

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Wisesa, dkk (2014), berjudul “Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Di PT. PLN (Persero) Apj Banyuwangi Dengan Metode *Reliability Network Equivalent Approach*”. Permasalahan pada penelitian ini yaitu kecamatan Rogojampi dalam jangka lima tahun kedepan kebutuhan akan sumber daya listrik akan terus meningkat, hal ini disebabkan oleh berkembangnya sektor pariwisata dan pendidikan yang sangat pesat. Sedangkan di Banyuwangi Kota sendiri juga mengalami peningkatan pembangunan perumahan-perumahan dan taman kota serta kantor-kantor dan pusat perbelanjaan. Indeks-indeks yang digunakan untuk mengetahui tingkat keandalan suatu sistem distribusi adalah SAIFI (*sistem average interruption frequensi index*), dan SAIDI (*sistem average interruption duration index*). Dengan menggunakan metode RNEA (*Reliability Network Equivalent Approach*). Didapatkan kesimpulan Nilai SAIFI dengan perhitungan RNEA di penyulang Bulog yaitu 2,126 padam/pelanggan/tahun, nilai SAIDI dengan perhitungan RNEA di penyulang Bulog yaitu 5,220 jam/pelanggan/tahun.[6]

Partawan, dkk (2014), berjudul “Studi Perbandingan Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Menggunakan Metode *Section Technique* Dan RNEA Pada Penyulang Renon”. Permasalahan pada penelitian ini yaitu Pertambahan jumlah pelanggan penyulang Renon dalam setahun dari tahun 2012 sampai 2013 sebanyak 477 pelanggan menyebabkan peningkatan kebutuhan akan energi listrik. Diselesaikan dengan menganalisis perbedaan perhitungan keandalan menggunakan metode *section technique* dan RNEA yang akan dibandingkan Electrical Transient Analisis Program (ETAP) *Powerstation* sebagai referensi. Didapatkan kesimpulan hasil perhitungan keandalan jaringan penyulang Renon dengan menggunakan program ETAP diperoleh SAIFI sebesar 0.66 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI sebesar 2 jam/pelanggan/tahun. Perhitungan menggunakan metode *section technique* SAIFI sebesar 0.56 kali/pelanggan/tahun SAIDI sebesar 1.61 jam/pelanggan/tahun. Perhitungan menggunakan metode RNEA SAIFI sebesar 1.3 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI sebesar 1.12jam/pelanggan/tahun.[4]

Prabowo, dkk (2013), berjudul “Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kv Pada Penyulang Pekalongan 8 Dan 11”. Permasalahan pada penelitian ini yaitu ada beberapa faktor yang harus diketahui dan dihitung sebelum melakukan perhitungan analisis keandalan antara lain, frekuensi kegagalan, lama/durasi kegagalan. Penelitian ini melakukan penelitian yang kemudian perhitungannya disimulasikan menggunakan *software Matlab* untuk mengetahui nilai indeks *load point* maupun indeks keandalan secara keseluruhan sehingga dapat diketahui apakah jaringan tersebut telah memenuhi standar yang berlaku atau belum. Didapatkan kesimpulan dari penelitian ini yaitu perbedaan perhitungan teoritik nilai indeks keandalan tidak terlalu jauh antara perhitungan yang menggunakan program bantu Matlab dan software pembandingan ETAP 7.0 untuk mencari nilai indeks keandalan suatu jaringan distribusi 20kV dengan tipe topologi jaringan berbentuk radial.[5]

Arifani, dkk (2013), berjudul “Analisis Nilai Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Udara 20 Kv Pada Penyulang Pandean Lamper 1,5,8,9,10 Di Gi Pandean Lamper”. Permasalahan pada penelitian ini yaitu Penyulang Pandean Lamper menjadi pengamatan pada tugas akhir ini, dengan data banyaknya dan lama gangguan atau pemadaman adalah Pandean Lamper 1 sebanyak 30 kali gangguan dan total menitnya 1915. Penyulang Pandean Lamper 5 sebanyak 34 kali gangguan dan total menitnya 3324. Penyulang Pandean Lamper 8 sebanyak 20 kali gangguan dan total menitnya 1110. Penyulang Pandean Lamper 9 sebanyak 57 kali gangguan dengan total menitnya 4645. Penyulang Pandean Lamper 10 sebanyak 34 kali gangguan dengan total menit 1701 (Sumber PLN Rayon Semarang Timur). Untuk mengantisipasi hal tersebut maka diperlukan suatu pengamatan untuk mengetahui sampai seberapa jauh indeks keandalannya. Didapatkan kesimpulan dari penelitian ini Nilai SAIFI untuk kelima penyulang tersebut semuanya masih memenuhi standar nilai yang telah ditentukan oleh PT PLN yaitu 3 kali pertahun, standar nilai SAIDI sebesar 100 menit / 1.66 jam yang digunakan oleh PT PLN sebagai perusahaan kelas dunia dalam hal pelayanan yaitu WCS (*World Company service*) dan WCC (*World Class Company*) dari lima penyulang di Pandean Lamper menunjukkan penyulang Pandean Lamper 9 yang memiliki nilai 1.78 jam/pelanggan/tahun belum memenuhi standar nilai SAIDI, sehingga secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa penyulang Pandean Lamper 1,5,8,9, dan 10 belum handal.[7]

Sukerayasa, dkk (2008), berjudul “Evaluasi Keandalan Penyulang Dengan Metode *Reliability Network Equivalent Approach*”. Permasalahan pada penelitian ini yaitu pada sistem distribusi, kualitas keandalan dapat dilihat dari lamanya pemadaman dan seberapa sering pemadaman terjadi dalam satu satuan waktu. Dengan tingkat keandalan yang sesuai dengan standar, masyarakat dapat menikmati energi listrik secara kontinyu. Didapatkan kesimpulan untuk mencari nilai indeks titik beban (*load point*), SAIFI dan SAIDI, telah dibangun program dengan memakai pendekatan metode RNEA. Hasil studi menunjukkan, nilai SAIFI Penyulang Penebel adalah sebesar 1,7594 (Pemadaman/Pelanggan.Tahun), dan untuk nilai SAIDI adalah sebesar 4,248 (Jam/Pelanggan.Tahun).[2]

