

## EVALUASI KEANDALAN SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY NETWORK EQUIVALENT APPROACH (RNEA) DI PT. PLN RAYON MOJOKERTO

**Syahmi Nanzain**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: [syahminanzain@gmail.com](mailto:syahminanzain@gmail.com)

**Tri Wrahatnolo**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: [triwrahatnolo@unesa.ac.id](mailto:triwrahatnolo@unesa.ac.id)

### Abstrak

Suatu sistem jaringan distribusi dituntut memiliki keandalan dalam penyediaan dan penyaluran energi listrik. Kualitas keandalan pelayanan energi listrik dapat dilihat dari seberapa sering terjadi pemadaman dan lamanya pemadaman yang terjadi dalam selang waktu tertentu. Pada Tugas Akhir ini akan di bahas tentang keadalan sistem distribusi 20 kV di PT. PLN Rayon Mojokerto. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui indeks keandalan sistem jaringan distribusi pada beberapa penyulang di PT. PLN Rayon Mojokerto dengan menggunakan metode RNEA dan *software* ETAP sebagai referensi. Dari hasil penelitian 4 penyulang didapatkan hasil perhitungan indeks keandalan dengan menggunakan metode RNEA, nilai SAIFI penyulang Bangsal adalah sebesar 5,3 (padam/pelanggan/tahun), dan nilai SAIDI sebesar 14 (jam/pelanggan/tahun). Pada penyulang Residen Pamuji nilai SAIFI sebesar 3,1 (padam/pelanggan/tahun), dan nilai SAIDI sebesar 8,4 (jam/pelanggan/tahun). Penyulang Empunala nilai SAIFI sebesar 7,8 (padam/pelanggan/tahun), dan nilai SAIDI sebesar 18 (jam/pelanggan/tahun). Penyulang Gading nilai SAIFI sebesar 1,47 (padam/pelanggan/tahun), dan nilai SAIDI sebesar 4,96 (jam/pelanggan/tahun). Sedangkan hasil simulasi dengan *software* ETAP pada penyulang Bangsal nilai SAIFI sebesar 6,2 (padam/pelanggan/tahun), dan nilai SAIDI sebesar 13,5 (jam/pelanggan/tahun). Pada penyulang Residen Pamuji nilai SAIFI sebesar 5,4 (padam/pelanggan/tahun), dan nilai SAIDI sebesar 10,1 (jam/pelanggan/tahun). Penyulang Empunala nilai SAIFI sebesar 9,7 (padam/pelanggan/tahun), dan nilai SAIDI sebesar 21,7 (jam/pelanggan/tahun). Penyulang Gading nilai SAIFI sebesar 1,47 (padam/pelanggan/tahun), dan nilai SAIDI sebesar 5,1 (jam/pelanggan/tahun).

**Kata Kunci:** ETAP, Indeks Keandalan, Jaringan Distribusi 20 kV, RNEA.

### Abstract

Distribution network system is required to have reliability in the supply and distribution of electrical energy. The reliability of electrical energy services can be seen from how often the blackout and duration of blackouts that occur within a certain time interval. This study will be discussed about the integrity of distribution system 20 kV in PT. PLN Rayon Mojokerto. This study aims to determine the reliability index of distribution network system on some repeater in PT. PLN Rayon Mojokerto by using RNEA method and ETAP software as reference. From the result of the 4 feeders research, it is found that the reliability index calculation using RNEA method, the SAIFI value of Bangsal feeder is 5.3 (outages/customer/year), and SAIDI value is 14 (hour/customer/year). In Resident Pamuji feeder SAIFI value is 3.1 (outages/customer/year), and SAIDI value is 8.4 (hours/customer/year). In Empunala feeder SAIFI value is 7.8 (outages/customers/year), and SAIDI value is 18 (hours/customer/year). In Gading feeder SAIFI value is 1.47 (outages/customers/year), and SAIDI value is 4.96 (hours/customers/year). While the simulation results with ETAP software on Bangsal feeder SAIFI value is 6.2 (outages/customer/year), and SAIDI value is 13.5 (hours/customer/year). In Resident Pamuji feeder SAIFI value is 5.4 (outages/customer/year), and SAIDI value is 10.1 (hours/customer/year). In Empunala feeder SAIFI value is 9.7 (outages/customers/year), and SAIDI value is 21.7 (hours/customer/year). In Gading feeder SAIFI value is 1.47 (outages/customers/year), and SAIDI value is 5.1 (hours/customers/year).

**Keywords:** ETAP, Reliability Index, Distribution Network 20 kV, RNEA.

## PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik mengalami peningkatan setiap tahun sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan

ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Besar kebutuhan energi listrik pada tahun 2010 – 2019 diperkirakan mencapai hingga 55.000 MW (RUPTL, 2010). Sehingga, suatu sistem dituntut memiliki keandalan dalam

penyediaan dan penyaluran energi pada sistem jaringan distribusi. Kualitas keandalan jaringan distribusi sangat penting dalam menentukan kinerja sistem distribusi tenaga listrik, sistem dikatakan andal apabila frekuensi pemadamannya rendah dan tegangan dalam batas operasi normal. Keandalan sistem distribusi tenaga listrik dipengaruhi oleh konfigurasi sistem, alat pengaman yang dipasang, dan sistem proteksinya. Konfigurasi yang tepat, peralatan yang handal serta pengoperasian sistem yang otomatis akan meningkatkan keandalan sistem distribusi.

