

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Penelitian tahun 2012 menjelaskan tentang Analisis keandalan sistem jaringan distribusi 20 KV di PT. PLN distribusi Jawa Timur Kediri dengan metode Simulasi *Section Technique*. Berdasarkan hasil dari penelitian menjelaskan bahwa semakin panjang saluran sistem distribusi, memberikan pengaruh terhadap nilai keandalan yang semakin turun, misalnya penyulang Joyoboyo dengan panjang saluran 6,61 Km, memiliki SAIFI 1,317 kali/tahun. Dan SAIDI 3,650 jam/tahun, disbanding penyulang Gurah dengan panjang saluran 22,807 Km memiliki nilai SAIFI 3,634 kali/tahun dan nilai SAIDI 8,632 jam/tahun. Pada penelitian ini menggunakan metode *section technique* dengan penambahan software simulasi untuk perbandingan perhitungan. Perbedaan dari penelitian penulis adalah bedanya penggunaan metode yang digunakan, kekurangan dari penelitian ini adalah tidak adanya dilakukan peningkatan keandalan sistem, sedangkan penelitian penulis melakukan peningkatan keandalan sistem, sehingga menjadi kelebihan penelitian penulis dari penelitian sebelumnya [2].

Selanjutnya penelitian pada tahun 2014 Menganalisa keandalan distribusi 20KV di PT.PLN APJ Banyuwangi dengan metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA). Hasil studi menunjukkan nilai keandalan di penyulang Bulog masih handal karna nilainya berada di bawah nilai standar SPLN 68-2 tahun 1986, dimana nilai SAIFI adalah 3,2 kali/tahun dan SAIDI sebesar 21 jam/tahun, nilai SAIFI penyulang Bulog adalah sebesar 2,126 (padam/pelanggan/tahun), dan nilai SAIDI sebesar 5,220 (jam/pelanggan/tahun). Pada penelitian [3] memiliki persamaan metode yang digunakan yaitu metode RNEA, tetapi pada penelitian ini untuk metode RNEA tidak dilakukan perhitungan kegagalan pada komponen pengaman yang ada di saluran cabang [11].

Penelitian pada tahun 2014 menjelaskan tentang studi perbandingan keandalan sistem distribusi 20 kV menggunakan metode *Section Technique* dan RNEA (*Reability Network Equivalent Approach*) pada penyulang Renon. Berdasarkan hasil kedua metode tersebut akan

dibandingkan dengan *Electrical Transient Analisis Program* (ETAP) sebagai referensi.

Berdasarkan hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa persentase perhitungan dengan metode *Section Technique* memiliki hasil perhitungan yang mendekati program ETAP, sedangkan persentase perhitungan menggunakan metode RNEA (*Reability Network Equivalent Approach*) memiliki hasil yang cukup jauh dari program ETAP. Dalam penelitian ini memiliki sedikit kelebihan dan kekurangan dari penelitian penulis, kelebihan yaitu menggunakan dua metode sebagai perbandingan antara metode RNEA dan *Section Technique*, tetapi pada metode RNEA penelitian ini tidak adanya dilakukan perhitungan keandalan saluran cabang [4].

Penelitian pada tahun 2016 menjelaskan studi analisis keandalan sistem tenaga listrik jaringan distribusi 20 kV pada penyulang gardu induk Sukolilo menggunakan metode RIA (*Reliability Index Assessment*). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dapat diambil nilai indeks metode RIA (*Reliability Index Assessment*) pada penyulang Srikana menunjukkan bahwa nilai indeks SAIFI pada kondisi *imperfect switching* adalah 0,8704 kali/tahun. Lebih besar dari kondisi *perfect switching* yaitu 0,6554 kali/tahun dan dibawah standar ketetapan PT. PLN yakni 2,5 kali/tahun. Begitu juga dengan nilai indeks SAIDI dimana kondisi *imperfect switching* 1,503682914 jam/tahun, lebih besar dari kondisi *perfect switching* 0,850582207 jam/tahun dan dibawah standar ketetapan PT. PLN yaitu 2,833333333 jam/tahun. Dari penelitian tersebut memiliki beberapa perbedaan yang dilakukan oleh penulis adalah perbedaannya metode yang digunakan dan jumlah penyulang yang dianalisis, dan keunggulan dari penelitian penulis adalah melakukan analisa peningkatan keandalan sistem apabila penyulang dikatakan kurang andal yang tidak dilakukan pada penelitian tersebut [5].

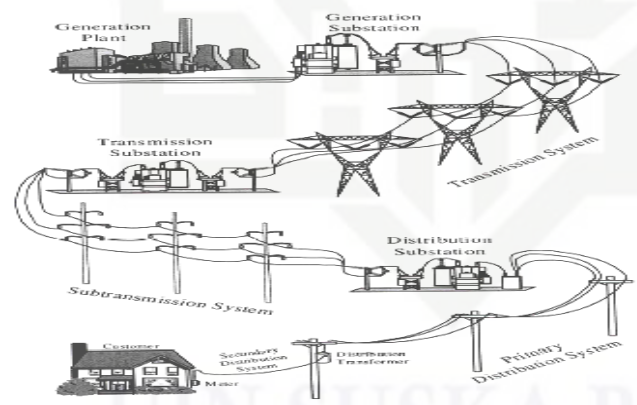
Penelitian pada tahun 2017 menjelaskan analisa keandalan sistem distribusi 20KV menggunakan metode *section technique* dan Ria – *section technique* pada penyulang Adi Sucipto yang bertujuan untuk membandingkan dua metode. Berdasarkan hasil dari penelitian tersebut diketahui indeks metode *Section Technique* pada penyulang Adi Sucipto menunjukan nilai indeks SAIFI sebesar 6.917 kali/tahun, SAIDI sebesar 19.585jam/tahun dan nilai CAIDI sebesar 2.870 jam/tahun. Sedangkan metode gabungan (RIA-*Section Technique*) di dapat 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 metoda gabungan yang lebih didapat hasil peningkatan nilai indeks, dan berdasarkan hasil analisa bahwa penyulang Adi Sucipto dikatakan kurang handal yang tidak memenuhi standar PLN. Dari penelitian tersebut memiliki beberapa perbedaan yang dilakukan dengan penelitian

