

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Instalasi listrik adalah suatu sistem / rangkaian yang digunakan untuk menyalurkan daya listrik (*Electric Power*) untuk kebutuhan manusia dalam kehidupannya. Instalasi pada garis besarnya dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu :

1. Instalasi penerangan listrik
2. Instalasi daya listrik

Yang termasuk didalam instalasi penerangan listrik adalah seluruh instalasi yang digunakan untuk memberikan daya listrik pada lampu. Pada lampu ini daya listrik / tenaga listrik diubah menjadi cahaya yang digunakan untuk menerangi tempat / bagian sesuai dengan kebutuhannya.

Instalasi penerangan listrik ada 2 (dua) macam, yaitu :

1. Instalasi di dalam gedung
2. Instalasi di luar gedung

Instalasi di dalam gedung adalah instalasi listrik di dalam bangunan gedung (termasuk untuk penerangan, teras dan lain – lain) sedangkan instalasi di luar bangunan gedung (termasuk disini adalah penerangan halaman, taman, jalan penerangan papan nama dan lain – lain).

Tujuan utama dari instalasi penerangan adalah untuk memberikan kenyamanan terhadap keadaan yang memerlukan ketelitian maka diperlukam penerangan yang mempunyai kuat penerangan besar sedangkan untuk pekerjaan – pekerjaan yang memerlukan ketelitian tidak perlu menggunakan penerangan yang mempunyai penerangan besar.

Sedangan instalasi daya listrik adalah instalasi yang digunakan untuk menjalankan mesin – mesin listrik termasuk disini adalah instalasi untuk melayani motor – motor listrik di pabrik, pompa air, dan lain – lain, pada mesin – mesin



listrik ini energi diubah menjadi energi mekanis sesuai dengan kebutuhan manusia^[6]

Dengan demikian maka masalah instalasi perlu diperhatikan dan tidak terlepas dari peraturan – peraturan yang merupakan pedoman untuk penyelenggaraan instalasi listrik. Peraturan – peraturan yang berhubungan masalah ini adalah :

1. Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL)
2. International Electrotechnical Commission (IEC)

Dalam kegiatan yang berhubungan dengan instalasi listrik baik perencanaan, pemasangan maupun pengoperasian maka prinsip – prinsip dasar sangat diperlukan.

2.2 Prinsip – Prinsip Dasar Instalasi Listrik

Beberapa prinsip instalasi harus menjadi pertimbangan pada pemasangan suatu instalasi listrik, tujuannya adalah agar instalasi yang dipasang dapat digunakan secara optimum. Adapun prinsip – prinsip dasar tersebut adalah sebagai berikut :

a. Keamanan

Yang dimaksud adalah keamanan secara elektrik untuk manusia, ternak, dan barang lainnya apabila terjadi keadaan tidak normal dalam suatu instalasi listrik.

b. Keandalan

Yang dimaksud adalah andal secara mekanik maupun secara elektrik (instalasi bekerja pada nilai nominal tanpa timbul kerusakan). Keandalan juga menyangkut ketepatan pengaman untuk menanggapi jika terjadi gangguan.

c. Ketersediaan

Yang dimaksud adalah kesiapan suatu instalasi melayani kebutuhan baik daya, gawai, maupun perluasan instalasi yang mencakup *spare* dari suatu instalasi, peralatan yang digunakan dan sebagainya.

d. Ketercapaian

Yang dimaksud adalah pemasangan peralatan instalasi yang mudah dijangkau

⁶⁾ Ir. Hazairin Samaulah., M.Eng.,Ph.D. *Teknik Instalasi Tenaga Listrik*. 2002 hal 1



oleh pengguna dan di dalam mengoperasikan peralatan tersebut juga mudah dan dapat dijangkau oleh konsumen.

e. Keindahan

Yang dimaksud dengan keindahan adalah pemasangan instalasi listrik harus sesuai dengan dengan peraturan yang berlaku, yang posisi peralatan - peralatan listrik sesuai pada tempatnya.

f. Ekonomis

Yang dimaksud ekonomis adalah biaya yang dikeluarkan untuk instalasi harus sehemat mungkin karena besarnya biaya saja tidak selalu menjamin mutu suatu instalasi, namun walaupun demikian mutu peralatan tetaplah menjadi perhatian utama.

2.3 Instalasi Penerangan Listrik

2.3.1 Persyaratan Umum

1. Rencana instalasi listrik harus memenuhi ketentuan PUIL 2000
2. UU No.1 tahun 1970 tentang keselamatan kerja, beserta peraturan pelaksanaannya.
3. Peraturan Bnagunan Nasional
4. Peraturan Pemerintah RI No.18 tahun 1972, tentang PLN Dan PP No.54 tahun 1981 tentang perubahan PP RI No.18 tahun 1972
5. PP RI No.36 tahun 1979 tentang perusahaan kelistrikan
6. PP RI No.11 tahun 1979 tentang keselamatan kerja pada pemurnian dan pengolahan minyak dan gas bumi, bab XV Listrik
7. Peraturan Menteri Pertambangan dan Enrgi No. 02/P/MenPertamben/1983 tentang standar listrik Indonesia
8. Peraturan mengenai kelistrikan yang berlaku dan tidak bertentangan dengan PUIL 2000

2.3.2 Ketentuan Rencana Instalasi Listrik

Rencana instalasi listrik ialah berkas gambar rencana dan uraian teknik yang digunakan sebagai pegangan untuk melaksanakan pemasangan suatu instalasi



listrik. Rencana instalasi listrik harus dibuat dengan jelas, serta mudah dibaca dan dipahami oleh para teknisi listrik, untuk itu harus diikuti ketentuan dan standar yang berlaku. Rencana gambar instalasi terdiri atas :

