

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Pada sistem tenaga listrik terdapat beberapa langkah dalam menyalurkan tenaga listrik yaitu dimulai dari listrik dibangkitkan oleh pembangkit tenaga listrik, kemudian tenaga listrik yang sudah dibangkitkan akan disalurkan ke jaringan transmisi seperti SUTET dan tujuan akhir dari tenaga listrik adalah pelanggan atau konsumen dimana sebelum sampai ke konsumen tenaga listrik harus melalui ke gardu induk terlebih dahulu. Dalam gardu induk tenaga listrik sendiri memiliki beberapa sistem penyaluran listrik yaitu menyalurkan listrik ke jaringan distribusi primer (SUTM) dan melalui gardu distribusi tenaga listrik langsung ke jaringan distribusi sekunder (SUTR) lalu tenaga listrik dialirkan ke konsumen. Sistem distribusi tenaga listrik ini memiliki fungsi untuk menyalurkan tenaga listrik kepada pelanggan atau konsumen melalui jaringan tegangan rendah (SUTR), sedangkan saluran transmisi memiliki fungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan ekstra tinggi kepada pusat-pusat beban dalam daya yang besar seperti perusahaan dan industri. Sistem pembangkit terdiri lebih dari satu unit pembangkit yang akan mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik dan mampu menghasilkan daya listrik yang cukup sesuai kebutuhan konsumen. (Brown, 2002).

