

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Berdasarkan objek tugas akhir yang akan dilakukan, ada beberapa referensi dari penelitian sebelumnya untuk menentukan batasan masalah yang terkait dengan topik yang akan diambil. Jadi referensi digunakan untuk mempertimbangkan topik mana yang terkait dengan topik tersebut. Referensi literatur yang digunakan sebagai referensi adalah sebagai berikut:

1. Gosti Mizli Fawana UMY (2017) melakukan penelitian tentang *Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 kV* Berbasis Sistem dan EENS (Expected Energy Not Supplied) Berdasarkan hasil yang diperoleh dari perhitungan nilai SAIFI, tidak seluruh penyulang di Rayon Tegalrejo telah memenuhi standar SPLN 68–2: 1986 dan IEEE std 1366 –2003 yaitu: Pada standar SPLN 68 – 2: 1986 bernilai SAIFI 3.2 kali/pelanggan/tahun. Penyulang yang melebihi standar adalah Penyulang SGN 5 mencapai sebesar 3,347 kali/pelanggan/tahun. Sedangkan untuk standar IEEE std 1366 – 2003 bernilai SAIFI 1.45 kali/pelanggan/tahun. Terdapat 2 penyulang yang keluar dari standar yaitu penyulang SGN 5 mencapai sebesar 3,347 kali/pelanggan/tahun serta penyulang SGN 6 mencapai sebesar 2,664 kali/pelanggan/tahun. Penyulang – penyulang yang keluar dari standar yang ditentukan dapat dikatakan tidak handal. Faktor jumlah pelanggan dan panjang saluran juga sangat berpengaruh terhadap nilai SAIFI. Berdasarkan perhitungan nilai SAIDI pada setiap penyulang di Rayon Tegalrejo, terdapat standar standar SPLN 68 – 2: 1986 yaitu dengan SAIDI 21,09 jam/pelanggan/tahunan dan untuk standar dari IEEE std 1366 – 2003 yaitu dengan SAIDI 2,3 jam/pelanggan/tahun yaitu: Pada standar SPLN 68 – 2: 1986 semua penyulang pada rayon Tegalrejo telah memenuhi standar. Pada standar IEEE std 1366 – 2003 terdapat 2 penyulang yang keluar dari standar yaitu Penyulang SGN 5 sebesar 4,8117 jam/pelanggan/tahun dan Penyulang SGN 6 sebesar 3,1546

jam/pelanggan/tahun. Akibat durasi gangguan yang cukup lama pada masing – masing penyulang, maka terjadi EENS (*Expected energy not supplied*) yang besar, hal ini akan berdampak pada kerugian yang didapat oleh PLN Rayon Tegalorejo. Jika EENS (*Expected energy not supplied*) besar maka kerugian dalam bentuk rupiah akan besar. Penyulang yang mengalami kehilangan energi yang besar adalah penyulang SGN 5.

2. Ibnu Faishal UMY (2017) melakukan penelitian tentang *Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi* di Gardu Induk Kentungan Penyulang KTN-06 PT. PLN (Persero) Area Yogyakarta Dengan Metode *Section Technique*, menjelaskan berdasarkan hasil analisis pada perhitungan menggunakan metode Section Technique diperoleh nilai indeks keandalan penyulang KTN-06 yaitu nilai SAIFI 0,527280324 kali/tahun, SAIDI 1,583489491 jam/tahun dan CAIDI 3,00312646 jam/tahun. Profil tegangan pada setiap bus mengalami kenaikan, pada bus 29 menjadi 19,013 KV dan bus 48 menjadi 18,996 KV. Besarnya energy listrik yang tidak tersalurkan akibat gangguan yang terjadi pada penyulang KTN 06 tahun 2015, ENS (Energy Not Supplied) = 66.674,10 kWh atau 66,67 MWh dan AENS (Average Energy Not Supplied) = 8,441897238 kWh/pelanggan. Nilai rata-rata faktor beban pada penyulang KTN-06 Gardu Induk Kentungan adalah sebesar 52,5%. Penyulang KTN-06 merupakan penyulang yang andal, hal ini karena nilai SAIFI dan SAIDI masih di bawah nilai Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN).
3. Nur Mukhammad Zaidatul Rochman UMY (2017) melakukan penelitian tentang *Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Menggunakan Metode Reliability Index Assessment* Pada Penyulang KTN 4 Gardu Induk Kentungan, menjelaskan berdasar hasil analisa, pada kondisi perfect switching nilai SAIFI = 1.37 kali/tahun, MAIFI = 0.02055 kali/tahun, SAIDI = 1.21864 jam/tahun dan CAIDI = 0.88951 jam /tahun, dan pada kondisi imperfect switching nilai SAIFI = 1.683 kali/tahun, MAIFI = 0,02055 kali/tahun, SAIDI = 2.13345 jam/tahun dan CAIDI =

1.26764 jam/tahun. Sedangkan hasil analisa perhitungan berdasar pemadaman yang terjadi pada penyulang KTN 4 tahun 2015, nilai SAIFI = 0.754315 kali/tahun, SAIDI = 0.974807 jam/tahun, ENS = 53,7 MWh dan AENS = 5,92 kWh/pelanggan. Jika ditinjau dari SPLN 68-2: 1986 dengan SAIFI 3,2 kali/tahun dan SAIDI 21 jam/tahun maka Penyulang KTN 4 telah memenuhi standar PLN tersebut, sehingga penyulang KTN 4 dapat dikategorikan handal. Sedangkan jika dibandingkan dengan standar WCS (World Customer Service) dan WCC (world class company) dengan SAIFI 3 kali/tahun dan SAIDI 100 menit/tahun saat sistem diasumsikan dalam kondisi imperfect switching masih belum memenuhi standar tersebut.

2.2. Landasan Teori

Teori-teori pendukung yang akan digunakan penulis untuk mengerjakan Tugas Akhir ini meliputi:

2.2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Pada dasarnya, definisi sistem tenaga listrik adalah bagian dari sistem peralatan listrik antara sumber daya besar (*bulk power source, BPS*) dan peralatan hubung pelanggan (*customers service switchers*) (Syahputra, 2016).

Sistem distribusi adalah bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berfungsi sebagai distributor listrik dari sumber energi yang besar (*bulk power source*) kepada konsumen. Oleh karena itu, fungsi distribusi listrik adalah sebagai pembagi atau distributor listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan juga merupakan subsistem listrik yang terhubung langsung ke pelanggan (Suhadi, 2006).

