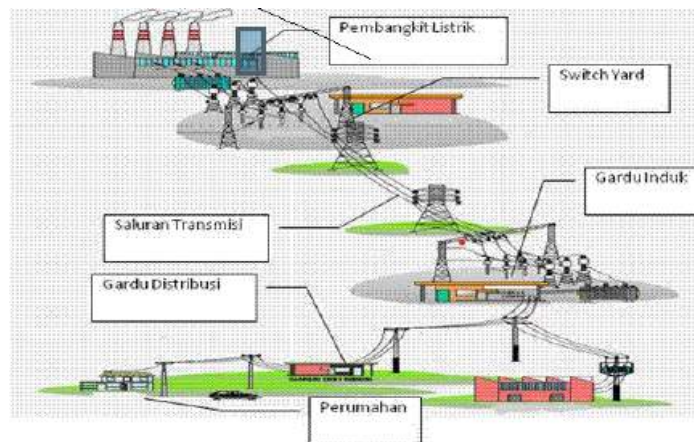


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkitan, transmisi, distribusi dan beban yang saling berhubungan dan bekerjasama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Secara garis besar Sistem Tenaga Listrik dapat digambarkan dengan skema pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik (Suripto 2016)

Fungsi masing-masing komponen secara garis besar adalah (Suripto 2016):

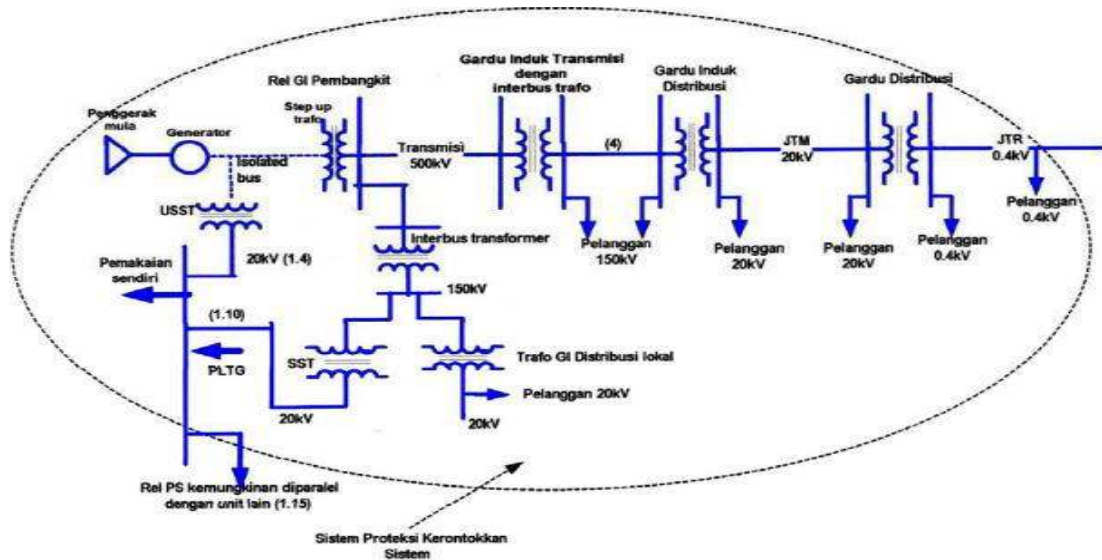
1. Pembangkitan merupakan komponen yang berfungsi membangkitkan tenaga listrik, yaitu mengubah energi yang berasal dari sumber energi lain misalnya: air, batu bara, panas bumi, minyak bumi dll. menjadi energi listrik.
2. Transmisi merupakan komponen yang berfungsi menyalurkan daya atau energi dari pusat pembangkitan ke pusat beban.
3. Distribusi merupakan komponen yang berfungsi mendistribusikan energi listrik ke lokasi konsumen energi listrik.

4. Beban adalah peralatan listrik di lokasi konsumen yang memanfaatkan energi listrik dari sistem tersebut.

2.2 Sistem Distribusi Listrik

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan seperti Gambar 2.2 (Suhadi & Wrihatnolo, 2008).



Gambar 2.2 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik (Suhadi and Wrahatnolo 2008)

Sistem distribusi dibagi menjadi dua bagian yaitu:

2.2.1 Sistem Distribusi Primer

Sistem Distribusi primer adalah sistem jaringan distribusi dengan tegangan menengah 20 kV yang berasal dari gardu induk sampai dimana titik tegangan diturunkan oleh trafo penurun tegangan ke tingkat tegangan lebih rendah atau tegangan sesuai kebutuhan konsumen (Binilang et al. 2017).

Sistem jaringan distribusi primer atau sering disebut jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) ini terletak antara gardu induk dengan gardu pembagi, yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6 kV, 10 kV, dan 20 kV (sesuai standar PLN). Sedangkan di Amerika Serikat standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 2,4 kV, 4,16 kV, dan 13,8 kV (Suswanto 2009).

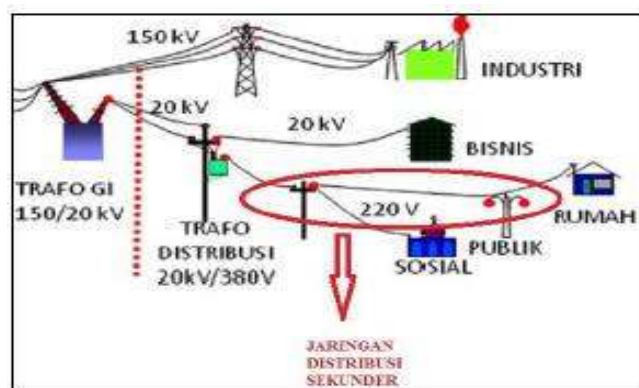
Berikut adalah Gambar 2.3 yang menunjukkan gambar jaringan distribusi primer.



Gambar 2.3 Jaringan Distribusi Primer (Hardianto 2017)

2.2.2 Distribusi Sekunder

Distribusi sekunder adalah dimana jaringan distribusi dengan tegangan rendah 380V/220V yang bermula dari trafo distribusi melewati penghantar tegangan rendah hingga sampai ke kWh meter konsumen (Wicaksono and Suhardi 2019). Berikut adalah Gambar 2.4 yang menunjukkan gambar jaringan distribusi sekunder.



Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Sekunder 220 V (Hardianto 2017)

Untuk menjamin ketersediaan tenaga listrik secara efisien dan konsisten, diharuskan memilih sistem distribusi yang sesuai. Faktor yang harus dipertimbangkan dalam memilih sistem distribusi diantaranya (Wicaksono and Suhardi 2019):

- a. Faktor biaya

- b. Faktor lokasi
- c. Faktor kelayakan

Penentuan sistem distribusi harus memenuhi kriteria persyaratan yaitu (Wicaksono and Suhardi 2019):

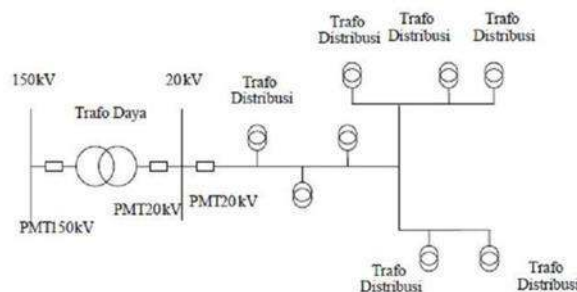
- a. Keandalan yang tinggi
- b. Kontinuitas pelayanan
- c. Biaya investasi yang rendah
- d. Instabilitas frekuensi dan tegangan rendah

2.3 Tipe Jaringan Distribusi Listrik

2.3.1 Jaringan Distribusi Sistem Radial

Sistem radial merupakan sistem yang paling mudah penerapannya karena hanya pada satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga jika jalur utama tersebut terjadi gangguan, maka gardu akan ikut padam.

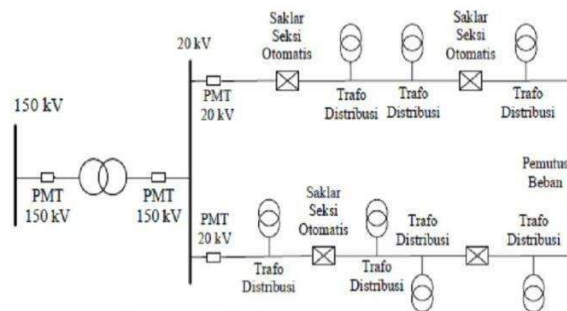
Keuntungan dari sistem ini adalah tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain. Kerugiannya yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini terjadi karena jatuh tegangan terbesar ada di ujung saluran (Fatoni 2016). Jaringan distribusi bentuk radial dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Jaringan Radial (Wicaksono and Suhardi 2019)

2.3.2 Jaringan Distribusi Sistem Ring/Loop

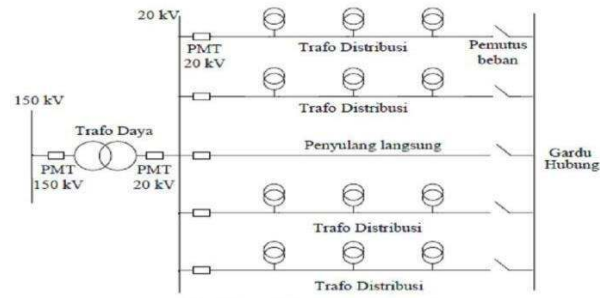
Jaringan distribusi primer tipe ring ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan loop. Jaringan ini biasanya digunakan untuk melayani beban yang membutuhkan kontinuitas pelayanan yang baik seperti : bangunan – bangunan komersial atau pabrik – pabrik yang mempunyai beban sedang dan besar. Pada prinsipnya jaringan distribusi primer tipe loop adalah suatu jaringan yang dimulai dari satu titik sumber atau rel daya keliling ke daerah beban, kemudian kembali ke titik sumber rel atau daya semula (Mangera 2019). Jaringan distribusi bentuk ring/loop dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Jaringan Ring/Loop (Wicaksono and Suhardi 2019)

2.3.3 Jaringan Distribusi Spindel

Sistem jaringan ini merupakan kombinasi antara jaringan radial dengan jaringan rangkaian terbuka (*open loop*) titik beban memiliki perpaduan alternatif penyulang sehingga bila salah satu *feeder* terganggu, maka dengan segera dapat digantikan oleh *feeder* lain. Untuk itu kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin. Jaringan distribusi bentuk spindel dapat dilihat pada Gambar 2.7.

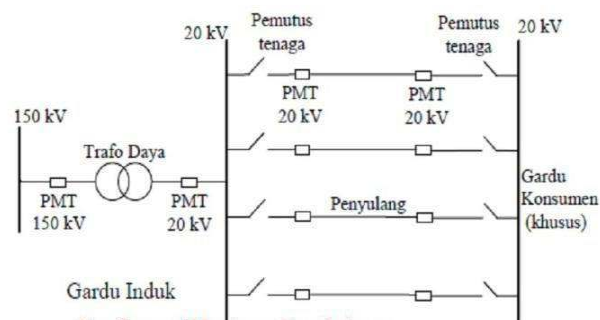


Gambar 2.7 Jaringan Spindel (Wicaksono and Suhardi 2019)

2.3.4 Jaringan Hantaran Hubung

Konfigurasi tie line digunakan untuk konsumen dengan prioritas harus selalu menyala seperti rumah sakit, bandara, dll. Konfigurasi ini mempunyai 2 penyulang atau lebih dengan tambahan *Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch*. Gardu pada pelanggan tersebut terkoneksi ke setiap penyulang untuk menjamin ketersediaan tenaga listriknya.