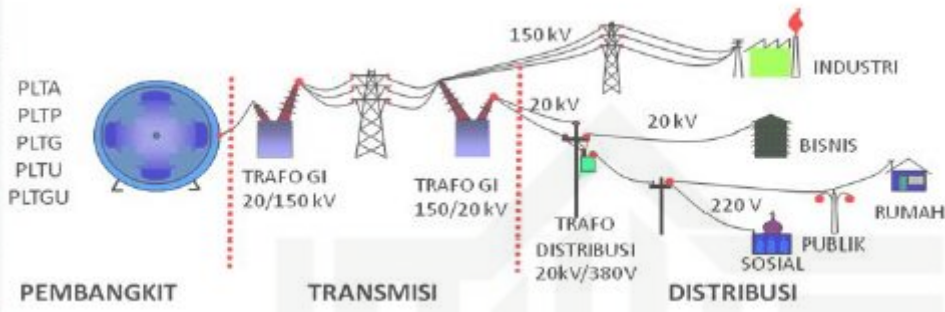
2.2 Konsep Dasar Jaringan Distribusi

Tenaga listrik dibangkitkan oleh pusat-pusat tenaga listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTP, PLTGU dan PLTD, kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator, sebagai penaik tegangan yang ada di pusat listrik. Saluran tegangan tinggi di Indonesia mempunyai tegangan 150 kV yang disebut sebagai saluran udara tegangan tinggi (SUTT) dan tegangan 500 kV yang disebut sebagai saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET). Saluran transmisi ada yang berupa saluran udara dan ada pula yang berupa kabel tanah. Karena saluran udara harganya jauh lebih murah dibandingkan dengan kabel tanah, maka saluran transmisi kebanyakan berupa saluran udara.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi, maka sampailah tenaga listrik di gardu induk (GI) untuk diturunkan tegangannya melalui transformator, sebagai penurun tegangan menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut tegangan distribusi primer. Tegangan distribusi primer yang digunakan pada saat ini adalah tegangan 20 kV. Jaringan setelah keluar dari GI disebut jaringan distribusi, sedangkan jaringan antara pusat listrik dengan GI disebut jaringan transmisi. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer, maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya oleh gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah dengan tegangan 380/220 Volt, kemudian disalurkan melalui jaringan Tegangan Rendah untuk selanjutnya disalurkan ke rumah rumah pelanggan (konsumen) melalui Sambungan Rumah.

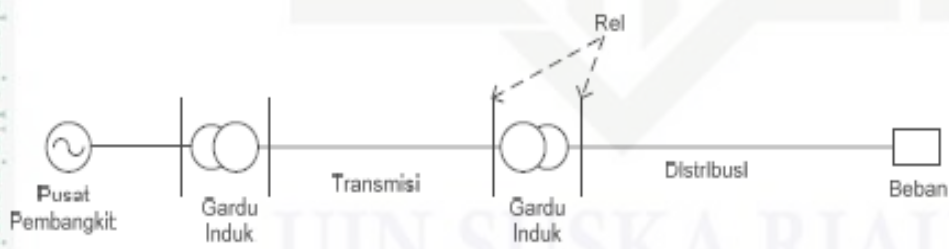
- Hak cipta dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan 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.

Pada gambar 2.1 dibawah ini 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 Bagan Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik[9]

Sistem pembangkit (*generation plant*) terdiri dari satu atau lebih unit pembangkit yang akan mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik dan harus mampu menghasilkan daya listrik yang cukup sesuai kebutuhan konsumen. Sistem transmisi berfungsi mentransfer energi listrik dari unit-unit pembangkitan di berbagai lokasi dengan jarak yang jauh ke sistem distribusi, sedangkan sistem distribusi berfungsi untuk menghantarkan energi listrik ke konsumen, seperti ditunjukkan pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Diagram Garis Sistem Tenaga Listrik[9]

Untuk membedakan antara jaringan distribusi dengan jaringan transmisi, bisa dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.1 Perbedaan antara jaringan distribusi dengan jaringan transmisi[9].

No	Dilihat dari Segi	Jaringan Distribusi	Jaringan Transmisi
1	Letak lokasi jaringan	Dalam kota	Luar kota
2	Tegangan system	<30 KV	>30 KV
3	Bentuk jaringan	<i>Radial, Loop, Paralel Interkoneksi</i>	<i>Radial dan Loop</i>
4	Sistem jaringan	Saluran udara dan saluran bawah tanah	Saluran udara dan bawah laut
5	Konstruksi jaringan	Lebih rumit dan beragam	Lebih sederhana
6	Analisa rangkaian	Lebih kompleks	Lebih sederhana
7	Komponen rangkaian yang diperlukan	Komponen R dan L	Komponen R, L dan C
8	Penyangga jaringan	Tiang jaringan	Menara jaringan
9	Tinggi jaringan	Kurang dari 20 m	30 – 200 m
10	Kawat pengantar	BCC, ASC, ACC, dan AAAC	ACSR dan ACAR
11	Kawat tarikan	Dengan kawat tarikan	Tanpa kawat tarikan
12	Isolator jaringan	Jenis pasak (pin) Jenis pos (batang) Jenis gantung Jenis cincing	Jenis gantung

2.3 Sistem Pendistribusian Tenaga listrik

Sistem jaringan tenaga listrik adalah penyaluran 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, unit transmisi dan unit distribusi. Sistem pendistribusian tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu sistem pendistribusian langsung dan sistem pendistribusian tak langsung[9].

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 langsung ini digunakan jika pusat pembangkit tenaga listrik berada tidak jauh dari pusat-pusat beban, biasanya terletak didaerah pelayanan beban atau pinggiran kota.

2.3.2 Sistem Pendistribusian Tidak langsung

Sistem pendistribusian tidak langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan di 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 Struktur 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 umumnya sistem distribusi tenaga listrik di Indonesia terdiri atas beberapa bagian, antara lain [13] :

1. Gardu Induk (GI).
2. Saluran Tegangan Menengah (TM)/Distribusi Primer.
3. Gardu Distribusi (GD).
4. Saluran Tegangan Rendah (TR)/Distribusi sekunder.

Gardu induk akan menerima daya dari saluran transmisi kemudian menyalurkan melalui saluran distribusi primer menuju gardu distribusi. Sistem jaringan distribusi terdiri dari dua buah bagian yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan sekunder. Jaringan distribusi primer umumnya bertegangan tinggi (20 KV atau 6 KV). Tegangan tersebut kemudian diturunkan oleh transformator distribusi pada gardu distribusi menjadi tegangan rendah (220 atau 380 *volt*) untuk selanjutnya disalurkan ke konsumen melalui saluran distribusi primer [9].

2.4.1 Gardu Induk Pada Sistem Distribusi

Pada bagian ini jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara langsung, maka bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah Pusat Pembangkit Tenaga Listrik. Biasanya Pusat Pembangkit Tenaga Listrik terletak di pingiran kota dan pada umumnya berupa Pusat Pembangkit Tenaga Diesel (PLTD). Untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder.

Jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara tak langsung, maka bagian pertama dari sistem pendistribusian tenaga listrik adalah Gardu Induk yang berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan transmisi dan menyalurkan tenaga listrik melalui jaringan distribusi primer[9].

