

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang keandalan sistem distribusi telah banyak dilakukan di berbagai daerah baik itu di Indonesia maupun luar negeri banyak metode yang digunakan tergantung dari berbagai perspektif. Oleh karena itu, penulis mendasari penelitian ini dari berbagai penelitian sebelumnya sebagai acuan untuk menganalisis indeks Keandalan Sistem Distribusi di PLN Rayon Wonosobo menggunakan metode *Section Technique*. Berikut ini merupakan rujukan penelitian yang pernah dilakukan untuk mendukung penulisan skripsi, diantaranya :

Abdul Kadir (2000) dengan judul buku “Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik”. Buku ini berisikan hal yang berhubungan dengan sistem distribusi. Mulai dari deskripsi sistem tenaga listrik sampai hantaran udara dan kabel tanah.

Ramadoni Syahputra (2015) dengan judul buku “Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik”. Buku ini berisikan hal yang berhubungan dengan sistem distribusi tenaga listrik mulai dari subtransmisi, gardu induk bahkan sampai pelayanan pelanggan (*service drops*).

Dalam hal ini, penulis mencoba mengembangkan penelitian ini terhadap aspek kelistrikan yang juga bersumber dari berbagai penelitian sebelumnya, yaitu mengenai indeks keandalan pada sistem distribusi. Dengan adanya indeks keandalan suatu sistem distribusi yang digunakan untuk mengukur tingkat keandalan dari tiap-tiap beban/*load point*. Dalam pengujian ini diawali dengan menentukan parameter-parameter perhitungan nilai indeks awal, indeks per-bus, indeks *load point*, indeks keandalan sistem dan tampilan program. Dengan adanya penelitian sebelumnya akan memberi gambaran mengenai hasil penelitian ini kedepannya.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

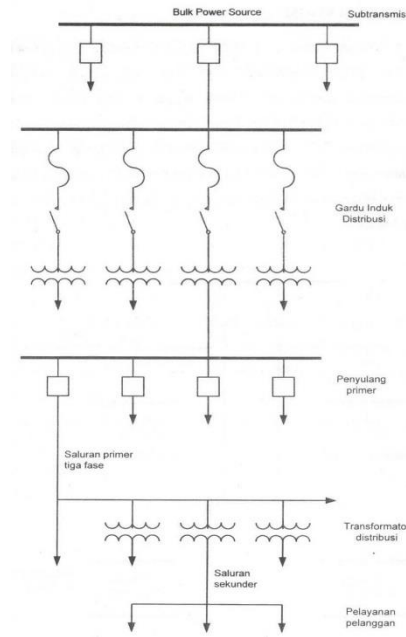
Secara umum, sistem distribusi adalah bagian dari sistem perlengkapan elektrik antara sumber daya besar (*bulk power source, BPS*) dan peralatan hubung pelanggan (*customers service switches*). Berdasarkan definisi ini maka sistem distribusi meliputi komponen-komponen berikut :

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

Akan tetapi, beberapa engineer sistem distribusi lebih suka mendefinisikan sistem distribusi sebagai bagian dari sistem perlengkapan elektrik antara gardu induk dan pelanggan.

Gambar 2.1 menunjukkan diagram satu garis dari sistem distribusi yang khas. Rangkaian subtransmisi mengirimkan energi dari BPS ke gardu induk distribusi. Tegangan subtransmisi berkisar antara 12,47kV dan 245kV. Gardu induk distribusi, dimana menjadikan transformator daya bersama-sama dengan peralatan pengatur tegangan, bus-bus, dan peralatan hubung (*switchgear*), menurunkan tegangan subtransmisi ke tegangan sistem primer yang lebih rendah untuk distribusi lokal. Penyulang primer tiga fase, yang biasanya beroperasi padarentang tegangan 4,16 kV hingga 34,5 kV mendistribusikan energi listrik dari bus tegangan rendah pada gardu induk ke pusat-pusat beban. Pada pusat-pusat beban tersebut kemudian dibagi-bagikan menuju sub-penyulang dan cabang tunggal tiga fase.

Transformator distribusi yang mempunyai rating dari 10 kVA hingga 500 kVA biasanya terhubung ke penyulang utama, sub-penyulang dan cabang (*lateral*). Transformator distribusi menurunkan tegangan distribusi ke tegangan pelayanan. Sistem sekunder ini memfasilitasi jalur untuk mendistribusikan energi dari transformator distribusi ke pelanggan melalui pelayanan pelanggan (*service drops*).



Gambar 2.1 Diagram satu garis sistem distribusi

Sekalipun tidak terdapat suatu sistem tenaga listrik yang “tipikal”, namun pada umumnya dapat dikembalikan batasan pada suatu sistem yang lengkap mengandung empat unsur. *Pertama*, adanya suatu unsur pembangkit tenaga listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik itu biasanya merupakan tegangan menengah (TM). *Kedua*, suatu sistem transmisi, lengkap dengan gardu induk. Karena jarak yang biasanya jauh, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi (TT), atau tegangan ekstra tinggi (TET). *Ketiga*, adanya saluran distribusi, yang biasanya terdiri atas saluran distribusi primer dengan tegangan menengah (TM) dan saluran distribusi sekunder dengan tegangan rendah (TR). *Keempat*, adanya unsur pemakaian atas utilitasi, yang terdiri atas instalasi pemakaian tenaga listrik. Instalasi rumah tangga biasanya memakai tegangan rendah, sedangkan pemakaian besar seperti industri biasanya memakai tegangan menengah ataupun tegangan tinggi. Perlu dikemukakan bahwa suatu sistem dapat terdiri atas beberapa subsistem yang saling berhubungan, atau yang biasa disebut sebagai sistem interkoneksi.

