

ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK PENYULANG JEMBER KOTA DAN KALISAT DI PT. PLN APJ JEMBER

Martha Yudistya Perdana¹, Ir. Teguh Utomo, MT.², Dr. Ir. Harry Soekotjo D., M.Sc.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: danz.muhammad@yahoo.com

ABSTRAK

PT. PLN Jember mempunyai 3 gardu induk (GI), yaitu GI Jember, Tanggul dan Lumajang. Penyulang Jember Kota dan Kalisat disuplai tenaga dari satu gardu induk (GI) yaitu GI Jember. Penyulang Jember Kota mempunyai jumlah pelanggan sebanyak 19710 pelanggan. Penyulang ini mempunyai dua jenis kabel, yaitu kabel bawah tanah dan kabel saluran udara dengan panjang kabel bawah tanah 0.15 kms kabel saluran udara 172 kms. Penyulang Kalisat mempunyai jumlah pelanggan sebanyak 37119 pelanggan. Penyulang ini mempunyai dua jenis kabel, yaitu kabel bawah tanah dan kabel saluran udara dengan panjang kabel bawah tanah adalah 0.9 kms dan kabel saluran udara adalah 137,5 km.

Kerapnya PMT trip di Penyulang Jember Kota dan Penyulang Kalisat menyebabkan Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik yang rendah, sehingga citra PLN menjadi tidak baik dihadapan pelanggannya. Sejalan dengan itu perlu dikembangkan suatu cara penilaian terhadap keandalan penyulang yang berkaitan erat dengan tingkat mutu pelayanan PLN. Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik antara lain disebabkan oleh banyaknya gangguan, lamanya pemadaman yang diakibatkan oleh trip-nya penyulang, kondisi jaringan penyulang, dan juga jenis penghantar yang digunakan.

Pada penyulang Jember Kota dan Kalisat, seringkali terjadi pemadaman yang mengakibatkan keandalan system menjadi rendah. Untuk mengukur ineks keandalan tersebut biasanya digunakan indicator SAIDI (*Sistem Average Interruption Duration Index*) yaitu rata-rata durasi pemadaman sistem dan indicator SAIFI (*Sistem Average Interruption Frequency Index*) yaitu rata-rata frekwensi padamnya system.

Penyulang Jember Kota mempunyai nilai realisasi SAIDI per tahun sebesar 3,987 jam/tahun, dan SAIFI per tahun sebesar 8,343 pemadaman/tahun, dalam arti bahwa SAIDI-SAIFI di penyulang Jember Kota relatif sedikit dari nilai realisasi yang ditargetkan. Hal ini menunjukkan bahwa penyulang Jember Kota mempunyai tingkat keandalan yang tinggi.

Penyulang Kalisat mempunyai nilai realisasi SAIDI per tahun sebesar 8,345 jam/tahun, dan SAIFI per tahun sebesar 7,085 pemadaman/tahun, dalam arti bahwa SAIDI-SAIFI di penyulang Kalisat relatif sedikit

dari nilai realisasi yang ditargetkan. Hal ini menunjukkan bahwa penyulang Kalisat mempunyai tingkat keandalan yang tinggi

Kata kunci : keandalan laju kegagalan, laju perbaikan, nilai SAIDI-SAIFI.

I. PENDAHULUAN

Kualitas energi listrik yang diterima konsumen sangat dipengaruhi oleh keandalan sistem pendistribusiannya. Keandalan menggambarkan suatu ukuran tingkat ketersediaan/pelayanan penyediaan tenaga listrik dari sistem ke pemakai/pelanggan.

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik sangat dipengaruhi oleh konfigurasi sistem, alat pengaman yang dipasang, dan sistem proteksinya.

Konfigurasi yang tepat, peralatan yang handal serta pengoperasian sistem yang otomatis akan memberikan unjuk kerja sistem distribusi yang baik.

Indeks keadalan yang ditentukan dari laju kegagalan, laju perbaikan, analisis nilai SAIDI-SAIFI untuk tiap penyulang. Beberapa variabel lain yang mempengaruhi indeks keandalan adalah panjang gelombang dan kerapatan beban (banyaknya pengguna), konfigurasi saluran. (*Short, 1966*). Salah satu metode untuk meningkatkan keandalan adalah dengan menambahkan fuse, sectionalizer, atau recloser. (*Short, 1966*).

Makalah ini membahas analisis keandalan sistem distribusi pada 2 penyulang yaitu penyulang Jember Kota dan penyulang Kalisat yang keduanya menggunakan jaringan distribusi tipe radial Gardu Induk Jember.

II. DASAR TEORI

A. Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan adalah kemungkinan dari sistem untuk dapat bekerja optimal untuk waktu yang telah ditentukan dalam berbagai kondisi.

Keandalan sistem distribusi erat kaitannya dengan masalah pemutusan beban yang merupakan akibat adanya gangguan pada sistem. Keandalan sistem distribusi berbanding terbalik dengan tingkat pemutusan beban sistem. Semakin tinggi frekwensi

pemutusan beban pada sistem, maka keandalan sistem semakin berkurang, begitu juga sebaliknya.