penulis, yaitu dari segi metode yang digunakan dan jumlah penyulang yang dianalisis. Keunggulan dari penelitian penulis adalah dimana penulis melakukan peningkatan keandalan sistem setelah mengetahui suatu sistem tidak andal [6].

2.2 Konsep Dasar Jaringan Distribusi

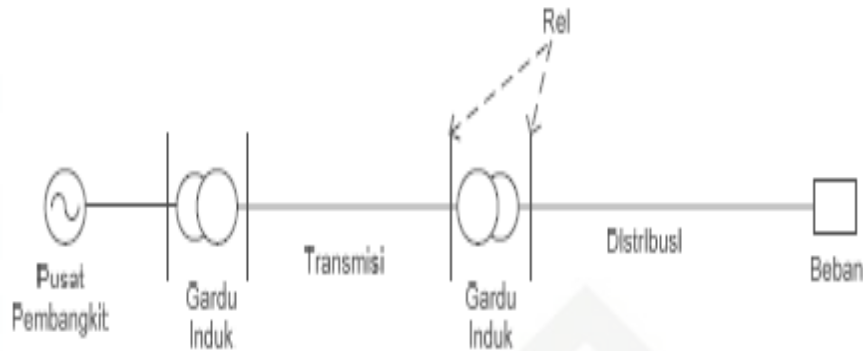
Sistem penyaluran tenaga listrik ke konsumen (beban) merupakan hal penting untuk dipelajari, mengingat penyaluran tenaga listrik penghasil energy listrik, disalurkan ke jaringan transmisi (SUTET) langsung ke gardu induk. Kedua dari gardu induk tenaga listrik disalurkan ke jaringan distribusi primer (SUTM), dan ketiga melalui gardu distribusi langsung ke jaringan distribusi sekunder (SUTR), tenaga listrik dialirkan ke konsen. Dengan demikian sistem distribusi tenaga listrik berfungsi membagikan tenaga listrik pada pihak pemakai melalui jaringan tegangan rendah (SUTR), sedangkan susut saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan ekstra tinggi ke pusat-pusat beban dalam daya yang besar (melalui jaringan distribusi) [7].

Pada gambar 2.1 dapat dilihat bahwa tenaga listrik yang dihasilkan dan dikirimkan ke konsumen melalui pusat pembangkit tenaga listrik gardu induk, saluran transmisi, gardu induk, saluran distribusi, dan kemudian ke beban (konsumen tenaga listrik).



Gambar 2.1 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik [7]

Sistem pembangkit (*generation plant*) terdiri dari satu atau lebih unit pembangkit yang akan mengkonversikan energy mekanik menjadi energy listrik dan mampu menghasilkan energy listrik yang cukup sesuai kebutuhan konsumen. Sedangkan pada gambar 2.2 sistem distribusi berfungsi untuk menghantarkan energy listrik ke konsumen seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.2 Diagram Garis Sistem Tenaga Listrik [7]

2.3 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

Sistem pendistribusian tenaga listrik adalah penyaluran energy listrik dari pembangkit tenaga listrik (*power station*) hingga sampai kepada konsumen pada tingkat tegangan yang diperlukan. Sistem pendistribusian langsung dan sistem pendistribusian tidak langsung [7].

2.3.1 Sistem Pendistribusian Langsung

Sistem pendistribusian langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara langsung dari pusat pembangkit tenaga listrik, dan tidak melalui jaringan transmisi terlebih dahulu. Sistem distribusi ini digunakan jika pusat pembangkit tenaga listrik berada tidak jauh dari pusat-pusat beban, biasanya terletak daerah pelayanan beban atau di pinggiran kota.

2.3.2 Sistem Pendistribusian Tidak Langsung

Sistem pendistribusian tidak langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan jika pusat pembangkit tenaga listrik jauh dari pusat-pusat beban, sehingga untuk penyaluran tenaga listrik memerlukan jaringan transmisi sebagai jaringan perantara sebelum dihubungkan dengan jaringan distribusi yang langsung menyalurkan tenaga listrik ke konsumen.

