

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai keandalan sistem distribusi telah banyak dilakukan di berbagai daerah, baik itu dalam negeri maupun luar negeri. Terdapat banyak metode yang dapat digunakan dalam upaya penelitian. Penulis mendasari penelitian ini dengan acuan berbagai sumber dari penelitian - penelitian yang sebelumnya. Setelah memperhatikan penelitian sebelumnya, maka penulis memilih menggunakan metode *section technique* untuk menganalisis indeks Keandalan Sistem Distribusi di PLN Rayon Kota Yogyakarta.

Jurnal dengan judul “Analisa Sistem Distribusi 20 Kv Menggunakan Metode *Section Technique* dan RIA pada Penyulang Adisucipto Pekanbaru”. Pada jurnal ini, Jufrizel, MT dan Rahmat Hidayatullah dari UIN Sultan Syarif Kasim Riau melakukan penelitian dan pengamatan di jaringan distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) Rayon Simpang Tiga Penyulang Adisucipto dengan menggunakan metode *section technique*. Dari hasil pengamatan, didapatkan hasil SAIFI 6,917 pemadaman / tahun, dan nilai SAIDI 19,585 jam / tahun. Hasil menunjukkan bahwa pendistribusian listrik di penyulang tersebut memiliki keandalan yang kurang baik, dikarenakan telah melebihi batas nilai keandalan yang telah ditetapkan oleh PLN melalui SPLN 68 – 2 : 1986.

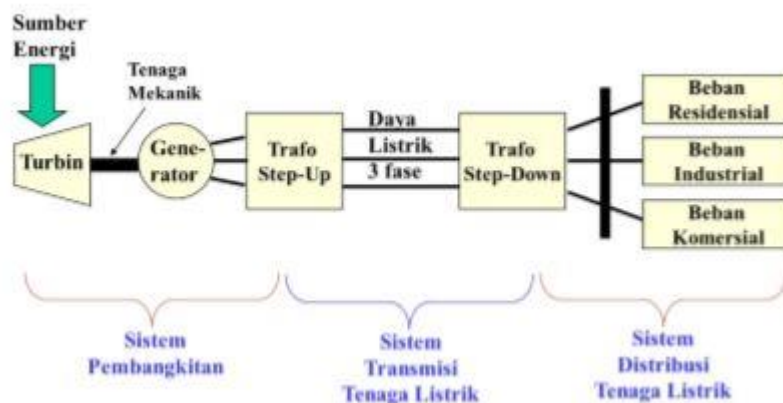
“Analisis Keandalan Sistem Distribusi Dengan Metode *Section Technique* di UPJ Wonosobo” oleh Tito Lujeng Setiawan pada tahun 2017. Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk (GI) Wonosobo pada penyulang WBO-04 dan menggunakan metode *section technique*. Hasil dari pengamatan ini yaitu, nilai SAIFI sebesar 2,775 pemadaman / tahun. Sedangkan untuk nilai SAIDI sebesar 2,9315 jam / tahun. Nominal diatas masih dibawah standar maksimal dari SPLN 68 – 2 : 1986 sehingga masih dapat dikatakan bahwa jaringan distribusi 20 kV penyulang WBO-04 dalam keadaan handal dan baik.

Selain beberapa acuan berbentuk buku fisik seperti diatas, penulis juga berusaha untuk mengembangkan penelitian ini dari berbagai sumber dan peneitian yang telah dilakukan sebelumnya. Beberapa penelitian yang dijadikan acuan adalah penelitian yang fokus meneliti masalah keandalan listrik dan khususnya menggunakan metode *section technique*. Penelitian ini dimulai dari penentuan berbagai parameter perhitungan nilai indeks awal, indeks *load point*, dan indeks keandalan sistem. Untuk mendapatkan indeks keandalan dari tiap titik beban/*load point* dari suatu sistem distribusi listrik per penyulang, digunakan berbagai acuan dan sumber-sumber data dari pihak PLN.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Pengertian secara umum mengenai sistem tenaga listrik adalah kumpulan dari beberapa peralatan yang meliputi sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi yang ketiganya saling berhubungan dan bekerja sama menghasilkan listrik, menyalurkan, sehingga dapat dinikmati oleh konsumen (Syahputra, 2010). Untuk lebih jelasnya, dapat diperhatikan pada gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 2.1 Komponen Penyusun Sistem Tenaga Listrik

(Sumber : Syahputra , 2010)

Pada bagian pembangkitan, sumber energi seperti fosil (minyak bumi, batu

bara, gas alam), hidro, dan panas bumi diolah, disalurkan, dan dimanfaatkan energi potensialnya, sehingga dapat memutar turbin dan dihasilkan energi mekanis berupa putaran pada poros turbin yang telah dihubungkan dengan generator sinkron. Pada generator ini, energi mekanis dirubah menjadi energi listrik yaitu sebesar 11 kV sampai 24 Kv dan kemudian dinaikkan tegangannya dengan transformator *step up* menjadi 70 kV, 154 kV, 220 Kv, dan 500 kV yang kemudian disalurkan melalui sistem transmisi (Suhadi , 2008).

Setelah melalui sistem transmisi, kemudian energi listrik sampai ke gardu induk. Di gardu induk ini nilai tegangan kembali diturunkan menjadi 20 kV menggunakan transformator *step down*. Selanjutnya energi listrik disalurkan melalui saluran distribusi dan ditujukan ke pusat – pusat beban yang berupa beban perumahan / *residence*, beban industri, maupun fasilitas umum. Jadi dapat disimpulkan bahwa sistem distribusi listrik merupakan untai akhir dari keseluruhan penyaluran energi listrik (Suhadi , 2008).

2.2.2 Sistem Distribusi Listrik

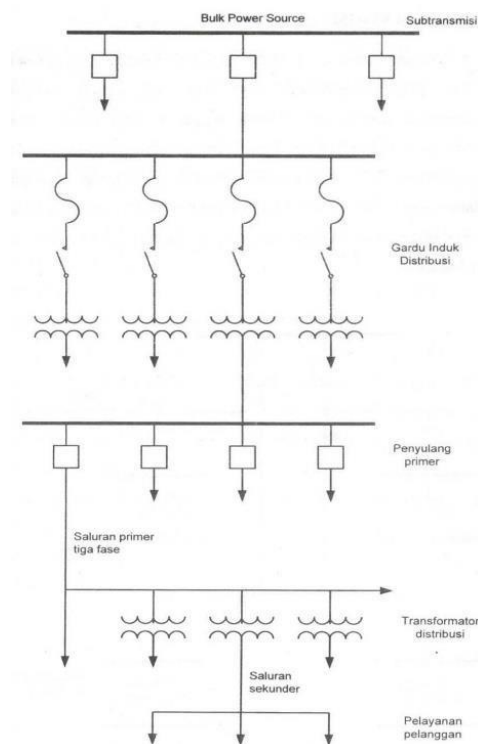
Pada dasarnya, sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem penyaluran energi listrik antara sumber (*bulk power source, BPS*) dan peralatan hubung pelanggan (*customers service switch*). Berdasarkan definisi tersebut, maka sistem distribusi meliputi berbagai perangkat sebagai berikut :