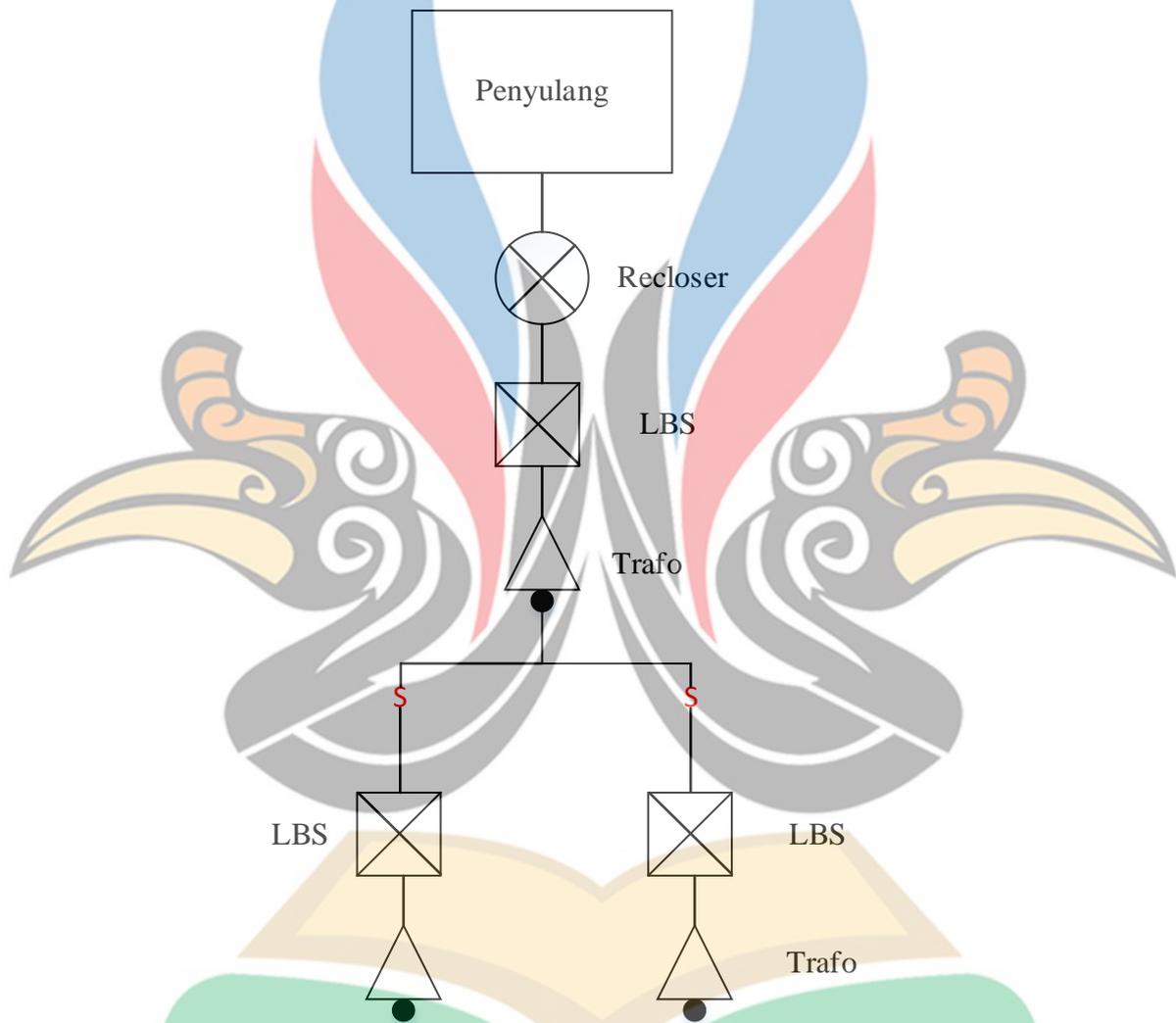
2.2 Sistem Jaringan Distribusi

Sistem jaringan distribusi tenaga listrik adalah sistem yang menyalurkan energi listrik dari pembangkit tenaga listrik (*power station*) hingga sampai kepada konsumen (pemakai) pada tingkat tegangan yang diperlukan. Sistem tenaga listrik ini terdiri dari unit pembangkit tenaga listrik, unit jaringan transmisi tenaga listrik dan unit jaringan distribusi tenaga listrik (Kersting, 2002).

2.2.1. Sistem Jaringan Radial

Sistem distribusi radial merupakan sistem yang memiliki tipe pengoperasian yang khusus yaitu sistem hanya menyalurkan tenaga listrik dengan satu jalur dari

pembangkit menuju konsumen atau pelanggan. Hal ini membuat sistem distribusi radial merupakan sistem yang sederhana dan murah dibandingkan dengan sistem distribusi lainnya, hal itu dikarenakan konstruksi sistem ini menggunakan sedikit penggunaan material listrik, apalagi jika jarak penyaluran antara gardu induk ke konsumen tidak terlalu jauh (Kersting,2002). Berikut adalah gambar dari sistem distribusi radial.



Gambar 2. 1 Sistem Jaringan Radial

Sistem jenis ini memiliki karakter khusus yaitu mengalirkan tenaga listrik hanya dari 1 saluran ke pelanggan yang dituju. Dari gambar diatas, listrik mengalir dari penyulang kemudian melewati beberapa pengaman dari saluran yang digunakan untuk mengamankan pelanggan saat terjadi gangguan. Jika dilihat dari

sisi kehandalan sistemnya maka tidak dapat disebut baik, karena penyaluran sistem tenaga listrik pada sistem ini hanya menggunakan satu saluran. Apabila terjadi gangguan maka sistem akan berhenti dalam waktu yang cukup lama agar dapat diperbaiki kembali seperti semula. Selain hal diatas sistem jenis ini juga sangat rentan apabila saluran yang akan digunakan sangat panjang yaitu rugi-rugi tegangan yang dihasilkan sangat besar, sehingga kapasitas pelayanan menjadi terbatas (Suswanto,2009).

2.3 Gardu Induk

Gardu induk adalah salah satu sistem yang terlibat dalam penyaluran tenaga listrik. Gardu induk itu sendiri mempunyai peranan sangat penting dalam sistem penyaluran tenaga listrik yang tidak dapat dipisahkan dari sistem lain seperti sistem transmisi dan distribusi secara keseluruhan (Gonen, 1986).

Adapun Gardu distribusi dapat dibedakan dari beberapa hal yang diantaranya yakni.

