

# PERHITUNGAN DAN ANALISIS KESEIMBANGAN BEBAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV TERHADAP RUGI-RUGI DAYA (STUDI KASUS PADA PT. PLN UPJ SLAWI)

Tejo Sukmadi<sup>1</sup>, Bambang Winardi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Tembalang, Semarang, Indonesia, 50275  
E-mail: <sup>2</sup>bbwinz@yahoo.com

**Abstract.** Power distribution network is the part of electrical power system close to the customer or load side than the transmission network.

To be better the electrical power system giving the electrical power supply to the customer, load balance must be achieved in each load points. Keseimbangan beban dapat tercapai jika tegangan yang dihasilkan dapat mensuplai beban secara penuh dari masing-masing titik beban maka sistem juga menjadi lebih baik dalam pemenuhan kebutuhan listrik. The load balance is important issue to decrease the voltage drop or power losses that can be occurred in distribution line, so the information about load characteristics in each phases (R, S, and T) in some network area must be observed certain time.

**Keywords:** distribution system, load balance, drop voltage, power loss.

Sistem distribusi merupakan salah satu sistem dalam tenaga listrik yang mempunyai peran penting karena berhubungan langsung dengan pemakai energi listrik, terutama pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Biasanya sering kali terjadi beban tidak seimbang pada fase-fasenya (sistem distribusi merupakan sistem 3 fase) atau terjadi kelebihan beban karena pemakaian alat-alat listrik dari konsumen energi listrik.

Keseimbangan beban antar fasa diperlukan untuk pemerataan beban sehingga meminimalkan perubahan yang diakibatkan oleh beban penuh. Hal ini juga penting karena bermanfaat pada teknik optimasi untuk menghasilkan sistem yang handal dan efisien.

Sebuah konfigurasi 1 fase dengan 3 kabel dapat dikatakan tidak seimbang jika arus netral tidak bernilai nol. Hal ini terjadi karena beban yang dikoneksikan, antara fase dan netral tidak sama. Metoda yang dipakai untuk menganalisa keseimbangan beban salah satunya dengan menghitung jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada feeder KBN09 Slawi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung dan menganalisis keseimbangan beban pada sistem distribusi dan pengaruhnya terhadap jatuh tegangan dan rugi daya yang timbul pada sistem tersebut.

## SISTEM DISTRIBUSI DAYA

### Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi adalah semua bagian dari suatu sistem yang menunjang pendistribusian tenaga listrik yang berasal dari gardu-gardu induk. Klasifikasi jaringan distribusi menurut strukturnya antara lain struktur jaringan radial, struktur jaringan *loop*, dan struktur jaringan *spindle*.

### Aliran Daya

Studi aliran daya adalah penentuan atau perhitungan tegangan, arus dan daya yang terdapat pada berbagai titik suatu jaringan pada keadaan pengoperasian normal, baik yang sedang berjalan maupun yang akan datang.

**Jatuh Tegangan atau Drop Voltage**

Jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan ujung pengiriman dan tegangan ujung penerimaan, jatuh tegangan disebabkan oleh hambatan dan arus, pada saluran bolak-balik besarnya tergantung dari impedansi dan admitansi saluran serta pada beban dan faktor daya. Jatuh tegangan relatif dinamakan regulasi tegangan dan dinyatakan dengan rumus:

$$V_{reg} = \frac{V_S - V_R}{V_S} \times 100 \%$$

**Rugi-rugi Daya atau Losses**

Dalam teori listrik arus bolak-balik penjumlahan daya dilakukan secara vektoris, yang dibentuk vektornya merupakan segitiga siku-siku, yang dikenal dengan segitiga daya. Sudut  $\theta$  merupakan sudut pergeseran fasa, semakin besar sudutnya, semakin besar Daya Semu (S), dan semakin besar pula Daya Reaktif (Q), sehingga faktor dayanya ( $\cos \theta$ ) semakin kecil. Perbandingan antara besar daya aktif dengan daya semu disebut faktor daya ( $\cos \theta$ ),  $\theta$  adalah sudut yang dibentuk antara daya aktif dan daya semu.

$$PF (\cos \theta) = \frac{P \text{ (watt)}}{S \text{ (VA)}}$$

Seperti diketahui, kerugian daya suatu saluran merupakan perkalian arus pangkat dua dengan resistansi atau reaktansi dari saluran tersebut.