Sistem jaringan distribusi tenaga listrik di PLN rayon Mojokerto melayani kota Mojokerto dan kabupaten Mojokerto. Beberapa penyulang yang terdapat pada PLN rayon Mojokerto beroperasi menggunakan sistem radial, masih sering terjadinya pemadaman yang dikarenakan gangguan atau pemadaman secara terjadwal, sehingga kondisi ini dapat mempengaruhi keandalan suatu sistem.

Evaluasi keandalan sistem jaringan distribusi tenaga listrik dapat dilakukan dengan berbagai metode, Salah satunya adalah *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. Pada metode FMEA, kemungkinan terjadinya kegagalan atau tidak berfungsinya tiap komponen pada sistem distribusi diidentifikasi dan dianalisis untuk mengetahui pengaruhnya terhadap titik beban (*load point*). Kelemahan metode FMEA menggunakan perhitungan yang sangat banyak, sehingga membutuhkan waktu perhitungan yang lama. Billinton & Wang mengenalkan metode *reliability network equivalent approach (RNEA)*. Metode RNEA digunakan untuk menganalisis sistem distribusi radial yang kompleks secara sederhana. Prinsip utama pada metode ini adalah elemen ekuivalen dapat digunakan untuk mengganti bagian jaringan distribusi dan menyusun kembali sistem distribusi yang besar ke dalam bentuk seri dan sederhana. Metode ini merupakan metode pendekatan untuk mengevaluasi sistem distribusi yang menggunakan proses berulang dan berurutan untuk mengevaluasi indeks keandalan per titik beban (*load point*). Metode RNEA ini merupakan penyederhanaan dari metode FMEA, dan merupakan solusi dari masalah yang dihadapi metode FMEA. (Billinton & Wang, 1998).

Dengan demikian, perlu dilakukan evaluasi secara berkala tentang keandalan sistem tenaga listrik pada jaringan distribusi. Pada tugas akhir ini peneliti mengkaji tentang evaluasi keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV di area PT. PLN Rayon Mojokerto dengan menggunakan metode RNEA. Kemudian hasil perhitungan dari Metode RNEA dibandingkan dengan hasil perhitungan *software ETAP 12.6*.

## KAJIAN PUSTAKA

### Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV

Keandalan memiliki definisi yang bermacam – macam, salah satunya, keandalan menyatakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem, untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Tugas utama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah menyuplai energi listrik secara kontinyu kepada pelanggan (konsumen). Jaringan dikatakan andal apabila jaringan tersebut frekuensi pemadamannya rendah dan mutu tegangan optimal (sesuai standar) (Mazidi & Sreenivas, 2013).

Keandalan suatu sistem tenaga listrik ditentukan oleh penilaian kecukupan (*adequacy assessment*) berkaitan dengan kemampuan sistem untuk memasok energi listrik ke pelanggan dengan memenuhi persyaratan dengan cara yang memuaskan dan penilaian keandalan (*security assessment*) berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk tetap mampu bertahan akibat adanya gangguan atau hilangnya elemen sistem yang tidak dapat diantisipasi (Billinton & Allan, 1996:8).

Tujuan dari keandalan sistem distribusi adalah mengurangi frekuensi dan durasi gangguan listrik ke pelanggan. Mengurangi frekuensi kegagalan, waktu yang dibutuhkan untuk mencari dan mengisolasi kegagalan, sehingga mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan daya ke pelanggan yang terkena dampak.

### Indeks Keandalan

Indeks keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas. Sejumlah indeks sudah dikembangkan untuk menyediakan suatu kerangka untuk mengevaluasi keandalan sistem tenaga (Billinton & Allan, 1996). Evaluasi keandalan sistem distribusi terdiri dari indeks *load point* dan indeks sistem. Indeks keandalan *Load point* antara lain:

#### a. Frekuensi pemadaman (*Outage*)

Keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagai mana mestinya, diakibatkan karena beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen tersebut. Untuk menghitung frekuensi pemadaman digunakan persamaan berikut:

$$\lambda_{LP} = \sum_{i=K} \lambda_i \quad (1)$$

Dengan keterangan,

$\lambda_{LP}$  = frekuensi gangguan *load point*

$\lambda_i$  = laju kegagalan untuk peralatan K

K = semua peralatan terhadap *load point*

b. Lama pemadaman (*Outage Duration*)

Periode dari satu permulaan komponen mengalami keluar sampai saat komponen dapat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya (SPLN 59, 1985). Untuk menghitung lama pemadaman digunakan persamaan berikut:

$$U_{LP} = \sum_{i=k} U_i \sum_{i=k} \lambda_i \times \Gamma_j \quad (2)$$

Dengan keterangan,

- $U_{LP}$  = rata – rata gangguan tahunan
- $\Gamma_j$  = waktu perbaikan (*repairing time*)

Berdasarkan indeks-indeks *load point*, diperoleh sejumlah indeks keandalan untuk mengetahui indeks keandalan sistem secara keseluruhan yang dapat dievaluasi dan bisa didapatkan dengan lengkap mengenai kinerja sistem. Indeks-indeks ini adalah SAIFI dan SAIDI.