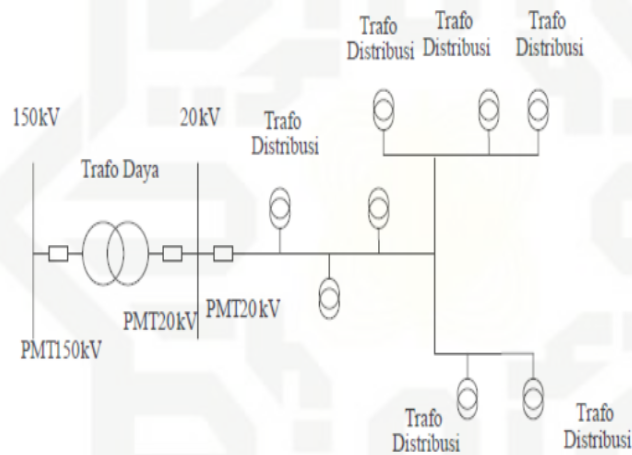
2.4 Jenis Jaringan Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik secara keseluruhan, sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya besar (*Bulk Power Source*) sampai konsumen.

Pada dasarnya sistem distribusi tenaga listrik di Indonesia terdiri atas beberapa bagian yaitu :

2.4.1 Sistem Radial

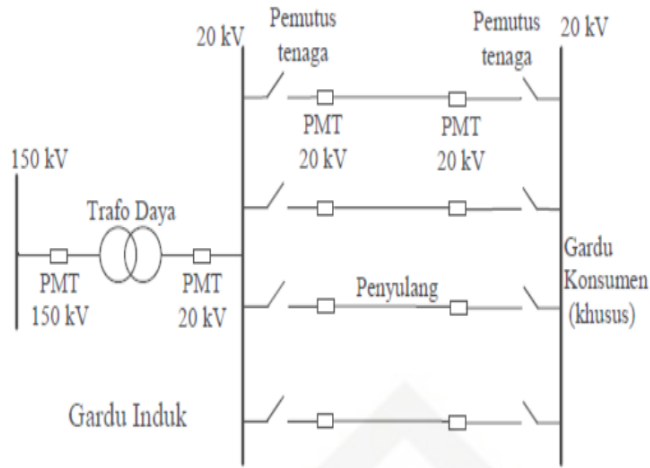
Sistem distribusi dengan pola radial adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Biasanya dalam bangunan beton atau diletakkan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem lain.



Gambar 2.3. Konfigurasi Jaringan Radial [7]

2.4.2 Sistem Hantaran Penghubung (*tie line*)

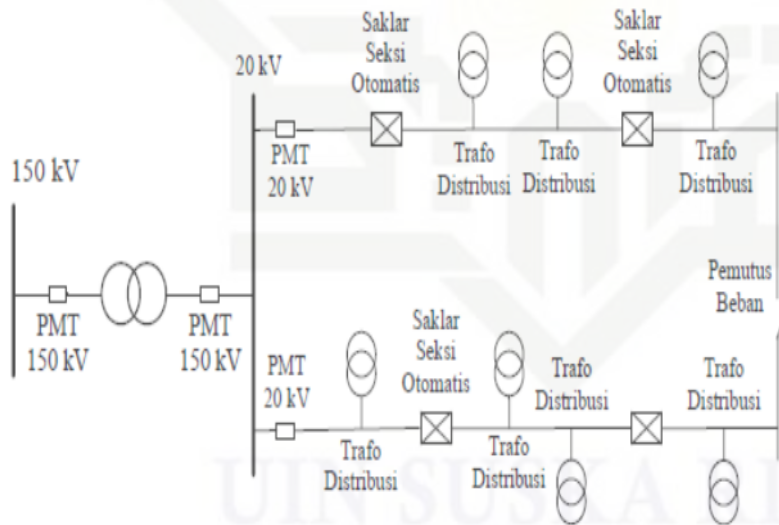
Sistem distribusi *Ti Line* umumnya digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam seperti Bandar udara, rumah sakit, dan lain-lain. Sistem ini memiliki dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch*, dan setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan pindah ke penyulang lain.



Gambar 2.4. Konfigurasi Jaringan Hantaran Penghubung [7]

2.4.3 Sistem Loop

Pada jaringan tegangan menengah struktur lingkaran (*Loop*) dimungkinkan pemasokan dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalan relatif lebih baik.

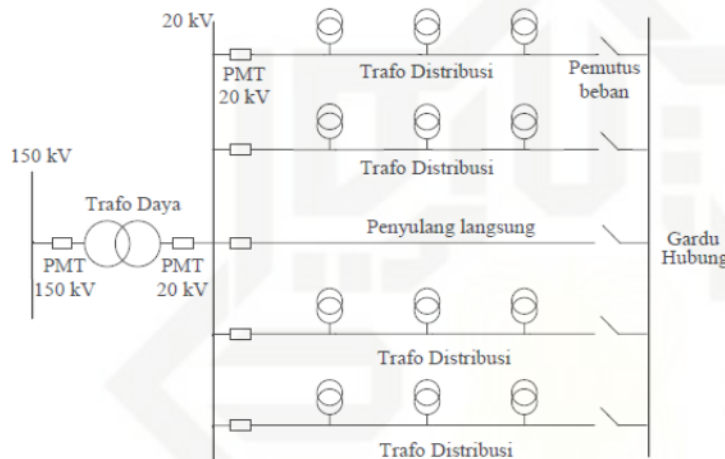


Gambar 2.5. Konfigurasi Jaringan Loop [7]

2.4.4 Sistem Spindel

Sistem *spindle* adalah pola kombinasi jaringan dari pola radial dan ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya diberikan dari gardu induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah gardu hubung. Pada sebuah sistem spindle biasanya

terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah cadangan (*express*) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola spindle biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Namun pada pengoperasiannya, sistem spindle berfungsi sebagai sistem radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen, baik konsumen tegangan rendah (TR) ataupun tegangan menengah (TM) [7].