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem peralatan listrik antara sumber daya besar dan peralatan hubung pelanggan. Sistem jaringan distribusi tenaga listrik dibedakan menjadi 2

antara lain sistem distribusi primer (jaringan distribusi tegangan menengah) dan sistem distribusi sekunder (jaringan distribusi tegangan rendah). Kedua system tersebut dibedakan berdasarkan tegangan kerjanya. Secara umum tegangan kerja pada sistem distribusi primer adalah 6 kV atau 20 kV, sedangkan tegangan kerja pada sistem distribusi sekunder 380 V atau 220 V (Syahputra, 2015).

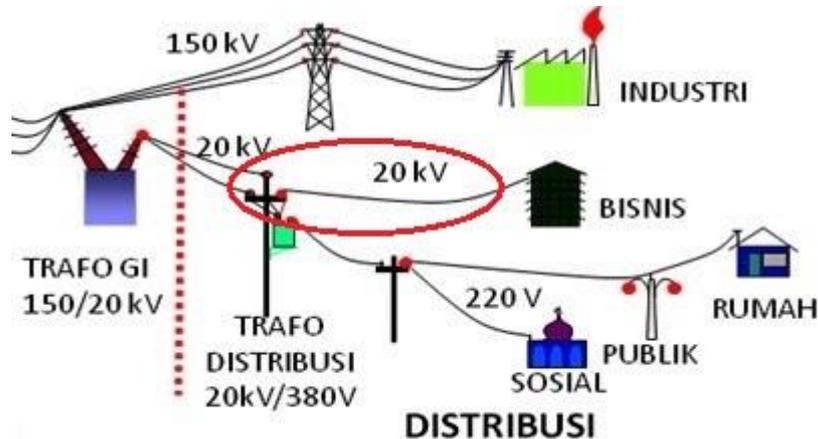
2.2.2. Sistem Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer adalah jaringan yang terletak sebelum gardu distribusi yang fungsinya sebagai distributor daya tegangan menengah (misalnya, 6 kV atau 20 kV). Jalurnya dapat berupa dalam bentuk kabel yang terletak di tanah atau kabel saluran / udara sebagai gardu koneksi (transformator sekunder) dengan gardu distribusi atau gardu koneksi (sisi utama gardu distribusi) (Syahputra, 2015).

Sistem jaringan distribusi utama, atau juga dapat disebut jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT), terletak di antara gardu induk dan gardu perbatasan, yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi daripada tegangan yang digunakan oleh konsumen. Tegangan standar yang digunakan untuk jaringan distribusi utama ini meliputi 6 kV, 10 kV dan 20 kV (sesuai dengan standar PLN) (Suswanto, 2009).

Jaringan distribusi utama adalah awal dari distribusi listrik yang dipasok oleh Pusat untuk pembangkitan energi kepada konsumen untuk sistem distribusi langsung. Sedangkan sistem distribusi tidak langsung adalah fase berikutnya dari jaringan transmisi sebagai upaya menyalurkan listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer atau dapat disebut jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) memiliki tegangan sistem 20 kV. Pada wilayah kota tegangan yang diatas 20 kV tidak diperkanankan, hal ini dikarenakan pada tegangan 30 kV akan terjadi gejala-gejala korona yang bisa mengakibatkan terganggunya frekuensi radio, TV, telekomunikasi, dan telepon (Suswanto, 2009).

Berikut adalah gambar 2.1 yang menunjukkan gambar system distribusi primer.



Gambar 2.1 Jaringan Distribusi Primer 20 kV

(Sumber: <http://ilmu-listrik.weebly.com>)

Menurut Suswanto (2009) Sifat sistem pemberian layanan sangat luas dan kompleks, dengan mempertimbangkan fakta bahwa konsumen yang perlu dilayani memiliki posisi dan karakteristik yang berbeda. Sistem distribusi harus dapat melayani konsumen yang berlokasi di daerah perkotaan, pinggiran kota dan konsumen yang berlokasi di daerah terpencil. Terlepas dari ini, orang dapat melihat dalam karakteristiknya bahwa ada juga konsumen perumahan dan konsumen industri. Sistem konstruksi di saluran distribusi terdiri dari saluran udara dan saluran bawah tanah. Pilihan konstruksi didasarkan pada berbagai pertimbangan, termasuk: alasan teknis, yaitu persyaratan teknis, alasan ekonomi, alasan estetika dan alasan layanan, atau kesinambungan layanan berdasarkan jenis konsumen.

Menurut Laksono (2016) sistem distribusi listrik dalam sistem jaringan distribusi primer dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:

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

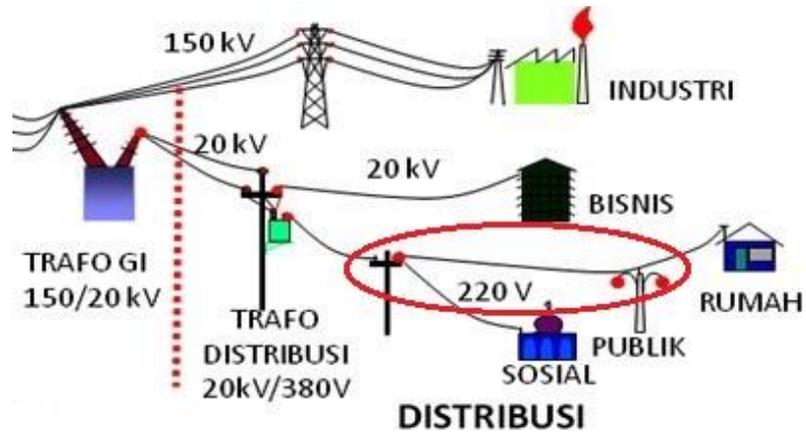
Jenis konduktor yang digunakan adalah kabel telanjang (tanpa isolasi) seperti kabel AAAC (All Aluminium Alloy Conductor), ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced), dll.

2. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) 6 - 20 kV
Jenis konduktor yang digunakan adalah kabel berisolasi seperti MVTIC (Medium Voltage Twisted Insulated Cable) dan AAACS (Kabel *Aluminium Alloy* dengan pembungkus lapisan PVC).
3. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) 6 - 20 kV
Jenis konduktor yang digunakan adalah kabel tanam berisolasi PVC (*Poly Vinyl Chloride*), XLPE (*Crosslink Polyethelene*).

2.2.3. Jaringan Distribusi Sekunder

Menurut Syahputra (2015) Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR) adalah jaringan yang terletak setelah gardu distribusi beroperasi sebagai distributor listrik tegangan rendah (misalnya, 220 V / 380 V). Penghantarnya adalah dalam bentuk kabel darat atau udara yang berfungsi sebagai penghubung dari gardu distribusi (sisi sekunder dari trafo distribusi) ke konsumen atau pengguna (misalnya, industri atau rumah).

