

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Tujuan dari sistem kelistrikan merupakan untuk menyediakan daya listrik kepada konsumen dengan tingkat reliabilitas yang tinggi. Metode probabilistik telah digunakan sejak tahun 1940-an untuk menghitung kapasitas cadangan pembangkitan. Akan tetapi, Pertumbuhan minat dalam mengevaluasi reliabilitas sistem tenaga dimulai sejak tahun 1965, dipicu oleh pemadaman listrik di New York City pada periode tersebut. Sejak saat itu, upaya untuk meningkatkan reliabilitas terus berkembang, menyesuaikan diri dengan perkembangan penggunaan teknologi dalam pengoperasian dan struktur sistem tenaga. [1].

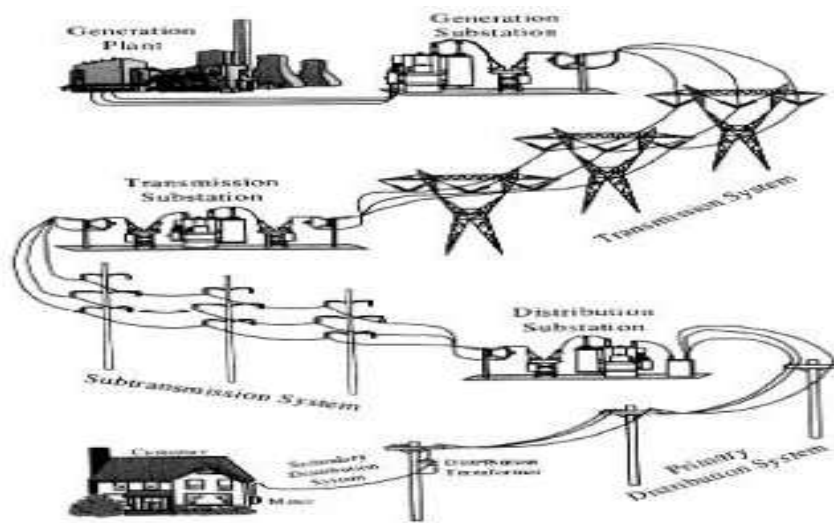
Disamping menimbulkan efek yang menguntungkan, tenaga listrik juga memiliki potensi dampak yang signifikan dan merugikan bagi konsumen serta lingkungan sekitarnya. Dalam dekade terakhir, masalah ketersediaan energi listrik menjadi fokus perhatian utama, Ini menciptakan dampak yang berpengaruh pada berbagai segi kehidupan. Sistem tenaga listrik dijelaskan sebagai rangkaian pusat-pusat pembangkit listrik yang terkoneksi melalui gardu induk, membentuk kesatuan yang dibagi menjadi beberapa sektor, mencakup di pusat pembangkit, jaringan transmisi, dan sistem distribusi. Sistem distribusi memiliki fungsi untuk menghubungkan semua beban yang terpisah ke dalam saluran transmisi, dengan pusat gardu yang dapat memisahkan atau menghubungkan beban. Tegangan generator dapat mencapai nilai tinggi, berkisar antara 13,8 kV hingga 24 kV, meskipun generator terkini umumnya didesain dengan indeks tegangan antara 18 kV hingga 24 kV. Tegangan ini kemudian dialirkan ke sistem transmisi dengan rentang nilai antara 115 kV dan 765 kV. Di luar negeri Standar tegangan umumnya berada dalam kisaran 70 kV hingga 220 kV, dengan tingkat tegangan yang tinggi diukur pada 500 kV dan 700 kV.[9]



Gambar 2.1 Ilustrasi Sistem Kelistrikan [9]

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Salah satu bagian yang berperan penting dalam struktur sistem tenaga listrik merupakan Sistem Distribusi, lokasi di mana daya listrik dipindahkan dari fasilitas pembangkit ke konsumen. Proses ini melibatkan beberapa tahapan distribusi yang dimulai dari sistem pembangkit energi yang terhubung ke jaringan transmisi, lalu berlanjut ke gardu induk. Setelah itu, listrik mengalir ke dalam jaringan distribusi primer, melewati gardu pendistribusian, dan kemudian dialirkan langsung ke dalam jaringan distribusi sekunder. Akhirnya, energi listrik mencapai konsumen. Secara keseluruhan, sistem distribusi merujuk pada langkah-langkah penyaluran listrik kepada konsumen dengan tegangan yang cenderung lebih rendah, sementara sistem transmisi berfungsi sebagai elemen pengantar energi listrik dengan tegangan yang lebih elevasi ke pusat beban yang memiliki kapasitas besar. [2]

