

BAB II

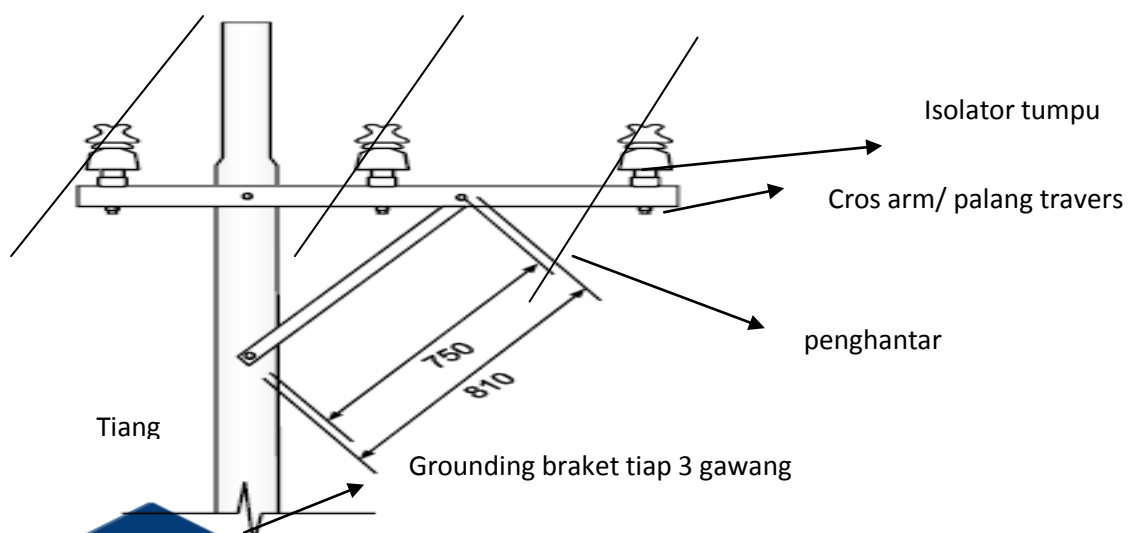
SISTEM DISTRIBUSI JARINGAN TEGANGAN MENENGAH

2.1 Konstruksi Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

2.1.1 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

SUTM merupakan jaringan kawat telanjang (tidak berisolasi) yang terentang di udara. Bagian-bagian utama suatu SUTM adalah :

1. Tiang penyangga
2. Travers atau Cross Arm
3. Isolator (porselin atau gelas)
4. Penghantar
5. Grounding.



Gambar 2.1. Konstruksi saluran udara tegangan menengah

2.1.1.1 Tiang Penyangga

Tiang penyangga pada SUTM biasanya berjenis antara lain beton dan besi. Untuk ketinggian tiang penyangga berkisar antara 11 meter hingga 15 meter. Sedangkan untuk kekuatan tiang yaitu 200,350,500,800,1200 daN (1 daN = 0,95 kg gaya). Pemilihan kekuatan pada tiang penyangga didasarkan atas jumlah fasa, luas penampang, jarak gawang, fungsi tiang (sudut, ujung, awal, akhir), kekuatan angin 40 bar/m² dan koefisien elastic.

2.1.1.2 Travers Crossarm (Palang)

Crossarm (palang) digunakan untuk dudukan aksesoris jaringan. Crossarm terbuat dari bahan baja galvanis UNP 10,12, dan 15. Penggunaan crossarm untuk sudut jaringan yang lebih dari 30 derajat memakai ukuran panjang 1800 cm, sedangkan untuk sudut jaringan yang kurang dari 30 derajat memakai crossarm dengan ukuran panjang 240 cm.

2.1.1.3 Isolator

Isolator terbuat dari bahan porselin atau gelas. Isolator berfungsi sebagai isolasi pada bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan, selain itu berfungsi juga sebagai penyangga mekanis menahan gaya berat hantaran dan tensile stress.