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

SAIFI adalah indeks keandalan yang merupakan jumlah dari perkalian frekuensi padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. (Billinton & Allan, 1996). Dengan indeks ini gambaran mengenai frekuensi kegagalan rata-rata yang terjadi pada bagian-bagian dari sistem bisa dievaluasi sehingga dapat dikelompokkan sesuai dengan tingkat keandalannya. Satuannya adalah pemadaman per pelanggan. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N} \quad (3)$$

Dengan keterangan,

- $\lambda_i$  = frekuensi padam
- $N_i$  = jumlah pelanggan pada saluran
- $N$  = jumlah pelanggan pada sistem

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

SAIDI adalah perkalian lama padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Dengan indeks ini, gambaran mengenai lama pemadaman rata-rata yang diakibatkan oleh gangguan pada bagian-bagian dari sistem dapat dievaluasi (Billinton & Wang, 1998).

Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \quad (4)$$

Dengan pengertian,

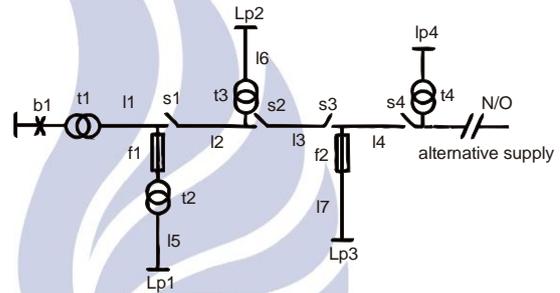
- $U_i$  = waktu padam dalam periode tertentu

**Reliability Network Equivalent Approach (RNEA)**

Metode *Reliability Network Equivalent Approach* digunakan untuk menganalisis sistem distribusi radial yang kompleks secara sederhana. Prinsip utama metode ini adalah elemen ekuivalen dapat digunakan untuk

mengganti bagian jaringan distribusi dan menyusun kembali sistem distribusi yang besar ke dalam bentuk seri dan sederhana. Metode ini merupakan metode pendekatan untuk mengevaluasi sistem distribusi yang menggunakan proses berulang dan berurutan untuk mengevaluasi indeks keandalan per *load point*. Metode *Reliability Network Equivalent Approach* merupakan penyederhanaan dari metode FMEA, dan merupakan solusi dari masalah yang dihadapi metode FMEA Metode FMEA menggunakan perhitungan yang sangat banyak, sehingga membutuhkan waktu perhitungan yang lama (Billinton & Wang, 1998).

Metode *Reliability Network Equivalent Approach* digunakan untuk menganalisis sistem distribusi radial yang kompleks secara sederhana. Sistem distribusi radial terdiri dari Transformator, Saluran, *Breaker*, *Fuse*, dan *Disconnecting Switch*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem Distribusi Tipe Radial

Keterangan gambar,

- B = Breaker
- T = Transformator
- l = Line
- S = Disconnecting Switch
- F = Fuse
- Lp = Load Point

s1, l1 disebut sebagai *main section* yang menyalurkan energi ke lokasi beban. Beban (*load point*) pada kondisi normal terhubung langsung dengan Transformator. *Fuse* f1 dan t1, l5 disebut sebagai seksi cabang (*lateral section*). Berdasarkan data elemen dan konfigurasi pada Penyulang, didapatkan formula untuk menghitung tiga indeks keandalan titik beban, dengan persamaan :

$$\lambda_j = \lambda_{sj} + \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} + \sum_{k=1}^n P_{kj} \lambda_{kj} \quad (5)$$

$$U_j = \lambda_{sj} r_{sj} + \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} r_{ij} + \sum_{k=1}^n P_{kj} \lambda_{kj} r_{kj} \quad (6)$$

$$r_j = \frac{U_j}{\lambda_j} \quad (7)$$

Dengan keterangan,

- $\lambda_j$  = laju kegagalan pada *load point j*
- $U_j$  = rata – rata ketidakersediaan tahunan *load point j*
- $r_{sj}$  = rata – rata lama padam pada *load point j*
- $\lambda_{sj}$  = laju kegagalan komponen seri terhadap *load point j*
- $\lambda_{ij}$  = laju kegagalan seksi utama i terhadap *load point J*

- $\lambda_{kj}$  = laju kegagalan seksi cabang k terhadap load point j
- $P_{kj}$  = parameter kontrol seksi cabang k pada load point j
- $r_{ij}$  = waktu switching atau waktu perbaikan load point j pada main section.
- $r_{sj}$  = waktu perbaikan untuk elemen seri terhadap load point j
- $r_{kj}$  = waktu switching atau waktu perbaikan load point j pada lateral section

**METODE**

**Pendekatan Penelitian**

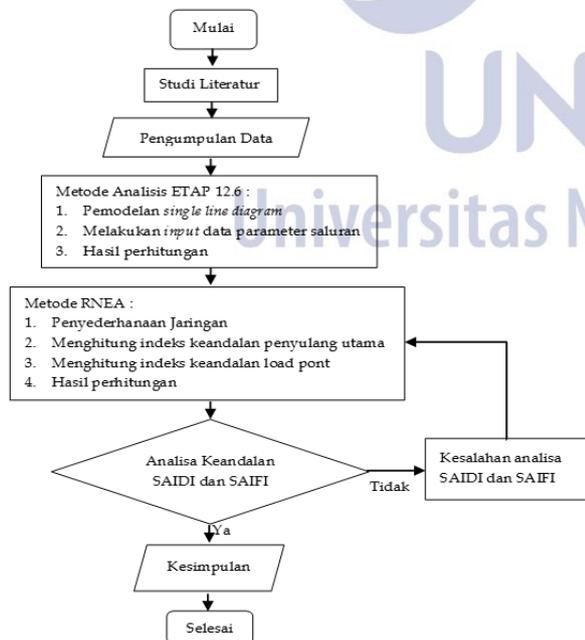
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yaitu penelitian sistematis dengan melakukan pengamatan terhadap bagian-bagian objek untuk mengumpulkan data yang disajikan dalam bentuk angka yang digunakan dalam penelitian. Penelitian ini menfokuskan pada keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV dengan menggunakan perbandingan perhitungan metode RNEA dan software ETAP 12.6. Sistem jaringan yang digunakan sebagai objek penelitian yaitu sistem jaringan distribusi 20 kV yang berada pada Rayon Mojokerto

**Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di PT. PLN Area Pelayanan dan Jaringan (APJ) Mojokerto di Jl. R. A Basuni No. 69 Sooko Mojokerto, Jawa Timur. Waktu penelitian dimulai pada 1 - 28 Oktober 2016.