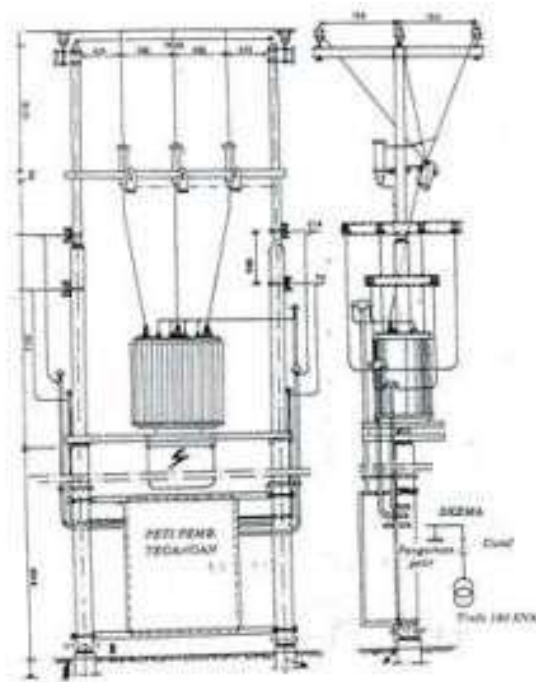


Gambar 2.2 Rangkaian Penyaluran Energi Listrik [2]

Gambar 2.2 menunjukkan proses penyaluran energi listrik menuju konsumen melibatkan langkah-langkah seperti pembangkitan, gardu induk, saluran transmisi, kembali ke gardu induk, melewati saluran distribusi, dan akhirnya mencapai konsumen.

2.2.1. Gardu Distribusi

Gardu distribusi memiliki peran penting sebagai komponen dalam sistem distribusi tenaga listrik, dimana tugasnya menyalurkan saluran ke perangkat listrik dan mendistribusikan tenaga ke berbagai beban, melibatkan perangkat elektrikal dengan tegangan menengah ke rendah. Gardu distribusi dapat diklasifikasikan sebagai gardu pembagi karena dilengkapi dengan berbagai komponen, seperti halnya sistem proteksi dan sakelar penghubung atau pemutus, gardu distribusi juga dilengkapi dengan komponen penting lainnya, yaitu transformator. Transformator berperan dalam pendistribusian tenaga dengan tegangan rendah, khususnya sekitar 220/380 V.



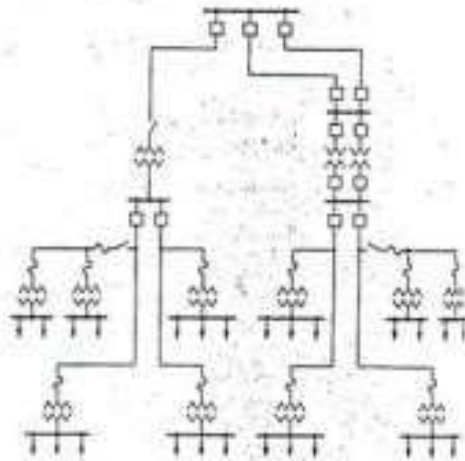
Gambar 2.3 Gardu Distribusi Tipe Tiang [2]

2.3 Jenis Sistem Berdasarkan Rangkaian

Suhadi menyatakan bahwa dalam struktur konstruksinya, sistem distribusi memiliki beberapa jenis[9]:

2.3.1 Sistem Radial

Sistem ini sering diimplementasikan secara luas dalam infrastruktur kelistrikan Indonesia karena sederhana dan memiliki biaya pembangunan yang ekonomis, menjadikannya sebagai keunggulan dibandingkan dengan sistem lainnya. Ciri khas dari sistem ini terletak pada rute tunggal dari sumber pembangkit ke titik beban konsumen, tanpa adanya sistem cadangan dalam salurannya, sistem ini dibangun dengan cara menarik secara langsung dari sumber listrik, lalu mendistribusikan ke jalur yang mengarah pada titik beban, dan ditujukan kepada konsumen.

