

Analisis Perbandingan Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi dengan Metode Section Technique dan Reliability Index Assessment (RIA): Studi Kasus Gardu Induk Balaraja

Ulfah Khairiyah Luthfiyani¹, Adi Setiawan², Samsul Arifin³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Indonesia

Email: ¹ulfahkl.elektro@iti.ac.id, ²adi.setiawan@iti.ac.id, ³smslarfn18@gmail.com

Abstract

The reliability of the electric power distribution system refers to its ability to provide sufficient electricity supply to consumers with satisfactory quality. There are several methods used to calculate the level of reliability of a distribution system, such as the Section Technique method and the Reliability Index Assessment (RIA) method, by considering reliability index values such as the System Average Interruption Frequency Index (SAIFI), System Average Interruption Duration Index (SAIDI), and Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI). This study analyzed the reliability of the 20kV distribution system in the Prajurit feeder at the Balaraja main substation. Based on the analysis using the Section Technique method, the reliability index values for the Prajurit feeder were obtained at 2.1876 for SAIFI, 20.9624 for SAIDI, and 9.5823 for CAIDI. The analysis using the RIA method showed reliability index values of 2.2025 for SAIFI, 21.3445 for SAIDI, and 9.6910 for CAIDI. The reliability of the distribution system was also tested using computer simulation, and the reliability index values were found to be 1.5697 for SAIFI, 18.6939 for SAIDI, and 11.9092 for CAIDI. Therefore, based on the analysis, simulation, and reliability index standards stated in SPLN 68-2: 1986, the electric power distribution network in the Prajurit feeder can be categorized as a reliable network.

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

Abstrak

Keandalan dalam sistem jaringan distribusi listrik merupakan kemampuan sistem untuk memberikan pasokan tenaga listrik yang cukup kepada konsumen dengan kualitas yang memuaskan. Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam memperhitungkan tingkat keandalan suatu jaringan sistem distribusi seperti metode Section Technique dan Reliability Index Assessment (RIA), dengan mempertimbangkan nilai-nilai indeks keandalan seperti SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), SAIDI (System Average Interruption Duration Index), dan CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index). Pada penelitian ini, dilakukan analisis keandalan sistem distribusi 20kV pada penyulang Prajurit di Gardu Induk Balaraja. Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Section Technique, diperoleh nilai indeks keandalan jaringan distribusi pada penyulang Prajurit sebesar 2.1876 untuk SAIFI, 20.9624 untuk SAIDI, dan 9.5823 untuk CAIDI. Hasil analisis menggunakan metode RIA menunjukkan indeks keandalan sebesar 2.2025 untuk SAIFI, 21.3445 untuk SAIDI dan 9.6910 untuk CAIDI. Pengujian keandalan sistem distribusi juga dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer, diperoleh nilai indeks keandalan sebesar 1.5697 untuk SAIFI, 18.6939 untuk SAIDI, dan 11.9092 untuk CAIDI. Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis, simulasi, dan standar indeks keandalan yang tertera pada SPLN 68-2: 1986 maka jaringan distribusi listrik pada penyulang Prajurit dapat dikategorikan sebagai jaringan yang andal.

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

1. PENDAHULUAN

Menurut Suhadi, dkk (2008) keandalan sistem tenaga listrik di gardu distribusi menjadi salah satu topik penting dalam ilmu teknik distribusi tenaga listrik. Pada umumnya, keandalan sistem tenaga listrik diukur dengan menggunakan indeks keandalan seperti SAIFI, SAIDI, dan CAIDI. Indeks-indeks tersebut digunakan untuk mengevaluasi dan memperbaiki kinerja jaringan distribusi listrik dalam memberikan pasokan listrik yang andal dan berkualitas kepada konsumen. Selain itu, keandalan sistem tenaga listrik di gardu distribusi juga dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kualitas peralatan, keandalan sumber daya listrik, dan keandalan sistem pengendalian dan pemantauan. Oleh karena itu, para insinyur dan ahli teknik listrik terus melakukan penelitian dan pengembangan terhadap teknologi dan sistem distribusi tenaga listrik untuk meningkatkan keandalan sistem dan memenuhi kebutuhan konsumen.

Xiaoyan Zhou dan Huisheng Shi (2018) mengembangkan suatu metode untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik menggunakan simulasi Monte Carlo dan data historis. Metode tersebut terdiri dari tiga langkah utama yaitu mengumpulkan data historis terkait dengan pemadaman listrik di sistem distribusi tenaga listrik yang sedang dievaluasi, membangun model simulasi Monte Carlo berdasarkan data historis tersebut untuk menghasilkan skenario pemadaman listrik yang mungkin terjadi di masa depan, dan menganalisis keandalan sistem distribusi tenaga listrik dengan menggunakan indeks keandalan seperti SAIFI, SAIDI, dan CAIDI. Dengan metode tersebut, ditemukan bahwa terdapat faktor-faktor yang juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap keandalan sistem distribusi tenaga listrik yaitu faktor cuaca, kondisi lingkungan, dan kualitas peralatan.

Dalam membicarakan keandalan, terlebih dahulu harus diketahui kesalahan atau gangguan yang menyebabkan kegagalan peralatan untuk bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Adapun konsep keandalan meliputi (Faisal, 2016) :

- Kegagalan : kegagalan adalah berakhirnya kemampuan suatu peralatan untuk melaksanakan suatu fungsi yang diperlukan.
- Penyebab kegagalan : keadaan lingkungan selama disain, pembuatan atau yang akan menuntun kepada kegagalan.
- Mode kegagalan : Akibat yang diamati untuk mengetahui kegagalan, misalnya suatu keadaan rangkaian terbuka atau hubung singkat.
- Mekanisme kegagalan : Proses fisik, kimia atau proses lain yang menghasilkan kegagalan.

