

# ANALISIS KEANDALAN DAN NILAI EKONOMIS DI PENYULANG PUJON PT. PLN (PERSERO) AREA MALANG

Fery Praditama,<sup>1</sup>, Ir. Teguh Utomo, MT.<sup>2</sup>, Ir. Mahfudz Shidiq, MT<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Elektro, <sup>2,3</sup>Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: [ferypraditama@gmail.com](mailto:ferypraditama@gmail.com)

**Abstrak** – Sebagian pemadaman listrik yang terjadi adalah disebabkan oleh gangguan yang ada pada sistem distribusi. Ketidakandalannya setiap komponen peralatan distribusi mempengaruhi kontinuitas penyaluran tenaga listrik dan rugi-rugi yang dialami PLN. Metode *Section Technique* adalah pengembangan dari metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) yang digunakan untuk melakukan analisis keandalan pada Penyulang Pujon. Analisis nilai Penyulang Pujon berdasarkan energi tidak tersalurkan dari PLN digunakan untuk menghitung kerugian PLN saat terjadi pemadaman. Dengan menggunakan metode *Section Technique* didapatkan indeks keandalan SAIDI Penyulang Pujon yang bernilai 0,078712287 dimana dapat diperbaiki dengan penurunan laju kegagalan menjadi 0.078429816 atau pemasangan *tie switch* pada jaringan menjadi 0,060765313. Perbaikan pada indeks keandalan Penyulang Pujon setelah penambahan *tie switch* juga berbanding lurus dengan berkurangnya kerugian PLN akibat terjadinya pemadaman dari Rp 2.778.609.501 menjadi Rp 2.465.794.065

**Kata Kunci** - Penyulang Pujon, indeks keandalan, *section technique*, analisis nilai, laju kegagalan, *tie switch*

## I. PENDAHULUAN

Tampa listrik infra-struktur masyarakat sekarang tidak akan menyenangkan. Makin bertambahnya konsumsi listrik per kapita diseluruh dunia menunjukkan kenaikan standar kehidupan manusia. Pemanfaatan secara optimum bentuk energi ini oleh masyarakat dapat dibantu dengan sistem distribusi yang efektif<sup>[1]</sup>. Peningkatan kinerja pelayanannya dalam melayani ketersediaan energi listrik di Malang Raya adalah tuntutan kepada PT. PLN (PERSERO) Distribusi Jawa Timur Area Malang. Kondisi sistem kelistrikan di wilayah ini masih memerlukan banyak perhatian mengingat sistem yang terpasang adalah skala besar mulai dari perkotaan sampai kepegunungan, mulai dari industri, perumahan sampai ke desa-desa, dimana faktor alam sangat mempengaruhi distribusi energi listrik pada wilayah ini. Peralatan distribusi yang sudah cukup tua dan belum dilakukan peremajaan juga menjadi salah satu kondisi yang memerlukan perhatian. Penyulang Pujon adalah penyulang di area Malang yang rawan mengalami pemadaman dan sering mengalami gangguan.

Oleh sebab itu PLN berusaha memenuhi kebutuhan daya yang meningkat dan juga memperbaiki mutu keandalan pelayanan sehingga suplai daya listrik dan kontinuitas dari suplai daya listrik tetap terjaga. Agar parameter dari keandalan peralatan distribusi dapat diketahui maka perlu dikembangkan suatu cara pengevaluasian terhadap keandalan mutu pelayanan. Metode *Section Technique* adalah suatu metode analisis evaluasi yang dapat digunakan pada beberapa hal, salah satunya yaitu analisis keandalan suatu sistem jaringan distribusi. Dengan menggunakan metode ini maka dapat diketahui indeks-indeks keandalan yang sering mengalami gangguan. Dengan mengetahui indeks keandalan sistem dapat dilakukan analisis nilai terhadap peralatan distribusi yang memiliki dampak terhadap penjualan energi. Analisis nilai ekonomis dari sisi PLN dilakukan berdasarkan harga penjualan energi dan biaya investasi serta biaya perawatan distribusi listrik. Dari hasil analisis nilai ini secara komprehensif dapat dikorelasikan dengan aspek keandalannya sehingga dapat dievaluasi kembali tingkat keandalannya untuk memperkecil kerugian yang terjadi di PLN.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Laju Kegagalan

Laju kegagalan ( $\lambda$ ) adalah harga rata-rata dari jumlah kegagalan per satuan waktu pada suatu selang waktu pengamatan (T). Laju kegagalan ini dihitung dengan saluran kegagalan per tahun. Untuk selang waktu pengamatan diperoleh :

$$\lambda = \frac{d}{T} \quad (1)$$

$\lambda$  : laju kegagalan konstan (kegagalan/tahun)

d : banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tahun

T : jumlah selang waktu pengamatan (tahun)

Nilai laju kegagalan akan berubah sesuai dengan umur dari sistem atau peralatan listrik selama beroperasi.