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

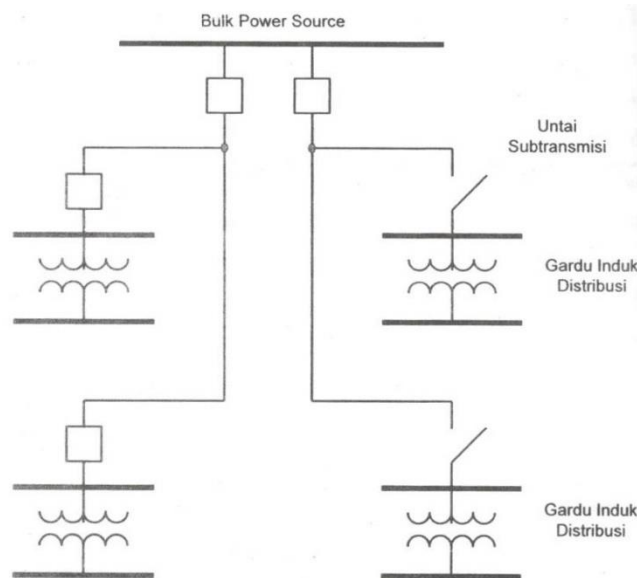
- a. Jenis sistem kelistrikan: arus searah (dc) atau arus bolak-balik (ac). Bila arus ac, perlu dipertimbangkan, satu fase atau multi fase.

- b. Jenis sistem penyediaan: radial, lup (*loop*) atau jaringan.
- c. Jenis konstruksi: saluran udara atau kabel tanah.

Selanjutnya ada pula beberapa faktor yang perlu mendapatkan pertimbangan. Pertama adalah faktor keamanan sehingga energi listrik dapat disampaikan kepada para pemakai dengan risiko bahaya yang minimal. Faktor kedua adalah bahwa penyediaan tenaga listrik dilakukan secara teratur, datar dan tidak bergejolak. Sedangkan faktor ketiga adalah pertimbangan ekonomi. Energi listrik harus dapat disampaikan kepada para konsumen dengan harga yang memadai.

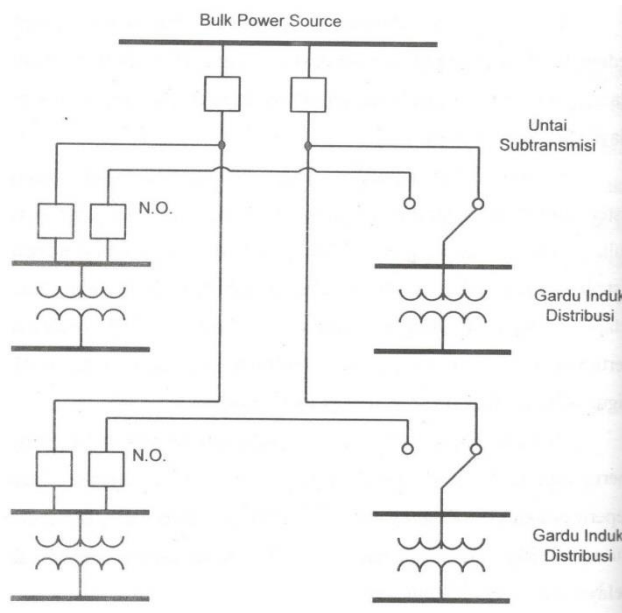
2.2.2 Subtransmisi

Sistem subtransmisi adalah bagian dari sistem perlengkapan elektrik yang mengirimkan daya dari *bulk power sources*, sebagaimana halnya gardu induk transmisi yang besar. Untuk subtransmisi konstruksinya dapat berupa saluran udara terbuka (*overhead open-wire konstruktion*) atau kabel bawah tanah. Tegangan untai tersebut bervariasi dari 12,47 kV hingga 245 kV. Sebagian besar subtransmisi menggunakan tingkat tegangan 69 kV, 115 kV, dan 138 kV.