1. Gambar Situasi, yang menunjukkan dengan jelas letak gedung atau bangunan tempat instalasi tersebut akan dipasang dan rencana pengembangannya dengan sumber tenaga listrik.
 2. Gambar Instalasi, yang meliputi :
 - Rencana tata letak, yang menunjukkan dengan jelas letak tata perlengkapan listrik beserta sarana kendalinya (pelayanannya), seperti titik lampu, kotak kontak, sakelar motor listrik, perlengkapan hubung bagi (PHB), dan lain – lain
 - Rencana hubungan perlengkapan listrik dengan gawai pengendalinya seperti hubungan lampu dengan sakelarnya, motor dengan penyusutannya dan dengan awai pwnगतur kecepataannya, yang merupakan sebagian ari sirkuit akhir atau cabang sirkuit akhir
 - Gambar hubungan antara bagian sirkuit akhir dan PHB yang bersangkutan, ataupun pemberian tanda mengenai hubungan tersebut
 - Tanda atau keterangan yang jelas mengenai setiap perlengkapan listrik
 3. Diagram Garis Tunggal, yang meliputi :
 - Diagram PHB perlengkapan lengkap dengan keterangan mengenai ukuran dan besaran normal komponennya.
 - Keterangan mengenai jenis dan besar beban yang terpasang dan pembagiannya
 - Sistem pembumian
 - Ukurnan dan jenis penghantar yang dipakai
 4. Gambar rinci, yang meliputi :
 - Perkiraan ukuran fisik PHB
 - Cara pemasangan perlengkapan
 - Cara pemasangan kabel
 - Cara kerja instalasi kendali
-



5. Perhitungan teknis bila dianggap perlu, yang meliputi antara lain :
 - Susut tegangan
 - Perbaikan faktor kerja
 - Beban terpasang dan kebutuhan maksimum
 - Arus hubung singkat dan daya hubung singkat
 - Tingkat penerangan
6. Tabel bahan instalasi, yang meliputi :
 - Jumlah dan jenis kabel, penghantar dan perlengkapan
 - Jumlah dan jenis perlengkapan bantu
 - Jumlah dan jenis PHB
 - Jumlah dan jenis armatur lampu
7. Ukuran teknis, yang meliputi :
 - Ketentuan teknis perlengkapan listrik yang dipasang dan cara pemasangannya
 - Cara pengujian
 - Jadwal waktu pelaksanaan
8. Perkiraan biaya^[6]

2.3.3 Titik – Titik Lampu Pada Instalasi Listrik

1. Lampu Pijar

Cahaya pada lampu pijar di bangkitkan dengan mengalirkan arus listrik dalam suatu kawat halus. Dalam kawat ini energi listrik diubah menjadi energi cahaya. Pada umumnya kawat ini menggunakan kawat wolfram. Kawat ini memiliki titik lebur yang tinggi yaitu 3655° K, yang akan diperoleh lampu dengan flux cahaya spesifik yang tinggi yaitu 50lm/W. Dalam penggunaannya lampu jenis ini memiliki umur rata – rata 1000 jam nyala.

2. Lampu tabung *Flouresent* (TL)

Lampu tabung *flouresent* (TL) berdiameter tabungnya 38 mm, dengan panjang tergantung pada daya tabung, sebelah dalam tabung diberi lapisan serbuk. Pada tiap ujung tabung terdapat sebuah elektroda yang terdiri dari kawat pijar dan wolfram dengan sebuah emiter untuk memudahkan emisi – emisi elektron.



Tabung *flouresent* diisi dengan uap air raksa dan gas mulia argon, dalam keadaan menyala tekanan uap air raksa dalam tabung sangat rendah. Uap air raksa ini memancarkan sinar ultraviolet dengan panjang gelombang 253,7 mμ. Sinar ini diserap oleh serbuk *flouresent* dan diubah menjadi cahaya tampak

3. Lampu *Light Emitting Diode* (LED)

Pada dasarnya *Light Emitting Diode* (LED) itu merupakan adalah suatu lampu indikator dalam perangkat elektronika yang terbuat dari bahan semi konduktor jenis dioda yang mampu memancarkan cahaya. Kini LED mampu menghasilkan cahaya besar dengan konsumsi energi listrik (tetap) kecil. Berita terakhir adalah ditemukannya OLED (*Organic LED*) oleh para ilmuwan di University of Michigan dan Princeton University. mampu menghasilkan cahaya besar dengan konsumsi energi listrik (tetap) kecil. dengan intensitas 70 Lumen setiap 1 watt listrik yang digunakan. Sebagai perbandingan, lampu pijar memancarkan 15 lumen per watt, dan lampu *fluoroscent* 90 lumen per watt. Keunggulan LED dibanding lampu *fluoroscent* adalah ramah lingkungan, cahaya tajam, umur panjang, dan murah.

2.4 Instalasi Daya Listrik

Disuatu pabrik pada umumnya banyak sekali mesin – mesin listrik oleh karena itu instalasi listrik pada pabrik yang demikain dapat disebut instalasi daya listrik. Instalasi pabrik sebenarnya tidak hanya meliputi penyediaan listrik untuk motor – motor listrik saja akan tetapi juga untuk penerangan, instalasi daya listrik pada suatu pabrik ternagi menjadi :

- Persediaan tenaga listrik
 - Sistem pembagi
 - Saluran saluran daya listrik / kabel - kabel
 - Penghubung
 - Pengaman
 - Pentanahan
-



2.4.1 Persediaan Tenaga Listrik

Suatu pabrik dapat memperoleh tenaga listrik dari :

- pembangkit sendiri
- Saluran Udara Tegangan Tinggi dari PLN atau swasta
- Jaringan Tegangan Menengah dari PLN, swasta atau Pemda

Pilihan seperti apa yang disebut diatas ditentukan oleh :

- Macam perusahaan
- Daya yang terpasang
- Tingkat kepekaan terhadap gangguan
- Variasi tegangan maksimum yang diperbolehkan

Dalam keadaan normal kehilangan tegangan maksimum yang diperbolehkan adalah :

- Untuk instalasi daya listrik sebesar 5 %
- Untuk instalasi penerangan sebesar 2 %

Perusahaan – perusahaan tenaga listrik tidak pernah menjamin pengiriman tenaga listrik secara berkesinambungan. Oleh karena itu mereka tidak dapat dituntut akibat suatu gangguan.

A. Pembangkit Sendiri

Pada beberapa perusahaan produksi khususnya untuk perusahaan yang membutuhkan tenaga listrik yang berkesinambungan. Misalnya pabrik kertas, pabrik tenun dan lain – lain akan dapat menderita kerugian yang sangat besar apabila terjadi gangguan pada penyediaan listriknya. Oleh karena itu untuk perusahaan – perusahaan yang demikian diharapkan mempunyai pembangkit tenaga listrik sendiri.

Suatu perusahaan yang dari hasil buangnya dapat menghasilkan bahan bakar untuk sentral listrik sendiri (kogenerasi) akan merupakan perusahaan yang menguntungkan ditinjau dari segi ekonomi.