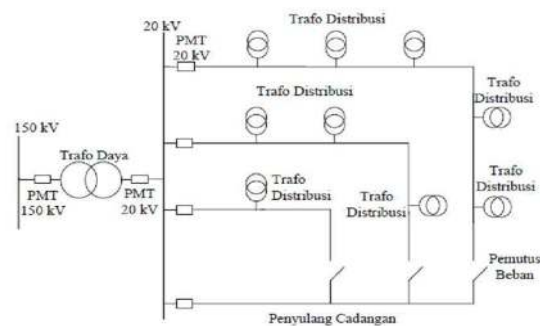
Konfigurasi tie line digunakan untuk konsumen dengan prioritas harus selalu menyala seperti rumah sakit, bandara, dll. Konfigurasi ini mempunyai 2 penyulang atau lebih dengan tambahan *Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch*. Gardu pada pelanggan tersebut terkoneksi ke setiap penyulang untuk menjamin ketersediaan tenaga listriknya (Muhammad Fayyadl, Tejo Sukmadi 2011). Jaringan distribusi bentuk hantaran penghubung dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Jaringan Hantar Penghubung (Wicaksono and Suhardi 2019)

2.3.5 Jaringan Gugus Kluster

Konfigurasi gugus/kluster memiliki komponen paling banyak dibanding konfigurasi lain. Oleh karena itu biaya investasinya paling mahal. Konfigurasi ini sangat cocok digunakan pada daerah dengan tingkat beban yang sangat tinggi (Muhammad Fayyadl, Tejo Sukmadi 2011). Jaringan distribusi bentuk kluster dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Jaringan Kluster (Wicaksono and Suhardi 2019)

2.4 Komponen Sistem Jaringan Distribusi

Sebuah sistem jaringan distribusi pada dasarnya memiliki berbagai komponen, diantaranya (Wicaksono and Suhardi 2019):

2.4.1 Tiang Listrik

Tiang listrik merupakan salah satu komponen utama sistem distribusi tenaga listrik. Tiang listrik memiliki 2 jenis yaitu tiang listrik beton dan tiang listrik besi. Tiang listrik haruslah kuat karena selain sebagai penopang kabel listrik juga berfungsi menopang berbagai pengaman serta komponen lain.

2.4.2 Isolator

Fungsi utama isolator adalah untuk memisahkan kabel dengan kabel, kabel dengan tiang listrik, serta kabel dengan tanah pada jaringan bawah tanah.

Sedangkan fungsi lain isolator adalah menahan beban kabel, mengatur sudut dan jarak antar kabel, serta mencegah pemuaian kabel akibat cuaca.

2.4.3 Kabel Penghantar

Kabel penghantar adalah komponen terpenting dalam sebuah sistem distribusi. Fungsi utama kabel penghantar adalah sebagai media atau penyuplai daya listrik dari trafo ke konsumen.

2.4.4 Transformator

Transformator atau trafo berguna untuk menaikkan/menurunkan tegangan sesuai kebutuhan.

2.5 Sistem Pengaman Jaringan Distribusi

Sistem pengaman berfungsi untuk mencegah, membatasi atau melindungi jaringan dan peralatan sistem distribusi dari berbagai macam gangguan, baik gangguan yang bersifat temporer/sesaat maupun permanen, sehingga keandalan dan kualitas penyaluran daya listrik terjamin dengan baik.

Berdasarkan pemakaian dan prinsip kerja, pengaman jaringan distribusi dibagi menjadi (Wicaksono and Suhardi 2019):

2.5.1 Fuse Cut Out (FCO/CO)

Pelebur (*Fuse Cut Out*) adalah suatu komponen pemutus daya listrik yang dilengkapi elemen pemutus yang akan melebur jika dialiri arus lebih pada jaringan. Alat ini berfungsi untuk memutuskan aliran listrik bila terjadi gangguan arus lebih. Pemasangan *fuse cut out* biasanya dipasang pada jaringan percabangan dengan tujuan agar ketika terjadi gangguan pada jaringan percabangan tersebut *fuse cut out*

yang berfungsi sebagai pengaman dapat melokalisir meluasnya daerah yang mengalami pemadaman (Wicaksono and Suhardi 2019).

2.5.2 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay, OCR*)

Rele arus lebih merupakan pengaman utama sistem distribusi tegangan menengah terhadap gangguan hubung singkat antar fasa. Rele arus lebih adalah suatu rele yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi nilai *setting* pengaman tertentu dalam waktu tertentu. Berdasarkan karakteristik waktu kerja rele, rele arus lebih dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Tanpa penundaan waktu (*instant*)
2. Dengan penundaan waktu:
 - a. Dengan penundaan waktu tertentu (*definite time OCR*)
 - b. Dengan penundaan waktu berbanding terbalik (*inverse time OCR*)
3. Kombinasi *instant* dan *definite time*. (Suhadi & Wrihatnolo, 2008).

2.5.3 Rele Arus Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

Rele arus gangguan tanah (*ground fault relay*) merupakan pengaman utama terhadap gangguan hubung singkat fasa ke tanah untuk sistem yang ditanahkan langsung atau melalui tahanan rendah (Suhadi & Wrihatnolo, 2008).

2.5.4 Penutup Balik Otomatis (*Recloser*)

Recloser adalah alat pemutus balik otomatis yang bekerja secara otomatis untuk dapat mengamankan sistem dari gangguan hubung singkat. *Recloser* yang dilengkapi dengan fungsi buka dan tutup secara otomatis sangat berguna untuk menghilangkan gangguan yang berkepanjangan pada sistem yang diakibatkan oleh keadaan gangguan temporer atau arus lebih tiba-tiba (*transient over current*). Bila

recloser mendeteksi adanya arus gangguan di daerah pengamannya maka *recloser* akan memutuskan arus (membuka kontaktor), kemudian dengan waktu tunda yang ditentukan secara otomatis akan menutup kembali kontak. Jika masih dirasakan adanya gangguan maka *recloser* akan bekerja membuka dan menutup berturut-turut sampai 3 atau 4 kali langsung mengunci (Luis et al. 2018).

Recloser biasanya terpasang di sisi pertama/sisi awal datangnya tegangan dari GI hal ini dikarenakan *recloser* sebagai koordinator pengaman yang dapat dikoordinasikan dengan peralatan pengaman lainnya seperti *Sectionalizer* atau *Fuse Cut Out*.

2.5.5 Saklar Seksi Otomatis (SSO, *Sectionalizer*)

Saklar seksi otomatis (SSO, *Sectionalizer*) adalah alat pemutus untuk mengurangi luas daerah yang padam karena gangguan. *Sectionalizer* membagi jaringan distribusi kedalam *section-section*, sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu *section*, luas daerah yang padam dapat diperkecil. Ada dua jenis SSO, yaitu dengan pengindera arus yang disebut *Automatic Sectionalizer* dan pengindera tegangan yang disebut *Automatic Vacuum Switch (AVS)*.