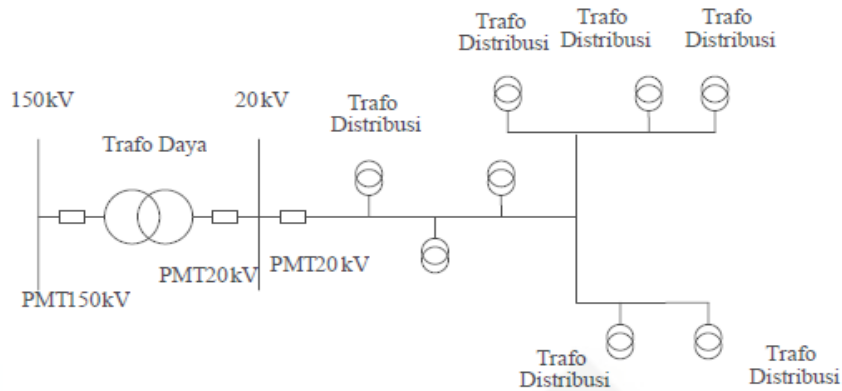
2.4.2 Jaringan Distribusi Primer

Sistem distribusi primer merupakan bagian dari sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat *suplai* daya besar (*Bulk Power Source*) atau disebut gardu induk kepusat-pusat beban. Sistem distribusi primer atau sistem distribusi tegangan menengah tersusun oleh penyulang utama (*main feeder*) dan penyulang percabangan (*latera*). Jaringan distribusi di Indonesia adalah jaringan distribusi bertegangan 20 KV[10].

Pada sistem distribusi primer terdapat 4 jenis dasar yaitu :

1. Sistem Radial

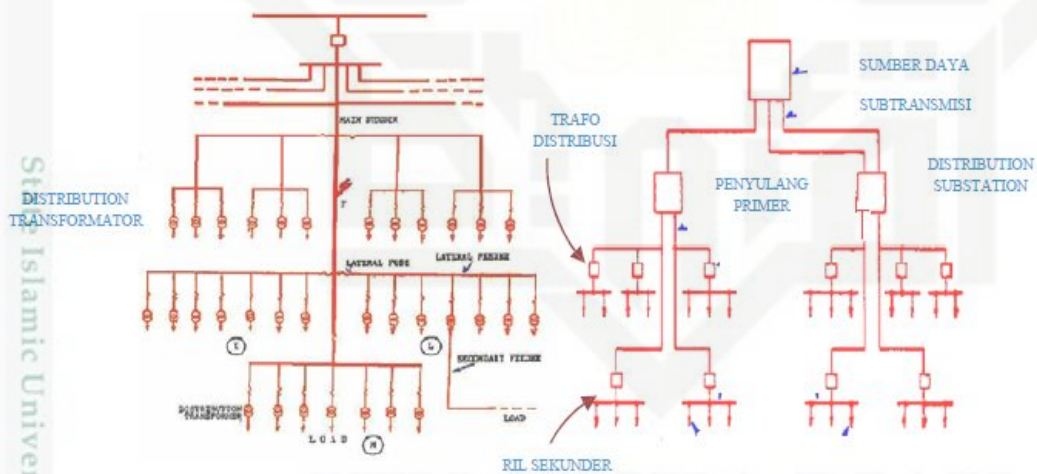
Sistem distribusi dengan pola radial adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Biasa dalam bangunan beton atau diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem lain. Sistem distribusi radial ini mempunyai 2 bentuk modifikasi yaitu sistem radial pohon dan sistem radial dengan *Tie Switch* Pemisah.



Gambar 2.3. Konfigurasi Jaringan Radial[10]

a. Jaringan radial tipe pohon

Bentuk ini merupakan bentuk yang paling dasar. Satu saluran utama dibentang menurut kebutuhannya, selanjutnya dicabangkan dengan saluran cabang (*lateral penyulang*) dan lateral penyulang ini dicabang-cabang lagi dengan sublateral penyulang (anak cabang). Sesuai dengan kerapatan arus yang ditanggung masing-masing saluran, ukuran penyulang utama adalah yang terbesar, ukuran lateral adalah lebih kecil dari penyulang utama, dan ukuran sub *lateral* adalah yang terkecil.

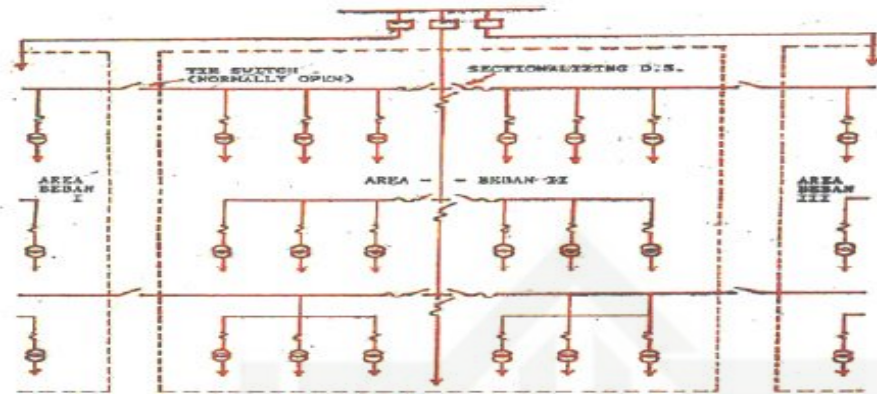


Gambar 2.4 jaringan radial tipe pohon [10]

b. Jaringan radial dengan *tie* dan *switch* pemisah

Bentuk ini merupakan modifikasi bentuk dasar dengan menambahkan *tie switch* pemisah, yang diperlukan untuk mempercepat pemulihan pelayanan bagi konsumen, dengan cara menghubungkan area-area yang tidak terganggu pada penyulang yang bersangkutan, dengan penyulang disekitarnya. Dengan demikian bagian penyulang yang

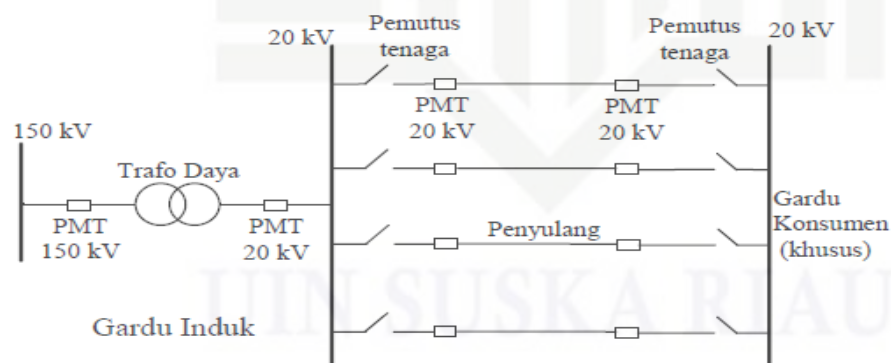
tergantung dilokalisasi, dengan cara melepas switch yang terhubung ketitik gangguan, dan menghubungkan bagian penyulang yang sehat kepenyulang disekitarnya.