B. Saluran Udara Tegangan Tinggi

Saluran Udara Tegangan Tinggi dari PLN atau swasta berarti bahwa pabrik tersebut harus menyediakan ruangan yang baik atau luas. Didalam ruangan ini yang terdiri dari ruangan tegangan tinggi, meliputi switch, circuit breaker, arrester



dan lain – lain harus terpisah dari pabrik, sehingga aman bagi pekerja atau karyawan pabrik. Pada umumnya untuk daya lebih besar dari 3 MVA menggunakan sistem ini.

C. Jaringan Tegangan Menengah

Dengan menggunakan jaringan tegangan menengah dari PLN, swasta atau Pemda berarti pabrik harus menyediakan tempat yang baik meskipun tidak terlalu luas pada sistem udara tegangan menengah. Didalam ruang tegangan menengah tersebut ditempatkan stau atau lebih transformator tenaga tanpa mengakibatkan adanya bahaya apapun juga, pada umumnya sistem ini dipakai apabila pabrik mempunyai daya total $0,54 = 2$ MVA.

D. Jaringan Tegangan Rendah

Jaringan tegangan rendah dapat diberikan oleh perusahaan tenaga listrik apabila dayanya ≤ 53 KVA.

2.4.2 Sistem Pembagi

Didalam suatu pabrik, tenaga listrik dibagi ke berbagai mesin – mesin listrik dan peralatan lainnya melalui panel – panel listrik.

Umumnya panel – panel listrik adalah

- Panel utama
- Panel distribusi
- Panel untuk penerangan listrik.

Panel – panel listrik ini pada umumnya terbuat dari besi cor, aluminium, dan plat besi. Dimana didalam panel – panel ini berisi daklar utama, rel / busbar, sekering / pengaman arus lebih, meter – meter pengukur dan lain – lain.

2.4.3 Saluran Daya Listrik

Saluran daya listrik didalam sebuah pabrik ada 2 macam, pada umumnya :

- Saluran tetap, ialah saluran daya listrik yang dipasang tetap
- Saluran yang dapat berpindah – pindah, yaitu saluran daya listrik yang dipasang tidak tetap.

Jenis saluran atau kabel tetap diletakkan :



- Ditanah sedalam 60 cm dimana di atasnya ditutup dengan *concrete plate*
- Di parit atau di got tertutup dibawah lantai pabrik

Jenis saluran atau kabel yang dapat di pindah – pindahkan pada umumnya listriknya diambil dari stop kontak yang dipasang pada dinding atau meja kerja, misalnya bor tangan, mesin solder dan lain – lain.

2.4.4 Penghubung

Bermacam – macam penghubung atau saklar yang dipasang di pabrik dari fungsinya dan kadang – kadang juga dari konstruksi saklar tersebut.

Saklar – saklar terpenting yang dipergunakan pada suatu instalasi daya listrik pabrik adalah :

- Saklar pengungkit

Saklar pengungkit ada yang berkutub 2, 3 atau 4 dan pada umumnya dipergunakan sebagai saklar utama pada panel utama atau kadang – kadang dipakai juga untuk saklar menjalankan mesin listrik

- Saklar penggilas

Saklar penggilas pada umumnya dibuat berkutub 2 atau 3 yang dipergunakan sebagai saklar utama dan atau menghubungkan mesin listrik. Keuntungan saklar ini adalah adanya pemutusan ganda lingkaran arus listrik

- Saklar magnet

Kontak – kontak pada saklar magnet ditutup dengan bantuan elektromagnetik. Jenis saklar ini memungkinkan untuk melayani motor listrik dengan tombol kontak tekanan dan sering kali dilengkapi dengan pengaman arus lebih yang dapat diatur kapasitasnya

- Saklar tumpukan dan hubungan

Pada panel – panel distribusi atau penerangan kita sering menjumpai adanya saklar tumpukan dan hubungan, juga saklar ini sering dipakai sebagai saklar putar voltmeter artinya hanya dengan satu voltmeter tegangannya dapat diukur didalamm berbagai jalur. Umumnya digunakan untuk rating 16 A, 25 A, 32 A, atau 63 A.



2.4.5 Pengaman

Pada setiap penghantar arus maka akan terjadilah panas. Untuk menjaga agar jangan terjadi kerusakan – kerusakan pada instalasi listrik yang disebabkan karena terjadinya panas tersebut oleh beban yang berlebihan atau adanya hubung singkat, maka perlu adanya pengaman instalasi tersebut. Macam peralatan pengaman yang sering dipakai pada instalasi penerangan listrik adalah :

1. Pengaman lebur (*Fuse*)

Pengaman lebur yang kita kenal sebagai *fuse* atau sekering dipergunakan untuk mengatasi gangguan arus hubung singkat. Pengaman lebur harus dapat menghentikan arus apabila arus tersebut pada temperatur ruang 35°C atau lebih dalam waktu tertentu pada saluran atau hantaran kabel. Dengan kata lain suatu saluran atau kabel dengan penampang tertentu mempunyai pengaman lebur untuk arus maksimum yang diperbolehkan (biasanya dinamakan arus nominal). Pada waktu hubung singkat arus yang ditimbulkan adalah besar sekali dan pengaman lebur harus segera dapat mematikan arus hubung singkat tersebut^[2]



Gambar 2.1 sekering (*fuse*)

²⁾ P.Van Harten dan Ir. E Setiawan. *Instalasi Arus Kuat* 2. 1999. Hal 54



2. MCCB (*Moulded Case Circuit Breaker*)

MCCB (*Moulded Case Circuit Breaker*) adalah sebagai pemutus sirkuit pada tegangan menengah. Dalam memilih circuit breaker hal-hal yang harus dipertimbangkan adalah :

- Karakteristik dari sistem di mana circuit breaker tersebut dipasang.
- Kebutuhan akan kontinuitas pelayanan sumber daya listrik.
- Aturan-aturan dan standar proteksi yang berlaku.

Karakteristik sistem :

- Sistem tegangan

Tegangan operasional dari circuit breaker harus lebih besar atau minimum sama dengan tegangan sistem.

- Frekuensi sistem

Frekuensi pengenal dari circuit breaker harus sesuai dengan frekuensi sistem. Circuit breaker Merlin Gerin dapat beroperasi pada frekuensi 50 atau 60 Hz.

