

ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20kV PADA PENYULANG PEKALONGAN 8 DAN 11

Aditya Teguh Prabowo^{*)}, Bambang Winardi, and Susatyo Handoko

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)} E-mail : ditz.cyber.mail@gmail.com

Abstrak

Permintaan kebutuhan energi listrik semakin bertambah dari waktu ke waktu sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi. Hingga saat ini, energi listrik merupakan salah satu sumber energi yang utama untuk mendukung aktivitas tersebut. Pemanfaatan energi listrik yang ada harus diimbangi dengan menjaga kualitas energi listrik itu sendiri. Upaya yang diperlukan untuk memenuhi pertumbuhan energi listrik tidak hanya memenuhi permintaan daya yang meningkat setiap tahun tetapi juga memperbaiki mutu keandalan pelayanan. Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan dan yang paling banyak mengalami gangguan, sehingga salah satu masalah utama dalam operasi sistem distribusi adalah mengatasi gangguan, sebab terjadinya banyak gangguan akan mempengaruhi indeks keandalan. Pada penelitian ini, dilakukan simulasi suatu model keandalan jaringan distribusi untuk mencari nilai indeks keandalan load point maupun secara keseluruhan. Perhitungan ini berdasarkan nilai laju kegagalan (λ) dan lama perbaikan (r) dari masing-masing komponen yang digunakan dalam jaringan distribusi radial. Jumlah elemen atau komponen yang digunakan dan panjangnya jaringan akan mempengaruhi hasil nilai indeks keandalan. Dua penyulang yang dianalisis diambil dari Gardu Induk Pekalongan. Untuk PKN 8 dan PKN 11 hasil pengujian menunjukkan bahwa diperoleh nilai SAIFI, SAIDI dan CAIDI untuk penyulang PKN 8 sebesar 2,7468 kali/tahun, 9,3642 jam/tahun dan 3,4092 jam/pelanggan sedangkan untuk penyulang PKN 11 sebesar 2,218 kali/tahun, 8,26 jam/tahun dan 3,7176 jam/pelanggan.

Kata-Kunci : Sistem Distribusi, Keandalan, SAIFI, SAIDI, CAIDI

Abstract

Demand for electrical energy always increases in line with the economic growth. Nowadays, electrical energy is one of the main sources of energy that supports the economic activities. Utilization of the existing electrical energy must be in balance with the ability to maintain the quality of the electrical energy. The efforts required to fulfill the fast electrical growth is not merely to meet the power demand which increases. Every year, but these efforts are also intended to improve the quality of reliable services. Distribution network is part of electric power system that is closest to the customer and then to have fault, therefore one of the main problems in the operation of the distribution system is to overcome the fault, because of many faults will influence the reliability index. In this research, a calculation program based on Matlab and ETAP 7.0 that simulate the distribution network reliability are made to find the index value of the reliability load point and a whole system. This calculation is based on failure rate value (λ) and repair duration (r) of each component used in a radial distribution network. The number of elements or components used and the length used elements or components and length of the network will affect outcome result of the reliability index. Two feeder adopted from Pekalongan substation are reviewed and analyzed. Those are PKN 8 and PKN 11 results showed that the obtained SAIFI, SAIDI and CAIDI value for the feeder PKN 8 are 2.7468 frequency/year, 9,3642 hours/year and 3,4092 hours/customer respectively for feeder PKN 11, the values are 2,218 frequency/year, 8,26 hours/year and 3.7176 hours/customer.

Keywords : Distribution System, Reliability, SAIFI, SAIDI, CAIDI

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan energi listrik selama ini selalu meningkat dari tahun ke tahun sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat.