Gambar 2.5 jaringan radial dengan *tie* dan switch [10]

2. Sistem Hantaran Penghantar (*tie line*)

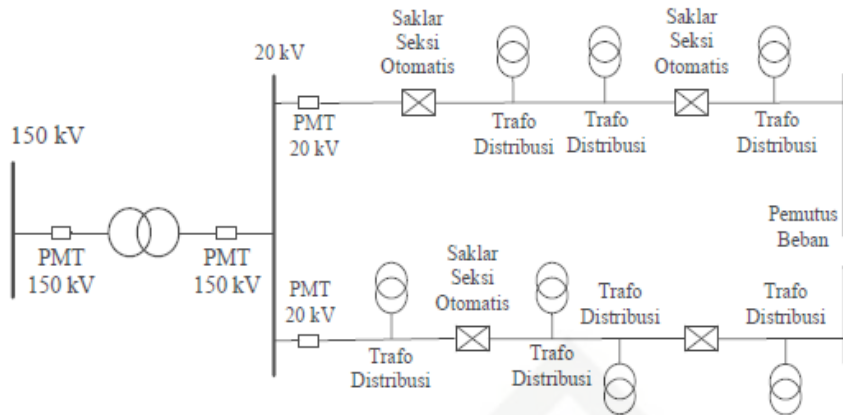
Sistem distribusi *Tie Line* umumnya digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam seperti bandar udara, rumah sakit, dan lain-lain. Sistem ini memiliki dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch*, dan setiap penyulang terkoneksi ke gardu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



Gambar 2.6. Konfigurasi Jaringan Hantaran Penghubung[10]

3. Sistem *Loop*

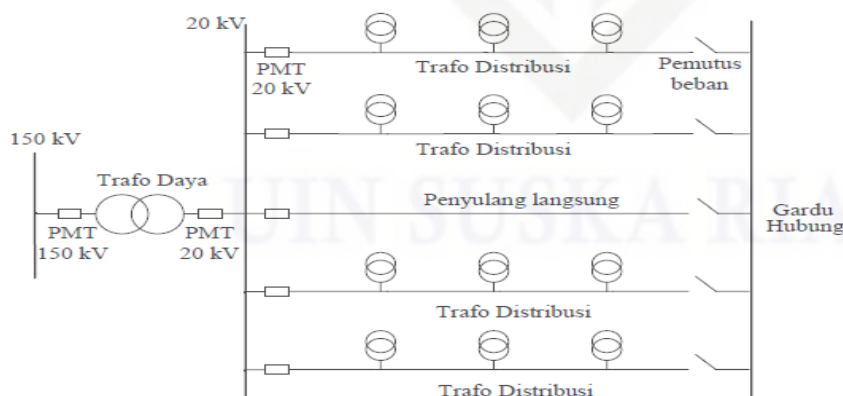
Pada jaringan tegangan menengah struktur lingkaran (*Loop*) dimungkinkan pemasokan dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalan relatif lebih baik.



Gambar 2.7. Konfigurasi Jaringan Loop[10]

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)[10].

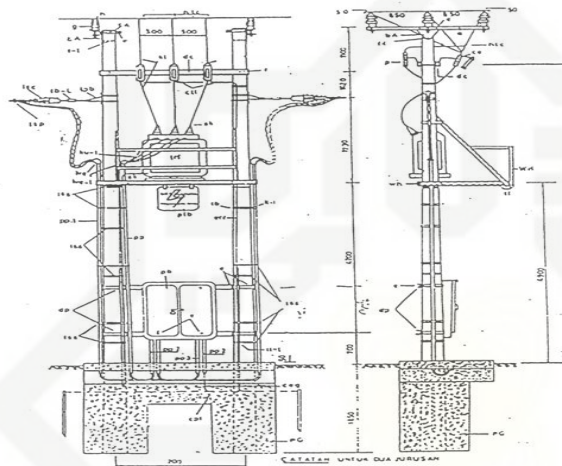


Gambar 2.8. Konfigurasi Jaringan Spindel[10]

2.4.3 Gardu Distribusi

Gardu distribusi berfungsi untuk merubah tegangan listrik dari jaringan primer menjadi tegangan terpakai yang digunakan untuk konsumen dan disebut juga sebagai jaringan distribusi sekunder.

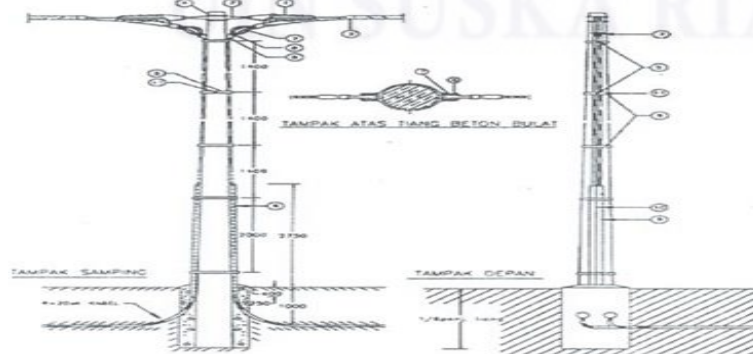
Kapasitas transformator yang digunakan pada gardu distribusi ini tergantung pada jumlah beban yang akan dilayani dan luas daerah pelayanan beban. Bisa berupa transformator satu fasa dan bias juga berupa tranformator tiga fasa.



Gambar 2.9 Gardu Distributor Jenis Tiang[9]

2.4.4 Sistem Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder merupakan bagian dari sistem distibusi, yang bertugas mendistribusikan tenaga listrik secara langsung dari trafo distribusi ke pelanggan. Oleh karena itu, besarnya jaringan untuk distribusi sekunder ini 130/230 volt dan 230 volt untuk sistem lama, atau 230/400 volt untuk sistem baru. Tegangan 130 volt dan 230 volt merupakan tegangan antara fasa dengan netral, sedangkan tegangan 400 volt merupakan tegangan fasa dengan fasa.



Gambar 2.10 Jaringan Distribusi Sekunder 220 volt[9]

2.5 Persyaratan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dalam usaha meningkatkan kualitas, keterandalan, dan pelayanan tenaga listrik ke konsumen, maka diperlukan persyaratan sistem distribusi tenaga listrik yang memenuhi alasan-alasan teknis, ekonomis, dan sosial sehingga dapat memenuhi standar kualitas dari sistem pendistribusian tenaga listrik tersebut. Adapun syarat-syarat sistem distribusi tenaga listrik tersebut adalah :

2.5.1 Faktor Keterandalan Sistem

1. Kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke konsumen harus terjamin selama 24 jam.
Persyaratan ini cukup berat, selain harus tersedia tenaga listrik pada pusat pembangkit tenaga listrik dengan jumlah yang cukup besar, juga kualitas sistem distribusi tenaga listrik harus dapat diandalkan, karena digunakan secara terus menerus. Untuk itu diperlukan beberapa cadangan yaitu :
 - a. Cadangan siap, merupakan cadangan yang didapat dari suatu pembangkit yang tidak dibebani secara penuh dan dioperasikan sinkron dengan pembangkit lain guna menanggulangi kekurangan daya listrik.
 - b. Cadangan panas, merupakan cadangan yang disesuaikan dari pusat pembangkit tenaga termis dengan ketel-ketel yang selalu dipanasi atau dari PLTA yang memiliki kapasitas air yang setiap saat mampu untuk menggerakkannya.
 - c. Cadangan diam, merupakan cadangan dari pusat-pusat pembangkit tenaga listrik yang dapat dioperasikan, tetapi disediakan untuk setiap saat guna menanggulangi kekurangan daya listrik.
2. Setiap gangguan yang terjadi dengan mudah dilacak dan diisolir sehingga pemadaman tidak perlu terjadi. Untuk itu diperlukan alat-alat pengaman dan pemutus tenaga (*Air Break Switch*) pada setiap wilayah beban.
3. Sistem proteksi dan pengaman jaringan harus tetap dapat bekerja dengan baik dan tepat.