Rugi-rugi dapat dinyatakan sebagai berikut.

- Rugi daya nyata =  $I^2 \cdot R$  (watt)
- Rugi daya reaktif =  $I^2 \cdot X$  (watt)
- Rugi daya semu =  $\sqrt{(I^2 \cdot R)^2 + (I^2 \cdot X)^2}$

Besarnya rugi daya pada beban 1 fasa dan 3 fasa dapat dituliskan adalah.

$$P_{L,1\phi} = 2xI_{1\phi}^2 R \quad \text{watt}$$

dan

$$P_{L,3\phi} = 2xI_{3\phi}^2 R \quad \text{watt}$$

jika disubstitusikan persamaan di atas menjadi

$$\frac{P_{LS,1\phi}}{P_{LS,3\phi}} = 2.0$$

**Metode Perhitungan Jatuh Tegangan**

Pada pembahasan ini akan diuraikan tentang perhitungan jatuh tegangan pada penghantar jaringan distribusi, diambil perhitungan jatuh tegangan pada feeder KBN09 Slawi.

Adapun yang akan dihitung disini adalah dari saluran sampai ke trafo terjauh dari GI, yaitu dari saluran utama tiga fasa 20 kV, percabangan satu fasa. Adapun rumus voltage jatuh (jatuh tegangan) adalah :

$$\begin{aligned} VD &= r \int_0^L i x dx \cos \phi + \int_0^L i x dx \sin \phi \\ &= ri \frac{L}{2} \cos \phi + xi \frac{L}{2} \sin \phi \\ &= \frac{L \cdot r}{2} I \cos \phi + \frac{L \cdot x}{2} I \sin \phi \end{aligned}$$

dengan  $\cos \phi$  dan  $\sin \phi$  adalah faktor daya.

Faktor daya pada penghantar akan kita hitung berdasarkan data yang ada yaitu data beban lepas dari GI ke distribusi jaringan (Data I). Pada suatu rangkaian seri yang sederhana  $Z = R + jx$  dengan mengingat  $I \cdot Z$  sama dengan  $V$ , maka untuk beban 3 fasa:

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} I_L^2 \cdot Z_L \cdot \cos \emptyset = \sqrt{3} V_L^2 \cdot I_L \cdot \cos \emptyset \\ Q &= \sqrt{3} I_L^2 \cdot Z_L \cdot \sin \emptyset = \sqrt{3} V_L^2 \cdot I_L \cdot \sin \emptyset \end{aligned}$$

Kemudian dengan mengingat bahwa  $R = Z \cos \emptyset$ , dan  $X = Z \sin \emptyset$ , maka didapatkan :

$$P = \sqrt{3} I_L^2 \cdot R_L \quad \text{dan} \quad Q = \sqrt{3} I_L^2 \cdot X_L$$

Selanjutnya didapatkan rumus faktor daya.

$$\cos \emptyset = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Selanjutnya menghitung arus percabangan  $3\phi$ , jatuh tegangannya serta tegangan yang dihitung dari pole nomer  $T_{9.1}$  sampai pole nomor  $T_{9.44}$ , dimana diketahui data-datanya dari PLN UPJ Slawi.

Dengan data di atas, maka arus pada percabangan  $3\phi$  ini adalah :

$$I_{cab \ 3\phi} = \text{total-kVA} / \text{tegangan-pole}$$

**Analisis Perhitungan Rugi Daya**

Seperti diketahui, kerugian daya suatu saluran merupakan perkalian arus pangkat dua dengan resistansi atau reaktansi dari saluran tersebut.

Rugi-rugi dapat dinyatakan sebagai berikut.

- Rugi daya nyata =  $I^2 \cdot R$  Watt
- Rugi daya reaktif =  $I^2 \cdot X$  Watt
- Rugi daya semu =  $\sqrt{(I^2 \cdot R)^2 + (I^2 \cdot X)^2}$

**Keseimbangan Daya 3 Fase**

Suatu keseimbangan tiga fase dapat terjadi bila jaringan dengan hubungan Y- atau Δ- mempunyai beban yang tetap. Karena beban simetris arus balik yang mengalir sama dengan nol masing-masing  $R_1, R_2, R_3$  mempunyai nilai yang sama namun berbeda nilai tegangannya sebesar  $120^0$ .