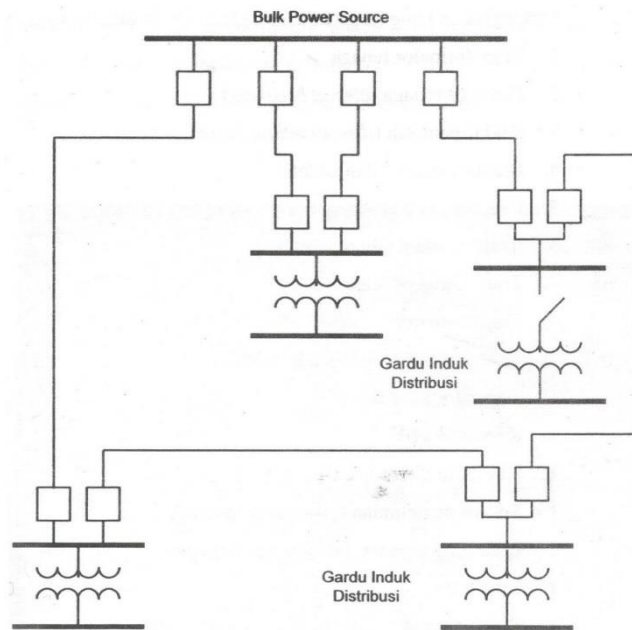


Gambar 2.2 Diagram satu garis subtransmisi tipe radial

Desain sistem subtransmisi bervariasi dari sistem radial sederhana hingga jaringan subtransmisi yang luas. Pertimbangan utama yang mempengaruhi desain sistem subtransmisi adalah faktor biaya dan keandalannya.



Gambar 2.3 Diagram satu garis subtransmisi tipe radial yang dimodifikasi



Gambar 2.4 Diagram satu garis subtransmisi tipe loop

2.2.3 Gardu Induk Distribusi

Gardu induk (GI) distribusi sering hanya disebut “gardu induk” saja. Desain gardu induk distribusi telah distandarisasi oleh industri perlengkapan elektrik berdasarkan pengalaman terdahulu. Akan tetapi proses standarisasi terus berlangsung dari waktu ke waktu, menyesuaikan dengan keadaan terkini.

Perlengkapan yang terdapat dalam gardu induk diantaranya :

1. Transformator tenaga
2. Pemutus tenaga (*circuit breakers*)
3. Saklar pemisah (*disconnecting switch*)
4. Bus-bus stasiun 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 pembumian (*grounding system*)
14. Lightning arrester dan/atau celah (*gaps*)
15. Line traps
16. Rele proteksi
17. Baterai
18. dan peralatan pendukung lainnya.

Transformator tenaga atau daya merupakan peralatan utama dan terpenting dalam gardu induk distribusi. Kapasitas suatu gardu induk terletak pada kapasitas daya terpasang pada transformator tenaga yang digunakan.

Selain transformator tenaga, pada gardu induk juga terdapat peralatan penting lainnya diantaranya transformator arus, transformator tegangan, pemutus tenaga (CB), saklar pemisah (DS), dan lain-lain. Transformator arus dan transformator tegangan digunakan untuk keperluan proteksi dan alat ukur. Pemutus tenaga (*circuit breakers*) digunakan untuk memutus daya listrik bila terjadi gangguan, baik dalam keadaan berbeban maupun tidak berbeban. Saklar pemisah (*disconnecting switch*) dipasang untuk mengisolasi peralatan-peralatan yang mungkin tersuplai daya besar.

2.2.4 Penyulang Distribusi Primer

Bagian dari sistem perlengkapan elektrik antara gardu induk distribusi dan transformator distribusi disebut sistem distribusi primer. Sebuah penyulang (*feeder*) terdiri dari penyulang utama, yang biasanya untai tiga fase empat kawat, dan percabangan atau *lateral*, yang biasanya untai fase tunggal atau tiga fase yang ditambatkan pada penyulang utama. Selain itu juga terdapat *sublateral* berlokasi dalam daerah perumahan perkotaan dan pedesaan adalah berfase tunggal dan terdiri dari satu konduktor fase dan konduktor netral. Sebagian besar transformator distribusi merupakan fase tunggal dan terhubung antara fase dan netral melalui pemutus sekring.

Penyulang dalam sistem distribusi primer dipisahkan oleh piranti *reclosing* pada berbagai lokasi digunakan untuk memutuskan rangkaian secepat mungkin apabila terjadi gangguan. Hal ini dapat dicapai melalui koordinasi operasi dari seluruh sekring dan recloser.

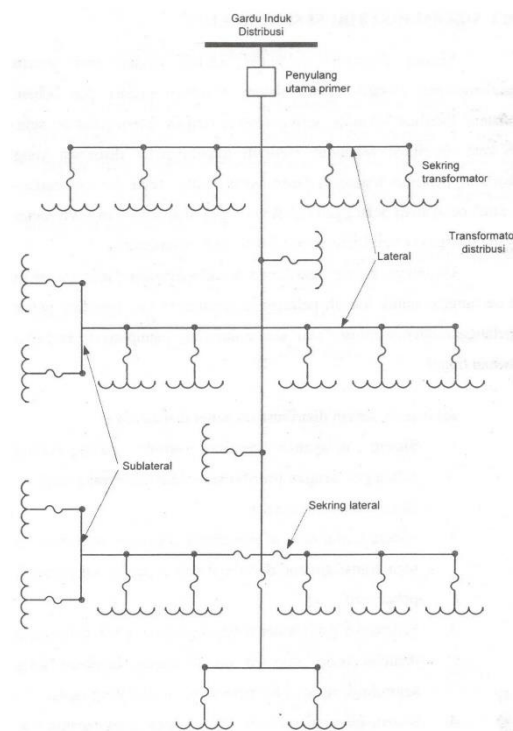
Disebabkan tuntutan akan peningkatan dalam hal keandalan pelayanan, skema proteksi untuk masa mendatang harus lebih canggih dan kompleks, mulai dari piranti yang beroperasi secara manual hingga piranti yang dapat secara otomatis terkendali dari jarak jauh berbasis kendali terbimbing (*supervisory controlled*) atau sistem terkendali komputer (*computer-controlled systems*).

