

EVALUASI KEANDALAN SISTEM TENAGA LISTRIK PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER TIPE RADIAL GARDU INDUK BLIMBING

Wiwied Putra Perdana, Rini Nur Hasanah, Harry S. Dachlan

Abstrak--Gardu Induk (GI) Blimbing memiliki 9 penyulang dari 3 buah trafo yang digunakan untuk menurunkan tegangan dari sisi 70 kV ke sisi 20 kV. Trafo I berkapasitas 20 MVA, terhubung dengan Penyulang Mojolangu, Singosari, Pandanwangi, dan Telkom. Trafo II berkapasitas 30 MVA, II terhubung dengan Penyulang Mawar, Asahan, Wendit, dan Glintung. Trafo III berkapasitas 10 MVA, terhubung dengan Penyulang Bentoel. Dari data, diketahui bahwa Penyulang Singosari paling sering mengalami gangguan, yaitu sebanyak 17 kali selama tahun 2008, memiliki panjang penyulang 36, 97 kms serta jumlah pelanggan 14.033 dari 83 trafo distribusi yang masih aktif. Dengan pertimbangan tersebut dipilih P. Singosari sebagai objek evaluasi keandalan pada Gardu Induk (GI) Blimbing. Daya listrik disalurkan melalui Penyulang Singosari dengan menggunakan sistem radial tipe pohon. Konstruksi jaringan yang dipakai adalah Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dengan menggunakan kawat AAAC. Evaluasi keandalan ini didasarkan pada perhitungan indeks keandalan titik beban dan indeks keandalan sistem Penyulang Singosari. Tujuan perhitungan indeks keandalan ini adalah untuk memudahkan aplikasinya kelak, dalam upaya memperkecil tingkat pemutusan beban pada jaringan distribusi GI Blimbing, khususnya pada penyulang-penyulang GI Blimbing. Hasil perhitungan dan analisis menunjukkan bahwa Penyulang Singosari pada tahun 2008 belum andal menurut IEEE Std. 1366-2000, karena nilai SAIFI dan SAIDI Penyulang Singosari lebih besar atau di luar nilai yang ditetapkan IEEE Std. 1366-2000. Namun setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan, yaitu dengan menambahkan 2 buah AVS di antara LBS Karanglo dan LBS Polwil, Penyulang Singosari tersebut bisa andal, yaitu dengan nilai SAIFI dan SAIDI lebih kecil atau di dalam nilai yang ditetapkan IEEE Std. 1366-2000.

Kata kunci: keandalan, sistem distribusi, konfigurasi radia

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 keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam besaran *probabilitas*. Indeks keandalan titik beban yang biasanya digunakan meliputi laju pemutusan beban rata-rata f (pemutusan beban/tahun), waktu keluar rata-rata r (jam/pemutusan beban) dan lama pemutusan beban rata-rata U (jam/tahun). Indeks keandalan sistem yang banyak digunakan antara lain : *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI), *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI), *Customer Average Interruption Duration Index* (CAIDI), *Average Service Unavailability Index* (ASUI), *Average Service Availability Index* (ASAI), *Energy Not Supplied Index* (ENS), dan *Average Energy Not Supplied* (AENS).

Beberapa variabel yang mempengaruhi indeks keandalan adalah panjang penyulang dan kerapatan beban, konfigurasi saluran dan tegangan yang disalurkan. (Short, 1966). Salah satu metode untuk meningkatkan keandalan jaringan distribusi berdasarkan indeks keandalan adalah dengan menambahkan *fuse*, *sectionalizer* atau *recloser*. (Short, 1966).

Makalah ini membahas evaluasi keandalan jaringan distribusi tipe radial Gardu Induk Blimbing khususnya pada penyulang yang paling sering mengalami gangguan, berdasarkan indeks keandalan titik beban dan indeks keandalan sistem, serta metode peningkatan keandalan jaringan distribusi dengan melakukan penambahan beberapa *sectionalizer* (SSO) berupa *Automatic Vacuum Switch* (AVS) pada penyulang GI Blimbing.