Untuk mencari keseimbangan bila menggunakan parameter beban tiga fasa maka dibuat rumus matematika linear yaitu nilai *mean* yang dapat dicari dari rumus.

$$\Sigma X = (X_1 + X_2 + X_3 + X_n) / n$$

dengan  $X_1 + X_2 + X_3 + X_n =$  nilai fasa pada sistem dan  $n =$  jumlah fasa.

Dengan cara diatas maka besar arus fasa yang seimbang adalah:

$$I_a = I_b = \dots = I_z = I_p = \text{ arus fasa}$$

$$\theta_a = \theta_b = \dots = \theta_z = \theta = \text{ sudut faktor daya}$$

**Single line 20 kV**

Diagram ini merupakan hasil pengamatan dan penggambaran pada GI Kebasen dengan sumber energi trafo 4 sebagai penyulang ada feeder 9 yang akan dianalisa dan disimulasikan perhitungannya. Data-data yang dibutuhkan mengenai feeder didapatkan dari data PT. PLN UPJ Slawi namun penulis hanya menganalisa salah satu feeder yang masuk unit pelayanan PLN UPJ Slawi yaitu *feeder* KBN09.

**PERHITUNGAN JATUH TEGANGAN DAN RUGI DAYA PADA SALURAN FEEDER KBN09**

**Dasar Perhitungan Jatuh Tegangan pada Feeder KBN09**

Perhitungan jatuh tegangan ini hanya dikhususkan untuk menghitung saluran dari GI Kebasen Tegal KBN09 misalnya ke saluran (Feeder) yang masuk pada unit jaringan Slawi.

$$VD = r \int_0^L i x dx \cos \phi + \int_0^L i x dx \sin \phi$$

$$= ri \frac{L}{2} \cos \phi + xi \frac{L}{2} \sin \phi$$

$$= \frac{L.r}{2} I \cos \phi + \frac{L.x}{2} I \sin \phi$$

dengan  $L =$  panjang saluran (m),  $r =$  resistansi penghantar (ohm),  $x =$  reaktansi induktif penghantar (ohm).

Berikut adalah perhitungan  $\cos \phi$  yang dicatat pada tanggal 1 Februari 2008 dari trafo KBN09 (data diambil dari diagram *single line* 20 kV UPJ Slawi) pada beban puncak malam dan pada beban puncak siang,

**Tabel 3.1 Data primer Faktor Daya pada tanggal 1 Februari 2008**

Waktu Beban	kW	kVar	Cos $\phi$
Beban Jam 05.00	345	153	0,9
	370	165	0,9
Beban Puncak Siang	185	84	0,9
	210	105	0,8
Beban Puncak Malam	590	262	0,9
	645	290	0,9

Dari tabel diatas  $\cos \phi$  rata-rata = 0.9 sehingga  $\sin \phi = 0.4$ . Perhitungan arus, jatuh tegangan dan tegangan dihitung pada beberapa daerah yang dapat disebutkan di bawah ini.

**Tabel 3.2 Perhitungan Jatuh Tegangan**

Feeder KBN09	Hasil perhitungan jatuh tegangan		
	Ap (A)	Vp (v)	Vd (v)
Feeder utama	80	20000	3.246
Percabangan 3 $\phi$	36.256	19996.754	1.7068
Ketanggungan I	2.1633	11557.729	0.10053
Ketanggungan II	4.3256	11557.624	0.2676
Pengarsan	8.6522	11556.196	1.0989
Gumalar I	4.3256	11557.616	0.2144
Gumalar II	4.3256	11557.624	0.2676
Pecangkalan	8.6522	11557.020	0.8577
Kupu I	12.9783	11556.927	1.2062
Kupu II	10.8152	11557.085	0.7706

**Dasar Perhitungan Rugi – Rugi Daya pada Saluran Feeder KBN09**

Rugi – rugi dapat dinyatakan sebagai berikut.

