

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Untuk membantu menyelesaikan proses pembuatan Proyek Akhir ini, dibutuhkan adanya beberapa referensi yang dapat menjadi acuan penulis dalam melakukan penelitian.

1. **I MADE PURBAHA (2014). JURNAL MATRIX VOL 4 NO 3 NOPEMBER 2014. ANALISIS PENGARUH REKONFIGURASI JARINGAN TERHADAP PEMBEBANAN TRANSFORMATOR PADA GARDU DISTRIBUSI KA 1316 PENYULANG SRIWIJAYA.**" rekonfigurasi jaringan ini pembebanan pada trafo dapat diminimalisir untuk menghindari terjadinya kerusakan pada trafo tersebut, mengantisipasi perkembangan beban, serta mempertahankan kualitas tegangan pada ujung saluran"
2. **R.S HARTATI (2015).E-JOURNAL SPECTRUM VOL 2,NO 1 MARET 2015. EVALUASI UNTUK MENGATASI BEBAN LEBIH PADA PENYULANG BATU BELIG.**" standar maksimal pembebanan suatu penyulang 240 A (80% dari 300 ampere). Mengatasi beban lebih pada penyulang Batu Belig, perlu dilakukan rekonfigurasi jaringan distribusi. Rekonfigurasi jaringan distribusi dapat dilakukan dengan dua skenario : skenario 1 dengan mengalihkan sebagian beban penyulang Batu Belig ke penyulang terdekat, yaitu penyulang Mertanadi dan Uma Alas. Skenario 2 dengan memotong beban penyulang Batu Belig menjadi dua, sehingga didapat penyulang Batu Belig 1 dan penyulang Batu Belig 2. Penyulang Batu Belig 2 akan dialihkan ke penyulang baru, yang ditarik dari gardu induk terdekat, yaitu Gardu Induk Padang Sambian dan Gardu Induk Pemecutan Kelod. Setelah dianalisis solusi terbaik untuk mengatasi beban yang sudah kritis pada penyulang Batu Belig dengan rekonfigurasi skenario 2, yaitu penyulang Batu Belig 2 dengan

sumber gardu induk Pemecutan Kelod (trafo III/ 60 MVA) menggunakan kabel tanam (AL XLPE 240 mm²)”.

2.2. LANDASAN TEORI

2.2.1. Sistem distribusi tenaga listrik

Sistem distribusi adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya besar (seperti pada gardu induk) sampai pada konsumen tenaga listrik. Dari gardu induk tenaga listrik disalurkan ke jaringan distribusi primer (SUTM), dan melalui gardu distribusi langsung ke jaringan distribusi sekunder (SUTR), tenaga listrik dialirkan ke konsumen. Dengan demikian sistem distribusi tenaga listrik berfungsi membagikan tenaga listrik kepada pihak pemakai melalui jaringan tegangan rendah (SUTR).

Sistem pendistribusian tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua metode yaitu sistem distribusi langsung dan sistem distribusi tidak langsung. Sistem distribusi langsung merupakan sistem penyaluran listrik yang tidak melalui jaringan transmisi terlebih dahulu, umumnya dilakukan apabila lokasi pembangkit dekat dengan konsumen. Sementara sistem distribusi tidak langsung dilakukan apabila lokasi pembangkit listrik dan konsumen berjauhan, sehingga dibutuhkan saluran transmisi.

Saluran distribusi sekunder merupakan saluran antara gardu distribusi dengan pelanggan. Tegangan nominal yang digunakan di saluran distribusi sekunder ini bernilai 231/400 V. Tegangan 231 V adalah tegangan antara fasa dengan netral, sedangkan tegangan 400 V adalah tegangan fasa dengan fasa.

