

ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PT. PLN (PERSERO) ULP MENGANTI DENGAN METODE RIA

M. Sholikhur Rijal

Dosen Pembimbing : Ir. Hadi Tasmono M.T.

Jurusan Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jl. Semolowaru 45 Surabaya 60118

E-mail: sholikhurrijal22@gmail.com

ABSTRAK

Tugas Akhir ini bertujuan sebagai analisa nilai indeks keandalan pada sistem distribusi tegangan menengah 20kV di PT. PLN (Persero) ULP Menganti dengan menggunakan metode Reliability Index Assessment (RIA) dengan memperhitungkan laju kegagalan, waktu perbaikan dan switching time pada setiap komponen dalam jaringan tersebut serta pengaruh momentary interruption terhadap indeks keandalan. Pada tugas akhir ini juga dilakukan studi guna memperbaiki nilai indeks keandalan dengan penambahan komponen fuse pada beberapa titik jaringan.

Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh saat analisis nilai SAIDI, SAIFI, dan CAIDI pada kondisi imperfect switching lebih besar dari pada nilai indeks keandalan pada kondisi perfect switching. Hal ini disebabkan karena saat kondisi perfect switching peralatan pada penyulang juga ikut berkontribusi terhadap besar kecilnya nilai indeks keandalan. Namun hasil nilai indeks MAIFI berbanding lurus dengan panjang penyulang hal ini disebabkan karena peralatan tidak ikut berkontribusi pada kondisi perfect switching maupun imperfect switching. Hasil nilai indeks terbesar terdapat pada penyulang Cahaya Baru dengan nilai indeks keandalan SAIFI sebesar 5,8230 serta nilai indeks keandalan SAIDI sebesar 5,2474 sebelum dilakukan upaya peningkatan keandalan. Setelah melakukan perbaikan hasil indeks keandalan menggunakan ETAP 12.6.0 dan melakukan penambahan komponen fuse pada beberapa titik jaringan sehingga didapat hasil perbaikan pada nilai indeks keandalan SAIFI sebesar 3,1062 dan nilai indeks keandalan SAIDI sebesar 3,3638.

Kata Kunci: Keandalan, Sistem Distribusi, SAIDI, SAIFI, RIA, ETAP

1. PENDAHULUAN

Sebagai perusahaan utama pemasok energi listrik di Indonesia. Pemerintah melalui PT. PLN (Persero) selalu berusaha dalam meningkatkan mutu, keandalan dan kontinuitas energi listrik sebagai pemenuhan kebutuhan listrik masyarakat.

Kebutuhan tenaga listrik berbanding lurus dengan teknologi yang terus berkembang seiring waktu. Hal ini menuntut sistem tenaga listrik yang andal dan efisien dalam menyediakan dan mendistribusikan tenaga listrik kepada konsumen. Salah satu cara dalam meningkatkan keandalan serta kontinuitas tenaga listrik adalah mengevaluasi sistem distribusi tegangan menengah 20kV supaya dapat mengantisipasi masalah-masalah yang ditimbulkan.

Keandalan suatu jaringan distribusi dari pada penyulang dapat digambarkan dengan besaran hasil indeks-indeks keandalan yang akan dibandingkan dengan indeks acuan yang digunakan di Indonesia yaitu berdasarkan Standar PLN (SPLN). Indeks-indeks keandalan yang biasa digunakan dalam sistem distribusi adalah durasi atau lama waktu pemadaman atau *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI), jumlah atau kerapnya pemadaman atau *System Average Frequency Index* (SAIFI), frekuensi pemadaman rata-rata pada tiap konsumen *Momentary Average Interruption Frequency Index* (MAIFI), dan indeks perbandingan

SAIDI dan SAIFI atau *Customer Average Interruption Index* (CAIDI).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara garis besar sistem tenaga listrik terdiri atas komponen tenaga listrik yaitu pembangkit, sistem transmisi, dan sistem distribusi tenaga listrik. Ketiga bagian ini merupakan bagian utama pada suatu rangkaian sistem tenaga listrik yang bekerja untuk menyalurkan daya listrik mulai pusat pembangkit sampai ke pusat-pusat beban.

2.2 Bentuk Jaringan Distribusi

Jaringan sistem distribusi tegangan menengah dikelompokkan menjadi lima macam, yaitu jaringan radial, jaringan loop (lingkaran), jaringan tie-line (hantaran hubung), jaringan spindel, dan jaringan sistem gugus (kluster).

2.3 Gangguan Pada Sistem Distribusi

Jenis gangguan dalam sistem distribusi 20kV dapat dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Gangguan internal, yaitu gangguan yang berasal dari sistem itu sendiri maupun dari peralatan listrik yang berada di dalamnya.
2. Gangguan eksternal, yaitu gangguan yang berasal dari luar sistem seperti cuaca, petir, bencana alam, dan lain sebagainya.

Gangguan eksternal dapat juga berasal dari manusia, hewan maupun tumbuh-tumbuhan.

Berdasarkan durasi atau lamanya gangguan maka dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Gangguan temporer, yaitu gangguan yang bersifat sementara dan terjadi kurun waktu yang singkat serta tidak memerlukan tindakan khusus untuk menormalkan jaringan kembali karena peralatan penghubung dapat menutup kembali sesuai pengaturan proteksinya. Meskipun bersifat sementara namun penyebab gangguan harus tetap ditelusuri agar jaringan dinyatakan aman untuk beroperasi normal kembali sehingga tidak merusak peralatan listrik di jaringan.
Contoh: Pohon bersentuhan dengan konduktor SUTM 20kV, sambaran petir yang menyebabkan hubung singkat tetapi tidak merusak peralatan listrik.
2. Gangguan permanen, yaitu gangguan yang menyebabkan terjadinya pemadaman dalam waktu yang lama dikarenakan peralatan proteksi tidak dapat bekerja untuk menormalkan jaringan. Gangguan jenis ini memerlukan tindakan khusus agar gangguan diatasi terlebih dahulu sebelum jaringan dapat bekerja normal kembali.
Contoh: kebocoran isolasi pada konduktor SKTM atau SKUTM dan transformator, kerusakan pada peralatan listrik lainnya sehingga menyebabkan hubung singkat, bencana alam.