### B. Metode *Section Technique*

*Section Technique* merupakan suatu metode terstruktur untuk menganalisa suatu sistem. Metode ini dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi didasarkan pada bagaimana suatu kegagalan dari suatu peralatan mempengaruhi operasi sistem. Efek atau konsekuensi dari gangguan individual peralatan secara sistematis diidentifikasi dengan

penganalasiaan apa yang terjadi jika gangguan terjadi. Kemudian masing-masing kegagalan peralatan dianalisa dari semua titik beban (*load point*). Pendekatan yang dilakukan dari bawah ke atas dimana yang dipertimbangkan satu mode kegagalan pada satu waktu<sup>[2]</sup>.

Indeks keandalan yang dihitung adalah indeks-indeks titik beban dan indeks-indeks sistem baik secara *section* maupun keseluruhan. Indeks titik beban antara lain :

- a) Frekuensi gangguan (*failurate rate*) untuk setiap titik beban  $\lambda_{TB}$ , merupakan penjumlahan laju kegagalan semua peralatan yang berpengaruh terhadap titik beban, dengan persamaan :

$$\lambda_{TB} = \sum_{i=k} \lambda_i \quad (2)$$

Dimana:

$\lambda_i$  : laju kegagalan untuk peralatan sejumlah k  
k : semua peralatan yang berpengaruh terhadap titik beban

- b) Lama/durasi gangguan tahunan rata-rata untuk titik beban  $U_{TB}$ , dengan persamaan :

$$U_{LP} = \sum_{i=k} U_i = \sum_{i=k} \lambda_i \times r_j \quad (3)$$

Dimana:

$r_j$  : waktu perbaikan (*repair time* atau *switching time*)

Berdasarkan indeks-indeks titik beban ini, diperoleh sejumlah indeks keandalan untuk mengetahui indeks keandalan sistem secara keseluruhan yang dapat dievaluasi dan bisa didapatkan dengan lengkap mengenai kinerja sistem. Indeks-indeks ini adalah frekuensi dan lama pemadaman rata-rata tahunan.

Pada metode *Section Technique*, terdapat 3 indeks keandalan yang dihitung yaitu: SAIFI, SAIDI dan CAIDI.

1. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

Untuk mendapatkan nilai SAIFI pada metode ini dilakukan perhitungan menggunakan persamaan :

$$SAIFI = \frac{\sum N_{TB} \times \lambda_{TB}}{N} \quad (4)$$

Dimana:

$N_{TB}$  : jumlah konsumen pada titik beban

$N$  : jumlah konsumen pada sistem

$\lambda_{TB}$  : frekuensi gangguan peralatan pada

2. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

Untuk mendapatkan nilai SAIDI pada metode ini dilakukan perhitungan menggunakan persamaan :

$$SAIDI = \frac{\sum N_{TB} \times U_{TB}}{N} \quad (5)$$

Dimana:

$N_{TB}$  : jumlah konsumen pada titik beban

$N$  : jumlah konsumen pada sistem

$U_{TB}$  : durasi gangguan peralatan

3. CAIDI (*Costumer Average Interruption Duration Index*)

Untuk mendapatkan nilai CAIDI ini dilakukan perhitungan dengan persamaan:

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (6)$$

### C. Analisis Nilai

Teknik *value analysis* atau analisis nilai adalah sebuah teknik yang digunakan untuk menuju keberhasilan dalam penekanan biaya atau pengefektifan biaya. Hal ini bisa dikatakan bahwa pengfokusannya (kalo ndak salah yg bener pemfo terhadap kebutuhan fungsional dan spesifikasinya. Produk yang dihasilkan terus ditinjau bagaimana proses dan pelayanannya dengan tetap meninjau peryaratannya. Selain itu faktor biaya juga tetap diperhatikan<sup>[3]</sup>.