Adanya gangguan tersebut bukan hanya mengakibatkan menurunnya tingkat keandalan namun juga secara langsung akan mengakibatkan kerugian pada beberapa pihak baik PT. PLN (Persero) dan juga konsumen. Hal tersebut dikarenakan PT. PLN (Persero) pada saat terjadinya gangguan tentu akan melakukan perbaikan baik secara pemeliharaan ataupun melakukan penggantian terhadap beberapa alat atau komponen pendukung yang rusak dan konsumen akan mengalami kerugian karena tidak dapat melakukan berbagai aktifitas yang memerlukan adanya energi listrik tersebut. Dalam proses pengoperasian jaringan distribusi ada beberapa hal yang menjadi tujuan utama yaitu (Samsul, 2020) :

1. Cara penanganan gangguan secepat mungkin.
2. Keandalan cukup baik, yang meliputi :
3. Kuantitas cukup baik.

4. Saat terjadi gangguan, daerah yang mengalami pemadaman sesedikit mungkin.
5. Tegangan sumber cukup baik.
6. Nilai Losses tidak terlalu besar.

Evaluasi keandalan sistem distribusi terdiri dari indeks titik beban dan indeks sistem. Indeks kegagalan titik beban yang biasanya digunakan meliputi tingkat kegagalan λ (kegagalan/tahun), rata-rata waktu keluar (outage) r (jam/kegagalan) dan rata-rata ketidaktersediaan tahunan U (jam/tahun). Beberapa indeks keandalan telah dikembangkan pada untuk melakukan evaluasi keandalan jaringan sistem distribusi. Indeks keandalan yang dihitung dalam suatu sistem adalah indeks – indeks titik beban (load point) dan indeks – indeks sistem. Indeks load point antara lain :

Frekuensi gangguan (failure rate) untuk setiap load point λ_{LP} , merupakan penjumlahan laju kegagalan terhadap load point, dengan persamaan :

$$\lambda_{LP} = \sum_{i=k} \lambda_i \quad (1.1)$$

Keterangan :

λ_i = laju kegagalan peralatan

K = semua panjang saluran yang berpengaruh pada load point

Lama/durasi gangguan tahunan rata-rata untuk load point ULP, dengan persamaan :

$$U_{LP} = \sum \lambda_i \times r_j \quad (1.2)$$

Keterangan :

r_j = waktu perbaikan (repair time atau switching time)

Berdasarkan indeks-indeks load point ini, diperoleh sejumlah indeks keandalan untuk mengetahui indeks keandalan sistem secara keseluruhan yang dapat dievaluasi dan bisa didapatkan dengan lengkap mengenai kinerja sistem, yaitu :

- SAIFI adalah jumlah rata – rata kegagalan yang terjadi per pelanggan yang dilayani per satuan waktu. Indeks ini ditentukan dengan membagi jumlah semua kegagalan dalam satu tahun dengan jumlah pelanggan yang dilayani oleh sistem tersebut. Persamaan SAIFI dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \times N_i}{\sum N} \quad (1.3)$$

Keterangan :

$\sum \lambda_i$: Frekuensi pemadaman rata-rata

N_i : Jumlah pelanggan pada beban i

$\sum N$:Total jumlah pelanggan pada sistem

- SAIDI merupakan nilai indeks rata – rata gangguan terhadap konsumen dalam sepanjang tahun. Durasi gangguan pemadaman dinyatakan per jam dengan persamaan sebagai berikut :

$$SAIDI = \frac{\sum U_i \times N_i}{\sum N} \quad (1.4)$$

Keterangan :

ΣU_i : Total durasi pemadaman.

N_i : Jumlah pelanggan pada beban i

ΣN : Total jumlah pelanggan pada sistem

- CAIDI adalah indeks durasi gangguan konsumen rata – rata tiap tahun, menginformasikan tentang waktu rata – rata untuk penormalan kembali gangguan tiap – tiap pelanggan dalam satuan tahun. Secara matematis CAIDI dapat dihitung dengan persamaan berikut:

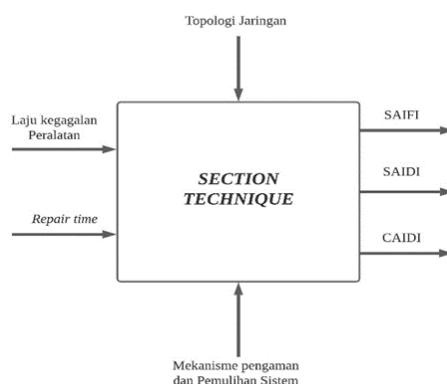
$$\text{CAIDI} = \frac{\text{SAIDI}}{\text{SAIFI}} \quad (1.5)$$

Standar nilai indeks keandalan merupakan sebuah standarisasi ketetapan nilai keandalan sistem distribusi yang mengacu pada SPLN 68-2:1986. Standar indeks keandalan tersebut digunakan PLN untuk dapat menjadi acuan suatu jaringan distribusi. Untuk menghitung besarnya nilai keandalan komponen distribusi digunakan indeks perkiraan angka keluar (outage) dan waktu perbaikan (repair duration) dari masing-masing komponen sesuai dengan SPLN 59:1985.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metode Section Technique

Gambar 1 menunjukkan metode Section Technique yang digunakan untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi didasarkan pada bagaimana suatu kegagalan dari suatu peralatan mempengaruhi operasi sistem. Efek atau konsekuensi dari gangguan individual peralatan secara sistematis diidentifikasi dengan penganalisisan apa yang terjadi jika gangguan terjadi. Kemudian masing-masing kegagalan peralatan dianalisa dari semua titik beban (load point). Indeks keandalan yang dihitung adalah indeks-indeks titik beban (Setiawan, 2018).