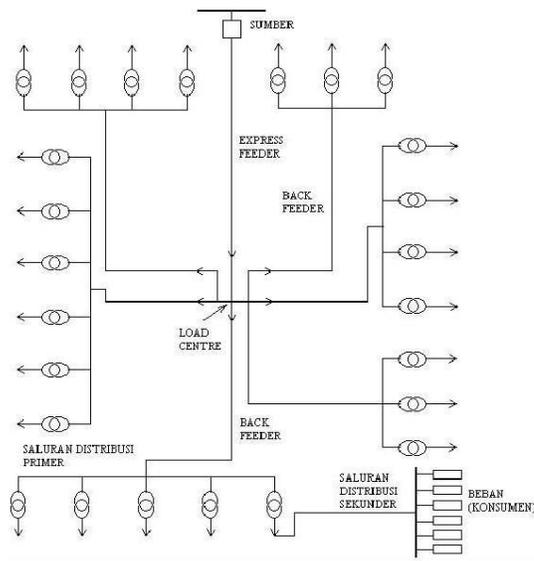
II. DASAR TEORI

A. Keandalan Sistem Distribusi

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

Wiwied Putra Perdana bekerja di PT PLN (Persero), sedangkan Rini Nur Hasanah dan Harry S. Dachlan adalah staf pengajar di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya

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



Gambar 1. Jaringan distribusi radial tipe pusat beban

Ukuran keandalan dapat diketahui dari seberapa sering sistem mengalami pemutusan beban, berapa lama pemutusan terjadi dan berapa cepat waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan kondisi dari pemutusan yang terjadi (*restoration*). Sistem yang mempunyai keandalan tinggi akan mampu memberikan tenaga listrik setiap saat dibutuhkan, sedangkan sistem mempunyai keandalan rendah bila tingkat ketersediaan tenaganya rendah yaitu sering padam.

Tingkatan keandalan dalam pelayanan dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) hal antara lain (SPLN 52-3, 1983: 5):

Tingkat 1: Dimungkinkan padam berjam-jam, yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena adanya gangguan.

Tingkat 2: Padam beberapa jam, yaitu waktu yang diperlukan untuk mengirim petugas ke lapangan, melokalisir gangguan dan melakukan manipulasi untuk dapat menghidupkan sementara dari arah atau saluran yang lain.

Tingkat 3: Padam beberapa menit, manipulasi oleh petugas yang *stand by* di gardu atau dilakukan deteksi/pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh.

Tingkat 4: Padam beberapa detik, pengamanan dan manipulasi secara otomatis.

Tingkat 5: Tanpa padam, dilengkapi instalasi cadangan terpisah dan otomatis.

Sistem distribusi dapat dikatakan memiliki keandalan tinggi jika berada pada tingkat 4 dan tingkat 5, dan memiliki keandalan menengah jika berada pada tingkat 3, serta memiliki keandalan rendah jika berada pada tingkat 1 dan tingkat 2.

Jadi, tingkat keandalan yang tinggi diperoleh dengan pemilihan jaringan dengan tingkat kontinuitas/kelangsungan pelayanan yang tinggi (lama

pemutusan beban yang rendah) dan jumlah/frekuensi pemutusan beban karena gangguan yang rendah.

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat keandalan jaringan distribusi adalah:

1. Adanya gangguan pada jaringan.

Dalam keadaan demikian diusahakan pengaturan dan pengoperasian jaringan yang tepat sehingga daerah yang padam sekecil mungkin.

2. Kecepatan mengisolasi gangguan dan melakukan pengalihan (*manuver/ manipulasi*) beban.

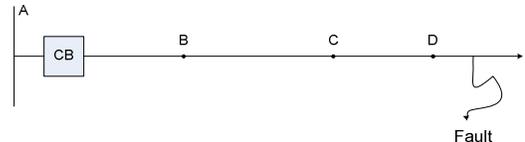
Bila terjadi gangguan hendaknya secepat mungkin dikirim petugas ke lapangan untuk mengisolir gangguan dan mengadakan manuver jaringan, sehingga daerah-daerah yang padam sekecil mungkin, kemudian dicari letak gangguan untuk segera diperbaiki.