1. Sistem subtransmisi
2. Gardu induk distribusi
3. Penyulang distribusi atau penyulang primer
4. Transformator distribusi
5. Untai sekunder
6. Pelayanan pelanggan

Rangkaian subtransmisi mengirimkan energi listrik dari sumber / BPS (*Bulk Power Resource*) ke gardu induk distribusi. Tegangan subtransmisi

bertegangan antara 12,47kV hingga 245kV. Pada gardu induk distribusi, transformator daya bersama dengan peralatan pengatur tegangan, bus-bus, dan peralatan hubung (*switchgear*), bekerja menurunkan besarnya tegangan subtransmisi menjadi tegangan sistem primer yang lebih rendah dan disalurkan melalui distribusi lokal. Penyulang primer tiga fasa, beroperasi pada rentang 4,16 kV hingga 34,5 kV mendistribusikan energi listrik dari bus tegangan rendah yang terdapat pada gardu induk menuju berbagai pusat beban, yang selanjutnya dibagikan menuju sub-penyulang dan cabang tunggal tiga fasa (Syahputra , 2010).

Transformator distribusi mempunyai rating dari 10 kVA hingga 500 kVA terhubung ke penyulang utama, sub-penyulang dan cabang (*lateral*). Transformator distribusi menurunkan tegangan dari tegangan distribusi menjadi tegangan pelayanan. Pada sistem sekunder ini, jalur pendistribusian energi dari transformator distribusi menuju kepada pelanggan melalui pelayanan pelanggan .



Gambar 2.2 Single line diagram sistem distribusi

Pada dasarnya, suatu sistem bisnis penyaluran energi listrik dapat dikatakan memiliki unsur yang lengkap apabila mengandung empat unsur dasar, yaitu :

1. Terdapat unsur pembangkit tenaga listrik. Tegangan listrik yang dihasilkan dari pusat pembangkit tenaga, merupakan daya listrik dengan tegangan menengah (TM).
2. Terdapat suatu sistem transmisi, lengkap dengan gardu induk. Karena jarak yang pada umumnya jauh, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi (TT), atau tegangan ekstra tinggi (TET). Agar energi listrik yang tersalur sampai ke pelanggan tetap besar walaupun sudah terkena *losses*.
3. Terdapat saluran distribusi, pada umumnya terdiri atas saluran distribusi primer dengan tegangan menengah (TM) dan saluran distribusi sekunder dengan tegangan rendah (TR) yang menyalurkan energi listrik kepada para pengguna.
4. Adanya unsur pemakaian, yang terdiri atas instalasi pemakaian tenaga listrik. Instalasi rumah tangga umumnya menggunakan listrik tegangan rendah, sedangkan untuk pemakaian besar seperti pada industri biasanya menggunakan tegangan menengah ataupun listrik tegangan tinggi, sesuai dengan kebutuhan akan energi listrik.

Dalam menentukan desain sistem distribusi tenaga listrik, menurut Abdul Kadir (2000) terdapat tiga hal utama yang perlu mendapat pertimbangan, yaitu :

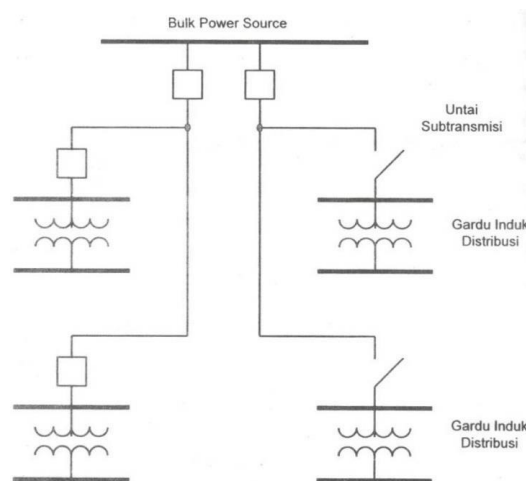
- a. Jenis sistem kelistrikan: arus searah (dc) atau arus bolak-balik (ac). Bila arus ac, perlu dipertimbangkan, satu fase atau multi fase.
- b. Jenis sistem penyediaan: radial, interkoneksi (*loop*) atau jaringan.
- c. Jenis konstruksi: saluran udara atau melalui kabel tanah.

Selanjutnya terdapat beberapa faktor pertimbangan yang perlu diperhatikan dalam menentukan desain sistem distribusi. Pertama yaitu faktor keamanan, bertujuan agar energi listrik yang disampaikan sampai kepada para pemakai dengan resiko bahaya yang seminimal mungkin, baik resiko terhadap manusia maupun perangkat penyalurannya. Faktor kedua adalah bahwa

penyediaan tenaga listrik dilakukan secara teratur, datar (stabil) dan tidak bergejolak. Maksudnya ketersediaan energi listrik diharapkan selalu stabil dan dapat dinikmati oleh para konsumen secara kontinyu. Sedangkan faktor yang ketiga adalah pertimbangan masalah ekonomi. Maksudnya energi listrik harus mampu disalurkan kepada konsumen dengan harga yang sesuai.

2.2.3 Subtransmisi

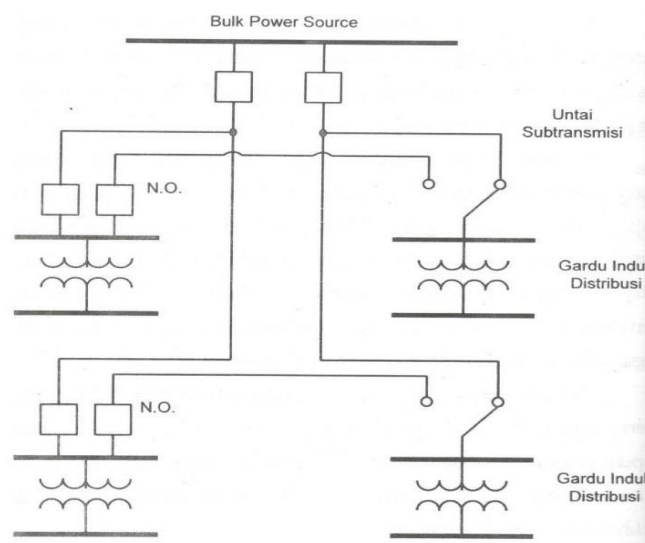
Subtransmisi merupakan bagian dari sistem transmisi yang berfungsi untuk mengirimkan daya dari sumber (*bulk power sources*), menuju ke gardu induk pada lokasi tertentu sebagaimana halnya pada gardu induk sistem transmisi. Konstruksi sistem subtransmisi dapat berupa saluran udara atau kabel bawah tanah. Tegangan pada sistem subtransmisi yaitu biasanya menggunakan level tegangan tinggi (70 kV hingga 150 kV), maupun tegangan ekstra tinggi (500 kV). Sebagian besar sistem subtransmisi menggunakan level tegangan 69 kV, 115 kV, dan 138 kV. Penggunaan dan penerapan level tegangan yang tinggi bertujuan agar arus yang mengalir menjadi lebih kecil. Hal ini bertujuan sebagai efisiensi dan faktor ekonomis karena saluran penghantar yang digunakan menjadi lebih efisien.