- Arus pengenal

Arus pengenal dari circuit breaker harus disesuaikan dengan besarnya arus beban yang dilewatkan oleh kabel, dan harus lebih kecil dari arus ambang yang diijinkan lewat pada kabel.

- Kapasitas pemutusan

Kapasitas pemutusan dari circuit breaker harus paling sedikit sama dengan arus hubung singkat prospektif yang mungkin akan terjadi pada suatu titik instalasi dimana circuit breaker tersebut dipasang.

- Jumlah pole dari circuit breaker

Jumlah pole dari circuit breaker sangat tergantung kepada sistem pembumian dari system.

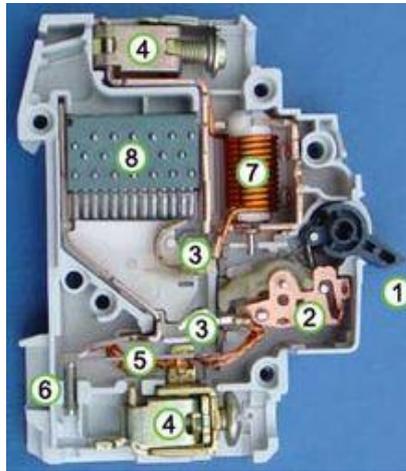


Gambar 2.2 MCCB

3. MCB (*Miniature Circuit Breaker*)

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) berfungsi sebagai alat pengaman beban lebih dan hubung singkat. Cara kerja MCB adalah memproteksi arus lebih yang disebabkan oleh terjadinya beban dan arus yang lebih karena adanya hubung singkat. Prinsip kerjanya yaitu penggunaan electromagnet untuk melakukan pemutusan hubungan yang disebabkan oleh kelebihan beban dengan relai arus lebih.

Bila electromagnet yang dihasilkan dari dua keping logam yang disatukan atau lebih dikenal dengan bimetal bekerja, maka akan memutus kontak yang terletak pada pemadam busur dan kemudian bekerja membuka saklar. MCB yang digunakan di rumah-rumah diutamakan untuk memproteksi instalasi dari hubungan arus pendek, sehingga pemakaiannya lebih diutamakan untuk mengamankan instalasi atau konduktornya. Sedangkan MCB pada APP diutamakan sebagai pembawa arus dengan karakteristik CL (current limiter) disamping itu juga sebagai gawai pengaman arus hubung pendek yang bekerja dengan seketika.



Gambar 2.3 MCB

Keterangan :

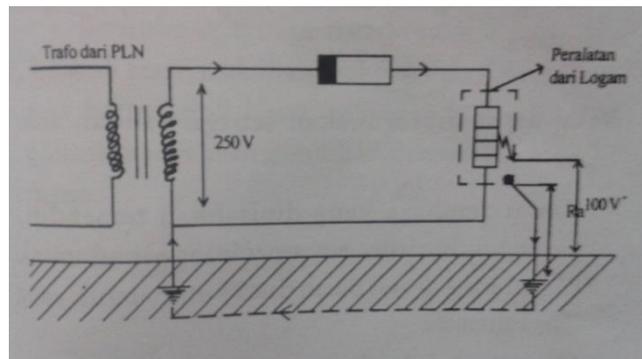
1. *toggle switch*, sebagai Switch on-off dari MCB
2. *Switch* mekanis, membuat kontak arus listrik bekerja.
3. Kontak arus listrik, sebagai penyambung dan pemutus arus listrik.
4. Terminal, koneksi kabel listrik dengan MCB.
5. Bimetal, yang berfungsi sebagai thermal trip
6. Baut
7. Solenoid coil atau lilitan yang berfungsi sebagai magnetic trip dan bekerja bila terjadi hubung singkat arus listrik.
- 8 Pemadam busur api jika terjadi percikan api saat terjadi pemutusan atau pengaliran kembali arus listrik.

2.4.6 Pentanahan

Atas dasar keamanan maka di perlukan bahkan diharuskan setiap instalasi listrik harus mempunyai saluran ke tanah yang baik.

Suatu saluran ketanah yang baik mempunyai :

1. Tahanan pentanahan yang rendah
2. Konstruksi atau instalasi pelaksanaan yang sesuai dengan peraturan keamanan



Gambar 2.4 Jalannya Arus Pada Sistem Pentanahan

Pada gambar diatas Pengaman lebur memutuskan segera arus yang besar ini sehingga logam dari peralatan pentanahan itu itu tidak berada dalam keadaan bertegangan dan berbahaya penyentuhan dapat dihindarkan. Pengembangan dengan pentanahan dapat dibuat dengan pertolongan elektroda – elektroda pentanahan. Elektroda pentanahan adalah sebagian daripada hubungan pentanahan yang memberikan kontak langsung dengan pentanahan sehingga bagian – bagian yang ditanahkan itu dengan saluran pentanahan dapat berhubungan.

Yang dapat dipergunakan sebagai elektroda – elektroda pentanahan adalah :

1. Pipa – pipa pentanahan dari baja campuran seng
2. Batang - batang pentanahan dari baja yang banyak campurannya.

Yang dapat dipergunakan sebagai saluran pentanahan adalah :

1. Kawat tembaga yang dipisahkan tersendiri, dicampur timah dengan penampang 6mm^2 , untuk bagian yang diatas tanah dan 25mm^2 untuk yang dibawah tanah
2. Warna kabel pentanahan adalah warna kuning – hijau
3. Kawat – kawat pentanahan yang dimasukkan bersama – sama dengan kawat – kawat penghantar arus didalam pipa yang sama dan yang penampangnya sama besarnya dengan penampang kawat – kawat penghantar arus
4. Pentanahan pada instalasi listrik atau pabrik dilakukan persyaratan yang tinggi dibandingkan dengan instalasi listrik untuk penerangan yang meliputi tahanan pentanahannya dan saluran pentanahannya.



2.5 Penghantar

Untuk mensuplai beban pada suatu instalasi listrik agar dapat berfungsi sebagaimana mestinya maka diperlukan suatu penghantar atau kabel, dengan demikian penghantar merupakan suatu komponen yang mutlak ada pada suatu instalasi listrik.

Penghantar yang diperlukan haruslah sesuai dan cocok dengan besarnya beban yang disuplai serta memenuhi suatu persyaratan yang telah ditetapkan dan diakui oleh instansi yang berwenang agar terjamin keamanan dan keandalan suatu sistem instalasi listrik.