2.5.2 Faktor Kualitas Sistem

1. Kualitas tenaga listrik yang sampai ketitik beban harus memenuhi pesyaratan minimal untuk setiap kondisi dan sifat-sifat beban. Oleh karena itu diperlukan stabilitas tegangan (*Voltage Regulator*) yang bekerja secara otomatis untuk kualitas tegangan sampai kekonsumen stabil.
2. Tegangan jatuh atau tegangan drop dibatasi pada harga 10 % dari tegangan minimal sistem untuk setiap wilayah beban. Untuk itu, daerah beban yang terlalu padat diberikan beberapa *voltage regulator* untuk menstabilkan tegangan.
3. Kualitas peralatan listrik yang dipasang pada jaringan dapat menahan tegangan lebih (*Over Voltage*) dalam waktu singkat.

2.5.3 Faktor Pemeliharaan Sistem

1. Kontinuitas pemeliharaan sistem perlu dijadwal secara berkesinambungan sesuai dengan perencanaan awal yang telah ditetapkan, agar kualitas sistem tetap terjaga dengan baik.
2. Pengadaan peralatan listrik yang dibutuhkan hendaknya sesuai dengan jenis/spesifikasi material yang dipakai, sehingga bias dihasilkan kualitas sistem yang lebih baik dan murah.

2.5.4 Faktor keselamatan Sistem Dan Publik

1. Keselamatan penduduk dengan adanya jaringan tenaga listrik harus diperhatikan dengan baik untuk daerah padat penduduk. Hal ini diperlukan rambu-rambu pengaman dan peringatan agar penduduk dapat mengetahui bahaya listrik. Selain itu untuk daerah yang sering mengalami gangguan perlu dipasang alat pengaman untuk dapat meredam gangguan tersebut secara tepat dan terpadu.
2. Keselamatan alat dan kelengkapan jaringan yang dipakai hendaknya memiliki kualitas yang baik dan dapat meredam secara cepat bila terjadi gangguan pada sistem jaringan. Untuk itu diperlukan jadwal pengontrolan alat dan perlengkapan jaringan secara terjadwal dengan baik dan berkesinambungan.

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 diharapkan. Adapun konsep keandalan meliputi[10]:

1. Kegagalan

Kegagalan adalah berakhirnya kemampuan suatu peralatan untuk melaksanakan suatu fungsi yang diperlukan.

2. Penyebab Kegagalan

Keadaan lingkungan 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 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*). Terlebih lagi jika salurannya tidak dilindungi isolasi ataupun peralatan proteksi yang tidak memadai, akan sering menimbulkan gangguan pada sistem tenaga listrik tersebut. Semua gangguan biasa disebabkan dari peralatannya atau kesalahan

mekanis, thermis dan tegangan lebih atau karena material yang cacat atau rusak, misalnya hubung singkat, gangguan ke tanah atau konduktor yang putus. Busur tanah yang menetap merupakan gangguan yang sangat ditakuti sebab busur tanah yang padam dan menyala merupakan sumber gelombang berjalan yang mempunyai muka curam yang dapat membahayakan isolasi dari alat-alat instalasi walaupun letaknya jauh dari titik gangguan.

Selanjutnya gangguan yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat. Besar dari arus hubung singkat itu tergantung dari jenis dan sifat gangguan hubung singkat itu, kapasitas dari sumber daya, konfigurasi dari sistem, metode hubungan netral dari trafo, jarak gangguan dari unit pembangkit, angka pengenalan dari peralatan-peralatan utama dan alat-alat pembatas arus, lamanya hubung singkat itu dan kecepatan beraksi dari alat-alat pengaman. Gangguan hubung singkat itu tidak hanya dapat merusak peralatan atau elemen-elemen sirkuit, tetapi juga dapat menyebabkan jatuhnya tegangan dan frekuensi sistem, sehingga kerja paralel dari unit-unit pembangkit menjadi terganggu pula.

Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan. Ditinjau dari volume fisiknya, jaringan distribusi pada umumnya lebih panjang dibanding dengan jaringan transmisi dan jumlah gangguannya dalam kali per 100 km per tahun juga paling tinggi dibandingkan jumlah gangguan pada saluran transmisi.

Jaringan distribusi secara garis besar terdiri dari Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). JTM mempunyai tegangan antara 3 KV sampai dengan 20 KV. PLN pada saat ini hanya mengembangkan tegangan menengah 20 KV. JTM sebagian besar berupa SUTM dan kabel tanah. Pada saat ini juga mulai dikembangkan kabel udara yang isolasinya tidak penuh dengan tujuan untuk mengurangi jumlah gangguan di JTM. Gangguan pada SUTM termasuk tinggi jumlahnya. Gangguan pada SUTM ada yang mencapai angka 100 kali per 100 km per tahun. Sebagian besar gangguan pada SUTM tidak disebabkan oleh petir melainkan oleh sentuhan pohon. Gangguan karena petir maupun karena sentuhan pohon sebagian besar bersifat temporer, oleh karenanya penggunaan penutup balik (*recloser*) otomatis akan sangat mengurangi waktu pemutus penyediaan daya (*supply interrupting time*)[9]

2.7.1 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 merintanginya kerja normal pada peralatan listrik baik PLN maupun konsumen.
3. Pengurangan stabilitas sistem dan menyebabkan jatuhnya generator.
4. Merusak peralatan pada daerah terjadinya gangguan.

2.7.2 Penyebab Gangguan pada SUTM maupun SKTM

- a. Pada SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah)
 - a. Alam (Petir, Pohon, Angin, Hujan, Panas)
 - b. Kegagalan atau kerusakan peralatan dan saluran
 - c. Manusia
 - d. Binatang dan benda-benda asing
- b. Pada SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah)
 - a. Gangguan dari luar (*External Fault*)

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.
 - b. Gangguan dari dalam (*Internal Fault*)

Tegangan dan arus abnormal, pemasangan yang kurang baik, penuaan beban lebih.[9].

2.7.3 Klasifikasi Gangguan

1. Macam-macam gangguan
 - a. Gangguan tiga fasa dengan atau tanpa ke tanah.
 - b. Gangguan fasa ke fasa, tanpa ke tanah.
 - c. Gangguan satu fasa ke tanah.
 - d. 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[9].

2. Sifat-sifat gangguan

a. Gangguan permanen

Gangguan ini ditandai dengan bekerjanya kembali PMT untuk memutus daya listrik. Gangguan permanen baru dapat diatasi setelah penyebab gangguannya dihilangkan.

b. Gangguan Temporer (*Memomentary 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[9].

2.8 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.

Dewasa ini, 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 disadari pentingnya otomatisasi sistem distribusi untuk memastikan pemulihan pasokan tenaga listrik secara cepat bagi konsumen. Dan sekaligus memperbaiki tingkat keandalan sistem.