Dalam konteks analisa keandalan suatu sistem distribusi 20 kV, *value analysis* berbanding lurus dengan perhitungan aspek ekonomis suatu indeks keandalan. Perhitungan aspek ekonomi keandalan bergantung pada besar daya listrik yang disalurkan waktu pemadaman dari tiap-tiap titik beban dan tarif dasar listrik yang berlaku. Dalam melaksanakan analisis nilai dibutuhkan beberapa data, antara lain topologi jaringan, data beban dan data pelanggan/konsumen. Dari data-data tersebut dapat dievaluasi mengenai mode kegagalannya. Mode kegagalan ini yang dijadikan dasar dalam melakukan analisa dan evaluasi terhadap waktu pemadaman suatu sistem. Pemadaman suatu sistem mengacu terhadap waktu pemadaman (*repair time*) dan waktu pemindahan (*switching time*). Efek mode kegagalan tersebut disimulasikan terhadap setiap titik beban. Dengan data setiap titik beban tersebut dapat ditentukan besar energi yang tidak tersalurkan. Sehingga berdasarkan setiap titik beban pula dapat dilakukan sebuah evaluasi nilai kerugian bagi penyedia energi listrik.

Dalam perhitungan analisis nilai ekonomis terdapat beberapa persamaan yang berkaitan dengan perhitungan aspek ekonomis. Adapun persamaan yang digunakan dalam menghitung aspek ekonomi pada sistem, yaitu :

1. NDE (*Non Delivery Energy*)

$$NDE = P_C \times t_{CA} \quad (7)$$

Dimana :

NDE: Jumlah total energi yang tidak terkirim dalam durasi waktu tertentu.

$P_C$  : Jumlah total energi yang tidak terkirim

$t_{CA}$  : Durasi waktu pemadaman

2. Biaya kerugian per titik beban

$$\text{Biaya pada titik beban } N = NDE \times TDL \quad (8)$$

Dimana :

NDE : Jumlah total energi yang tidak terkirim dalam durasi waktu tertentu.

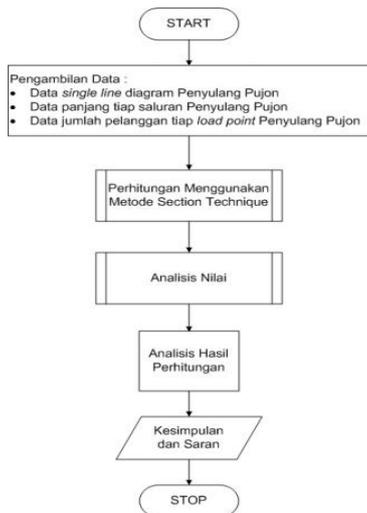
TDL : Tarif dasar listrik Peraturan Menteri ESDM No.9 2014<sup>[6]</sup>.

3. Total biaya kerugian setiap peralatan

$$\text{Kerugian} = \sum \text{biaya pada load point } N \quad (9)$$

### III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan secara umum ditunjukkan pada Gambar 1.



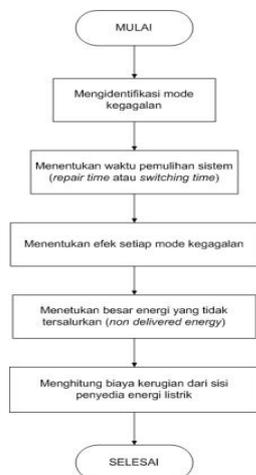
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Sementara untuk diagram alir dari metode *Section Technique* yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Metode *Section Technique*

Sementara untuk diagram alir dari metode analisis nilai yang ditunjukkan pada Gambar 3.

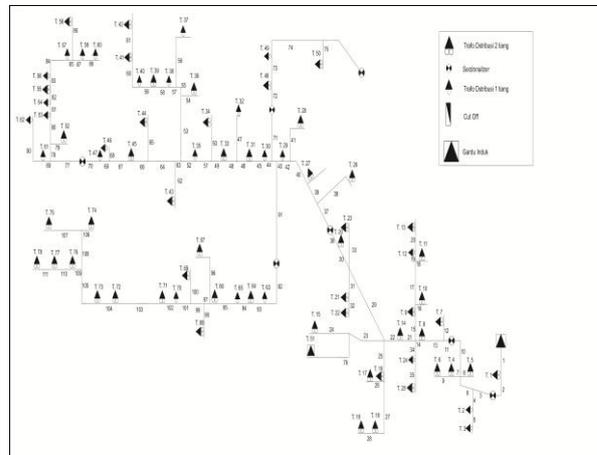


Gambar 3. Diagram Alir Metode Analisis Nilai

## IV. ANALISIS DATA

### A. Penyulang Pujon

Gambar *Single line diagram* sistem Penyulang Pujonyang akan dievaluasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Single Line Diagram* Penyulang Pujon

Penyulang Pujon disuplai dari gardu induk Sengkaling dengan daya 60 MVA. Penyulang ini memiliki variasi beban di titik beban berupa beban industri dan rumah tangga. Penyulang Pujon memiliki 78 titik beban berupa trafo distribusi dengan total pelanggan 21024 dan terdiri dari 111 saluran udara. Jumlah *sectionalizer* Penyulang Pujon adalah 7 buah dan penyulang terbagi menjadi 8 *section*.