Persyaratan sistem distribusi menyalurkan listrik yang berkualitas kepada pemanfaatan merupakan kewajiban setiap penyedia layanan listrik. Syarat-syarat yang biasanya dipenuhi untuk memenuhi kualitas pelayanan tersebut adalah:

1. Faktor Keandalan Sistem

Faktor keandalan sistem meliputi :

- a. Kontinuitas listrik merupakan salah satu tuntutan dari setiap pelanggan listrik, karena pelayanan yang baik berarti tidak ada gangguan dalam pengiriman yang menyebabkan listrik padam. Untuk memenuhi tuntutan ini diperlakukan cadangan-cadangan suplai listrik :
- 1) Cadangan siap merupakan suplai listrik yang didapat dari pembangkit-pembangkit yang tidak dibebani secara penuh namun beroperasi setiap saat.
 - 2) Cadangan panas adalah cadangan yang didapat dari pusat-pusat pembangkit yang menggunakan tenaga thermal ataupun PLTA memiliki kapasitas air yang siap bekerja setiap saat.
 - 3) Cadangan diam adalah cadangan tenaga dari pusat-pusat pembangkit yang tidak bekerja namun memiliki waktu starting yang dapat sehingga langsung bisa bekerja ketika dibutuhkan, misalnya PLTG.
- b. Kemudahan akan identifikasi dan perbaikan kerusakan juga menjadi salah satu faktor keandalan sistem. Salah satu cara untuk membantu proses ini adalah dengan pemasangan relay-relay dan switch di lokasi-lokasi penting, sehingga bisa mengisolir wilayah yang mengalami gangguan.
- c. Adanya *back-up supply* pada jaringan distribusi, khususnya pada jaringan distribusi Primer.
2. Faktor Kualitas Penyaluran Tenaga Listrik
- Kualitas tegangan yang stabil merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas suatu sistem tenaga listrik. Menurut *IEC Publication 38/1967*, tegangan jatuh pada setiap wilayah beban dibatasi sampai 10%, karena itu harus ada *voltage regulator* pada setiap sistem, khususnya pada transformator-transformator di pusat listrik dan di transformator gardu distribusi. Di Indonesia, PLN memiliki ketentuan susut tegangan lebih dari 5% dari tegangan operasi dan kurang dari 10% dari tegangan operasi untuk JTR dan $\pm 5\%$ untuk JTM.

3. Faktor keselamatan

- a. Keselamatan penduduk pada wilayah yang ada peralatan transmisi dan distribusi harus terjamin, seperti contoh dapat diletakkan papan peringatan bahaya listrik, jarak aman (*clearance*) yaitu jarak antara bagian aktif/netral dan jaringan terhadap benda –benda disekelilingnya baik secara mekanis atau elektromagnetis yang tidak memberikan pengaruh membahayakan, ataupun pagar-pagar pembatas pada pusat tenaga listrik.
- b. Keselamatan bagi pekerja instalasi listrik juga harus terjamin dengan baik, selain itu sistem pengaman dan pelindung harus terpasang di peralatan ataupun di jaringan, serta alat-alat K3 yang mencukupi.

4. Faktor Perencanaan

Perencanaan harus dilakukan sebaik mungkin, sehingga memudahkan untuk perkembangan lebih lanjut.

Secara umum, baik buruknya sistem penyaluran dan distribusi tenaga listrik terutama adalah ditinjau dari hal-hal berikut ini:

1. Kontinuitas pelayanan yang baik, tidak sering terjadi pemutusan, baik karena gangguan maupun karena hal-hal yang direncanakan. Biasanya kontinuitas pelayanan terbaik diprioritaskan pada beban-beban yang dianggap vital dan sama sekali tidak dikehendaki mengalami pemadaman, misalnya: instalasi militer, pusat pelayanan komunikasi, rumah sakit, dll.
2. Kualitas daya yang baik, antara lain meliputi:
 - a. Kapasitas daya terpenuhi.
 - b. Tegangan yang selalu konstan dan nominal.
 - c. Frekuensi yang selalu konstan (untuk sistem ac)

Catatan: tegangan nominal di sini dapat pula diartikan kerugian tegangan yang terjadi pada saluran relatif kecil sekali.
3. Perluasan dan penyebaran daerah beban yang dilayani seimbang. Khususnya untuk sistem tegangan AC 3 fasa, factor keseimbangan/kesimetrisan beban pada masing-masing fasa perlu diperhatikan.

4. Fleksibel dalam pengembangan dan perluasan daerah beban.

Perencanaan sistem distribusi yang baik, tidak hanya bertitik tolak pada kebutuhan beban sesaat, tetapi perlu diperhatikan pula secara teliti mengenai pengembangan beban yang harus dilayani, bukan saja dalam hal penambahan kapasitas dayanya, tetapi juga dalam hal perluasan daerah beban yang harus dilayani.