B. Keandalan Sistem Radial

Sistem distribusi dengan tipe radial, mempunyai bentuk yang sederhana dan banyak sekali digunakan, serta luas pemakaiannya, terutama untuk mensuplai daerah beban yang mempunyai kerapatan beban (*load density*) yang rendah atau yang medium (sedang). Bila ditinjau dari segi keandalannya, dapat dibedakan atas dua keadaan, yaitu :

- Sistem radial tanpa reclosing dan sectionalizing secara otomatis
- Sistem radial dengan menggunakan sistem reclosing dan sectionalizing secara otomatis

Sistem radial tanpa reclosing dan sectionalizing secara otomatis memiliki kontinuitas dan keandalan yang kurang baik, seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Sistem radial tanpa *recloser* dan *sectionalizer*

Bila gangguan terjadi baik di titik B, C, dan D atau sepanjang feeder, walaupun gangguan tersebut sifatnya permanent ataupun temporer, dapat menyebabkan pemadaman (*outage*) terhadap seluruh beban yang disuplai oleh feeder tersebut. Bila dalam satu tahun mengalami gangguan sebanyak *m* kali, maka untuk sistem radial yang tanpa *reclosing* dan *sectionalizing* secara otomatis akan mengalami pemadaman sebanyak *m* kali dalam satu tahun.

Sistem radial yang menggunakan *recloser* dan *sectionalizing* secara otomatis memiliki kontinuitas dan keandalan yang cukup tinggi. Pada sistem *reclosing* dan *sectionalizing* secara otomatis ini, bila terjadi gangguan pada bagian feeder, misalnya terjadi di ujung saluran, maka pemadaman total tidak akan terjadi, melainkan sebagian saja. Hal ini karena bagian feeder yang mengalami gangguan akan dilepas oleh sectionalizer yang terdekat dengan gangguan.

Pada sistem distribusi radial antara komponen satu dengan yang lain dihubungkan secara seri. Misalkan, sebuah penyulang tersusun secara seri antara *circuit breaker*, *disconnecting switch*, saluran, *fuse*, dan trafo distribusi. Secara sederhana susunan seri antar komponen ditunjukkan sebagai berikut:

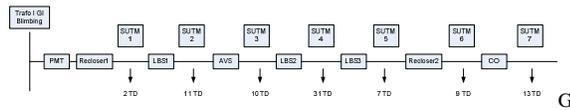


Gambar 3 Sistem seri
Sumber : Billinton, 1996

Sistem yang ditunjukkan pada gambar 3 adalah sebuah sistem yang terdiri dari komponen A dan komponen B. Dua komponen tersebut terhubung secara seri, jika λ_A adalah laju pemutusan beban komponen A dan λ_B adalah laju pemutusan beban komponen B, maka laju pemutusan beban rata-rata adalah :

$$\lambda_s = \lambda_A + \lambda_B \quad (1)$$

Sistem radial tipe pohon Penyulang Singosari ditunjukkan pada gambar 4.



ambar 4. Sistem radial (seri) P. Singosari
Sumber : Hasil Perhitungan

1) Indeks Keandalan Titik Beban Untuk Sistem Distribusi Radial

Indeks keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas (Sukerayasa, 2007). Suatu besaran untuk membandingkan penampilan sistem distribusi, tiga indeks keandalan titik beban yang paling sering digunakan dalam sistem distribusi radial adalah laju pemutusan beban rata-rata f_s (pemutusan beban/tahun), waktu keluar rata-rata r_s (jam/pemutusan beban) dan lama pemutusan beban rata-rata U_s (jam/tahun).