Kondisi tegangan pada sistem distribusi dapat diperbaiki dengan menggunakan kapasitor shunt yang terhubung sedekat mungkin dengan beban untuk memberikan perbaikan tegangan pelayanan yang baik. Penggunaan kapasitor shunt selain untuk memperbaiki tegangan, juga berfungsi untuk memperbaiki faktor daya. Dengan diperbaikinya faktor daya pada sistem distribusi, maka rugi-rugi sistem distribusi dapat diperkecil. Rating kapasitor harus ditentukan dengan hati-hati untuk mencegah terjadinya tegangan lebih pada saat beban yang dilayani sedikit karena peningkatan tegangan yang dihasilkan dari arus kapasitor.

Kondisi tegangan pada sistem distribusi dapat juga diperbaiki menggunakan kapasitor seri. Akan tetapi peningkatan kapasitor seri tidak dapat mengurangi arus dan rugi-rugi dalam sistem, sehingga jarang digunakan. Dalam sistem primer juga

terdapat tipe-tipe konfigurasi, diantaranya tipe radial, tipe loop, dan jaringan (*network*).

Penyulang primer tipe radial merupakan bentuk yang paling sederhana dan berbiaya paling murah. Dalam gambar 2.5 terlihat bahwa penyulang primer utama kemudian bercabang-cabang menuju berbagai lateral primer, selanjutnya menuju ke sublateral untuk melayani transformator distribusi. Umumnya penyulang utama dan sub penyulang merupakan untai tiga fase dengan tiga atau empat kawat, dan *lateral* menggunakan untai tiga fase atau satu fase.

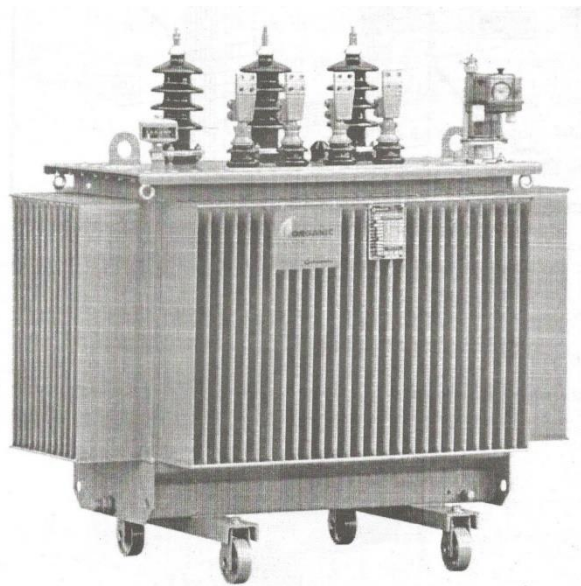


Gambar 2.5 Diagram satu garis sistem distribusi primer tipe radial

2.2.5 Transformator Distribusi

Umumnya transformator digunakan untuk menurunkan tegangan sistem primer (2,4 s.d. 34,5 kV) menjadi 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*).

Transformator distribusi merupakan ujung tombak 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*. Travo distribusi biasanya ditempatkan di tiang distribusi (*over head*), sehingga disebut trafo tipe *pole*.



Gambar 2.6 Transformator Distribusi

2.2.6 Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari Gardu Induk (GI) 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 distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan menengah memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV. Untuk wilayah kota tegangan diatas 20 kV tidak diperkenankan, mengingat pada tegangan 30 kV akan terjadi gejala-gejala korona yang dapat mengganggu frekuensi radio, TV, telekomunikasi, dan telepon.

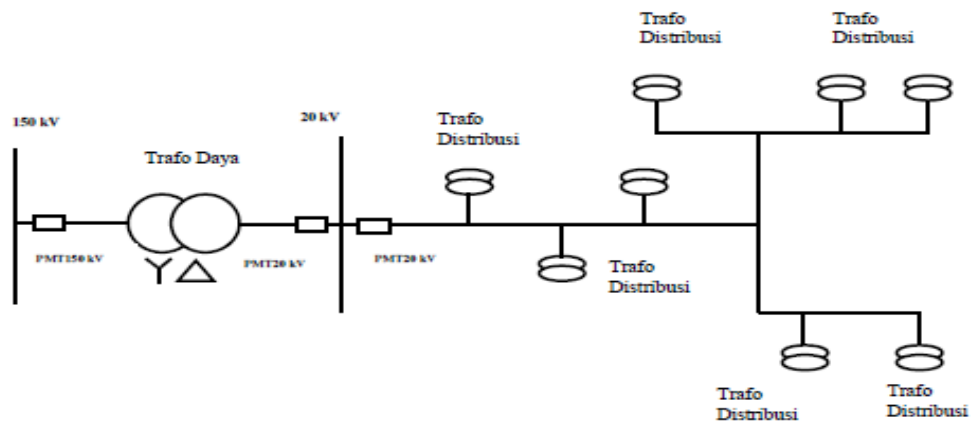
Sifat pelayanan sistem distribusi sangat luas dan kompleks, karena konsumen yang harus dilayani mempunyai lokasi dan karakteristik yang berbeda.