Gangguan hubung singkat yang terjadi pada jaringan listrik terbagi menjadi 4 macam, yaitu:

1. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, yaitu gangguan yang terjadi akibat salah satu fasa terhubung ke tanah. Gangguan ini merupakan gangguan yang paling sering terjadi yang diakibatkan oleh pohon yang bersentuhan dengan salah satu konduktor SUTM.
2. Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah, yaitu gangguan yang terjadi akibat salah satu fasa mengalami kenaikan suhu tinggi yang diakibatkan beban berlebih sehingga terjadi *flashover* ke peralatan listrik di sebelahnya.
3. Gangguan hubung singkat antar fasa, yaitu gangguan yang diakibatkan sentuhan langsung konduktor antar fasa ataupun rusaknya isolasi konduktor kedua fasa. Gangguan ini juga dapat diakibatkan oleh makhluk hidup yang menyentuh dua fasa yang berbeda secara bersama.
4. Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah, yaitu gangguan yang diakibatkan oleh petir yang menyambar ketiga fasa SUTM. Gangguan ini sangat jarang terjadi.

2.4 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi adalah suatu ukuran ketersediaan tenaga listrik. Tolak ukur yang dijadikan ukuran dalam menentukan keandalan sistem distribusi dilihat dari waktu dan seberapa seringnya sistem mengalami pemadaman. Hal lain yang menjadi tolak ukur adalah seberapa cepat waktu yang dibutuhkan agar sistem dapat bekerja secara normal kembali setelah mengalami gangguan atau pemadaman.

Keandalan sistem distribusi dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Keandalan sistem tinggi
Sistem dalam keadaan normal dapat menyediakan daya dengan kapasitas yang cukup saat beban puncak dengan variasi tegangan sesuai standar. Sistem membutuhkan peralatan serta pengaman yang banyak agar sistem terhindar dari berbagai macam gangguan.
2. Keandalan sistem menengah
Sistem dalam keadaan normal dapat menyediakan daya yang cukup untuk kebutuhan beban puncak. Saat terjadi gangguan maka sistem harus dapat memberikan suplai ke sebagian beban pada saat beban puncak. Sistem membutuhkan peralatan dan pengaman yang cukup banyak untuk mengatasi gangguan pada sistem.
3. Keandalan sistem rendah
Sistem tidak dapat memberikan suplai yang cukup pada saat terjadi gangguan sehingga gangguan harus diatasi terlebih dahulu sebelum dapat memberikan suplai dalam keadaan normal. Pada sistem ini memiliki peralatan dan pengaman yang sedikit karena tidak dapat mengatasi dan melokalisir gangguan yang terjadi sehingga banyak pelanggan yang terkena dampak gangguan tersebut.

2.5 Indeks Keandalan

Berdasarkan SPLN No. 59 tahun 1985 indeks keandalan yang digunakan sebagai acuan untuk membandingkan sistem distribusi adalah indeks frekuensi pemadaman rata-rata dan indeks lama pemadaman rata-rata.

2.5.1 System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

SAIDI adalah indeks lama pemadaman rata-rata atau lama waktu gangguan pada pelanggan dalam satu tahun. Rumus untuk menghitung indeks ini ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$SAIDI = \frac{\sum \text{Durasi pemadaman pelanggan}}{\text{Total jumlah pelanggan}}$$

2.5.2 System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)

SAIFI adalah indeks seringnya pemadaman rata-rata atau jumlah interupsi atau gangguan yang berkelanjutan setiap pelanggan per tahun. Rumus untuk menghitung indeks ini ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$SAIFI = \frac{\Sigma \text{Jumlah pemadaman pelanggan}}{\text{Total jumlah pelanggan}}$$

2.5.3 Momentary Average Interruption Frequency Index (MAIFI)

MAIFI merupakan indeks frekuensi pemadaman rata-rata pada tiap konsumen dalam kurun waktu setahun pada suatu wilayah yang dievaluasi dan disebabkan oleh momentary interruption. Rumus untuk menghitung indeks ini ditunjukkan persamaan berikut:

$$MAIFI = \frac{\Sigma \text{Jumlah pemadaman pelanggan}}{\text{Total jumlah pelanggan}}$$

2.5.4 Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)

CAIDI adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk mengembalikan pelayanan pelanggan dalam setiap gangguan atau interupsi. Rumus untuk menghitung indeks ini ditunjukkan persamaan berikut:

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} (\text{jam/pelanggan} * \text{kegagalan})$$

2.5.5 Average Service Availability Index (ASAI)

ASAI adalah representasi waktu ketersediaan daya pada pelanggan dalam waktu satu tahun. Rumus untuk menghitung indeks ini ditunjukkan persamaan berikut:

$$ASAI = \frac{\text{Jam ketersediaan pelayanan pelanggan}}{\text{Kebutuhan jam pelayanan pelanggan}}$$

2.5.6 Average Service Unavailability Index (ASUI)

ASUI adalah representasi waktu ketidakterediaan daya pada pelanggan dalam satu tahun. Rumus untuk menghitung indeks ini ditunjukkan persamaan berikut:

$$ASUI = 1 - ASAI$$

2.5.7 Laju Kegagalan dan Waktu Perbaikan

Peralatan listrik pada jaringan distribusi 20kV memiliki nilai laju kegagalan yang dapat menyebabkan zona di sekitar peralatan listrik tersebut ikut mengalami kegagalan kerja, di samping itu masing-masing peralatan juga memiliki nilai waktu perbaikan. Laju kegagalan (λ) adalah jumlah

kegagalan dalam suatu waktu yang dinyatakan dalam jumlah kegagalan per satuan waktu. Waktu perbaikan (r) adalah lamanya waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan peralatan mulai dari terjadinya gangguan hingga peralatan tersebut dapat bekerja kembali. Tabel 1. di bawah ini menunjukkan nilai laju kegagalan dan waktu perbaikan peralatan listrik.