2) Laju pemutusan beban rata-rata f_s (pemutusan beban/tahun)

Menurut SPLN 59, 1985, laju pemutusan beban rata-rata pada sistem radial λ_s adalah :

$$f_s = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i \text{ pemutusan_beban / tahun} \quad (2)$$

Sedangkan untuk menghitung laju pemutusan beban masing-masing komponen digunakan rumus :

$$f_i = C_i X_i \lambda_i \text{ pemutusan_beban / tahun} \quad (3)$$

dimana,

C_i = Jumlah konsumen per unit yang mengalami pemutusan beban

X_i = Panjang penyulang atau unit komponen (km atau unit)

λ_i = Perkiraan angka keluar komponen (kali/km/tahun atau kali/unit/tahun)

n = Banyaknya komponen yang keluar yang menyebabkan pemutusan beban.

TABEL 1 PERKIRAAN ANGKA KELUAR KOMPONEN SISTEM DISTRIBUSI
(SUMBER : SPLN 59, 1985: 7)

No	Komponen	Angka Keluar
1.	Saluran udara	0,2 /km/tahun
2.	Pemutus tenaga	0,004 /unit/tahun
3.	Sakelar beban	0,003 /unit/tahun
4.	Sakelar pemisah	0,003 /unit/tahun

No	Komponen	Angka Keluar
5.	Penutup balik	0,005 /unit/tahun
6.	Rel tegangan rendah	0,001 /unit/tahun
7.	Trafo distribusi	0,005 /unit/tahun

3) Lama Pemutusan Beban Rata-Rata U_s (jam/tahun)

Menurut SPLN 59, 1985, lama pemutusan beban rata-rata U_s adalah:

$$U_s = \sum_{i=1}^n X_i \lambda_i \left(\sum_{j=1}^m C_i t_{ij} \right) \text{ jam / tahun} \quad (4)$$

Persamaan di atas dipergunakan menghitung lama pemutusan beban rata-rata seluruh komponen yang mendukung suatu penyulang, sedangkan untuk menghitung lama pemutusan beban pada setiap komponen dipergunakan persamaan berikut:

$$U_i = X_i \lambda_i \left(\sum_{j=1}^m C_i t_{ij} \right) \text{ jam / tahun} \quad (5)$$

dimana,

C_{ij} = Jumlah konsumen per unit yang mengalami pemutusan beban

X_i = Panjang penyulang atau unit komponen (km atau unit)

λ_i = Perkiraan angka keluar komponen (kali/km/tahun atau kali/unit/tahun)

t_{ij} = Waktu yang diperlukan dalam langkah demi langkah dari operasi kerja dan pemulihan pelayanan (waktu/jam)

TABEL 2 WAKTU OPERASI KERJA DAN PEMULIHAN PELAYANAN
(SUMBER : SPLN 59 , 1985: 8)

Operasi Kerja	Waktu/jam
A Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke GI	0,5
A Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke alat penutup kembali	1,0
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 <i>spot network</i>	0,2
C Waktu yang dibutuhkan untuk memeriksa indikator gangguan (hanya untuk sistem spindle)	0,083
D Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup pemutus tenaga atau penutup kembali	0,25
E Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup sakelar beban atau sakelar pemisah	0,15
F Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kawat penghantar udara	3
G Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/ memperbaiki	10

Operasi Kerja	Waktu/jam
pemutus tenaga, sakelar beban, penutup kembali atau sakelar pemisah	
H Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti penyambung kabel (bulusan) untuk kabel yang berisolasi kertas	15
I Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti trafo distribusi	10
J Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/ memperbaiki bus tegangan rendah	10

4) Waktu keluar rata-rata r_s (jam/pemutusan beban)

$$r_s = \frac{U_s}{f_s} \text{ jam/pemutusan beban} \quad (6)$$

dengan,

U_s = Lama pemutusan beban rata-rata (jam/tahun)

f_s = Laju pemutusan beban rata-rata (pemutusan beban/tahun)

C. Indeks Keandalan Sistem Untuk Sistem Distribusi Radial

1) System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)

Indeks ini didefinisikan sebagai jumlah rata-rata gangguan yang terjadi per pelanggan yang dilayani oleh sistem per satuan waktu (umumnya per tahun). Indeks ini ditentukan dengan membagi jumlah semua gangguan pelanggan dalam satu tahun dengan jumlah pelanggan yang dilayani oleh sistem tersebut. Persamaan untuk SAIFI (rata-rata jumlah gangguan per pelanggan) ini dapat dilihat pada persamaan dibawah ini.