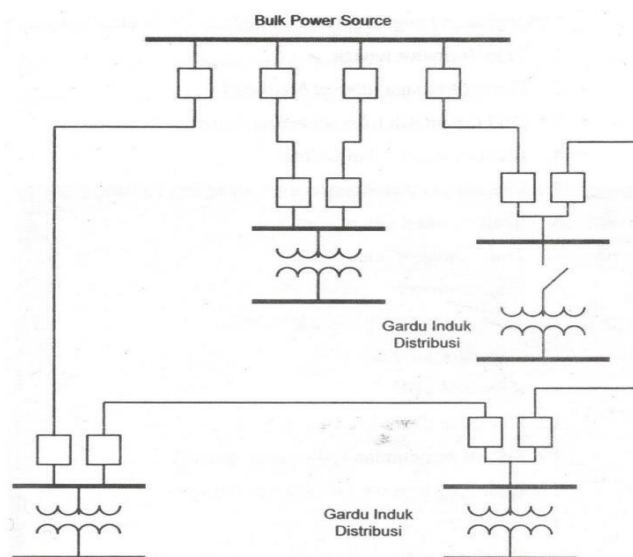
Gambar 2.3 Single line diagram subtransmisi tipe radial

Sumber: Diktat Sistem Tenaga Listrik Universitas Sumatra Utara

Sistem subtransmisi memiliki penampang dan desain yang bervariasi dari sistem subtransmisi tipe radial yang paling sederhana, hingga penampang subtransmisi yang lebih luas dan kompleks. Faktor utama penentu yang menjadi pertimbangan desain sistem subtransmisi adalah faktor ekonomi/biaya dan keandalannya.



Gambar 2.4 Single line diagram subtransmisi tipe radial yang dimodifikasi



Gambar 2.5 Diagram satu garis subtransmisi tipe interkoneksi / loop

2.2.4 Gardu Induk Sistem Distribusi

Gardu induk (GI) sistem distribusi atau yang sering disebut hanya “gardu induk” saja merupakan bagian dari sistem transmisi distribusi energi listrik yang berfungsi menerima daya listrik dan menurunkan tegangannya dari sistem subtransmisi (tegangan tinggi) menjadi tegangan distribusi primer (tegangan menengah), melalui transformator tenaga. Berdasarkan pengalaman terdahulu dan kemajuan jaman, maka desain gardu induk sistem distribusi telah distandarisasi. Akan tetapi, proses standarisasi akan terus berlangsung dan berubah dari waktu ke waktu, karena menyesuaikan dengan keadaan terkini.

Menurut konstruksinya, gardu induk dapat kita klasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Gardu Induk Pasangan Luar

Gardu induk jenis ini juga disebut gardu induk konvensional, gardu induk jenis ini menempatkan peralatan listrik di lokasi yang terbuka (*outdoor*), hanya panel kontrol, *relay*, dan sumber listrik DC yang ditempatkan di dalam gedung. Konstruksi tipe ini memiliki kelebihan diantaranya murah dalam pemasangan, maupun pengisolasiannya karena menggunakan isolasi udara. Namun seperti peralatan listrik *outdoor* lainnya, kelemahannya adalah rentan terhadap pengaruh alam dan cuaca. Sambaran petir dapat mengakibatkan tegangan lebih pada komponen gardu induk.

2. Gardu Induk Pasangan Dalam

Gardu induk tipe ini memasang komponen – komponen penyusunnya di dalam ruangan (*indoor*). Isolasi yang digunakan yaitu isolasi *Gas Insulated Switchyard (GIS)*. Kelebihan tipe pasangan dalam yaitu perawatan lebih sedikit karena tidak terpengaruh cuaca dan kondisi alam. Sedangkan kekurangannya yaitu biaya pemasangan dan konstruksi mahal.

3. Gardu Induk Pasangan Gabungan

Pada gardu tipe ini, hanya transformator yang diletakkan diluar ruangan, sedangkan yang lainnya berada di dalam ruangan.

4. Gardu Induk Bawah Tanah

Gardu induk tipe ini sebenarnya hampir sama dengan gardu induk tipe konstruksi pasangan dalam, hanya saja lokasinya berada di bawah tanah. Pemasangan konstruksi seperti ini biasanya dilakukan apabila tidak ada lahan atau area yang mampu untuk mencakup konstruksi lain.

Komponen dan perlengkapan yang terdapat di dalam gardu induk diantaranya :

1. Transformator tenaga
2. Pemutus tenaga /PMT (*circuit breakers*)
3. Saklar pemisah (*disconnecting switch*)
4. *Bus-bus station* dan isolator
5. Reaktor pembatas arus (*current-limiting reactors*)
6. Reaktor shunt (*shunt reactors*)
7. Transformator arus
8. Transformator tegangan
9. Transformator tegangan kapasitor
10. Kapasitor kopling
11. Kapasitor seri
12. Kapasitor *shunt*
13. Sistem pentanahan (*grounding system*)
14. *Lightning arrester* dan/atau celah (*gaps*)
15. *Relay* proteksi
16. Baterai
17. Peralatan pendukung lainnya

Transformator tenaga/daya merupakan komponen utama dan menjadi bagian terpenting dalam sistem kerja gardu induk distribusi. Kapasitas kemampuan dari suatu gardu induk yaitu terletak pada kapasitas daya yang terpasang pada transformator tenaga yang dipakai. Biasanya terdapat beberapa transformator pada setiap gardu induk. Hal tersebut menyesuaikan dengan besarnya daya listrik yang harus disalurkan.

Dari berbagai komponen diatas, terdapat beberapa komponen proteksi yang berfungsi agar kerusakan dapat segera ditangani dan tidak merambat ke komponen lain yang sebenarnya tidak terdampak secara langsung. Hal ini berkaitan dengan keandalan, pada gardu induk ini harus selalu terjaga kondisinya dikarenakan pada gardu induk inilah listrik dari sistem transmisi pertama kali diterima dan diturunkan tegangannya. Sehingga apabila terdapat gangguan, maka keseluruhan sistem penyaluran yang bersumber dari gardu induk dapat padam dan nilai indeks keandalan akan menurun.