Sectionalizer bekerja dengan melakukan deteksi tegangan pada *section* kerjanya. Ketika tidak ada tegangan, *sectionalizer* akan membuka, sebaliknya jika mendeteksi adanya tegangan, maka *sectionalizer* akan menutup. *Sectionalizer* juga dapat dioperasikan secara manual untuk memutus arus beban.

Agar SSO berfungsi dengan baik, maka harus dikoordinasikan dengan PBO (*recloser*) yang ada di sisi hulu. Apabila SSO tidak dikoordinasikan dengan PBO,

maka SSO hanya akan berfungsi sebagai saklar biasa (Suhadi and Wrahatnolo 2008).

2.5.6 Saklar Beban/*Load Break Switch*

Saklar Beban/*Load Break Switch* (LBS) merupakan sebuah saklar yang berfungsi untuk menghubungkan antara satu penyulang dengan penyulang lainnya dalam keadaan berbeban pada jaringan distribusi bertipe lingkaran terbuka (*Open Ring*). Umumnya alat ini dipasang diletakkan diatas tiang jaringan dengan tuas berada dibawah dan berfungsi sebagai pembatas lokasi gangguan (Wicaksono and Suhardi 2019).

2.6 Gangguan Sistem Distribusi

Gangguan adalah kesalahan yang terjadi pada sebuah sistem sehingga menghambat sistem bekerja sebagaimana mestinya. Kesalahan atau gangguan pada sistem tenaga listrik sudah pasti akan terjadi, gangguan tersebut bisa berasal dari faktor alam maupun dari kesatuan tenaga listrik itu sendiri. Bagian dari sistem tenaga listrik yang sering mengalami gangguan adalah kawat transmisinya (Hartawan 2012).

2.6.1 Jenis Gangguan

Gangguan pada jaringan sistem distribusi dapat dibagi menjadi dua, yaitu (Fatoni 2016):

1. Dari lama gangguan :
 - a. Gangguan Permanen (*Sustained interruption*)

Gangguan permanen disebabkan oleh kerusakan peralatan, gangguan baru akan hilang setelah kerusakan diperbaiki. Contoh lain yaitu karena ada

sesuatu yang mengganggu secara permanen, misalnya ada ranting/dahan pohon yang menimpa kawat penghantar dari saluran udara dan ranting/dahan ini perlu diambil terlebih dahulu agar sistem berfungsi lagi secara normal.

b. Gangguan Temporer (*Momentary interruption*)

Gangguan yang tidak akan lama dan dapat hilang atau normal dengan sendirinya. Namun gangguan temporer yang berulang kali terjadi dapat berakibat peralatan rusak (Fatoni 2016).

2. Dari jenis gangguan :

- a. Gangguan satu fasa ke tanah
- b. Gangguan dua fasa ke tanah
- c. Gangguan tiga fasa ke tanah
- d. Gangguan fasa ke fasa

2.7 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan pada sistem distribusi adalah tingkat pelayanan tenaga listrik dari sistem ke konsumen/pelanggan. Ukuran keandalan dapat dinyatakan seberapa lama pemadaman terjadi, seberapa sering sistem mengalami pemadaman dan seberapa cepat waktu dalam pemulihannya agar sistem dapat berfungsi dengan normal lagi (Hajar & Pratama. 2018).

2.8 Komponen Perhitungan Keandalan

Indeks keandalan sistem distribusi digunakan untuk menakar keandalan masing-masing titik beban. Berikut ini merupakan indeks-indeks yang digunakan untuk mengetahui tingkat keandalan (Sulasno. 2001):

- a. Rata-rata gangguan

Parameter ini merupakan nilai dari rata-rata dari jumlah gangguan persatuan waktu dalam satu tahun. Adapun Persamaan untuk mencari rata-rata gangguan.

$$\text{Rata-rata gangguan} = \frac{\text{Jumlah kejadian}}{\text{Selang waktu pengamatan}} \quad (2.1)$$

b. Angka Keluaran Komponen Saluran Udara (λ)

Merupakan keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi dengan semestinya sehingga menyebabkan pemadaman. Adapun Persamaan untuk mencari angka keluaran.

$$\lambda_{\text{saluran}} = \frac{\text{Gangguan saluran rata – rata per tahun}}{\text{Total panjang saluran udara}} \quad (2.2)$$

Dimana :

λ = angka keluaran komponen saluran udara

c. Angka Keluaran Peralatan

$$\lambda_{\text{peralatan}} = \frac{\text{Kegagalan rata – rata peralatan per tahun}}{\text{Total peralatan}} \quad (2.3)$$

Dimana :

λ = angka keluaran komponen peralatan

d. *Repair time*

Parameter ini merupakan jumlah waktu diperlukan dalam perbaikan komponen dari awal terjadinya pemadaman hingga komponen tersebut bekerja secara normal kembali selama satu tahun. Adapun Persamaan untuk mencari waktu perbaikan komponen dan *repair time* peralatan.

$$R_{\text{perbaikan}} = \frac{\text{Lama Pemadaman}}{\text{Jumlah kejadian}} \quad (2.4)$$

$$r_i = \frac{R \text{ perbaikan}}{\text{Total komponen } i} \quad (2.5)$$

Dimana:

r_i = waktu perbaikan komponen i

2.9 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. Evaluasi keandalan sistem distribusi terdiri dari indeks titik beban dan indeks sistem yang dipakai untuk memperoleh pengertian yang mendalam ke dalam keseluruhan capaian.

Untuk menghitung besarnya waktu perbaikan (*repair duration*) dari masing-masing komponen sesuai dengan SPLN 59:1985.