Tabel 1. Nilai Laju Kegagalan dan Waktu Perbaikan

No.	Peralatan	Laju Kegagalan	Waktu Perbaikan
1	Saluran Udara	0,2/km/tahun	3 jam
2	Pemutus Tenaga	0,004/unit/tahun	10 jam
3	Sakelar Beban	0,003/unit/tahun	10 jam
4	Sakelar Pemisah	0,003/unit/tahun	10 jam
5	Trafo Distribusi	0,005/unit/tahun	10 jam

Pada setiap peralatan sakelar terdapat proses membuka atau menutup yang disebut *switching time*, waktu yang dibutuhkan untuk membuka atau menutup sakelar tersebut adalah 0,15 jam. Nilai SAIDI dan SAIFI berdasarkan nilai SPLN No.68-2 Tahun 1986.

Indeks	Standar
SAIFI (gagal/pelanggan.tahun)	3,2 kali/tahun
SAIDI (jam/pelanggan.tahun)	21 jam/tahun
CAIDI (jam/gagal)	6,56 jam/tahun

Tabel 2. Nilai Indeks Keandalan Sistem Distribusi SPLN No.68-2 Tahun 1986.

Untuk mendapatkan laju kegagalan menggunakan metode RIA diperlukan perhitungan untuk menentukan indeks keandalan yang dihitung pada setiap *load point* secara keseluruhan.

1. *Failure rate* adalah laju kegagalan untuk setiap *load point* (λ_{LP}) adalah hasil penjumlahan dari indeks-indeks secara keseluruhan dalam sistem, yaitu:

$$\lambda_{LP} = \Sigma \lambda_i$$

Keterangan:

λ_i : Laju kegagalan pada *load point*

2. Waktu pemadaman pada setiap *load time* (U_{LP}) dapat ditunjukkan pada persamaan berikut:

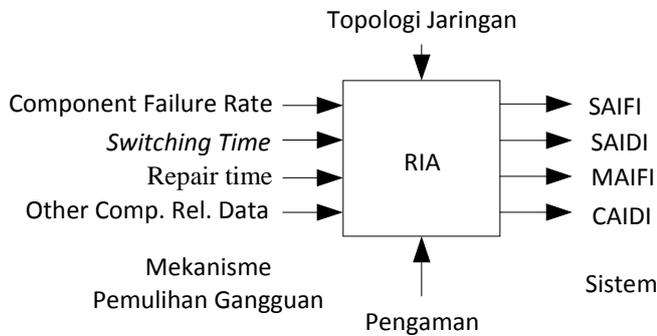
$$U_{LP} = \Sigma \lambda_i \cdot r_i$$

Keterangan:

- λ_i : Laju kegagalan pada *load point*
 r_i : Waktu perbaikan pada *load point*
(*switching time*)

2.5.8 Reliability Index Assessment (RIA)

Metode RIA (Reliability Index Assessment) merupakan sebuah pendekatan yang digunakan dalam memprediksi gangguan pada sistem distribusi berdasarkan topologi sistem dan data-data mengenai komponen reliability. Secara fungsional RIA (Reliability Index Assessment) mendata kegagalan yang terjadi pada peralatan secara komprehensif, lalu mengidentifikasi kegagalan tersebut, dan menganalisis mode kegagalan tersebut.



Gambar 1. Skema Metode RIA

Dari gambar 1. dapat dilihat bahwa syarat-syarat dari metode RIA (Reliability Index Assessment) adalah Single Line Diagram ULP Menganti beserta data-data beban, saluran, dan trafo. Data jumlah pelanggan pada setiap titik beban. Parameter data keandalan sistem sehingga pada metode RIA (Reliability Index Assessment) diperoleh 4 indeks keandalan yang dihitung, yaitu sebagai berikut:

- 1) SAIFI (System Average Interruption Frequency Index),
- 2) SAIDI (System Average Interruption Duration Index),
- 3) SAIFI (System Average Interruption Frequency Index),
- 4) MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index),
- 5) CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index).

Sebelum melakukan analisis keandalan pada suatu sistem, terlebih dahulu menentukan komponen-komponen dari reliability data yang akan digunakan, yaitu sebagai berikut:

- 1) λ_M : Momentary failure rate merupakan frekuensi dari fault yang akan hilang dengan sendirinya.

- 2) λ_s : Sustained failur rate ini adalah frekuensi dari fault yang membutuhkan kru untuk memperbaikinya.
- 3) MTTR : Mean Time To Repair merupakan lama waktu yang digunakan oleh kru untuk memperbaiki component outage dan mengembalikan sistem ke keadaan operasi normal.
- 4) MTTS : Mean Time To Switch merupakan lama waktu yang akan digunakan setelah terjadi kegagalan sebagai sakelar pemisah

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengambil contoh sistem distribusi pada ULP Menganti, tepatnya pada tiga penyulang yang mengalami gangguan paling tinggi yakni penyulang cahaya baru, boboh, dan jeruk. Dimana ketiga penyulang tersebut bertipe radial. Data penelitian diambil dari history data tahun 2019. Data yang dibutuhkan dalam analisis penelitian ini adalah:

1. Single line diagram penyulang
2. Data jumlah pelanggan untuk tiap titik beban
3. Data panjang penyulang saluran
4. Data gangguan penyulang ULP Menganti Tahun 2019
5. Parameter tiap komponen sesuai SPLN No.59 Tahun 1985
6. Parameter Indeks keandalan sesuai SPLN No.68-2 Tahun 1986

Alur analisis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung keandalan penyulang dengan metode RIA, yaitu dengan membagi panjang penyulang tiap load point, menghitung nilai r dan U sistem, kemudian menghitung nilai indeks keandalan SAIDI, SAIFI, MAIFI, CAIDI, ASAI, dan ASUI pada kondisi *perfect switching* dan *imperfect switching*.
2. Melakukan simulasi indeks keandalan menggunakan ETAP 12.6.0 dengan cara membuat diagram single terlebih dahulu setelah itu memasukkan nilai indeks dan data tiap peralatan yang dibutuhkan.
3. Melakukan analisa hasil keandalan penyulang dengan membandingkan hasil indeks dari perhitungan metode RIA, hasil indeks keandalan dengan simulasi ETAP 12.6.0, hasil indeks keandalan perhitungan PLN, serta hasil indeks keandalan sesuai SPLN 68-2 Tahun 1986. Jika di peroleh hasil dibawah standar SPLN maka dilakukan perbaikan.
4. Melakukan perbaikan indeks keandalan menggunakan ETAP 12.6.0 dengan cara menambahkan *fuse* pada beberapa titik line yang sudah ditentukan, sehingga diperoleh

hasil indeks keandalan yang sesuai dengan SPLN No.68-2 tahun 1986.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Keandalan Metode RIA