Menurut Suswanto (2009) Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR) adalah jaringan listrik yang terhubung langsung ke konsumen. Oleh karena itu, jumlah tegangan dalam jaringan distribusi sekunder adalah 130/230 V dan 130/400 V untuk sistem sebelumnya atau 230/400 V untuk sistem baru. Tegangan 130 V dan 230 V adalah tegangan antara fase dan netral, sedangkan tegangan 400 V adalah tegangan fase dengan fase.



Gambar 2.2 Jaringan distribusi sekunder 220 V

(Sumber: <http://ilmu-listrik.weebly.com>)

Pada sistem jaringan sekunder, sistem jaringan distribusi primer 20 kV diturunkan menjadi sistem tegangan rendah (400/230 Volt atau 380/220 Volt). Pada penyaluran distribusi sekunder terbagi menjadi dua, antara lain:

a. Saluran Udara (*overhead line*)

Saluran udara adalah sistem untuk menyalurkan tenaga listrik melalui kawat penghantar yang ditopang pada tiang listrik. Berikut adalah gambar 2.3 yang menunjukkan gambar jaringan distribusi dengan penyaluran udara.



Gambar 2.3 Saluran Distribusi Penyaluran Udara

(Sumber: <http://hastaindonesia.com/res/hkp/saluran/SUTM.png>)

Penggunaan saluran udara pada jaringan distribusi memiliki beberapa keuntungan, diantaranya:

1. Lebih fleksibel dan leluasa dalam upaya memperluas beban.
2. Dapat digunakan untuk disrtibusi listrik pada tegangan lebih tinggi dari 66 kV.
3. Lebih mudah untuk pemasangan.
4. Jika terjadi korsleting, itu mudah dideteksi dan diatasi.

Selain memiliki beberapa keuntungan saluran udara pada jaringan distribusi juga memiliki beberapa kerugian, diantaranya:

1. Mudah dipengaruhi oleh cuaca buruk, bahaya petir, badai, tertimpa pohon, dsb.
2. Untuk area yang penuh dengan bangunan tinggi, sulit untuk menempatkan saluran.
3. Masalah efek kulit, induktansi, dan kapasitansi yang terjadi, akan menghasilkan penurunan tegangan yang lebih besar.
4. Biaya perawatan lebih mahal, karena diperlukan jadwal pengecatan dan mengganti peralatan listrik jika terjadi kerusakan.

b. Saluran Bawah Tanah (*underground cable*)

Saluran bawah tanah merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kabel-kabel yang ditanamkan di dalam tanah. Menurut Suswanto dalam bukunya berjudul Sistem Distribusi Tenaga Listrik (2009), saluran bawah tanah memiliki beberapa keuntungan dan kerugian. Berikut adalah keuntungan menggunakan saluran bawah tanah:

1. Tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, bahaya petir, badai, tertimpa pohon, dsb
2. Tidak mengganggu penglihatan, bila ada bangunan yang tinggi.

3. Dari segi keindahan, saluran bawah tanah lebih sempurna dan lebih indah.
4. Memiliki masa pakai dua kali lipat dari penggunaan saluran udara.
5. Biaya perawatan lebih murah, karena tidak perlu mengecat.
6. Penurunan tagangan lebih rendah karena masalah induktansi dapat diabaikan.

Selain dari segi keuntungan yang begitu banyak, saluran bawah tanah juga memiliki beberapa kerugian, diantaranya adalah:

1. Biaya investasi pembangunan lebih mahal daripada saluran udara.
2. Ketika ada hubung singkat, pencarian titik gangguan tidaklah mudah.
3. Dibutuhkan pertimbangan teknis yang lebih mendalam di dalam perencanaan, terutama untuk kondisi medan yang dilalui.
4. Tidak bisa menghindari jika ada banjir, tekanan akar pohon, dan ketidakstabilan tanah.

Berikut adalah gambar 2.4 yang menunjukkan gambar jaringan distribusi dengan sistem penyaluran melalui saluran tanah.



Gambar 2.4 Saluran Tanah Jaringan Distribusi

(Sumber: <http://www.grahabaralestari.com/layananjasa/kontraktor-listrik/>)

2.2.4. Konfigurasi Sistem Jaringan Distribusi

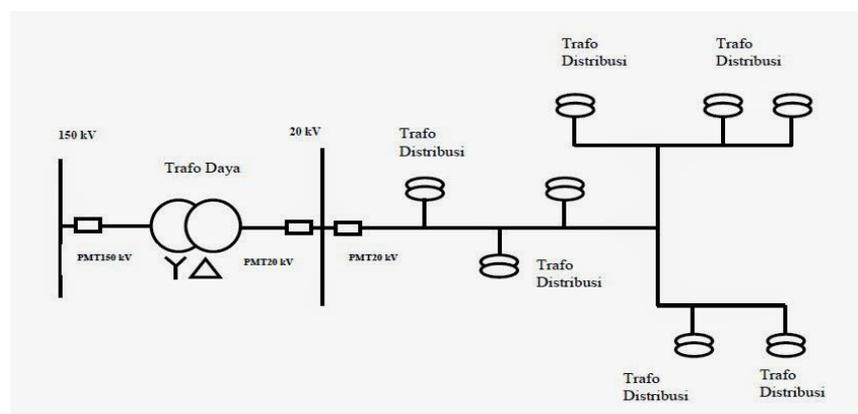
Dalam buku yang ditulis oleh Syahputra (2015) dengan judul Transmisi Distribusi, pengelompokan dari sistem jaringan distribusi menjadi 3, yaitu sistem distribusi spindel, distribusi loop dan distribusi radial.

Pengelompokan dari sistem jaringan distribusi sendiri terbagi menjadi 3 sistem, yaitu sistem distribusi spindel, distribusi loop dan distribusi radial (Transmisi Distribusi, 2015)

a. Jaringan Sistem Distribusi Radial

Bentuk jaringan tersebut adalah bentuk yang lebih sederhana jika dibandingkan dengan sistem yang lain, karena banyak digunakan dan murah. Diberi nama radial dikarenakan sistem ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari sistem jaringan tersebut serta dilakukan percabangan menuju beberapa titik beban.

Berikut adalah contoh gambar yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini yang menunjukkan gambar konfigurasi dari sistem distribusi dengan jenis jaringan distribusi radial.