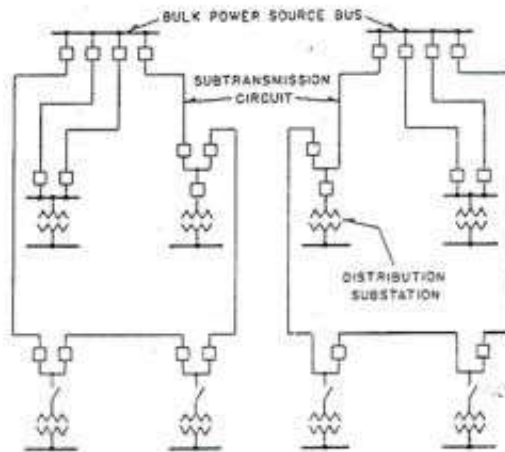


Gambar 2.4 Konfigurasi Distrisbusi Dengan Tipe Radial [2]

Topologi radial memiliki kekurangan yang penting dalam pelayanan energi listriknya. Hal ini disebabkan oleh redaman tegangan dan hilangnya daya yang signifikan, serta ketidakstabilan layanan karena hanya terdapat satu aliran penghubung antara titik sumber dan titik beban. Jika terjadi masalah pada saluran pertama atau tengah, dapat mengacaukan lintasan berikutnya dan menyebabkan terjadinya pemadaman. Untuk mengatasi masalah tersebut, telah diuji untuk menambahkan komponen pengaman seperti *fuse* dan *recloser* pada rangkaian ini.

2.3.2 Jaringan Distribusi Tipe Loop

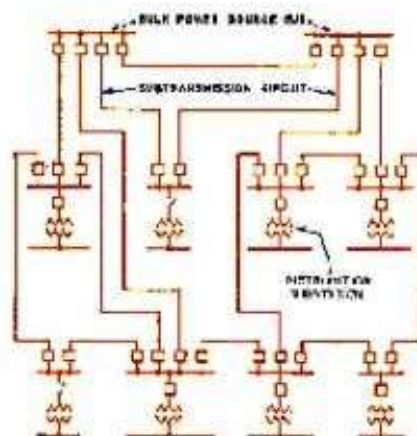
Sistem ini dirancang dengan menggabungkan beberapa sistem radial, dengan penataan yang terinspirasi dari bentuk lingkaran cincin. Konstruksi rangkaian ini memungkinkan aliran listrik dari penyulang lainnya, menjamin reliabilitas pendistribusian dan mengurangi kemungkinan terjadinya gangguan. Terdapat dua jenis tipe jaringan dalam sistem ini, yaitu tipe *open* dan *close loop*. Perbedaannya terletak pada tipe *close loop*, di mana sistem akan tetap teraliri dalam keadaan normal dan sebaliknya.



Gambar 2.5 5 Skema Konfigurasi Dengan Sistem Loop [2]

2.3.3 Jaringan Distribusi Tipe Jaring-Jaring.

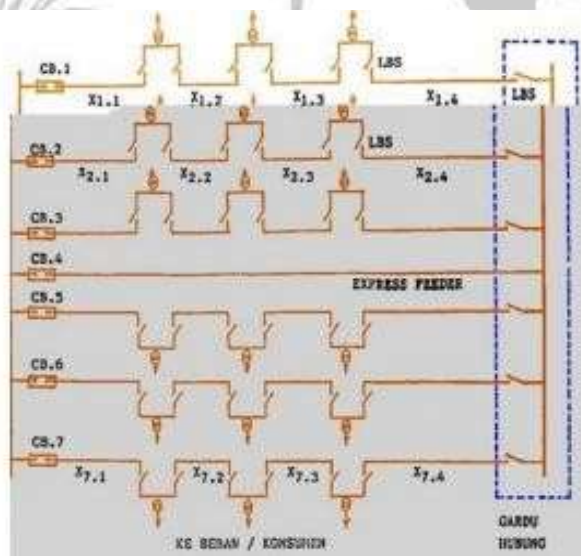
Tipe jaringan ini merupakan kombinasi antara jaringan loop dan radial, dengan adanya beberapa sumber pasokan pada bagian pembebanan. Keunggulan utama dari topologi ini terletak pada ketersediaan listrik yang tinggi, karena saling backup antara penyulang jika satu di antaranya mengalami pemadaman. Walaupun topologi ini memberikan keunggulan dalam tegangan yang stabil karena dapat meminimalkan rugi daya, namun biaya pembangunan sistem ini cukup tinggi, dan kekurangan utamanya adalah minimnya teknisi Indonesia yang memahami sistem ini,