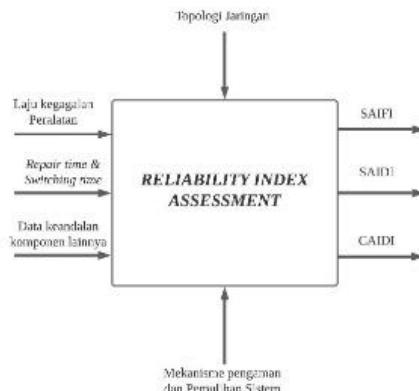


Gambar 1. Skema metode Section Technique

Untuk mengetahui nilai indeks keandalan jaringan distribusi yang akan dicari, pengumpulan data yang telah dilakukan akan menjadi input perhitungan dari metode ini dengan cara harus mengetahui jenis klasifikasi atau topologi jaringan yang dipakai dan dilakukan pembagian struktur jaringan berdasarkan penempatan recloser (PBO) dan Sectionalizer (SSO). Setelah mengetahuinya, dilakukan perhitungan laju kegagalan dari setiap komponen peralatan dan waktu perbaikan. Hasil dari perhitungan indeks keandalan dari setiap section akan diakumulasikan dan mendapatkan nilai total indeks keandalan yang dicari.

2.2 Metode RIA

Metode RIA digunakan sebagai sebuah pendekatan yang digunakan untuk memprediksi gangguan pada sistem distribusi berdasarkan topologi sistem dan data-data mengenai component reliability. Secara fungsional RIA mendata kegagalan yang terjadi pada peralatan secara komprehensif, lalu mengidentifikasi kegagalan tersebut, dan menganalisis mode kegagalan tersebut, dan menganalisis mode kegagalan tersebut seperti yang digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema metode RIA

Proses untuk mendapatkan indeks keandalan yang akan dicari harus mengetahui jenis klasifikasi atau topologi jaringan yang dipakai dan dilakukan pembagian struktur jaringan berdasarkan penempatan recloser (PBO) dan Sectionalizer (SSO). Setelah mengetahuinya, dilakukan perhitungan lanjut kegagalan dari setiap komponen peralatan terutama dimasukan nilai laju kegagalan sementara pada jaringan SUTM dan waktu perbaikan serta waktu pergantian (switching time) pada perhitungan RIA. Hasil dari perhitungan indeks keandalan dari setiap section akan diakumulasikan dan mendapatkan nilai total indeks keandalan yang dicari.

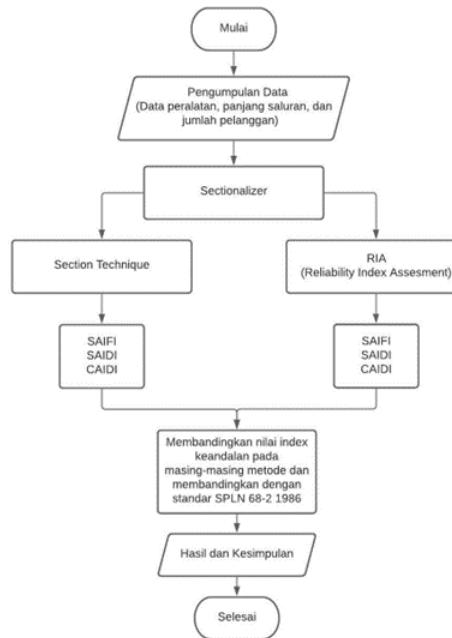
Sebelum analisa keandalan dilakukan pada sebuah sistem, harus menetukan terlebih dahulu komponen - komponen dari reliability data yang akan digunakan, yaitu sebagai berikut :

- λM : Momentary failure rate; ini adalah frekuensi dari fault yang akan hilang dengan sendirinya.
- λS : Sustained failure rate; ini adalah frekuensi dari kegagalan yang membutuhkan kru untuk memperbaikinya.
- MTTR : Mean Time To Repair; ini adalah lama waktu yang digunakan oleh kru untuk memperbaiki component outage dan mengembalikan sistem ke keadaan operasi normal.
- MTTS : Mean Time To Switch; ini adalah lama waktu yang akan dipakai setelah terjadi failure untuk sectionalizing switch.

Dalam menganalisis tingkat keandalan pada penyulang Prajurit dilakukan beberapa metode analisis untuk mengevaluasi tingkat keandalan distribusi pada penyulang tersebut dengan output SAIFI, SAIDI, dan CAIDI. Metode analisis yang digunakan yaitu metode Section Technique dan metode RIA.

Dalam perhitungan pada kedua metode yang digunakan untuk mencari nilai indeks keandalan ini, dilakukan sectionalizer atau membagi section pada jaringan distribusi

20kV pada penyulang Prajurit. Hal ini dilakukan karena dua metode tersebut menggunakan pembagian section pada jaringan distribusi agar memperoleh nilai indeks keandalan yang lebih akurat. Alur skematik pembagian section tersebut diperlihatkan pada Gambar 3 berikut ini.

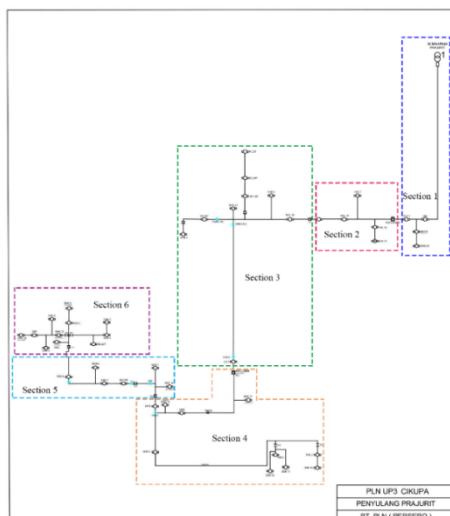


Gambar 3. Flowchart pengolahan data

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam menganalisis tingkat keandalan pada penyulang Prajurit dilakukan beberapa metode analisis untuk mengevaluasi tingkat keandalan distribusi pada penyulang tersebut dengan output SAIFI, SAIDI, dan CAIDI. Metode analisis yang digunakan yaitu metode Section Technique dan metode RIA.

