

## ANALISIS NILAI KEANDALAN JARINGAN SISTEM DISTRIBUSI 20 kV PADA PENYULANG PKN 11 GI PEKALONGAN

Bambang Winardi<sup>1</sup>, Tedjo Sukmadi<sup>2</sup>, Agung Nugroho<sup>3</sup>, Ajub Ajulian Zahra<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang

### ABSTRACT

The efforts needed to meet the growth of electrical energy not only meet the increasing power demand every year but also improve the quality of service reliability. The distribution network is part of the power system that has the most interference, the occurrence of many disturbances will affect the reliability index. In this research, a distribution network reliability model is simulated to find the overall reliability index value. This calculation is based on the value of the failure rate ( $\lambda$ ) and the repair time ( $r$ ) of each component used in the radial distribution network. The number of elements used and the network length will affect the results of the reliability index value. PKN 11 feeders analyzed were taken from the Pekalongan substation. The test results show that SAIFI, SAIDI and CAIDI values for PKN 11 feeders are 2,218 times / year, 8.26 hours / year and 3.7176 hours / customer.

**Keywords :** *Distribution Network, Reliability Index, SAIFI, SAIDI, CAIDI*

### 1. PENDAHULUAN

Sistem distribusi yang dikelola oleh PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah & DIY memiliki andil yang sangat besar dalam memberikan jaminan kualitas penyaluran energi listrik yang memenuhi standar baik secara teknis maupun non teknis kepada konsumen atau pelanggan. Kualitas penyaluran secara teknis ditunjukkan dengan parameter-parameter besaran tegangan, frekuensi, faktor daya dan indeks keandalan yang memenuhi standar yang berlaku secara nasional maupun internasional [1]

Indeks keandalan pada dasarnya adalah suatu angka atau parameter yang menunjukkan tingkat pelayanan atau tingkat keandalan dari suplai tenaga listrik sampai ke konsumen. Indeks-indeks keandalan yang sering dipakai dalam suatu sistem distribusi adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), SAIDI (*System Average Interruption Frequency Index*), CAIDI (*Customer Average Interruption Frequency Index*) [2],[3]. Ada beberapa faktor yang harus diketahui dan dihitung sebelum melakukan perhitungan analisis keandalan antara lain : frekuensi kegagalan, lama/durasi kegagalan. Pada penelitian ini, penulis melakukan perhitungan dan disimulasikan menggunakan *software* Matlab untuk mengetahui nilai indeks *load point* maupun indeks keandalan secara keseluruhan sehingga dapat diketahui apakah jaringan tersebut telah memenuhi standar yang berlaku atau belum [4], [5]

### 2. METODE PENELITIAN

#### 2.1 Keandalan (*Reliability*)

Keandalan merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem, harus diadakan pemeriksaan melalui perhitungan maupun analisis terhadap tingkat keberhasilan kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau pada periode tertentu kemudian membandingkannya dengan standar yang ditetapkan sebelumnya.

Struktur Jaringan Tegangan Menengah (JTM) memegang peranan penting dalam menentukan keandalan penyaluran tenaga listrik, karena JTM memungkinkan dapat melakukan *manuver* tegangan dengan mengalokasikan tempat gangguan dan beban dapat dipindahkan melalui jaringan lainnya.

#### 2.2 Metode Pengolahan Data

Setelah data yang dibutuhkan telah diperoleh langkah selanjutnya merancang software yang nantinya sebagai simulator. Untuk pembuatan software menggunakan Matlab R2008B.

#### 2.3 Perhitungan Indeks Keandalan

Ada beberapa faktor yang harus diketahui dan dihitung sebelum melakukan perhitungan analisis keandalan antara lain : frekuensi gangguan, lama/durasi gangguan.

<sup>1</sup> Korespondensi penulis: Bambang Winardi, Telp. 081326315664, bbwinar@gmail.com

• Frekuensi Gangguan (*Failure Rate*) [6].