Gambar 2.6 Konfigurasi Dengan Sistem Distribusi Tipe NET [9]

2.3.4 Jaringan Distribusi Tipe Spindel

Sistem *spindle* adalah evolusi dari sistem sebelumnya, di mana sistem ini mampu mendistribusikan energi melalui 6 penyulang secara bersamaan, dengan satu penyulang cadangan yang terdiri dari *working feeder* dan *expres feeder*. *Working feeder* merujuk pada penyulang yang sedang aktif dan terbebani oleh arus listrik, sementara *expres feeder* berperan sebagai penyulang cadangan yang tidak aktif. Fungsinya adalah sebagai alternatif jika salah satu sumber daya listrik mengalami masalah atau perlu dilakukan perawatan.



Gambar 2.7 Konfigurasi Dengan Skema Distribusi Tipe Spindel [9]

2.4 Klasifikasi Sistem Penyaluran Listrik

Pada era sekarang, sistem distribusi umumnya memanfaatkan metode pengiriman melalui jaringan udara menggunakan kawat penghantar atau kabel yang dipasang di atas tiang. Selain itu, terdapat juga sistem distribusi bawah tanah, di mana energi listrik disalurkan melalui kabel yang terletak di bagian bawah permukaan tanah.

1. Saluran Udara

Kelebihan dari jaringan yang menggunakan saluran udara merupakan kemudahan dalam proses pemasangan dan fleksibilitasnya dalam memperluas wilayah distribusi. Pada saluran ini dapat digunakan untuk mengalirkan arus yang

bertegangan cukup tinggi, melebihi 65 kV, dan memiliki kemampuan mendeteksi gangguan dengan cepat untuk keperluan perbaikan. Namun, sistem ini juga memiliki kelemahan, seperti rentan terhadap gangguan akibat petir dan faktor alam lainnya. Selain itu, terdapat penurunan tegangan yang cukup signifikan karena pengaruh panas di siang hari.

2. Saluran Bawah Tanah

Manfaat yang didapatkan dari menerapkan sistem distribusi pada bawah tanah melibatkan ketahanan terhadap suhu tinggi dan interaksi manusia. Karena berada pada bagian bawah permukaan tanah, sistem ini memiliki masa pakai yang lebih panjang dibandingkan dengan alternatif lainnya. Dari segi estetika, sistem ini tidak bergantung pada pemasangan yang ada di jalanan, dan tegangannya relatif kecil karena dampak induktansi yang minim. Namun, kelemahan dari sistem ini melibatkan biaya awal yang tinggi selama pembangunan dan potensi masalah saat terjadi tanah longsor. Selain itu, mendeteksi masalah pada sistem ini mungkin sulit karena tidak terlihat secara langsung.

2.5 Trafo Distribusi

Menyalurkan arus atau energi listrik pada tegangan terdistribusi rendah dengan tujuan mengurangi kerugian energi pada saluran menjadi sekecil mungkin. Untuk mengatasi panas yang timbul akibat beban pada transformator, perlu dilakukan pendinginan. Jenis transformator dapat dibedakan berdasarkan tipe pendingin menjadi tiga kategori [2] :

1. Tipe trafo distribusi konvensional.
2. *Include* proteksi yang ada di dalam trafo distribusi.
3. Trafo yang telah *include* sistem pengamanan dibagian luarnya.

Trafo konvensional memiliki perangkat perlindungan yang terletak di luar trafo, sementara trafo BPS memiliki perlindungan yang terintegrasi di dalamnya. Oleh karena itu, trafo jenis ini dikenal sebagai trafo BPS. Untuk mengatur tegangan beban, manipulasi dilakukan di dalam gulungan dengan tegangan yang tinggi. Oleh karena itu, trafo jenis ini dikenal sebagai trafo BPS. Untuk mengatur tegangan beban, penyesuaian dilakukan pada belitan dengan tegangan tinggi. Sebagai saran, disarankan untuk memilih tegangan setidaknya 5% di atas tegangan normal atau 10% di bawah tegangan normal. Trafo distribusi tiga fasa adalah jenis

trafo yang paling umum digunakan dalam sistem tenaga listrik karena tidak memerlukan ruang yang besar, memiliki biaya konstruksi yang lebih ekonomis, dan memerlukan perawatan yang tidak banyak memerlukan penyesuaian..