Ada tiga bagian pokok dari suatu penghantar kabel yaitu :

1. Penghantar merupakan media untuk menghantarkan listrik
2. Isolasi merupakan bahan elektrik untuk mengisolir antara penghantar satu dengan dengan penghantar lainnya maupun terhadap lingkungannya.
3. Pelindung luar yang memberikan pelindung dari kerusakan mekanis, pengaruh bahan kimia, api dan pengaruh oleh keadaan luar lainnya.

Menurut konstruksinya untuk inti dari suatu kabel ada yang berbentuk pejal dan serabut. Untuk penghantar yang menghendaki kelenturan dan fleksibilitas yang tinggi maka digunakan inti serabut yakni sejumlah kawat yang dikumpulkan menjadi satu. Untuk inti pejal digunakan dalam ukuran sampai 16 mm.

Kabel – kabel yang mempunyai kelenturan yang tinggi untuk pengawatan panel distribusi adalah kabel yang intinya berserat halus. Hal ini bertujuan untuk memudahkan dalam instalasi di panel tersebut.

2.5.1 Bahan Penghantar

Bahan penghantar merupakan bahan yang biasa digunakan untuk menghantarkan arus listrik, beberapa jenis bahan penghantar yang lazim digunakan adalah aluminium dan tembaga, namun demikian ada beberapa bahan yang masih ada relevansinya, antara lain sebagai berikut :

1. Aluminium

Aluminium murni mempunyai massa jenis $2,7 \text{ g/cm}^3$, α nya $1,4 \cdot 10^{-5}$, titik leleh 658°C dan tidak korosif. Daya hantar aluminium sebesar $35 \text{ m/ohm} \cdot \text{mm}^2$. Atau



kira – kira 61,4 % daya hantar tembaga. Aluminium murni mudah dibentuk karena lunak, kekuatan tariknya hanya 9kg/mm^2 untuk itu jika aluminium digunakan sebagai penghantar yang dimensinya cukup besar, selalu diperkuat dengan baja atau paduan aluminium. Penggunaan yang demikian misalnya pada ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) atau ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*)

2. Tembaga

Tembaga mempunyai daya hantar listrik yang tinggi yaitu $57\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ pada suhu 20°C . Koefisien suhu (α) tembaga $0,004 /^\circ\text{C}$. Pemakaian tembaga pada teknik listrik yang terpenting adalah sebagai penghantar, misalnya : kawat berisolasi (NYA, NYAF), kabel (NYM, NYY, NYFGbY), busbar, lamel mesin dc, cincin seret pada mesin AC.

3. Baja

Baja merupakan logam yang terbuat dari besi dengancampuran karbon. Meskipun konduktifitas baja rendah namun digunakan pada penghantar transmisi yaitu ACSR. fungsi baja dalam hal ini adalah untuk memperkuat konduktor aluminium secara mekanis setelah digalvanis dengan seng. Keuntungan dipakainya baja pada ACSR adalah untuk menghemat pemakaian aluminium.

Tabel 2.1 Konstanta Bahan Penghantar^[4]

No.	Bahan	Massa Jenis (g/cm^3)	α ($0 - 100^\circ\text{C}$) $\cdot 10^{-6}$	Titik Leleh ($^\circ\text{C}$)	Titik Didih Panas ($^\circ\text{C}$)	Konduktivitas ($\text{M}/\Omega \cdot \text{Mm}^2$)	Kekuatan Tarik (Kg/Mm^2)
1.	Aluminium	2,7	23,86	659,7	2447	0,57	20 – 30
2.	Tembaga	8,96	16,86	1083	2595	0,944	40
3.	Baja	7,7	10,5 – 13,2	1170 – 1530	➤	0,11	37 – 64

⁴⁾ Muhaimin. *Bahan – Bahan Listrik Untuk Politeknik*. 1999 Hal 67



2.5.2 Jenis Penghantar

Jenis penghantar atau kabel dinyatakan dengan singkatan – singkatan terdiri dari sejumlah huruf dan kadang – kadang juga angka. Menurut jenisnya kabel dapat dibedakan menjadi :

A. Kabel instalasi

Jenis penghantar yang banyak digunakan pada suatu instalasi rumah dan gedung ialah kabel NYA dan NYM. Ketentuan yang harus diperhatikan di dalam pemasangan kabel NYA sebagai berikut :

1. Untuk pemasangan tetap dalam jangkauan tangan, kabel NYA harus dilindungi dengan pipa instalasi
2. Diruang lembab, kabel NYA harus dipasang dalam pipa pvc untuk pemasangannya.
3. Kabel NYA tidak boleh dipasang langsung menempel pada plasteran atau kayu, tetapi harus dilindungi dengan pipa instalasi.
4. Kabel NYA boleh digunakan di dalam alat listrik, perlengkapan hubung bagi dan sebagainya.
5. Kabel NYA tidak boleh digunakan diruang basah, ruang terbuka, tempat kerja atau gudang dengan bahaya kebakaran atau ledakan.



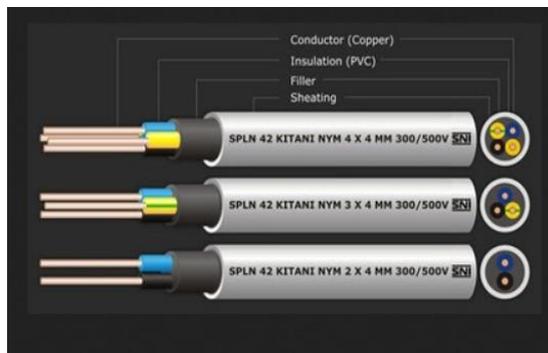
Gambar 2.5 Kabel NYA^[3]

³⁾ Mastura Khumairah, *Jenis – Jenis Kabel Listrik*, diakses dari <http://elektro-unimal.blogspot.com/2013/06/jenis-jenis-kabel-listrik.html>, pada tanggal 24 Maret 2015



Sedangkan ketentuan – ketentuan untuk pemasangan kabel NYM adalah sebagai berikut :

1. Kabel NYM boleh dipasang langsung menempel atau ditanam pada plasteran, diruang lembab atau basah dan ditempat kerja atau gudang dengan bahaya kebakaran atau ledakan.
2. Kabel NYM boleh langsung dipasang pada bagian – bagian lain dari bangunan, konstruksi, rangka dan sebagainya. Dengan syarat pemasangannya tidak merusak selubung ruang kabel.
3. Kabel NYM tidak boleh dipasang di dalam tanah.
4. Dalam hal penggunaan, kabel instalasi yang terselubung memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan instalasi di dalam pipa, yaitu :
 - Lebih mudah dibengkokkan
 - Lebih tahan terhadap pengaruh asam
 - Sambungan dengan alat pemakai dapat ditutup lebih rapat.