Dari data penunjang yang di dapatkan pada sebelumnya dapat dilakukan perhitungan indeks keandalan metode RIA menggunakan Ms. excel pada ketiga penyulang yang dievaluasi.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Indeks Keandalan SAIFI dan MAIFI pada kondisi perfect switching Penyulang Boboh

Saluran	L (kms)	Sustained λ (fault/yr/km)	Momentary λ (fault/yr/km)	L x Sustained λ (fault/yr/km)	L x Momentary λ (fault/yr/km)
L1	3,015	0,2	0,3	0,603	0,9045
L2	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L3	0,630	0,2	0,3	0,126	0,189
L4	0,405	0,2	0,3	0,081	0,1215
L5	0,183	0,2	0,3	0,0366	0,0549
L6	0,315	0,2	0,3	0,063	0,0945
L7	0,183	0,2	0,3	0,0366	0,0549
L8	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L9	0,945	0,2	0,3	0,189	0,2835
L10	0,405	0,2	0,3	0,081	0,1215
L11	0,450	0,2	0,3	0,09	0,135
L12	0,048	0,2	0,3	0,0096	0,0144
L13	0,135	0,2	0,3	0,027	0,0405
L14	0,540	0,2	0,3	0,108	0,162
L15	0,138	0,2	0,3	0,0276	0,0414
L16	0,495	0,2	0,3	0,099	0,1485
L17	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L18	0,093	0,2	0,3	0,0186	0,0279
L19	0,225	0,2	0,3	0,045	0,0675
L20	0,138	0,2	0,3	0,0276	0,0414
L21	0,225	0,2	0,3	0,045	0,0675
L22	0,318	0,2	0,3	0,0636	0,0954
L23	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L24	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L25	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L26	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L27	0,180	0,2	0,3	0,036	0,054
L28	0,048	0,2	0,3	0,0096	0,0144
L29	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L30	0,093	0,2	0,3	0,0186	0,0279
L31	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L32	0,093	0,2	0,3	0,0186	0,0279
L33	0,360	0,2	0,3	0,072	0,108
L34	0,498	0,2	0,3	0,0996	0,1494
L35	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L36	0,138	0,2	0,3	0,0276	0,0414
L37	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135

Saluran	L (kms)	Sustained λ (fault/yr/km)	Momentary λ (fault/yr/km)	L x Sustained λ (fault/yr/km)	L x Momentary λ (fault/yr/km)
L38	0,138	0,2	0,3	0,0276	0,0414
L39	0,495	0,2	0,3	0,099	0,1485
L40	0,048	0,2	0,3	0,0096	0,0144
L41	0,363	0,2	0,3	0,0726	0,1089
L42	0,495	0,2	0,3	0,099	0,1485
L43	0,405	0,2	0,3	0,081	0,1215
L44	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L45	0,135	0,2	0,3	0,027	0,0405
L46	0,093	0,2	0,3	0,0186	0,0279
L47	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L48	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L49	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L50	0,048	0,2	0,3	0,0096	0,0144
L51	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L52	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L53	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L54	0,048	0,2	0,3	0,0096	0,0144
L55	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L56	0,093	0,2	0,3	0,0186	0,0279
L57	0,273	0,2	0,3	0,0546	0,0819
L58	0,183	0,2	0,3	0,0366	0,0549
L59	0,225	0,2	0,3	0,045	0,0675
L60	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L61	0,315	0,2	0,3	0,063	0,0945
L62	0,048	0,2	0,3	0,0096	0,0144
L63	0,138	0,2	0,3	0,0276	0,0414
L64	0,135	0,2	0,3	0,027	0,0405
L65	0,588	0,2	0,3	0,1176	0,1764
L66	0,138	0,2	0,3	0,0276	0,0414
				SAIFI	MAIFI
				3,219	4,8285

Tabel 4. Hasil Perhitungan Indeks Keandalan SAIDI dan CAIDI pada kondisi perfect switching Penyulang Boboh.

Load Point	N_LP	U_LP	N_LP*U_LP	r_LP	N_LP*r_LP
LP1	187	5,36661	1003,55607	1,667166822	311,7601957
LP2	1	5,36661	5,36661	1,667166822	1,667166822
LP3	2	5,36661	10,73322	1,667166822	3,334333644
LP4	357	5,36661	1915,87977	1,667166822	595,1785555
LP5	385	5,36661	2066,14485	1,667166822	641,8592265
LP6	280	5,36661	1502,6508	1,667166822	466,8067102
LP7	462	5,36661	2479,37382	1,667166822	770,2310718
LP8	478	5,36661	2565,23958	1,667166822	796,9057409
LP9	155	5,36661	831,824	1,667166	258,4108

Load Point	N_LP	U_LP	N_LP* U_LP	r_LP	N_LP*r_ LP
			55	822	574
LP10	547	5,36661	2935,53 567	1,667166 822	911,9402 516
LP11	253	5,36661	1357,75 233	1,667166 822	421,7932 06
LP12	71	5,36661	381,029 31	1,667166 822	118,3688 444
LP13	141	5,36661	756,692 01	1,667166 822	235,0705 219
LP14	52	5,36661	279,063 72	1,667166 822	86,69267 474
LP15	50	5,36661	268,330 5	1,667166 822	83,35834 11
LP16	23	5,36661	123,432 03	1,667166 822	38,34483 691
LP17	23	5,36661	123,432 03	1,667166 822	38,34483 691
LP18	408	1,10187	449,562 96	0,342301 957	139,6591 985
LP19	1	1,10187	1,10187	0,342301 957	0,342301 957
LP20	1	1,10187	1,10187	0,342301 957	0,342301 957
LP21	1	1,10187	1,10187	0,342301 957	0,342301 957
LP22	358	1,10187	394,469 46	0,342301 957	122,5441 007
LP23	319	1,10187	351,496 53	0,342301 957	109,1943 243
LP24	329	1,90557	626,932 53	0,591975 769	194,7600 28
LP25	444	1,90557	846,073 08	0,591975 769	262,8372 414
LP26	1	1,90557	1,90557	0,591975 769	0,591975 769
LP27	30	1,90557	57,1671	0,591975 769	17,75927 307
LP28	1	1,90557	1,90557	0,591975 769	0,591975 769
LP29	1	1,90557	1,90557	0,591975 769	0,591975 769
LP30	448	1,90557	853,695 36	0,591975 769	265,2051 445
LP31	294	1,90557	560,237 58	0,591975 769	174,0408 76
LP32	339	1,90557	645,988 23	0,591975 769	200,6797 856
LP33	142	2,7315	387,873	0,848555 452	120,4948 742
LP34	1	2,7315	2,7315	0,848555 452	0,848555 452
LP35	1	2,7315	2,7315	0,848555 452	0,848555 452
LP36	1	2,7315	2,7315	0,848555 452	0,848555 452
LP37	1	2,7315	2,7315	0,848555 452	0,848555 452
LP38	52	2,7315	142,038	0,848555 452	44,12488 35
LP39	1	2,7315	2,7315	0,848555 452	0,848555 452
LP40	51	2,7315	139,306 5	0,848555 452	43,27632 805
LP41	228	2,7315	622,782	0,848555 452	193,4706 431
LP42	188	2,7315	513,522	0,848555 452	159,5284 25
LP43	1	2,7315	2,7315	0,848555 452	0,848555 452
LP44	194	2,7315	529,911	0,848555 452	164,6197 577