Sistem distribusi harus dapat melayani konsumen yang terkonsentrasi di kota, pinggiran kota dan konsumen di daerah terpencil. Sedangkan dari karakteristiknya, terdapat konsumen perumahan dan konsumen dunia 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.

Pada jaringan distribusi primer terdapat 4 jenis dasar yaitu :

1. Sistem radial

Sistem distribusi dengan pola radial seperti Gambar 2.7 adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.

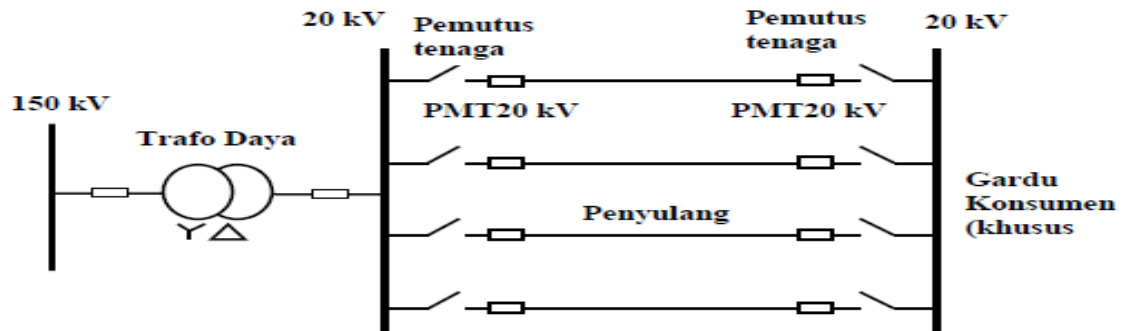


Gambar 2.7 Konfigurasi Jaringan Radial
Sumber: Diktat Sistem Tenaga Listrik Universitas Sumatra Utara

Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain.

Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam. Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran.

2. Sistem hantaran penghubung (*tie line*)



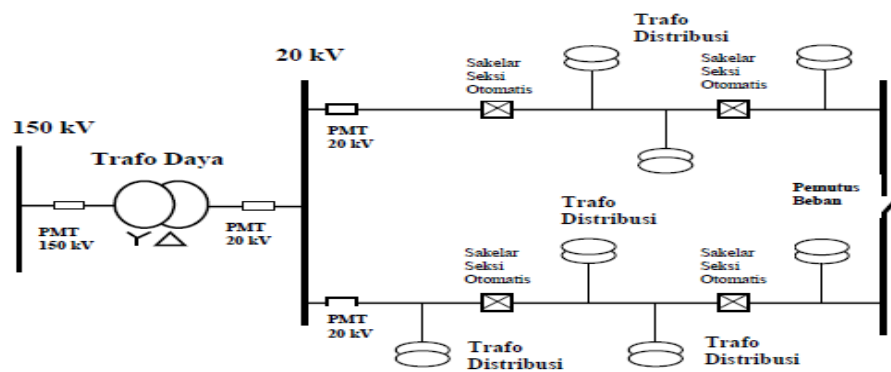
Gambar 2.8 Jaringan Distribusi *Tie Line*

Sumber: Diktat Sistem Tenaga Listrik Universitas Sumatra Utara

Sistem ini memiliki minimal 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 di pindah ke penyulang lain.

3. Sistem loop

Sistem jaringan distribusi primer tipe lingkaran (*loop/ring*) ini merupakan gabungan/perpaduan dari dua buah sistem radial. Secara umum operasi normal sistem ini hampir sama dengan sistem radial, namun sistem ini mempunyai tingkat keandalan dan kontinuitas yang lebih baik dibanding sistem radial. Hal ini dikarenakan jumlah sumber dan penyulang yang ada pada suatu jaringan adalah lebih baik dari satu buah.



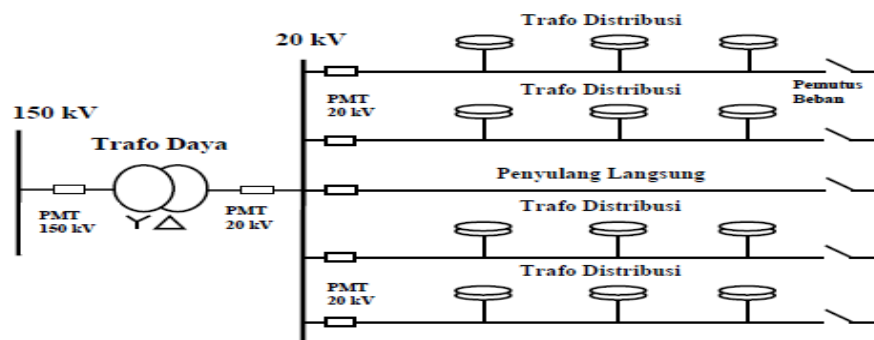
Gambar 2.9 Konfigurasi Sistem Loop

Sumber: Diktat Sistem Tenaga Listrik Universitas Sumatra Utara

Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (Loop) dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.