Tabel jumlah pelanggan yang dibebankan pada titik-titik beban yang ada pada penyulang Pujon ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Jumlah Pelanggan Tiap Titik Beban

Titik Beban	Jumlah Pelanggan	Titik Beban	Jumlah Pelanggan
titik beban TB 1	160	titik beban TB 42	506
titik beban TB 2	85	titik beban TB 43	1
titik beban TB 3	355	titik beban TB 44	1
titik beban TB 4	1	titik beban TB 45	877
titik beban TB 5	42	titik beban TB 46	1
titik beban TB 6	238	titik beban TB 47	322
titik beban TB 7	653	titik beban TB 48	238
titik beban TB 8	22	titik beban TB 49	556
titik beban TB 9	56	titik beban TB 50	104
titik beban TB 10	1	titik beban TB 51	1
titik beban TB 11	652	titik beban TB 52	129
titik beban TB 12	415	titik beban TB 53	235
titik beban TB 13	692	titik beban TB 54	1
titik beban TB 14	82	titik beban TB 55	862
titik beban TB 15	83	titik beban TB 56	546
titik beban TB 16	454	titik beban TB 57	230
titik beban TB 17	262	titik beban TB 58	90
titik beban TB 18	15	titik beban TB 59	222
titik beban TB 19	37	titik beban TB 60	610
titik beban TB 20	501	titik beban TB 61	205
titik beban TB 21	241	titik beban TB 62	196
titik beban TB 22	2	titik beban TB 63	317
titik beban TB 23	11	titik beban TB 64	413
titik beban TB 24	134	titik beban TB 65	389
titik beban TB 25	701	titik beban TB 66	164
titik beban TB 26	1	titik beban TB 67	266
titik beban TB 27	1	titik beban TB 68	77
titik beban TB 28	119	titik beban TB 69	150
titik beban TB 29	4	titik beban TB 70	158
titik beban TB 30	496	titik beban TB 71	386
titik beban TB 31	420	titik beban TB 72	215
titik beban TB 32	9	titik beban TB 73	509
titik beban TB 33	448	titik beban TB 74	290
titik beban TB 34	336	titik beban TB 75	144
titik beban TB 35	455	titik beban TB 76	345
titik beban TB 36	450	titik beban TB 77	94
titik beban TB 37	40	titik beban TB 78	256
titik beban TB 38	854		
titik beban TB 39	416		
titik beban TB 40	177		
titik beban TB 41	397		

## B. Indeks Kegagalan Peralatan Sistem Distribusi

Berikut ini adalah tabel data kegagalan untuk saluran udara dan peralatan distribusi yang melingkupi frekuensi kegagalan, waktu pemadaman dan waktu pemindahan yang ditunjukkan masing-masing pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Tabel Data Kegagalan Untuk Saluran Udara

Saluran Udara	
<i>Sustained failure rate</i> ( $\lambda$ /km/tahun)	0,2
<i>Momentary failure rate</i> ( $\lambda$ /km/tahun)	0,003
Waktu Pemadaman atau <i>Repair time</i> (jam)	3
Waktu Pemindahan atau <i>Switching time</i> (jam)	0,15

Tabel 3. Tabel Data Peralatan Distribusi

Komponen	( $\lambda$ ) Frekuensi kegagalan	<i>Repair time</i> (jam)	<i>Switching time</i> (jam)
Trafo	0,005/unit/thn	10	0,15
Circuit Breaker	0,004/unit/thn	10	0,15
Sectionalizer	0,003/unit/thn	10	0,15

## C. Analisis Indeks Keandalan Menggunakan Metode Section Technique

Dilakukan analisis evaluasi keandalan berdasarkan data yang telah didapat pada subbab sebelumnya dengan menggunakan data panjang saluran udara dan jumlah pelanggan tiap titik beban. Standaryang digunakan dalam perhitungan menggunakan SPLN 59: 1985<sup>[7]</sup> untuk laju kegagalan dan waktu pemulihan peralatan sistem jaringan 20kV. Perhitungan *section* dijelaskan sebagai berikut :

### Section I

Untuk mengetahui bagaimana pengaruh suatu kegagalan peralatan dalam sistem dapat dilihat dalam daftar mode kegagalan. Daftar mode kegagalan yang terdapat pada *section* ini ditampilkan dalam *Section Technique Worksheet* pada Tabel 4.