Tabel 2.1 Data indeks kegagalan SUTM
(Sumber : PLN, 1985)

| Saluran Udara | |
|----------------------------------|------|
| <i>Repair time</i> (r) (jam) | 3 |
| <i>Switching time</i> (rs) (jam) | 0,15 |

Nilai *repair time* dan *switching time* komponen yang terdapat di dalam sistem distribusi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Data indeks kegagalan peralatan

| Komponen | <i>Switching time</i> (jam) |
|--------------------------|------------------------------------|
| Trafo | 0,15 |
| <i>Sectionalizer</i> | 0,15 |
| <i>Recloser</i> | 0,15 |
| <i>Load Break Switch</i> | 0,15 |
| <i>Fuse Cut Out</i> | 015 |

Untuk mengetahui nilai keandalan sistem secara keseluruhan sehingga dapat memenuhi standar yang telah ditetapkan terdapat beberapa indeks yang

digunakan untuk mengukur keandalan sistem distribusi tenaga listrik, antara lain (Willis. 2004):

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

Merupakan frekuensi atau jumlah rata-rata dari gangguan/pemadaman yang terjadi dalam satu tahun dan ditetapkan ke dalam bentuk Persamaan:

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \text{ TB} \times N \text{ TB}}{\sum N} \quad (2.6)$$

Dimana :

$\lambda_i \text{ TB}$ = frekuensi kegagalan titik beban

$N \text{ TB}$ = jumlah pelanggan titik beban

N = jumlah total pelanggan sistem

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

Merupakan waktu kegagalan rata-rata durasi atau lamanya pemadaman dalam satu tahun untuk tiap pelanggan dan ditetapkan ke dalam bentuk Persamaan:

$$SAIDI = \frac{\sum U \text{ TB} \times N \text{ TB}}{\sum N} \quad (2.7)$$

Dimana :

$U \text{ TB}$ = Durasi gangguan tiap titik beban

$N \text{ TB}$ = Jumlah pelanggan tiap titik beban

N = Jumlah total pelanggan sistem

2.10 Standar Indeks Keandalan

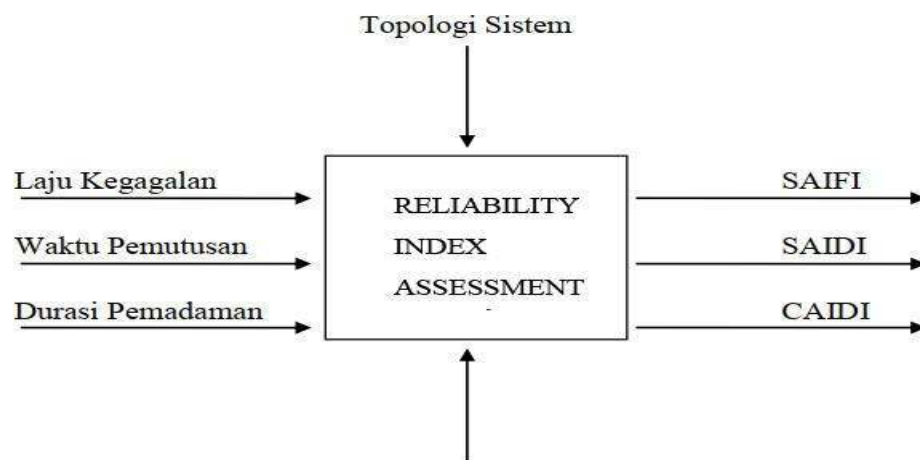
Standar yang mengatur suatu sistem jaringan ditetapkan oleh PLN (SPLN 68-2 : 1986) dan IEEE Std. 1366-2003, untuk mengetahui nilai indeks keandalan sesuai standar atau tidak ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Standar Indeks Keandalan
(Sumber : IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, 2004; PLN, 1986)

| Standar Indeks Keandalan | Standar Nilai | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | SAIFI Kali/plgn/tahun | SAIDI Jam/plgn/tahun |
| SPLN 68-2 : 1986 | 3,2 | 21,9 |
| IEEE Std. 1366-2003 | 1,4 | 2,3 |

2.11 Metode *Reliability Index Assessment*

Metode RIA adalah sebuah pendekatan yang digunakan untuk memprediksi gangguan pada sistem distribusi berdasarkan topologi sistem dan data-data mengenai component reliability. Topologi sistem metode *reliability index assessment* dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Input dan Output pada Metode RIA

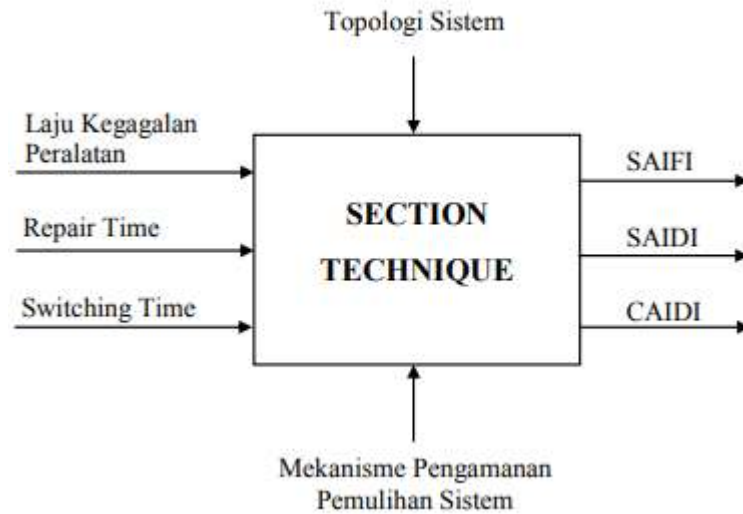
Sebelum analisa keandalan dilakukan pada sebuah sistem, harus menentukan terlebih dahulu komponen-komponen dari reliability data yang akan digunakan, yaitu (Disyon, 2008):

- a. λ_M : *Momentary failure rate*; ini adalah frekuensi dari fault yang akan hilang dengan sendirinya.
- b. λ_S : *Sustained failure rate*; ini adalah frekuensi dari fault yang membutuhkan kru untuk memperbaikinya.
- c. MTTR; *Mean Time To Repair*; ini adalah lama waktu yang digunakan oleh kru untuk memperbaiki component outage dan mengembalikan sistem ke keadaan operasi normal.
- d. MTTs; *Mean Time To Switch*; ini adalah lama waktu yang akan dipakai setelah terjadi failure untuk sectionalizing switch.

Pada metode RIA ada indeks keandalan yang dihitung, yaitu SAIFI, SAIDI, MAIFI, dan CAIDI.