Pelayanan tenaga listrik sangat menentukan efektifitas kegiatan masyarakat. Untuk dapat mengetahui dari mutu pelayanan tersebut, maka kita perlu mengetahui keandalan dari sistem tersebut dalam menanggapi atau melayani konsumen. Pengertian keandalan itu sendiri menurut sudut pandang kelistrikan adalah kemungkinan dari suatu atau kumpulan benda akan memuaskan kerja pada keadaan tertentu dan periode waktu yang telah ditentukan.

Untuk mengetahui keandalan dari suatu distribusi diantaranya dapat dilakukan dengan menghitung rata-rata durasi frekwensi gangguan (*interruptions*) yang sering terjadi pada beban (*customer*) atau sering kita sebut dengan perhitungan SAIDI-SAIFI. Tentu saja sistem dengan tingkat keandalan yang rendah bisa merugikan pihak konsumen dan pihak produsen juga, apalagi pelanggan dengan konsumsi daya yang tinggi untuk produksi, padamnya sistem bisa berpengaruh pada proses produksi.

Oleh karena itu dibutuhkan data-data dari setiap gangguan yang terjadi pada pelanggan, untuk menunjukkan tingkat keandalan sistemnya, selanjutnya data tersebut bisa dianalisis untuk meningkatkan keandalan dari sistem yang ada. Data-data keandalan antara lain sebagai berikut :

1) Laju kegagalan (λ)

Laju kegagalan adalah banyaknya kegagalan operasi yang terjadi pada suatu alat dalam suatu periode tertentu. Bila dimisalkan (f) adalah jumlah kegagalan selama selang waktu percobaan dan total waktu percobaannya adalah (T), maka laju keagalannya adalah :

$$\lambda = \frac{f}{T}$$

Dimana:

λ = Angka kegagalan

F = Jumlah kegagalan selama selang waktu percobaan

T = Jumlah lamanya selang waktu

Dalam perhitungannya dapat dengan cara per tahun, per bulan, dll. Pada sistem distribusi biasanya dipakai perhitungan per tahun. Dengan perhitungan angka kegagalan rata - rata :

$$\lambda = \sum_i \lambda_i$$

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah Total Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Total Pelanggan Yang Dilayani}} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i}$$

2) Laju perbaikan (r)

Laju perbaikan adalah waktu yang dibutuhkan suatu alat yang gagal atau keluar untuk beroperasi

kembali dengan cara diganti atau diperbaiki, dengan satuan jam. Dalam perhitungannya untuk mendapatkan waktu kegagalan rata-rata yang dialami oleh sebuah alat, maka :

$$r = \frac{U}{\lambda} = \frac{\sum_i \lambda_i r_i}{\sum_i \lambda_i}$$

Dimana :

U = Waktu kegagalan per tahun (Jam/tahun).

λ = Angka kegagalan per tahun (Gangguan/tahun)

r = Waktu kegagalan (Jam)

3) Laju perbaikan per tahun (U)

Laju perbaikan per tahun adalah banyaknya waktu perbaikan rata - rata per tahun pada suatu alat. Diperoleh dengan cara mengalikan angka kegagalan dan waktu keluar alat tersebut, maka :

$$U = \sum_i \lambda_i r_i$$

Dimana :

U = Waktu kegagalan per tahun (Jam/tahun).

λ = Angka kegagalan per tahun (Gangguan/tahun)

r = Waktu kegagalan (Jam)

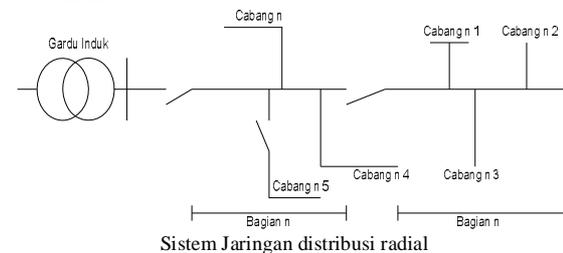
$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah Total Durasi Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Total Pelanggan Yang Dilayani}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i}$$

Dimana :

U_i = Waktu keluar per tahun pada bagian i

N_i = Jumlah pelanggan pada bagian i

4) Laju perbaikan (r), laju kegagalan (λ), Laju perbaikan per tahun (U) pada penyulang sistem radial



Gambar di atas merupakan diagram satu jaringan distribusi radial. Cara perhitungan laju perbaikan (r), laju kegagalan (λ), laju perbaikan per tahun (U) pada penyulang sistem radial adalah sebagai berikut :

Laju kegagalan (λ) penyulang percabangan

$$\lambda_n = \lambda_{Bagian\ n} + \lambda_{Bagian\ n1} + \lambda_{Cabang\ n}$$

Laju Kegagalan (λ) penyulang total

$$\lambda_n = \frac{\lambda_n + \lambda_{n1} + \lambda_{n2} + \lambda_{n3} + \lambda_{n4} + \lambda_{n5}}{\sum Cabang_n}$$

Laju perbaikan (r) penyulang total

$$r_{n\ total} = \frac{r_n + r_{n1} + r_{n2} + r_{n3} + r_{n4} + r_{n5}}{\sum Cabang_n}$$