5. Kondisi dan situasi lingkungan.

Faktor ini merupakan pertimbangan dalam perencanaan untuk menentukan tipe-tipe atau macam sistem distribusi mana yang sesuai untuk lingkungan bersangkutan, misalnya tentang konduktornya, konfigurasi, tata letaknya, dan sebagainya. Termasuk pertimbangan segi estetika (keindahan) nya.

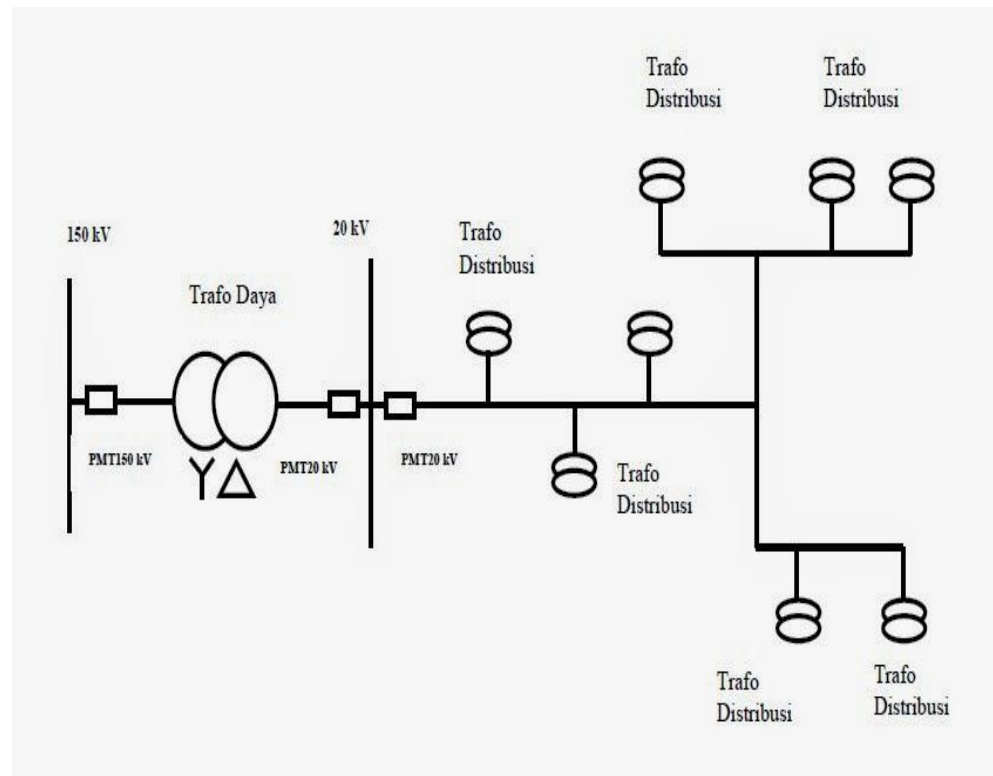
6. Pertimbangan ekonomis.

Faktor ini menyangkut perhitungan untung rugi ditinjau dari segi ekonomis, baik secara komersil maupun dalam rangka penghematan anggaran yang tersedia.