Tabel 4. Tabel *Section Technique Worksheet Section I*

No	Nama Peralatan	Waktu Pemulihan Sistem	
		TB <i>repair time</i>	TB <i>switching time</i>
1	Circuit Breaker B	Titik Beban TB1 - TB78	-
2	Trafo T1	Titik Beban TB1 - TB78	-
3	Sectionalizer S1	Titik Beban TB1 - TB78	-
4	Saluran L1	Titik Beban TB1 - TB78	-
5	Saluran L2	Titik Beban TB1 - TB78	-

Selanjutnya menghitung nilai frekuensi kegagalan ( $\lambda$ ) untuk setiap titik beban yang didapat dari penjumlahan *failurate rate* peralatan yang mempengaruhi setiap TB dan perkalian *failure rate* saluran dengan panjang tiap salurannya yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Tabel Frekuensi Kegagalan *Section I*

No	Nama Peralatan	Failurate rate peralatan	Panjang tiap saluran (km)	$\lambda$ (kali kegagalaan/tahun)
1	Circuit Breaker B	0,004	-	0,004
2	Trafo T1	0,005	-	0,005
3	Sectionalizer S1	0,003	-	0,003
4	Saluran L1	0,2	0,896	0,1792
5	Saluran L2	0,2	0,588	0,1176
TOTAL				0,2968

Sedangkan untuk menghitung durasi gangguan (U) setiap titik beban didapat dari penjumlahan hasil perkalian jumlah trafo distribusi yang terganggu dan perlu mengalami perbaikan dengan waktu pemadamannya dan dengan hasil perkalian jumlah trafo distribusi yang terganggu dan perlu mengalami pemindahan dengan waktu pemindahannya. waktu pemadaman (*repair time*) dan waktu pemindahan (*switching time*) pada setiap peralatan ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Tabel Durasi Gangguan *Section I*

No	Nama Peralatan	$\lambda$ (kali kegagalaan/thun)	<i>Repair time</i> (jam)	<i>Switching time</i> (jam)
1	Circuit Breaker B	0,004	10	0,15
2	Trafo T1	0,005	10	0,15
3	Sectionalizer S1	0,003	10	0,15
4	Saluran L1	0,1792	3	0,15
5	Saluran L2	0,1176	3	0,15

Data waktu waktu pemadaman (*repair time*) dan waktu pemindahan (*switching time*) ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Tabel Waktu Perbaikan *Section I*

No	Nama Peralatan	Waktu Perbaikan (jam)	Waktu Pemindahan (jam)	Total Waktu (jam)
1	Circuit Breaker B	780	0	780
2	Trafo T1	10	0	10
3	Sectionalizer S1	780	0	780
4	Saluran L1	234	0	234
5	Saluran L2	234	0	234

Sesuai dengan persamaan (4) didapatkan nilai SAIFI titik beban dengan cara mengalikan jumlah konsumen pada tiap-tiap titik beban dengan frekuensi kegagalan ( $\lambda$ ) titik beban kemudian membaginya dengan total jumlah konsumen yang ada pada sistem Penyulang Pujon. Perhitungan nilai SAIFI dapat dilihat di persamaan dibawah ini:

$$SAIFI T1 = \frac{\sum N_{TB1} \times \lambda_{LP1}}{N} = \frac{160 \times 0,005}{21024} = 3,80518 \times 10^{-5} \text{ kali /tahun}$$

Sesuai dengan persamaan (5) didapatkan nilai SAIDI titik beban dengan cara mengalikan jumlah konsumen pada tiap-tiap titik beban dengan durasi kegagalan (U) titik beban, kemudian membaginya dengan total jumlah konsumen yang ada pada sistem

Penyulang Pujon. Perhitungan nilai SAIDI dapat dilihat di persamaan dibawah ini:

$$\text{SAIDI T1} = \frac{\sum \lambda_{LP1} \times U_{LP1}}{N} = \frac{10 \times 0.005}{21024} = 2.37823 \times 10^{-6} \text{ jam/tahun}$$

Hasil perhitungan SAIFI dan SAIDI pada section 1 ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Tabel Hasil SAIFI dan SAIDI Section 1

No	Nama Peralatan	Indeks Keandalan Section	
		SAIFI	SAIDI
1	Circuit Breaker B	0,004	0,000148402
2	Trafo T1	$3,8052 \times 10^{-5}$	$2,378237 \times 10^{-6}$
3	Sectionalizer S1	0,003	0,000111301
4	Saluran L1	0,1792	0,001994521
5	Saluran L2	0,1176	0,001308904
TOTAL		0,303838052	0,003565506

Dengan langkah analisis yang sama dan perhitungan yang sama pada setiap peratan distribusi Penyulang Pujon dari section II hingga section VIII, maka nilai SAIFI dan SAIDI setiap section ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Tabel Hasil SAIFI dan SAIDI Seluruh Section