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{Total Gangguan Pada Pelanggan}}{\text{Jumlah Seluruh Pelanggan}} = \frac{\sum f_i N_i}{\sum N_i} \text{ pemutusan/pelanggan tahun} \quad (7)$$

dimana f_i adalah laju pemutusan beban komponen i dan N_i adalah jumlah seluruh pelanggan pada titik

2) System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

Indeks ini didefinisikan sebagai nilai rata-rata dari lamanya gangguan untuk setiap konsumen selama satu tahun. Indeks ini ditentukan dengan pembagian jumlah dari lamanya gangguan secara terus menerus untuk semua pelanggan selama periode waktu yang telah ditentukan dengan jumlah pelanggan yang dilayani selama tahun itu.

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{Jumlah Lamanya Gangguan Pada Pelanggan}}{\text{Jumlah Seluruh Pelanggan}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \text{ jam/pelanggan tahun} \quad (8)$$

dengan U_i adalah lama pemutusan beban komponen i dan N_i adalah jumlah seluruh pelanggan pada titik beban i.

3) Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)

$$\text{CAIDI} = \frac{\text{Jumlah Lamanya Gangguan Pada Pelanggan}}{\text{Jumlah Pelanggan Yang Mengalami Gangguan}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum f_i N_i} \text{ jam/pelanggan pemutusan} \quad (9)$$

dimana f_i adalah laju pemutusan beban komponen i, U_i adalah lama pemutusan beban komponen i dan N_i adalah jumlah seluruh pelanggan pada titik beban i.

4) Average Service Availability (Unavailability) Index, ASAI (ASUI)

$$\text{ASAI} = \frac{\sum N_i \times 8760 - \sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \quad (10)$$

$$\text{ASUI} = 1 - \text{ASAI} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \quad (10)$$

dimana 8760 adalah jumlah jam dalam setahun.

5) Energy Not Supplied Index (ENS)

Tabel 3 Standarisasi nilai SAIFI dan SAIDI (Short, 1966)

	SAIFI, No. of			SAIDI, Hour of		
	Interruption/Year			Interruption/Year		
	25 %	50 %	75 %	25 %	50 %	75 %
IEEE Std. 1366 – 2000	0,90	1,10	1,45	0,89	1,50	2,30
EEl (1999) [Excludes storms]	0,92	1,32	1,71	1,16	1,74	2,23
EEl (1999) [with storms]	1,11	1,33	2,15	1,36	3,00	4,38
CEA (2001) [with storms]	1,03	1,95	3,16	0,73	2,26	3,28
PA Consulting (2001) [with storms]				1,55	3,05	8,35
IP&L Large City Comparison Indianapolis Power & Light, 2000)	0,72	0,95	1,15	1,02	1,64	2,41

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

beban i.

$$\text{ENS} = \text{Jumlah energi yang tidak tersuplai} = \sum L_{a(i)} U_i \text{ MWh/tahun} \quad (11)$$

dimana $L_{a(i)}$ adalah beban rata-rata terkoneksi ke titik beban i.

6) *Average Energy Not Supplied (AENS)*

$$AENS = \frac{\text{Jumlah Energi Yang Tidak Tersuplai}}{\text{Jumlah Pelanggan Yang Dilayani}}$$

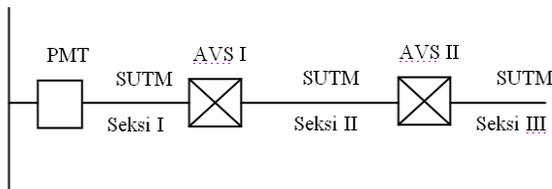
$$= \frac{\sum L_{a(i)} U_i}{\sum N_i} \text{ kWh/pelanggan_tahun} \quad (12)$$