**Analisis Data**

Analisis data pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tahapan mulai penelitian hingga selesai, seperti yang dijelaskan pada Gambar 2 berikut.



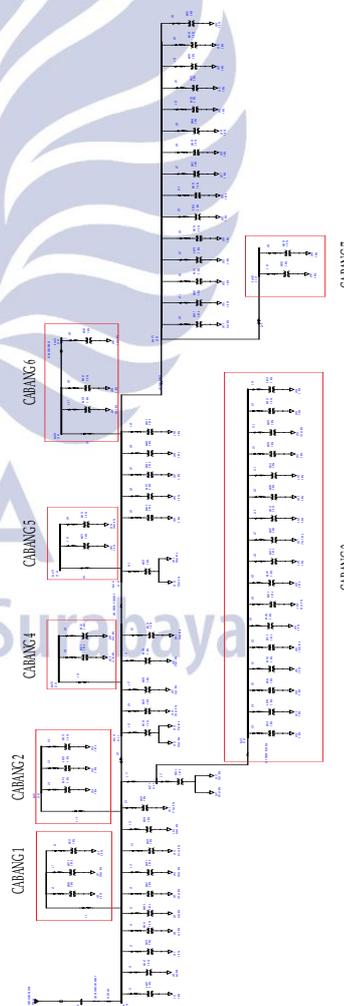
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keandalan sistem distribusi 20 kV serta mengetahui perbandingan perhitungan indeks keandalan menggunakan metode RNEA dengan electrical transient analysis program (ETAP) pada PT. PLN Rayon Mojokerto yaitu penyulang Bangsal, Residen Pamuji, Empunala dan Gading. Data penelitian yang diambil dari PT. PLN APJ Mojokerto akan disimulasikan menggunakan software ETAP 12.6 kemudian hasilnya dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan metode RNEA.

**Perhitungan Metode RNEA**

Perhitungan dimulai dengan menganalisis single line radial dari 4 penyulang untuk menentukan jumlah penyulang cabang di kedua penyulang tersebut. Penentuan penyulang cabang dengan menggunakan parameter letak dari pemisah. Jadi pemisah digunakan untuk memisahkan antara penyulang cabang dengan penyulang utama. Diambil penyulang Residen Pamuji sebagai sampel dengan single line yang dijelaskan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Single Line Diagram Penyulang Residen Pamuji

Pada penyulang Residen Pamuji terdapat 69 *Load Point*, begitu juga dengan jumlah trafo sebanyak 69 trafo dengan kapasitas yang berbeda pada setiap trafo. Jumlah pelanggan pada penyulang Residen Pamuji sebesar 6136 pelanggan, Trafo dengan jumlah pelanggan 1 merupakan pelanggan khusus atau industri sedangkan trafo dengan jumlah pelanggan yang lebih besar merupakan pelanggan umum atau perumahan. Berikut data trafo penyulang Residen pamuji dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Trafo Penyulang Residen Pamuji

<i>Load Point</i>	Trafo	Kapasitas Trafo	Jumlah Pelanggan
LP 1	HB497	100 kVA	1
LP 2	HB145	50 kVA	8
LP 3	HB379	160 kVA	1
LP 4	HB503	100 kVA	2
LP 5	HB488	100 kVA	23
LP 6	HB480	250 kVA	1
LP 7	HB075	160 kVA	238
LP 8	HB115	160 kVA	1
LP 9	HB437	100 kVA	180
LP 10	HB083	100 kVA	283
LP 11	HB036	200 kVA	413
LP 12	HB418	100 kVA	438
LP 13	HB035	150 kVA	370
LP 14	HB472	100 kVA	1
LP 15	HB005	200 kVA	1
LP 16	HB676	100 kVA	1
LP 17	HB262	200 kVA	533
LP 18	HB110	250 kVA	1
LP 19	HB396	160 kVA	1
LP 20	HB146	50 kVA	1
LP 21	HB542	100 kVA	1
LP 22	HB118	100 kVA	140
LP 23	HB484	100 kVA	1
LP 38	HB140	100 kVA	127
LP 39	HB141	100 kVA	45
LP 40	HB166	100 kVA	276
LP 41	HB254	100 kVA	234
LP 42	HB305	200 kVA	784
LP 43	HB570	100 kVA	1
LP 44	HB002	100 kVA	349
LP 45	HB428	100 kVA	1
LP 46	HB672	160 kVA	1
LP 47	HB681	400 kVA	1
LP 48	HB486	400 kVA	1
LP 49	HB624	160 kVA	1
LP 50	HB047	160 kVA	53
LP 51	HB425	160 kVA	1