1. □ Gardu Hubung

Gardu hubung adalah gardu pada jaringan distribusi yang memiliki fungsi sebagai penghubung satu penyulang dengan penyulang yang lain dan membagi beban masing-masing penyulang (Suswanto, 2009)

2. □ Gardu Trafo

Gardu trafo memiliki perbedaan dari gardu hubung yaitu gardu trafo memiliki fungsi sebagai gardu yang membagikan tenaga listrik pada konsumen atau pelanggan di jaringan tegangan rendah. Maka dari itu pada gardu trafo diletakan 1 sampai 2 trafo distribusi yang digunakan untuk merubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah (Suswanto, 2009).

2.4 Komponen Sistem Distribusi

Banyak berbagai jenis komponen yang harus saling berhubungan untuk membangun gardu induk distribusi. Mengetahui komponen-komponen ini adalah langkah pertama dalam memahami keandalan distribusi (Brown, 2002).

1. □ *Recloser*

Recloser berfungsi sebagai alat pengamanan pada jaringan distribusi agar gangguan dapat diredakan. Dengan cara menghilangkan gangguan yang bersifat sementara kemudian mengembalikan sistem dengan cepat dan memutus gangguan yang bersifat permanen. Cara kerja *recloser* adalah menutup dan membuka secara otomatis yang dapat diatur selang waktunya, dimana pada gangguan yang bersifat sementara, *recloser* tidak membuka tetap, kemudian *recloser* akan menutup kembali setelah gangguan itu hilang. Apabila gangguan yang terjadi bersifat permanen, maka *recloser* setelah membuka atau menutup sebanyak *setting* waktu yang telah ditentukan. Kemudian *recloser* akan membuka tetap, dimana *recloser* berfungsi sebagai pemisahan antar daerah atau jaringan yang mengalami gangguan dengan yang tidak mengalami secara cepat sehingga dapat memperkecil daerah yang terganggu pada gangguan sesaat. (Brown, 2002).

2. □ Pemutus Tegangan Tinggi

Circuit breaker (CB) atau pemutus tenaga adalah suatu peralatan yang berfungsi sebagai saklar atau saklar mekanis, yang memiliki kemampuan menutup, mengalirkan dan dapat memutus arus beban dalam kondisi yang normal serta mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi abnormal atau gangguan. (Brown, 2002).

3. □ Trafo Tegangan dan Arus

Trafo jenis ini biasa digunakan untuk menurunkan tegangan tinggi dan tingkatan arus. Trafo tegangan dan trafo arus sering disebut *voltage transformers* (VT) dan *current transformers* (CT). Trafo tegangan biasanya disebut dengan trafo potensial atau *potential transformers* (PT) (Brown, 2002).

4. □ *Sectionalizer*

Perangkat yang memiliki fungsi secara otomatis mengisolasi perangkat-perangkat sistem distribusi yang mengalami kerusakan atau gangguan. *Sectionalizer* dapat mendeteksi arus dengan cara menghitung jumlah arus berlebih dan mengikuti urutan. Setelah melebihi angka yang telah ditetapkan, lalu membuka sirkuit dan menguncinya. *Sectionalizer* dapat mengatur ulang dirinya sendiri ke

hitungan nol setelah hitungan melebihi beberapa angka yang telah ditetapkan. (Momoh, 2007).

www.itk.ac.id

5. □ *Fuse Cut Off* (FCO)

Fuse Cut Out adalah alat yang digunakan sebagai pemutus rangkaian listrik pada jaringan distribusi tenaga listrik. *Fuse Cut Out* berfungsi sebagai pengaman pada sistem tenaga listrik, dengan cara membatasi pada tegangan lebih maupun pada arus berlebih yang mengalir pada sistem tenaga listrik, dan mengalirkannya ke tanah (Momoh, 2007).

6. □ *Relay*

Perangkat ini dapat menerima informasi tentang sistem tenaga listrik dan mengirim sinyal kepada pemutus tenaga (PMT) agar dapat membuka dan menutup pada saat yang tepat. (Brown, 2002).