2.2.2 Konfigurasi jaringan distribusi

1. Jaringan radial

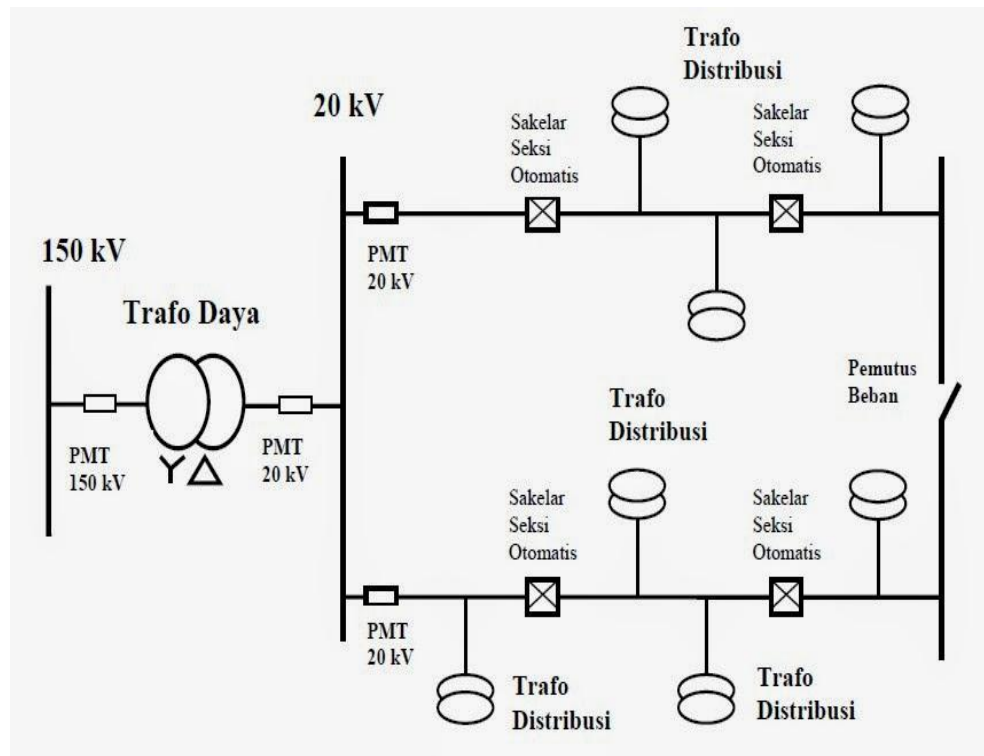
Sistem jaringan distribusi primer tipe radial hanya memiliki satu sumber pengisian. Bila terjadi gangguan pada salah satunya (baik sumber ataupun penyulangannya), maka semua beban yang dilayani oleh jaringan ini akan terkena imbasnya yaitu padam. Kelebihan konfigurasi sistem distribusi radial adalah polanya yang sederhana dan nilai investasinya yang murah. Sedangkan kekurangan dari sistem radial adalah kontinuitas pelayanan yang kurang baik yang berdampak pada keandalan yang relatif rendah.



Gambar 2.1 Konfigurasi jaringan radial

2. Jaringan Loop

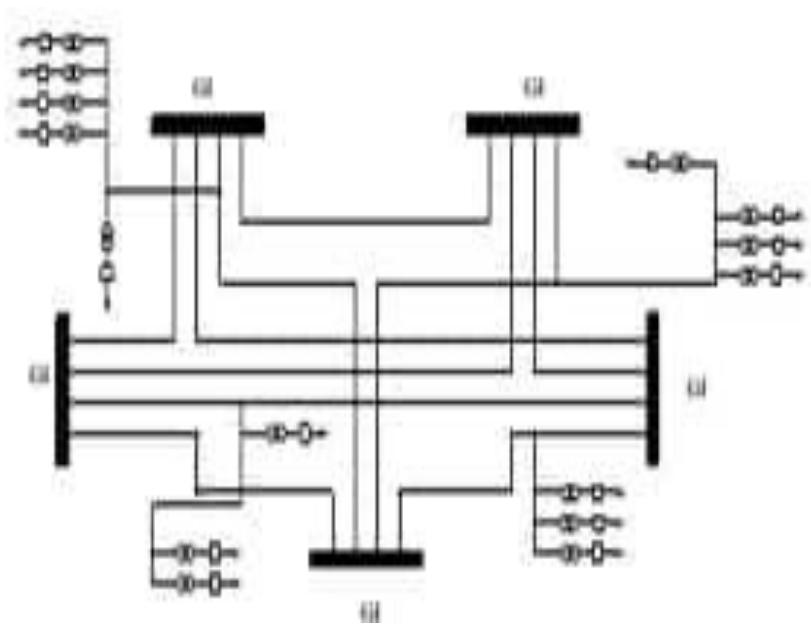
Sistem jaringan distribusi primer tipe lingkaran (loop/ring) ini merupakan gabungan/perpaduan dari dua buah jaringan sistem radial. Secara umum, sistem jaringan tipe ini sudah mempunyai sistem keandalan dan kontinuitas yang lebih baik dibandingkan dengan jaringan tipe radial. Hal ini dikarenakan jumlah sumber dan penyulang yang ada pada suatu jaringan adalah lebih dari satu buah. Keunggulan dari sistem saluran ini adalah kontinuitas penyaluran daya listrik cukup tinggi serta tingkat keamanan dan keandalan yang lebih baik. Sedangkan kelemahan dari sistem saluran ini adalah biaya investasi dan pemeliharaan yang relatif mahal.