2.1.1.4 Penghantar

Penghantar yang biasa digunakan yaitu :

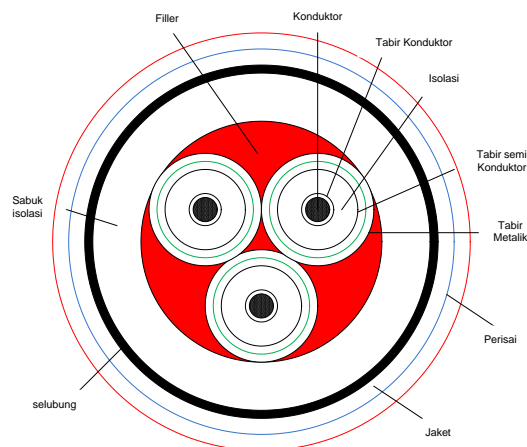
- Jenis A2C : All Aluminium Conductor (jenis penghantar yang terbuat dari aluminium murni)
- Jenis A3C : All Aluminium Alloy Conductor (penghantar yang terbuat dari aluminium campuran).
- ACSR : Aluminium Conductor Steel Reinforced (penghantar yang mempergunakan dua jenis logam, aluminium dan baja sebagai penguat).

Penampang standard PLN (35,50,70,120,150,187.5,240,300)mm².

2.1.2 SALURAN KABEL TEGANGAN MENENGAH (SKTM)

2.1.2.1 Konstruksi Kabel

Kabel merupakan penghantar yang berisolasi dan dilapisi oleh pelindung kabel guna menghindari garam-garam tanah dan bahan kimia yang berada dalam tanah. Sebagai penghantar berisolasi, konstruksi kabel dibagi menjadi:



Gambar 2.2. Konstruksi Kabel Tanah

2.1.2.2 Bagian Utama

Bagian utama di dalam hantaran yang berisolasi adalah bagian yang harus dimiliki oleh kabel tenaga, yaitu :

1. Penghantar (conductor)
2. Isolasi (insulation)
3. Tabir (screen)
4. Selubung (sheath)

2.1.2.3 Konduktor

Konduktor adalah bagian yang berfungsi untuk menghantarkan arus listrik. Kuat hantar arus listrik konduktor sangat dipengaruhi oleh unsur-unsur campurannya, kemurnian dan ketidaksempurnaan dalam Kristal logam. Unsur-unsur logam selain mempengaruhi daya hantar arus listrik juga dapat mempengaruhi sifat-sifat mekanik dan fisika lainnya. Logam murni memiliki sifat daya hantar arus listrik yang lebih baik dari pada logam yang memiliki kemurnian lebih rendah, tetapi kekuatan mekanis logam murni lebih rendah dibandingkan logam yang memiliki kemurnian yang lebih rendah.

Konduktor yang lebih banyak digunakan saat ini adalah:

- Tembaga, dengan kemurnian 99,99%
- Aluminium, dengan kemurnian 99,3%.

2.1.2.4 Isolasi

Isolasi merupakan faktor penting pada sistem tenaga listrik. Salah satu gangguan penyaluran tenaga listrik dengan mempergunakan kabel adalah apabila terjadi kerusakan pada isolasi.

Dengan demikian perencanaan kabel harus disesuaikan dengan penggunaannya, sehingga bahan isolasinya pun dapat disesuaikan dengan kemampuan kabel tersebut.

Isolasi pada kabel bertujuan untuk mencegah terjadinya aliran listrik dari penghantar beroperasi ke tanah atau penghantar lainnya yang berdekatan.

Isolasi yang ideal harus mempunyai sifat-sifat berikut

- Mampu menahan stress listrik yang ditimbulkan oleh tegangan bolak-balik.
- Tahanan jenis yang tinggi.
- Tidak menghisap air / uap air (non hygrokapis).
- Mudah dibengkokkan (fleksibel).
- Tidak mudah terbakar.
- Sanggup menahan tegangan impuls yang tinggi.
- Dapat bekerja pada suhu rendah atau suhu tinggi.

Tidak mungkin dalam suatu jenis isolasi memiliki semua sifat-sifat di atas, oleh karena itu diperlukan pemilihan jenis isolasi dengan pertimbangan sesuai dengan maksud dan tujuan kabel yang dipakai.