<i>Load Point</i>	Trafo	Kapasitas Trafo	Jumlah Pelanggan
LP 52	HB410	250 kVA	1
LP 53	HB079	200 kVA	1
LP 54	HB095	160 kVA	1
LP 55	HB512	630 kVA	1
LP 56	HB580	100 kVA	1
LP 57	HB411	160 kVA	1
LP 58	HB499	100 kVA	1
LP 59	HB444	200 kVA	1
LP 60	HB222	5400 kVA	1
LP 61	HB012	630 kVA	2
LP 62	HB592	250 kVA	1
LP 63	HB069	200 kVA	1
LP 64	HB501	250 kVA	1
LP 65	HB362	200 kVA	1
LP 66	HB039	1250 kVA	1
LP 67	HB256	50 kVA	58
LP 68	HB443	50 kVA	1
LP 69	HB180	100 kVA	326
Total Pelanggan			6136

Pada sistem jaringan distribusi 20 kV penyulang Residen Pamuji terdapat saluran yang menghubungkan komponen satu dengan yang lain, berikut data panjang tiap saluran pada penyulang Residen Pamuji ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Panjang Saluran Penyulang Residen Pamuji

Saluran	L (km)	Saluran	L (km)
L1	1,698	L22	0,054
L2	0,158	L23	0,434
L3	0,071	L24	0,27
L4	0,379	L25	0,403
L5	0,1	L26	0,679
L6	0,078	L27	0,338
L7	0,053	L28	0,243
L8	0,051	L29	0,067
L9	0,372	L30	0,153
L10	0,552	L31	0,477
L11	0,426	L32	0,756
L12	1,634	L33	0,287
L13	0,257	L34	0,246
L14	0,9	L35	0,689
L15	0,061	L36	0,428
L16	0,049	L37	0,179
L17	0,461	L38	0,192
L18	0,621	L39	0,332
L19	0,106	L40	0,88
L20	0,137	L41	0,718
L21	0,083	L42	0,504

Saluran	L (km)	Saluran	L (km)
L43	0,829	L57	0,049
L44	0,52	L58	0,097
L45	0,279	L59	0,066
L46	0,04	L60	0,235
L47	0,441	L61	0,059
L48	0,962	L62	0,061
L49	0,12	L63	0,586
L50	0,12	L64	0,172
L51	0,062	L65	0,599
L52	0,006	L66	1,105
L53	0,084	L67	1,276
L54	0,03	L68	0,91
L55	0,047	L69	1,862
L56	0,072		
Panjang saluran L1+ L2+... L69		L69	27,265

### Menentukan Laju Kegagalan

Laju kegagalan didefinisikan sebagai nilai atau jumlah dari gangguan dalam suatu interval waktu tertentu. Perhitungan biasanya dilakukan dalam selang waktu selama satu tahun. Sehingga hasil yang diperoleh menunjukkan keterandalan sistem dalam selang waktu satu tahun tersebut. Sedangkan durasi pemadaman rata-rata dalam selang waktu satu tahun disimbolkan dengan U, ini merupakan fungsi waktu dari sistem selama sistem beroperasi.

Untuk mencari nilai indeks kegagalan pada penyulang Residen Pamuji, pertama kita menghitung laju kegagalan ( $\lambda$ ) tiap komponen yang ada didalamnya dengan memasukkan panjang penghantar yang dikalikan dengan indeks kegagalan/tahun, baik itu saluran udara ataupun kabel tanah. Sehingga diperoleh banyaknya pemadaman dalam satu tahun pada penyulang Bulog. Setelah itu menghitung nilai U yang ada pada penyulang Bulog dengan mengalikan laju kegagalan ( $\lambda$ ) tiap komponen tersebut dengan waktu perbaikan yang disimbolkan dengan r. Perhitungan pada cabang 1 penyulang Residen Pamuji sebagai berikut.

Tabel 3. Perhitungan  $\lambda$  seksi cabang 1 penyulang Residen Pamuji

Komponen	L (Km)	Angka Keluar (fault/year/km)	$\lambda$ (fault/year)
L6	0,078	0,2	0,0156
L7	0,053	0,2	0,0106
L8	0,051	0,2	0,0102
HB480	-	0,005	0,005
HB075	-	0,005	0,005
HB115	-	0,005	0,005
Jumlah			0,0514

Tabel 4. Perhitungan U seksi cabang 1 penyulang Residen Pamuji

Komponen	$\lambda$	r (jam)	U
L6	0,0156	3	0,0468
L7	0,0106	3	0,0318
L8	0,0102	3	0,0306
HB480	0,005	10	0,05
HB075	0,005	10	0,05
HB115	0,005	10	0,05
Jumlah			0,2592

Untuk menghitung indeks keandalan *load point* maka harus memperhatikan letak dari *load point* tersebut. Apabila *load point* tersebut terletak pada seksi cabang maka laju kegagalan penyulang utama harus ditambahkan dengan laju kegagalan ekivalen penyulang cabang letak dari *load point* tersebut. Besarnya laju kegagalan penyulang Residen Pamuji diuraikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Laju kegagalan penyulang Residen Pamuji