Laju perbaikan per tahun (U) penyulang percabangan

$$U_n = \lambda_n \cdot r_n$$

Laju perbaikan per tahun (U) penyulang total

$$U_{n\ total} = \frac{U_n + U_{n1} + U_{n2} + U_{n3} + U_{n4} + U_{n5}}{\sum Cabang_n}$$

5) SAIDI (*Sistem Average Interruption Duration Index*)

SAIDI atau *Sistem Average Interruption Duration Index* merupakan indeks rata - rata dari jumlah durasi gangguan pada pelanggan selama 1 tahun. Indeks ini ditentukan dengan membagi jumlah seluruh durasi gangguan pada pelanggan tiap tahun dengan total jumlah pelanggan yang dilayani dengan hasil jam/pelanggan, dengan rumus :

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^m C_i t_i}{N} \text{ Jam / tahun}$$

Dimana :

m = Jumlah pemadaman dalam satu tahun

t_i = Lamanya tiap - tiap pemadaman

C_i = Jumlah konsumen yang mengalami pemadaman

N = Jumlah konsumen yang dilayani

6) SAIFI (*Sistem Average Interruption Frequency Indeks*)

SAIFI atau *Sistem Average Interruption Frequency Index* merupakan indeks rata - rata dari jumlah gangguan per tahun. Indeks ini ditentukan dengan cara membagi jumlah gangguan per tahun yang terjadi pada pelanggan yang dilayani dengan jumlah total keseluruhan pelanggan yang dilayani.

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^m C_i}{N} \text{ Pemadaman / tahun}$$

Dimana :

m = Jumlah pemadaman dalam satu tahun

N = Jumlah konsumen yang dilayani

Tabel 1. Operasi Kerja dan Pemulihan Pelayanan

Index	Operasi kerja	Waktu/jam
A	Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang	0,5

	dibutuhkan untuk perjalanan ke G.1	
A	Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke alat penutup kembali	1
B	Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya	0,16
B	Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya untuk sistem spot network	0,2
C	Waktu yang dibutuhkan untuk memeriksa indicator gangguan (untuk sistem spindle)	0,083
D	Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup sakelar beban/sakelar pisah	0,25
E	Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup sakelar beban/sakelar pisah	0,15
F	Waktu yang dibutuhkan untuk mencari lokasi gangguan pada kabel bawah tanah	3
G	Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kabel saluran bawah tanah	5
H	Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kabel saluran bawah tanah	10
I	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti atau memperbaiki pemutus tenaga, sakelar beban, penutup kembali, atau sakelar pisah	10
J	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti penyambung kabel (bulusan) untuk kabel yang berisolasi kertas	15
K	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti trafo distribusi	10
L	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti pelindung jaringan	10
M	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/memperbaiki bus tegangan rendah	10

(Sumber : SPLN 59, 1985 : 8)

Tabel 2. Standarisasi nilai SAIFI dan SAIDI (Short, 1966)

	SAIFI, No. of			SAIDI, No. of		
	Interruotion/Year			Interruotion/Year		
	25%	50%	75%	25%	50%	75%
IEE Std. 1366 - 2000	0,90	1,10	1,45	0,89	1,50	2,30
EEl (1999) (<i>Excludes storms</i>)	0,92	1,32	1,71	1,16	1,16	2,23
EEl (1999) (<i>with storms</i>)	1,11	1,33	2,15	1,36	1,36	4,38
CEA (2001) (<i>with storms</i>)	1,03	1,95	3,16	0,73	0,73	3,28
PA Consulting (2001) [<i>with storms</i>]				1,55	1,55	8,35
IP&L Large City Comparison	0,72	0,95	1,15	1,02	1,02	2,41
<i>Indianapolis Power & Light, 2000)</i>						

Keterangan : 25% is the lower quartile, 50% is the median, 75% is the upper quartile

B. Jaringan Tegangan Menengah (JTM)

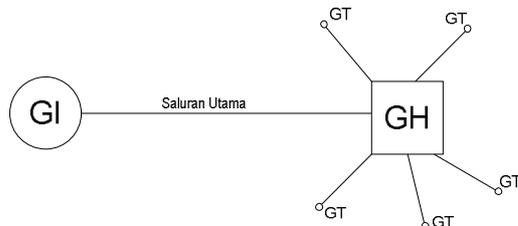
Jaringan Pada Sistem Distribusi tegangan menengah (Primer 20kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan Lingkaran (Loop), dan Jaringan Spindel. Penyulang Jember Kota dan penyulang Kalisat sama-sama menggunakan system distribusi primer radial.

Sistem primer radial merupakan sistem yang paling sederhana dibandingkan dengan sistem lainnya dan banyak sekali digunakan, serta luas pemakaiannya. Terutama untuk mensuplai daerah beban yang mempunyai kerapatan beban yang rendah atau *medium*.

Sistem ini di *supply* melalui satu jalur saja tanpa adanya jalur cadangan, jadi apabila terjadi gangguan pada salah satu beban yang menyebabkan pengaman bekerja, maka secara otomatis seluruh *supply* ke beban yang ada akan mati secara keseluruhan.

Sistem ini dipergunakan untuk jaringan yang tidak membutuhkan tingkat keandalan yang tinggi, karena sistem ini mempunyai tingkat keandalan yang rendah serta mempunyai kerugian jaringan yang sangat besar, namun sistem ini sangat mudah untuk dioperasikan.