Gambar 2.2 Konfigurasi jaringan loop

3. Jaringan sistem gugus

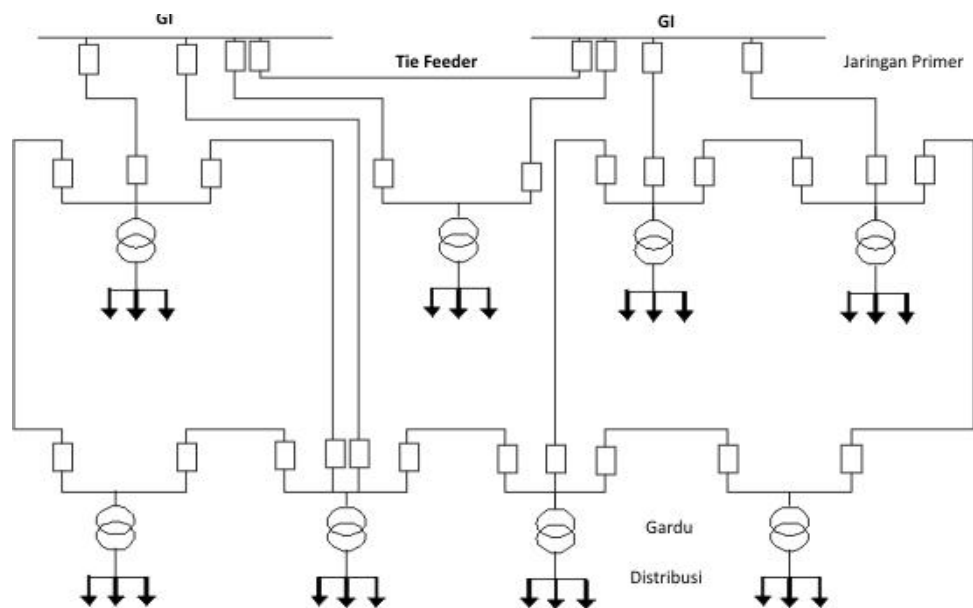
Sistem jaringan distribusi primer tipe gugus (*mesh*) ini merupakan variasi dari sistem spindle. Perbedaannya hanyalah terletak pada penyulang cadangan (*express feeder*). Sistem ini mempunyai tingkat keandalan dan kontinuitas yang lebih baik dibandingkan dengan sistem lingkaran ataupun radial. Sistem ini jarang dipergunakan pada sistem jaringan distribusi primer tegangan menengah. Pada umumnya sistem ini diterapkan pada sistem transmisi tegangan tinggi yang sering disebut sebagai sistem interkoneksi. Keunggulan dari sistem jaringan tipe gugus adalah, mempunyai tingkat keandalan yang cukup tinggi, dapat mengikuti pertumbuhan dan perkembangan beban, kualitas tegangan baik dan rugi daya kecil. Sedangkan kelemahannya adalah pengoperasiannya yang sulit serta biaya investasi yang sangat mahal.



Gambar 2.3 Konfigurasi sistem gugus

4. Jaringan sistem grid

Pola jaringan ini mempunyai beberapa rel daya dan antara rel-rel tersebut dihubungkan oleh saluran penghubung yang disebut tie feeder. Dengan demikian setiap gardu distribusi dapat menerima atau mengirim daya dari atau ke rel lain.