Otomatisasi sistem distribusi dilakukan dengan menggunakan sejumlah peralatan *keypoint*, *keypoint* di sini berupa *sectionalizer* atau Saklar Seksi Otomatis (SSO). *Sectionalizer* membagi jaringan distribusi ke dalam *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 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].

2.8.1 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.

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]:

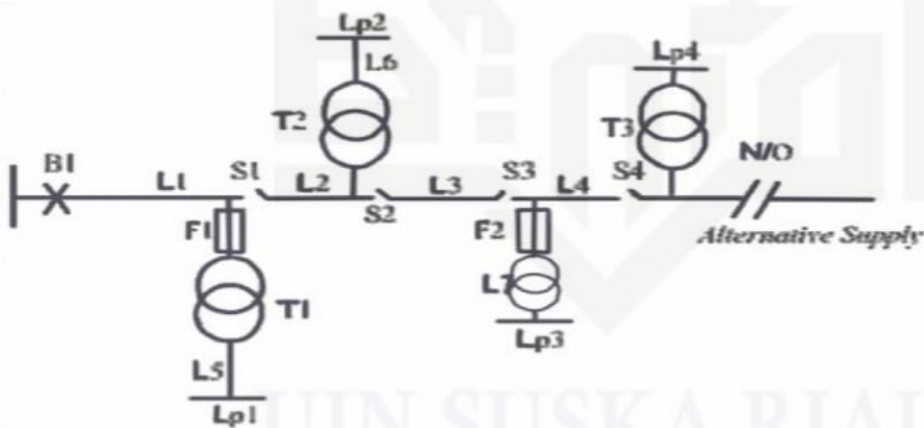
- λ = frekuensi kegagalan tahunan rata-rata(*fault/year*)
- r = lama terputusnya pasokan listrik rata-rata(*hours/fault*)
- U = lama/durasi terputusnya pasokan listrik tahunan rata-rata (*hours/year*).

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 frekuensi atau lama pemdaman rata-rata tahun.

2.9 Metode *Reliability Network Equivalent Approach (Rnea)*

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*) [4].

Pada gambar 2.11 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 2.11 Contoh Sistem Distribusi Bentuk Radial [2]

Keterangan gambar :

B : *Breaker*

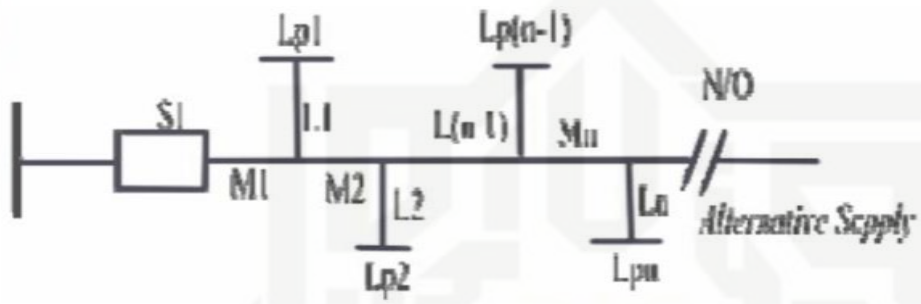
T : *Transformator*

L : *Line*

S : *Disconnecting Switch*

F : *Fuse*

Sistem distribusi yang terlihat pada gambar 2.12 dapat dimodelkan dengan Penyulang umum, seperti yang terlihat pada gambar 2.12. 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 2.12 Sistem Distribusi dalam bentuk Penyulang Umum [2]

Keterangan :

- S : Komponen Seri
- M : Saluran dengan *Disconnecting Switch*
- L : Saluran dengan *Fuse* 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 :

$$\lambda_j = \lambda_{sj} + \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} + \sum_{k=1}^n P_{kj} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$U_j = \lambda_{sj} r_{sj} + \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} r_{ij} + \sum_{k=1}^n P_{kj} \lambda_{kj} r_{kj} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$U_j = \frac{U_j}{\lambda_j} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- λ_j : laju kegagalan pada titik beban j
- U_j : rata-rata ketaktersediaan tahunan pada titik beban j
- r_{sj} : rata-rata lama padam pada titik beban j
- λ_{sj} : laju kegagalan komponen seri terhadap titik beban j
- λ_{ij} : laju kegagalan seksi utama i terhadap titik beban j

λ_{kj} : laju kegagalan seksi cabang k terhadap titik beban j

P_{kj} : parameter kontrol seksi cabang k terhadap titik beban j

r_{ij} : waktu *switching* (*switching time*) atau waktu perbaikan (*repair time*) titik beban j pada main section i

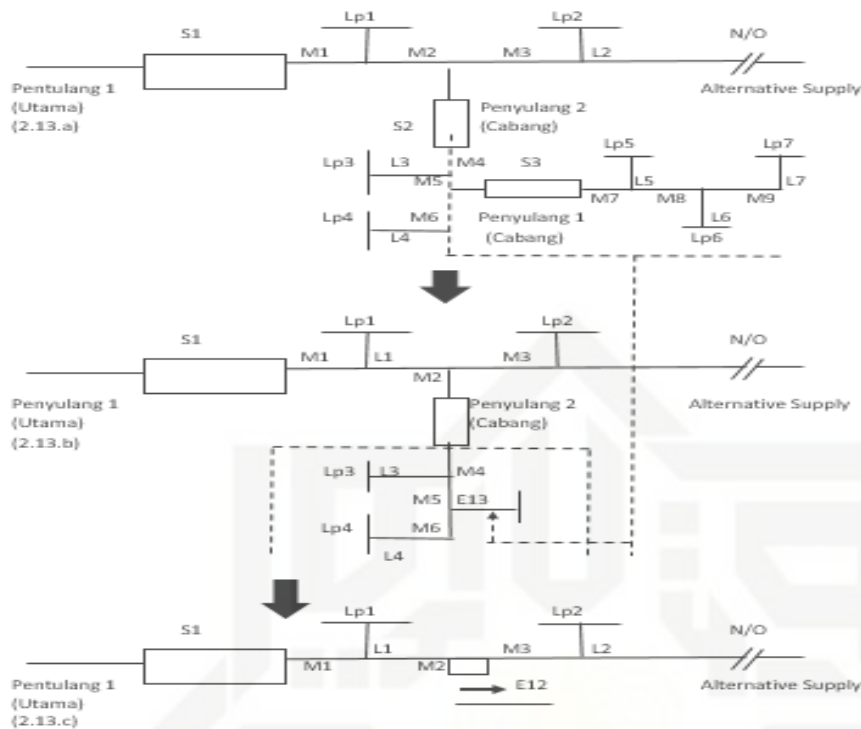
r_{sj} : waktu perbaikan (*repair time*) untuk elemen seri s terhadap titik beban j

r_{kj} : waktu *switching* (*switching time*) atau waktu perbaikan (*repair time*) titik beban j pada lateral section k

P_{kj} adalah parameter kontrol dari seksi cabang k yang tergantung pada model operasi *Fuse*. P_{kj} bernilai 1 jika tidak ada *Fuse* atau 0 jika keandalan *Fuse* 100 persen, dan bernilai antara 0 dan 1 untuk *Fuse* yang mempunyai probabilitas operasi ketidaksuksesan tertentu. Parameter λ_{ij} , λ_{kj} dan λ_{sj} adalah laju kegagalan dari seksi utama i, seksi cabang k dan elemen seri s. r_{ij} , r_{sj} dan r_{kj} adalah durasi pemadaman (waktu *switching* atau waktu perbaikan).