Gambar 2.6 Kabel NYM^[3]

B. Kabel Tanah

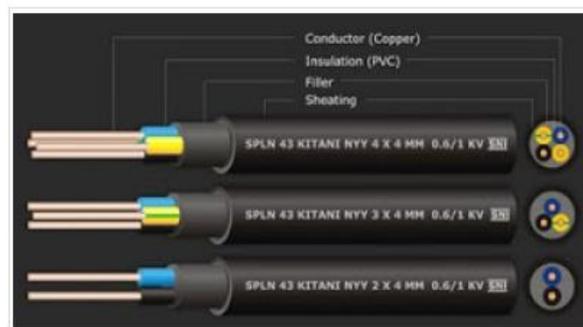
1. Kabel Tanah Termoplastik Tanda Perisai

Jenis kabel ini ada dua macam NYY dan NAYY. Pada prinsipnya susunan kabel NYY sama dengan susunan kabel NYM, hanya tebal isolasi dan selubung luarnya, serta jenis kompon pvc yang digunakan berbeda. Warna selubung luarnya hitam. Untuk kabel tegangan rendah, tegangan nominalnya 0,6/1 KV. Dimana :
0,6 KV = tegangan nominal terhadap tanah



1 KV = tegangan nominal penghantar

Urutannya dapat mencapai satu sampai lima. Luas penampang penghantarnya dapat mencapai 240 mm² atau lebih. Konstruksi kabel NYY dapat dilihat pada gambar 2.3 kegunaan utama dari kabel NYY adalah kabel tenaga untuk instalasi pada industri, di dalam gedung maupun di alam terbuka dan pada saluran kabel serta lemari hubung bagi. Kabel NYY dapat juga ditanam di dalam tanah asalkan diberi perlindungan secukupnya terhadap kemungkinan terjadinya kerusakan mekanis.



Gambar 2.7 Kabel NYY^[3]

2. Kabel Tanah Termoplastik Berperisai

Jenis kabel ini bervariasi yang banyak digunakan seperti kabel NYFGbY dan NYRGbY. Bentuk kabel ini dan konstruksinya dapat dilihat dari gambar 2.4 Inti – inti - inti dari penghantar tembaga tanpa dilapisi timah putih dan bervariasi pvc. Kabel ini digunakan karena kemungkinan ada gangguan mekanis. Untuk pemasangan kabel ke terminal atau peralatan lainnya, penyambungan harus di solder atau diberi sepatu kabel pad ujung – ujungnya.



Gambar 2.8 Kabel NYFGbY^[3]



Arti huruf – huruf kode yang digunakan :

- N = Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga
- NA = Kabel jenis standar dengan penghantar aluminium
- Y = Isolasi atau selubung pvc
- F = Perisai kawat baja pipih
- R = Perisai kawat baja kuat
- Gb = Sprai pita baja
- re = Penghantar pada bulat
- rm = Penghantar bulat kawat banyak
- se = Penghantar pada bentuk sektor
- sm = Penghantar kawat banyak bentuk sektor

2.5.3 Luas Penampang Penghantar

Luas penampang hantaran yang harus digunakan pertama – tama ditentukan oleh kemampuan hantar arus yang diperlukan dan suhu keliling yang harus diperhitungkan. Selain itu harus juga diperhatikan rugi tegangannya. Menurut ayat 413 A5 PUIL 1997, rugi tegangan antara perlengkapan hubung bagi utama yaitu yang dekat dengan kWh-meter PLN dan setiap titik beban pada keadaan stasioner dengan beban penuh, tidak boleh melebihi 5 % dari tegangan di perlengkapan hubung bagi utama^[1]

2.6 Macam – Macam Daya Listrik

Daya Listrik dapat dibagi menjadi 3 macam yaitu sebagai berikut :

1. Daya Nyata (P)
2. Daya Semu (S)
3. Daya Reaktif (Q)

Berikut penjelasan singkat dan rumus-rumus daya listrik :

¹⁾ P.Van.Harten dan Ir.E.Setiawan. *Instalasi Arus Kuat 1*. 1991 Hal 73



2.6.1 Daya Nyata (P)

Daya nyata merupakan daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya.

➤ 1 fasa^[5]

$$P = V_{L-N} \times I \times \cos \emptyset \dots\dots\dots (2.1)$$

➤ 3 fasa

$$P = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \cos \emptyset \dots\dots\dots (2.2)$$

$$P = 3 \times V_{L-N} \times I \times \cos \emptyset \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

P = Daya Nyata (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)

$\cos \emptyset$ = Faktor Daya

2.6.2 Daya Semu (S)

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar.

➤ 1 fasa^[5]

$$S = V \times I \dots\dots\dots (2.4)$$

➤ 3 fasa

$$S = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \dots\dots\dots (2.5)$$

$$S = 3 \times V_{L-N} \times I \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)

⁵⁾ Mohamad Ramadhani. *Rangkaian Listrik*. 2008 Hal 273.



2.6.3 Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, dimana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas. Daya reaktif ini adalah hasil kali antara besarnya arus dan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor daya.