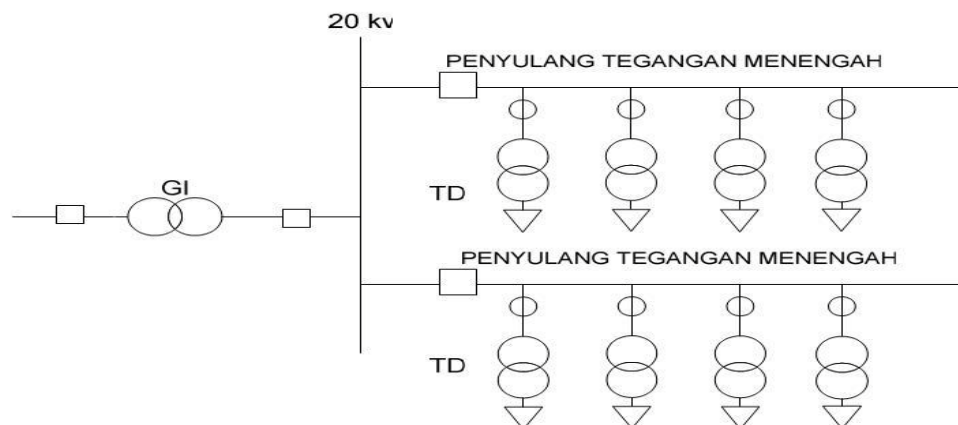
2.2 Konfigurasi Jaringan Tegangan Menengah

Ada beberapa jenis konfigurasi sistem distribusi dan setiap jenisnya mempunyai tingkat keandalan operasi yang berbeda. Berikut ini dijelaskan mengenai jenis konfigurasi sistem distribusi.

2.2.1 Sistem Jaringan Distribusi Radial

Pada dasarnya jaringan distribusi baik saluran udara maupun saluran kabel tanah diinginkan untuk beroperasi secara radial, hal ini untuk menyederhanakan sistem proteksi. Terkadang jaringan distribusi dioperasikan secara loop, akan tetapi kondisi ini hanya merupakan kondisi peralihan yang kemudian dilanjutkan dengan kondisi radial kembali.

Bentuk jaringan radial merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang-cabangkan ke titik-titik beban yang dilayani.



Gambar 2.3. Jaringan Distribusi Radial

a. *Jaringan Radial Saluran Udara*

Gangguan pada saluran udara lebih dari 90% bersifat temporer sehingga penggunaan penutup balik sangat membantu dalam pengurangan interupsi pasokan daya. Apabila gangguan bersifat permanen yang disebabkan adanya kerusakan maka pencarian letak gangguan dan perbaikannya relatif mudah dan tidak memakan waktu yang terlalu lama (< 20 jam). Untuk menaikkan kualitas penyediaan daya dapat digunakan pemutus beban yang berfungsi sebagai pemisah seksi dan diberi sumber pasokan alternatif.

b. *Jaringan Radial Saluran Kabel Tanah*

Saluran kabel tanah relatif jarang mengalami gangguan dibanding saluran udara ($\pm 1 - 2$ kali per 100 km per tahun). Jika terjadi gangguan pada saluran kabel tanah sebagian besar (> 90%) sifatnya permanen yang disebabkan oleh suatu kerusakan sehingga dibutuhkan waktu yang relatif lama untuk memulihkan pasokan daya karena memerlukan waktu untuk mencari letak gangguan dan memperbaiki kerusakan kabel yang terjadi. Waktu ini bisa mencapai lebih dari 24 jam, sehingga pada saluran radial kabel harus tersedia sumber pasokan alternatif agar interupsi pasokan daya dapat dipersingkat.

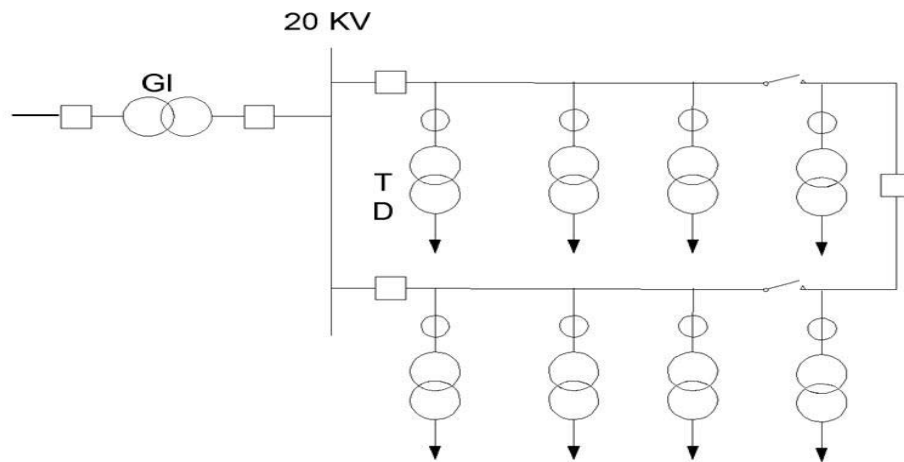
Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah :

1. Bentuknya sederhana.
2. Biaya investasinya murah.
3. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
4. Kontinuitas pelayanan daya kurang terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan maka akan mengalami "*black out*" secara total.

Untuk melokalisir gangguan pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, fungsinya untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

2.2.2 Sistem Jaringan Distribusi Loop

Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk ring, seperti terlihat pada gambar di bawah yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena *drop* tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil.

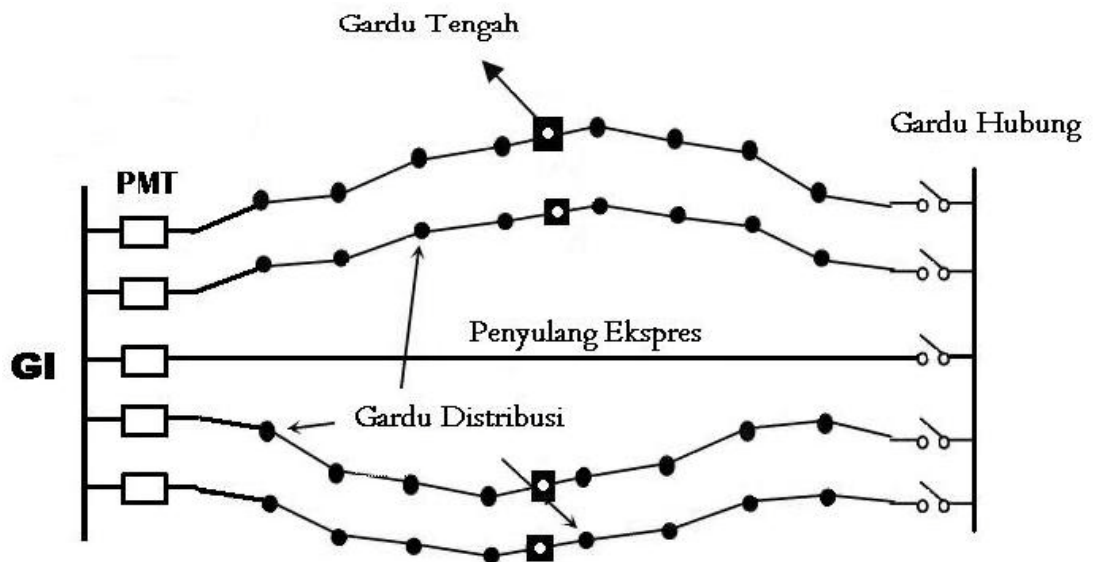


Gambar 2.4. Jaringan Distribusi Loop

2.2.3 Sistem Jaringan Distribusi Spindel

Tipe jaringan distribusi Spindel merupakan gabungan dari sistem Radial dan Ring yang telah dimodifikasi sehingga merupakan suatu sistem yang memiliki keandalan cukup tinggi namun ekonomis. Sistem ini ditandai oleh beberapa panyulang yang berawal dari sebuah Gardu Induk, kemudian melalui Gardu-gardu distribusi dan berakhir di Gardu Hubung.

Selain itu ada panyulang khusus yang tidak dibebani, panyulang ini disebut Express Feeder (panyulang Ekspres). Fungsinya adalah sebagai panyulang cadangan bilamana ada gangguan pada panyulang lain.