2.12 Metode *Section Technique*

Section Technique adalah sebuah metode yang tersusun atas beberapa perhitungan terstruktur yang digunakan untuk menganalisa suatu sistem. Pengaruh dari gangguan peralatan akan dianalisa, kemudian dilakukan pengamatan apa yang terjadi bagi sebuah sistem secara keseluruhan. Selanjutnya, tiap – tiap kegagalan dari peralatan akan dianalisa dari semua titik beban. Topologi sistem metode *section technique* dapat dilihat pada Gambar 2.11 (Wicaksono Projo Henki, dkk,2012).



Gambar 2.11 *Input dan Output Metode Section Technique*

Jufrizel dan Rahmat (Jurnal SNTIKI 9, 18-19, Mei 2017 : 3) menyebutkan, Pada penggunaan metode Section Technique, kegagalan dari suatu sistem diasumsikan bahwa hal tersebut bukan merupakan suatu kegagalan yang saling berhubungan, dengan kata lain kegagalan alat akan dianalisa secara terpisah. Hal tersebut dapat mengurangi kompleksitas perhitungan apabila pengamatan dilakukan secara keseluruhan sistem. Maka agar lebih sederhana, perhitungan dilakukan secara terpisah per-bagian. Dalam perhitungan menggunakan metode *section technique*, hasil keandalan akan didapat dengan melakukan perhitungan indeks titik beban serta beberapa data sistem secara keseluruhan. Setelah didapatkan indeks titik beban diatas, maka akan dapat dilakukan perhitungan dengan tujuan mengetahui keandalan dari sebuah rangkaian peralatan secara individual. Setelah mendapat hasil nilai keandalan, diharapkan dilakukan evaluasi dari gangguan – gangguan yang dapat mempengaruhi kinerja sistem distribusi agar kejadian serupa dapat diminimalisir di kemudian hari.

Indeks keandalan yang dihitung berdasarkan titik beban meliputi:

- a. Frekuensi kegagalan sistem tiap titik beban (λ_i TB), merupakan penjumlahan laju kegagalan semua perangkat yang berkontribusi pada titik beban (Sulasno. 2001):

$$\lambda_i \text{ TB} = \sum \lambda \times L \quad (2.8)$$

Keterangan:

λ_i TB = angka keluaran komponen pada tiap titik beban

L = panjang saluran/jumlah peralatan.

- b. *Unavailability*/Durasi gangguan titik beban (U TB) merupakan total hasil perkalian antara frekuensi kegagalan (λ_i) dengan waktu perbaikan (r) masing-masing peralatan yang mempengaruhi titik beban yang dihitung, berikut ini dapat dilihat pada Persamaan (2.9) (Willis. 2004).

$$U_{TB} = \sum U_i = \sum \lambda_i \times r_i \quad (2.9)$$

Keterangan :

r_i = waktu perbaikan (*repairing time* atau *switching time*).

2.13 Metode *Section Technique – Reliability Index Assessment*

Menurut (Arigandi, P. Budi Gusti, 2015) Proses perhitungan dengan metode gabungan adalah mirip dengan metode *Section Technique*. Namun bedanya adalah pada saat penentuan nilai λ dan U peralatan. Pada metode *section technique*, nilai λ yang digunakan hanya *sustained failure rate* (gangguan dengan interval cukup lama). Sedangkan untuk metode gabungan ini akan menambahkan parameter *momentary failure rate* (gangguan sementara) ke dalam perhitungannya dimana parameter ini digunakan pada metode *Reliability Index Assessment* (RIA).

Menurut (Hidayat, L. Indrayani, 2022) Metode RIA berbeda dengan metode *Section Technique*, metode RIA memperhatikan laju kegagalan dari gangguan sementara (*momentary failure rate*). Gangguan sementara merupakan gangguan sesaat dan dapat hilang sendiri dengan cara memutus bagian yang terganggu dan menyambungkan kembali sistem secara autorecloser ataupun secara manual oleh operator. Gangguan sementara biasanya disebabkan oleh flashover sambaran petir, flashover dengan pohon dan tertiuip angin. Dengan metode gabungan akan menghasilkan indeks keandalan yang lebih mendekati data lapangan, karena selain memperhatikan laju kegagalan permanen dari metode *Section Technique*, metode gabungan juga memperhatikan laju kegagalan sementara dari metode RIA.

Langkah perhitungan indeks keandalan metode gabungan *Section Technique*–RIA Sama dengan metode *Section Technique* yang menjadi perbedaannya dan penambahannya pada metode gabungan yaitu memakai parameter *sustained failure rate* dan *momentary failure rate* dalam menghitung laju kegagalannya. Sejumlah parameter yang sering diukur guna mendeteksi keandalan sebuah sistem, diantaranya *failure rate* (λ) serta *unavailability* (U).

Indeks keandalan yang dihitung berdasarkan penggabungan metode *Section Technique* – *Reliability Index Assessment* (Jufrizel & Hidayatullah, 2017):

- a. Laju kegagalan komponen (λ) untuk kabel/jaringan

Secara matematis dituliskan:

$$\lambda = \sum \lambda_S + \lambda_M \quad (2.10)$$

Keterangan:

λ = penjumlahan *momentary* dan *sustained failure rate*

λ_M = *Momentary failure rate*

$\lambda_s = \text{Sustained failure rate}$

2.14 Software ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*)

ETAP atau *Electrical Transient Analysis Program* adalah aplikasi yang digunakan untuk melakukan analisis dan pengujian pada sistem tenaga listrik. Dalam sistem tenaga listrik yang diuji meliputi sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi. ETAP mampu memodelkan *single line diagram* untuk melakukan berbagai analisis, seperti aliran daya, hubung singkat, keandalan jaringan, koordinasi proteksi dll. Standar yang digunakan pada ETAP ada 2, yaitu standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) dan standar ANSI (*American National Standards Institute*) (Manual Book ETAP 19.0.1).

a. *Distribution Reliability Assessment Analysis*

Reliability Assessment merupakan fitur yang terdapat dalam aplikasi ETAP untuk melakukan perhitungan keandalan suatu sistem terutama sistem/jaringan distribusi.