- Rugi daya nyata =  $I^2 \cdot R$  Watt
- Rugi daya reaktif =  $I^2 \cdot X$  Watt
- Rugi daya semu =  $\sqrt{(I^2 \cdot R)^2 + (I^2 \cdot X)^2}$

**Tabel 3.3 Hasil Perhitungan Rugi daya**

Feeder KBN09	Hasil perhitungan rugi daya		
	Nyata	Reaktif	Semu
Feeder utama	426.4512	3218.56	3246.69
Percabangan 3 $\phi$	129.082	55.208	140.392
Ketanggungan I	0.1507	0.1363	0.203
Ketanggungan II	0.8026	0.7269	1.0828
Pengarsan	2.201	1.941	2.938
Gumalar I	0.6417	0.5815	0.866
Gumalar II	0.8026	0.7269	1.0829
Pecangkalan	1.718	1.53	2.3
Kupu I	3.624	3.275	4.885
Kupu II	1.9298	1.743	2.601

**HASIL DAN ANALISIS PERHITUNGAN**

Pada bagian ini digunakan sistem 3 fasa, untuk dapat mengetahui besarnya beban tiap fasa maka diperlukan suatu persamaan matematika untuk mempermudah dalam perhitungan.

**Hasil Perhitungan Daya**

Daya yang dihitung dapat dibuat tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Daya**

Feeder	Arus	Daya
Utama	80	1439339.838
Penyulang	36.25588431	652308.6945

**Feeder Fasa R, S, T**

Daya pada feeder R S T yang dihitung dapat dibuat tabel seperti dibawah ini.

**Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Daya**

Fase	3 fasa	
	Arus	Daya
R	7.950025209	82661.52
S	5.059106951	52613
T	5.781836516	60127.06

**Feeder Cabang**

Daya pada feeder percabangan yang dihitung dapat dibuat tabel 4.3

**Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Daya**

Feeder	Arus	Daya
Ketanggungan I	2.163057314	584976.9
Ketanggungan II	4.326114627	44999.4
Pengarsan	8.652229254	89995.05
Gumalar I	4.326114627	44999.52
Gumalar II	4.326114627	44999.4
Pecangakan	8.652229254	89996.14
Kupu I	12.97834388	134991.9
Kupu II	10.81528657	112495.7

Jadi total daya yang terpasang atau daya tetap,

$$P = \sum Si$$

$$= 404564.157 \text{ Watt.}$$

Sehingga dapat diketahui daya tidak tetap atau daya cadangan sebesar :

$$P_{\text{tidak tetap}} = P_{\text{tersedia}} - P_{\text{tetap}}$$

$$= 652313.7005 - 404564.157$$

$$= 247749.543 = 247 \text{ kW}$$

**Perhitungan Jatuh Tegangan**

**Jatuh Tegangan 3 Fase**

Perhitungan jatuh tegangan pada fasa R,S, dan T dapat diketahui besarnya:

**Tabel 4.4 VD ( Drop Voltage) pada Fasa R**

L (m)	VD (Volt)	ΣL (m)	VD (Volt)
175	0.86089501	175	0.860895013
80	0.39355201	255	1.254447019
80	0.39355201	335	1.647999025
50	0.24597	385	1.893969029
40	0.196776	425	2.090745032
25	0.122985	450	2.213730033

**Tabel 4.5 VD ( Drop Voltage) pada Fasa S**

L (m)	VD (Volt)	Σ L (m)	VD (Volt)
75	0.23478955	75	0.234784585
200	0.62610546	275	0.860890049
50	0.15652637	325	1.017416415
50	0.15652637	375	1.173942781

**Tabel 4.6 VD ( Drop Voltage) pada Fasa T**

L (m)	VD (Volt)	Σ L (m)	VD (Volt)
100	0.35777455	100	0.357774551
100	0.35777455	200	0.715549102
100	0.35777455	300	1.073323653
80	0.28621964	380	1.359543293

**Jatuh Tegangan Feeder Percabangan**

Dari perhitungan feeder percabangan dihasilkan tabel hasil dari perhitungan arus dan jatuh tegangan.

**Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Arus dan Jatuh Tegangan**

Feeder	Hasil Perhitungan	
	Arus (A)	VD (V)
Ketanggungan I	2.163057314	0.100517
Ketanggungan II	4.326114627	0.268046
Pengarsan	8.652229254	1.09899
Gumalar I	4.326114627	0.214437
Gumalar II	4.326114627	0.268046
Pecangakan	8.652229254	0.857748
Kupu I	12.97834388	1.206208
Kupu II	10.81528657	0.770633

**Analisis Perhitungan Rugi daya**

**Rugi daya pada Fase**

Rugi daya pada trafo yang dihitung dapat dibuat tabel 4.8.

**Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Rugi daya**

Fasa	Rugi daya	
	3 fasa	1 fasa
R	102.351523	34.19810999
S	34.5401146	11.5406845
T	45.7151341	15.27452773

**Rugi daya Trafo pada Feeder Percabangan**

Perhitungan rugi daya trafo pada tiap *pole* atau *feeder* cabang dapat dilihat pada tabel 4.9

**Tabel 4.9 Tabel Perhitungan Rugi daya Trafo**

Feeder	Simbol Feeder	Rugi daya
Ketanggungan I	A	0.422570861
Ketanggungan II	B	2.25371126
Pengawasan	C	18.48043233
Gumalar I	D	1.802969008
Gumalar II	E	2.25371126
Pecangakan	F	14.42375206
Kupu I	G	30.42510201
Kupu II	H	16.19854968

**Perhitungan Penyeimbang Beban**

**Nilai Keseimbangan**

Untuk mencari nilai kesimbangan dapat digunakan dengan mencari nilai *mean* (rata-rata hitung) seperti pada matematika.

Nilai *mean* dapat dicari dengan rumus :

$$\Sigma X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_n}{n}$$

Diketahui  $X_1 = 275$ ,  $X_2 = 175$ ,  $X_3 = 200$ , dengan rumus di atas dapat dihitung sebagai berikut:

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3} = \frac{(275 + 175 + 200)}{3} = 216.67$$

Jadi nilai tengah yang dapat diambil untuk keseimbangan beban adalah

- Pada kawat R terpasang **225 kVA**
- Pada kawat S terpasang **225 kVA**
- Pada kawat T terpasang **200 kVA**

Perubahan daya yang terjadi pada kawat R dan S, Dikarenakan kawat R berkurang bebannya dipindahkan ke kawat S agar terjadi keseimbangan beban. Pada *single line* dapat dilihat kawat R pada T9-64/50 kVA dapat dipindahkan bebannya ke kawat S sehingga pada masing-masing fasa mempunyai nilai yang hampir sama.

**Perhitungan Daya untuk Fase Seimbang**

Daya pada fasa seimbang yang dihitung dapat dibuat tabel seperti dibawah ini :

**Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Daya**

Fase	Daya	
	Sebelum	Sesudah
R	82593.36	67609.12
S	52590	67603.03
T	60096.62	60096.62

**Jatuh Tegangan Fasa sesudah Keseimbangan**

Jatuh tegangan pada fase R S T yang dihitung dapat dibuat tabel seperti dibawah ini :

**Tabel 4.10 VD ( Drop Voltage) pada Fasa R**

L (m)	VD (Volt)	$\Sigma L$ (m)	VD (Volt)
175	0.70436865	175	0.704368647
80	0.3219971	255	1.026365743
80	0.3219971	335	1.348362839
	0	335	1.348362839
40	0.16099855	375	1.509361386
25	0.10062409	400	1.609985479

**Tabel 4.11 VD ( Drop Voltage) pada Fasa S**

L (m)	VD (volt)	$\Sigma L$ (m)	VD (volt)
75	0.30187228	75	0.234784585
200	0.80499274	275	1.039777324
50	0.20124818	325	1.241025509
50	0.20124818	375	1.442273694
50	0.20124818	425	1.643521879

**Tabel 4.12 VD ( Drop Voltage) pada Fasa T**

L (m)	VD (volt)	$\Sigma L$ (m)	VD (volt)
100	0.35777455	100	0.357774551
100	0.35777455	200	0.715549102
100	0.35777455	300	1.073323653
80	0.28621964	380	1.359543293

Dari ketiga tabel di atas dapat dikelompokkan sebagai berikut.

**Tabel 4.13 Tabel Perubahan Jatuh Tegangan**

Sistem fase	VD (V)	
	Sebelum	Sesudah
Fase R	2.21373	1.609985
Fase S	1.173943	1.643522
Fase T	1.359543	1.359543

Dari tabel di atas dapat dilihat nilai VD pada sebelum keseimbangan tidak merata pada tiap fasa. Setelah dihitung dan dianalisa nilai keseimbangannya maka nilai VD pada tabel setelah keseimbangan menghasilkan nilai yang hampir sama atau imbang.

Setelah perhitungan VD tiap fasa menurut data keseimbangan dapat dihitung pula nilai rugi daya trafo setelah seimbang.