Gambar 2.5 Jaringan distribusi radial

Sumber: <http://iaeeta.org/2017/09/29/tipe-tipe-jaringan-distribusi-listrik/>

Penjelasan dari catu daya yaitu bersumber dari satu titik serta adanya beberapa pencabangan, oleh karena itu arus beban yang melewati saluran menjadi tidak sama yang menyebabkan luas penampang konduktor yang terletak pada jaringan sistem radial ini ukurannya menjadi berbeda dikarenakan arus paling besar yang mengalir pada jaringan yang terletak paling dekat dengan gardu induk. Oleh karena itu saluran yang lokasinya paling dekat dengan gardu induk ukuran penampangnya lebih besar dan saluran antar cabang semakin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil memiliki ukuran konduktor yang lebih kecil. Untuk penjabaran dari spesifikasi jaringan radial ini yaitu:

- a. Memiliki bentuk yang sederhana.
- b. Biaya dari investasi yang murah.
- c. Memiliki kualitas pelayanan daya relatif jelek, dikarenakan rugi tegangan dan rugi daya pada saluran yang besar.
- d. Tingkat kontinuitas pelayanan kurang terjamin dikarenakan antar titik sumber dan beban hanya terdapat satu alternatif saluran. Dimana jika saluran tersebut terjadi pemadaman secara total, maka daerah pada saluran yang terletak sesudah ataupun dibelakang titik terjadi gangguan selama gangguan belum teratasi.

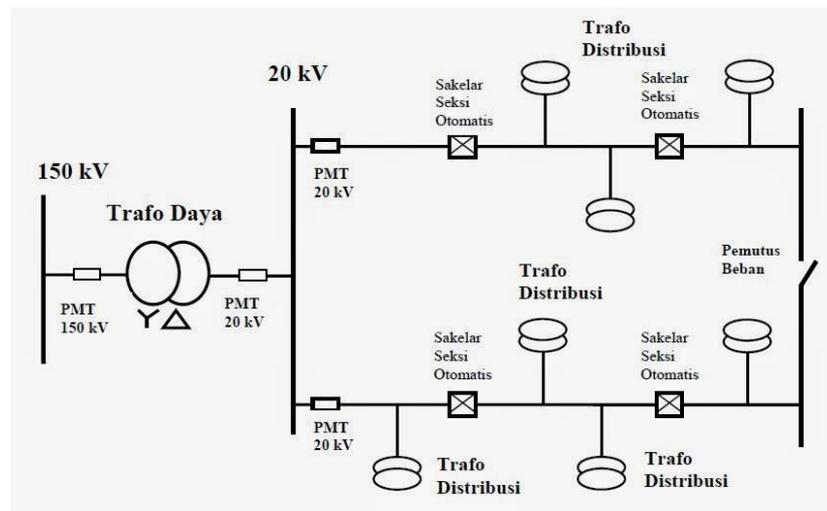
Untuk meminimalisir gangguan yang terjadi biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, yang berfungsi sebagai pembatas daerah yang terjadi pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

b. Jaringan Sistem Distribusi Loop

Bentuk jaringan ini adalah jaringan tertutup, atau bisa juga disebut jaringan ring. Konfigurasi saluran ring, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah, memiliki kemungkinan untuk

melayani titik beban dari dua arah, yang layanannya menjadi lebih aman dan kualitas energi menjadi lebih baik karena penurunan tegangan dan hilangnya energi saluran berkurang.

Berikut adalah gambar 2.6 yang menunjukkan gambar konfigurasi jaringan distribusi dengan jenis jaringan distribusi loop.



Gambar 2.6 Jaringan sistem distribusi loop

(Sumber: <http://iaeeta.org/2017/09/29/tipe-tipe-jaringan-distribusi-listrik/>)

Bentuk jaringan sistem distribusi loop terdiri dari 2 macam yaitu:

- a. Bentuk *open loop*, dalam keadaan normal, jikan dilengkapi dengan *normallly open switch* yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, maka rangkaian akan terbuka.
- b. Bentuk *close loop*, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup, jika dilengkapi dengan *normally close switch* yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi.

Struktur jaringan adalah kombinasi dari dua struktur jaringan radial, yang pada akhir dua jaringan, memasang sakelar (PMT) dan pemisah (PMS) ketika terjadi gangguan. Setelah gangguan dapat diminimalkan, sakelar atau pemisah menutup, sehingga aliran listrik ke bagian yang tidak terpengaruh oleh

gangguan terus berlanjut. Secara umum, konduktor struktur memiliki struktur yang sama, ukuran konduktor dipilih sehingga dapat menyalurkan semua daya listrik dari struktur beban loop, yang merupakan jumlah beban energi listrik dari kedua struktur radial.

Jaringan distribusi loop memiliki kualitas dan kontinuitas layanan energi yang lebih baik, tetapi biaya investasi relatif mahal dan cocok untuk digunakan di daerah padat penduduk dan membutuhkan keandalan tinggi.

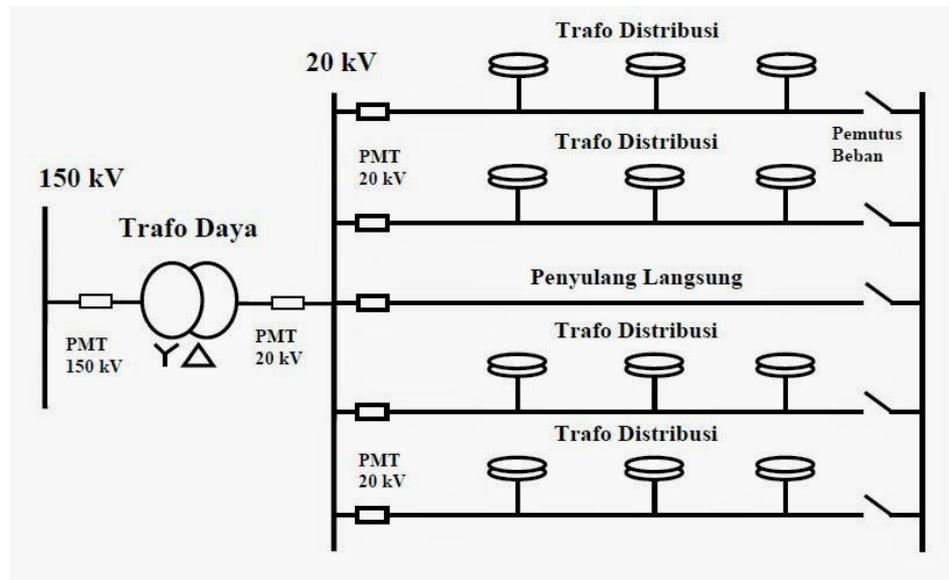
c. Jaringan Sistem Distribusi Spindel

Jaringan sistem distribusi spindel merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM) yang penerapannya sangat cocok di kota-kota besar.