Load Point	N_LP	U_LP	N_LP* U_LP	r_LP	N_LP*r_ LP
LP45	30	2,7315	81,945	0,848555 452	25,45666 356
LP46	40	2,7315	109,26	0,848555 452	33,94221 808
LP47	172	2,7315	469,818	0,848555 452	145,9515 377
LP48	266	2,7315	726,579	0,848555 452	225,7157 502
LP49	315	2,7315	860,422 5	0,848555 452	267,2949 674
	812 6		28000,5 2802		8698,517558
SAIDI 3,445794735				CAIDI 1,070455028	

Tabel 5. Hasil Perhitungan Indeks Keandalan SAIFI dan MAIFI pada kondisi imperfect switching Penyulang Boboh.

Saluran	L (kms)	Sustained λ (fault/yr/km)	Momentary λ (fault/yr/km)	L x Sustained λ (fault/yr/km)	L x Momentary λ (fault/yr/km)
L1	3,015	0,2	0,3	0,603	0,9045
L2	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L3	0,630	0,2	0,3	0,126	0,189
L4	0,405	0,2	0,3	0,081	0,1215
L5	0,183	0,2	0,3	0,0366	0,0549
L6	0,315	0,2	0,3	0,063	0,0945
L7	0,183	0,2	0,3	0,0366	0,0549
L8	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L9	0,945	0,2	0,3	0,189	0,2835
L10	0,405	0,2	0,3	0,081	0,1215
L11	0,450	0,2	0,3	0,09	0,135
L12	0,048	0,2	0,3	0,0096	0,0144
L13	0,135	0,2	0,3	0,027	0,0405
L14	0,540	0,2	0,3	0,108	0,162
L15	0,138	0,2	0,3	0,0276	0,0414
L16	0,495	0,2	0,3	0,099	0,1485
L17	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L18	0,093	0,2	0,3	0,0186	0,0279
L19	0,225	0,2	0,3	0,045	0,0675
L20	0,138	0,2	0,3	0,0276	0,0414
L21	0,225	0,2	0,3	0,045	0,0675
L22	0,318	0,2	0,3	0,0636	0,0954
L23	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L24	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L25	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L26	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L27	0,180	0,2	0,3	0,036	0,054
L28	0,048	0,2	0,3	0,0096	0,0144
L29	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L30	0,093	0,2	0,3	0,0186	0,0279
L31	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L32	0,093	0,2	0,3	0,0186	0,0279
L33	0,360	0,2	0,3	0,072	0,108

Saluran	L (kms)	Sustained λ (fault/yr/km)	Momentary λ (fault/yr/km)	L x Sustained λ (fault/yr/km)	L x Momentary λ (fault/yr/km)
L34	0,498	0,2	0,3	0,0996	0,1494
L35	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L36	0,138	0,2	0,3	0,0276	0,0414
L37	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L38	0,138	0,2	0,3	0,0276	0,0414
L39	0,495	0,2	0,3	0,099	0,1485
L40	0,048	0,2	0,3	0,0096	0,0144
L41	0,363	0,2	0,3	0,0726	0,1089
L42	0,495	0,2	0,3	0,099	0,1485
L43	0,405	0,2	0,3	0,081	0,1215
L44	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L45	0,135	0,2	0,3	0,027	0,0405
L46	0,093	0,2	0,3	0,0186	0,0279
L47	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L48	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L49	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L50	0,048	0,2	0,3	0,0096	0,0144
L51	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L52	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L53	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L54	0,048	0,2	0,3	0,0096	0,0144
L55	0,045	0,2	0,3	0,009	0,0135
L56	0,093	0,2	0,3	0,0186	0,0279
L57	0,273	0,2	0,3	0,0546	0,0819
L58	0,183	0,2	0,3	0,0366	0,0549
L59	0,225	0,2	0,3	0,045	0,0675
L60	0,090	0,2	0,3	0,018	0,027
L61	0,315	0,2	0,3	0,063	0,0945
L62	0,048	0,2	0,3	0,0096	0,0144
L63	0,138	0,2	0,3	0,0276	0,0414
L64	0,135	0,2	0,3	0,027	0,0405
L65	0,588	0,2	0,3	0,1176	0,1764
L66	0,138	0,2	0,3	0,0276	0,0414
Trafo	49 unit	0,005		0,245	
CB	1 unit	0,004		0,004	
Secti on	4 unit	0,003		0,012	
				SAIFI	MAIFI
				3,464	4,8285

Tabel 6. Hasil Perhitungan Indeks Keandalan SAIDI dan CAIDI pada kondisi imperfect switching Penyulang Boboh.