No	Section	Indeks Keandalan Penyulang Pujon	
		SAIFI	SAIDI
1	Section I	0,303838052	0,003565506
2	Section II	1,418517589	0,015880571
3	Section III	2,029775381	0,022059695
4	Section IV	0,367144578	0,004014273
5	Section V	1,62501094	0,016213456
6	Section VI	0,172971005	0,002040693
7	Section VII	0,614486729	0,007137034
8	Section VIII	0,593841086	0,007801058
TOTAL		7,12558536	0,078712287

Penyulang Pujon ini memiliki nilai indeks keandalan SAIFI sebesar 7,12558536, SAIDI sebesar 0,078712287 dan CAIDI sebesar 0,011046431 yang didapat dari persamaan (6).

#### D. Analisis Nilai Penyulang Pujon

Pada bagian ini, akan dibahas dilakukan penelitian mengenai analisis nilai yang berkaitan dengan faktor ekonomis pada Penyulang Pujon apabila terjadi gangguan atau pemadaman. Pada penelitian ini, perhitungan dari faktor ekonomis akan dibatasi hanya pada energi yang tersalurkan dari sisi PLN dan penelitian ini tidak membahas rugi-rugi yang terjadi pada jaringan Penyulang Pujon.

##### Analisis Nilai I

Pada analisis nilai yang pertama objek yang digunakan untuk dianalisis adalah wilayah section 1 pada Penyulang Pujon. Seperti halnya saat menganalisis keandalan Penyulang Pujon section I dengan menggunakan metode *Section Technique*, pada analisis nilai juga memperhitungkan waktu pemulihan sistem (*repair time* dan *switching time*) yang terjadi dan tetap berdasarkan SPLN No 59: 1985. Tabel analisis nilai section I dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Tabel Hasil Analisis Nilai Pada Section I

No	Nama Peralatan	Waktu Pemulihan Sistem		Biaya Kerugian efek gangguan (Rupiah)
		TB <i>repair time</i>	TB <i>switching time</i>	
1	Circuit Breaker B	TB1 – TB78	-	36.084.351,94
2	Trafo T1	TB1	-	4.017.321
3	Sectionalizer S1	TB1 – TB78	-	36.084.351,94
4	Saluran L1	TB1 – TB78	-	36.084.351,94
5	Saluran L2	TB1 – TB78	-	36.084.351,94
TOTAL				148.354.728,8

Berikut akan diberikan contoh perhitungan analisa nilai apabila L1 mengalami gangguan maka :

- Seluruh peralatan distribusi mulai dari titik beban TB 1 - TB 78 mengalami pemadaman. Besar nilai waktu pemadaman (*repair time*) pasca saat terjadi pemadaman adalah 3 jam.
- Tidak ada peralatan antara titik beban TB 1 – TB 78 tidak mengalami *switching time* selama 0,15 jam.
- Analisis nilai akan dilakukan mulai dari titik beban TB 1 – TB 78 secara berurutan
- Kerugian PLN pada titik beban 1 adalah :  
Biaya = kW × time × TDL  
Biaya = 660.4 × 3 × 605  
Biaya = Rp. 1.205.196,3

Demikian juga dengan analisis nilai saluran udara dari TB 2 –TB 78 menggunakan perhitungan yang sama.

Dengan langkah analisis nilai yang sama dan perhitungan yang sama pada setiap peratan distribusi Penyulang Pujon dari section II hingga section VIII, maka didapat nilai setiap kerugian PLN setiap section yang ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Tabel Hasil Analisis Nilai Seluruh Section

Section	Analisis Nilai
Section I	148.354.728,8
Section II	358.711.577,5
Section III	982.870.449,7
Section IV	267.868.727,3
Section V	624.631.321,1
Section VI	78.327.787,5
Section VII	164.048.447,8
Section VIII	154.294.475,9
<b>TOTAL</b>	<b>2.778.609.501</b>

#### E. Cara Meningkatkan Keandalan Sistem Distribusi

Dalam melakukan peningkatan keandalan suatu sistem distribusi tenaga listrik dapat dilakukan dengan beberapa cara. Salah satu cara yang sederhana adalah dengan mereduksi laju kegagalan suatu peralatan sistem distribusi, sehingga nilai SAIDI dan SAIFI suatu sistem distribusi tenaga listrik dapat dikurangi. Untuk mengurangi laju

kegagalan, langkah-langkah preventif seperti melakukan pemeliharaan secara berkala terhadap peralatan distribusi tenaga listrik perlu dilakukan agar kontinuitas pasokan listrik dapat dirasakan dengan baik oleh pelanggan.