Gambar 2.6. Konfigurasi Jaringan *Spindel* [7]

2.5 Gangguan Sistem Distribusi

Setiap kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran arus yang normal disebut gangguan. Gangguan pada sistem ketenagalistrikan sudah menjadi bagian dari pengoperasian sistem tenaga listrik tersebut. Mulai dari sumber alam, pembangkit, transmisi, distribusi hingga pusat-pusat beban tidak pernah lepas dari berbagai macam gangguan. Suatu bagian esensial dalam disain jaringan suplai daya memerlukan pemikiran agar meminimalkan gangguan. Bagian dari sistem tenaga listrik yang sering mengalami gangguan adalah kawat transmisinya. Hal tersebut wajar terjadi karena luas dan panjangnya saluran dari pembangkit hingga distribusi pada umumnya lewat udara (diatas tanah) lebih rentan terhadap gangguan daripada yang ditaruh dalam tanah (*underground*).



2.5.1 Akibat-akibat yang Ditimbulkan oleh Gangguan

1. Menginterupsi kontinuitas pelayanan daya kepada para konsumen apabila gangguan itu sampai menyebabkan terputusnya suatu rangkaian atau menyebabkan keluarnya suatu unit pembangkit.
2. Penurunan tegangan yang cukup besar menyebabkan rendahnya kualitas tenaga listrik dan merintangi kerja normal pada peralatan listrik baik PLN maupun konsumen.
3. Pengurangan stabilitas sistem dan menyebabkan jatuhnya generator.
4. Merusak peralatan pada daerah terjadinya gangguan

2.5.2 Penyebab Gangguan pada SUTM maupun SKTM

Jaringan pada SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) penyebab gangguan antara lain sebagai berikut :

1. Alam (Petir, Pohon, Angin, Hujan, Panas)
2. Kegagalan atau kerusakan peralatan dan saluran
3. Manusia
4. Binatang dan benda-benda asing

Dan pada jaringan SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah) gangguan antara lain adalah sebagai berikut :

1. Gangguan dari luar (*External Fault*)
2. Gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran air dan lain-lain. Kendaraan yang lewat di atasnya, impuls petir lewat saluran udara, binatang dan deformasi tanah..
3. Gangguan dari dalam (*Internal Faul*)
Tegangan dan arus abnormal, pemasangan yang kurang baik, penuaan dan beban lebih [7].

2.5.3 Klasifikasi Gangguan

Adapun macam-macam gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi antara lain adalah sebagai berikut:

1. Gangguan tiga fasa degan atau tanpa ke tanah.
2. Gangguan fasa ke fasa, tanpa ke tanah.
3. Gangguan satu fasa ke tanah.
4. Gangguan dua fasa ke tanah

Pada gangguan satu fasa ke tanah, arus gangguannya sering lebih besar dari arus gangguan fasa tiga. Hal ini terutama dapat terjadi bila titik netral dari generator atau trafo dari sistem tersebut ditanahkan langsung. Jenis gangguan yang biasanya terdapat dalam praktek ialah gangguan satu fasa ketanah dan yang terbanyak terjadi. Pada gangguan satu fasa ke tanah biasanya terdapat tahanan hubung singkatnya. Meskipun gangguan satu fasa ketanah sering terjadi, perhitungan tiga fasa simetris sering digunakan untuk analisa hubung singkat [7].

Adapun dari segi sifat-sifat gangguan yang terjadi pada jaringan sistem distribusi antara lain adalah:

1. Gangguan permanen
Gangguan ini ditandai dengan bekerjanya kembali PMT untuk memutus daya listrik. Gangguan permanen baru dapat diatasi setelah penyebab gangguannya dihilangkan.
2. Gangguan Temporer (*Mmomentary interruption*)
Gangguan ini ditandai dengan normalnya kerja PMT setelah dimasukkan kembali. Pada gangguan temporer dapat diatasi setelah penyebab gangguan hilang dengan sendirinya setelah PMT trip.

2.6 Konsep Dasar Keandalan

Dalam membicarakan keandalan, terlebih dahulu terlebih dahulu harus diketahui kesalahan atau gangguan yang menyebabkan kegagalan peralatan untuk bekerja sesuai dengan fungsi yang diharpkan. Adapun konsep keandalan meliputi [8]:

1. Kegagalan
Kegagalan adalah berakhirnya kemampuan suatu peralatan untuk melaksanakan suatu fungsi yang diperlukan.
2. Penyebab Kegagalan
Keadaan lingkungan selama disain, pembuatan atau yang akan menuntun kepada kegagalan.

3. Mode Kegagalan

Akibat yang diamati untuk mengetahui kegagalan, misalnya suatu keadaan rangkaian terbuka atau hubung singkat.

4. Mekanisme Kegagalan

Proses fisik, kimia atau prosenlain yang menghasilkan kegagalan.

Gangguan listrik pada jaringan sistem distribusi dinyatakan sebagai kerusakan dari peralatan yang mengakibatkan sebagian atau seluruh pelayanan listrik terganggu. Besaran yang dapat digunakan untuk menentukan nilai keandalan suatu peralatan listrik adalah besarnya suatu laju kegagalan/kecepatan kegagalan (*failure rate*) yang dinyatakan dengan simbol λ .