4. Sistem spindel

Sistem Spindel seperti pada Gambar 2.9 adalah suatu 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 (GH).



Gambar 2.10 Konfigurasi Sistem Spidel

Sumber: Diktat Sistem Tenaga Listrik Universitas Sumatra Utara

Pada sebuah sistem spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (*express*) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Namun pada pengoperasiannya, sistem spindel 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) atau tegangan menengah (TM).

2.2.7 Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Oleh karena itu besarnya tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini adalah 130/230 V dan 130/400 V untuk sistem lama, atau 380/220 V untuk sistem baru. Tegangan 130 V dan 220 V merupakan tegangan antara fasa dengan netral, sedangkan tegangan 400 atau 380 V merupakan tegangan fasa dengan fasa

2.2.8 Tegangan Distribusi

Tegangan untuk jaringan distribusi dapat dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain :

1) Tegangan Menengah (TM)

Tegangan menengah adalah tegangan dengan rentang 1 kV sampai dengan 30 kV. Untuk negara Indonesia menggunakan tegangan menengah sebesar 20 kV. Tegangan menengah dipakai untuk penyaluran energi listrik dari GI menuju gardu-gardu distribusi atau langsung menuju pelanggan tegangan menengah.

2) Tegangan Rendah (TR)

Tegangan rendah adalah tegangan dengan nilai di bawah 1 kV yang digunakan untuk penyaluran daya dari gardu distribusi menuju pelanggan tegangan rendah. Penyalurannya dilakukan dengan menggunakan sistem tiga fasa empat kawat yang dilengkapi netral. Indonesia sendiri menggunakan tegangan rendah 380/220 V dimana tegangan 380 V merupakan besar tegangan antar fasa dan tegangan 220 V merupakan tegangan fasa-netral.

2.2.9 Beban Jaringan Distribusi

Beban merupakan suatu kebutuhan daya listrik dari peralatan yang terhubung pada sistem tenaga listrik untuk menyelesaikan tugas tertentu. Karakteristik beban berdasarkan kebutuhan daya dan tegangan yang digunakan secara umum dapat dikelompokkan dalam tiga kategori yaitu (Willis, 2004):

1. Constant power, kebutuhan daya selalu konstant berapapun nilai tegangan yang digunakan. Contoh : motor listrik, apabila terjadi jatuh tegangan maka beban akan menyerap arus yang lebih besar untuk mempertahankan daya yang diperlukan.
2. Constant Impedance, kebutuhan beban selalu menyesuaikan dengan tegangan yang digunakan. Contoh : lampu pijar, apabila terjadi jatuh tegangan maka arus yang diserap akan turun, sehingga daya yang diperlukan 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

Karena jumlah beban yang bersifat *constant current* sangat sedikit, maka dapat diabaikan sehingga dalam melakukan analisis cukup digunakan gabungan antara *constant impedance* dan *constant power* untuk daerah industri 20/80, daerah perkotaan 40/60 dan daerah pedesaan 80/20 atau 10/80 (Willis, 2004).

Beban individu atau kelompok pelanggan sangat berpengaruh terhadap kondisi jaringan distribusi tenaga listrik. Setiap saat peralatan rumah tangga seperti lampu, televisi, AC dan lain-lain dinyalakan dan dimatikan. Perubahan tersebut sangat berdampak terhadap karakteristik beban jaringan distribusi listrik secara keseluruhan. Ada beberapa istilah yang digunakan dalam analisis jaringan distribusi tenaga listrik (Kersting, 2002):

1. *Demand*

Beban rata-rata dalam satuan kW, kVar, kVA, atau A dengan interval waktu tertentu (menit atau jam). Contoh: 100 kw dengan interval waktu 15 menit.

2. *Maximum demand*

Beban tertinggi terjadi selama periode waktu tertentu, yang meliputi interval, waktu dan unit. Contoh: beban maksimum 150 Kw dalam periode waktu sebulan dengan interval waktu pengukuran 15 menit.

3. *Average Demand*

Rata-rata beban dalam periode waktu tertentu (hari, minggu, bulan ataupun tahun) yang dihitung berdasarkan beban rata-rata dalam interval waktu

tertentu (menit atau jam). Contoh : beban rata-rata 125 Kw dalam periode 1 bulan dengan interval pengukuran 15 menit.

4. *Load Faktor*

Rasio perbandingan *average demand* dengan *maximum demand* dalam periode waktu yang sama. *Load factor* digunakan untuk menghitung energi yang dikonsumsi dalam waktu tertentu.