2.2.5 Penyulang Distribusi Primer

Bagian diantara gardu induk distribusi dan transformator distribusi, disebut dengan sistem distribusi primer atau jaringan tegangan menengah 20 kV yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik ke pusat beban. Saluran distribusi dapat berupa saluran udara maupun saluran bawah tanah, sesuai dengan kebutuhan dan kondisi lingkungan dari beban yang membutuhkan.

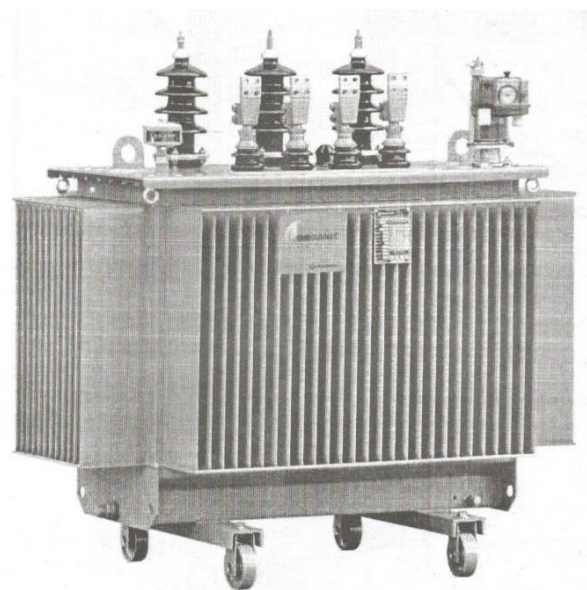
Suatu penyulang (*feeder*) berfungsi sebagai komponen output dari proses pengubahan level tenaga di gardu induk. Pada setiap gardu induk jumlah feeder dapat berbeda-beda. Di gardu induk Wirobrajan terdapat 6 penyulang pada tahun 2017. Komponen *feeder* tersusun atas penyulang utama, berupa untai tiga fasa empat kawat, dan percabangan. Biasanya untai fasa tunggal atau tiga fasa yang ditambatkan pada penyulang utama. Selain 2 komponen tersebut, juga terdapat komponen *sublateral* yang umumnya digunakan di daerah perumahan perkotaan dan pedesaan. *Sublateral* memiliki wujud untai fasa tunggal serta terdiri dari satu konduktor fasa dan konduktor netral.

Sebuah penyulang / *feeder* dalam suatu sistem distribusi primer, dapat dilakukan pemutusan menggunakan perangkat bernama *recloser* yaitu komponen yang memiliki fungsi sebagai pemutus rangkaian yang dapat bekerja dengan cepat apabila terjadi gangguan. Hal ini dilakukan melalui koordinasi seluruh sekring dan recloser. Pemutusan proses penyaluran ini dapat menurunkan nilai keandalan dari keseluruhan sistem. pemutusan dapat terjadi hanya beberapa detik maupun dapat berdurasi sampai beberapa jam. Hal ini dipengaruhi sumber atau penyebab terjadinya gangguan dan waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan.

2.2.6 Transformator Distribusi

Transformator distribusi memiliki fungsi seperti transformator pada umumnya, hanya saja transformator ini digunakan sebagai penurun (*changer tap - down*) level tegangan sistem primer tegangan menengah (2,4 s.d. 34,5 kV) menjadi level tegangan pelayanan (120 s.d. 600 V). Transformator distribusi pada saluran distribusi udara yang digunakan dapat dibagi ke dalam tiga golongan yaitu transformator konvensional, transformator swa-proteksi lengkap (*completely self-protecting, CSP*) dan transformator banking sekunder swa-proteksi lengkap (*completely self-protecting banking, CSPB*) (Suhadi , 2008).

Keandalan transformator distribusi merupakan hal yang sangat krusial, karena transformator distribusi ini merupakan komponen penting dari sebuah sistem distribusi karena transformator inilah yang menyediakan daya dari sistem distribusi kepada konsumen. Di Indonesia, untuk sistem distribusi 20 kV, transformator distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan dari 20 kV menjadi tegangan 380 V (fase ke fase) atau 220 V (fase ke netral). Pada umumnya transformator distribusi dilengkapi dengan peralatan-peralatan pendukung seperti arester, pemutus tegangan (CB), jalur pengaman (*protective link*) dan *tap changer*. Trafo distribusi biasanya ditempatkan di tiang distribusi (*over head*), sehingga disebut trafo tipe *pole*.



Gambar 2.7 Transformator Distribusi

2.2.7 Penutup Balik Otomatis (Recloser)

Penutup balik otomatis atau yang biasa disebut dengan *recloser* merupakan sebuah pengaman yang digunakan dalam sistem jaringan distribusi. *Recloser* akan bekerja bila terjadi gangguan, dengan cara membuka secara otomatis dan terhubung lagi secara otomatis apabila gangguan telah dihilangkan. *Recloser* juga memiliki fungsi sebagai pembatas (isolasi) daerah yang terkena gangguan agar tidak terhubung ke daerah lain yang masih bekerja secara baik. *Recloser* memiliki waktu operasi yang dapat diatur sesuai kebutuhan, yaitu *fast* (cepat) dan *delay* (lambat).

2.2.8 Load Break Switch (LBS)

LBS atau saklar pemutus beban merupakan saklar untuk memutuskan arus tiga fasa ketika dalam keadaan berbeban. LBS biasa dipasang pada luar ruangan, yaitu pada tiang pancang dan dikendalikan secara elektronis. Sistem LBS dikendalikan dengan *remote* atau kendali jarak jauh. LBS memutus hubungan jaringan dengan menggunakan gas SF-6.

2.2.9 Untai Penghantar Jaringan Tegangan Menengah (Primer)

Pada jaringan distribusi primer (tegangan menengah), saluran atau untai kabel yang digunakan sesuai dengan lokasi pemasangan kabel karena setiap lokasi memiliki karakteristik dan kondisi yang berbeda. Satuan baku yang digunakan pada jaringan kabel atau kawat adalah kilometer sirkuit (kms). Penggunaan satuan kilometer sirkuit (kms) adalah agar perhitungan panjang *line* menjadi lebih tepat karena hanya panjang untai saja yang dihitung. Menurut Affandi (2015), terdapat tiga pengelompokan untai kabel jaringan distribusi primer, diantaranya:

1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 6 – 20 kV

Jenis penghantar / kabel yang dipakai merupakan kabel tanpa isolasi (telanjang) seperti kabel dengan bahan kawat AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*), ACSR (*Alluminium Conductor Steel Reinforced*), dll

2. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) 6 – 20 kV

Pada jenis lokasi ini, jenis kabel yang digunakan adalah kabel dengan isolasi seperti jenis kabel MVTIC (*Medium Voltage Twisted Insulated Cable*) dan

AAACS yaitu tipe kabel berbahan *aluminium alloy* dengan pembungkus lapisan PVC.

3. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) 6 – 20 kV

Untuk lokasi didalam tanah, kabl yang digunakan adalah kabel tanam yang menggunakan isolasi PVC (*Poly Venyl Cloride*) , XLPE (*Crosslink Polyethelene*), dll.