Sistem distribusi biasanya mempunyai konfigurasi yang kompleks, dimana terdiri dari Penyulang utama dan Penyulang cabang, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13. 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 2.13. Penyulang cabang 2 dan Penyulang cabang 3 disebut sebagai Penyulang cabang. Konsep dasar pada metode pendekatan ini dapat diilustrasikan pada gambar 2.13, 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 (El 3). Ekuivalen seksi cabang harus memasukkan pengaruh kegagalan terhadap semua komponen pada Penyulang cabang 3. Ekuivalen seksi cabang (El 2) Penyulang cabang 2 dapat dikembangkan seperti terlihat pada gambar 2.13.c. Parameter ekuivalen seksi cabang akan tergantung dari lokasi pemisah (*Disconnecting Switch*).



Gambar 2.13. Jaringan Ekuivalen Keandalan [2]

$$\lambda_{e1} = \lambda_i \dots \dots \dots (2.4)$$

$$U_{e1} = \lambda_i r_i \dots \dots \dots (2.5)$$

$$r_{e1} = \frac{U_{e1}}{\lambda_{e1}} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$\lambda_{e1} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \dots \dots \dots (2.7)$$

$$U_{e2} = \lambda_i r_i \dots \dots \dots (2.8)$$

$$r_e = \frac{U_{e2}}{\lambda_{e2}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

- λ_{e1} : Laju kegagalan ekuivalen komponen seri yang tidak diisolasi pemisah
- λ_i : Laju kegagalan komponen e i
- λ_{e2} : Laju kegagalan ekuivalen komponen seri yang diisolasi pemisah
- r_{e1} : Total waktu perbaikan (*repair time*)
- r_i : Waktu perbaikan komponen i
- U_{e1} : Total ketaktersediaan tahunan ekuivalen komponen seri yang tidak diisolasi pemisah
- U_{e2} : Total ketaktersediaan tahunan ekuivalen komponen seri yang diisolasi pemisah

Dengan menggunakan jaringan ekuivalen, sistem dapat direduksi ke dalam bentuk sistem distribusi umum seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13.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 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. Parameter keandalan dari ekuivalen kompoonen seri dapat dihitung 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]

2.10 Indeks Keandalan Sistem

Dalam penelitian ini, indeks sistem yang dicari adalah nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI, yaitu [13].

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 :

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_k \cdot M_k}{\sum M} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan :

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

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

SAIDI (*System Average Interruption Duration Indeks*) adalah nilai rata-rata dari lamanya keggalan 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 :

$$SAIDI = \frac{\sum \mu_k \cdot M_k}{\sum M} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan:

- μ_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 tahaun, menginformasikan waktu rata-rata untuk penormalan kembali gangguan tiap-tiap pelanggan dalam satu tahun.

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \dots\dots\dots(2.12)$$

2.11 Definisi Dan Teori Dasar Keandalan

Keandalan merupakan kemungkinan kelangsungan pelayanan beban dengan kualitas pelayanan listrik yang baik untuk suatu periode 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 pendukung sistem [13].

Sebuah sistem radial terdiri dari komponen yang tersusun secara seri meliputi *line*, kabel, *disconnector*, (*isolator*), busbar dan lain-lain. Terdapat tiga parameter dasar dalam keandalan yang bisa digunakan untuk mengevaluasi sistem distribusi radial yaitu angka

kegagalan rata-rata (λ), waktu pemadaman rata-rata (r), dan waktu pemadaman tahunan (U).

Didalam pengoperasian jaringan distribusi selalu diinginkan tercapainya hal-hal sebagai berikut :

1. Cara penanganan gangguan secepat mungkin
2. Keandalan cukup baik dalam arti :
 - a. Kontinuitas cukup baik.
 - b. Bila terjadi gangguan, daerah yang mengalami pemadaman sedikit mungkin.
 - c. Tegangan sumber cukup baik.
 - d. Losses tidak terlalu besar.

Tetapi untuk mencapai semuanya itu tergantung dari sistem dan tipe peralatan pengaman yang diterapkan. Sistem pengaman bertujuan untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan beserta peralatannya yang disebabkan karena adanya gangguan serta meningkatkan kontinuitas pelayanan pada konsumen dan menjaga keselamatan umum.

Keandalan merupakan probabilitas suatu alat (*device*) untuk dapat berfungsi sesuai dengan fungsi yang diinginkan selama jangka waktu yang ditetapkan. Analisa bentuk Kegagalan merupakan suatu analisa bagian dari sistem atau peralatan yang dapat gagal, bentuk kegagalan yang mungkin, efek masing-masing, bentuk kegagalan dari sistem yang kompleks. Keandalan menyatakan kemungkinan bekerjanya suatu peralatan atau sistem sesuai dengan fungsinya untuk suatu selang waktu tertentu dan kondisi tertentu. Dengan demikian keandalan dapat digunakan untuk membandingkan suatu peralatan atau sistem dengan peralatan atau sistem yang lain. Evaluasi keandalan ada dua macam, yaitu penilaian secara kualitatif dan secara kuantitatif.

Sistem merupakan sekumpulan komponen-komponen sistem yang disusun menurut pola tertentu. Keandalan dari suatu sistem distribusi ditentukan oleh keandalan dari kompoen-komponen yang membentuk suatu sistem tersebut dan komponen itu sendiri. Keandalan merupakan probabilitas suatu alat (*device*) untuk dapat berfungsi sesuai dengan fungsi yang diinginkan selama jangka waktu yang ditetapkan.

Definisi keandalan mengandung empat istilah penting yaitu :

1. Fungsi

Keandalan suatu komponen perlu dilihat apakah suatu komponen dapat melakukan fungsinya secara baik pada jangka waktu tertentu. Kegagalan fungsi dari komponen dapat disebabkan oleh perawatan yang tak terencana (*unplanned maintenance*). Fungsi atau kinerja dari suatu komponen terhadap suatu sistem mempunyai tingkatan yang berbeda beda.

2. Lingkungan

Keandalan setiap peralatan sangat bergantung pada kondisi operasi lingkungan. Secara umum lingkungan tersebut menyangkut pemakaian, transportasi, penyimpanan, instalasi, pemakai, ketersediaan, alat-alat perawatan, debu, kimia, dan polutan lain.

3. Waktu

Keandalan menurun sesuai dengan pertambahan waktu. Waktu operasi meningkat sehingga probabilitas gagal lebih tinggi. Waktu operasi ini diukur tidak hanya dalam unit waktu tetapi bisa dalam jarak operasi.