Komponen	$\lambda$	r (jam)	U
LP 1	2,9238	2,428757097	7,1012
LP 2	2,9238	2,428757097	7,1012
LP 3	2,9238	2,428757097	7,1012
LP 4	2,9238	2,428757097	7,1012
LP 5	2,9238	2,428757097	7,1012
LP 6	2,9752	2,47391772	7,3604
LP 7	2,9752	2,47391772	7,3604
LP 8	2,9752	2,47391772	7,3604
LP 9	2,9238	2,428757097	7,1012
LP 10	2,9238	2,428757097	7,1012
LP 11	2,9238	2,428757097	7,1012
LP 12	2,9238	2,428757097	7,1012
LP 13	2,9238	2,428757097	7,1012
LP 14	3,1408	2,501655629	7,8572
LP 15	3,1408	2,501655629	7,8572
LP 16	3,1408	2,501655629	7,8572
LP 17	2,9238	2,428757097	7,1012
LP 18	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 19	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 20	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 21	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 22	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 23	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 24	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 25	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 26	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 27	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 28	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 29	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 30	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 31	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 32	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 33	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 34	4,1096	2,825968464	11,6136
LP 35	2,9238	2,428757097	7,1012
LP 36	2,9238	2,428757097	7,1012
LP 37	2,9238	2,428757097	7,1012

Komponen	$\lambda$	r (jam)	U
LP 38	3,0386	2,473375897	7,5156
LP 39	3,0386	2,473375897	7,5156
LP 40	2,9238	2,428757097	7,1012
LP 41	2,9238	2,428757097	7,1012
LP 42	3,453	2,681378511	9,2588
LP 43	3,2036	3,173991759	10,1682
LP 44	3,2036	3,173991759	10,1682
LP 45	3,453	2,681378511	9,2588
LP 46	3,453	2,681378511	9,2588
LP 47	3,453	2,681378511	9,2588
LP 48	3,453	2,681378511	9,2588
LP 49	3,453	2,681378511	9,2588
LP 50	2,9238	3,9354265	11,5064
LP 51	2,9238	3,9354265	11,5064
LP 52	2,9238	3,9354265	11,5064
LP 53	2,9238	3,9354265	11,5064
LP 54	2,9238	3,9354265	11,5064
LP 55	2,9238	3,9354265	11,5064
LP 56	2,9238	3,9354265	11,5064
LP 57	2,9238	3,9354265	11,5064
LP 58	2,9238	3,9354265	11,5064
LP 59	2,9238	3,9354265	11,5064
LP 60	2,9238	3,9354265	11,5064
LP 61	2,9238	3,9354265	11,5064
LP 62	2,9238	3,9354265	11,5064
LP 63	2,9238	3,9354265	11,5064
LP 64	2,9238	3,9354265	11,5064
LP 65	3,3046	3,957755855	13,0788
LP 66	3,3046	3,957755855	13,0788
LP 67	3,371	3,832097301	12,918
LP 68	3,1408	4,11296485	12,918
LP 69	3,9954	3,637983681	14,5352
Rata-rata	3,32127		

**Menentukan Saifi dan Saidi**

Untuk menghitung indeks Saifi dan Saidi digunakan persamaan 1.3 dan 1.4, berikut hasil indeks Saifi dan Saidi pada penyulang Residen Pamuji diuraikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Sistem

LP	$\lambda$	r	U	PLG	N PLG * $\lambda$ SAIFI	N PLG * U SAIDI
LP 1	2,92	2,4	7,1	1	2,92	7,10
LP 2	2,92	2,4	7,1	8	23,39	56,81
LP 3	2,92	2,4	7,1	1	2,92	7,10
LP 4	2,92	2,4	7,1	2	5,85	14,20
LP 5	2,92	2,4	7,1	23	67,25	163,33
LP 6	2,97	2,4	7,36	1	2,98	7,36
LP 7	2,97	2,47	7,36	238	708,10	1751,78
LP 8	2,97	2,47	7,36	1	2,98	7,36
LP 9	2,92	2,42	7,1	180	526,28	1278,22
LP 10	2,92	2,42	7,1	283	827,44	2009,64
LP 11	2,92	2,42	7,1	413	1207,5	2932,80
LP 12	2,92	2,42	7,1	438	1280,6	3110,33
LP 13	2,92	2,42	7,1	370	1081,8	2627,44
LP 14	3,14	2,50	7,85	1	3,14	7,86
LP 15	3,14	2,50	7,85	1	3,14	7,86
LP 16	3,14	2,50	7,85	1	3,14	7,86