Dalam perhitungan pada kedua metode yang digunakan untuk mencari nilai indeks keandalan ini, dilakukan sectionalizer atau membagi section pada jaringan distribusi 20kV pada penyulang Prajurit. Hal ini dilakukan karena dua metode tersebut menggunakan pembagian section pada jaringan distribusi agar memperoleh nilai indeks keandalan yang lebih akurat.



Gambar 4. Pembagian section penyulang Prajurit

Analisa menggunakan metode Section Technique dan Reliability Index Assessment pada penyulang Prajurit dilakukan pembagian struktur jaringan menjadi beberapa bagian berdasarkan penempatan titik alat sectionalizer yaitu recloser dan saklar seksi otomatis (SSO) yang terpasang pada jaringan distribusi penyulang Prajurit. Sesuai penempatan sectionalizer tersebut, penyulang Prajurit dibagi menjadi 6 section yaitu *section 1*, *section 2*, *section 3*, *section 4*, *section 5* dan *section 6*. Untuk melihat pembagian section pada penyulang Prajurit dapat dilihat dalam gambar 4.

3.1. Analisis Keandalan Menggunakan Metode Section Technique

Pada analisa menggunakan metode Section Technique pada penyulang Prajurit dilakukan pembagian struktur jaringan yang sudah dilakukan pada gambar 3. Dengan begitu, dapat dilakukan analisis selanjutnya pada jaringan distribusi listrik pada penyulang Prajurit.

Pada langkah pertama yaitu terdapat hasil dari pembagian jaringan pada penyulang Prajurit berupa data Gardu yang membagi beberapa section yang berupa data jumlah konsumen dan kode load point pada tabel 1.

Tabel 1. *Load point* dan jumlah pelanggan *section 1*

No	Gardu	Jumlah Konsumen	Kode LP
1	CPL	1077	LP1
2	SKM 5	130	LP2
3	SKM 20	14	LP3
4	KLS1	588	LP4

Kemudian untuk mengetahui bagaimana efek suatu kegagalan peralatan dalam sistem jaringan distribusi dapat dilihat dalam daftar mode kegagalan yang dapat mempengaruhi *load point* yang sudah terbagi dalam beberapa section yaitu pada tabel 2.

Tabel 2. Data kegagalan peralatan terhadap load point pada *section 1*

No	Peralatan	Efek Sistem
1	PMT	LP1 - LP4
2	Trafo 1	LP1
3	Trafo 2	LP2
4	Trafo 3	LP3
5	Trafo 4	LP4
6	L1	LP1 - LP4
7	L2	LP1 - LP4
8	L3	LP1 - LP4
9	L4	LP1 - LP4

Langkah berikutnya menentukan nilai frekuensi kegagalan (λ) dari hasil perkalian panjang saluran dan frekuensi kegagalan/km tiap saluran dan peralatan yang termasuk ke dalam masing – masing *section*. Kemudian menentukan nilai durasi/lama kegagalan (U) dari tiap peralatan yang didapatkan dari hasil perkalian frekuensi kegagalan per tahun (λ) dan waktu perbaikan (r) dari SPLN yang termasuk ke dalam *section 1*. Sebagai contoh yaitu perhitungan saluran L1 dengan menggunakan persamaan 1.1 dan 1.2.

Tabel 3. Data frekuensi kegagalan dan durasi kegagalan *section 1*

Komponen	λs Sustained (SPLN)	Panjang Saluran (kms)	Repair Time (hour)	λ (fault/year)	U (hour/year)
PMT	0.004	-	10	0.004	0.04
Trafo 1	0.005	-	10	0.005	0.05
Trafo 2	0.005	-	10	0.005	0.05
Trafo 3	0.005	-	10	0.005	0.05
Trafo 4	0.005	-	10	0.005	0.05
L1	0.7	3.703	15	2.5921	38.8815
L2	0.7	0.95	15	0.665	9.975
L3	0.7	0.95	15	0.665	9.975
L4	0.2	0.749	3	0.1498	0.4494
TOTAL				4.0959	59.5209

Hasil perhitungan frekuensi kegagalan (λ) dan durasi kegagalan (U) *section 1* disajikan pada tabel 3 adalah sebagai berikut:

$$\lambda = \text{Panjang saluran} \times \lambda s$$

$$\lambda = 3.703 \times 0.7$$

$$\lambda = 2.5921$$

$$U = \lambda s \times \text{Repair time}$$

$$U = 0.7 \times 15$$

$$U = 38.881$$

Total nilai frekuensi kegagalan dan durasi/lama kegagalan tiap *load point* yang didapatkan pada setiap *section*, dilanjutkan dengan menghitung nilai indeks SAIFI dan SAIDI pada tiap *load point*. Sebagai contoh perhitungan SAIFI dan SAIDI *load point* (LP) dengan menggunakan persamaan 1.3 dan persamaan 1.4. Hasil perhitungan SAIFI dan SAIDI tiap *load point* disajikan pada tabel 4.