Perkembangan permintaan energi listrik tersebut perlu diimbangi dengan peningkatan pembangkit energi listrik dan kemampuan infrastruktur yang ada, sehingga penyaluran energi listrik ke konsumen berjalan lancar dengan kualitas penyaluran energi listrik yang memenuhi

standar. 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. Disamping terpenuhinya kualitas teknis diatas yang ditujukan konsumen, sistem juga harus memenuhi syarat lain terkait dengan operasi sistem yang ekonomis yang berkaitan dengan kepentingan perusahaan pemasok energi. Operasi yang ekonomis pada sistem distribusi diantaranya ditunjukkan oleh susut energi yang rendah.^[9]

Untuk mengetahui keandalan suatu penyulang maka ditetapkan suatu indeks keandalan yaitu besaran untuk membandingkan penampilan suatu sistem distribusi. 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*).

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 penelitian yang kemudian perhitungannya 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.

2. Metode

2.1 Keandalan (*Reliability*)^[1,2]

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.

Keandalan tenaga listrik adalah menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan terutama pelanggan daya besar yang membutuhkan kontinuitas penyaluran listrik secara mutlak. Apabila penyaluran tenaga listrik tersebut putus atau tidak tersalurkan akan mengakibatkan proses produksi dari pelanggan besar tersebut terganggu. 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.

- Frekuensi Gangguan (*Failure Rate*)^[11]

Dalam masa kerjanya, suatu komponen atau sistem akan mengalami berbagai kerusakan atau kegagalan dalam pengoperasiannya. Kerusakan-kerusakan tersebut akan memberi dampak pada performa kerja dan efisiensinya. Kerusakan atau kegagalan tersebut apabila dilihat secara temporer, maka akan memiliki suatu laju tertentu yang berubah-ubah. 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 λ (*lambda*), laju kegagalan sistem biasanya tergantung dari waktu tertentu selama sistem tersebut bekerja. Laju kegagalan dapat dirumuskan :

$$\lambda LP = \sum_{i=K} \lambda_i \quad (2.1)$$

Dimana,

λ_i adalah laju kegagalan untuk peralatan K
K adalah semua peralatan yang berpengaruh terhadap *load point*

- Lama/durasi Ga
- ngguan^[11]

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

$$U LP = \sum_{i=K} U_i = \sum_{i=K} \lambda_i \times r_j \quad (2.2)$$

Dimana,

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

Indeks keandalan merupakan suatu metode pengevaluasian terhadap parameter keandalan suatu peralatan distribusi tenaga listrik terhadap keandalan mutu pelayanan kepada pelanggan.

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:

$$SAIFI = \frac{\text{Total number of customer interruptions}}{\text{Total number of customer served}} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i}$$

Dimana,

λ_i adalah *failure rate*

N_i adalah jumlah pelanggan pada titik beban i

Besarnya nilai SAIFI dapat digambarkan sebagai besarnya *failure rate* (λ) 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 :

$$SAIDI = \frac{\text{Sum of customer interruption durations}}{\text{Total number of customer served}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i}$$

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 :

$$CAIDI = \frac{\text{Sum of customer interruption durations}}{\text{Total number of customer interruptions}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \lambda_i}$$

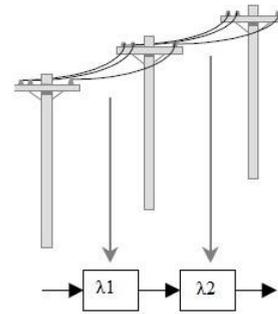
Indeks ini juga sama dengan perbandingan antara SAIDI dengan SAIFI,

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI}$$

Besarnya nilai CAIDI ini dapat digambarkan sebagai besar durasi pemadaman (r) sistem distribusi keseluruhan ditinjau dari sisi pelanggan.

2.4 Pemodelan Jaringan Radial ^[10]

Pada rangkaian radial murni, para pelanggan di ujung rangkaian mau tidak mau memiliki keandalan yang paling rendah. 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.



Gambar 2.1 Series connection

Seri elemen dapat dikombinasikan sebagai

$$\lambda_S = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \tag{2.7}$$

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

$$r_S = \frac{U_S}{\lambda_S}$$

Dimana,

λ adalah laju kegagalan,

U adalah ketidakterediaan, lama/durasi gangguan

r adalah rata-rata waktu perbaikan

Subskrip S adalah total dari seri kombinasi, dan subskrip 1, 2, ... n menunjukkan parameter dari unsur-unsur individu. Laju kegagalan λ analog dengan SAIFI, U adalah analog dengan SAIDI, dan r adalah analog dengan CAIDI. Kita dapat menggunakan dasar ini untuk memperkirakan indeks pada rangkaian jaringan radial.