Load Point	N_LP	U_LP	N_LP* U_LP	r_LP	N_LP*r_LP
LP1	187	6,30211	1178,49457	1,810951149	338,6478649
LP2	1	6,30211	6,30211	1,810951149	1,810951149

Load Point	N_LP	U_LP	N_LP* U_LP	r_LP	N_LP*r_LP
LP3	2	6,30211	12,60422	1,810951149	3,621902299
LP4	357	6,30211	2249,85327	1,810951149	646,5095603
LP5	385	6,30211	2426,31235	1,810951149	697,2161925
LP6	280	6,30211	1764,5908	1,810951149	507,0663218
LP7	462	6,30211	2911,57482	1,810951149	836,659431
LP8	478	6,30211	3012,40858	1,810951149	865,6346494
LP9	155	6,30211	976,82705	1,810951149	280,6974282
LP10	547	6,30211	3447,25417	1,810951149	990,5902787
LP11	253	6,30211	1594,43383	1,810951149	458,1706408
LP12	71	6,30211	447,44981	1,810951149	128,5775316
LP13	141	6,30211	888,59751	1,810951149	255,3441121
LP14	52	6,30211	327,70972	1,810951149	94,16945977
LP15	50	6,30211	315,1055	1,810951149	90,54755747
LP16	23	6,30211	144,94853	1,810951149	41,65187644
LP17	23	6,30211	144,94853	1,810951149	41,65187644
LP18	408	1,49562	610,21296	0,429775862	175,3485517
LP19	1	1,49562	1,49562	0,429775862	0,429775862
LP20	1	1,49562	1,49562	0,429775862	0,429775862
LP21	1	1,49562	1,49562	0,429775862	0,429775862
LP22	358	1,49562	535,43196	0,429775862	153,8597586
LP23	319	1,49562	477,10278	0,429775862	137,0985
LP24	329	2,44707	805,08603	0,703181034	231,3465603
LP25	444	2,44707	1086,49908	0,703181034	312,2123793
LP26	1	2,44707	2,44707	0,703181034	0,703181034
LP27	30	2,44707	73,4121	0,703181034	21,09543103
LP28	1	2,44707	2,44707	0,703181034	0,703181034
LP29	1	2,44707	2,44707	0,703181034	0,703181034
LP30	448	2,44707	1096,28736	0,703181034	315,0251034
LP31	294	2,44707	719,43858	0,703181034	206,7352241

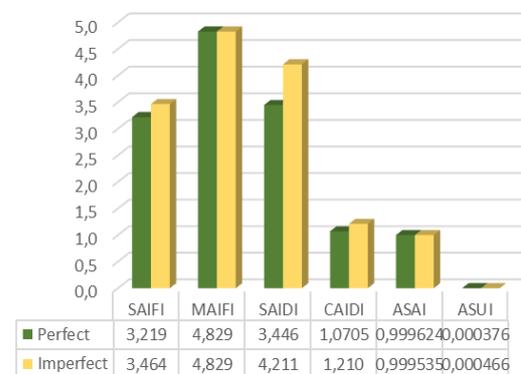
Load Point	N_LP	U_LP	N_LP* U_LP	r_LP	N_LP*r_LP
LP32	339	2,447 07	829,55 673	0,703181 034	238,3783707
LP33	142	3,637 45	516,51 79	1,045244 253	148,4246839
LP34	1	3,637 45	3,6374 5	1,045244 253	1,045244253
LP35	1	3,637 45	3,6374 5	1,045244 253	1,045244253
LP36	1	3,637 45	3,6374 5	1,045244 253	1,045244253
LP37	1	3,637 45	3,6374 5	1,045244 253	1,045244253
LP38	52	3,637 45	189,14 74	1,045244 253	54,35270115
LP39	1	3,637 45	3,6374 5	1,045244 253	1,045244253
LP40	51	3,637 45	185,50 995	1,045244 253	53,3074569
LP41	228	3,637 45	829,33 86	1,045244 253	238,3156897
LP42	188	3,637 45	683,84 06	1,045244 253	196,5059195
LP43	1	3,637 45	3,6374 5	1,045244 253	1,045244253
LP44	194	3,637 45	705,66 53	1,045244 253	202,7773851
LP45	30	3,637 45	109,12 35	1,045244 253	31,35732759
LP46	40	3,637 45	145,49 8	1,045244 253	41,80977011
LP47	172	3,637 45	625,64 14	1,045244 253	179,7820115
LP48	266	3,637 45	967,56 17	1,045244 253	278,0349713
LP49	315	3,637 45	1145,7 9675	1,045244 253	329,2519397
	8126		34219, 73682		9833,257707
SAIDI			CAIDI		
4,211141622			1,210098167		

Dari perhitungan menggunakan metode RIA di atas maka diperoleh indeks keandalan untuk penyulang Boboh sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Boboh

No.	Indeks Keandalan	Perfect Switching	Imperfect Switching
1	SAIFI	3.219	3.464
2	MAIFI	4,8285	4.8285
3	SAIDI	3.4458	4.2111
4	CAIDI	1.0705	1.2101
5	ASAI	0.9996	0.9995
6	ASUI	0.000376	0.000466

Dari nilai indeks keandalan yang diperoleh pada perhitungan excel diatas di dapatkan bahwa nilai indeks keandalan SAIDI, SAIFI, CAIDI pada saat kondisi perfect switching lebih rendah dari pada kondisi imperfect switching. Hal tersebut disebabkan pada saat kondisi perfect switching peralatan tidak ikut berkontribusi, sedangkan pada kondisi imperfect peralatan sepenuhnya ikut berkontribusi. Berbeda halnya pada indeks keandalan MAIFI yang berbanding lurus dengan panjang penyulang karena tidak terpengaruh kontribusi peralatan baik pada kondisi perfect switching maupun imperfect switching.

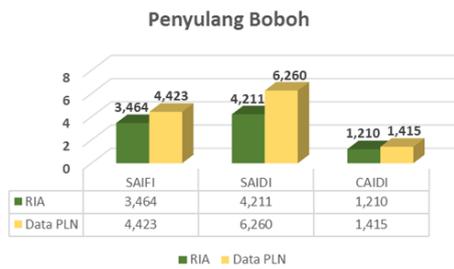


Gambar 2. Grafik Perbandingan Perhitungan Keandalan menggunakan Metode RIA Penyulang Boboh

Berikut perbandingan antara hasil perhitungan indeks keandalan imperfect switching SAIFI, MAIFI, SAIDI, dan CAIDI menggunakan metode RIA dengan nilai indeks keandalan berdasarkan data dari PT. PLN (Persero) ULP Menganti sebagai berikut:

Tabel 8. Hasil Perbandingan Perhitungan metode RIA dengan Perhitungan Historis Data PLN pada Penyulang Boboh.