2.7 Indeks Keandalan Sistem

Dalam penelitian ini, indeks sistem yang dicari adalah nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI, yaitu [8].

1. System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)

SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) adalah jumlah rata kegagalan yang terjadi perpelanggan yang dilayani persatuan waktu (umumnya tahunan). Indeks ini ditentukan dengan membagi jumlah semua kegaglan dalam satu tahu dengan jumlah pelanggan yang dilayani oleh sistem tersebut. Persamaan untuk SAIFI dapat dilihat pada persamaan berikut ini :

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_k \cdot M_k}{\sum M} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan :

- λ_k = Laju kegagalan saluran
- M_k = Jumlah pelanggan pada saluran
- M = Total pelanggan pada saluran

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2. *System Average Interruption Duration Indeks (SAIDI)*

SAIDI (*System Average Interruption Duration Indeks*) adalah nilai rata-rata dari lamanya kegagalan untuk setiap pelanggan selama satu tahun. indeks ini ditentukan dengan pembagian jumlah dan lamanya kegagalan secara terus menerus untuk selama pelanggan selama periode waktu yang telah ditentukan dengan jumlah pelanggan yang dilayani selama setahun. Persamaan SAIDI dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$SAIDI = \frac{\sum \mu_k M_k}{\sum M} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

- M_k = Laju perbaikan saluran
- M_k = Jumlah pelanggan pada saluran
- M = Total pelanggan pada saluran

3. *Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)*

CAIDI (*Customer Average Interruption Duration*) adalah indeks durasi gangguan konsumen rata-rata tiap tahun, menginformasikan waktu rata-rata untuk penormalan kembali gangguan tiap-tiap pelanggan dalam satu tahun.

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \dots\dots\dots(2.3)$$

2.8 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan pada sistem distribusi ini merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Untuk dapat menentukan suatu sistem, harus diadakan pemeriksaan dengan cara perhitungan maupun analisa terhadap tingkat keberhasilan kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau pada periode tertentu, kemudian membandingkannya dengan standar yang ditetapkan sebelumnya [9]

Tabel 2.2 Tabel data kegagalan [10]

Peralatan	Laju Kegagalan/ <i>Failure rate</i>	<i>Repair Time</i> (Waktu/jam)	<i>Switching Time</i>
Pemutus Tenaga (<i>Circuit Breaker</i>)	0,004 gangguan/unit/ <i>failure rate</i>	10	0.15
Saluran / <i>Line</i>	0.2 gangguan/km/tahun	3	0.15
Travo distribusi	0,005/unit/tahun	10	0.15
<i>sectionalizer</i>	0,003 gangguan/unit/tahun	10	0.15

2.9 Analisa Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan (*reliability*) didefinisikan sebagai probabilitas dari peralatan atau sistem untuk dapat menjalankan fungsinya dengan semestinya, dalam kurun waktu tertentu, serta pada kondisi kerja tertentu. Dengan demikian, keandalan sistem distribusi berarti probabilitas sistem distribusi untuk dapat menjalankan fungsinya dengan semestinya. dalam kurun waktu tertentu, serta pada kondisi kerja tertentu. Tingkat keandalan dari sistem distribusi diukur dari sejauh mana penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung secara kontinu kepada para pelanggan tanpa perlu terjadi pemadaman [11].

Permintaan konsumen akan peningkatan layanan listrik semakin meningkat. Oleh karena itu bukan hanya peningkatan pasokan daya yang perlu diperhatikan. Namun keandalan dari sistem juga perlu. Paling banyak problem mengenai keandalan penyalur sistem kelistrikan berasal dari sistem distribusi. Oleh karena itu perlu adanya perhatian khusus jika diinginkan adanya peningkatan keandalan dari sistem distribusi yang bersangkutan.

Ada 2 cara untuk memperbaiki keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Cara pertama adalah dengan mengurangi frekuensi terjadinya gangguan dan cara kedua adalah dengan mengurangi durasi gangguan. Untuk mengurangi frekuensi terjadinya gangguan, dilakukan tindakan preventif yakni dengan adanya pemeliharaan jaringan secara berkala. Hal ini guna menjamin performa sistem secara menyeluruh. Sedangkan untuk mengurangi durasi gangguan menambahkan sumber cadangan penggunaan *tie switch* dengan *kondisi normaly open* yang berasal dari sumber listrik lain atau suplai dari penyulang lain dapat memberikan suplai daya cadangan ketika sumber utama mengalami kegagalan. Adanya suplai cadangan

dapat memberikan peningkatan keandalan karena area yang diberikan suplai tidak mengalami kondisi *repair time* melainkan mengalami kondisi *switching time* berpengaruh pada indeks keandalan keandalan sistem [11].

Otomatisasi sistem distribusi dilakukan dengan menggunakan sejumlah peralatan *keypoint*, *keypoint* disini berupa *sectionalizer* atau saklar seksi Otomatis (SSO). *Sectionalizer* membagi jaringan distribusi kedalam *section-section*, dan akan bekerja melakukan operasi *switching* (*switching operation*) bilamana terjadi gangguan pada sistem. Ada 2 macam *switching operation* yang dapat dilakukan, yang pertama *switching operation* yang bertujuan untuk melokalisir/memisahkan *section* yang terganggu agar tidak mempengaruhi *section* lain yang tidak terganggu. Dan yang kedua adalah *switching operation* yang bertujuan untuk memutuskan jaringan dari gangguan, sekaligus menghubungkan jaringan yang terputus dengan alternatif sumber listrik lain apabila ada yang memungkinkan, sehingga tidak perlu terjadi pemadaman [11].