LP	$\lambda$	r	U	PLG	N PLG * $\lambda$ SAIFI	N PLG * U SAIDI
LP 17	2,92	2,42	7,1	533	1558,3	3784,94
LP 18	4,1	2,82	11,61	1	4,11	11,61
LP 19	4,1	2,82	11,61	1	4,11	11,61
LP 20	4,1	2,82	11,61	1	4,11	11,61
LP 21	4,1	2,82	11,61	1	4,11	11,61
LP 22	4,1	2,82	11,61	140	575,34	1625,90
LP 23	4,1	2,82	11,61	1	4,11	11,61
LP 24	4,1	2,82	11,61	58	238,36	673,59
LP 25	4,1	2,82	11,61	1	4,11	11,61
LP 26	4,1	2,82	11,61	1	4,11	11,61
LP 27	4,1	2,82	11,61	170	698,63	1974,31
LP 28	4,1	2,82	11,61	1	4,11	11,61
LP 29	4,1	2,82	11,61	1	4,11	11,61
LP 30	4,1	2,82	11,61	1	4,11	11,61
LP 31	4,1	2,82	11,61	1	4,11	11,61
LP 32	4,1	2,82	11,61	130	534,25	1509,77
LP 33	4,1	2,82	11,61	1	4,11	11,61
LP 34	4,1	2,82	11,61	1	4,11	11,61
LP 35	2,92	2,42	7,1	567	1657,	4026,38
LP 36	2,92	2,42	7,1	254	742,65	1803,70
LP 37	2,92	2,42	7,1	33	96,49	234,34
LP 38	3,03	2,47	7,51	127	385,90	954,48
LP 39	3,03	2,47	7,51	45	136,74	338,20
LP 40	2,92	2,42	7,1	276	806,97	1959,93
LP 41	2,92	2,42	7,1	234	684,17	1661,68
LP 42	3,45	2,68	9,25	784	2707,1	7258,9
LP 43	3,2	3,17	10,16	1	3,2	10,17
LP 44	3,2	3,17	10,16	349	1118	3548,7
LP 45	3,45	2,68	9,25	1	3,45	9,26
LP 46	3,45	2,68	9,25	1	3,45	9,26
LP 47	3,45	2,68	9,25	1	3,45	9,26
LP 48	3,45	2,68	9,25	1	3,45	9,26
LP 49	3,45	2,68	9,25	1	3,45	9,26
LP 50	2,92	3,93	11,5	53	154,96	609,84
LP 51	2,92	3,93	11,5	1	2,92	11,51
LP 52	2,92	3,93	11,5	1	2,92	11,51
LP 53	2,92	3,93	11,5	1	2,92	11,51
LP 54	2,92	3,93	11,5	1	2,92	11,51
LP 55	2,92	3,93	11,5	1	2,92	11,51
LP 56	2,92	3,93	11,5	1	2,92	11,51
LP 57	2,92	3,93	11,5	1	2,92	11,51
LP 58	2,92	3,93	11,5	1	2,92	11,51
LP 59	2,92	3,93	11,5	1	2,92	11,51
LP 60	2,92	3,93	11,5	1	2,92	11,51
LP 61	2,92	3,93	11,5	2	5,85	23,01
LP 62	2,92	3,93	11,5	1	2,92	11,51
LP 63	2,92	3,93	11,5	1	2,92	11,51
LP 64	2,92	3,93	11,5	1	2,92	11,51
LP 65	3,3	3,95	13,07	1	3,3	13,08
LP 66	3,3	3,95	13,07	1	3,3	13,08
LP 67	3,37	3,83	12,91	58	195,52	749,24
LP 68	3,14	4,11	12,91	1	3,14	12,92
LP 69	3,99	3,63	14,53	326	1302,5	4738,48
Jumlah				6136	19470,8	51868,53
					<b>3,17</b>	<b>8,45</b>

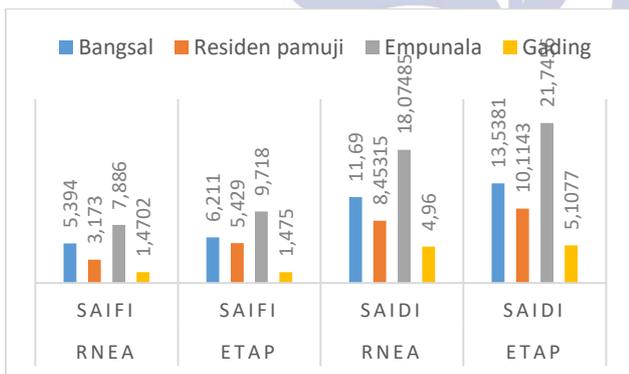
**Perbandingan Hasil Perhitungan Indeks keandalan Metode RNEA dengan Software ETAP**

Perhitungan indeks keandalan sistem dengan menggunakan metode RNEA dan *software ETAP* didapatkan hasil diuraikan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil perhitungan Indeks Keandalan Metode RNEA dan *Software ETAP*

Penyulang	RNEA		ETAP	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
Bangsals	5,394	11,69	6,211	13,538
Residen pamuji	3,173	8,453	5,429	10,114
Empunala	7,886	18,074	9,718	21,745
Gading	1,4702	4,96	1,48	5,108

Berdasarkan Tabel 7 menunjukkan bahwa terdapat selisih hasil perhitungan antara metode RNEA dan ETAP. Perbedaan perhitungan ini dikarenakan perbedaan metode yang digunakan sehingga menimbulkan selisih. Pada evaluasi keandalan menggunakan *software ETAP* diketahui bahwa ada perbedaan aturan pengambilan nilai *switching time* sehingga mempengaruhi hasil terutama pada nilai SAIDI. Sedangkan pada metode RNEA diketahui hasilnya cukup jauh dari program ETAP karena dilakukan penyederhanaan jaringan dan dalam perhitungan banyak hal-hal yang diabaikan. Grafik perbandingan antara metode RNEA dan ETAP dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan

**Evaluasi Keandalan Penyulang Berdasarkan Standarisasi PLN**

Hasil perhitungan indeks keandalan sistem diatas kemudian dibandingkan dengan standart PLN untuk mengetahui apakah memenuhi standar atau belum. Standar yang digunakan berdasarkan SPLN 68-2 tahun 1986 yaitu SAIFI = 3.2 kali/pelanggan/ tahun dan SAIDI = 21 jam / tahun.

Pada penyulang Bangsals tidak memenuhi standar PLN baik pada perhitungan menggunakan RNEA maupun ETAP. Pada penyulang Residen Pamuji perhitungan menggunakan metode RNEA telah memenuhi standar PLN yaitu sebesar 3.173

sedangkan perhitungan dengan ETAP tidak memenuhi standar PLN, pada penyulang Empunala indeks keandalan belum memenuhi standar PLN baik perhitungan metode RNEA maupun ETAP sedangkan pada penyulang Gading perhitungan menggunakan metode RNEA dan ETAP sudah memenuhi standar PLN. Perlu dilakukan upaya peningkatan keandalan untuk memenuhi standar PLN pada semua penyulang.