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.

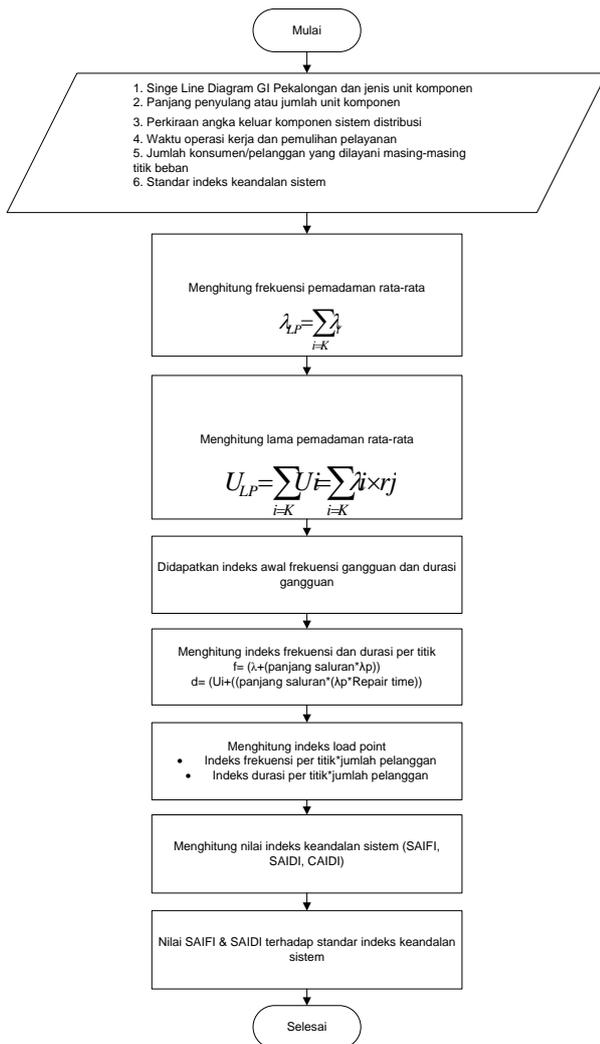
Jaringan udara direncanakan untuk kawasan dengan kepadatan beban rendah atau sangat rendah, misalnya pinggiran kota, kampung/kota-kota kecil, dan tempat tempat-tempat yang jauh serta luas dengan beban tersebar.

- 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 nilai-nilainya seperti,

- λ_A adalah laju kegagalan aktif dinyatakan dalam jumlah kegagalan per tahun (failure/yr). Mode kegagalan ini menyebabkan operasi peralatan proteksi primer,
- λ_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 (λ_{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).