Dalam masa kerjanya, suatu komponen atau sistem akan mengalami berbagai kerusakan dalam pengoperasiannya. Laju kegagalan dari suatu komponen atau sistem merupakan obyek yang dinamik dan mempunyai performa yang berubah terhadap waktu  $t$  (detik, menit, jam, hari, minggu, bulan dan tahun). Keandalan komponen atau sistem sangat erat kaitannya dengan laju kegagalan tiap satuan waktu. Sehingga laju kegagalan dapat disimpulkan frekuensi suatu sistem/komponen gagal bekerja, biasanya dilambangkan dengan  $\lambda$  (*lambda*), laju kegagalan sistem biasanya tergantung dari waktu tertentu selama sistem tersebut bekerja. Laju kegagalan dapat dirumuskan :

$$\lambda_{LP} = \sum_{i=K} \lambda \tag{1}$$

Dimana,

$\lambda_i$  adalah laju kegagalan untuk peralatan  $K$

$K$  adalah semua peralatan yang berpengaruh terhadap *load point*

• Lama/durasi Gangguan [6].

Laju perbaikan atau *downtime rate* adalah frekuensi lamanya suatu sistem/komponen dalam masa perbaikan (kondisi OFF). Laju perbaikan dapat dirumuskan :

$$U_{LP} = \sum_{i=K} U = \sum_{i=K} \lambda \times r \tag{2}$$

Dimana,

$r_j$  adalah waktu perbaikan (*repairing time* atau *switching time*)

Beberapa indeks keandalan yang umum digunakan dalam menentukan nilai keandalan suatu sistem distribusi antara lain :

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

Indeks ini memberikan informasi tentang frekuensi rata-rata pemadaman per pelanggan. Indeks ini dirumuskan dengan:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i N_i}{\sum N_i} \tag{3}$$

Dimana,

$\lambda_i$  adalah *failure rate*

$N_i$  adalah jumlah pelanggan pada titik beban  $i$

Besarnya nilai SAIFI dapat digambarkan sebagai besarnya *failure rate* ( $\lambda$ ) sistem distribusi keseluruhan ditinjau dari sisi pelanggan.

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

Indeks ini menggambarkan durasi atau lama pemadaman rata-rata yang dialami oleh pelanggan. Indeks ini dirumuskan dengan :

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i N_i}{\sum N_i} \tag{4}$$

Dimana,

$U_i$  adalah durasi pemadaman tahunan untuk beban  $i$

c. **CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index).**

Indeks ini memberikan informasi lama waktu (durasi) rata-rata setiap pemadaman. Indeks ini dirumuskan dengan :

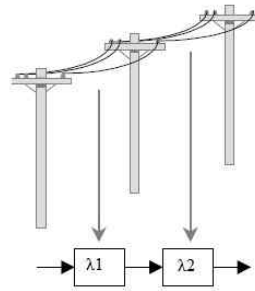
$$CAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i N_i}{\sum N_i \lambda_i} \tag{5}$$

Indeks ini juga sama dengan perbandingan antara SAIDI dengan SAIFI,

$$CAIDI = \frac{S}{s} \tag{6}$$

**2.4 Pemodelan Jaringan Radial [2]**

Pada rangkaian radial, kita dapat menganalisis keandalan menggunakan kombinasi seri dari unsur individu. Jika salah satu komponen seri antara gardu penyedia listrik dan pelanggan gagal, pelanggan akan kehilangan dayanya.