2.9.1 Definisi Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 KV

Keandalan merupakan kemungkinan kelangsungan pelayanan beban dengan kualitas pelayanan listrik yang baik untuk suatu priode tertentu dengan kondisi operasi yang sesuai. Dan keandalan merupakan salah satu syarat yang tidak boleh diabaikan dalam sistem tenaga listrik. Keandalan sistem tenaga listrik sangat tergantung pada keandalan peralatan pendukung sistem, proses alamiah dari peralatan serta kesalahan dalam mengoperasikan peralatan tersebut [11].

Pemilihan kriteria kegagalan tersebut sangat tergantung pada macam beban pada titik perhatian kita, yaitu sesuai dengan waktu maksimum pemadaman yang tidak mengganggu kerja beban. Indeks keandalan suatu sistem distribusi digunakan untuk mengukur tingkat keandalan dari tiap-tiap titik beban/load point. Yang merupakan indeks-indeks keandalan dasar antara lain [11]:

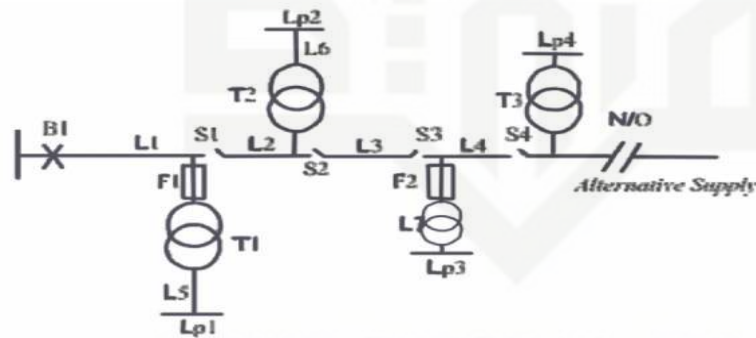
- λ = frekuensi kegagalan tahunan rata-rata(fault/year)
- λ = lama terputusnya pasokan listrik rata-rata(hours/fault)
- λ = lama/durasi terputusnya pasokan listrik tahunan rata- rata(hours/year).

Berdasarkan indeks- indeks dasar ini, didapat sejumlah keandalan untuk sistem secara keseluruhan yang dapat dievaluasi dan bisa didapat lengkap mengenai kinerja sistem. Indeks- indeks ini adalah frekwensi atau lama pemdaman rata-rata tahunan.

2.10 Metoda Reliability Network Equivalent Approach

Metode Reliability-Network-Equivalent Approach (RNEA) merupakan penyederhanaan dari metode Failure-Mode-and-Effect Analysis (FMEA). 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 kedalam 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) [12].

Pada gambar 2.8 dapat dilihat bahwa sistem distribusi radial yang terdiri dari *Transformator*, *Saluran*, *Breaker*, *Fuse*, dan *Disconnecting Switch*. S1, L1 disebut sebagai seksi utama (*main section*) yang menyalurkan energi ke lokasi beban. Beban (*load point*) pada kondisi normal terhubung langsung dengan Transformator. Fuse F1 dan saluran cabang T1 dan L5 disebut sebagai seksi cabang (*lateral section*).



Gambar 2.7 Contoh Sistem Distribusi Bentuk Radial [12]

Keterangan Gambar :

B : Breaker

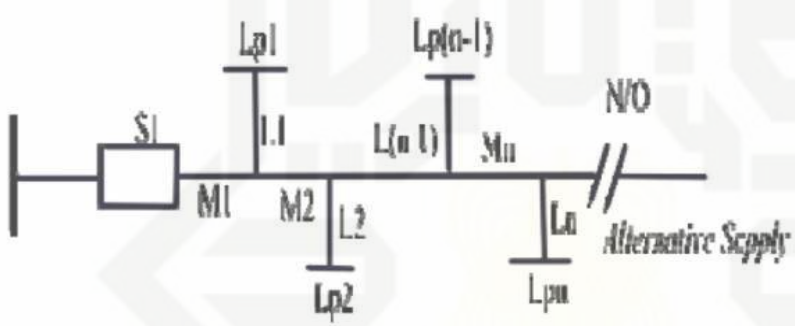
T : *Transformator*

L : *Line*

S : *Disconnecting Switch*

F : *Fuse*

Sistem distribusi yang terlihat pada gambar 2.9 dapat dimodelkan dengan Penyulang umum, seperti yang terlihat pada gambar 2.9 Penyulang umum terdiri dari n seksi utama (*main section*), n seksi cabang (*lateral section*) dan komponen seri. Secara berurutan S_i , L_i , M_i dan L_{pi} menggambarkan komponen seri i , L_i dapat disebut sebagai saluran dengan *Fuse* atau saluran dengan *Fuse* dan Transformator pada seksi cabang i , M_i dapat disebut sebagai saluran dengan *Disconnecting Switch* atau saluran dengan dua *Disconnecting Switch* di kedua ujungnya pada seksi utama i , dan L_{pi} adalah *load point* i .