Perhitungan indeks SAIFI.:

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum \lambda LP1 \times NLP1}{\sum N}$$

Dimana :

$$\sum \lambda LP1 = 4.0959$$

$$NLP1 = 1077$$

$$\sum N = 16826$$

Maka :

$$\text{SAIFI} = \frac{4.0959 \times 1077}{16826}$$

$$\text{SAIFI} = 0.2622 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

Perhitungan indeks SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) :

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum ULP1 \times NLP1}{\sum N}$$

Dimana :

$$\sum ULP1 = 59.5209$$

$$NLP1 = 1077$$

$$\sum N = 16826$$

$$\text{SAIDI} = \frac{59.5209 \times 1077}{16826}$$

$$\text{SAIDI} = 3.8098 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

Tabel 4. Indeks SAIFI dan SAIDI tiap *load point* pada *section 1*

Load Point	λ (fault/year)	U (hour/year)	Jumlah pelanggan	SAIFI	SAIDI
LP1	4.0959	59.5209	1077	0.2622	3.8098
LP2	4.0959	59.5209	130	0.0316	0.4599
LP3	4.0959	59.5209	14	0.0034	0.0495
LP4	4.0959	59.5209	588	0.1431	2.0800
TOTAL				0.4404	6.3992

Setelah mendapatkan hasil SAIFI dan SAIDI pada setiap *section*, maka dilakukan penggabungan nilai dari *section 1* hingga *section 6* untuk mendapatkan total nilai indeks keandalan pada jaringan distribusi penyulang Prajurit. Indeks keandalan tersebut dapat dilihat pada tabel 5. Berdasarkan data yang diperlihatkan pada tabel 5, nilai SAIDI dan SAIFI penyulang Prajurit dengan metode *Section Technique* diperoleh nilai SAIFI sebesar 2.1876 kali/tahun dan nilai SAIDI sebesar 20.9624 jam/pelanggan/tahun. Besarnya nilai CAIDI merupakan pembagian antara hasil SAIDI dengan SAIFI yang menggunakan persamaan 1.5 sehingga diperoleh nilai sebesar 9.5824 jam/pelanggan/tahun.

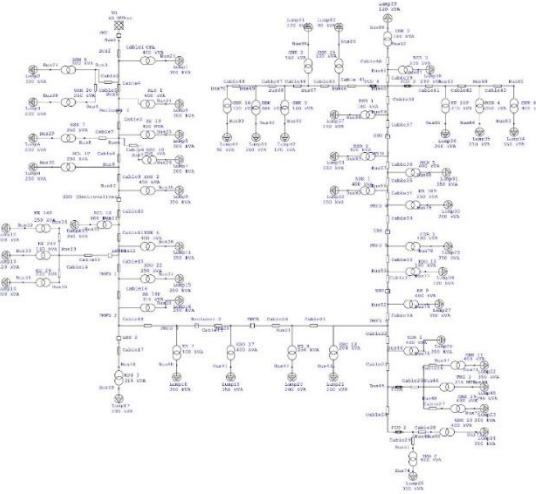
Tabel 5. Akumulasi SAIFI dan SAIDI pada tiap section metode *Section Technique*

Section	Indeks Keandalan Penyulang	
	SAIFI	SAIDI
Section 1	0.4404	6.3992
Section 2	0.2150	2.1923
Section 3	0.4172	2.9520
Section 4	0.6467	7.0612
Section 5	0.1823	1.4215
Section 6	0.2860	0.9362
TOTAL	2.1876	20.9624

3.2. Analisis Menggunakan Metode Reliability Index Assessment (RIA)

Analisis dengan metode RIA ini digunakan penjumlahan nilai waktu perbaikan dan nilai *switching time* pada setiap komponen peralatan dalam jaringan distribusi dan ditambahkan nilai *momentary failure rate* pada jaringan SUTM. Dengan begitu metode ini dapat diasumsikan bahwa simulasi perhitungan tersebut menggunakan semua parameter ketentuan nilai indeks keandalan jaringan distribusi pada SPLN No.59 1985.

Metode RIA juga terdapat pada software kelistrikan yaitu ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) yang dimana dalam analisis ini dibuat pemodelan jaringan distribusi penyulang Prajurit menggunakan aplikasi tersebut. Pada penggunaan software ini, dimasukkan parameter ketentuan dari SPLN No. 59 1985 pada tiap komponen peralatan distribusi pada jaringan sehingga perhitungan dapat dijalankan oleh software dengan baik dan memenuhi syarat parameter tersebut. Untuk pemodelan single line diagram yang telah dibuat pada software ETAP dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Pemodelan *single line diagram* menggunakan ETAP

Pada langkah pertama yaitu terdapat hasil dari pembagian jaringan pada penyulang Prajurit berupa data Gardu yang membagi beberapa *section* yang berupa data jumlah konsumen dan kode *load point* pada tabel 6.

Tabel 6. *Load point* dan jumlah pelanggan section 1

No	Gardu	Jumlah Konsumen	Kode LP
1	CPL	1077	LP1
2	SKM 5	130	LP2
3	SKM 20	14	LP3
4	KLS1	588	LP4

Kemudian untuk mengetahui bagaimana efek suatu kegagalan peralatan dalam sistem jaringan distribusi dapat dilihat dalam daftar mode kegagalan pada *section* yang sudah terbagi dalam beberapa *section* yaitu pada tabel 7.

Tabel 7. Data kegagalan peralatan terhadap load point pada section 1

No	Peralatan	Efek Sistem
1	PMT	LP1 - LP4
2	Trafo 1	LP1
3	Trafo 2	LP2
4	Trafo 3	LP3
5	Trafo 4	LP4
6	L1	LP1 - LP4
7	L2	LP1 - LP4
8	L3	LP1 - LP4
9	L4	LP1 - LP4

Langkah berikutnya menentukan nilai frekuensi kegagalan (λ) dari hasil perkalian panjang saluran dengan frekuensi kegagalan yaitu λ_s ditambah dengan λ_m pada tiap saluran serta peralatan yang termasuk ke dalam masing - masing *section*. Kemudian menentukan nilai durasi/lama kegagalan (U) dari tiap peralatan yang didapatkan dari hasil perkalian frekuensi kegagalan per tahun (λ) dan waktu perbaikan ditambah dengan waktu peralihan dari SPLN yang termasuk ke dalam *section* tersebut. Sebagai contoh yaitu perhitungan saluran L4 dengan menggunakan persamaan 1.5 dan 1.6.