Gambar 2.5. Jaringan Distribusi Spindel

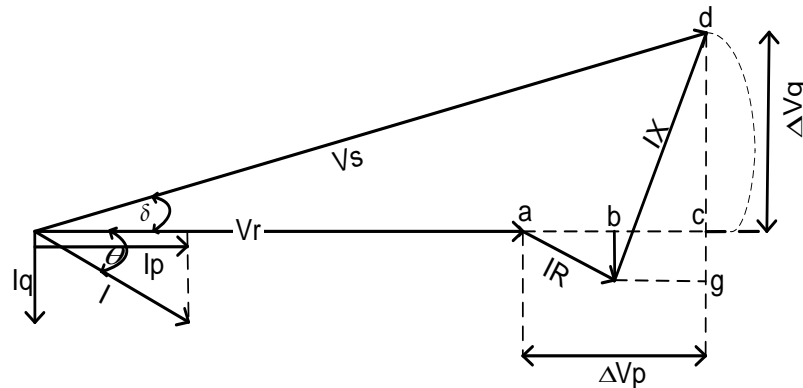
Sistem jaringan distribusi spindel sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan antara lain :

1. Peningkatan keandalan atau kontinuitas pelayanan sistem.
2. Menurunkan atau menekan rugi-rugi akibat gangguan.
3. Sangat baik untuk mensuplai daerah beban yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi.
4. Perluasan jaringan mudah dilakukan.
5. Sistem ini cocok untuk melayani kota-kota besar dimana beban tersebar dimana-mana.

2.3 Jatuh Tegangan dan Rugi-rugi Daya

2.3.1 Jatuh Tegangan

Penurunan persamaan jatuh tegangan dapat ditentukan dari gambar diagram fasor transmisi daya berikut:



Gambar 2.6. Diagram fasor jatuh tegangan

Umumnya beban yang terdapat pada sistem tenaga listrik bersifat resistif-induktif. Beban tersebut akan menyerap daya aktif dan daya reaktif yang dihasilkan oleh generator. Penyerapan daya reaktif yang diakibatkan oleh beban induktif akan menyebabkan timbulnya jatuh tegangan pada tegangan yang disuplai generator. Akibatnya nilai tegangan di sisi penerima akan berbeda dengan nilai tegangan di sisi pengirim. Persamaan jatuh tegangan dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$V_s^2 = (V_r + \Delta V_p)^2 + (\Delta V_q)^2 \quad (2.1)$$

Keterangan : V_s = tegangan di sisi pengirim

V_r = tegangan di sisi penerima

ΔV_p = jatuh tegangan

Dimana :

$$\Delta V_p = IR \cos\theta + IX \sin\theta \quad (2.2)$$

dan

$$\Delta V_q = IX \cos\theta - IR \sin\theta \quad (2.3)$$

Sehingga persamaan tegangan di sisi pengirim (V_s) menjadi:

$$V_s^2 = (V_r + IR \cos\theta + IX \sin\theta)^2 + (IX \cos\theta - IR \sin\theta)^2 \quad (2.4)$$

2.3.2 Rugi-rugi Daya

Dalam proses transmisi dan distribusi tenaga listrik seringkali dialami rugi-rugi daya yang cukup besar yang diakibatkan oleh rugi-rugi pada saluran dan juga rugi-rugi pada trafo yang digunakan. Kedua jenis rugi-rugi daya tersebut memberikan pengaruh yang besar terhadap kualitas daya serta tegangan yang dikirimkan ke sisi pelanggan. Nilai tegangan yang melebihi batas toleransi akan dapat menyebabkan tidak optimalnya kerja dari peralatan listrik di sisi konsumen. Selain itu rugi-rugi daya yang besar akan menimbulkan kerugian finansial di sisi perusahaan pengelola listrik. Berikut adalah penjelasan mengenai rugi-rugi yang terjadi pada jaringan distribusi.