Penggunaan kabel saluran udara memiliki kelebihan biaya pemasangan yang relatif lebih cepat dan menggunakan biaya yang lebih murah. Akan tetapi, kabel jenis ini mudah terganggu dan terpengaruh oleh kondisi cuaca dan keadaan alam. Banyaknya kabel yang melintang juga mengganggu dan memiliki nilai estetika yang buruk. Kabel jenis saluran udara ini cocok apabila digunakan untuk menyalurkan energi listrik pada tempat – tempat yang jauh.

Kabel saluran bawah tanah memiliki beberapa kekurangan yaitu biaya dan waktu pemasangan yang lebih mahal apabila dibandingkan dengan saluran udara. Apabila terjadi gangguan pada kabel bawah tanah, gangguan akan sulit ditemukan dan dilakukan perbaikan. Selain memiliki beberapa kekrangan, kabel bawah tanah juga memiliki kelebihan diantaranya yaitu lebih tahan dan kurang terpengaruh terhadap cuaca dan kondisi alam dilingkungan sekitar. Pemasangan isolasi juga berpengaruh terhadap tekanan yang diterima dibawah tanah sehingga lebih awet dalam penggunaannya. Dari segi estetika, kabel bawah tanah juga lebih baik dibandig saluran udara karena kabel tertanam di dalam tanah sehigga tidak mengganggu pandangan (Suripto).

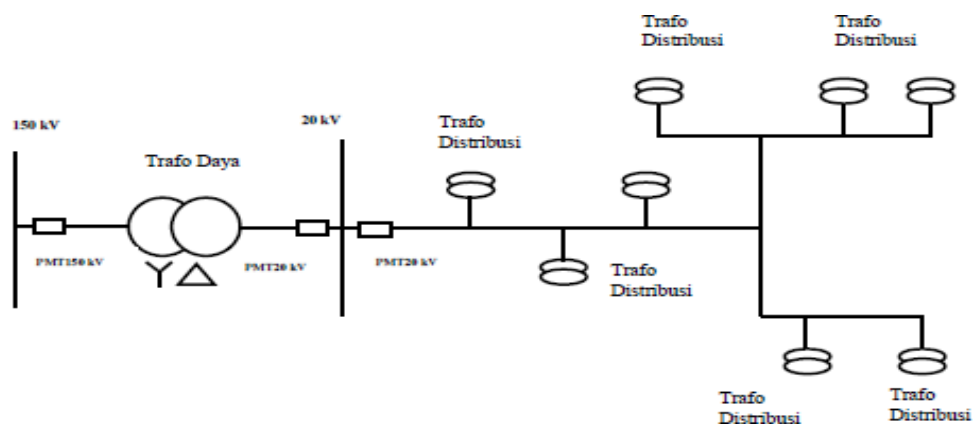
2.2.10 Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer yaitu suatu sistem awal dari keseluruhan sistem distribusi listrik dari Gardu Induk (GI) menuju ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan ini memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV. Untuk wilayah kota tegangan diatas 20 kV tidak diperkenankan, mengingat pada tegangan 30 kV akan terjadi gejala korona yang dapat mengganggu frekuensi.

Sifat pelayanan sistem distribusi sangat luas dan kompleks, karena konsumen yang harus dilayani mempunyai lokasi dan karakteristik yang berbeda. Karakteristik yang dimaksud yaitu terdapat konsumen perumahan dan konsumen sektor industri. Sistem konstruksi saluran distribusi terdiri dari saluran udara dan saluran bawah tanah. Pemilihan konstruksi tersebut didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut: alasan teknis yaitu berupa persyaratan teknis, alasan ekonomis, alasan estetika dan alasan pelayanan yaitu kontinuitas pelayanan sesuai jenis konsumen.

Terdapat 3 jenis dasar sistem pada jaringan distribusi primer yaitu :

1. Sistem radial



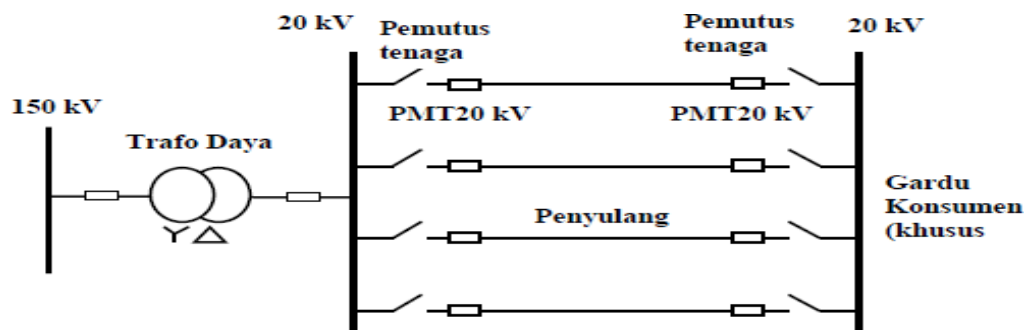
Gambar 2.8 Konfigurasi Jaringan Radial

Sistem distribusi dengan tipe radial merupakan sistem distribusi yang dinilai paling sederhana dan ekonomis. Sistem radial menggunakan beberapa penyulang untuk menyuplai gardu distribusi secara radial. Gardu distribusi merupakan tempat untuk memasang transformator distribusi. Transformator dapat diletakkan di dalam bangunan beton ataupun diletakkan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain.

Selain keandalan yang dimiliki, tentu sebuah sistem memiliki suatu kelemahan. Kelemahannya adalah sistem ini memiliki keandalan yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem distribusi lainnya. Hal ini disebabkan karena

hanya menggunakan satu jalur utama yang digunakan untuk menyuplai gardu distribusi. Apabila jalur utama yang digunakan tersebut mengalami suatu gangguan, maka akan berpengaruh pada seluruh gardu yang disuplai. Kerugian lainnya yaitu terjadinya drop tegangan pada gardu distribusi yang terletak di paling ujung. Hal ini dipengaruhi oleh jarak dari sumber ke ujung saluran. Semakin jauh saluran maka kualitas tegangan juga akan semakin menurun.