2.5 Jenis Gangguan Sistem Distribusi

Gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan terutama pada pendistribusian tenaga listrik dapat mengakibatkan kerusakan komponen sistem tenaga listrik dan kerusakan lainnya. Kerusakan semacam itu sering terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik. Berdasarkan waktu atau lamanya (durasi) gangguan, selanjutnya gangguan dapat dibagi menjadi dua bagian yakni sebagai berikut:

1. □ Gangguan sementara/ temporer

Gangguan sementara adalah jenis gangguan yang bersifat sementara dan terjadi dalam waktu singkat dan tidak memerlukan tindakan-tindakan seperti menghentikan penyaluran tenaga listrik pada sistem distribusi tenaga listrik. Artinya sistem distribusi listrik dapat normal kembali melalui penutupan yang dilakukan oleh peralatan hubung kemudian sistem jaringan listrik akan bekerja normal kembali. Jenis gangguan ini dapat merusak peralatan listrik yang ada karena jenis gangguan ini bisa terjadi berulang kali. Contoh dari jenis gangguan sementara pada sistem distribusi listrik seperti, dahan pohon yang menimpa saluran, hewan yang mengenai saluran, dan lain-lain (Suswanto, 2009).

www.itk.ac.id

2. □ Gangguan permanen

Gangguan permanen adalah jenis gangguan yang terjadi dalam jangka waktu lama atau mungkin tetap, hal ini disebabkan oleh rusaknya peralatan listrik akibatnya sistem berhenti menyalurkan tenaga listrik atau pemadaman yang lama. Gangguan ini hanya dapat kembali normal setelah dilakukannya tindakan-tindakan perbaikan. Contoh jenis gangguan ini seperti pohon disekitar saluran jatuh dan menimpa saluran sehingga sistem rusak dan tidak dapat menyalurkan tenaga listrik. Contoh berikutnya seperti menurun kemampuan isolasi padat atau minyak pada trafo hal ini akan menyebabkan kerusakan permanen pada trafo, sehingga untuk dapat beroperasi kembali harus dilakukan perbaikan atau mengganti trafo (Suswanto, 2009).

2.6 Penyebab Gangguan

Dalam sistem tenaga listrik sering sekali mengalami gangguan yang mengakibatkan sistem terhenti atau bahkan merusak alat. Dalam sistem jaringan distribusi juga memiliki banyak gangguan dalam menyalurkan tenaga listrik kepada konsumen atau pelanggan. Berikut adalah penyebab terjadinya gangguan pada jaringan distribusi tenaga listrik:

a) □ Kegagalan Perangkat

Setiap perangkat pada sistem distribusi tenaga listrik memiliki probabilitas kegagalan pada masing-masing perangkat yang sama. Ketika dilakukan pemasangan pada sistem perangkat dapat mengalami kegagalan baik itu karena proses pembuatan perangkat tersebut, kerusakan selama pengiriman, ataupun pemasangan yang tidak baik. Perangkat disebut baik adalah perangkat yang dapat mengalami kegagalan karena arus berlebih, tegangan berlebih, gangguan hewan, cuaca buruk dan penyebab lainnya. Terkadang, suatu perangkat dapat mengalami kegagalan secara spontan karena alasan seperti usia karena kronologis, usia karena kondisi suhu, dekomposisi kimia, terkena kontaminasi, dan karena penggunaan mekanis (Brown, 2002).

b) □ Hewan

Hewan adalah salah satu dari penyebab terbesar gangguan yang terjadi pada pelanggan di jaringan listrik. Contoh hewan yang sering mengakibatkan pemadaman listrik yaitu; tupai, tikus, tikus tanah, burung, ular, semut api, dan hewan besar (Brown,2002).

c) □ Cuaca Buruk

Selama cuaca buruk terjadi, banyak gangguan atau bahkan kerusakan peralatan dapat terjadi pada saat yang bersamaan. Hal ini dapat menyebabkan waktu pemulihan yang lama bagi banyak pelanggan yang terganggu. Kondisi cuaca buruk yang paling berdampak pada keandalan distribusi seperti angin, petir, lapisan es, panas ekstrem, dan gempa bumi (Brown,2002).