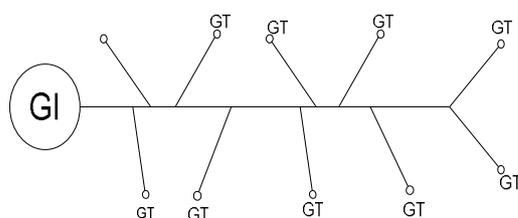
Sistem ini mempunyai 2 bentuk sistem yaitu bentuk bintang (*star network*) dan bentuk percabangan (*branch network*).



Gambar 1 Sistem primer radial bentuk bintang

Keterangan :

- GI : Gardu Induk
- GH : Gardu Hubung
- GT : Gardu Trafo



Gambar 2 Sistem primer radial bentuk percabangan

Keterangan :

- GI : Gardu Induk
- GT : Gardu Trafo

C. Proteksi Distribusi Tenaga Listrik

Dalam distribusi, pembangkitan, dan transmisi energi listrik, gangguan selalu terjadi. Pada umumnya gangguan tersebut merupakan hubung singkat, baik hubung singkat antar fasa atau fasa dengan tanah atau keduanya. Gan

gguan itu menimbulkan arus yang besar dan dapat merusak peralatan sehingga diperlukan pengaman untuk mengamankan peralatan sehingga diperlukan pengaman untuk mengamankan peralatan dan sistem yang ada. Beberapa pengaman yang sering digunakan antara lain:

1. Fuse Cut out/Pelebur.
2. Arester.
3. Pemisah (PMS)
4. Pemutus Tenaga (PMT).
5. Recloser.

1) Fuse Cut Out/Pelebur

Fungsi umum pelebur dalam suatu rangkaian listrik adalah setiap saat menjaga atau mengamankan rangkaian berikut peralatan atau perlengkapan yang tersambung padanya dari kerusakan, dalam batas nilai pengenalnya. Kesempurnaan kerja pelebur tidak hanya tergantung ketelitian pembuatnya, tetapi juga pada ketepatan penggunaannya dan perhatian atau perawatan yang diberikan padanya setelah dilakukan pemasangan. Jika pelebur tidak secara tepat digunakan dan dipelihara, dapat menimbulkan kerusakan berarti pada peralatan yang dilindungi.

Pengaman ini banyak digunakan pada sistem jaringan distribusi 20 kV karena disamping harganya murah juga mudah dalam pemasangannya dan dalam pengoperasiannya. Kelemahan dan fuse ialah penggunaannya terbatas pada daya yang kecil. Fuse ini dilengkapi pemadam busur api yang timbul pada saat terjadi gangguan.

2) Arrester

Arrester adalah alat proteksi bagi peralatan listrik terhadap tegangan lebih, yang disebabkan oleh surja atau petir atau surja hubung (*switch surge*). Alat ini bersifat sebagai *by-pass* di sekitar isolasi yang membentuk jalan dan mudah dilalui oleh arus kilat sistem pentanahan sehingga tidak menimbulkan tegangan lebih tinggi dan tidak merusak isolasi peralatan listrik.

Jadi, pada keadaan normal arrester berlaku sebagai isolator, bila timbul tegangan surja, alat ini bersifat sebagai konduktor yang tahannya relative rendah. Sehingga dapat melewati arus yang tinggi ke tanah. Setelah surja hilang, arrester harus cepat kembali menjadi isolator.

3) Pemisah (PMS) atau Disconnecting Switch (DS)

PMS adalah nama lain dari *Insulating (disconnecting) switch*. OMS ini hanya boleh dioperasikan dalam keadaan tidak berbeban. Posisi pisau-pisau (ujung kontak) PMS harus dapat dilihat secara visual kedudukannya, baik dalam kondisi menutup atau terbuka. Hal ini dilakukan untuk keselamatan pengoperasian.

Pemisah (PMS) atau *Disconnecting Switch (DS)*, adalah peralatan hubung yang berfungsi untuk memisahkan satu rangkaian dengan rangkaian yang lain pada kondisi tidak berbeban. Pada PMS tidak ada proses peredaman busur api listrik.

Dalam pelaksanaan penggunaan pada rangkaian sistem bahwa PMT dan PMS saling berpasangan sesuai dengan peranannya. Apabila menghubungkan dari jaringan (rel) ke beban maka PMS dahulu yang dioperasikan, kemudian berikutnya PMT dioperasikan. Demikian sebaliknya apabila akan melepas dari jaringan ke beban, maka PMT dimatikan (*off*) terlebih dahulu, dan kemudian PMS dimatikan. Urutan operasi antara PMT dan PMS 'tidak boleh salah'. Hal ini berakibat terbakarnya PMS, karena PMS berfungsi memisahkan rangkaian pada kondisi tanpa beban (tidak ada arus).

4) Pemutus Tenaga (PMT)

PMT digunakan memutus tenaga listrik, semakin tinggi tegangan yang digunakan, maka semakin sulit proses pemutusan rangkaian listriknya. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi pula tegangan *transient* yang terjadi pada waktu rangkaian terputus.