Menurut Syahputra dalam bukunya yang berjudul Transmisi Distribusi (2015), jaringan sistem distribusi spindel cocok untuk memenuhi kebutuhan, termasuk:

1. Meningkatkan keandalan serta kontinuitas layanan sistem.
2. Mengurangi kerugian karena gangguan.
3. Sangat berguna untuk menyediakan area beban dengan kepadatan beban yang cukup tinggi.
4. Perluasan jaringan mudah dilakukan.

Berikut adalah gambar 2.7 yang menunjukkan gambar konfigurasi jaringan distribusi dengan jenis jaringan distribusi spindel.



Gambar 2.7 Jaringan Distribusi Spindel

(Sumber: <http://iaeeta.org/2017/09/29/tipe-tipe-jaringan-distribusi-listrik/>)

2.2.5. Transformator Distribusi

Untuk mengurangi tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan menengah ke tegangan yang digunakan dalam jaringan distribusi tegangan rendah (*step down transformer*), misalnya, trafo distribusi dengan tegangan 20 KV menjadi tegangan 380 volt atau 220 volt dibutuhkan transformator distribusi. Sedangkan trafo yang digunakan untuk menambah tegangan (*step up transformer*), hanya digunakan di pusat pembangkit listrik, sehingga tegangan yang disalurkan dalam jaringan yang panjang (*long line*) tidak mengalami penurunan tegangan yang signifikan, yang tidak melebihi ketentuan penurunan tegangan yang diizinkan 5% dari tegangan asli (Suswanto, 2009).

Menurut Suswanto (2009) Gardu distribusi adalah komponen dari sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk membagikan/mendistribusikan listrik ke beban/konsumen, baik ke konsumen tegangan menengah dan rendah.

Menurut Suswanto (2009) Jenis transformator yang digunakan adalah transformator fase tunggal dan transformator tiga fase. Terkadang

untuk melayani beban tiga fase, tiga transformator fase tunggal digunakan dengan konvensi dalam hubungan bintang (*star connection*) Y atau hubungan delta (*delta connection*) Δ . Sebagian besar jaringan distribusi tegangan tinggi (primer) sekarang digunakan untuk transformator keluaran tiga fase untuk jenis *out door*. Artinya, tipe transformator yang diletakkan di atas tiang disbanding dengan jenis *in door*, yaitu tipe yang dimasukkan di gardu induk.

2.2.6. Gangguan Pada Sistem Distribusi

Dalam pengoperasian sistem kelistrikan, sering terjadi gangguan yang dapat menyebabkan gangguan distribusi listrik kepada konsumen. Gangguan adalah penghalang untuk sistem yang berfungsi atau kondisi sistem distribusi energi listrik yang menyimpang dari kondisi normal. Gangguan pada peralatan listrik didefinisikan sebagai munculnya gangguan pada jaringan listrik yang menyebabkan aliran listrik meninggalkan saluran yang sesuai.

Pada dasarnya, gangguan yang sering terjadi dalam sistem distribusi saluran 20 kV dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu, gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem.

a. Gangguan Dari Dalam Sistem

Menurut Suswanto dalam bukunya berjudul Sistem Distribusi Tenaga Listrik (2009), menyebutkan beberapa contoh gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi dimana sumbernya adalah dari dalam (*internal*) sistem, diantaranya:

1. Kegagalan dari fungsi peralatan jaringan
2. Kerusakan dari peralatan jaringan
3. Kerusakan dari peralatan pemutus beban
4. Kerusakan pada alat pendeteksi

b. Gangguan Dari Luar Sistem

Menurut Suswanto dalam bukunya berjudul Sistem Distribusi Tenaga Listrik (2009), gangguan dari luar sistem adalah gangguan yang terjadi akibat dari benda asing, dimana benda asing tersebut mengganggu aliran listrik pada jaringan distribusi. Berikut adalah beberapa contoh dari gangguan yang terjadi dari luar sistem, diantaranya:

1. Sentuhan daun/pohon pada penghantar
2. Sambaran petir
3. Manusia
4. Binatang
5. Cuaca

Klasifikasi gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi menurut Hutaeruk (1987: 4) adalah:

1. Dari jenis gangguannya
 - a. Gangguan dua fasa atau tiga fasa melalui hubungan tanah
 - b. Gangguan fasa ke fasa
 - c. Gangguan dua fasa ke tanah
 - d. Gangguan satu fasa ke tanah atau gangguan tanah

2. Dari lamanya gangguan

- a. Gangguan permanen

Gangguan permanen tidak akan hilang sebelum penyebab gangguan dihilangkan terlebih dahulu. Gangguan permanen dapat disebabkan oleh kerusakan pada peralatan, sehingga gangguan ini hilang hanya setelah kerusakan ini diperbaiki atau karena ada sesuatu yang mengganggu secara permanen. Untuk membuka pemblokiran, diperlukan tindakan korektif atau menghilangkan penyebab gangguan

tersebut. Terjadinya gangguan ditandai oleh gangguan pasokan daya,

untuk mengatasinya operator memasukkan tenaga secara manual. Contoh gangguan ini yaitu adanya kawat yang putus, terjadinya gangguan hubung singkat, dahan yang menimpa kawat phasa dari saluran udara, adanya kawat yang putus, dan terjadinya gangguan hubung singkat.

b. Gangguan temporer

Gangguan yang bersifat temporer ini apabila terjadi gangguan, maka gangguan tersebut tidak akan lama dan dapat normal kembali. Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutus sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Kemudian disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila gangguan temporer sering terjadi dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen. Salah satu contoh gangguan yang bersifat temporer adalah gangguan akibat sentuhan pohon yang tumbuh disekitar jaringan, akibat binatang seperti burung kelelawar, ular dan layangan. Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya yang disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya.

2.2.7. Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan adalah tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem. Untuk menentukan tingkat keandalan suatu sistem, perlu dilakukan pemeriksaan melalui perhitungan atau analisis tingkat keberhasilan kinerja dan fungsi sistem yang diperiksa dalam periode tertentu dan membandingkannya dengan standar yang telah ditetapkan sebelumnya. Beberapa parameter reliabilitas dasar yang umum digunakan untuk mengevaluasi sistem distribusi radial adalah tingkat kesalahan rata-rata

(λs), waktu pemadaman rata-rata (r_s) dan waktu pemadaman tahunan (U_s) (Greschik Safrur Rahmat et al, 2013).