D. *Meningkatkan Keandalan Sistem Radial Dengan Menambah AVS (SSO)*

Kalau ditempatkan n unit AVS pada penyulang jaringan distribusi primer, berarti akan membagi (n+1) seksi. Misalkan ditempatkan n unit AVS maka kemungkinan terjadi gangguan pada penyulang adalah

$\frac{1}{(n+1)}$. Tujuan dari penempatan beberapa unit *Sectionalizer* adalah untuk memperkecil saluran yang akan padam ketika terjadi gangguan. (Saksomo, 2000)

Misal, ditempatkan dua unit AVS (n=2) pada penyulang distribusi primer, berarti akan membagi penyulang tersebut menjadi 3 seksi (n+1=2+1=3).



Gambar 5. Sistem radial dengan 2 SSO (AVS) (Saksomo, 2000)

Dari gambar 5 dapat ditentukan jumlah SSO (AVS) adalah 2 unit (n=2), berarti kemungkinan terjadi gangguan/ pemutusan beban pada masing-masing seksi di saluran tersebut adalah

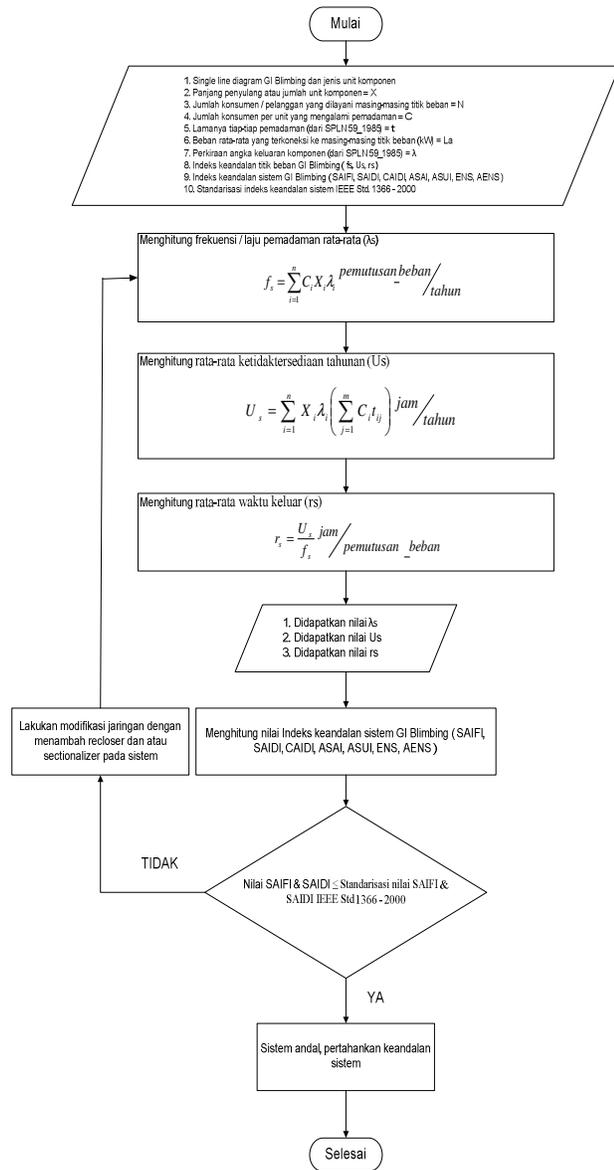
$$\frac{1}{(n+1)} = \frac{1}{(2+1)} = \frac{1}{3}$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan ditunjukkan pada gambar 6.

