

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dalam penyelesaian tugas akhir diperlukan beberapa teori penunjang yang nantinya digunakan sebagai dasar acuan dalam analisis efisiensi daya listrik, maupun teori dasar yang melandasi permasalahan dan penyelesaian dalam tugas akhir. Berikut adalah beberapa teori penunjang tersebut :

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan pada tahun 2016 yang dilakukan oleh Tomas da Costa Belo, Didik Notosudjono, Dede Suhendi pada periode 5 tahun kebelakang yang berjudul “**Analisa Kebutuhan Daya Listrik Digatedung perkuliahan 10 Lantai Universitas Pakuan Bogor**”. Peneliti menggunakan metode regresi linear sederhana bertujuan untuk Menerapkan pada kasus konsumsi KWH listrik di Kota Batu yang menjadi objek peneliti. Dalam sistem pemodelan regresi untuk konsumsi KWH listrik, beban terpasang secara keseluruhan sebesar 377.018 watt. Dengan hasil kebutuhan daya 307.144 watt. Faktor daya yang paling baik pada gedung adalah 0,99 atau mendekati 1. Sehingga besar kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya yaitu sebesar 429,44 KVA_r. [2]

Penelitian sebelumnya juga dilakukan oleh Avrin Nur Widiastuti, Sasongko Pramono hadi, Bayu Aji Widya R, Tahun 2017 yang berjudul “**Audit Energi pada Gedung Departemen Teknik Arsitektur dan perencanaan FT UGM**”. Berdasarkan data pemakaian energi, beban puncak

pada DTAP UGM dalam rentang penelitian adalah 165,95 KW. Secara umum, ruangan di DTAP UGM memiliki tingkat pencahayaan terukur dibawah nilai standar acuan SNI. Penggantian sistem pencahayaan *existing* dengan menggunakan lampu LED memiliki potensi penghematan sebesar 4.132,63 kWh atau setara dengan Rp 3.037.390,40 per bulan. [3]

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Seno Riyadi, Tahun 2016 , Yang berjudul **“Analisis Peningkatan Efisiensi Penggunaan Energi Listrik pada Sistem Pencahayaan dan *Air Conditioning* di Gedung Graha Mustika Ratu”**. Berdasarkan analisis data, nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) pada gedung utama Graha Mustika Ratu, masih melebihi standar IKE gedung perkantoran Indonesia sebesar 18,5 kWh/m²/bulan, sehingga perlu dilakukan audit energi rinci. Untuk GMR berdasarkan hasil audit energi awal, IKE energi listriknya sebesar 22,70 kWh/m²/bulan. [4]

Ahmad Wahid, Ir. Junaidi, MSc, Dr. Ir. H. M. Iqbal Arsyad, MT. Juga melakukan penelitian dengan judul **”Analisis Kapasitas dan Kebutuhan Daya Listrik untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura”**. Dari hasil analisa Rata-rata pemakaian energi perbulan dilihatdari rekening listrik pada APP meter Lab.Tek.TT.Untan sebesar 7.046,83 kWh, sementara dari hasil pengukuran langsung sebesar 6.677,40 kWh dengan selisih 369,43 kWh atau 5,24%. Dari APP meter Fak.Teknik Untan dari data rekening listrik 3.826,17 kWh, sementara dari hasil pengukuran sebesar 3.648,98 kWh dengan selisih 177,19 kWh atau 4,63%. Dari APP Workshop dari data rekening listrik yakni

9.377,083 kWh, sementara dari hasil pengukuran langsung 9.125,26 dengan selisih 251,82 kWh atau 2,68%. Dari APP meter Lab.B.Science dari data rekening listrik 17.609,33 kWh sementara dari hasil pengukuran 14.700,9 kWh dengan selisih 2.908,43 kWh atau 16,51%. Sementara itu, rata-rata pemakaian energi dari data rekening listrik APP meter Gedung S2 yakni 1.151,91 kWh, sementara dari pengukuran 1.070,21 kWh dengan selisih 81,70 kWh atau 7,09%. [5]