Gambar 2.8 Sistem Dalam Bentuk Penyulang Umum [12]

Keterangan :

S : Komponen Seri

M : Saluran dengan *Disconnecting Switch*

L : Saluran dengan pengaman dan Transformator

L_p : Load point

Berdasarkan data elemen dan konfigurasi pada penyulang umum, didapatkan formula untuk menghitung tiga indeks titik beban (*load point indexes*) sesuai dengan persamaan :

$$\lambda_j = \lambda_{sj} + \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$U_j = \lambda_{sj} r_{sj} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$r_j = \frac{U_j}{\lambda_j} \dots\dots\dots(2.6)$$

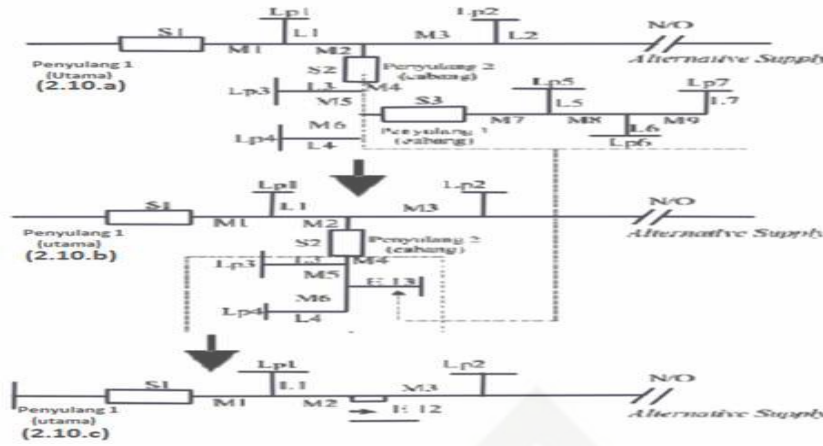
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang menjiplak atau menyalin sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Dimana :

- λ_j : laju kegagalan pada titik beban j
- U_j : rata-rata ketaktersediaan tahunan pada titik beban j
- r_j : waktu perbaikan terhadap titik beban j
- λ_{ij} : laju kegagalan seksi utama terhadap titik beban j
- λ_{sj} : laju kegagalan komponen seri terhadap titik beban j
- r_{sj} : waktu perbaikan (*repair time*) untuk elemen seri s terhadap titik beban j

Sistem distribusi biasanya mempunyai konfigurasi yang kompleks, dimana terdiri dari Penyulang utama dan Penyulang cabang, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10. Penyulang utama merupakan konfigurasi yang terdiri dari satu pemisah, dua pemisah atau tidak mempunyai pemisah pada seksi utama (*main section*) dan model operasi *Fuse* yang berbeda pada seksi cabang (*lateral section*). Penyulang cabang adalah Penyulang yang terhubung dengan Penyulang utama seperti terlihat pada gambar 2.10. Penyulang cabang 2 dan Penyulang cabang 3 disebut sebagai Penyulang cabang. Persamaan (2.1-2.3) tidak bisa digunakan secara langsung untuk mengevaluasi indeks keandalan pada sistem ini. Metode pendekatan ekuivalen keandalan jaringan memberikan teknik praktis untuk mengatasi masalah ini. Konsep dasar pada metode pendekatan ini dapat diilustrasikan pada gambar 2.10, konfigurasi asli diilustrasikan oleh gambar a, kemudian Penyulang cabang 3 dan Penyulang cabang 2 direduksi, sehingga menghasilkan jaringan ekuivalen seperti terlihat pada gambar b. dan gambar c.

Kegagalan elemen pada Penyulang cabang 3 akan mempengaruhi titik beban (*load point*) pada Penyulang cabang 3, Penyulang 1 dan Penyulang cabang 2. Pengaruh Penyulang cabang 3 terhadap Penyulang 1 dan 2 adalah sama dengan pengaruh seksi cabang pada Penyulang cabang 2. Penyulang cabang 3 dapat diganti dengan ekuivalen seksi cabang (E1 3). Ekuivalen seksi cabang harus memasukkan pengaruh kegagalan terhadap semua komponen pada Penyulang cabang 3. Ekuivalen seksi cabang (E1 2) Penyulang cabang 2 dapat dikembangkan seperti terlihat pada gambar 2.10.c. Parameter ekuivalen seksi cabang. akan tergantung dari lokasi pemisah (*Disconnecting Switch*).



Gambar 2.9 Jaringan Ekuivalen Keandalan [12]

$$\lambda_e = \sum_{i=1}^m \lambda_i \dots \dots \dots (2.7)$$

$$U_e = \sum_{i=1}^m \lambda_i r_i \dots \dots \dots (2.8)$$

$$r_e = \frac{U_e}{\lambda_e} \dots \dots \dots / \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

λ_i : laju kegagalan komponen e i

λ_e : laju kegagalan ekuivalen komponen seri yang diisolasi pemisah

r_e : total waktu perbaikan (repair time)

r_i : waktu perbaikan komponen i

U_e : total ketaktersediaan tahunan ekuivalen komponen yang diisolasi pemisah

Dengan menggunakan jaringan ekuivalen, sistem dapat direduksi ke dalam bentuk sistem distribusi umum seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10.c. sehingga hanya penyulang 1 saja yang ada. Untuk kondisi tersebut persamaan dasar (1-3) dapat digunakan untuk mengevaluasi indeks titik beban (*load point*) Penyulang 1. Disatu sisi, kegagalan komponen pada pada Penyulang 1 juga berpengaruh terhadap titik beban (*load point*) pada penyulang 2 dan Penyulang 3. Pengaruh tersebut, ekuivalen terhadap komponen seri S2 pada penyulang 2. penyulang 2 menjadi sistem distribusi umum setelah ekuivalen komponen seri S2 dihitung. Indeks titik beban (*load point*) pada Penyulang 2 dan parameter ekuivalen



komponen seri S3 kemudian dihitung dengan cara yang sama seperti pada Penyulang 1. Pada akhirnya indeks titik beban (*load point*) Penyulang 3 dapat dievaluasi.