Rugi daya pada *fedeer* R S T yang dihitung dapat dibuat tabel 4.13

**Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Rugi daya**

Fase	Rugi daya	
	Sebelum	Sesudah
R	34.19810999	17.04252919
S	11.5406845	19.07745805
T	15.27452773	15.27452773

Pada kasus yang terjadi biasanya keseimbangan sistem dapat terjadi bila antara sisi teknis dan nonteknis dapat berjalan saling mendukung dan baik. Pada data yang telah dihitung dapat dianalisa bahwa sistem yang seimbang dipengaruhi oleh :

- Panjang dan luas penampang saluran
- Besarnya daya yang terpasang
- Banyaknya konsumen / beban.

Secara umum sistem seimbang sangat sulit tercapai karena secara geografis daerah kita belum merata sehingga jarak saluran dari pembangkitan ke konsumen sangat panjang, hal ini mempengaruhi besarnya daya yang mengalir pada saluran dapat semakin berkurang hal ini disebabkan oleh rugi-rugi daya pada saluran.

## PENUTUP

Dari perbandingan hasil perhitungan jatuh tegangan hanya dikhususkan untuk menghitung saluran dari GI Kebasen Tegal misalnya ke saluran (Feeder) yang masuk pada unit jaringan Slawi. Adapun yang akan dihitung disini adalah saluran yang mempunyai beban rata-rata harian terkecil sampai ke konsumen terjauh dari GI, yaitu dari saluran utama tiga fasa 20 kV, percabangan satu fasa sampai ke sistem 220 volt pada konsumen.

Menghitung arus percabangan  $3\phi$ , jatuh tegangannya serta tegangan dan rugi daya yang dihitung dari pole nomer  $T_{9,1}$  sampai pole nomor  $T_{9,39}$ , dimana diketahui data-datanya dari PLN UPJ Slawi. Selanjutnya adalah menghitung arus, jatuh tegangan dan tegangan dan rugi daya pada percabangan  $1\phi$  juga tegangan yang diterima. Dengan data yang sudah diketahui, maka dapat dihitung arus pada percabangan  $1\phi$  dimana untuk tegangan pada *pole* nomor diambil satu fase saja.

Pada perhitungan jatuh tegangan dari GI Kebasen Tegal seperti pada tabel terjadi perbedaan pada fasa R, S, dan T sebelum seimbang dengan sesudah seimbang.

Pada fasa R nilainya turun dari 2.213 V menjadi 1.6098 V. Fasa S nilainya naik dari 1.1739 V menjadi 1.4128 V sedang fasa T tetap nilainya 1.3587 V.

Pada perhitungan daya dari GI Kebasen Tegal seperti pada tabel terjadi perbedaan antar fasa R, S dan T dengan tiga fasa 20 kV pada kondisi sebelum seimbang dan setelah seimbang. Seperti yang dituliskan yaitu untuk kawat R 82661.52 W, untuk S 52613 W sedangkan untuk fasa T nilainya 60127.06 W.

Pada perhitungan rugi-rugi daya dari GI Kebasen Tegal seperti pada tabel terjadi perbedaan antar fasa R, S dan T dengan tegangan 1 fasa pada kondisi sebelum seimbang dan setelah seimbang. Seperti yang dituliskan yaitu pada 3 fasa untuk kawat R rugi dayanya turun dari 34.198 W menjadi 17.0425 W, untuk S naik dari 11.540 W menjadi 19.077 W sedangkan untuk fase T nilainya tetap 15.274 W.

## DAFTAR RUJUKAN

- Arismunandar. A, DR, M.A.Sc, Kuwahara. S, DR, *Teknik Tenaga Listrik*, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1993.
- Deshpande, M V. "*Electrical Power System Design*". Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. New Delhi. 1982
- Gonen Turan, *Electric Power Distribution System Engineering*, McGraw-Hill, United States of America, 1986.
- Kushadiyono.MT ,Drs, *Dasar Teknik Elektro*, STT Wiworotomo, Purwokerto, 2003
- RC. Dugan, *Electrical Power System Quality*, McGraw-Hill, New York, 1996.
- Saadat, Hadi. "*Power System Analysis*". WCB McGraw-Hill. Singapore. 1999
- Stevenson. William D. Jr., *Analisis Sistem Tenaga*, Edisi ke empat, Alih Bahasa oleh Ir. Kamal idris, Penerbit erlangga, Jakarta, 1993.
- Sulasno, Ir., *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Badan Penerbit UNDIP, Semarang, 2001.