Transformator tiga fasa memiliki dua varian, yaitu dengan tegangan sekunder tunggal dan dengan tegangan sekunder ganda. Sementara itu, pada transformator bertipe satu fasa, terdapat dua jenis, yaitu dengan satu kumparan utama dan dengan dua kumparan sekunder yang saling terhubung.

2.6 Reliabilitas

Suhadi dan rekan-rekannya menyatakan bahwa saat Proteksi sistem tidak beroperasi, tidak perlu waktu yang cukup lama, namun, keamanan harus tetap menjaga tingkat keunggulan yang tinggi. Apabila sistem mengalami kegagalan operasional, dapat menyebabkan kerusakan pada komponen dan mengakibatkan pemadaman area yang dilayani, yang disebut sebagai *blackout*. Penting bahwa sistem pengamanan jaringan tidak mengalami kesalahan yang dapat menyebabkan terputusnya aliran listrik yang tidak diperlukan dan pemadaman yang seharusnya tidak terjadi.

Penempatan perangkat pengaman harus mematuhi prosedur yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, pemeliharaan dan inspeksi yang terjadwal, setidaknya dua kali setahun, terutama pada bagian rele, dilakukan dengan tujuan:

1. Apakah sistem keamanan dapat berfungsi sesuai dengan standar yang berlaku?
2. Memahami perbedaan karakteristik yang bisa berakibat serius, dan lakukan penyesuaian serta perbaikan kembali.
3. Memandingkan pada hasil uji sebelumnya untuk mengidentifikasi proses penurunan fungsi relay keamanan peralatan bantu, sehingga perbaikan atau penggantian dapat segera direncanakan.

(Richard E. Brown, 2009) Reliabilitas distribusi terkait dengan kegagalan peralatan dan gangguan yang dapat dirasakan oleh konsumen. Pada kondisi operasional normal, kecuali peralatan yang dalam posisi standby, terdapat beberapa definisi kunci yang terkait dengan reliabilitas distribusi:

1. Kejadian yang tidak terduga, seperti gangguan atau terbukanya sirkuit,

merujuk pada situasi yang tidak terjadi sesuai dengan jadwal sistem dan mengakibatkan gangguan.

2. Jika sirkuit mengalami pembukaan dan tidak dapat mengalirkan arus, ini akan mengakibatkan gangguan pada beban. Sebagai contoh, suatu rangkaian yang terbuka dapat disebabkan oleh pemutusan arus.
3. Jika sirkuit mengalami pembukaan dan tidak dapat mengalirkan arus, ini akan mengakibatkan gangguan pada beban. Sebagai contoh, suatu rangkaian yang terbuka dapat disebabkan oleh pemutusan arus.[3]

2.7 Indeks Reliabilitas Sistem Distribusi 20kV

Jaringan penyaluran energi listrik hampir berkontribusi sebanyak 40% dari total pasokan daya dan mencakup 80% masalah reliabilitas yang dihadapi oleh konsumen. Oleh karena itu, perancangan dan operasional sistem distribusi sangat krusial untuk menghindari kerugian dalam penyaluran daya tersebut. Analisis terhadap aspek utilitas, kepuasan konsumen, dan gangguan pemadaman dapat dilakukan melalui metode penilaian reliabilitas yang bersifat prediktif. Keberhasilan dalam meramalkan karakteristik reliabilitas konsumen berdasarkan topologi dan komponen sistem dianggap sangat penting. Dalam upaya mencapai tujuan ini, kalkulasi indeks reliabilitas terdistribusi menjadi krusial, di mana indeks tersebut perlu dikaitkan dengan durasi dan frekuensi pemadaman listrik. Analisis ini juga harus mempertimbangkan kondisi keseluruhan sistem distribusi dan situasi khusus yang dihadapi oleh konsumen. Meskipun menggunakan nilai rata-rata dapat mengakibatkan kehilangan beberapa informasi, seperti waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan layanan kepada konsumen terakhir, namun nilai rata-rata tetap memberikan gambaran umum tentang kondisi praktis yang ada.(Turan Gonen,2014).