Fitur pada *Distribution Reliability Assessment Analysis*:

1. Keandalan sistem
2. Indeks berorientasi pelanggan
3. Indeks energi (biaya)
4. Analisis sensitivitas

Hasil Laporan/report :

1. Tampilan grafis dari hasil keandalan I
2. Indeks keandalan titik beban/bus
3. Indeks keandalan sistem

4. Analisis sensitivitas EENS & ECOST

Indeks Berorientasi Pelanggan:

1. System Average Interruption Frequency Index – SAIFI
2. System Average Interruption Duration Index - SAIDI

Indeks Keandalan Sistem Distribusi:

Berdasarkan (Manual Book ETAP 19.0.1) keandalan sistem distribusi biasanya diukur dalam beberapa indeks yang didefinisikan di bawah ini:

1. Laju Kegagalan Peralatan

$$\lambda = \lambda_A + \lambda_P \quad (2.11)$$

Dimana :

λ_A = tingkat kegagalan aktif/permanen,

λ_P = tingkat kegagalan pasif/sementara.

2. Tingkat kegagalan rata-rata pada Titik Beban i, λ_i (f/yr)

$$\lambda_i = \sum_{j \in N_e} \lambda_{e,j} \quad (2.12)$$

Dimana :

$\lambda_{e,j}$ = tingkat kegagalan rata-rata elemen j,

N_e = jumlah total elemen yang kesalahannya akan mengganggu titik beban i.

3. Durasi pemadaman tahunan pada Titik Beban i, U_i (hr/yr)

$$U_i = \sum_{j \in N_e} \lambda_{e,j} \times r_{ij} \quad (2.13)$$

Dimana :

r_{ij} = durasi kegagalan pada titik beban i karena elemen mengalami kegagalan.

4. Rata-rata durasi pemadaman pada Titik Beban i, r_i (hr)

$$r_i = U_i / \lambda_i \quad (2.14)$$

5. System Average Interruption Frequency Index, SAIFI (f/costumer/yr)

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum \lambda_i \times N_i}{\sum N_i} \quad (2.15)$$

N_i = jumlah pelanggan pada titik beban i ,

\sum = penjumlahan untuk semua titik beban.

6. System Average Interruption Duration Index, SAIDI (hr/costumer/yr)

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum U_i \times N_i}{\sum N_i} \quad (2.16)$$

Data untuk setiap komponen peralatan pada *Distribution System Reliability*

Analysis diantaranya:

1. *Bus Data*

- *Active failure rate*
- *Repair time*

2. *Switching time Replacement tim2-Winding & 3-Winding Transformers*

- *Active failure rate*
- *Passive failure rate*
- *Repair time*
- *Switching time*

3. *Replacement time Cable/Transmission Line*

- *Length*
- *Active failure rate*
- *Passive failure rate*
- *Repair time*

- *Switching time*
 - *Replacement time*
4. *Power Grid (Utility)*
- *Active failure rate*
 - *Repair time*
 - *Switching time*
 - *Replacement time*
5. *Static & Lumped Load Data*
- *Active failure rate*
 - *Passive failure rate*
 - *Repair time*
 - *Switching time*

2.15 Perbaikan Keandalan

Perbaikan keandalan merupakan suatu cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan indeks keandalan dari suatu sistem. Dalam memperbaiki suatu indeks keandalan dapat dilakukan dengan rekonfigurasi jaringan. Rekonfigurasi jaringan ini bertujuan mendapatkan solusi optimal dengan membandingkan indeks-indeks keandalan sistem (SAIFI dan SAIDI) melalui penambahan komponen yang dapat melokalisir adanya gangguan salah satunya yaitu pemindahan *recloser* dan penambahan *fuse cut out* (FCO). Penggunaan *fuse cut out* (FCO) karena kedua komponen ini yang paling umum digunakan terutama pada jaringan distribusi 20 kV (Fatoni 2016).

1. Optimasi *Recloser* (Relokasi Penempatan *Recloser*)

Optimasi dimaksudkan untuk menentukan letak *recloser* pada penyulang dengan tujuan mendapatkan titik terbaik dalam peletakan/penempatan *recloser* sehingga mendapatkan hasil yang optimal dalam melakukan proteksi di wilayah kerjanya terhadap gangguan.

2. Fuse Cut Out (FCO)

Penggunaan *fuse cut out* untuk melokalisir gangguan berdasarkan upaya perbaikan keandalan maka fungsi *fuse cut out* sendiri dapat melokalisir gangguan tanda adanya *switching time* pada titik beban sekitar, sehingga dalam perhitungan masing-masing titik beban akan didapatkan lamda yang lebih kecil. Jika lamda (laju kegagalan) semakin kecil maka frekuensi dari pemadaman juga akan turun.

3. FITNESS

Fitness merupakan nilai patokan dari hasil SAIDI dan SAIFI, dimana nilai Fitness juga diperlukan dalam sistem keandalan. Dalam perhitungannya fitness lebih tepatnya peluang keandalan dimana fitness yang lebih besar meningkatkan peluang keandalan. Secara sistematis FITNESS ditulis seperti pada Persamaan 2.17.

$$\text{FITNESS} = \frac{1}{\text{SAIFI} \times \text{SAIDI}} \quad (2.17)$$

2.16 Penelitian Terkait

Penelitian terdahulu adalah penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Dimana isi dari penelitian terdahulu ini bisa menjadi alasan, tolak ukur bahkan perbandingan penelitian guna menemukan dan memecahkan masalah yang baru ditemui. Pada Tabel 2.4 ada beberapa penelitian yang terkait dengan penelitian

yang sedang penulis akan lakukan.