2.2.10 Gangguan Sistem Distribusi

Gangguan pada sistem distribusi adalah terganggunya sistem tenaga listrik yang menyebabkan bekerjanya rele pengaman penyulang bekerja untuk membuka circuit breaker di gardu induk yang menyebabkan terputusnya suplai tenaga listrik. Hal ini untuk mengamankan peralatan yang dilalui arus gangguan tersebut dari kerusakan. Sehingga fungsi dari peralatan pengaman adalah untuk mencegah kerusakan peralatan dan tidak meniadakan gangguan. Gangguan pada jaringan distribusi lebih banyak terjadi pada (SUTM) yang umumnya tidak memakai isolasi dibanding dengan saluran distribusi (SKTM) dengan menggunakan isolasi yang ditanam dalam tanah. Sumber gangguan pada jaringan distribusi dapat berasal dari dalam sistem maupun dari luar sistem distribusi.

a) Gangguan dari dalam sistem antara lain :

1. Tegangan lebih atau arus lebih
2. Pemasangan yang kurang tepat
3. Usia peralatan atau komponen

b) Gangguan dari luar sistem antara lain :

1. Dahan/ranting pohon yang mengenai SUTM
2. Sambaran petir
3. Hujan atau cuaca
4. Kerusakan pada peralatan gangguan binatang

Berdasarkan sifatnya gangguan sistem distribusi dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Gangguan Temporer

Gangguan yang bersifat sementara karena dapat hilang dengan sendirinya dengan cara memutuskan bagian yang terganggu sesaat, kemudian menutup balik kembali, balik secara otomatis (*autorecloser*) maupun secara manual oleh operator.

Bila gangguan tidak dapat dihilangkan dengan sendirinya atau dengan bekerjanya alat pengaman (*recloser*) dapat menjadi gangguan tetap dan dapat menyebabkan pemutusan tetap. Bila gangguan sementara terjadi berulang-ulang.

2. Gangguan Permanen

Gangguan bersifat tetap, sehingga untuk membebaskannya perlu tindakan perbaikan atau penghilangan penyebab gangguan. Hal ini ditandai dengan jatuhnya (trip) kembali pemutus daya setelah operator memasukkan sistem kembali setelah terjadi gangguan. Untuk mengatasi gangguan-gangguan sebuah peralatan harus dilengkapi dengan sistem peralatan pengaman relay, dimana sistem pengaman ini diharapkan dapat mendeteksi adanya gangguan sesuai dengan fungsi dan daerah pengamannya.

2.2.11 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan adalah kemungkinan dari sistem untuk dapat bekerja optimal untuk waktu yang telah ditentukan dalam berbagai kondisi. Keandalan sistem distribusi erat kaitannya dengan masalah pemutusan beban yang merupakan akibat adanya gangguan pada sistem. Keandalan sistem distribusi berbanding terbalik dengan tingkat pemutusan beban sistem. Semakin tinggi frekwensi pemutusan beban pada sistem, maka keandalan sistem semakin berkurang, begitu pula sebaliknya. Pelayanan tenaga listrik sangat menentukan efektifitas kegiatan masyarakat. Untuk dapat mengetahui dari mutu pelayanan mutu tersebut, maka kita perlu mengetahui keandalan dari sistem tersebut dalam menanggapi atau melayani konsumen.

Pengertian keandalan itu sendiri menurut sudut pandang kelistrikan adalah kemungkinan dari suatu atau kumpulan benda akan memuaskan kerja pada keadaan tertentu dan periode waktu yang telah ditentukan. Untuk mengetahui keandalan dari suatu distribusi diantaranya dapat dilakukan dengan menghitung rata-rata durasi frekwensi gangguan (*interruptions*) yang sering terjadi pada beban (*customer*) atau sering kita sebut dengan perhitungan SAIDI dan SAIFI. Tentu saja dengan tingkat keandalan yang rendah bisa merugikan pihak konsumen dan pihak produsen juga, apalagi pelanggan dengan konsumsi daya yang tinggi untuk produksi, padamnya sistem bisa berpengaruh pada proses produksi bahkan kerusakan sistem. Oleh karena itu dibutuhkan data-data dari setiap gangguan yang terjadi pada pelanggan,

untuk menunjukkan tingkat keandalan sistem, selanjutnya data tersebut bisa dianalisis untuk meningkatkan keandalan dari sistem yang ada.

Tingkat kontinuitas pelayanan dari sarana penyalur disusun berdasarkan lamanya upaya menghidupkan kembali suplai setelah pemutusan karena gangguan. (SPLN 52, 1983). Tingkat-tingkat tersebut adalah :

- 1) Tingkat 1 : Dimungkinkan padam berjam-jam, yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena gangguan.
- 2) Tingkat 2 : Padam beberapa jam, yaitu yang diperlukan untuk mengirim petugas ke lapangan, melokalisir kerusakan dan melakukan manipulasi untuk menghidupkan sementara kembali dari arah atau saluran yang lain.
- 3) Tingkat 3 : Padam beberapa menit, yaitu manipulasi oleh petugas yang *stand by* di gardu atau dilakukan deteksi/pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh dengan bantuan DDC (*Distributed Control Center*).
- 4) Tingkat 4 : Padam beberapa detik, yaitu pengamanan dan manipulasi secara otomatis dari DDC.
- 5) Tingkat 5 : Tanpa padam yaitu jaringan dilengkapi instalasi cadangan terpisah dan otomatis secara penuh dari DDC.