Menurut Momoh (2008), Keandalan adalah kemampuan jaringan untuk menyediakan listrik tanpa gangguan kepada pelanggan pada tingkat yang telah ditentukan sesuai dengan jaminan kualitas dan keamanannya.

Menurut Hartati (2007) Keandalan sistem distribusi adalah ukuran dari ketersediaan / tingkat layanan yang disediakan oleh sistem listrik kepada pengguna. Pengukuran reliabilitas dapat mengungkapkan frekuensi yang digunakan sistem untuk memeriksa pemadaman, durasi gangguan, dan kecepatan yang diperlukan untuk memulihkan status dari pemadaman yang terjadi (*restoration*).

Berdasarkan definisi ini, dapat disimpulkan bahwa keandalan didefinisikan sebagai kemungkinan bahwa suatu sistem dapat berfungsi di bawah kondisi dan periode operasi yang ditentukan. Sistem distribusi tentu memiliki nilai keandalan tertentu dan dapat diperoleh dengan menghitung indeks keandalannya (Pulungan, 2012).

Menurut Hartati (2007) tingkatan keandalan dalam pelayanan dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) yaitu:

a. Keandalan sistem yang tinggi (*high reliability system*)

Dalam kondisi normal, sistem akan menyediakan kapasitas yang cukup untuk menyediakan daya ke beban maksimum dengan variasi tegangan yang baik jika terjadi keadaan darurat, sehingga sistem ini jelas membutuhkan banyak peralatan dan keamanan untuk menghindari berbagai jenis gangguan sistem.

b. Keandalan sistem yang menengah (*Medium Reliability System*)

Kondisi normal sistem akan menyediakan kapasitas yang cukup untuk memasok daya ke beban puncak dengan variasi tegangan yang baik dan jika terjadi keadaan darurat atau terjadi kegagalan daya, sistem masih dapat menangani bagian dari beban

bahkan di bawah kondisi beban maksimum . Jadi dalam sistem ini banyak peralatan yang dibutuhkan untuk mengatasi dan mengatasi gangguan ini.

c. Keandalan sistem yang rendah (*low reliability system*)

Kondisi normal sistem akan menyediakan kapasitas yang cukup untuk memasok daya ke beban maksimum dengan variasi tegangan yang baik, tetapi jika ada gangguan dalam jaringan, sistem tidak dapat menangani beban. Jadi harus diperbaiki dulu. Secara alami, dalam sistem ini, tim keamanan relatif kecil. Kontinuitas layanan, distribusi jaringan distribusi tergantung pada jenis dan tipe peralatan sarana penyalur dan peralatan keselamatan, di mana pemasangan sarana penyalur (jaringan distribusi) memiliki tingkat kontinuitas yang tergantung pada pengaturan saluran dan dengan cara menyesuaikan sistem operasi yang secara khusus direncanakan dan dipilih untuk memenuhi kebutuhan dan sifat beban.

2.2.8. Indeks Keandalan

Menurut Wayan Sukerayasa (2007), Untuk mengevaluasi keandalan jaringan distribusi, teknik analisis digunakan dengan menggunakan rumus matematika, yaitu, indeks keandalan dasar menggunakan tingkat kegagalan λ (kegagalan / tahun), waktu gangguan rata-rata (jam / kegagalan) dan rata-rata tidak tersedianya tahunan U (jam/tahun), sedangkan indeks berdasarkan sistem termasuk SAIFI dan SAIDI.

Beberapa indikator yang digunakan untuk menunjukkan indeks keandalan dari suatu sistem distribusi listrik antara lain: SAIFI (*system average interruption frequency index*), SAIDI (*system average interruption duration index*), CAIDI (*customer average interruption duration index*) (Ifanda, 2014).

Keandalan dari pelayanan konsumen dapat dinyatakan dalam beberapa indeks yang biasanya digunakan untuk mengukur keandalan dari suatu sistem. Adapun indeks tersebut, diantaranya:

a. SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

Melaporkan frekuensi rata-rata pemadaman untuk setiap konsumen dalam satu tahun di daerah yang dievaluasi. Nilainya adalah jumlah gangguan yang terjadi dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Secara matematis dituliskan sebagai berikut (Tanzil, 2007):

$$SAIFI = \frac{\text{Total jumlah gangguan yang terjadi}}{\text{Total jumlah pelanggan}}$$

$$SAIFI = \frac{\sum(\lambda_i \cdot N_i)}{\sum N} \quad (\text{failure/year} \cdot \text{costumer}) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana: λ_i = indeks kegagalan rata-rata per tahun (*failure/year*)

N_i = jumlah konsumen padam

N = jumlah total konsumen

b. SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

Menginformasikan tentang durasi gangguan rata-rata untuk setiap konsumen dalam satu tahun di area yang dievaluasi. Secara matematis dituliskan sebagai berikut (Tanzil, 2007):

$$SAIDI = \frac{\text{total jumlah waktu gangguan yang dialami pelanggan}}{\text{total jumlah pelanggan}}$$

$$SAIDI = \frac{\sum(U_i \cdot N_i)}{\sum N} \text{ (hours/year*costumer)(2.2)}$$

Dimana: U_i = durasi pemadaman rata-rata per tahun (*hours/year*)

N_i = jumlah konsumen padam

N = jumlah total konsumen

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

Indeks ini melaporkan durasi gangguan rata-rata konsumen untuk setiap gangguan yang terjadi. Nilainya adalah jumlah durasi gangguan dibagi dengan total jumlah pelanggan. Secara matematis dituliskan sebagai berikut (Tanzil, 2007):

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \text{ (hours/failure)}$$

$$CAIDI = \frac{\sum(U_i \cdot N_i)}{\sum(\lambda_i \cdot N_i)} \text{(2.3)}$$

Dimana: λ_i = indeks kegagalan rata-rata per tahun (*failure/year*)

U_i = durasi pemadaman rata-rata per tahun (*hours/year*)

N_i = jumlah konsumen padam

2.2.9. Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN)

SPLN adalah standar perusahaan PT PLN (Persero) yang ditetapkan oleh Direksi yang bersifat wajib. Itu bisa dalam bentuk aturan, pedoman, instruksi, metode pengujian dan spesifikasi teknis. Sejak 1976, lebih dari 264 standar telah berhasil diselesaikan. Ini termasuk 61 standar di bidang distribusi dan 33 standar di bidang umum (Nashirul Haq, 2016).

Standar ini dimaksudkan untuk menjelaskan dan menentukan tingkat keandalan sistem distribusi listrik. Tujuannya adalah untuk memberikan arahan untuk menilai penampilan dan menentukan tingkat keandalan sistem distribusi dan juga sebagai titik acuan untuk kemajuan dalam menentukan proyeksi yang akan dicapai PLN.