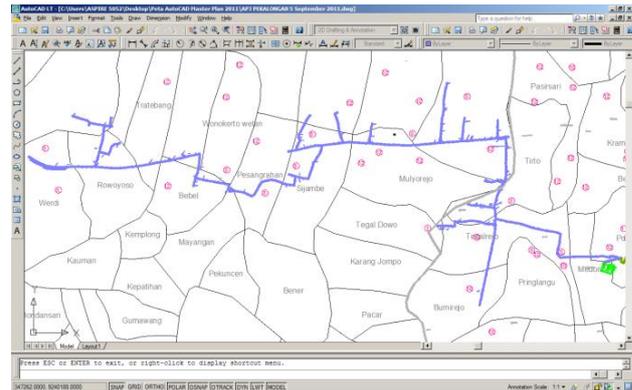


Gambar 2.2 Diagram Alir Implementasi Perhitungan

3. Hasil Dan Analisa

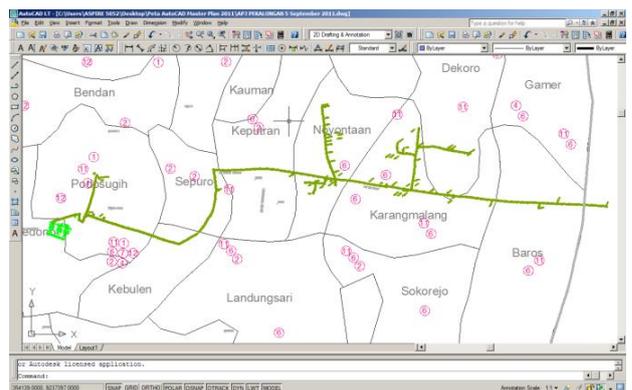
3.1 Data Sistem

Data yang digunakan pada simulasi perhitungan ini adalah data *project masterplan* tahun 2011. Data 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 3.1 Bentuk Jaringan Penyulang PKN 8

Untuk data yang digunakan untuk perhitungan hanya penyulang utama/jaringan 3 fasa saja dari pangkal gardu induk sampai ujung 3 fasa. Untuk penyulang PKN 8 panjang yang dihitung adalah 11,65 km. Jumlah trafo yang terdapat sepanjang pangkal sampai ujung sebanyak 23 trafo dan jumlah pelanggan secara keseluruhan berjumlah 1231 pelanggan. Untuk jumlah pelanggan, penulis mengasumsikannya sendiri dengan rata-rata per trafo dibebani pelanggan tegangan rendah 1300 VA.



Gambar 3.2 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 4.1 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 4.1 karena laju kegagalan dari saluran udara dalam per km, maka panjang saluran perlu diketahui, Setelah diketahui data keandalan peralatan yang telah dicantumkan pada tabel 4.1 di atas, 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.

Tabel 4.2 Indeks titik beban dan pelanggan PKN 8

Titik Beban	Indeks Titik Beban (kali/tahun)	Indeks Titik Beban (jam/tahun)	Jumlah Pelanggan
1	0,005	0,05	0
2	0,4215	1,3034	0
3	0,4265	1,3184	0
4	0,4765	1,4684	0
5	2,599	8,9209	37
6	2,6065	8,9434	0
7	2,6015	8,9284	37
8	2,604	8,9359	75
9	2,614	8,9659	37
10	2,6165	8,9734	37
11	2,624	8,9959	0
12	2,6565	9,0934	75
13	2,659	9,1009	0
14	2,6665	9,1234	0
15	2,674	9,1459	112
16	2,6765	9,1534	75
17	2,679	9,1609	0
18	2,6815	9,1684	75

19	2,694	9,2059	75
20	2,6965	9,2134	0
21	2,6915	9,1984	0
22	2,6965	9,2134	75
23	2,734	9,3259	0
24	2,754	9,3859	0
25	2,7665	9,4234	0
26	2,784	9,4759	0
27	2,789	9,4909	0
28	2,779	9,4609	75
29	2,794	9,5059	37
30	2,7965	9,5134	0
31	2,8015	9,5284	0
32	2,8065	9,5434	75
33	2,8515	9,6784	18
34	2,8565	9,6934	18
35	2,879	9,7609	37
36	2,884	9,7759	0
37	2,9015	9,8284	75
38	2,909	9,8509	75
39	2,9165	9,8734	37
40	2,9615	10,0084	37
41	2,9765	10,0534	0
42	2,999	10,1209	0
43	2,9815	10,0684	37
44-ujung	2,999	10,1209	0

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

$$SAIFI = \frac{\text{Total number of customer interruptions}}{\text{Total number of customer served}} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i}$$

$$\frac{\sum((0,005x0) + (0,4215x0) + \dots + (2,9990x0))}{\sum(0 + 0 + \dots + 37 + 0)}$$

$$\frac{3381,257}{1231} = 2,7468 \text{ kali/tahun}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan hasil nilai SAIFI sebesar 2,7468 kali/tahun.