No.	Indeks Keandalan	Hasil RIA	Data PLN	Selisih
1	SAIFI (gagal/plg.thn)	3.464	4.4232	0.959 (21.7%)
2	SAIDI (jam/plg.thn)	4.211	6.2597	2.049 (32.7%)
3	CAIDI (jam/gagal)	1.210	1.4154	0.205 (14.5%)



Gambar 3. Grafik Perbandingan Perhitungan Keandalan menggunakan Metode RIA dengan Data PLN Penyulang Boboh

4.2 Simulasi Keandalan Menggunakan Software ETAP 12.6.0

Simulasi dengan menggunakan software ETAP 12.6.0 juga dapat dilakukan untuk melakukan perhitungan nilai indeks keandalan pada sistem distribusi PT PLN (Persero) ULP Menganti. Hal ini dilakukan agar hasil yang didapat dari perhitungan software tersebut dapat dibandingkan dengan perhitungan menggunakan metode RIA.

Tabel 9. Hasil Indeks Keandalan menggunakan software ETAP 12.6.0 pada Penyulang Boboh

No.	Indeks Keandalan	Hasil
1	SAIFI (gagal/plg.thn)	3.50500
2	SAIDI (jam/plg.thn)	4.14360
3	CAIDI (jam/gagal)	1.18200
4	ASAI	0.99950
5	ASUI	0.00047

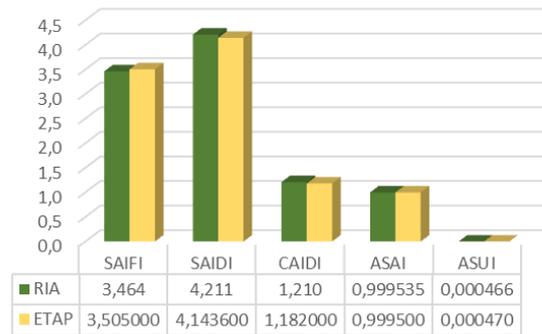
4.3 Evaluasi Indeks Keandalan Menggunakan Software ETAP 12.6.0 dan Ms. Excel

Tabel 10. Hasil Perbandingan Perhitungan Metode RIA dengan menggunakan Ms. Excel dan ETAP 12.6.0

No.	Indeks Keandalan	Hasil RIA	Hasil ETAP	Selisih
1	SAIFI (gagal/plg.thn)	3.464	3.505	0.04100 0 (1.17%)
2	SAIDI (jam/plg.thn)	4.211	4.1436	0.06750 0 (1.63%)
3	CAIDI (jam/gagal)	1.210	1.182	0.02809 0 (2.38%)
4	ASAI	0,99953 4	0,9995	0,00003 4 (0,01%)
5	ASUI	0,00046 5	0,0004 7	0,00000 5 (0,96%)

Dari tabel 10. di atas terlihat bahwa persentase selisih perhitungan indeks keandalan metode RIA menggunakan Ms. Excel dengan ETAP 12.6.0

sangat kecil. Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan hasil perhitungan dalam bentuk grafik seperti berikut:



Gambar 4. Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Indeks Keandalan menggunakan Ms. Excel dengan ETAP 12.6.0 pada Penyulang Boboh

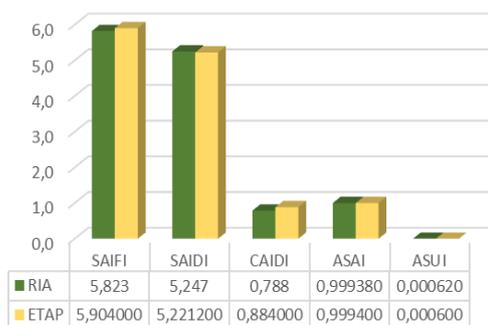
4.4 Evaluasi Hasil Simulasi Keandalan Metode RIA Menggunakan Ms. Excel dan ETAP 12.6.0 Pada Penyulang Cahaya Baru dan Jeruk

Berikut merupakan nilai indeks keandalan berdasarkan metode RIA berdasarkan cara perhitungan yang sama dengan Penyulang Boboh menggunakan Ms. Excel dan data PLN serta simulasi menggunakan ETAP untuk penyulang yang lain:

4.4.1 Penyulang Cahaya Baru

Tabel 11. Hasil Perbandingan metode RIA dengan Data PLN pada Penyulang Cahaya Baru

No.	Indeks Keandalan	Hasil RIA	Data PLN	Selisih
1	SAIFI (gagal/plg.thn)	5.823	7.761	1.935 (24.9%)
2	SAIDI (jam/plg.thn)	5.247	9.823	4.576 (46.6%)
3	CAIDI (jam/gagal)	0.788	1.266	0.477 (37.7%)

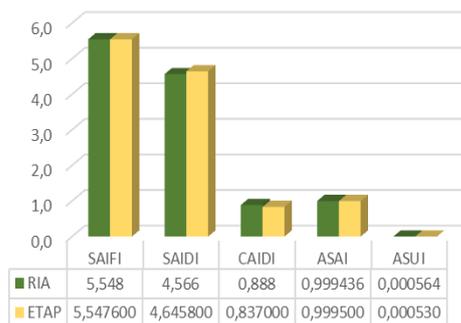


Gambar 5. Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Indeks Keandalan menggunakan Ms. Excel dengan ETAP 12.6.0 pada Penyulang Cahaya Baru

4.4.2 Penyulang Jeruk

Tabel 12. Hasil Perbandingan metode RIA dengan Data PLN pada Penyulang Jeruk

No.	Indeks Keandalan	Hasil RIA	Data PLN	Selisih
1	SAIFI (gagal/plg.thn)	5,551	9.797	4.246 (43.3%)
2	SAIDI (jam/plg.thn)	4,566	11.465	6.899 (60.2%)
3	CAIDI (jam/gagal)	0,888	1.170	0.283 (24.2%)



Gambar 6. Perbandingan Hasil Perhitungan Indeks Keandalan menggunakan Ms. Excel dengan ETAP 12.6.0 pada Penyulang Jeruk

4.5 Upaya Peningkatan Indeks Keandalan Pada Penyulang Cahaya Baru

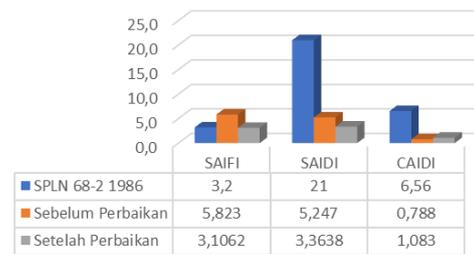
Upaya yang dilakukan dalam peningkatan indeks keandalan pada Penyulang Cahaya Baru adalah melakukan penambahan peralatan fuse cut out branch (FCOB) pada 2 titik.