Dalam prakteknya, sebuah PMT umumnya dikombinasikan dengan 3 PMS yaitu 2 PMS di depan dan di belakang PMT dan 1 buah PMS tanah yang digunakan untuk mentanahkan bagian instalasi yang akan dibebaskan dari tegangan yang selanjutnya disentuh agar aman untuk dioperasikan.

5) Recloser

Recloser adalah peralatan proteksi arus lebih secara otomatis membuka menutup kembali dan membuka terus (*lock out*) setelah beberapa kali untuk menghilangkan gangguan sementara atau kegagalan isolasi permanen. Recloser dapat bekerja secara otomatis untuk mengamankan sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat. Bekerjanya untuk menutup balik dan membuka secara otomatis dan dapat diatur selang waktunya.

Gangguan yang bersifat temporer tidak menyebabkan recloser sampai *lock out*. Apabila gangguan bersifat permanen, maka setelah membuka dan menutup balik sebanyak setting

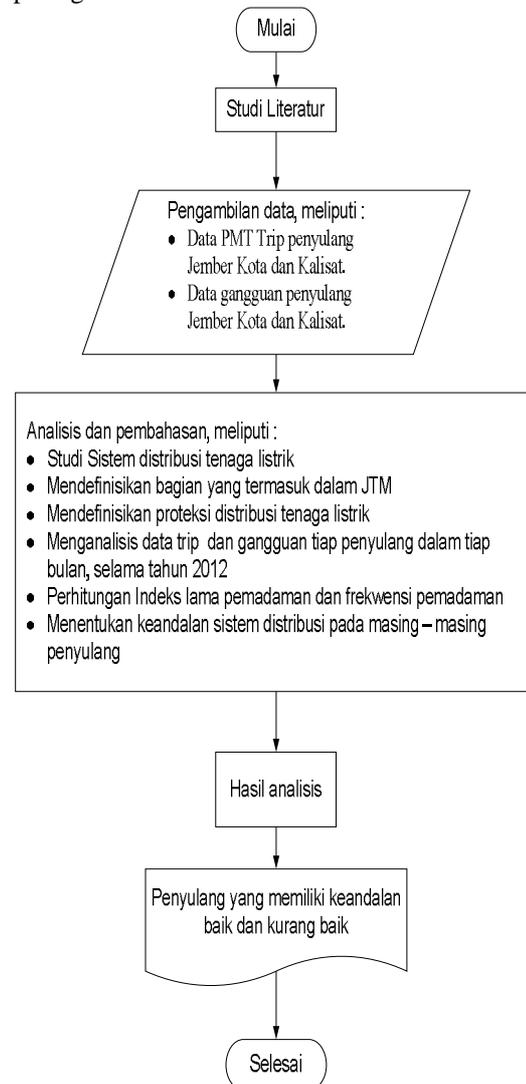
yang ditentukan sebelumnya, recloser akan *lock out* sehingga seksi yang dianggap masih ada gangguan akan terisolasi.

III. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam pembuatan artikel ini dimulai dengan survey lapangan, identifikasi masalah, serta studi literature. Sumber berasal dari data primer yang didapat dari sumber pertama baik dari instansi ataupun perorangan, serta data sekunder merupakan data primer yang telah diolah lebih lanjut dan disajikan.

Pengumpulan data pada masing-masing penyulang yang berkaitan dengan indeks keandalan, antara lain energi beban, beban, lama padam, jumlah dan durasi pelanggan padam, dan penyebab gangguan. Kemudian melakukan pengamatan dan pengambilan data Gardu Induk Jember.

Metodologi yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 Diagram alir perhitungan

IV. HASIL

Penyulang JBRK mempunyai dua jenis kabel, yaitu kabel bawah tanah dan kabel saluran udara. Kabel bawah tanah yaitu XLPE dan kabel saluran udara A3C, BC, A3Cs. Penyulang KLST mempunyai dua jenis kabel, yaitu kabel bawah tanah dan kabel saluran udara. Kabel bawah tanah yaitu XLPE dan kabel saluran udara A3C.

Tabel 4. Data jenis dan panjang penghantar

Penyulang	Jenis Penghantar	Panjang (kms)
JBRK	XLPE. 240	0.15
	A3CS. 150	7.00
	A3C. 2x70	18.00
	A3C.70	132.00
	BC.35	15.00
Penyulang	Jenis Penghantar	Panjang (kms)
KLST	XLPE. 241	0.9
	A3C. 150	31.00
	A3C. 70	91.00
	A3C. 35	15.50

- A. Penyulang Jember Kota
 Panjang SKTM penyulang = 0.15 kms
 Panjang SUTM penyulang = $\frac{127.00}{15} +$
 Total panjang penyulang = 172, 15 kms
- B. Penyulang Kalisat
 Panjang SKTM penyulang = 0.90 kms
 Panjang SUTM penyulang = $\frac{137.50}{15} +$
 Total panjang penyulang = 138, 40 kms

A. Perhitungan Laju Kegagalan (λ) dan Laju perbaikan (r) pada tiap penyulang.

1) Jember Kota

Tabel 5. Keandalan penyulang JBRK cabang 1

Komponen	Km/Unit	Perkiraan Komp. Keluar	A (gangguan /tahun)	r (jam)	U (jam /tahun)
	a	b	axb	c	(axb)xc
SUTM	1,396	0,2	0,2792	3	0,8376
Trafo Distribusi	2	0,005	0,0	10	0,1
Rel T.R	2	0,001	0,002	10	0,02
Total			0,2912	32,885	0,9576