2.7.1 SAIFI

Indeks frekuensi interferensi menggambarkan nilai rata-rata kegagalan dalam suatu sistem. Rumus indeks ini dirancang untuk memberikan informasi mengenai frekuensi gangguan secara berkesinambungan pada setiap pengguna di wilayah tertentu. Sehingga:

$$*9*9+**$$

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah Keseluruhan Kegagalan yang dialami Sistem}}{\text{Jumlah Keseluruhan Layanan Pelanggan}} \quad (2.1)$$

$$SAIFI = \frac{\sum t \times Ni}{Nt} \text{(Kegagalan/pelanggan/tahun)}$$

N_i = Jumlah konsumen yang terputus dari setiap peristiwa gangguan selama periode pelaporan

N_t = Jumlah total konsumen yang dilayani di area *section*.

Λt = Parameter indeks laju kegagalan.

2.7.2 SAIDI

Indeks Durasi Interferensi mencerminkan rata-rata kegagalan dalam sistem. Indeks ini kadang-kadang disebut sebagai menit atau jam konsumen yang terganggu, dan dibuat untuk memberikan informasi mengenai durasi waktu ketika konsumen umumnya mengalami gangguan. Sehingga:

$$SAIDI = \frac{\sum \text{Durasi Kegagalan yang dialami konsumen}}{\text{Jumlah Keseluruhan Layanan Pelanggan}} \quad (2.2)$$

$$SAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{N_t}$$

Dimana:

R_i = Merupakan lama waktu peralatan mengalami gangguan.

N_i = Jumlah konsumen yang terputus dari setiap peristiwa gangguan selama periode pelaporan

N_t = Jumlah total konsumen yang dilayani di area *section*.

2.8 CAIDI

Indeks durasi atau lamanya gangguan rata-rata yang dialami oleh konsumen terkena gangguan. CAIDI adalah waktu rata-rata yang diperlukan untuk mengatasi gangguan, dihitung dengan membagi total durasi gangguan dengan jumlah gangguan selama satu tahun tersebut dengan menggunakan rumus berikut:

$$CAIDI = \frac{\sum \text{Durasi pemadaman pelanggan}}{\text{Jumlah total gangguan pelanggan}} \quad (2.3)$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI}$$

2.9 Section Technique

Pendekatan *section technique* adalah metode struktural yang digunakan untuk mengidentifikasi sistem. Metode ini digunakan untuk mengevaluasi reliabilitas sistem distribusi berdasarkan dampak kegagalan perangkat terhadap kinerja sistem. Dampak dari kegagalan perangkat tunggal diidentifikasi secara sistematis dengan mengevaluasi konsekuensi yang mungkin timbul jika gangguan tersebut terjadi. Setiap kegagalan perangkat dianalisis pada semua titik beban. Pendekatan ini merupakan pendekatan *bottom-up* yang mempertimbangkan salah satu mode pada kegagalan satu waktu.[8] Indeks reliabilitas yang diukur mencakup indikator LP (*Load Point*) dan indeks sistem, baik pada tingkat bagian maupun keseluruhan sistem. Indeks titik beban mencakup:

1. Frekuensi kegagalan sistem pada setiap titik beban, yang disimbolkan sebagai λ_{LP} , dihitung dengan menjumlahkan laju kegagalan dari semua perangkat yang berperan dalam titik beban tersebut, dengan menggunakan persamaan:

$$\lambda_{LP} = \sum_{i \in A} \lambda_i \quad (2.5)$$

λ_i = jumlah kegagalan di tiap sistem dan komponennya
A = keseluruhan dari sistem yang mempengaruhi reliabilitas titik beban

2. Keseluruhan durasi gangguan tahunan untuk load point ULP, dengan maksud:

$$\text{Unavailability LP} = \sum_{i=A} U_i = \sum_{i=A} \lambda_i \times r_i \quad (2.6)$$

R_i = waktu yang dibutuhkan sistem untuk kembali normal

2.10 RIA (Reliability Index Assesment)

Metode RIA adalah metode yang cukup sederhana bertujuan untuk memprediksi indikasi gangguan dalam sistem distribusi 20 kV dengan mempertimbangkan struktur dan peralatan yang berdampak pada reliabilitas. Untuk lebih rinci, metode ini bekerja serupa dengan teknik pemilihan *section*, namun menerapkan kalkulasi yang memproyeksikan tingkat kesalahan yang bersifat sesaat atau *momentary failure rate*. Pada kalkulasi metode ini, analisis *bottom-up* digunakan untuk memahami ketidakberhasilan sistem secara spesifik pada subseksi tertentu.[12]