$$SAIDI = \frac{\text{Sum of customer interruption durations}}{\text{Total number of customer served}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i}$$

$$\frac{\sum((0,05x0) + (1,3034x0) + \dots + (10,1209x0))}{\sum(0 + 0 + \dots + 37 + 0)}$$

$$\frac{11527,29}{1231} = 9,3642 \text{ jam/tahun}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai SAIDI sebesar 9,3233 jam/tahun

$$CAIDI = \frac{\text{Sum of customer interruption durations}}{\text{Total number of customer interruptions}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \lambda_i}$$

$$\frac{\sum((0,05x0) + (1,3034x0) + \dots + (10,1209x0))}{\sum((0,005x0) + (0,4215x0) + \dots + (2,9990x0))}$$

$$\frac{11527,29}{3381,257} = 3,4092 \text{ jam/pelanggan}$$

Nilai CAIDI yang didapat dari perhitungan di atas adalah 3,4092 jam/pelanggan

Dari hasil perhitungan di atas dapatkan bahwa untuk nilai SAIFI dan SAIDI sudah memenuhi standar SPLN 68-2 tahun 1986 dimana untuk SUTM radial nilai SAIFI adalah 3,2 kali/tahun dan SAIDI sebesar 21 jam/tahun.

Dengan cara yang sama untuk penyulang PKN 11 didapatkan hasil berikut:

Tabel 4.3 Indeks titik beban dan pelanggan PKN 11

Titik Beban	Indeks Titik Beban f (kali/tahun)	Indeks Titik Beban d (jam/tahun)	Jumlah Pelanggan
1	0,005	0,05	0
2	2,0270	7,6755	0
3	2,0495	7,7430	75
4	2,0745	7,8180	0
5	2,1220	7,9605	0
6	2,1745	8,1180	0
7	2,1795	8,1330	0
8	2,1845	8,1480	0
9	2,1820	8,1405	37
10	2,1870	8,1555	121
11	2,1920	8,1705	151
12	2,1970	8,1855	75
13	2,1995	8,1930	303
14	2,2020	8,2005	7
15	2,2045	8,2080	75
16	2,2095	8,2230	37
17	2,2120	8,2305	37
18	2,2195	8,2530	55
19	2,1945	8,1780	37
20	2,1995	8,1930	75
21	2,2045	8,2080	18
22	2,2095	8,2230	0
23	2,2120	8,2305	74
24	2,2145	8,2380	75
25	2,2120	8,2305	0
26	2,2145	8,2380	37
27	2,2220	8,2605	37
28	2,2295	8,2830	0
29	2,2395	8,3130	121
30	2,2420	8,3205	477
31	2,2420	8,3205	132
32	2,2470	8,3355	75
33	2,2345	8,2980	37

34	2,2495	8,3430	55
35	2,2595	8,3730	121
36	2,2420	8,3205	37
37	2,2195	8,2530	37
38	2,2270	8,2755	121
39	2,2295	8,2830	0
40	2,2370	8,3055	37
41	2,2470	8,3355	75
42	2,2670	8,3955	0
43	2,2745	8,4180	151
44	2,2770	8,4255	75
45	2,2945	8,4780	0

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

$$SAIFI = \frac{\text{Total number of customer interruptions}}{\text{Total number of customer served}} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i}$$

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

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

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

$$SAIDI = \frac{\text{Sum of customer interruption durations}}{\text{Total number of customer served}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i}$$

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

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

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

$$CAIDI = \frac{\text{Sum of customer interruption durations}}{\text{Total number of customer interruptions}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \lambda_i}$$

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

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

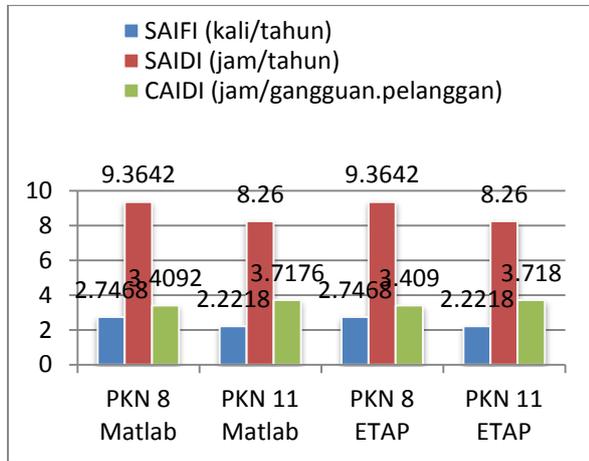
Nilai CAIDI yang didapat dari perhitungan di atas adalah 3,7176 jam/pelanggan.