Gambar1. Series connection

Seri elemen dapat dikombinasikan sebagai

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \quad (7)$$

$$U_s = U_1 + U_2 + \dots + U_n = \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2 + \dots + \lambda_n r_n$$

$$r_s = \frac{U}{\lambda_s}$$

Dimana,

$\lambda$  adalah laju kegagalan,

$U$  adalah ketidakterediaan, lama/durasi gangguan

$r$  adalah rata-rata waktu perbaikan

## 2.5 Perancangan Sistem

Dalam perancangan sistem ini dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB. Diawali dengan pengumpulan data, kemudian menentukan parameter-parameter yang dibutuhkan, perhitungan nilai indeks awal, indeks per-bus, indeks *load point*, indeks keandalan sistem dan tampilan program. Parameter yang digunakan dalam perhitungan sebagai berikut:

- Saluran Udara (*Line*)

Saluran udara digunakan pada pemasangan di luar bangunan, diregangkan pada isolator-isolator diantara tiang-tiang sepanjang beban yang dilalui suplai tenaga listrik, mulai gardu induk sampai ke pusat beban.

Jaringan udara direncanakan untuk kawasan dengan kepadatan beban rendah atau sangat rendah, misalnya pinggiran kota, kampung/kota-kota kecil, dan tempat-tempat yang jauh serta luas dengan beban tersebar.

- Transformator Distribusi (*Load*)

Transformator distribusi merupakan suatu komponen dalam penyaluran tenaga listrik dari gardu induk ke konsumen. Berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah 20kV menjadi tegangan rendah 220V/380V.

Transformator distribusi dapat dipasang di dalam dan di luar ruangan tergantung kepada keadaan lokasi beban.

Indeks keandalan suatu sistem distribusi digunakan untuk mengukur tingkat keandalan dari tiap-tiap beban/*load point*. Dalam pengujian ini diawali dengan menentukan parameter-parameter yang dibutuhkan beserta jumlahnya dan juga nilai indeks-indeks keandalan dasar yang akan dimasukkan dalam perhitungan. Selain parameter-parameter di atas, ada beberapa indeks-indeks keandalan dasar yang harus diketahui nilainya seperti,

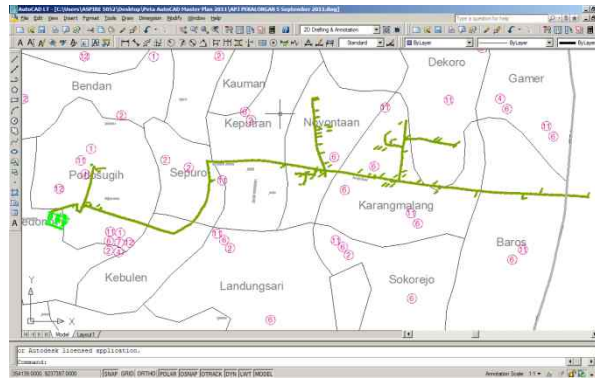
- $\lambda_A$  adalah laju kegagalan aktif dinyatakan dalam jumlah kegagalan per tahun (*failure/yr*). Mode kegagalan ini menyebabkan operasi peralatan proteksi primer,
- $\lambda_P$  adalah mode kegagalan komponen yang disebabkan tidak beroperasinya peralatan pengaman dan tidak memiliki pengaruh pada sistem yang bekerja. Layanan dapat dipulihkan dengan memperbaiki atau mengganti perangkat yang gagal.
- Frekuensi Gangguan ( $\lambda_{LP}$ ) adalah frekuensi rusak atau gagalnya suatu sistem atau komponen tahunan rata-rata dalam pengoperasiannya (*fault/year*).

Lama/durasi Gangguan ( $U_{LP}$ ) adalah lama/durasi terputusnya pasokan listrik tahunan rata-rata (*hours/year*).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Data Sistem

Data hasil survey yang diperoleh berupa data *single line diagram* dan dengan mengklasifikasikan tiap bus pada tiap titik sesuai dengan parameter-parameter yang diketahui maka didapatkan data-data sebagai berikut.



Gambar 2. Bentuk Jaringan Penyulang PKN 11

Pada penyulang PKN 11 yang digunakan untuk perhitungan hanya jaringan 3 fasa saja, sedangkan jaringan 1 fasa tidak termasuk. Jaringan 3 fasa sepanjang 8,9 km memiliki 36 trafo di sepanjang saluran dari pangkal sampai dengan ujungnya. Untuk jumlah pelanggan sebanyak 2877 pelanggan.