Selain dengan mereduksi laju kegagalan, cara yang kedua yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan suatu sistem distribusi adalah dengan menambahkan sumber cadangan. Penggunaan *tie switch* dengan kondisi *normally open* yang berasal dari sumber listrik lain atau suplai dari penyulang lain dapat memberikan suplai daya cadangan ketika sumber utama mengalami kegagalan. Adanya suplai cadangan dapat memberikan peningkatan keandalan karena area yang diberikan suplai tidak mengalami kondisi *repair time* melainkan mengalami kondisi *switching time* yang berpengaruh pada indeks keandalan.

#### Penurunan Laju Kegagalan

Peningkatan suatu indeks keandalan dapat terjadi dengan cara mengurangi laju kegagalan suatu peralatan distribusi tenaga listrik. Meskipun relatif kecil, penurunan laju kegagalan sebesar 20% dapat meningkatkan indeks keandalan suatu sistem distribusi tenaga listrik.

Hasil perbandingan indeks keandalan setelah penurunan laju kegagalan ditunjukkan pada Tabel 12.

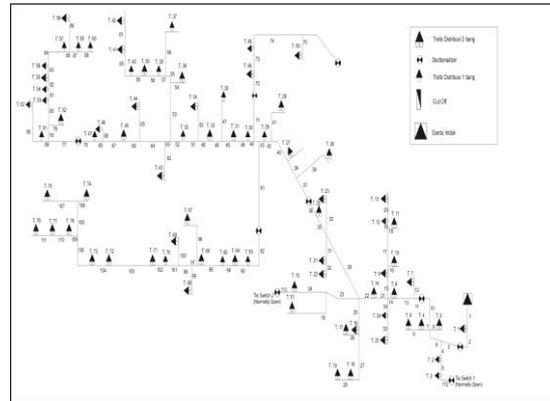
Tabel 12. Tabel Hasil Perbandingan SAIDI dan SAIFI Seluruh Section Sebelum dan Sesudah Reduksi 20%

Sec tio n	Sebelum Reduksi Laju Kegagalan 20 %		Setelah Reduksi Laju Kegagalan 20 %	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
I	0.303838052	0.003565506	0.302430441	0.00351309
II	1.418517589	0.015880571	1.417287861	0.015833954
III	2.029775381	0.022059695	2.028366553	0.022007629
IV	0.367144578	0.004014273	0.36613204	0.003976846
V	1.62501094	0.016213456	1.623846338	0.016176116
VI	0.172971005	0.002040693	0.172251208	0.002015548
VII	0.614486729	0.007137034	0.613900361	0.007117975
VIII	0.593841086	0.007801058	0.593508286	0.007788659
TO TAL	<b>7.12558536</b>	<b>0.078712287</b>	<b>7.117723088</b>	<b>0.078429816</b>

#### Penambahan Tie Switch

Dengan memberikan suplai cadangan yang dihubungkan melalui *tie switch* dengan kondisi *normally open* pada sistem jaringan distribusi, dapat meningkatkan keandalan suatu sistem jaringan distribusi secara relatif lebih besar apabila dibandingkan dengan menurunkan laju kegagalan peralatan sistem jaringan distribusi.

Untuk itu, dilakukan penambahan *tie switch* pada sistem jaringan distribusi Penyulang Pujon. Dimana penambahan *tie switch* diletakkan pada *section* yang tidak berhubungan secara langsung dengan sumber utama. *Single line* diagram Penyulang Pujon yang baru setelah penambahan *tie switch* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Single Line Diagram Penyulang Pujon Dengan Penambahan Tie Switch

Perbedaan analisis keandalan Penyulang Pujon dengan metode *Section Technique* setelah penambahan *tie switch* yang bekerja dengan keadaan *normally open* dengan analisis nilai keandalan Penyulang Pujon dengan metode *Section Technique* sebelum penambahan *tie switch* adalah terletak pada perbedaan waktu perbaikan atau *repair time*. Dimana nilai waktu pemadaman pada beberapa *section* yang satu saluran dengan *tie switch* akan berubah dari 10 jam untuk trafo distribusi dan *sectionalizer* menjadi 0,15 jam. Sedangkan untuk saluran udara dari waktu perbaikan atau pemadaman yang selama 3 jam menjadi 0,15 jam juga.