Dari hasil perhitungan di atas dapatkan bahwa untuk nilai SAIFI dan SAIDI sudah memenuhi standar SPLN 68-2 tahun 1986 dimana untuk SUTM radial nilai SAIFI adalah 3,2 kali/tahun dan SAIDI sebesar 21 jam/tahun.

3.3 Perbandingan Perhitungan Hasil Simulasi Software Matlab dan ETAP

Dari semua hasil simulasi perhitungan, dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan dengan software matlab dan

pembandingan ETAP hasilnya tidak jauh berbeda. Sedikit perbedaan dikarenakan faktor terjadinya pembulatan nilai. Hasil perbandingan dapat dilihat pada gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3 Grafik perbandingan nilai indeks hasil perhitungan Matlab dan ETAP

Pada hasil perhitungan menggunakan Matlab, untuk penyulang PKN 8 nilai SAIFI sebesar 2,7468 kali/tahun dan nilai SAIDI sebesar 9,3642 jam/tahun, sedangkan nilai CAIDI sebesar 3,4092 jam/pelanggan. Untuk hasil perhitungan pada 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 untuk hasil perhitungan pada penyulang PKN 8 dan PKN 11 sudah memenuhi standar SPLN 68-2 tahun 1986 dimana untuk SUTM radial nilai SAIFI adalah 3,2 kali/tahun dan SAIDI sebesar 21 jam/tahun.

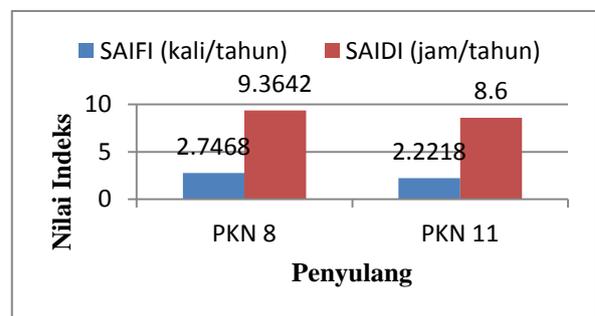
Sedangkan hasil nilai perhitungan menggunakan *software* pembandingan ETAP yaitu untuk penyulang PKN 8 nilai SAIFI sebesar 2,7468 f/customer.yr dan untuk nilai SAIDI sebesar 9,3642 hr/customer.yr, sedangkan untuk nilai CAIDI sebesar 3,409 hr/customerinterruption. Untuk hasil perhitungan pada penyulang 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/customerinterruption.

3.4 Perbandingan Perhitungan Hasil Simulasi Software Matlab

Dari semua hasil simulasi perhitungan penyulang PKN 8 dan PKN 11 bila dibandingkan maka terdapat perbedaan yang ditampilkan seperti pada **tabel 3.4**.

Pada hasil perhitungan, nilai penyulang PKN 8 didapat nilai indeks SAIFI sebesar 2,7468 kali/tahun dan 9,3642 jam/tahun untuk SAIDI. Sedangkan nilai indeks SAIFI penyulang PKN 11 adalah 2,2128 kali/tahun dan SAIDI

didapat nilai 8,26 jam/tahun. Berdasarkan tabel dan gambar di atas terdapat perbedaan antara hasil perhitungan, hal ini dikarenakan jarak penyulang pada PKN 8 lebih panjang yaitu 11,65 km dibandingkan dengan PKN 11 yang mempunyai panjang 8,9 km. Selanjutnya untuk standar indeks SPLN 68-2 Tahun 1986 berlaku nilai SAIFI adalah 3,2 kali/tahun dan SAIDI adalah 21 jam/tahun, kedua penyulang di atas (PKN 8 dan PKN 11) masih di bawah standar indeks. Perbedaan antara hasil perhitungan dan standar indeks dikarenakan untuk hasil perhitungan belum dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti penghantar, cuaca, sambungan tidak resmi, vegetasi yang dilewati oleh saluran dan sebagainya.