4. Probabilitas

Keandalan diukur sebagai probabilitas. Sehingga probabilitas yang berubah terhadap waktu dan masuk dalam bidang statistik dan analisa statistik.[13]

2.12 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Indek Keandalan

Pada suatu sistem distribusi tenaga listrik, tingkat keandalan adalah hal yang sangat penting dalam menentukan kinerja sistem tersebut. Hal ini dapat dilihat dari sejauh mana *supply* tenaga listrik dilaksanakan secara kontinyu dalam satu tahun ke konsumen. Beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi indeks keandalan dalam suatu sistem distribusi sesuai standar antara lain :

1. Pemadaman/*Interruption of Supply*. Terhentinya pelayanan pada satu atau lebih konsumen, akibat dari salah satu atau lebih komponen mendapat gangguan.
2. Keluar/*Outage*. Keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, diakibatkan karena beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen tersebut. Suatu *outage* dapat atau tidak dapat menyebabkan pemadaman, hal ini masih tergantung pada konfigurasi sistem.

3. Lama keluar/*Outage Duration*. Periode dari saat permulaan komponen mengalami outage sampai saat dapat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.
4. Lama pemadaman/*interruption Duration*. Waktu dari saat permulaan terjadinya pemadaman sampai saat menyala kembali.
5. Jumlah total konsumen terlayani/*Total Number of Costumer Served*. Jumlah total konsumen yang terlayani sesuai dengan periode.
6. Periode laporan, periode laporan diasumsikan sebagai satu tahun [10].

2.13 Standar Keandalan Sistem Distribusi 20 kV di PT.PLN (Persero)

Keandalan Sistem Distribusi 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 tingkat keandalan dari suatu sistem, harus diadakan pemeriksaan melalui perhitungan maupun analisa terhadap tingkat keberhasilan kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau pada periode tertentu[10].

Ada beberapa hal yang perlu diketahui sebelum menghitung indeks keandalan sistem yaitu dengan mengetahui nilai data keandalan peralatan. Data-data ini didapat dari SPLN 59 tahun 1985 untuk data keandalan peralatan [9]. Seperti pada Tabel 2.2. Indeks keandalan pada SUTM radial SPLN 68-2 tahun 1986 dimana untuk nilai SAIFI adalah 3,2 kali/tahun dan SAIDI sebesar 21 Jam/tahun [14].

Tabel 2.2. Data keandalan peralatan[14]

Peralatan	Laju kegagalan/ <i>Failure rate</i>	Repair Time (Waktu/Jam)	<i>Switching Time</i>
Pemutus Tenaga (<i>Circuit Breaker</i>)	0,004 gangguan/unit/tahun	10	0.15
Saluran / <i>line</i>	0,02 gangguan/km/tahun	3	0.15
Travo distribusi	0,005 gangguan/unit/tahun	10	0.15
<i>Recloser</i>	0,005 gangguan/unit/tahun	0,25	0.15
Saluran bawah tanah	0,07 gangguan/km/tahun		
<i>Sectionalizer</i>	0,003 gangguan/unit/tahun	10	0,15

2.14 Perhitungan Analisis Ekonomis Energi Tidak Tersalurkan

Teknik *value analysis* atau analisis nilai adalah sebuah teknik yang digunakan untuk menuju keberhasilan dalam penekanan biaya atau pengefektifan biaya. Hal ini bisa dikatakan bahwa pengfokusan terhadap kebutuhan fungsional dan spesifikasinya. Produk yang dihasilkan terus ditinjau bagaimana proses dan pelayanannya dengan tetap meninjau peryaratannya. Selain itu faktor biaya juga tetap diperhatikan. Dalam konteks analisa keandalan suatu sistem distribusi 20 kV, *value analysis* berbanding lurus dengan perhitungan aspek ekonomis suatu indeks keandalan. Perhitungan aspek ekonomi keandalan bergantung pada besar daya listrik yang disalurkan waktu pemadaman dari tiap-tiap titik beban dan tarif dasar listrik yang berlaku. Dalam melaksanakan analisis nilai dibutuhkan beberapa data, antara lain topologi jaringan, data beban dan data pelanggan/konsumen. Dari data-data tersebut dapat dievaluasi mengenai mode kegagalannya. Mode kegagalan ini yang dijadikan dasar dalam melakukan analisa dan evaluasi terhadap waktu pemadaman suatu sistem. 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 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. Adapun persamaan yang digunakan dalam menghitung aspek ekonomi pada sistem, yaitu [15] :

1. NDE (*Non Delivery Energy*) $NDE = P_C t_{CA}$ (2.13)

Dimana :

NDE : Jumlah total energi yang tidak terkirim dalam durasi waktu tertentu

P_C : Jumlah total energi yang tidak terkirim

t_{CA} : Durasi waktu pemadaman

2. Biaya kerugian per titik beban

$$N = NDE \times TDL \text{(2.14)}$$

Dimana :

NDE : Jumlah total energi yang tidak terkirim dalam durasi waktu tertentu

TDL : Tarif dasar listrik Peraturan Menteri ESDM No.9 2014

3. Total biaya setiap kerugian peralatan

$$\text{Kerugian} = \sum \text{biaya pada load point N} \text{ (2.15)}$$

2.15 Cara meningkatkan Keandalan Sistem Distribusi

Dalam melakukan peningkatan keandalan suatu sistem distribusi tenaga listrik dapat dilakukan dengan beberapa cara. Salah satu cara yang sederhana dengan mereduksi laju kegagalan suatu peralatan sistem distribusi, sehingga nilai SAIDI dan SAIFI suatu sistem distribusi tenaga listrik dapat dikurangi. Untuk mengurangi laju kegagalan, langkah-langkah preventif seperti melakukan pemeliharaan secara berkala terhadap peralatan distribusi tenaga listrik perlu dilakukan agar kontinuitas pasokan listrik dapat dirasakan dengan baik oleh pelanggan.

Selain dengan mereduksi laju kegagalan, cara yang kedua yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan suatu sistem distribusi adalah dengan menambahkan sumber cadangan. Penggunaan *tie switch* dengan kondisi *normally 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* yang berpengaruh pada indeks keandalan. Dimana penambahan *tie switch* diletakkan pada cabang yang tidak berhubungan secara langsung dengan sumber utama.[15]

2.16 Menghitung peningkatan ekonomis sebelum dan sesudah Tie Switch

Untuk menghitung persentase ekonomis peningkatan keandalan, dapat digunakan rumus sebagai berikut : [15]

$$\text{KwH tak terjual} = 20 \text{ Kv} \times \sqrt{3} \times I \times t \times \cos q \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\text{Kerugian materi} = \text{kWh tak terjual} \times \text{nilai jual per kWh} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

- I = Arus (Ampere)
- t = Lama terjadinya gangguan (jam)
- cos q = Faktor daya (0,85)

Untuk menghitung persentase ekonomis

$$= \frac{\text{ekonomis sebelum tie switch} - \text{ekonomis sesudah tie switch}}{\text{ekonomis sebelum tie switch}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.18)$$