d) □ Pohon

Pohon adalah salah satu dari tiga penyebab utama gangguan yang sebagian besar terjadi pada pelanggan (hewan dan petir menjadi dua lainnya). Terkadang jaringan distribusi mengalami gangguan karena pohon yang tumbang. Hal tersebut sangat sulit dihindari terutama pada jaringan distribusi yang terletak di daerah yang terdapat banyak pepohonan seperti di daerah pedesaan (Brown,2002).

e) □ Faktor Manusia

Selain penyebab yang sudah dijelaskan sebelumnya, terkadang gangguan ini disengaja (misalnya pemadaman terjadwal, pemutusan layanan, vandalisme) dan terkadang gangguan ini tidak disengaja (misalnya kesalahan operasional, kecelakaan lalu lintas, penggalian) (Brown,2002).

2.7 Indeks Keandalan Sistem Distribusi

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, 1996). Evaluasi keandalan sistem distribusi terdiri dari indeks *load point* dan indeks sistem. Indeks keandalan *Load point* antara lain:

a. □ Frekuensi pemadaman

Keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagai mana mestinya, diakibatkan karena beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen tersebut (SPLN 59, 1985).

b. □ Lama pemadaman

Periode dari satu permulaan komponen mengalami keluar sampai saat komponen dapat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya (SPLN 59, 1985).

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. Berikut ini adalah indeks keandalan dalam jaringan distribusi tenaga listrik berbasis pelanggan antara lain:

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. 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 (Lee, 2004). Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N} \quad (2.1)$$

Keterangan (2.1) ;

λ_i = Frekuensi gangguan peralatan pada titik beban

N_i = Jumlah konsumen pada titik beban

N = Jumlah konsumen pada *section*

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 (Lee, 2004). Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

www.itk.ac.id

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N} \quad (2.2)$$

Keterangan (2.2) ;

U_i = Durasi gangguan peralatan pada titik beban (jam/tahun)

c. □ CAIDI (*Consumer Average Duration Frequency Index*)

CAIDI merupakan Indeks Durasi Gangguan Rata-Rata bagi Konsumen yang terkena gangguan tersebut. CAIDI adalah rata-rata jumlah gangguan bagi konsumen yang mengalami gangguan sepanjang tahun. Ini merupakan rasio jumlah interupsi tahunan terhadap jumlah konsumen yang terkena gangguan sepanjang tahun. Konsumen hanya dihitung sekali terlepas dari jumlah interupsi (Lee, 2004).

$$CAIDI = \frac{\text{jumlah gangguan pada pelanggan dalam setahun}}{\text{jumlah pelanggan yang mengalami gangguan}} \quad (2.3)$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (2.4)$$

d. □ ASAI (*Average service availability index*)

ASAI menunjukkan ketersediaan tenaga listrik (Billinton & Allan, 1996).

$$ASAI = \frac{\sum N_i \times 8760 - \sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \quad (2.5)$$

Atau

$$ASAI = \frac{8760 - SAIDI}{8760} \quad (2.6)$$

Keterangan (2.5) ;

8760 = jumlah jam dalam 1 tahun

e. □ ASUI (*Average service unavailability index*)

ASUI menunjukkan ketidakterediaan tenaga listrik (Billinton & Allan, 1996).

$$ASUI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \quad \text{www.itk.ac.id} \quad (2.7)$$