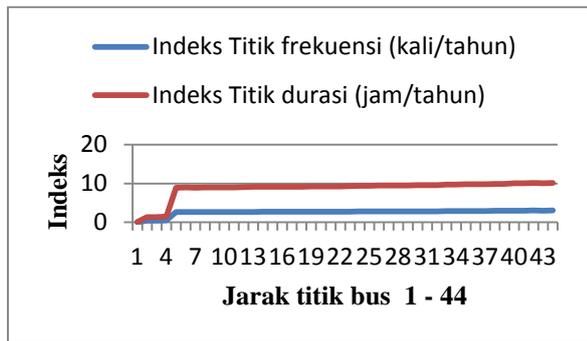


Gambar 3.4 Grafik perbandingan nilai indeks hasil perhitungan Matlab

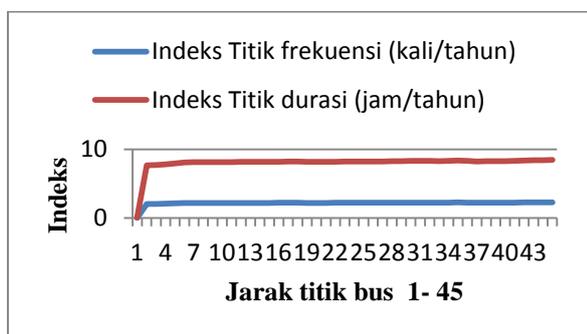
Pada hasil perhitungan, nilai penyulang PKN 8 didapat nilai indeks SAIFI sebesar 2,7468 kali/tahun dan 9,3642 jam/tahun untuk SAIDI. Sedangkan nilai indeks SAIFI penyulang PKN 11 adalah 2,2128 kali/tahun dan SAIDI didapat nilai 8,26 jam/tahun. Berdasarkan tabel dan gambar di atas terdapat perbedaan antara hasil perhitungan, hal ini dikarenakan jarak penyulang pada PKN 8 lebih panjang yaitu 11,65 km dibandingkan dengan PKN 11 yang mempunyai panjang 8,9 km. Selanjutnya untuk standar indeks SPLN 68-2 Tahun 1986 berlaku nilai SAIFI adalah 3,2 kali/tahun dan SAIDI adalah 21 jam/tahun, kedua penyulang di atas (PKN 8 dan PKN 11) masih di bawah standar indeks. Perbedaan antara hasil perhitungan dan standar indeks dikarenakan untuk hasil perhitungan belum dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti penghantar, cuaca, sambungan tidak resmi, vegetasi yang dilewati oleh saluran dan sebagainya.

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 3.5 Grafik perbandingan nilai indeks terhadap jarak pada PKN 8



Gambar 3.6 Grafik perbandingan nilai indeks terhadap jarak pada PKN 11

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

Berdasarkan hasil perhitungan dengan *software* Matlab, nilai SAIFI, SAIDI dan CAIDI pada penyulang PKN 8 adalah (2,7468 kali/tahun, 9,3642 jam/tahun dan 3,4092 jam/pelanggan). Sedangkan nilai SAIFI, SAIDI dan CAIDI pada penyulang PKN 11 adalah (2,218 kali/tahun, 8,26 jam/tahun dan 3,7176 jam/pelanggan). Sehingga nilai SAIFI dan SAIDI pada penyulang PKN 8 dan 11 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 pada penyulang PKN 8 yaitu (2,7468 f/customer.yr dan 9,3642 hr/customer.yr). Nilai SAIFI dan SAIDI pada penyulang PKN 11 yaitu (2,2218 f/customer.yr dan 8,2600 hr/customer.yr). Sedangkan nilai CAIDI pada penyulang PKN 8 dan 11 adalah 3,409 hr/customer interruption dan 3,718 hr/customer interruption.