2. Sistem hantaran penghubung (*tie line*)



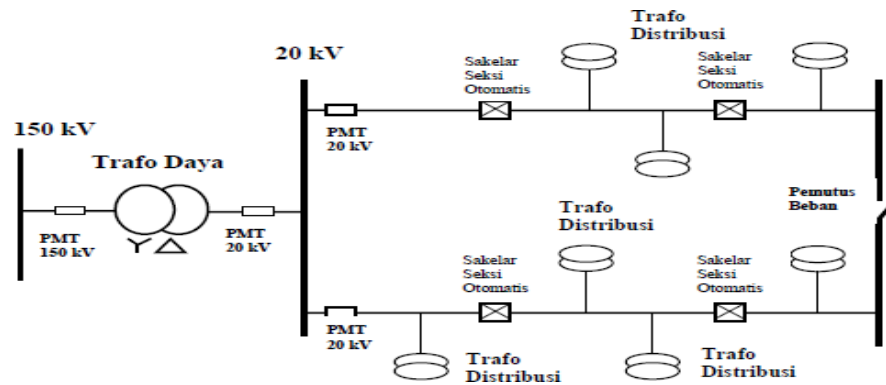
Gambar 2.9 Jaringan Distribusi *Tie Line*

Sistem ini menggunakan dua penyulang sekaligus atau lebih. *Automatic Transfer Switch* yang terdapat pada gardu konsumen khusus ditambahkan pada sistem ini, hal ini berfungsi agar suatu ketika apabila terdapat gangguan pada salah satu penyulang, maka sistem penyaluran listrik akan dipindah ke penyulang lain, sembari menunggu perbaikan pada penyulang yang mengalami gangguan.

3. Sistem *loop*

Sistem *loop* merupakan perpaduan dari dua buah sistem radial. Pada dasarnya, sistem *loop* mempunyai sistem operasi yang sama dengan sistem radial. Namun keandalan dari sistem ini dapat dikatakan lebih baik apabila dibandingkan dengan sistem radial biasa. Hal ini disebabkan karena jumlah penyulang pada sistem *loop* adalah lebih dari satu buah penyulang yang dipasok dari beberapa gardu induk. Jadi apabila terjadi gangguan pada salah satu penyulang, maka penyulang yang lain dapat melakukan *back up* sembari menunggu perbaikan yang dilakukan pada penyulang yang mengalami kerusakan. Sistem *loop*

merupakan sistem saluran distribusi yang paling banyak digunakan, dikarenakan sifat dan konfigurasinya yang dapat dikatakan lebih baik apabila dibandingkan dengan sistem distribusi lainnya.



Gambar 2.10 Sistem distribusi tipe *Loop*

2.2.11 Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder merupakan jaringan distribusi listrik tegangan rendah (TR), yang berhubungan langsung dengan konsumen. Pada jaringan ini, dilakukan penyaluran langsung daya listrik menuju kepada konsumen. Jadi dapat dikatakan bahwasannya bagian sekunder merupakan bagian akhir dari keseluruhan sistem penyaluran energi listrik dari sumber yang berupa pembangkit sampai kepada konsumen pengguna listrik, baik konsumen perumahan maupun konsumen yang berupa industri dan fasilitas umum.

Jaringan distribusi sekunder ini menggunakan tegangan 130/230 V dan 130/400 V untuk sistem lama, atau 380/220 V untuk sistem baru. Tegangan 220 V merupakan besarnya tegangan antara fasa dengan netral. Sedangkan 380 V merupakan tegangan antar fasa. Jaringan ini menggunakan untai 4 pengawatan, yaitu dengan sebuah netral dan 3 buah fasa. Penempatan kawat netral diletakkan di posisi paling atas, hal ini bertujuan agar suatu saat apabila terjadi sentuhan benda yang mengenai saluran, resiko keselamatan dapat diminimalisir karena benda itu tertahan di kawat netral dahulu sebelum menyentuh fasa. Hal ini juga mengurangi resiko kerusakan yang dapat menyebabkan terjadinya pemadaman.

Pada jaringan distribusi sekunder inilah sering terjadi gangguan, terutama gangguan non teknis. Gangguan tersebut dapat berupa ranting, binatang, dan benda – benda milik warga yang tidak sengaja menyentuh untai kabel dan menyebabkan gangguan. Indonesia sendiri merupakan negara tropis yang setiap tahunnya mengalami musim penghujan, yang dapat meningkatkan intensitas terjadinya gangguan non teknis. Maka dari itu, benda – benda yang memungkinkan terjadinya gangguan harus dijauhkan dan dihindarkan dari sistem jaringan distribusi sekunder, agar pasokan listrik dapat berjalan baik dan memiliki nilai keandalan yang tinggi.

2.2.12 Tegangan Distribusi

Besarnya tegangan yang digunakan dalam sistem jaringan distribusi dibagi menjadi beberapa jenis, diantaranya :

1) Tegangan Menengah (TM)

Tegangan menengah yaitu tegangan yang memiliki rentang antara 1 kV sampai dengan 30 kV. Indonesia menggunakan besaran tegangan menengah (TM) yaitu sebesar 20 kV. Tegangan ini digunakan dalam penyaluran energi listrik dari Gardu Induk (GI) menuju ke gardu - gardu distribusi. Konsumen tegangan menengah seperti pada industri, menyalurkan langsung energi listrik langsung dari Gardu Induk (GI) tanpa melalui gardu induk distribusi, dan biasanya menggunakan transformator sendiri. Berbeda dengan konsumen tegangan rendah yang harus melalui gardu induk distribusi terlebih dahulu.

2) Tegangan Rendah (TR)

Tegangan rendah yaitu rentang tegangan dengan nilai di bawah 1 kV yang digunakan pada penyaluran daya dari gardu distribusi melalui transformator distribusi kepada konsumen tegangan rendah. Penyaluran listrik tegangan rendah menggunakan sistem tiga fasa dengan empat kawat yang dilengkapi netral. Indonesia menggunakan tegangan antar fasa 380 V dan tegangan antara fasa dengan netral sebesar 220 V.

2.2.13 Beban Sistem Distribusi

Beban listrik adalah banyaknya atau besarnya daya listrik yang dibutuhkan dari peralatan - peralatan yang terhubung pada sistem tenaga listrik untuk menyelesaikan tugas tertentu. Karakteristik beban dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori berdasar daya dan tegangan yang dibutuhkan secara umum, yaitu (Willis, 2004):

1. *Constant power*, kebutuhan daya selalu tetap/konstan, berapapun besarnya nilai tegangan yang digunakan. Contoh : motor listrik, ketika terjadi *drop* tegangan, maka dari beban akan menyerap arus lebih besar yang bertujuan agar daya yang diperlukan tetap stabil.
2. *Constant Impedance*, kebutuhan beban akan selalu menyesuaikan dengan tegangan yang digunakan. Contoh : lampu pijar, ketika terjadi *drop* tegangan maka besarnya arus yang diserap akan lebih kecil, sehingga kebutuhan daya juga turun.
3. *Constant Current*: kebutuhan daya akan sebanding dengan tegangan yang digunakan. Contoh : peralatan las, apabila terjadi jatuh tegangan maka daya yang diperlukan juga turun

Beban dari pelanggan baik yang berupa pelanggan individu maupun berkelompok, tentu dapat mempengaruhi kondisi jaringan distribusi listrik. Peralatan rumah tangga seperti televisi, lampu dan lain-lain dapat sewaktu-waktu dinyalakan serta dimatikan. Keadaan tersebut tentu akan memberi dampak terhadap kondisi dan karakteristik beban jaringan distribusi listrik secara menyeluruh. Ada beberapa istilah yang digunakan dalam analisis jaringan distribusi tenaga listrik (Kersting, 2002 : 291):

1. *Demand*

Beban rata-rata dalam suatu satuan kW, kVar, kVA, atau A selama duarasi waktu yang ditentukan (menit atau jam). Contoh: 200 kW dalam interval waktu selama 30 menit.