2.3.2.1 Rugi-rugi Saluran

Pemilihan jenis kabel yang akan digunakan pada jaringan distribusi merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan dari suatu sistem tenaga listrik. Jenis kabel dengan nilai resistansi yang kecil akan dapat memperkecil rugi-rugi daya. Besar rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dapat ditulis sebagai berikut:

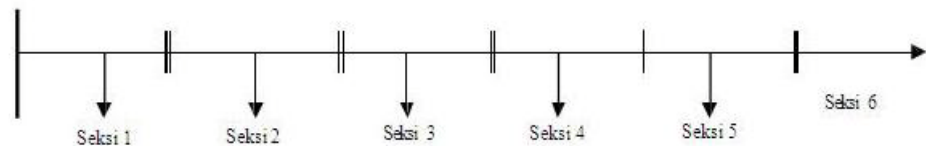
$$Loss = 3 \times I^2 R \quad (2.6)$$

Dimana: $Loss$ = Rugi-rugi pada saluran (Watt)

R = Resistansi saluran per fasa (Ohm)

I = Arus yang mengalir per fasa (Ampere)

Perhitungan susut daya penyulang berstruktur jaringan radial dapat dihitung dengan menjumlah susut dari masing-masing seksi. Misal seperti gambar berikut :



Gambar 2.7. Penyulang struktur radial

Total losses yang terjadi pada penyulang di atas adalah jumlah keseluruhan dari losses yang terjadi pada tiap-tiap seksi yang pada dasarnya adalah seperti persamaan :

$$Total\ losses = \sum_{i=1}^n 3I^2 R \quad (2.7)$$

Nilai resistansi dari suatu penghantar merupakan penyebab utama rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi. Nilai resistansi dari suatu penghantar dipengaruhi oleh beberapa parameter. Berikut adalah persamaan resistansi penghantar:

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (2.8)$$

Dimana : R = Resistansi saluran (Ohm)
 ρ = Resistivitas bahan penghantar (Ohm-meter)
 l = Panjang penghantar (Meter)
 A = Luas penampang (m²)

Panjang dari suatu penghantar tergantung dari jarak distribusi ke pelanggan. Sehingga nilai tersebut tidak dapat diubah secara bebas. Sedangkan resistivitas bahan tergantung dari bahan penghantar yang digunakan. Parameter ini dapat diubah-ubah tergantung dari pemilihan bahan penghantar yang digunakan. Selain itu parameter yang dapat diubah-ubah secara bebas adalah luas penampang dari penghantar. Dimana semakin besar penampang penghantar akan mengurangi nilai resistansi saluran. Akan tetapi dalam pengubahan luas penampang penghantar harus memperhatikan faktor efisiensinya.

2.4 Karakteristik Beban

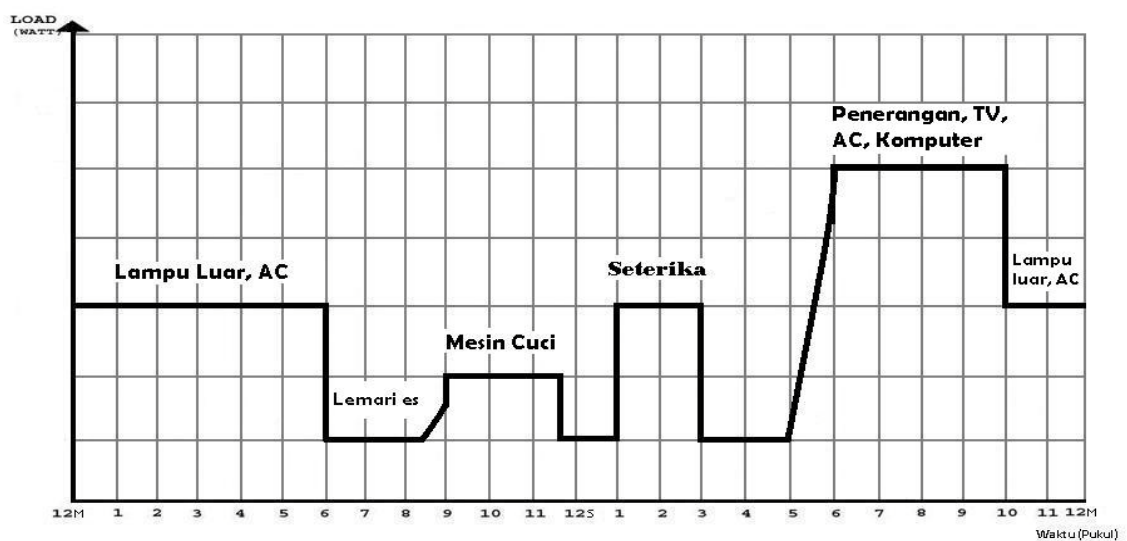
Secara umum, beban yang dilayani oleh sistem distribusi dibagi menjadi beberapa sektor, yaitu sektor perumahan, sektor publik, sektor komersil dan sektor industri. Masing-masing sektor beban tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda sebab hal ini berkaitan pula dengan konsumsi energi pada masing-masing konsumen di sektor tersebut.