Perbedaan perhitungan teoritik nilai indeks keandalan tidak terlalu jauh antara perhitungan yang menggunakan program bantu Matlab dan *software* pembanding ETAP 7.0 untuk mencari nilai indeks keandalan suatu jaringan

distribusi 20kV dengan tipe topologi jaringan berbentuk radial.

Semakin jauh letak tempat atau lokasi beban dari sumber suplai tenaga listrik maka nilai indeks sistem keandalannya akan semakin rendah.

Referensi

- [1] Gonen, Turan. 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*. New York : McGraw-Hill.
- [2] 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.
- [3] Brown, Richard E., "Electric Power Distribution Reliability Second Edition", CRC Press Taylor & Francis Group, United States of America, 2009.
- [4] Habsoro, Sigit W. "Analisa Penempatan Kapasitor Bank Untuk Perhitungan Drop Voltage Pada Feeder Batang 02 Tahun 2012-2016 Dengan Software ETAP 7.0.0". penelitian. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.
- [5] Doloksaribu, Parlindungan "Analisa Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik", *Dielektrika*, Vol 1, No 1 : 20-24, Agustus 2010.
- [6] Wicaksono, Cahyo. "Analisa Keberadaan Gardu Induk Balapulang Terhadap Distribusi 20kV di Wilayah Kerja UPJ Balapulang PT. PLN (Persero) Jateng DIY". penelitian. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.
- [7] SPLN No.59 : 1985, "Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV", Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 1985.
- [8] SPLN No.68-2 : 1986, "Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik Bagian dua: Sistem Distribusi", Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 1985.
- [9] Tim Masterplan, *Pembuatan Masterplan Sistem Distribusi 20 KV APJ Pekalongan*, Laporan Akhir, Universitas Diponegoro – PT PLN (Persero) Distribusi Jateng DIY, 2011.
- [10] Sumarno, Radiktyo N. "Optimasi Penempatan Recloser Terhadap Keandalan Sistem Tenaga Listrik Dengan Algoritma Genetika". penelitian. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.
- [11] Wicaksono, Henki P. dkk. "Analisis Keandalan Sistem Distribusi Di PT. PLN (PERSERO) APJ Kudus Menggunakan Software ETAP (Electrical Transient Analysis Program) dan Metode Section Technique" *Proceeding Seminar penelitian Teknik Elektro FTI-ITS*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [12] Antoni, Teguh, *Analisa Kebutuhan Gardu Induk Baru di Wilayah APJ Pekalongan dari Tahun 2012-2016*, penelitian S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2012.
- [13] Saefulloh, Dian , *Perencanaan Pengembangan Gardu Induk untuk 10 Tahun ke Depan*, penelitian S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2010.
- [14] <https://twitter.com/plns2jb/status/975413261107457>(diakses tanggal 5 Desember 2013)
- [15] <http://ilmulistrik.com/pemutus-tenaga-circuit-breaker.html> (diakses tanggal 5 Desember 2013)

- [16] <http://ezkhelenergy.blogspot.com/2011/12/load-break-switch-lbs.html> (diakses tanggal 5 Desember 2013)
- [17] <http://agusjamaludin.blogspot.com/2011/03/laporan-praktek-kerja-lapangan-operasi.html> (diakses tanggal 5 Desember 2013)
- [18] <http://alfiyanghozali.blogspot.com/2012/12/jaringan-distribusi-hepimiz-icin-bilim.html> (diakses tanggal 5 Desember 2013)
- [19] <http://desijyantri.blogspot.com/2012/06/v-behaviorurdefaultvmlo.html> (diakses tanggal 5 Desember 2013)
- [20] <http://muhamadrizkifauzikadili.blogspot.com/2012/06/trafo-distribusi.html> (diakses tanggal 5 Desember 2013)