Atau

$$ASUI = 1 - ASAI \quad (2.8)$$

2.8 Metode RNEA (*Reliability Network Equivalent Approach*)

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* (Billinton & Wang, 1998). Berdasarkan data elemen dan konfigurasi pada Penyulang, didapatkan formula untuk menghitung tiga indeks keandalan titik beban, dengan persamaan:

$$\lambda_j = \lambda_{sj} + \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} + \sum_{k=1}^n P_{kj} \lambda_{kj} \quad (2.9)$$

$$U_j = \lambda_{sj} r_{sj} + \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} r_{ij} + \sum_{k=1}^n P_{kj} \lambda_{kj} r_{kj} \quad (2.10)$$

$$r_j = \frac{U_j}{\lambda_j} \quad (2.11)$$

2.9 Analisis Aspek Ekonomi

Pemadaman suatu sistem mengacu terhadap waktu pemadaman (*repair time*) dan waktu pemindahan (*switching time*). Efek mode kegagalan tersebut disimulasikan terhadap setiap titik beban. Dengan data setiap titik beban tersebut dapat ditentukan besar energi yang tidak tersalurkan. Sehingga berdasarkan setiap titik beban pula dapat dilakukan sebuah evaluasi nilai kerugian bagi penyedia energi listrik. Dalam perhitungan analisis nilai ekonomis terdapat beberapa persamaan yang berkaitan dengan perhitungan aspek ekonomis (Gerd Kjolle, 1990). Adapun persamaan yang digunakan dalam menghitung aspek ekonomi pada sistem, yaitu:

1. □ NDE (*Non Delivery Energy*)

$$NDE = P_c t_{CA} \quad (2.12)$$

Keterangan (2.12) ;

NDE = *Non Delivery Energy* (kWh)

P_c = Jumlah total eneregi yang tidak terkirim (kW)

t_{CA} = Waktu pemadaman (jam)

2. □ Biaya kerugian per titik beban

$$\text{Biaya pada titik beban } N = NDE \times TDL \quad (2.13)$$

Keterangan (2.13) ;

TDL = Tarif Dasar Listrik sesuai dengan ketentuan harga dari PT PLN (Persero).

2.10 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan.

www.itk.ac.id



Halaman ini sengaja dikosongkan

www.itk.ac.id

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Nama Publikasi	Tahun Publikasi	Metode	Hasil
1	Billinton & Wang	1998	<i>Reability Network Equivalent Approach</i> (RNEA)	Sebagai acuan dasar untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi radial
2	Sukerayasa & Musthopa	2008	Evaluasi keandalan penyulang dengan metode <i>Reability Network Equivalent Approach</i> (RNEA)	Menggunakan metode RNEA pada penyulang Penebel dengan hasil SAIDI 4,248 jam/pelanggan/tahun, dan SAIFI 1,7594 pemadaman/pelanggan/tahun.
3	Canggi Purba Wisesa	2014	Analisis keandalan dengan metode <i>Reability Network Equivalent Approach</i> (RNEA)	Menggunakan metode RNEA pada penyulang Bulog dengan hasil SAIDI 5,220 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI 2,126 pemadaman/pelanggan/tahun.

4	Syahmi & Tri	2017	Evaluasi keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV menggunakan metode <i>Reability Network Equivalent Approach</i> (RNEA)	Menggunakan metode RNEA dengan hasil SAIDI dan SAIFI pada masing-masing penyulang sebagai berikut: 1. □ Penyulang Bangsal: SAIDI 14 dan SAIFI 5,3 2. □ Penyulang Residen Pamuji: SAIDI 8,4 dan SAIFI 3,1 3. □ Penyulang Empunala: SAIDI 18 dan SAIFI 7,8 4. □ Penyulang Gading: SAIDI 4,96 dan SAIFI 1,47 Menggunakan ETAP dengan hasil SAIDI dan SAIFI sebagai berikut: 1. □ Penyulang Bangsal: SAIDI 13,5 dan SAIFI 6,2 2. □ Penyulang Residen Pamuji: SAIDI 10,1 dan SAIFI 5,4 3. □ Penyulang Empunala: SAIDI 21,7 dan SAIFI 9,7 4. □ Penyulang Gading: SAIDI 5,1 dan SAIFI 1,47
5	Riyan Cristovel Wangko	2020	Analisis keandalan dan aspek ekonomi sistem distribusi 20 kV menggunakan metode <i>Reability Network Equivalent Approach</i> (RNEA)	-