2. *Maximum demand*

Beban maksimal yang terjadi selama interval waktu yang ditentukan, meliputi durasi, waktu dan unit. Contoh: beban tertinggi 200 kW dalam rentang waktu satu bulan, interval waktu pengukuran selama 30 menit.

3. *Average Demand*

Rerata besarnya beban dalam suatu periode waktu tertentu (hari, minggu, bulan ataupun tahun). Dihitung berdasarkan pada beban rata-rata dalam suatu interval waktu tertentu (menit atau jam). Contoh : rerata beban 200 kW selama periode satu bulan, dengan interval pengukuran 30 menit.

4. *Load Faktor*

Rasio perbandingan antara *average demand* dengan *maximum demand* .

2.2.14 Gangguan Sistem Distribusi

Gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi banyak terjadi pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) karena pada umumnya tidak menggunakan isolasi pengaman dan lebih rentan apabila terjadi gangguan cuaca dan pengaruh alam. Frekuensi gangguan yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya keandalan dan kualitas penyaluran listrik yang rendah. Gangguan yang terjadi pada sistem distribusi dapat bersasal dari berbagai sumber. Ada gangguan yang berasal dari dalam sistem sendiri atau disebut gangguan teknis, dan ada pula gangguan yang berasal dari luar sistem atau gangguan non-teknis.

a) Gangguan teknis, diantaranya :

1. Tegangan lebih dan / atau arus lebih
2. Pemasangan komponen yang kurang tepat
3. Peralatan yang dimakan usia

b) Gangguan non-teknis, diantaranya :

1. Cuaca dan keadaan alam (sambaran petir, kilat, hujan)
2. Kerusakan komponen yang disebabkan gangguan binatang

Gangguan pada sistem distribusi menurut sifatnya, dapat dibagi menjadi :

1. Gangguan Temporer

Gangguan ini cenderung memiliki durasi yang sebentar karena dapat hilang dengan sendirinya. Pembetulan gangguan dapat dilakukan dengan cara *autorecloser* yaitu dengan pemutusan bagian yang menjadi pusat gangguan, lalu menutup balik kembali secara otomatis. Selain secara otomatis, penutupan jaringan terganggu juga dapat dilakukan secara manual melalui operator. Apabila sering terjadi gangguan temporer, dan alat pengaman (*recloser*) tidak bekerja dengan baik, maka dapat mengakibatkan menjadi sebuah gangguan permanen.

2. Gangguan Permanen

Gangguan ini bersifat tetap dan proses perbaikan serta penghilangan gangguan dapat memakan waktu lebih lama. Langkah antisipasi untuk menghindari gangguan yang bersifat permanen adalah perawatan secara berkala dan melengkapi suatu sistem dengan relay yang dapat bekerja sesuai fungsi dan daerah pengamanannya.

2.2.15 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan adalah kemampuan suatu sistem untuk bekerja secara optimal, dalam durasi waktu tertentu dan dalam berbagai macam kondisi. Keandalan suatu sistem distribusi listrik, erat kaitannya dengan pemutusan aliran listrik yang disebabkan karena terjadinya suatu gangguan. Nilai keandalan sistem distribusi yaitu berbanding terbalik dengan jumlah pemutusan beban. Nilai keandalan sistem distribusi dapat dikatakan rendah ketika jumlah pemutusan jumlahnya tinggi, dan begitu pula sebaliknya. Kita perlu mengetahui keandalan dari suatu sistem dalam hal pelayanan konsumen untuk dapat mengetahui mutu dan kualitas penyediaan pasokan energi listrik

Menurut sudut pandang kelistrikan, keandalan memiliki pengertian sebagai kemampuan dari suatu sistem atau unit untuk bekerja secara maksimal dalam keadaan dan durasi waktu tertentu. Biasanya, para engineer dapat menentukan

kualitas keandalan dari suatu jaringan distribusi listrik dengan perhitungan durasi rata – rata seringnya terjadi gangguan (*interruptions*) yang sering terjadi pada jaringan distribusi listrik yang menuju ke beban (*customer*) yang kita ketahui sebagai teknik perhitungan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*).

Keandalan yang tinggi dari suatu sistem distribusi energi listrik tentu menjadi dambaan segala pihak. Karena apabila nilai keandalannya rendah, tentu akan merugikan baik pihak konsumen maupun produsen listrik. Apalagi bagi pengguna listrik daya besar seperti pada industri, tentu apabila terjadi gangguan dan listrik padam maka akan berpengaruh pada jumlah produksi suatu barang dan kemungkinan juga terjadi kerusakan alat - alat produksi. Maka dari itu, perlu dilakukan penelitian dan pengambilan data – data yang diperlukan guna mengetahui level keandalan dari suatu sistem distribusi, dan untuk upaya perbaikan kualitas jaringan serta pencegahan terjadinya gangguan.

Tingkat keberlangsungan pasokan listrik dari suatu sistem penyaluran dapat diketahui dari indeks durasi yang dibutuhkan untuk listrik dapat tersalurkan kembali setelah terjadi pemutusan aliran yang diakibatkan karena suatu gangguan (SPLN 52, 1983). Beberapa tingkatan tersebut yaitu :

- 1) Tingkat 1 : Durasi pemadaman dapat berjam-jam lamanya, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mencari dan menganalisa, serta proses perbaikan pada bagian yang mengalami gangguan.
- 2) Tingkat 2 : Durasi pemadaman beberapa jam, yaitu durasi yang dibutuhkan untuk proses karantina kerusakan, dan waktu untuk pemindahan sumber suplai listrik yang diambilkan dari sumber lain.
- 3) Tingkat 3 : Proses pemadaman memakan waktu beberapa menit, yaitu proses manipulasi yang dilakukan oleh petugas yang berjaga di gardu dalam melakukan pendeteksian gangguan dan pelaksanaan manipulasi dari jarak jauh menggunakan bantuan DDC (*Distributed Control Center*).
- 4) Tingkat 4 : Proses pemadaman memakan waktu beberapa detik. Waktu dibutuhkan untuk pengamanan dan manipulasi yang dilaksanakan secara otomatis dari DDC.

- 5) Tingkat 5 : Tanpa memadamkan aliran listrik. Yaitu ketika terjadinya gangguan, namun jaringannya telah dilengkapi dengan instalasi cadangan secara terpisah dan otomatis secara penuh menggunakan DDC.