➤ 1 fasa^[5]

$$Q = V \times I \times \sin \emptyset \dots\dots\dots (2.7)$$

➤ 3 fasa

$$Q = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \sin \emptyset \dots\dots\dots (2.8)$$

$$Q = 3 \times V_{L-N} \times I \times \sin \emptyset \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

Q = Daya reaktif (VAR)

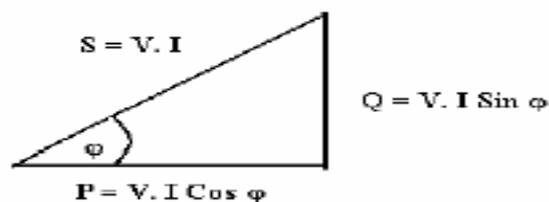
V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\sin \emptyset$ = Faktor Daya

2.7 Segitiga Daya

Segitiga daya adalah suatu hubungan antara daya semu, daya reaktif dan aktif, sehingga dapat digambarkan dalam bentuk segitiga daya sebagai berikut :



Gambar 2.9 Segitiga Daya

2.8 Faktor Daya (Cos φ)

Faktor daya merupakan perbandingan antara daya nyata dengan daya semu suatu beban dari suatu jaringan dan dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut :



$$Pf = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

Pf = Faktor Daya^[5]

P = Daya Nyata (Watt)

S = Daya Semu (VA)

Faktor daya bisa dikatakan sebagai besaran yang menunjukkan seberapa efisien jaringan yang kita miliki dalam menyalurkan daya yang bisa kita manfaatkan. Faktor daya dibatasi dari 0 hingga 1, semakin tinggi faktor daya (mendekati 1) artinya semakin banyak daya tampak yang diberikan sumber bisa kita manfaatkan, sebaliknya semakin rendah faktor daya (mendekati 0) maka semakin sedikit daya yang bisa kita manfaatkan dari sejumlah daya tampak yang sama. Di sisi lain, faktor daya juga menunjukkan “besar pemanfaatan” dari peralatan listrik di jaringan terhadap investasi yang dibayarkan.

Seperti kita tahu, semua peralatan listrik memiliki kapasitas maksimum penyaluran arus, apabila faktor daya rendah artinya walaupun arus yang mengalir di jaringan sudah maksimum namun kenyataan hanya porsi kecil saja yang menjadi sesuatu yang bermanfaat bagi pemilik jaringan.

Baik penyedia layanan maupun konsumen berupaya untuk membuat jaringannya memiliki faktor daya yang bagus (mendekati 1). Bagi penyedia layanan, jaringan dengan faktor daya yang jelek mengakibatkan dia harus menghasilkan daya yang lebih besar untuk memenuhi daya aktif yang diminta oleh para konsumen. Apabila konsumen didominasi oleh konsumen jenis residensial maka mereka hanya membayar sejumlah daya aktif yang terpakai saja, artinya penyedia layanan harus menanggung sendiri biaya yang hanya menjadi daya reaktif tanpa mendapatkan kompensasi uang dari konsumen. Sebaliknya bagi konsumen skala besar atau industri, faktor daya yang baik menjadi keharusan karena beberapa penyedia layanan kadang membebankan pemakaian daya aktif dan daya reaktif (atau memberikan denda faktor daya) tentu saja konsumen tidak akan mau membayar mahal untuk daya yang “tidak termanfaatkan” bagi mereka.



2.9 Klasifikasi Beban

Berdasarkan jenis konsumen energi listrik, secara garis besar, ragam beban dapat diklasifikasikan ke dalam :

1. Beban rumah tangga

Pada umumnya beban rumah tangga berupa lampu untuk penerangan, alat rumah tangga, seperti kipas angin, pemanas air, lemari es, penyejuk udara, mixer, oven, motor pompa air dan sebagainya. Beban rumah tangga biasanya memuncak pada malam hari.

2. Beban komersial

Beban ini terdiri dari penerangan untuk reklame, kipas angin, penyejuk udara dan alat – alat listrik lainnya yang diperlukan untuk restoran. Beban hotel juga diklasifikasikan sebagai beban komersial (bisnis) begitu juga perkantoran. Beban ini secara drastis naik di siang hari untuk beban perkantoran dan pertokoan dan menurun di waktu sore.

3. Beban industri

Dibedakan dalam skala kecil dan skala besar. Untuk skala kecil banyak beroperasi di siang hari sedangkan industri besar sekarang ini banyak yang beroperasi sampai 24 jam.

4. Beban Fasilitas Umum

Pengklasifikasian ini sangat penting artinya bila kita melakukan analisa karakteristik beban untuk suatu sistem yang sangat besar. Perbedaan yang paling prinsip dari empat jenis beban diatas, selain dari daya yang digunakan dan juga waktu pembebanannya. Pemakaian daya pada beban rumah tangga akan lebih dominan pada pagi dan malam hari, sedangkan pada beban komersial lebih dominan pada siang dan sore hari. Pemakaian daya pada industri akan lebih merata, karena banyak industri yang bekerja siang-malam. Maka dilihat dari sini, jelas pemakaian daya pada industri akan lebih menguntungkan karena kurva bebannya akan lebih merata. Sedangkan pada beban fasilitas umum lebih dominan pada siang dan malam hari. Beberapa daerah operasi tenaga listrik memberikan ciri tersendiri, misalnya daerah wisata, pelanggan bisnis



mempengaruhi penjualan kWh walaupun jumlah pelanggan bisnis jauh lebih kecil dibanding dengan pelanggan rumah tangga^[8]

2.10 Beban – Beban Listrik

Dalam suatu rangkaian listrik selalu dijumpai suatu sumber dan beban. Bila sumber listrik DC, maka sifat beban hanya bersifat resistif murni, karena frekuensi sumber DC adalah nol. Reaktansi induktif (XL) akan menjadi nol yang berarti bahwa inductor tersebut akan short circuit. Reaktansi kapasitif (XC) akan menjadi tak terhingga yang berarti bahwa kapasitif tersebut akan *open circuit*. Jadi sumber DC akan mengakibatkan beban induktif dan beban kapasitif tidak akan berpengaruh pada rangkaian.

Bila sumber listrik AC maka beban dibedakan menjadi 3 sebagai berikut :

Dalam sistem listrik arus bolak-balik, jenis beban dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu :

Beban resistif (R)

Beban induktif (L)

Beban kapasitif (C)

2.10.1 Beban Resistif (R)

Beban resistif yang merupakan suatu resistor murni yang terdiri dari komponen tahanan ohm saja (*resistance*), diantaranya lampu pijar, pemanas.. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Tegangan dan arus se-fasa. Secara matematis dinyatakan :

$$R = V / I \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

R = Hambatan (ohm)

V = Tegangan (volt)

I = Kuat Arus (ampere)

⁸⁾ Daman Suswanto, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, hal 185

Gambar 2.10 Arus dan Tegangan Pada Beban Resistif^[5]

2.10.2 Beban Induktif

Beban induktif adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti biasanya inti besi, diantaranya motor – motor listrik, induktor dan transformator. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0 – 1 “lagging”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR). Tegangan mendahului arus sebesar φ° . Secara matematis dinyatakan :