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

Pengumpulan data dilakukan dengan observasi langsung, menggunakan mata tanpa ada pertolongan alat standar lain, dengan wawancara, serta *Library Research* yang dilakukan dengan cara membaca buku atau jurnal-jurnal ilmiah dan laporan yang ada hubungannya dengan permasalahan yang dibahas. Variabel-variabel yang diteliti adalah berupa indeks keandalan yang dapat mempresentasikan keandalan jaringan distribusi tipe radial Gardu Induk Blimbing. Indeks keandalan tersebut adalah :



Gambar 6. Diagram alir perhitungan

- a. Indeks Keandalan Titik Beban
 - Laju pemutusan beban rata-rata (f_s)
 - Lama pemutusan beban rata-rata (U_s)
 - Waktu keluar rata-rata (r_s)
- b. Indeks Keandalan Sistem
 - SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)
 - SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)
 - CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*)
 - ASAI (*Average Service Availability Index*)
 - ASUI (*Average Service Unavailability Index*)
 - ENS (*Energy Not Supplied*)
 - AENS (*Average Energy Not Supplied*)

IV. HASIL

A. Indeks Keandalan Titik Beban Jaringan Distribusi GI Blimbing

Untuk memperhitungkan keandalan pada masing-masing sistem jaringan distribusi primer, maka digunakan beberapa asumsi sebagai berikut :

1. Sumber yang mensuplai daya listrik (dalam hal ini GI) ke jaringan distribusi primer, mempunyai keandalan 100 %.
2. LBS yang terhubung dengan penyulang lain berada pada posisi *Normally Open*.
3. Tidak memperhitungkan keandalan Penyulang lain yang terhubung dengan Penyulang Singosari.

Indeks keandalan titik beban jaringan distribusi P. Singosari terdiri dari :

1. Laju pemutusan beban rata-rata
2. Lama pemutusan beban rata-rata
3. Waktu keluar rata-rata (*outage time*)

B. Waktu Keluar Rata-Rata (*outage time*)

Dengan $f_s = 3,27626242$ kali pemutusan beban/tahun dan nilai $U_s = 18,2968$ jam/tahun, menggunakan persamaan (5) diperoleh nilai waktu keluar rata-rata (*outage time/restoration time*) Penyulang Singosari sebesar

$$r_s = \frac{18,2968}{3,2762} = 5,5847$$

jam / pemutusan _ beban

C. Evaluasi Keandalan Penyulang Singosari

Perhitungan indeks keandalan system Penyulang Singosari menghasilkan nilai-nilai sebagai berikut:

$$\text{SAIFI} = 0,713 \text{ pemutusan / pelanggan _ tahun}$$

$$\text{SAIDI} = 4,149 \text{ jam / pelanggan _ tahun}$$

$$\text{CAIDI} = 5,8203 \text{ jam / pelanggan _ pemutusan}$$

$$\text{ASAI} = 0,9995$$

$$\text{ASUI} = 0,0005$$

$$\text{ENS} = 39,9483 \text{ MWh / tahun}$$

$$\text{AENS} = 2,8467 \text{ kWh / pelanggan _ tahun}$$

Apabila dibandingkan dengan standarisasi nilai SAIFI dan SAIDI IEEE Std. 1366 – 2000, nilai SAIFI Penyulang Singosari lebih kecil dari nilai SAIFI IEEE Std. 1366 – 2000, namun nilai SAIDI Penyulang Singosari masih jauh lebih besar dari nilai SAIDI IEEE Std. 1366 – 2000. Hal ini dapat diartikan bahwa Penyulang Singosari **belum andal** berdasarkan standarisasi nilai SAIFI dan SAIDI IEEE Std. 1366 – 2000.

Untuk meningkatkan keandalan, digunakan beberapa *Automatic Vacuum Switch* (AVS) yang ditambahkan pada Penyulang Singosari. Ditempatkan 2 buah AVS (AVS A dan AVS B) di antara LBS KARANGLO dan LBS POLWIL, dengan alasan:

1. Laju pemutusan beban dan lama pemutusan beban pada SUTM 4 adalah paling besar di antara SUTM P. Singosari lainnya, yaitu 1,04 kali pemutusan beban/tahun dan 6,75 jam/tahun
2. Kerapatan beban pada SUTM 4 adalah paling besar di antara SUTM P. Singosari lainnya yaitu 5911 pelanggan, sehingga besar kemungkinan banyak pelanggan yang padam bila terjadi gangguan. Selain itu *load density* atau kerapatan beban merupakan variabel yang mempengaruhi indeks keandalan (Tom Short, 1966).