Tabel 8. Data frekuensi kegagalan dan durasi kegagalan *section 1*

Komponen	λ_s Sustained (SPLN)	λ_m Momentary (SPLN)	Panjang Saluran (kms)	Repair Time + Switching Time (jam)	λ (fault/year)	U (hour/year)
PMT	0.004	-	-	10.25	0.004	0.0410
Trafo 1	0.005	-	-	10.15	0.005	0.0508
Trafo 2	0.005	-	-	10.15	0.005	0.0508
Trafo 3	0.005	-	-	10.15	0.005	0.0508
Trafo 4	0.005	-	-	10.15	0.005	0.0508
L1	0.7	-	3.703	15.15	2.5921	39.2703
L2	0.7	-	0.95	15.15	0.665	10.0748
L3	0.7	-	0.95	15.15	0.665	10.0748
L4	0.2	0.003	0.749	3.15	0.1520	0.4789
TOTAL				4.0981	60.1428	

Total nilai frekuensi kegagalan dan durasi/lama kegagalan tiap *load point* yang didapatkan pada setiap *section*, dilanjutkan dengan menghitung nilai indeks SAIFI dan SAIDI pada tiap *load point*. Sebagai contoh perhitungan SAIFI dan SAIDI *load point* (LP) dengan menggunakan persamaan 1.3 dan persamaan 1.4. Hasil perhitungan SAIFI dan SAIDI tiap *load point* disajikan pada tabel 9.

Tabel 9. Indeks SAIFI dan SAIDI tiap *load point* pada *section 1*.

Load Point	λ (fault/year)	U (hour/year)	Jumlah pelanggan	SAIFI	SAIDI
LP1	4.0981	60.1428	1077	0.2623	3.8496
LP2	4.0981	60.1428	130	0.0317	0.4647
LP3	4.0981	60.1428	14	0.0034	0.0500
LP4	4.0981	60.1428	588	0.1432	2.1017
TOTAL				0.4406	6.4661

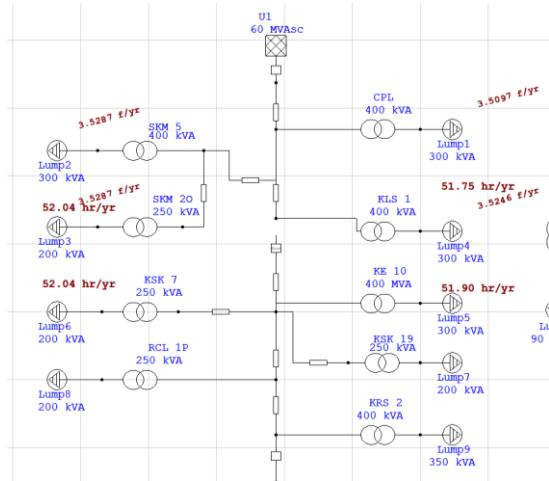
Setelah mendapatkan hasil SAIFI dan SAIDI pada setiap *section*, maka dilakukan penggabungan nilai dari *section 1* hingga *section 6* untuk mendapatkan total nilai indeks keandalan pada jaringan distribusi penyulang Prajurit. Indeks keandalan tersebut dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Akumulasi indeks SAIFI dan SAIDI pada tiap *section* metode RIA.

Section	Indeks Keandalan Penyulang	
	SAIFI	SAIDI
Section 1	0.4406	6.4661
Section 2	0.2162	2.2286
Section 3	0.4213	3.0273
Section 4	0.6504	7.1765
Section 5	0.1839	1.4539
Section 6	0.2901	0.9921
TOTAL	2.2025	21.3445

Berdasarkan tabel diatas nilai SAIDI dan SAIFI penyulang Prajurit dengan metode RIA diperoleh nilai SAIFI sebesar 2.2025 kali/pelanggan/tahun dan nilai SAIDI sebesar 21.3445 jam/pelanggan/tahun. Besarnya nilai CAIDI merupakan pembagian antara hasil SAIDI dengan SAIFI yang menggunakan persamaan 1.5 sehingga diperoleh nilai sebesar 9.5824 jam/pelanggan/tahun.

Untuk pengujian pada *software* pemodelan ETAP, hasil dan nilai yang didapatkan akan diuji sesuai *sectionalizer* yang telah di skemakan dan hasil *reliability assessment* pada ETAP didapatkan nilai *failure* λ dan nilai U pada tiap *section* yang dilanjutkan perhitungan indeks SAIFI dan SAIDI pada masing – masing *section*. Hasil tersebut dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Nilai frekuensi kegagalan dan durasi kegagalan *section 1* pada ETAP

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa pada *section 1* memiliki 4 *load point* dengan dimasukannya nilai parameter laju kegagalan dan durasi kegagalan, maka pada analisis software ETAP memperoleh nilai λ sebesar 3.5287 kegagalan/tahun dan nilai U sebesar 52.04 jam/tahun. Setelah itu dapat dihitung untuk mendapatkan nilai SAIFI dan SAIDI pada *section 1* pada tabel 11.

Tabel 11. Indeks SAIFI dan SAIDI tiap *load point* pada *section 1*.