Beban-beban energi listrik dapat diklasifikasikan atas:

a. Beban residensial (perumahan)

Beban residensial merupakan beban listrik di daerah perumahan. Pada umumnya beban rumah tangga berupa lampu untuk penerangan, Televisi, AC, Komputer, alat rumah tangga seperti mesin cuci, lemari es, motor pompa air dan sebagainya. Beban rumah tangga biasanya memuncak pada malam hari.

Berikut adalah kurva karakteristik beban harian perumahan :

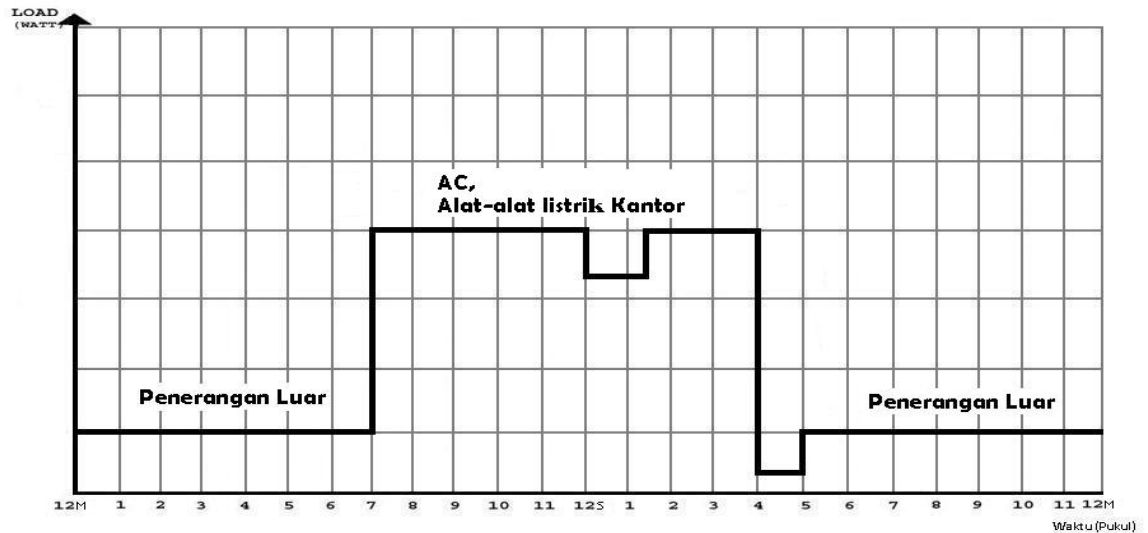


Gambar 2.8. Karakteristik beban rumah tangga

b. Beban publik (umum)

Beban publik atau beban umum adalah beban listrik pada kantor-kantor pemerintah dan fasilitas-fasilitas lainnya seperti sekolah dan sebagainya. Beban ini secara drastis naik di siang hari untuk beban perkantoran dan menurun di waktu sore.