2.2.10. Standar Nilai Indeks keandalan SAIFI dan SAIDI

Standar indeks keandalan SPLN 68-2, 1986 dapat dilihat pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Standar Indeks Keandalan SPLN No. 68-2: 1986
(Sumber: SPLN No. 68-2: 1986)

Indikator Kerja	Standar Nilai	satuan
SAIFI	3.2	Kali/pelanggan/tahun
SAIDI	21.09	Jam/pelanggan/tahun

Sedangkan standar indeks keandalan IEEE std 1366-2003 dapat dilihat pada tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Standar Indeks keandalan IEEE std 1366-2003
(Sumber: IEE std 1366-2003)

Indikator Kerja	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	1.45	Kali/pelanggan/tahun
SAIDI	2.30	Jam/pelanggan/tahun
CAIDI	1.47	Jam/gangguan

Kemudian standar indeks keandalan WCS (*World Class Service*) dan WCC (*World Class Company*) dapat dilihat pada tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Standar Indeks Keandalan WCS (*World Class Service*) dan WCC (*World Class Company*)

Indikator Kerja	Standar Nilai	satuan
SAIFI	3	Kali/pelanggan/tahun
SAIDI	1.666	Jam/pelanggan/tahun

2.2.11. MATLAB (*MATrix LABORatory*)

MATLAB adalah singkatan dari *MATrix LABORatory*, bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh *The Mathwork. Inc.* Program MATLAB merupakan program interaktif yang digunakan untuk melakukan perhitungan numerik keteknikan, komputasi simbolik, visualisasi, grafis, analisis data matematis, statistika, simulasi dan pemodelan dengan dasar matriks dan bidang ilmu pengetahuan dan teknik rekayasa.

MATLAB menyediakan sejumlah fasilitas, diantaranya:

1. Manipulasi mudah untuk membentuk matriks,
2. Sejumlah rutin yang mudah diakses dan dimodifikasi,
3. Fasilitas canggih untuk mendapatkan gambar berdimensi dua atau tiga,
4. Kemudahan untuk menuliskan program yang singkat, sederhana, dan dapat dikembangkan sesuai kebutuhan.

Karakteristik MATLAB disebutkan dalam buku *Analisis dan Design Sistem Kontrol dengan MATLAB* oleh Thomas Wahyu Dwi Hartanto dan Y. Wahyu Agung Prasetyo (2009) sebagai berikut:

1. Bahasa pemrogramannya didasarkan pada matriks (baris dan kolom).
2. Program MATLAB lebih lambat karena bahasanya langsung diartikan.

3. *Automatic memory management*, kita tidak harus mendeklarasikan *arrays* terlebih dahulu.
4. Tersusun rapi.
5. Memiliki waktu pengembangan program yang lebih cepat dibandingkan bahasa C dan *Fortran*.
6. Dapat diubah ke bahasa C lewat MATLAB Compiler untuk efisiensi yang lebih baik.
7. Tersedia banyak *toolbox* untuk aplikasi-aplikasi khusus.

MATLAB merupakan sistem dengan elemen basis data *array* yang dimensinya tidak perlu dinyatakan secara khusus. Ini memungkinkan untuk memecahkan banyak masalah perhitungan teknik, khususnya dengan matriks dan vektor.

Sistem pada MATLAB terdiri atas 5 sistem pokok yaitu:

1. Lingkungan kerja meliputi *command window*, *command history*, *editor and debugger*, dan fasilitas *help*, *workspace*, dan *search path*.
2. *MATLAB Mathematical Function Library* atau fungsi matematis dalam MATLAB mulai dari fungsi-fungsi sederhana aritmatika, logika, trigonometri, bilangan kompleks, dan matriks.
3. *MATLAB Language* atau bahasa pemrograman MATLAB.
4. Grafik pada MATLAB baik dua dimensi maupun tiga dimensi.
5. Aplikasi Program *Interface* pada MATLAB yang memungkinkan membangun program menggunakan bahasa C dan *Fortran* di MATLAB.

Program MATLAB memberikan banyak kemudahan dengan adanya perintah dan fungsi-fungsi bawaan dalam listing program MATLAB. Perintah dan fungsi dalam *listing* program MATLAB antara lain:

disp	memperlihatkan matriks atau teks
end	mendefinisikan akhir dari sebuah struktur kontrol, tanda batas blok statemen for, while, switch, dan if
fprintf	mencetak informasi terformat
sprint	menulis data terformat menjadi <i>string</i>
grid	memasukkan grid (garis-garis grid) dalam sebuah gambar
pause	sementara menghentikan sebuah program, untuk melanjutkannya ketik sembarang tombol
plot	membuat sebuah gambar <i>xy</i> linear
text	keterangan teks
title	menambahkan sebuah judul pada sebuah gambar
xlabel	menambahkan label sumbu-x pada sebuah gambar
ylabel	menambahkan label sumbu-y pada sebuah gambar
while	membuat sebuah struktur putaran, mengulang blok statemen dengan jumlah perulangan tidak terbatas
for	loop (pengulangan) sebanyak beberapa kali
sum	menyatakan jumlah elemen

untuk mengetahui perintah-perintah dalam program MATLAB dapat dilihat menggunakan perintah berikut:

```
>> help <instruksi/perintah>.\
```

Perintah *help* digunakan untuk menggunakan bantuan yang tersedia pada MATLAB. Pada menu *help* juga tersedia demo dan keterangan lengkap tentang MATLAB. Dengan mengetahui fungsi dari masing-masing perintah, maka dapat dengan mudah dibuat deretan program untuk menjalankan perhutingan dengan menggunakan MATLAB.

Untuk menyimpan hasil-hasil dari operasi MATLAB ke dalam media yang lebih permanen menggunakan perintah:

```
>> save nama_file.mat
```

Pada perintah diatas semua atau sebagian variable yang saat itu aktif dalam memory disimpan kedalam sebuah file. Jika hanya menggunakan perintah *save*, maka semua variable kerja yang aktif akan disimpan dalam file dengan ekstensi *matlab.mat*. Nilai-nilai yang tersimpan dalam file tersebut dapat dipanggil kembali dengan perintah *load* seperti berikut:

```
>>load nama_file
```

a. Lingkungan Kerja MATLAB

MATLAB menyediakan lingkungan kerja yang mendukung dalam membangun aplikasi. Lingkungan terpadu ini terdiri atas beberapa *form* atau *window* yang memiliki kegunaan masing-masing. Fasilitas-fasilitas pada lingkungan kerja ini terus bertambah sesuai dengan perkembangan dari versi MATLAB sendiri. *Form* atau *window* induk yang tersedia di MATLAB R2014b terdiri dari *command window*, *command history*, *current directory*, *workspace* dan *M-file*.