Tabel 6. Keandalan penyulang JBRK cabang 1

Komponen	Km/Unit	Perkiraan Komp. Keluar	A (gangguan /tahun)	r (jam)	U (jam /tahun)
	a	b	axb	c	(axb)xc
SUTM	1,905	0,2	0,381	3	1,143
Trafo Distribusi	4	0,005	0,02	10	0,2
Rel T.R	4	0,001	0,004	10	0,04
Total			0,405	34,148	1,383

Tabel 7. Keandalan penyulang JBRK bag 1

Komponen	Km/Unit	Perkiraan Komp. Keluar	A (gangguan /tahun)	R (jam)	U (jam /tahun)
	a	b	axb	c	(axb)xc
SUTM	5,971	0,2	11,942	3	35,826
Trafo Distribusi	13	0,005	0,065	10	0,65
Rel T.R	13	0,001	0,0013	10	0,013
LBS	1	0,003	0,003	10	0,03
Total			12,635	33,839	42,756

Laju kegagalan (λ)

Berdasarkan tabel 7 dan tabel 5, maka dapat dihitung λ_1 (laju kegagalan percabangan 1) yaitu:

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= \lambda_{BAG 1} + \lambda_{CAB 1} \\ &= 1,2635 + 0,2912 \\ &= 1,5547 \text{ gangguan/tahun}\end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 7 dan tabel 6, maka dapat dihitung λ_2 (laju kegagalan percabangan 2) yaitu:

$$\begin{aligned}\lambda_2 &= \lambda_{BAG 1} + \lambda_{CAB 2} \\ &= 1,2635 + 0,405 \\ &= 1,6685 \text{ gangguan/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{penyulang}} &= \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\text{jumlah cabang}} \\ &= \frac{1,5547 + 1,6685}{2}\end{aligned}$$

$$= 1,6116 \text{ gangguan/tahun}$$

Laju perbaikan (r)

Berdasarkan tabel 7 dan tabel 5, maka dapat dihitung r_1 (laju perbaikan percabangan 1) yaitu:

$$\begin{aligned}r_1 &= \frac{\lambda_{BAG 1} r_{BAG 1} + \lambda_{CAB 1} r_{CAB 1}}{\lambda_1} \\ &= \frac{(1,2635 \times 3,3839) + (0,2912 \times 3,2885)}{1,5547}\end{aligned}$$

$$= 3,3661 \text{ Jam}$$

Berdasarkan tabel 7 dan tabel 6, maka dapat dihitung r_2 (laju perbaikan percabangan 2) yaitu:

$$r_2 = \frac{\lambda_{BAG 1} r_{BAG 1} + \lambda_{CAB 1} r_{CAB 1}}{\lambda_2}$$

$$= \frac{(1,2635 \times 3,3839) + (0,405 \times 3,4148)}{1,5547}$$

$$= 3,6396 \text{ Jam.}$$

$$r_{sistem} = \frac{r_1 + r_2}{\text{Jumlah cabang}}$$

$$= \frac{3,3661 + 3,6396}{2}$$

$$= 3,5029 \text{ Jam}$$

Laju perbaikan per tahun (U)

Berdasarkan tabel 7 dan tabel 5, maka dapat dihitung U, (laju perbaikan per tahun percabangan 1) yaitu :

$$U_1 = \lambda_1 r_1$$

$$= 1,5547 \times 3,3661$$

$$= 5,2333 \text{ Jam/tahun}$$

Berdasarkan tabel 7 dan tabel 6, maka dapat dihitung U_2 (laju perbaikan per tahun percabangan 2) yaitu :

$$U_2 = \lambda_2 r_2$$

$$= 1,6685 \times 3,66396$$

$$= 6,0726 \text{ Jam/tahun}$$

$$U_{\text{penyulang}} = \frac{U_1 + U_2}{\text{Jumlah cabang}}$$

$$= \frac{5,2333 + 6,0726}{2}$$

$$= 5,653 \text{ Jam/tahun}$$

$$= 5,653 \text{ Jam/tahun}$$

2) Kalisat

Tabel 8. Keandalan penyulang KLST cabang 1

Komponen	Km /Unit	Perkiraan Komp. Keluar	A (gangguan /tahun)	r (jam)	U (jam /tahun)
	a	b	axb	c	(axb)xc
SUTM	1,282	0,2	0,2564	3	0,7692
Trafo Distribusi	3	0,005	0,015	10	0,15
Rel T.R	3	0,001	0,003	10	0,03
Total			0,2744	34,592	0,9492

Tabel 9. Keandalan penyulang KLST cabang 2

Komponen	Km /Unit	Perkiraan Komp. Keluar	A (gangguan /tahun)	r (jam)	U (jam /tahun)
	a	b	axb	c	(axb)xc
SUTM	6316	0,2	1.2632	3	3.7896
Trafo Distribusi	8	0,005	0,04	10	0,4
Rel T.R	8	0,001	0,008	10	0,08
Total			1.3112	32562	4.2696