Load Point	λ (fault/year)	U (hour/year)	Jumlah pelanggan	SAIFI	SAIDI
LP1	3.5287	52.04	1077	0.2259	3.3310
LP2	3.5287	52.04	130	0.0273	0.4021
LP3	3.5287	52.04	14	0.0029	0.0433
LP4	3.5287	52.04	588	0.1233	1.8186
TOTAL				0.3794	5.5949

Setelah mendapatkan hasil SAIFI dan SAIDI pada setiap *section*, maka dilakukan penggabungan nilai dari *section 1* hingga *section 6* untuk mendapatkan total nilai indeks keandalan pada jaringan distribusi penyulang Prajurit. Indeks keandalan tersebut dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Akumulasi indeks SAIFI dan SAIDI pada tiap *section* metode RIA dengan ETAP

Section	Indeks Keandalan Penyulang	
	SAIFI	SAIDI
Section 1	0.3794	5.5949
Section 2	0.1132	1.1305
Section 3	0.3402	3.6443
Section 4	0.3293	3.9031
Section 5	0.1719	2.0725
Section 6	0.2357	2.3486
TOTAL	1.5697	18.6939

Berdasarkan tabel diatas nilai SAIFI dan SAIDI penyulang Prajurit dengan metode simulasi RIA pada ETAP diperoleh nilai SAIFI sebesar 1.5697 kali/tahun dan nilai SAIDI sebesar 18.6939 jam/tahun. Besarnya nilai CAIDI merupakan pembagian antara hasil SAIDI dengan SAIFI yang menggunakan persamaan 1.5 sehingga diperoleh nilai sebesar 11.9092 jam/tahun.

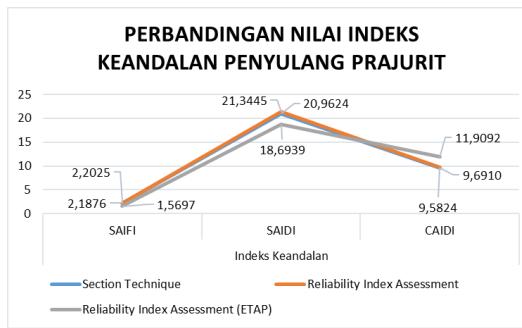
3.3. Perbandingan Dua Metode Pada Nilai Index Keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI

Setelah kedua metode sudah dilakukan, maka untuk mengetahui tingkat keakuratan dari masing – masing metode yaitu metode *Section Technique* dan RIA dilakukan pengukuran nilai indeks keandalan pada tiap metode. Data perbandingan dan grafik ditampilkan pada tabel 13 dan gambar 7.

Tabel 13. Perbandingan indeks keandalan penyulang Prajurit pada setiap metode

Metode	Indeks Keandalan		
	SAIFI	SAIDI	CAIDI
<i>Section Technique</i>	2.1876	20.9624	9.5823
<i>Reliability Index Assessment</i>	2.2025	21.3445	9.6910
<i>Reliability Index Assessment</i> (ETAP)	1.5697	18.6939	11.9092

Pada keadaan ini, metode *Section Technique* dikategorikan sebagai perhitungan perfect switching yang dimana pada keadaan berbeban, pergantian peralatan atau komponen pada jaringan distribusi mengabaikan nilai switching time sehingga dapat dikatakan pergantian tersebut dalam keadaan sempurna sedangkan metode RIA dikategorikan sebagai perhitungan imperfect switching dimana pada keadaan berbeban, pergantian peralatan pada jaringan distribusi dimasukan nilai maksimum switching time pada perhitungan sesuai dengan ketentuan SPLN No. 59 1985 sehingga metode ini lebih mendekati keadaan dilapangan.



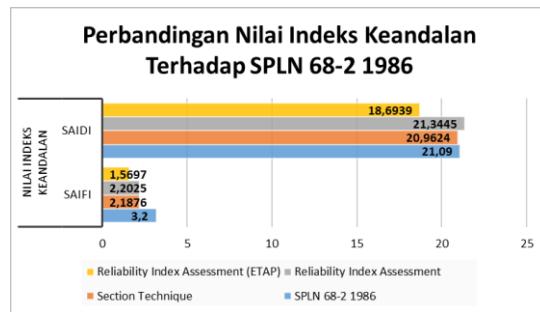
Gambar 7 Grafik perbandingan indeks keandalan penyulang Prajurit pada setiap metode

Dapat dilihat pada tabel 13 dan gambar 7 yang ditampilkan, kedua metode perhitungan yaitu *Section Technique* dan *Reliability Index Assessment* bahwa perbedaan hasil nilai indeks keandalan SAIFI dan SAIDI tidak terlalu jauh. Perbedaan kedua metode perhitungan langsung tersebut disebabkan karena metode RIA menambahkan waktu pergantian dan momentary failure rate pada jaringan kabel SUTM yang menjadikan nilai indeks keandalan pada metode RIA lebih tinggi daripada metode *Section Technique*.

Pada metode RIA dengan menggunakan software ETAP ada perbedaan nilai indeks keandalan dimana data yang dimasukan sebagai parameter perhitungan sudah sesuai seperti data yang dihitung pada perhitungan langsung, akan tetapi pada software ETAP didapatkan nilai SAIFI dan SAIDI yang lebih rendah dibandingkan dengan kedua metode perhitungan langsung yang dimana hasil tersebut lebih baik.