1. Command Window

Command window berfungsi sebagai window untuk menjalankan fungsi dan program yang sudah dimasukan. Selain itu *command window* digunakan untuk memasukan variabel-variabel

yang dibutuhkan.

2. Command History

Semua *statement* atau perintah yang telah di-*run* pada *command window* akan secara otomatis tersimpan pada *command history*. Untuk menghapus perintah yang ada di *command history* pilih menu *edit* kemudian pilih *clear command history*.

3. Current Directory

Current directory digunakan untuk mencari program yang telah digunakan untuk menjadi acuan.

4. Workspace

Workspace menampilkan nama-nama variabel yang sudah digunakan. Nama variabel pada suatu program harus unik. Ada kemungkinan programmer lupa nama dari variabel yang telah ditulis sebelumnya. Dengan *workspace* maka adanya kesamaan nama variabel dapat teratasi karena semua nama variabel tercantum didalamnya.

5. M-files

File-file yang mengandung berekstensi *.m* disebut m-files. Ada dua jenis m-files, yaitu *script file* dan *function file*. *Script file* tidak mengandung *argument input* atau mengembalikan *argument output*. *Function file* dapat mengandung *argument input* atau mengembalikan *argument output*.

Untuk membuka m-file, klik menu *file* kemudian pilih *new* dan klik *m-file*. Setelah itu akan muncul jendela Matlab *editor/debugger*. Jendela MATLAB *editor/debugger* digunakan untuk menuliskan dan mengedit program

Dalam pembuatan program menggunakan MATLAB, terdapat 2 cara yaitu:

1. Menggunakan *Command Window*

Cara ini biasa digunakan untuk membangun program-program sederhana. Jika digunakan untuk membangun program yang panjang dan rumit, akan menemui kesulitan saat mengevaluasi program secara keseluruhan karena biasanya perintah dilakukan tiap baris.

2. Menggunakan *M-file*

Program dapat dibangun pada jendela *M-file* dengan menuliskan *listing* program. Program ditulis sesuai urutan eksekusinya. Untuk menjalankan program bisa dengan cara *setting path* dan memanggil file program dari *Command Window* atau dengan cara *listing* tersebut dicopy ke *Command Window* terlebih dahulu kemudian tekan *enter*.

b. Bilangan dan Operasi Matematis Dasar dalam MATLAB

MATLAB dirancang untuk memudahkan untuk memudahkan perhitungan- perhitungan Terdapat 3 jenis bilangan dalam MATLAB yaitu bilangan bulat (*Integer*), bilangan nyata (*Real*), bilangan kompleks. Untuk melengkapi penjelasan bilangan tersebut, MATLAB mempunyai 3 variabel *nounnumbers* yaitu:

1. $-\text{Inf}$ (*Negative infinity*),
2. Inf (*Infinity*),
3. NaN (*Not a number*) misalnya $0/0$.

Program MATLAB dilengkapi fasilitas untuk melaksanakan operasi aritmatika sederhana, relasi dan operasi logika seperti berikut:

\wedge	Perpangkatan
$*$	Perkalian
$/$ atau \backslash	Pembagian

+	Penjumlahan
-	Pengurangan
<	Kurang dari
<=	Kurang dari sama dengan
>	Lebih dari
>=	Lebih dari sama dengan
==	Sama dengan
~=	Tak sama dengan
	Operator logika or
&	Operator logika and
~	Operator logika not

selain karakter-karakter yang telah disebutkan diatas, masih ada karakter-karakter lain yang mempunyai fungsi khusus seperti:

() membentuk tulisan

bawah garis [] membentuk

matriks

, memisahkan tulisan bawah garis atau elemen matriks

; memisahkan perintah atau baris matriks

% menyatakan komentar

. perkalian skalar

: membentuk matriks

' tranpose matriks

Didalam MATLAB juga terdapat fungsi-fungsi matematis dan trigonometri khusus, antara lain:

isreal (x)	: untuk mengetahui apakah bilangan x merupakan bilangan real
sin	: sinus
sinh	: sinus <i>hyperbolic</i>
asin	: inverse sinus
asinh	: inverse sinus hyperbolic
cos	: cosinus
tan	: tangen
sec	: secan
csc	: cosecan
cot	: cotangen
exp	: eksponensial
abs	: absolute value
angle	: sudut dari bilangan kompleks polar
conj	: conjugate dari suatu bilangan kompleks
inv	: invers suatu matrik

3. Fungsi *If-end If-else-end if-elseif-else-end* Pada MATLAB

Fungsi *If-end If-else-end if-elseif-else-end* pada MATLAB merupakan fungsi pernyataan bersyarat. *Conditional Statements* atau pernyataan bersyarat adalah perintah yang digunakan untuk melakukan eksekusi beberapa perintah dengan menyesuaikan variabel

dengan syarat terhadap masing-masing perintah sehingga perintah-perintah dapat dilewati atau dieksekusi.

Terdapat 3 fungsi conditional statement pada MATLAB

1. Fungsi *if-end* Pada MATLAB

Jika *if statement* bernilai benar (1) maka command akan dieksekusi. Jika *if statement* bernilai salah maka command akan dilewati. Kemudian akan dilanjutkan ke perintah *end* yang berarti *conditional statement* sudah berakhir. Sehingga bisa dilanjutkan ke perintah program setelahnya.

2. Fungsi *if-else-end* Pada MATLAB

Dengan menggunakan fungsi *if-else-end* Anda dimungkinkan untuk membuat 2 grup perintah dalam satu fungsi *if-else-end*. Jika *if statement* bernilai benar maka *commands group 1* akan dieksekusi. Jika *if statement* bernilai salah maka *commands group 2* akan dieksekusi. Setelah itu *if-else-end* sudah berakhir dan dapat dilanjutkan ke *syntax* berikutnya pada program bersangkutan.

3. Fungsi *if-elseif-else-end* Pada MATLAB

Fungsi *if-elseif-else-end* memungkin Anda membuat *commands group* yang banyak dalam satu fungsi. Jika *if statement* bernilai benar (1) maka *command group 1* dieksekusi. Jika *if statement* bernilai salah (0) maka *elseif statement* dieksekusi. Jika *elseif statement* bernilai benar (1) maka *command group 2* dieksekusi. Jika *elseif statement* bernilai salah (0) maka *command group 3* dieksekusi. *Conditional Statement* berakhir.