**3.2 Hasil Pengujian**

Ada beberapa hal yang perlu diketahui sebelum menghitung indeks keandalan sistem yaitu dengan mengetahui nilai data keandalan peralatan. Data-data ini dapat diperoleh dalam SPLN 59 tahun 1985

Tabel 1 Data keandalan peralatan

| Peralatan                        | Laju Kegagalan            | Repair Time (Waktu/jam) |
|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Pemutus Tenaga (Circuit Breaker) | 0,004 gangguan/unit/tahun | 10                      |
| Saluran Udara                    | 0,2 gangguan/km/tahun     | 3                       |
| Saluran Kabel                    | 0,07 gangguan/km/tahun    | 10                      |
| Sakelar Pisah (Air Break Switch) | 0,003 gangguan/unit/tahun | 0,15                    |
| Penutup Balik (Recloser)         | 0,005 gangguan/unit/tahun | 0,25                    |
| Bus                              | 0,001 gangguan/unit/tahun | 10                      |
| Penyambung Kabel                 | 0,001 gangguan/unit/tahun | 15                      |
| Sakelar Beban                    | 0,003 gangguan/unit/tahun | 0,15                    |
| Pelindung Jaringan               | 0,005 gangguan/unit/tahun | 10                      |
| Trafo Distribusi                 | 0,005 gangguan/unit/tahun | 10                      |

Dari tabel 1 karena laju kegagalan dari saluran udara dalam per km, maka panjang saluran perlu diketahui, nilai indeks keandalan dasar juga perlu dihitung hal ini digunakan untuk mengetahui nilai pangkal pada penyulang PKN 8 dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut.

Untuk perhitungan mencari nilai indeks SAIFI, SAIDI dan CAIDI digunakan persamaan 5, 6 dan .7 sehingga didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

Untuk perhitungan mencari nilai indeks SAIFI, SAIDI dan CAIDI digunakan persamaan (2.5), (2.6) dan (2.7) sehingga didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:

$$SAIFI = \frac{T}{T} \frac{n_i}{n_i} \frac{o}{o} \frac{c}{c} \frac{ir}{s} = \frac{\sum \lambda_i}{\sum N}$$

$$\frac{\sum((0,005x0) + (2,0270x0) + \dots + (2,2945x0))}{\sum(0 + 0 + \dots + 75 + 0)}$$

$$\frac{6392,217}{2877} = 2,2218 \text{ kali/tahun}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan hasil nilai SAIFI sebesar 2,2218 kali/tahun.

$$SAIDI = \frac{S_{i o c} \quad i n \quad d}{T \quad m \quad o c \quad s} = \frac{\sum U}{\sum N}$$

$$\frac{\sum((0,05x0) + (7,6755x0) + \dots + (8,4780x0))}{\sum(0 + 0 + \dots + 75 + 0)}$$

$$\frac{23763,88}{2877} = 8,26 \text{ jam/tahun}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai SAIDI sebesar 8,26 jam/tahun

$$CAIDI = \frac{S_{i o c} \quad i n \quad d}{T \quad m \quad o c \quad i n} = \frac{\sum U}{\sum N}$$

$$\frac{\sum((0,05x0) + (7,6755x0) + \dots + (8,4780x0))}{\sum((0,005x0) + (2,0270x0) + \dots + (2,2945x0))}$$

$$\frac{23763,88}{6392,217} = 3,7176 \text{ jam/pelanggan}$$

Nilai CAIDI yang didapat dari perhitungan di atas adalah 3,7176 jam/pelanggan.

### 3.3 Perbandingan Perhitungan Hasil Simulasi Software Matlab dan ETAP

Pada hasil perhitungan menggunakan Matlab, penyulang PKN 11 didapatkan nilai SAIFI sebesar 2,2218 kali/tahun dan nilai SAIDI sebesar 8,26 jam/tahun, sedangkan nilai CAIDI sebesar 3,7176 jam/pelanggan. Sehingga sudah memenuhi standar SPLN 68-2 tahun 1986.