Data perbandingan nilai indeks keandalan peralatan distribusi Penyulang Pujon sebelum penambahan *tie switch* dan sesudah penambahan *tie switch* ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Tabel Hasil Perbandingan SAIDI dan SAIFI Sebelum dan Setelah Penambahan Tie Switch

Sec tio n	Sebelum Penambahan Tie Switch		Setelah Penambahan Tie Switch	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
I	0,303838052	0,003565506	0,303838052	0,003565506
II	1,418517589	0,015880571	1,441342551	0,015785145
III	2,029775381	0,022059695	2,051811577	0,001843738
IV	0,367144578	0,004014273	0,367144578	0,003913075
V	1,62501094	0,016213456	1,62501094	0,017443793
VI	0,172971005	0,002040693	0,172971005	0,003275965
VII	0,614486729	0,007137034	0,614486729	0,007137034
VIII	0,593841086	0,007801058	0,593841086	0,007801058
TO TAL	<b>7,12558536</b>	<b>0,078712287</b>	<b>7,170446518</b>	<b>0,060765313</b>

Setelah membandingkan indeks keandalan maka langkah berikutnya adalah membandingkan nilai kerugian PLN dengan analisis nilai. Langkah analisis nilai untuk Penyulang Pujon yang terdapat penambahan *tie switch* masih sama dengan langkah analisis nilai Penyulang Pujon sebelum ada penambahan *tie switch*. Nilai perbandingan analisis nilai sebelum penambahan *tie switch* pada jaringan Penyulang Pujon dan setelah penambahan *tie switch* pada jaringan Penyulang Pujon ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Tabel Hasil Perbandingan Analisis Nilai Sebelum dan Setelah Penambahan Tie Switch

<i>Section</i>	Analisis Nilai Sebelum Penambahan <i>Tie Switch</i>	Analisis Nilai Setelah Penambahan <i>Tie Switch</i>
I	147.856.713,8	147.856.713,8
II	358.711.577,5	336.979.410
III	982.870.449,7	701.717.667,3
IV	267.868.727,3	257.938.231,8
V	624.631.321,1	624.631.321,1
VI	78.327.787,5	78.327.787,5
VII	164.048.447,8	164.048.447,8
VIII	154.294.475,9	154.294.475,9
<b>TOTAL</b>	<b>2.778.609.501</b>	<b>2.465.794.065</b>

Dari hasil perbandingan diatas dapat dilihat bahwa terjadi penghematan yang cukup besar setelah penambahan *tie switch*. Dimana dari perhitungan didapat penghematan sebesar Rp 312.815.436 selama satu tahun. Sehingga selain meningkatkan keandalan suatu sistem distribusi pada Penyulang Pujon, penambahan *tie switch* juga dapat menekan kerugian PLN sekitar 11,26% dari angka yang didapat apabila tidak ada penambahan *tie switch* yang bekerja secara *normally open* pada Penyulang Pujon.

## V. PENUTUP

Kesimpulan dari analisis yang telah dilakukan yaitu :

1. Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode *Section Technique* nilai SAIFI dan SAIDI masih dibawah standar yang ditetapkan oleh PLN pada SPLN 68-2: 1986, yakni 29.7 kali/tahun dan 194.7 jam/tahun
2. Semakin banyak komponen distribusi pada satu area dapat menurunkan indeks keandalan. Hal ini terlihat pada *section III* yang merupakan *section* dengan peralatan distribusi terbanyak, dimana nilai SAIFI dan SAIDI diperoleh 2,029775381 dan 0,022059695 terbesar dibanding *section* lainnya
3. Penurunan laju kegagalan dapat digunakan sebagai salah satu cara untuk meningkatkan indeks keandalan suatu sistem distribusi.
4. Kondisi *tie switch* di sistem distribusi listrik sangatlah penting dan berpengaruh terhadap indeks keandalan maupun faktor ekonomis dalam perhitungan rugi-rugi yang dialami PLN berdasarkan energi yang tidak tersalurkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]Pabla, AS. 1981. "*Electric Power Distribution Systems*". Tata McGraw-Hill. New Delhi.
- [2]Xie K., Zhou J., dan Billinton R. 2008. "*Fast Algorithm for the Reliability Evaluation of Large Scale Electircal Distribution Networks Using the Section Technique*". IET Gener.Transmission.Distrib. Vol. 2, No.5, pp. 701-707.
- [3]Pennathur, Krish. 1988. *Value Analysis*. Balhrisna Chitalia. Bombay.

- [4] Rabah, M. dan Djamil. "*Economic Aspect of Distribution Power System Reliability*". 2002. University of Bejaia, 06000 Algeria
- [5]SPLN No. 59 : 1985. 1985. "Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV". Perusahaan Umum Listrik Negara. Jakarta.
- [6]Republik Indonesia. 2014. Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan oleh PT. PLN.Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia
- [7]SPLN. "Tarif Dasar Listrik 2003". Perusahaan Umum Listrik Negara. 2003.