Tabel 10. Keandalan penyulang KLST cabang 3

Komponen	Km /Unit	Perkiraan Komp. Keluar	A (gangguan /tahun)	r (jam)	U (jam /tahun)
	a	b	axb	c	(axb)xc
SUTM	2,425	0,2	0,485	3	1,455
Trafo Distribusi	3	0,005	0,015	10	0,15
Rel T.R	3	0,001	0,003	10	0,03
Total			0,503	32,505	1,635

Tabel 11. Keandalan penyulang KLST bag 1

Komponen	Km /Unit	Perkiraan Komp. Keluar	A (gangguan /tahun)	r (jam)	U (jam /tahun)
	a	b	axb	c	(axb)xc
SUTM	8370	0,2	167400	3	5022
Trafo Distribusi	8	0,005	0,015	10	0,15
Rel T.R	8	0,001	0,003	10	0,03
LBS	1	0,003	0,003	10	0,03
Total			1749	29914	5232

Laju kegagalan (λ)

Berdasarkan tabel 11 dan tabel 8, maka dapat dihitung λ_1 (laju kegagalan percabangan 1) yaitu :

$$\lambda_1 = \lambda_{BAG 1} + \lambda_{CAB 1}$$

$$= 1,749 + 0,274$$

$$= 2,023 \text{ gangguan/tahun}$$

Berdasarkan tabel 11 dan tabel 9, maka dapat dihitung λ_2 (laju perbaikan percabangan 2) yaitu :

$$\lambda_2 = \lambda_{BAG 1} + \lambda_{CAB 2}$$

$$= 1,749 + 1,311$$

$$= 3,06 \text{ gangguan/tahun}$$

Berdasarkan tabel 11 dan tabel 10, maka dapat dihitung r_3 (laju kegagalan percabangan 3) yaitu :

$$\lambda_3 = \lambda_{BAG 1} + \lambda_{CAB 3}$$

$$= 1,749 + 0,503$$

$$\lambda_{\text{penyulang}} = \frac{2,252 \text{ gangguan/tahun}}{2,023+3,06+2,252} = 2,445 \text{ gangguan/tahun}$$

Laju perbaikan (r)

Berdasarkan tabel 11 dan tabel 8, maka dapat dihitung U1 (laju perbaikan per tahun percabangan 1) yaitu :

$$r_1 = \frac{\lambda_{BAG1} r_{BAG1} + \lambda_{CAB1} r_{CAB1}}{\lambda_1} = \frac{(1,749 \times 2,9914) + (0,2744 \times 3,4592)}{2,023} = 3,0554 \text{ jam.}$$

Berdasarkan tabel 11 dan tabel 9, maka dapat dihitung r₂ (laju perbaikan per tahun percabangan 2) yaitu :

$$r_2 = \frac{\lambda_{BAG1} r_{BAG1} + \lambda_{CAB2} r_{CAB2}}{\lambda_2} = \frac{(1,749 \times 2,9914) + (1,3112 \times 3,2562)}{2,023} = 4,6967 \text{ Jam.}$$

Berdasarkan tabel 11 dan tabel 10, maka dapat dihitung r₃ (laju perbaikan per tahun percabangan 3) yaitu :

$$r_3 = \frac{\lambda_{BAG1} r_{BAG1} + \lambda_{CAB3} r_{CAB3}}{\lambda_3} = \frac{(1,749 \times 2,9914) + (0,503 \times 3,2505)}{2,023} = 3,3944 \text{ Jam.}$$

$$r_{\text{sistem}} = \frac{r_1 + r_2 + r_3}{\text{Jumlahcabang}} = \frac{3,0554 + 4,6967 + 3,3944}{3} = 3,7155 \text{ Jam}$$

Berdasarkan tabel 11 dan tabel 8, maka dapat dihitung U1 (laju perbaikan per tahun percabangan 1) yaitu :

$$U1 = \lambda_1 r_1 = 2,023 \times 3,0554 = 6,181 \text{ Jam/tahun}$$

Berdasarkan tabel 11 dan tabel 9, maka dapat dihitung U2 (laju perbaikan per tahun percabangan 2) yaitu :

$$U2 = \lambda_2 r_2 = 3,06 \times 4,6967 = 14,3719 \text{ Jam/tahun}$$

Berdasarkan tabel 11 dan tabel 10, maka dapat dihitung U3 (laju perbaikan per tahun percabangan 3) yaitu :

$$U3 = \lambda_3 r_3 = 2,252 \times 3,3944 = 7,6442 \text{ Jam/tahun}$$

Perhitungan SAIDI - SAIFI Penyulang Kalisat
Data PMT trip bulan Juli 2012

Tanggal	lama padam (jam)	energi hilang (kWh)	beban (A)	penyebab gangguan	Lokasi
6-Juli - 2012	0.02	144	156	Belum Diketahui	Belum Diketahui
23-Juli - 2012	0.06	352	127	Belum Diketahui	Belum Diketahui
28-Juli - 2012	0.04	375	203	Belum Diketahui	Belum Diketahui
TOTAL	0.12	871	486		