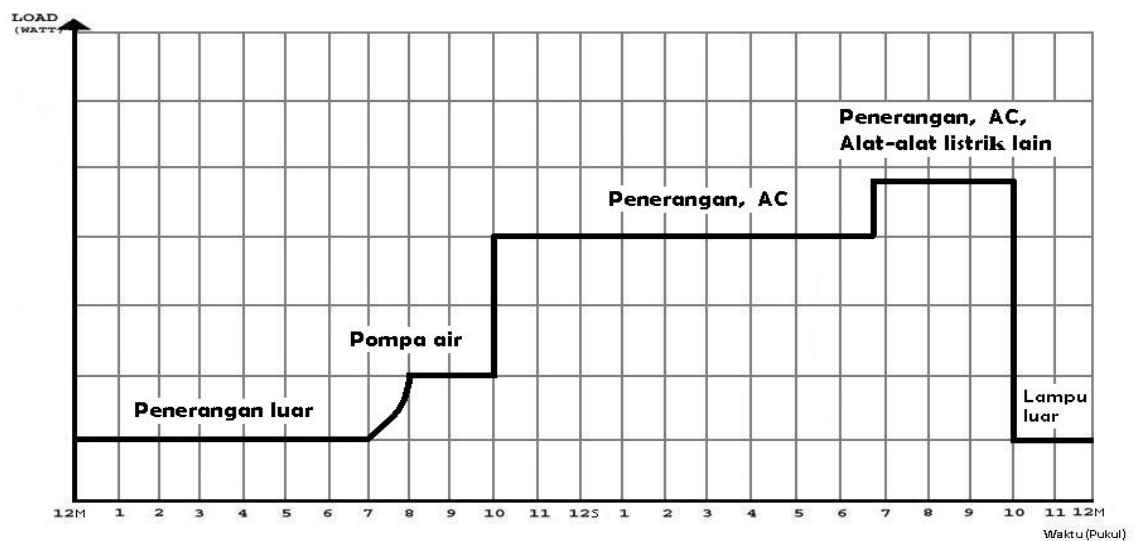
Berikut adalah kurva karakteristik beban hariannya:



Gambar 2.9. Karakteristik beban perkantoran

c. Beban komersial (usaha)

Beban komersial adalah beban listrik pada daerah perdagangan, toko, hotel, dan lain-lain. Kebutuhan energi listrik pada beban komersial digunakan untuk lampu penerangan, mesin-mesin, kipas angin, *air conditioner* (AC) dan lain-lain. Berikut adalah kurva karakteristik beban harian usaha perdagangan:

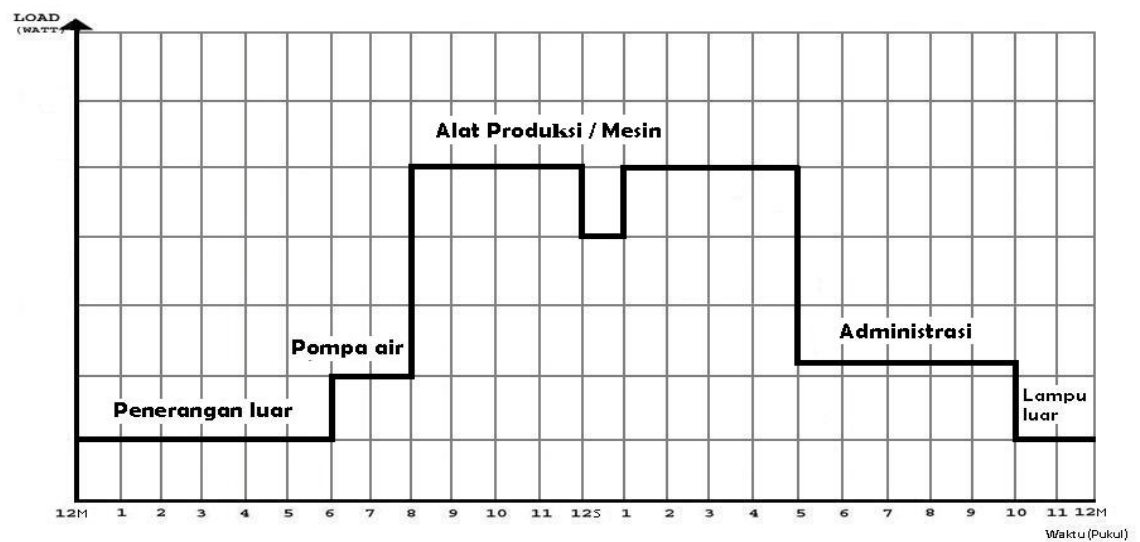


Gambar 2.10. Karakteristik beban komersil

d. Beban industri

Beban industri merupakan beban listrik yang berasal dari peralatan-peralatan listrik di daerah industri. Energi listrik pada daerah industri umumnya digunakan untuk penerangan, motor-motor listrik untuk alat-alat penggerak, dan lain-lain. Untuk skala kecil banyak beroperasi di siang hari sedangkan industri besar sekarang ini banyak yang beroperasi sampai 24 jam.

Berikut adalah kurva karakteristik beban harian industri:



Gambar 2.11. Karakteristik beban industri