Data-data keandalan antara lain sebagai berikut:

2.2.11.1 Laju Kegagalan

Laju kegagalan (λ) adalah harga rata-rata dari jumlah kegagalan per satuan waktu pada suatu selang waktu pengamatan (T). laju kegagalan ini dihitung dengan satuan kegagalan per tahun. Untuk selang waktu pengamatan diperoleh :

$$\lambda = \frac{d}{T} \dots \dots \dots (2.1)$$

λ = Laju kegagalan konstan (kegagalan/tahun)

d = banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu

T = jumlah selang waktu pengamatan (tahun)

Nilai laju kegagalan akan berubah sesuai dengan umur dari sistem atau peralatan listrik selama beroperasi.

2.2.11.2 Metode Section Technique

Section Technique merupakan suatu metode terstruktur untuk menganalisa suatu sistem. Metode ini dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi didasarkan pada bagaimana suatu kegagalan dari suatu peralatan mempengaruhi operasi sistem. Efek atau konsekuensi dari gangguan individual peralatan secara sistematis diidentifikasi dengan penganalisaan apa yang terjadi jika gangguan terjadi.

Kemudian masing-masing kegagalan peralatan dianalisa dari semua titik beban (*load point*). Pendekatan yang dilakukan dari bawah ke atas dimana yang dipertimbangkan satu mode kegagalan pada suatu waktu.

Dalam metode *Section Technique* diasumsikan kegagalan peralatan tidak saling berhubungan, peralatan masing-masing dapat dianalisa secara terpisah. Jika kegagalan peralatan saling dihubungkan, maka perhitungan keandalan sistem menjadi lebih kompleks. Maka untuk menyederhanakan perhitungan tersebut dengan mengasumsikan bahwa setiap kegagalan tidak saling berhubungan.

Indeks keandalan yang dihitung adalah indeks-indeks titik beban (*load point*) dan indeks-indeks sistem baik secara *section* maupun keseluruhan. Indeks load point antara lain :

- a) Frekuensi gangguan (*failure rate*) untuk setiap *load point* λ_{LP} , merupakan penjumlahan laju kegagalan semua peralatan yang berpengaruh terhadap *load point*, dengan persamaan:

$$\lambda_{LP} = \sum_{i=K} \lambda_i \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

λ_i = laju kegagalan untuk peralatan K

K = semua peralatan yang berpengaruh terhadap *load point*

b) Lama/durasi gangguan tahunan rata-rata untuk *load point*

U_{LP} , dengan persamaan:

$$U_{LP} = \sum_{i=k} U_i = \sum_{i=k} \lambda_i \times r_j \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

r_j = waktu perbaikan (*repairing time* atau *switching time*)

Berdasarkan indeks-indeks *load point* ini, diperoleh sejumlah indeks keandalan untuk mengetahui indeks keandalan sistem secara keseluruhan yang dapat dievaluasi dan bisa didapatkan dengan lengkap mengenai kinerja sistem. Indeks-indeks ini adalah frekuensi dan lama pemadaman rata-rata tahunan.

Pada metode *Section Technique*, ada 2 indeks keandalan yang dihitung yaitu : SAIFI dan SAIDI.

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

Indeks ini memberikan informasi tentang frekwensi rata-rata pemadaman per pelanggan. Indeks ini di-rumuskan dengan:

$$SAIFI = \frac{\text{Total frekuensi pemadaman}}{\text{totaljumlah pelanggan yang dilayani}}$$

$$SAIFI = \frac{\sum \alpha Ni}{\sum Ni} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan : α adalah failure rate

N_i adalah jumlah pelanggan yang dilayani pada titik i
 Besarnya nilai SAIFI dapat digambarkan sebagai besarnya failure rate (λ) sistem distribusi keseluruhan ditinjau dari sisi pelanggan.

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

menggambarkan durasi atau lama pemadaman rata-rata yang dialami pelanggan. Indeks ini dirumuskan dengan:

$$SAIDI = \frac{\text{Total durasi pemadaman}}{\text{Jumlah pelanggan yang dilayani}}$$

$$SAIDI = \frac{\sum U_i.N_i}{\sum N_i} \dots\dots\dots(2.5)$$

U_i adalah durasi pemadaman dalam satu tahun pada beban titik i

Indeks Keandalan Peralatan Sistem Distribusi Berdasarkan SPLN No.59 : 1985 Tentang Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV

Ruang lingkup standar ini dimaksudkan untuk menjelaskan dan menetapkan tingkat keandalan sistem jaringan distribusi tenaga listrik. Selain itu SPLN No.59 : 1985 bertujuan untuk memberikan pegangan yang terarah dalam menampilkan dan menentukan tingkat keandalan sistem distribusi dan juga sebagai tolak ukur terhadap kemajuan atau menentukan proyeksi yang akan dicapai PLN.

Tabel 2.1 Data indeks keandalan saluran udara

Saluran Udara	
Sustained failure rate (α/km/yr)	0,2
r (repaire time) (jam)	3
rs (switch time) (jam)	0,15

Sumber: SPLN No.59 : 1985

Tabel 2.2 Indeks Kegagalan Peralatan

Komponen	α (failure rate)	r (repaire time) (jam)	rs (switching time) (jam)
Trafo Distribusi	0,005/unit/tahun	10	0,15
Circuit Breaker	0,004/unit/tahun	10	0,15
Sectionalizer	0,003/unit/tahun	10	0,15

Sumber: SPLN No.59 : 1985