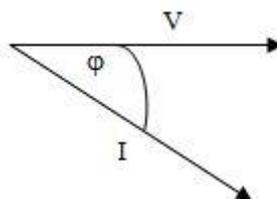
$$X_L = 2\pi f.L \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

X_L = Reaktansi induktif (ohm)

f = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi (H)

Gambar 2.11 Arus dan Tegangan Pada Beban Induktif^[5]

2.10.3 Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0 – 1 “leading”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan mengeluarkan daya reaktif (kVAR). Arus mendahului tegangan sebesar φ° . Secara matematis dinyatakan :

$$X_C = 1 / 2\pi fC \dots\dots\dots (2.13)$$

⁶⁾ Mohamad Ramdhani, *Rangkaian Listrik*, Erlangga, 2008 Hal 274

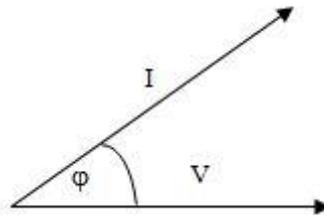


Dimana:

X_C = Reaktansi Kapasitif (ohm)

f = Frekuensi (Hz)

C = Kapasitas Kapasitor (farad)



Gambar 2.12 Arus dan Tegangan Pada Beban Kapasitif^[5]

2.11 Karakteristik Beban Listrik

Karakteristik beban diperlukan agar sistem tegangan dan pengaruh termis dari pembebanan dapat dianalisis dengan baik. Analisis tersebut termasuk dalam menentukan keadaan awal yang akan di proyeksikan dalam perencanaan selanjutnya. Penentuan karakteristik beban listrik suatu gardu distribusi sangat penting artinya untuk mengevaluasi pembebanan gardu distribusi tersebut, ataupun dalam merencanakan suatu gardu distribusi yang baru.

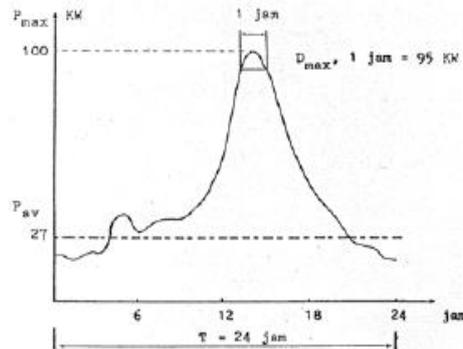
Karakteristik beban ini sangat memegang peranan penting dalam memilih kapasitas transformator secara tepat dan ekonomis. Di lain pihak sangat penting artinya dalam menentukan rating peralatan pemutus rangkaian, analisa rugi-rugi dan menentukan kapasitas pembebanan dan cadangan tersedia dan suatu gardu. Karakteristik beban listrik suatu gardu sangat tergantung pada jenis beban yang dilayaninya. Hal ini akan jelas terlihat dan hasil pencatatan kurva beban suatu interval waktu. Berikut ini beberapa faktor yang menentukan karakteristik beban.

2.11.1 Beban Puncak (*Peak Load*)

Beban Puncak adalah nilai terbesar dari pembebanan sesaat pada suatu interval demand tertentu. Untuk dapat memperjelas pengertian mengenai Beban / *Demand*



(D), *Maximum Demand* (D_{max}) dan *Beban Puncak* (P_{max}) dapat dilihat pada gambar



Gambar 2.13 Beban puncak

Kepadatan beban selalu dipakai sebagai ukuran dalam menentukan kebutuhan listrik. Sesuatu daerah kepadatan beban satuannya dapat berupa MVA/km² atau KVA/m² umumnya satuan yang dipakai adalah MVA/km². Beban puncak (kebutuhan maksimum) didefinisikan sebagai beban (kebutuhan) terbesar/tertinggi yang terjadi selama periode tertentu. Periode tertentu dapat berupa sehari, sebulan maupun dalam setahun. Periode harian, yaitu variasi pembebanan trafo distribusi selama sehari. Selanjutnya beban puncak harus diartikan beban rata – rata selama selang waktu tertentu, dimana kemungkinan terjadinya beban tersebut. Contoh, beban harian dari transformator distribusi di mana beban puncaknya selama selang waktu 1 jam, yaitu antara pukul 19.00 (titik A) dan pukul 20.00 (titik B). Nilai rata – rata kurva A – B, merupakan kebutuhan puncaknya (kebutuhan maksimum).

2.11.2 Beban Rata - Rata

Adapun beban rata – rata dapat didefinisikan sebagai suatu perbandingan antara banyaknya daya dalam satu periode tertentu dibagi dengan banyaknya waktu periode tersebut. Atau dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_{rata-rata} = \frac{E_p}{t} \dots\dots\dots (2.14)$$



Dimana :

$P_{rata-rata}$ = Beban rata – rata

E_p = Banyaknya daya yang terpakai

t = Banyaknya waktu yang terpakai

2.11.3 Faktor Beban (*load factor*)

Faktor beban adalah perbandingan antara beban rata – rata terhadap beban puncak yang diukur dalam suatu periode tertentu. Beban rata – rata dan beban puncak dapat dinyatakan dalam kW, kV, atau beban puncak rata-rata dalam interval tertentu. Pada umumnya dipakai 15 menit atau 30 menit. Definisi dari faktor beban ini dapat dituliskan dalam persamaan berikut ini:

Faktor beban dapat diketahui dari kurva bebannya. Sedangkan untuk perkiraan besaran faktor beban di masa yang akan datang dapat didekati dengan kata data statistik yang ada berdasarkan jenis bebannya.

$$\text{Faktor Beban (Fb)} = \frac{\text{beban rata-rata dalam periode tertentu}}{\text{beban puncak dalam periode tertentu}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Bila diterpkan pada pusat pembangkit maka didapat menurut definisi :

$$\text{Faktor Beban (Fb)} = \frac{P_{rata-rata}}{P_{puncak}} \times \frac{T}{T} \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan :

T = periode waktu

$P_{rata-rata}$ = Beban rata – rata dalam periode T

P_p = beban puncak yang terjadi dalam periode T pada selang waktu tertentu (15 menit atau 30 menit).

Bila $P_{rata-rata}$ dan P_p dalam kW dan T dalam jam. Bila T dalam setahun, maka didapat faktor beban tahunan, bila dalam satu bulan didapat faktor beban bulanan dan bila harian, faktor beban harian^[8]