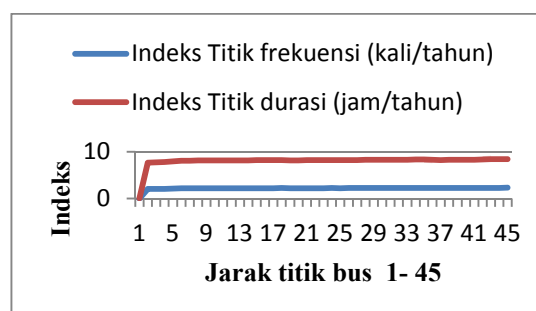
Sedangkan hasil nilai perhitungan menggunakan software perbandingan ETAP yaitu untuk penyulang penyulang PKN 11 didapatkan hasil untuk nilai SAIFI adalah 2,2218 f/customer.yr dan nilai SAIDI sebesar 8,26 hr/customer.yr, hasil CAIDI diperoleh nilai 3,718 hr/customer interruption.

### 3.4 Perbandingan Perhitungan Hasil Simulasi Software Matlab

Pada hasil perhitungan, nilai indeks SAIFI penyulang PKN 11 adalah 2,2128 kali/tahun dan SAIDI didapat nilai 8,26 jam/tahun. Selanjutnya untuk standar indeks SPLN 68-2 Tahun 1986 berlaku nilai SAIFI adalah 3,2 kali/tahun dan SAIDI adalah 21 jam/tahun masih di bawah standar indeks.

### 3.5 Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Terhadap Jarak

Nilai indeks yang diperoleh pada perhitungan di atas kemudian dibandingkan dengan jarak untuk memperoleh hasil perbandingan yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3 Grafik perbandingan nilai indeks terhadap jarak pada PKN 11

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dengan *software* Matlab, nilai SAIFI, SAIDI dan CAIDI adalah (2,218 kali/tahun, 8,26 jam/tahun dan 3,7176 jam/pelanggan), telah sesuai dengan standar 3 fasa yang ditentukan oleh PLN yaitu SAIFI 3,2 kali/tahun dan SAIDI 21 jam/tahun. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan *software* pembanding ETAP 7.0 nilai SAIFI dan SAIDI yaitu (2,2218 f/customer.yr dan 8,2600 hr/customer.yr). Sedangkan nilai CAIDI adalah 3,409 hr/customer interruption dan 3,718 hr/customer interruption. Semakin jauh letak tempat atau lokasi beban dari sumber suplai tenaga listrik maka nilai indeks sistem keandalannya akan semakin rendah.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tim Masterplan, Pembuatan Masterplan Sistem Distribusi 20 KV APJ Pekalongan, Laporan Akhir, Universitas Diponegoro – PT PLN (Persero) Distribusi Jateng DIY, 2011.
- [2] Sumarno, Radiktyo N. “Optimasi Penempatan Recloser Terhadap Keandalan Sistem Tenaga Listrik Dengan Algoritma Genetika”. Penelitian. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.
- [3] Saefulloh, Dian , Perencanaan Pengembangan Gardu Induk untuk 10 Tahun ke Depan ,Penelitian S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2010.
- [4] Gonen, Turan. 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*. New York : McGraw-Hill.
- [5] Goenadi, Chandra “Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20kV Di PT PLN Distribusi Jawa Timur Kediri Dengan Metode Simulasi Section Technique”. Djurnal Teknik Pomits, Vol 1, No. 1 : 1-6, 2012.
- [6] Wicaksono, Henki P. dkk. “Analisis Keandalan Sistem Distribusi Di PT. PLN (PERSERO) APJ Kudus Menggunakan Software ETAP (Electrical Transient Analisis Program) dan Metode Section Technique” Proceeding Seminar Penelitian Teknik Elektro FTI-ITS. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

=