Sedangkan perbandingan indeks keandalan SAIDI pada penyulang Bangsals sudah memenuhi standar PLN baik perhitungan menggunakan metode RNEA maupun ETAP. Pada penyulang Residen Pamuji indeks keandalan SAIDI sudah memenuhi standar PLN baik perhitungan menggunakan metode RNEA maupun ETAP. Pada penyulang Empunala indeks keandalan pada metode RNEA sudah memenuhi standar PLN yaitu sebesar 18,074 dan pada perhitungan menggunakan simulasi ETAP belum memenuhi standar PLN yaitu sebesar 21,746 maka perlu dilakukan upaya peningkatan keandalan pada penyulang Empunala agar sistem memenuhi standar PLN. Sedangkan pada Penyulang Gading indeks keandalan pada metode RNEA dan ETAP sudah memenuhi standar PLN.

**PENUTUP**

**Simpulan**

Hasil evaluasi keandalan sistem distribusi 20 kV di PT. PLN Rayon Mojokerto menggunakan metode RNEA didapatkan hasil pada Penyulang Bangsals SAIFI = 5,3 padam/ pelanggan/ tahun, SAIDI = 11,7 jam/pelanggan/tahun. Pada Penyulang Residen Pamuji SAIFI = 3,1 padam/ pelanggan/ tahun, SAIDI = 8,4 jam/ pelanggan/ tahun. Pada Penyulang Empunala hasil SAIFI = 7,8 padam/ pelanggan/ tahun, SAIDI = 18 jam/ pelanggan/ tahun. Pada Penyulang Gading SAIFI = 1,470 padam / pelanggan/ tahun, SAIDI= 4,96 jam/ pelanggan/ tahun.

Sedangkan Hasil evaluasi menggunakan simulasi *software ETAP* 12.6, Penyulang Bangsals SAIFI = 6,2 padam/ pelanggan/ tahun, SAIDI = 13,5 jam/ pelanggan/ tahun. Penyulang Residen Pamuji SAIFI = 5,4 padam/ pelanggan/ tahun, SAIDI = 10,1 jam/ pelanggan/ tahun. Penyulang Empunala SAIFI = 9,7 padam/ pelanggan/ tahun, SAIDI = 21,7 jam/ pelanggan/ tahun. Penyulang Gading SAIFI = 1,475 padam/ pelanggan/ tahun, SAIDI = 5,10 jam/ pelanggan/ tahun.

Selisih perhitungan metode RNEA dan ETAP pada penyulang Bangsals sebesar 15,1% untuk nilai SAIFI dan SAIDI sebesar 15,8%, pada penyulang Resпам persentase nilai SAIFI sebesar 71,1% dan SAIDI 19,64%, pada

penyulang Empunala Presentase perbandingan Nilai SAIFI sebesar 23,23% dan SAIDI sebesar 20,31%, sedangkan pada penyulang Gading perbandingan nilai SAIFI sebesar 0,32% dan SAIDI sebesar 2,9%.

Pada penyulang Bangsal dan Empunala indeks keandalan SAIFI masih dibawah standar yang ditentukan PLN, dan indeks SAIDI sudah memenuhi standar PLN, sedangkan pada Penyulang Residen Pamuji dan Gading indeks keandalan sistem sudah memenuhi standar dari PLN.

### Saran

Pada penyulang Bangsal dan Empunala indeks keandalan SAIFI masih dibawah Standar PLN, maka perlu dilakukan upaya perbaikan guna mencapai keandalan sistem distribusi yang baik.

Pada Penyulang Residen Pamuji dan Gading indeks keandalan sistem sudah memenuhi standar dari PLN, maka perlu di pertahankan dan di tingkatkan guna mencapai keandalan sistem distribusi yang baik.

Perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut terhadap SPLN No 52-3 1985 tentang Pola Pengaman Sistem Distribusi 6 KV dan 20 KV, SPLN No 59 1985 Tentang Keandalan Pada Sistem Distribusi 6 KV dan 20 KV, SPLN No 68-2 1986 Tentang Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik, mengingat pertumbuhan beban yang semakin tinggi setiap tahunnya dan terus bertambahnya kerapatan beban (semakin banyak pelanggan) agar lebih efektif jika digunakan untuk penelitian selanjutnya..

### DAFTAR PUSTAKA

Billinton. R & Allan. R.N, 1996. *Reliability Evaluation of Power System*. Plenum press, New York.

Billinton. R & Wang. P, 1998. *Reliability Network Equivalent Approach to Distribution System reliability evaluation*. IEEE Proc-Gener. Distrib, vol. 145, no 2.

Mazidi, P. & Sreenivas, G. N, 2013. *Reliability Analysis of A Radial Distributed Generation Distribution System*, IJEEEE, ISSN (PRINT): 2231-5284, Vol. 3 Issue 2.

PT. PLN (persero), 2010. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL 2010-2019). Jakarta

SPLN 52-3 : 1983, Pola Pengamanan Sistem, Bagian Tiga: Sistem Distribusi 6 kV dan 20 kV. Indonesia. 1983.

SPLN 59 : 1985. Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6kV. Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi, Perusahaan Umum Listrik Negara.