Data gangguan bulan Juli 2012

Tanggal	Energi Hilang (kWh)	Beban (A)	Lama Padam (jam) (a)	Pelanggan Padam (b)	Jam Pelanggan (a)x(b)	Penyebab Gangguan
06-Juli 2012	144	156	0.02	37119	742,38	Belum ditemukan
23-Juli 2012	352	127	0.06	37119	2227,14	Belum ditemukan
28-Juli 2012	375	203	0.04	37119	1484,76	Belum ditemukan
Total	871	486	0.12	111357	4454,28	

Perhitungan nilai realisasi SAIDI dan SAIFI pada bulan Juli adalah :

$$\text{SAIDI} = \frac{4454,28}{37119} = 0,12 \text{ jam/pelanggan/bulan}$$

$$\text{SAIFI} = \frac{111357}{37119} = 3 \text{ pemadaman/pelanggan/bulan}$$

Analisis :

Akibat gangguan yang terjadi pada penyulang Kalisat pada bulan Juli adalah :

Energi Hilang sebesar = 871 kWh

Jumlah total pelanggan padam adalah = 11357 pelanggan

Gangguan yang terjadi pada bulan ini semuanya bersifat temporer yaitu relai bekerja tanpa penyebab yang jelas, PMT dapat masuk kembali.

No	Penyulang	Indikator	Realisasi	Target PLN
1	JBRK	SAIDI	3,987	4,515
		SAIFI	8,343	14,610
2	KLS	SAIDI	8,345	4,515
		SAIFI	7,850	14,610

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan perhitungan dan analisis yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai SAIDI penyulang Jember Kota per tahun sebesar 3,897 jam/tahun, dan SAIFI per tahun sebesar 8,343 pemadaman/tahun. Sedangkan standart PLN untuk SAIDI 4,515 jam / tahun dan SAIFI 14,610 pemadaman / tahun.
2. Berdasarkan perhitungan dari SPLN pada penyulang Jember Kota, laju kegagalan per tahun (λ) sebesar 1,6116 gangguan/tahun dengan rata – rata laju perbaikan per tahun (U) 5,653 jam / tahun. Sedangkan persentase jumlah gangguan temporer pada penyulang Jember Kota sebesar 80,95% dan gangguan permanen sebesar 19,05% dari total gangguan.
3. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai SAIDI penyulang Kalisat per tahun sebesar 8,345 jam/tahun, dan SAIFI per tahun sebesar 7,850 pemadaman/tahun. Sedangkan standart PLN untuk SAIDI 4,515 jam/tahun dan SAIFI 14,610 pemadaman / tahun.
4. Berdasarkan perhitungan dari SPLN pada penyulang Kalisat, laju kegagalan per tahun (λ) sebesar 2,445 gangguan/tahun dengan rata – rata laju perbaikan per tahun (U) 9,399 jam/tahun. Sedangkan persentase jumlah gangguan temporer pada penyulang Jember Kota sebesar 74,16% dan gangguan permanen sebesar 25,84% dari total gangguan.
5. Pada penyulang Jember Kota nilai realisasi SAIDI sebesar 3,897 jam/tahun sedangkan SAIFI sebesar 8,343 pemadaman/tahun, nilai tersebut lebih kecil dibandingkan dengan target dari PLN APJ Jember untuk SAIDI sebesar SAIDI 4,515 jam/tahun dan SAIFI 14,610 pemadaman/tahun, hal ini menunjukkan bahwa penyulang Jember Kota mempunyai tingkat keandalan yang tinggi.
6. Sedangkan Pada penyulang Kalisat nilai realisasi SAIDI sebesar 8,345 jam/tahun sedangkan SAIFI sebesar 7,850 pemadaman/tahun, nilai tersebut lebih besar dibandingkan dengan target dari PLN APJ Jember untuk SAIDI sebesar SAIDI 4,515 jam/tahun dan SAIFI 14,610 pemadaman/tahun dan terjadi penyimpangan nilai realisasi SAIDI sebesar 4,515 jam/tahun. Hal ini menunjukkan bahwa penyulang Jember Kota mempunyai tingkat keandalan yang rendah.
7. Diadakannya penelitian lebih lanjut khususnya mengenai penyulang dengan

memperhatikan faktor – faktor lain yang mempengaruhi dari keandalan itu sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gonen, Turan. 1986. “Electric Power Distribution System Engineering”, McGraw-Hill International Edition.
- [3] Pabla AS, Abdul Hadi, “Sistem Distribusi Daya Listrik”, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1986.
- [4] Pabla, AS & Abdul Hadi, Ir. 1986. “Sistem Distribusi Daya Listrik”, Jakarta: Erlangga.
- [5] Sudirham, Sudaryatno. 2012. *Analisis Sistem Tenaga*. Bandung: Darpublic.
- [6] Sulasno, “Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik”, Badan Penerbit Universitas Diponegoro Semarang 2001.
- [7] Standar PLN (SPLN) No. 59. 1985. “Keandalan Pada Sistem Distribusi 20kV dan 6kV”. Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi.
- [8] Standar PLN (SPLN) No. 68-2. 1986. “Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik (bagian dua: Sistem Distribusi)”. Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi.
- [9] William D Stevenson, “Analisis Sistem Tenaga Listrik edisi IV”, Penerbit Erlangga Bandung, 1983.