D. Indeks Keandalan Sistem P. Singosari Setelah Penambahan 2 Buah AVS

Setelah penambahan AVS, perhitungan indeks keandalan system Penyulang Singosari memberikan hasil nilai

$$\text{SAIFI} = 0,3962$$

$$\text{pemutusan / pelanggan _ tahun ,}$$

$$\text{SAIDI} = 1,8903 \text{ jam / pelanggan _ tahun , CAIDI} =$$

$$4,7710 \text{ jam / pelanggan _ pemutusan ,}$$

$$\text{ASAI} = 0,9997 , \text{ASUI} = 0,0003,$$

$$\text{ENS} = 19,106 \text{ MWh / tahun dan AENS} =$$

$$1,3615 \text{ kWh / pelanggan _ tahun .}$$

Apabila dibandingkan dengan standarisasi nilai SAIFI dan SAIDI IEEE Std. 1366 – 2000, setelah penambahan 2 buah AVS nilai SAIFI Penyulang Singosari lebih kecil dari nilai SAIFI IEEE Std. 1366 – 2000 (*the lower quartile*). Begitu juga dengan nilai SAIDI, menjadi lebih kecil dari nilai SAIDI IEEE Std. 1366 – 2000 (*the upper quartile*). Hal ini dapat diartikan bahwa Penyulang Singosari setelah penambahan 2 buah AVS, **sudah andal** berdasarkan standarisasi nilai SAIFI dan SAIDI IEEE Std. 1366 – 2000.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

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

1. Keandalan salah satu penyulang GI Blimbing, yaitu Penyulang Singosari sebelum penambahan 2 buah AVS (AVS A dan AVS B) di antara LBS KARANGLO dan LBS POLWIL, **belum andal** berdasarkan standarisasi nilai SAIFI dan SAIDI IEEE Std. 1366 – 2000.
2. Keandalan salah satu penyulang GI Blimbing, yaitu Penyulang Singosari setelah penambahan 2 buah AVS (AVS A dan AVS B) di antara LBS KARANGLO dan LBS POLWIL, **sudah andal** berdasarkan standarisasi nilai SAIFI dan SAIDI IEEE Std. 1366 – 2000.
3. Selain itu, beberapa saran berikut dapat diajukan:
4. Perlu adanya kajian lebih lanjut tentang keandalan sistem tenaga pada jaringan distribusi, mengingat terus bertambahnya kerapatan beban (semakin banyak pelanggan).
5. Pembahasan lebih lanjut tentang *setting* alat poteksi pada jaringan, dan posisi optimal penempatan AVS

pada penyulang, untuk meningkatkan keandalan sistem

6. Perlu adanya kajian lebih lanjut tentang angka keluar komponen (λ) yang nantinya digunakan dalam perhitungan indeks keandalan.
7. Perlu mempertimbangkan aspek lain yang mempengaruhi tingkat keandalan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bayliss, Colin. 1996. *Transmission and Distribution Electrical Engineering*. Second edition. C. R. Bayliss
- [2] Billinton, R., Allan, Ronald N. 1984. *Reliability Evaluation of Power Systems*. Pitman Advanced Publishing Program.
- [3] Dhillon, B.S. 2006. *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. Taylor & Francis Group, CRC.
- [4] Ebeling, Charles E. 1997. *An Introduction To Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [5] Elmakias, David. 2008. *New Computational Methods In Power System Reliability*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [6] Gonen, Turan. 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*. Singapore: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [7] IEEE Std. 1366-2000, *IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*.
- [8] Nono, Moelyono. 1999. *Pengantar Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, ITS.
- [9] Pansini, J, Anthony. 1986. *Electrical Distribution Engineering*. Singapore: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [10] Short T.A. 2006. *Distribution Reliability and Power Quality*. Taylor & Francis Group, CRC.