Setelah dilakukan upaya peningkatan keandalan sistem distribusi pada penyulang Cahaya Baru yang dijelaskan di atas maka akan didapat hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 13. berikut:

Tabel 13. Perbandingan Indeks Keandalan Sebelum dan Setelah Upaya Perbaikan pada Penyulang Cahaya Baru

No.	Indeks Keandalan	Stand ar PLN No68 -2 1986	Sebel um Perba ikan	Setelah Perbaik an
1	SAIFI (gagal/plg.thn)	3,2	5,823	3,1062
2	SAIDI (jam/plg.thn)	21	5,247	3,3638
3	CAIDI (jam/gagal)	6,56	0,788	1,083

Berdasarkan tabel 13. di atas nilai keandalan SAIFI turun sebesar 87,46% akibat dari penambahan komponen FCOB pada jaringan



Gambar 7. Grafik Perbandingan Upaya Peningkatan Keandalan pada Penyulang Cahaya Baru

Karena berkurangnya laju kegagalan pada beberapa load point. Nilai indeks keandalan SAIDI pun turut berkurang sebesar 56%. Dalam upaya peningkatan indeks keandalan tersebut hasil indeks sudah sesuai dengan SPLN No.68-2 Tahun 1986. Gambar 4.7 diatas merupakan grafik yang menunjukkan perbedaan nilai indeks keandalan sebelum dan setelah upaya perbaikan.

5. KESIMPULAN

Dari analisa hasil evaluasi yang dilakukan pada ketiga penyulang tersebut didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Keandalan sistem distribusi pada ketiga penyulang di ULP Menganti dengan metode Reliability Index Assessment (RIA) menunjukkan hasil indeks keandalan yang dipeoleh pada perhitungan excel bahwa nilai indeks keandalan SAIDI, SAIFI, CAIDI pada saat kondisi perfect switching lebih rendah dari pada kondisi imperfect switching. Hal tersebut disebabkan pada saat kondisi perfect switching peralatan tidak ikut berkontribusi, sedangkan pada kondisi imperfect peralatan sepenuhnya ikut berkontribusi. Berbeda halnya pada indeks keandalan MAIFI yang berbanding lurus dengan panjang penyulang karena tidak terpengaruh kontribusi peralatan baik pada kondisi perfect switching maupun imperfect switching.
- Hasil indeks dari MAIFI berbanding lurus dengan panjang penyulang yang dianalisa. Hal ini terjadi karena pada saat kondisi perfect switching maupun imperfect switching peralatan tidak ikut berkontribusi, sehingga besar kecilnya nilai indeks hanya dipengaruhi pada panjang penyulang yang dianalisa.
- Nilai indeks keandalan SAIDI dan SAIFI terendah terdapat pada penyulang Boboh sebesar 4,211 (jam/pelanggan.tahun) dan 3,464 (kegagalan/pelanggan.tahun), sedangkan nilai SAIDI dan SAIFI tertinggi terdapat di penyulang Cahaya Baru sebesar 5,247 (jam/pelanggan.tahun) dan 5,823 (kegagalan/pelanggan.tahun). Didasari hal

tersebut upaya perbaikan keandalan distribusi dilakukan pada Penyulang Cahaya Baru.

4. Setelah melakukan upaya perbaikan dengan penambahan FCOB pada penyulang Cahaya Baru, nilai indeks keandalan SAIFI-nya turun sebesar 87.46% menjadi 3.1062 (kegagalan/pelanggan.tahun) dan nilai SAIDI-nya turun sebesar 56% menjadi 3.3638 (jam/pelanggan.tahun). Hasil setelah perbaikan indeks keandalan ini sudah sesuai dengan Standar PLN No.68-2 Tahun 1986

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Artana, Ketut Buda dan Dinariyana, A. A. Bagus. Teori Keandalan Sistem dan Aplikasinya. Surabaya : Penerbit Guna Widya, 2013.
- [2] Syahputra, Ramadoni. Buku Ajar Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik. Yogyakarta : Penerbit LP3M UMY, 2017.
- [3] Soedibyo. Pembangkitan Tenaga Listrik. Surabaya : ITS Press, 2015.
- [4] Arismunandar, Artono dan Kuwahara, Susumu. Teknik Tenaga Listrik. Jakarta : PT Pradnya Paramita, 2004.
- [5] Marsudi, Djiteng. Operasi Sistem Tenaga Listrik. Jakarta Selatan : Balai Penerbit dan Humas ISTN, 1990.
- [6] PLN (Persero), PT. SPLN No.59. Keandalan pada Sistem Distribusi 20kV dan 6kV. Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara, 1985.
- [7] PLN (Persero), PT. SPLN No.68-2. Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik Bgian dua: Sistem Distribusi. Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara, 1986.
- [8] Disyon. Analisa keandalan Sistem Distribusi dengan Metode RIA (Reliability Index Assessment) Studi Kasus Sistem Distribusi Jawa Timur Penyulang GI Waru. Surabaya : Tugas Akhir Universitas Kristen Petra, 2008.
- [9] Nugraha, Faisal Adihisthana. Analisis Keandalan Sistem Distribusi PT. PLN (Persero) Surabaya Utara menggunakan Metode RIA (Reliability Index Assessment). Surabaya : Tugas Akhir ITS, 2016.
- [10] Nindiyobudoyo, Wahyudi Sarimun. Buku Saku Pelayanan Teknik. Depok : Penerbit Garamond, 2011.