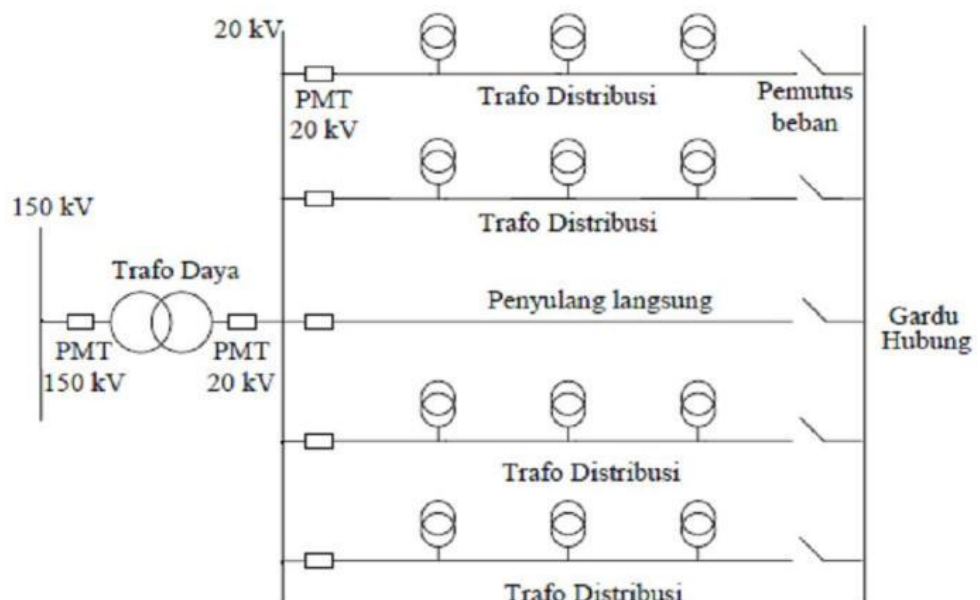
Gambar 2.4 jaringan sistem grid

5. Jaringan Spindel

Sistem jaringan distribusi primer sistem spindle merupakan modifikasi dari sistem lingkaran (loop/ring) yang terdiri dari beberapa sistem radial. Sistem ini terdiri dari beberapa penyulang, masing-masing penyulang berpangkal pada satu gardu induk dan ujung-ujungnya akan terhubung di gardu hubung (GH).

Penyulang-penyulang tersebut dibagi menjadi dua jenis yaitu :

- Penyulang kerja/*working feeder*. Merupakan penyulang yang dioperasikan untuk mengalirkan daya listrik dari sumber sampai ke konsumen, sehingga penyulang ini dioperasikan dalam keadaan bertegangan dan sudah dibebani.
- Penyulang cadangan/*express feeder*. Merupakan penyulang yang menghubungkan gardu induk langsung ke gardu hubung, dan tidak dibebani oleh gardu-gardu distribusi. Pada operasi normal, penyulang ini tidak dialiri arus-arus beban dan hanya berfungsi sebagai penyulang cadangan untuk menyuplai penyulang yang mengalami gangguan melalui gardu hubung.



Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan spindle

2.2.3 Jaringan distribusi primer

Kawasan pelayanan jaringan distribusi:

1. Kawasan perumahan padat beban rendah.
2. Kawasan perumahan padat beban tinggi.
3. Kawasan niaga.
4. Kondominium.
5. Kawasan industri.
6. Titik beban industri.

Tabel 2.1 Kawasan pelayanan distribusi

Macam kawasan	Padat beban	Sistem jaringan	Kurva beban harian dan load factor
Pedesaan	Sangat rendah	JTM: 20 kV radial diatas tanah JTR: twisted	Beban puncak pendek $\approx$ 4 jam LF sangat rendah.
Perumahan RSS	Rendah	JTM: 20 kV radial diatas tanah JTR: twisted	Beban puncak pendek $\approx$ 4 jam LF sangat rendah.
Rumah susun	Sedang	JTM: 20 kV radial diatas tanah JTR: twisted	Beban puncak pendek $\approx$ 4 jam LF sangat rendah.
Perumahan sedang dan mewah	Sedang	JTM: 20 kV radial diatas tanah (atau cluster)	Karena menggunakan penyejuk load

Macam kawasan	Padat beban	Sistem jaringan	Kurva beban harian dan load factor
		JTR: twisted	factor agak tinggi
Metropolitan gedung bertingkat: perumahan, perkantoran, hotel, dan niaga.	Sangat tinggi	JTM: 20 kV spindle kabel tanah JTR: berisolasi dalam tanah atau dalam gedung	Untuk perumahan load factor agak tinggi. Untuk kantor dan pertokoan load factor sedang
Kawasan industry kecil	Sedang	JTM: SUTM radial atau kabel tanah spindel JTR: twisted	Biasanya operasi hanya saat jam kerja, load factor sedang.
Kawasan industry besar	Tinggi	JTM: spindle 150 kV SUTT atau kabel dengan scada atau spindel 20 kV kabel tanah Spot network 20 kV untuk beban > 10 MVA atau alternatif 150 kV	Load factor sedang dan tinggi.
Titik beban industry antara lain arc furnace	Sangat tinggi	150 kV SUTT atau kabel daya diatas 30 MVA	Biasanya operasi 24 jam waktu jam kerja load factor tinggi

