1	2	20.20
2	2	3	19.08
3	2	4	11.20
4	3	5	13.88
5	3	6	9.45
6	4	9	7.11
7	6	7	7.00
8	6	8	6.22
9	9	10	5.85
10	3	11	5.00
Total			104.99

NAMA SISTEM : SISTEM13
 JUMLAH
 - BUS (TITIK) : 13
 - SALURAN : 12
 HARGA DASAR ENERGI RP/KWh : 645.530

```
=====
```

BUS	PLOAD	PLOAD1	PLOSS1	HARGA
(TITIK)	KWATT		(RP/KWH)	
1	500.500	500.500	.000	645.530
2	252.900	254.790	1.890	650.355
3	430.500	441.239	10.739	661.634
4	290.780	298.065	7.285	661.702
5	400.940	420.212	19.272	676.559
6	350.750	379.234	28.484	697.953
7	350.890	370.564	19.674	681.724
8	453.320	499.268	45.948	710.961
9	400.000	437.971	37.971	706.808
10	250.000	257.087	7.087	663.828
11	600.600	659.435	58.835	708.766
12	700.700	780.827	80.127	719.349
13	300.250	331.257	31.007	712.195

	5282.130	5630.451	348.320	684.413

```
=====
```

```
=====
```

NO	BUS		PLOSS
SALURAN	AWAL	AKHIR	(KWATT)
1	1	2	70.700
2	2	3	62.610
3	3	4	55.500
4	4	5	25.300
5	5	6	12.700
6	5	7	18.900
7	7	8	11.000
8	7	9	10.800
9	4	10	27.890
10	10	11	14.570
11	10	12	22.850
12	12	13	15.500

			348.320

```
=====
```

PENETAPAN HARGA ENERGI DI TITIK KONSUMEN
 SALURAN DISTRIBUSI RADIAL
 BERDASARKAN ALOKASI RUGI SALURAN

NAMA SISTEM : SISTEM13

JUMLAH

- BUS (TITIK) : 13

- SALURAN : 12

HARGA DASAR ENERGI RP/KWh : 645.530

BUS (TITIK)	PLOAD	PLOAD1 KWATT	PLOSS1	HARGA (RP/KWH)
1	500.500	500.500	.000	645.530
2	252.900	254.790	1.890	650.355
3	430.500	441.239	10.739	661.634
4	290.780	298.065	7.285	661.702
5	400.940	420.212	19.272	676.559
6	350.750	379.234	28.484	697.953
7	350.890	370.564	19.674	681.724
8	453.320	499.268	45.948	710.961
9	400.000	437.971	37.971	706.808
10	250.000	257.087	7.087	663.828
11	600.600	659.435	58.835	708.766
12	700.700	780.827	80.127	719.349
13	300.250	331.257	31.007	712.195
	5282.130	5630.451	348.320	684.413

NO SALURAN	BUS AWAL	BUS AKHIR	PLOSS (KWATT)
1	1	2	70.700
2	2	3	62.610
3	3	4	55.500
4	4	5	25.300
5	5	6	12.700
6	5	7	18.900
7	7	8	11.000
8	7	9	10.800
9	4	10	27.890
10	10	11	14.570
11	10	12	22.850
12	12	13	15.500
			348.320

Proses

Pukul : 17:42:03 sampai 17:42:04

Lama : .150 detik