3.3. Perbandingan Nilai Indeks Keandalan Terhadap Ketentuan SPLN 68-2: 1986

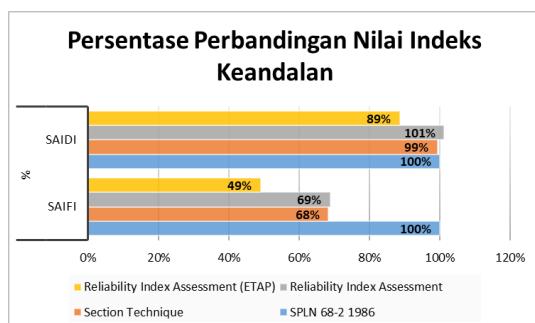
Pada perhitungan ini akan membandingkan nilai indeks keandalan pada dua metode yaitu *Section Technique* dan RIA dengan ketentuan standar nilai indeks keandalan dari tiap instansi. Standar nilai yang akan dibandingkan dengan perhitungan nilai indeks keandalan jaringan distribusi penyulang Prajurit yaitu dengan standar SPLN 68-2 1986. Perbandingan nilai tersebut dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8 Grafik perbandingan indeks keandalan penyulang Prajurit pada setiap metode terhadap SPLN 68-2 1986

Dapat dilihat dari gambar 10 bahwa perhitungan indeks keandalan pada jaringan distribusi gardu induk Balaraja yaitu penyulang Prajurit dengan melihat perbandingannya dengan ketentuan nilai indeks keandalan SPLN 68-2: 1986 berbanding tipis dengan dua metode perhitungan langsung yaitu *Section Technique* dan RIA akan tetapi pada perhitungan dengan menggunakan *software* ETAP nilai yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dua metode sebelumnya.

Untuk mengetahui perbandingan nilai antara standar standar SPLN 68-2: 1986 dengan metode *Section Technique* dan RIA dapat dilihat pada grafik persentase sebagai gambar 9.



Gambar 9. Grafik persentase indeks keandalan penyulang Prajurit pada setiap metode dengan standar SPLN 68-2: 1986

Pada grafik persentase yang ditampilkan bahwa untuk indeks keandalan SAIFI, semua metode analisis yang dilakukan tidak melampaui dari standar ketetapan SPLN 68-2: 1986 dan dikategorikan dalam jaringan distribusi yang baik. Akan tetapi pada hasil indeks keandalan SAIDI pada metode RIA dengan perhitungan langsung, hasil persentase tersebut melebihi satu persen dari standar yang ditetapkan yang dimana akan sangat berpengaruh jika terjadinya kegagalan atau kerusakan pada peralatan jaringan distribusi yaitu terjadi lamanya listrik padam pada jaringan tersebut.

4. KESIMPULAN

Dari pembahasan dan analisa yang telah dilakukan dengan data yang didapatkan dari PT.PLN (Persero) area Cikupa, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penyulang Prajurit pada PT. PLN (Persero) area Cikupa pada Gardu Induk Balaraja memiliki indeks keandalan yang baik sesuai standar SPLN 68-2 1986, sehingga dapat dikategorikan dalam jaringan sistem distribusi yang andal.
2. Nilai indeks keandalan jaringan distribusi pada penyulang Prajurit dikategorikan melebihi standar ketentuan SPLN 68-2: 1986 pada indeks SAIDI dengan persentase

melebihi 1% hal ini dikarenakan penggunaan SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah) yang menyumbang sekitar 31 persen dari total panjang saluran dan terjadi pemborosan peralatan pengaman yang berakibat lamanya durasi kegagalan pada jaringan pada jaringan penyulang Prajurit.

3. Nilai indeks keandalan memiliki pengaruh terhadap jaringan distribusi penyulang Prajurit yang dapat berdampak pada banyaknya frekuensi pemadaman dan durasi pemadaman pada jaringan tersebut serta tingkat kepuasan konsumen pengguna listrik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Artikel jurnal ini ditulis berdasarkan hasil penelitian mandiri yang dilakukan di Gardu Induk Balaraja. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terimakasih dan apresiasi tinggi kepada tim Gardu Induk Balaraja yan telah memberikan kami kesempatan untuk melakukan penelitian ini.

5. REFERENCES

- SPLN No. 59 : 1985, “Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6kV”. Departemen Pertambangan dan Energi, Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta.
- Suhadi dkk. 2008. “Teknik Distribusi Tenaga Listrik”. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
- Zhou, X., & Shi, H. (2018). Reliability analysis of distribution systems considering the restoration process with large-scale renewable energy integration. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 99, 237-247.
- Samsul Rahman. 2020. “Perhitungan Nilai Saidi, Saifi Dan Caidi Pada Jaringan Distribusi”. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Setiawan, M. Arif Budi. 2018. “Analisis Keandalan Sistem Distribusi Pada Penyulang Sabagi Pt. Pln (Persero) Area Banten Selatan Dengan Metode Fmea (Failure Mode And Effect Analysis) Dan Metode Section Technique “. Tugas Akhir, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta.
- Gusti Putu Budi Arigandi , Rukmi Sari Hartati , Antonius Ibi Weking. 2015. “Analisa Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Kampus Dengan Menggunakan Penggabungan Metode Section Tecknique Dan Ria”. Teknologi Elektro, Vol. 14, No.2, Teknik Elektro dan Komputer Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung Bali.
- Ahamad fatoni. 2016. “Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Pt. Pln Rayon Lumajang Dengan Metode Fmea (Failure Mode Effect Analysis)”, Jurnal Teknik ITS Vol.5 No 2, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Faisal Adhisthana Nugraha. 2016. “Studi Analisis Keandalan Sistem Distribusi Pt. Pln (Persero) Surabaya Utara Menggunakan Metode Ria (Reliability Index Assessment)”. Tugas Akhir – TE091399 , Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- SPLN 68-2 : 1986. “Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik”. Departemen Pertambangan dan Energi, Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta
- Chandra Goenadi, I.G.N Satriyadi Hernanda, S.T., M.T., Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D. 2012. “Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV Di Pt. Pln Distribusi Jawa Timur Kediri Dengan Metode Simulasi Section Technique”, JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1, (2012) 1-6, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.