Macam kawasan	Padat beban	Sistem jaringan	Kurva beban harian dan load factor
Kereta api listrik			Load factor tinggi beban tinggi dan merata antara jam 06:00 s/d 22:00

Faktor-faktor dalam pemilihan jaringan tegangan menengah:

1. Sifat beban yang akan tersambung
2. Kerapatan beban dari area yang dilayani
3. Tingkat pertumbuhan dari beban
4. Kebutuhan kapasitas cadangan untuk kondisi darurat
5. Tipe dan harga dari konstruksi jaringan
6. Rancangan dan kapasitas gardu distribusi
7. Jenis peralatan regulasi yang digunakan
8. Kualitas pelayanan yang dikehendaki
9. kontinuitas pelayan yang diperlukan

Dalam klasifikasi saluran distribusi tenaga listrik dapat dilakukan dengan beberapa cara :

1. Berdasarkan nilai tegangannya

Berdasarkan nilai tegangannya, saluran distribusi dapat dibedakan menjadi dua yaitu saluran distribusi primer dan saluran distribusi sekunder.

- a. Saluran distribusi primer

Terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder trafo substation (GI) dengan titik primer trafo distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20 kV. Jaringan listrik 70 kV atau 150 kV, jika langsung melayani pelanggan bisa disebut jaringan distribusi.

b. Jaringan distribusi sekunder

Terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban

2. Berdasarkan jenis konduktornya

Berdasarkan jenis konduktornya, saluran distribusi dapat dibedakan sebagai berikut:

a. Saluran udara

Dipasang pada udara terbuka dengan bantuan support (tiang) dan perlengkapannya, dibedakan atas:

- 1) Saluran kawat udara, bila konduktornya telanjang, tanpa isolasi pembungkus
- 2) Isolasi kabel udara, bila konduktornya terbungkus isolasi.

b. Saluran kabel tanah, dipasang di dalam tanah, dengan menggunakan kabel tanah (ground cable)

c. Saluran bawah laut, dipasang di dasar laut dengan menggunakan kabel laut (submarine cable)

3. Berdasarkan susunan (konfigurasi) salurannya:

a. Saluran konfigurasi horizontal:

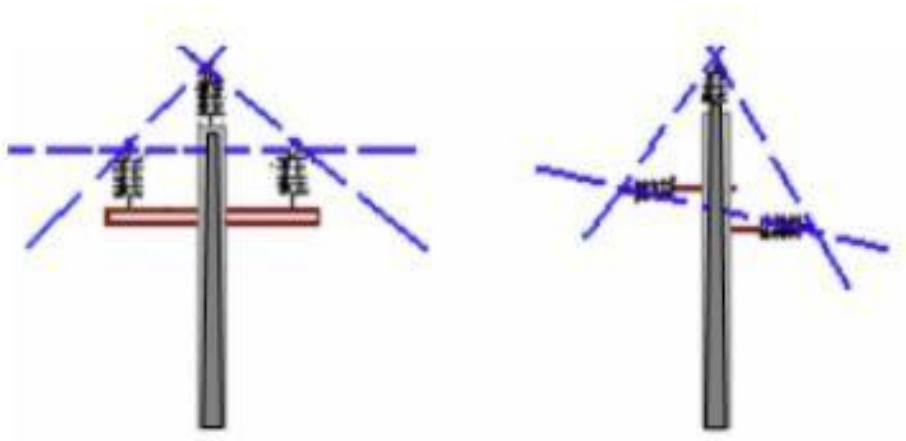
Bila saluran fasa terhadap fasa yang lain/terhadap netral, atau saluran positif terhadap negatif (pada system DC) membentuk garis horizontal

b. Saluran konfigurasi vertical:

Bila saluran-saluran tersebut membentuk garis vertikal

c. Saluran konfigurasi delta:

Bila kedudukan saluran satu sama lain membentuk suatu segitiga (delta).



Gambar 2.6 Konfigurasi delta

2.3 KERANGKA PEMIKIRAN

Untuk mempermudah pemahaman yang dilakukan di dalam penelitian, maka digunakan bagan seperti ditunjukkan oleh gambar 2.7 Sebagai berikut:



Gambar 2.7 Kerangka pemikiran