Menggunakan metode yang dipakai untuk menghitung indeks titik beban (*load point*). Adapun proses yang akan digunakan untuk mengevaluasi indeks keandalan sistem distribusi yang menggunakan RNEA terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

1. Proses *bottom-up*, digunakan untuk mencari semua Penyulang cabang (*sub Feeder*) kemudian diganti dengan jaringan *ekuivalen* seksi cabang (*lateral section*) sehingga sistem dapat direduksi menjadi sistem distribusi umum.
2. Prosedur *top-down*, proses ini digunakan untuk mengevaluasi indeks titik beban (*load point*) tiap Penyulang (*Feeder*) dan ekuivalen komponen seri untuk Penyulang cabang (*sub Feeder*), sampai semua indeks titik beban (*load point*) baik pada Penyulang utama (*Feeder*) maupun *Penyulang* cabang (*sub Feeder*) dievaluasi.
3. Setelah masing-masing indeks titik beban (*load point*) dihitung, kemudian menghitung indeks penyulang dan sistem.

2.11 Menghitung Peningkatan Indeks Keandalan

Untuk menghitung persentase peningkatan keandalan, dapat digunakan rumus dibawah ini :

1. Untuk menghitung SAIFI

$$= \frac{SAIFI\ sebelum - SAIFI\ sesudah}{SAIFI\ sebelum} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

2. Untuk menghitung SAIDI

$$= \frac{SAIDI\ sebelum - SAIDI\ sesudah}{SAIDI\ sebelum} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

3. Untuk menghitung CAIDI

$$= \frac{CAIDI\ sebelum - CAIDI\ sesudah}{CAIDI\ sebelum} \times 100\% \dots\dots\dots(2.12)$$

2.12 Indeks Keandalan Konfigurasi Sistem

Keandalan sistem sebagaimana diuraikan dalam SPLN 59: 1985 diklasifikasikan menurut konfigurasi sistem, khususnya konfigurasi jaringan. Dari 8 macam konfigurasi sistem yang disajikan, 6 macam diantaranya disajikan sampai dengan perhitungan memperoleh indeks frekuensi pemadaman rata-rata (f) dan indeks lama pemadaman rata-rata

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

(d). semua angka keluar diberbagai komponen dapat dipakai kecuali untuk SUTM dan SKTM yang menunjukkan nilai lebih besar karena perencanaan, pembangunan dan pengusaha yang belum seksama, hal ini disebabkan oleh berbagai factor, baik factor eksternal maupun internal PLN sendiri.

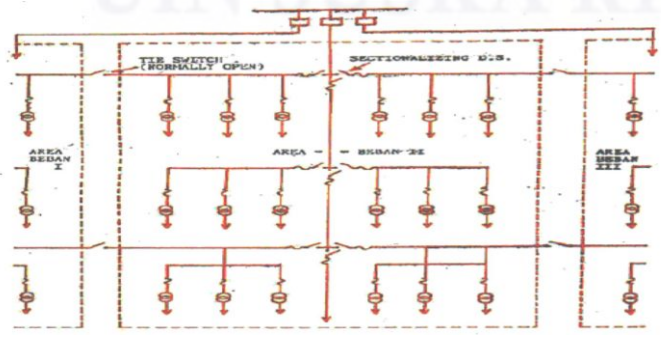
Menurut kepustakaan λ SUTM dan SKTM masing-masing 0.2 dan 0.07, sedangkan kenyataannya masing-masing 1.4 dan 0.251 yang berarti masing-masing hampir 7 dan 3.6 kali lebih besar. Karena besarnya λ kenyataan ini, maka λ (dan tentunya f) komponen-komponen yang lain dapat diabaikan. Oleh karena itu indeks keandalan konfigurasi jaringan yang direncanakan dilingkungan PLN dapat diperoleh dengan membandingkannya dengan lingkungan f dan d yaitu :

Table 2.3 Standar Indeks Keandalan Lingkungan PLN

No	Nilai	SUTM Radial	SUTM Radial dengan PBO	SKTM tanpa PPJD	SKTM dengan PPJD
1	F	3.2 kali/tahun	2.4 kali/tahun	1.2 kali/tahun	1.2 kali/tahun
2	D	21 jam/tahun	12.8 jam/tahun	4.36 jam/tahun	3.33 jam/tahun

2.13 Jaringan Radial Dengan Tie dan Switch

Tipe radial yang membagi kelompok beberapa area – area beban ini dipasang *tie* dan *switch* pemisah, yang fungsinya sebagai penghubung pada saat diperlukan untuk mempercepat pemulihan pelayanan bagi konsumen pada saat terjadi gangguan. Dengan cara menghubungkan area terganggu ke area tidak terganggu, melewati penyulang disekitarnya sedangkan beban yang penyulangnya terganggu akan dilokalisir agar tidak harus terjadi pemadaman total [13]



Gambar 2.10 jaringan radial dengan *tie* dan *switch* [14]