2.2.15.1 Frekuensi Gangguan

Frekuensi gangguan (*failure rate*) untuk setiap load point λ_{LP} merupakan penjumlahan dari semua laju kegagalan yang berpengaruh terhadap load point λ_{LP} , dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\lambda_{LP} = \text{Failure rate Peralatan} \times \text{Panjang Saluran Udara}$$

2.2.15.2 Durasi Gangguan

Durasi / lamanya gangguan pada λ_{LP} yang terjadi selama satu tahun rata – rata, dengan rumusan sebagai berikut :

$$ULP = \text{Failure rate Peralatan} \times \text{Repair / Switching Time peralatan}$$

2.2.16 Metode Section Technique

Section Technique adalah sebuah metode yang tersusun atas beberapa perhitungan terstruktur yang digunakan untuk menganalisa suatu sistem. Pengaruh dari gangguan peralatan akan dianalisa, kemudian dilakukan pengamatan apa yang terjadi bagi sebuah sistem secara keseluruhan. Selanjutnya, tiap – tiap kegagalan dari peralatan akan dianalisa dari semua titik beban (*load point*).

Jufrizel dan Rahmat (Jurnal SNTIKI 9, 18-19, Mei 2017 : 3) menyebutkan, Pada penggunaan metode *Section Technique*, kegagalan dari suatu sistem diasumsikan bahwa hal tersebut bukan merupakan suatu kegagalan yang saling berhubungan, dengan kata lain kegagalan alat akan dianalisa secara terpisah. Hal tersebut dapat mengurangi kompleksitas perhitungan apabila pengamatan dilakukan secara keseluruhan sistem. Maka agar lebih sederhana, perhitungan dilakukan secara terpisah per bagian.

Dalam perhitungan menggunakan metode *section technique*, hasil keandalan akan didapat dengan melakukan perhitungan indeks *load point* serta

beberapa data sistem secara keseluruhan. Setelah didapatkan indeks load point diatas, maka akan dapat dilakukan perhitungan dengan tujuan mengetahui keandalan dari sebuah rangkaian peralatan secara individual. Setelah mendapat hasil nilai keandalan, diharapkan dilakukan evaluasi dari gangguan – gangguan yang dapat mempengaruhi kinerja sistem distribusi agar kejadian serupa dapat diminimalisir di kemudian hari.

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

Nilai frekuensi rata – rata pemadaman listrik per pelanggan dapat dihitung dengan rumus dibawah. Setelah didapatkan hasilnya, nilai itulah yang disebut sebagai indeks keandalan SAIFI. Rumusnya adalah :

$$\text{SAIFI LP N} = \frac{\lambda \text{LP.N LPN}}{\sum N_{total}}$$

Penjelasan mudahnya, nilai indeks keandalan SAIFI merupakan besarnya *failure rate* (λ) dari sebuah sistem distribusi keseluruhan yang ditinjau dari sisi jumlah pelanggan yang terlayani.

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

Nilai indeks keandalan SAIDI merupakan hasil perhitungan untuk mengetahui rata - rata durasi atau lamanya waktu pemadaman yang dialami oleh pelanggan. Rumus perhitungan SAIDI adalah :

$$\text{SAIDI LP N} = \frac{U \text{LP.N LPN}}{\sum N_{total}}$$

2.2.17 Standar SPLN No.59 : 1985

Penggunaan SPLN No.59 : 1985 bertujuan untuk menyamakan standarisasi serta sebagai pegangan atau parameter yang jelas dalam penentuan tingkat keandalan suatu jaringan distribusi, juga sebagai patokan dalam penentuan proyeksi kedepan bagi PT. PLN (Persero). Berikut data standarisasi menurut SPLN No.59 : 1985 untuk jaringan distribusi :

Tabel 2.1 Nilai indeks keandalan saluran udara

Saluran Udara	
<i>Sustained failure rate</i> (λ /kms/yr)	0,2
<i>r</i> (<i>repaire time</i>) (jam)	3
<i>rs</i> (<i>switch time</i>) (jam)	0,15

Tabel 2.2 Indeks Kegagalan Peralatan

Komponen	<i>Failure rate</i>	<i>Repair time</i> (jam)	<i>Switch time</i> (jam)
Trafo Distribusi	0,005/unit/tahun	10	0,15
<i>Circuit Breaker</i>	0,004/unit/tahun	10	0,15
<i>Sectionalizer</i>	0,003/unit/tahun	10	0,15

Sumber: SPLN No.59 : 1985

2.2.18 *Energy Not Supplied (ENS) dan Average Energy Not Supplied (AENS)*

Energy Not Supplied (ENS) merupakan suatu hasil dari perhitungan yang menunjukkan besarnya daya yang tidak tersalurkan kepada pelanggan yang diakibatkan karena terjadinya gangguan yang menghambat proses penyaluran energi listrik selama durasi satu tahun. Perhitungan nilai ENS dilakukan dengan menggunakan data tegangan ketika terjadi gangguan (Kv), arus (A) yang terdeteksi, serta durasi terjadinya gangguan (jam). Untuk lebih jelasnya, rumus perhitungan ENS dalam satu tahun dapat dilihat pada rumus berikut :

$$\text{ENS} = \text{Daya Gangguan (kW)} \times \text{Durasi (jam)}$$

Karena nilai daya gangguan belum terdapat dalam data dari PT PLN (Persero), maka kita dapat mendapatkan nilai daya gangguan dengan menggunakan rumus di bawah ini

$$\text{Daya Gangguan} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

Dimana : V = tegangan (kV)

I = Arus (Ampere)

$$\cos \varphi = 0,85$$

Dari rumus diatas digunakan $\cos \varphi$ atau faktor daya sebesar 0,85. Nilai tersebut didapatkan dari hasil perbandingan daya aktif dan daya semu. Daya semu merupakan besarnya daya nominal yang didapatkan dari hasil perhitungan, sedangkan daya aktif merupakan daya listrik yang bisa digunakan untuk keperluan peralatan elektronik. Adanya beban induktif yang berasal dari beban berupa motor induksi, maka terjadilah daya yang tidak bisa dinikmati atau disebut daya reaktif. Jadi daya semu tidak sepenuhnya menjadi daya aktif. Apabila hal itu terjadi maka $\cos \varphi$ yang digunakan adalah 1. Nilai 0,85 merupakan batas penalti atau batas ketetapan dari PT PLN (Persero). Penetapan batas faktor daya bertujuan agar penyaluran energi listrik dapat berguna semaksimal mungkin

Average Energy Not Supplied (AENS) merupakan rata – rata energi yang tidak tersalurkan pada masing – masing pelanggan yang dilayani akibat gangguan yang terjadi selama durasi satu tahun. Untuk lebih jelasnya akan diperlihatkan pada rumus di berikut ini :

$$\mathbf{AENS} = \frac{\mathbf{ENS}}{\Sigma N}$$

Pada penyulang WBN-01 nilai ENS dapat dilakukan dengan mengolah data gangguan yang telah didapat dari pihak PT PLN (Persero), dengan menggunakan rumus di atas.