Tabel 2.4 Penelitian Terkait

| No. | Judul Jurnal | Nama Peneliti | Tempat dan Tahun Penelitian | Pembahasan Jurnal |
|-----|--|--|-----------------------------|--|
| 1 | Analisa Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Kampus dengan Menggunakan Penggabungan Metode <i>Section Technique</i> dan RIA | Gusti Putu Arigandi, Rukmi Sari Hartati, Antonius Ibi Weking | Bali, Juli 2015 | Pada jurnal ini peneliti bertujuan melakukan perhitungan keandalan menggunakan 2 metode yaitu <i>Section Technique</i> dan penggabungan metode <i>Section Technique</i> dan RIA (<i>Reliability Index Assessment</i>), menunjukkan nilai indeks SAIFI sebesar 0,085 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI sebesar 0,107 jam/tahun. Sedangkan metode gabungan (<i>Section Technique</i> - RIA) didapat nilai SAIFI 0,094 kali/penggan/tahun, nilai SAIDI sebesar 0,162 jam/pelanggan/tahun. Berdasarkan hasil akhir dari tiap metode yang digunakan dapat diketahui bahwa nilai keandalan Penyulang Kampus masih memenuhi standar PLN untuk mencapai <i>World Class Service</i> (WCS), yaitu nilai SAIFI sebesar 3 kali/pelanggan/tahun dan nilai SAIDI sebesar 100 menit/pelanggan/tahun (1,67 jam/pelanggan/tahun). |
| 2 | Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan Metode <i>Section Technique</i> dan RIA- <i>Section</i> | Jufrizel MT, Rahmat Hidayatullah | Pekanbaru, 18-19 Mei 2017 | Pada jurnal ini peneliti yang bertujuan untuk membandingkan dua metode. Berdasarkan hasil dari penelitian tersebut diketahui indeks metode <i>Section Technique</i> pada penyulang Adi Sucipto menunjukkan nilai indeks SAIFI sebesar 6.917 kali/tahun, SAIDI sebesar 19.585jam/tahun dan nilai CAIDI sebesar 2.870 jam/tahun. Sedangkan |

| No. | Judul Jurnal | Nama Peneliti | Tempat dan Tahun Penelitian | Pembahasan Jurnal |
|-----|---|----------------------------------|-----------------------------|--|
| | <i>Technique</i> pada Penyulang Adi Sucipto Pekanbaru | | | metode gabungan (RIA - <i>Section Technique</i>) didapat nilai SAIFI 7.366jam/tahun, nilai SAIDI sebesar 22.090 kali/tahun dan nilai CAIDI sebesar 2.998 jam/tahun. Hasil perhitungan dari kedua metode tersebut ternyata metode gabungan yang lebih didapat hasil peningkatan nilai indeks, dan berdasarkan hasil analisa bahwa penyulang Adi Sucipto dikatakan kurang handal yang tidak memenuhi standar PT. PLN (Persero) |
| 3 | Analisis Keandalan Penyulang Pajajaran 20kv Menggunakan Metode Section Technique Untuk Asian Games XVIII Di Palembang | Dian Eka Putra, M. Nur hadiyanto | Palembang, 2019 | Pada penelitian ini penyulang Pajajaran 20 kV sebagai salah satu penyulang yang menyuplai energi listrik ke Jakabaring Sport City (JSC). Keandalan distribusi tegangan 20 kV mempengaruhi perhelatan ASEAN GAMES ke XVIII di Jakabaring Sport City (JSC). Penelitian ini menggunakan Metode <i>Section Technique</i> untuk mengetahui indikator yang dinyatakan dalam besaran probabilitas. Hasil dari perhitungan menggunakan Metode <i>Section Technique</i> pada Sistem <i>Average Interruption duration Index</i> (SAIDI) diperoleh nilai 2,5707 jam/pel dan Metode <i>Section Technique</i> yaitu Sistem <i>Average Interruption Frequency Index</i> (SAIFI) diperoleh nilai 2,6933 kali/pel. |
| 4 | Analisis Keandalan Sistem | Alen Tri Maliky, | Pasuruan, 2020 | Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keandalan sistem tenaga listrik jaringan distribusi 20 kV pada |

| No. | Judul Jurnal | Nama Peneliti | Tempat dan Tahun Penelitian | Pembahasan Jurnal |
|-----|---|---------------------------|-----------------------------|--|
| | Distribusi 20 kV pada Penyulang Pejakung Di PT. PLN Pasuruan Menggunakan Metode RIA (Reliability Index Assessment) | Subuh Isnur Haryudo | | penyulang Pejangkungan, Pasuruan menggunakan metode RIA (Reliability Index Assessment) dan untuk mengetahui analisis SAIDI dan SAIFI menggunakan software ETAP 12.6 pada penyulang Pejangkungan Pasuruan. Hasil dari penelitian didapat nilai SAIFI dan SAIDI menggunakan metode RIA yaitu 0,295 (fault/tahun) dan 1,298 (jam/tahun). Setelah dilakukan analisis, nilai SAIFI dan SAIDI dipengaruhi oleh panjang saluran dan banyaknya trafo pada penyulang. Dimana semakin panjang saluran dan semakin banyak trafo pada penyulang tersebut nilai SAIFI dan SAIDI semakin besar. |
| 5 | Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 kV ULP Sungguminasa Penyulang Pallangga Menggunakan Metode Section Technique dan Reliability Index Assessment (RIA) | Latifah Indrayani Hidayat | Makassar, 2022 | Pada jurnal ini peneliti mencari nilai indeks keandalan SAIFI dan SAIDI dengan beberapa metode seperti <i>Section Technique</i> dan <i>Reliability Index Assessment</i> (RIA). Maksud dari penggabungan metode <i>Section Technique</i> dengan RIA yaitu menggabungkan parameter <i>sustained failure rate</i> dengan parameter <i>momentary failure rate</i> pada perhitungan laju kegagalannya. Penggabungan ini diharapkan bisa menutupi kekurangan pada metode RIA yang hanya memperhatikan parameter <i>momentary failure rate</i> . Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai indeks keandalan penyulang |

| No. | Judul Jurnal | Nama Peneliti | Tempat dan Tahun Penelitian | Pembahasan Jurnal |
|-----|--------------|---------------|-----------------------------|--|
| | | | | <p>Pallangga yang memiliki 6544 jumlah pelanggan dengan variasi beban berupa beban industri dan beban rumah tangga. Hasil perhitungan nilai SAIFI penyulang Pallangga adalah sebesar 1,77 kegagalan/tahun dan nilai SAIDI sebesar 5,636 jam/tahun untuk metode <i>Section Technique</i>. Sedangkan untuk metode gabungan didapatkan nilai SAIFI sebesar 1,893 kegagalan/pelanggan/tahun dan nilai SAIDI sebesar 6,156 jam/pelanggan/tahun. Berdasarkan hasil akhir tiap metode yang digunakan, dapat diketahui bahwa nilai keandalan penyulang Pallangga masih memenuhi standar PLN atau penyulang ini masih terbilang andal..</p> |