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Agung Wahyudi Biantoro dan Dadang S. Permana yang berjudul **“Analisis Audit Energi untuk Pencapaian Efisiensi Energi di Gedung AB, Kabupaten Tangerang, Banten”** Tahun 2017 Nilai intensitas konsumsi energi (IKE) untuk Gedung AB Kabupaten Tangerang berdasarkan perhitungan dari total rekapitulasi rekening PLN per luas bangunan ber-AC adalah 56.147 kWh dengan luas lantai 13.942,10 m² maka Intensitas Konsumsi Energi adalah 4,03 kWh/m²/bulan atau 48,33 kWh/m²/tahun. Nilai intensitas konsumsi energi (IKE) untuk Gedung AB Kabupaten Tangerang adalah 48,33 kWh/m²/tahun, masuk dalam kategori sangat efisien. Gedung ini masuk dalam kategori sangat efisien karena sebagian besar ruang menggunakan ventilasi alami, banyak AC yang tidak bekerja karena rusak.

Dari sumber jurnal tersebut, secara garis besar dapat disimpulkan bahwa konsumsi daya listrik di perkantoran bisa ditekan lagi. Mulai dari prosedur SOP pemakaian maupun bahan beban yang digunakan. Penelitian yang dilakukan di Dinas Pengendalian Penduduk dan Keluarga Berencana

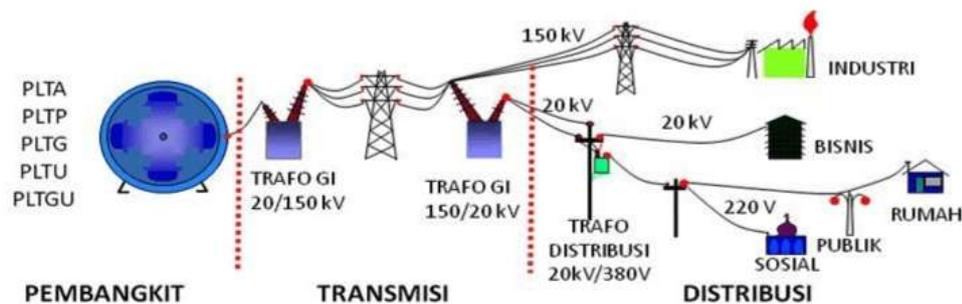
Kabupaten Lamongan untuk mengetahui daya listrik yang dibutuhkan beban dan untuk menghitung konsumsi KWH tiap Tahun nya di Dinas Pengendalian Penduduk dan Keluarga Berencana Kabupaten Lamongan. Perbedaan penelitian ini dengan peneliti-peneliti sebelumnya yaitu Metode yang digunakan. Kontribusi yang akan didapatkan yaitu penghematan energi.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Tenaga listrik disalurkan ke masyarakat melalui jaringan distribusi [6], Sistem tenaga listrik merupakan suatu kesatuan yang terintegrasi mulai dari unit pembangkit listrik, unit transmisi listrik, sampai unit distribusi listrik dalam upaya menyalurkan listrik dari produsen kepada konsumen dengan dilengkapi sistem proteksi pada kesatuan tersebut. Menurut PT. PLN (Persero) [7]. saluran distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menurut nilai tegangan, jenis konstruksi dan susunan rangkaian. Sistem distribusi merupakan salah satu bagian dalam sistem tenaga listrik, yaitu dimulai dari sumber daya atau pembangkit tenaga listrik sampai kepada para konsumen. Pada masa sekarang ini dimana kebutuhan akan tenaga listrik meningkat, maka diperlukan suatu sistem pendistribusian tenaga listrik dari pembangkit sampai kepada para konsumen yang memiliki keandalan yang tinggi. Tenaga listrik yang didistribusikan tersebut tidak hanya tegangan menengah dan rendah saja, namun juga tegangan tinggi dan ekstra tinggi. Namun yang umum

Jaringan distribusi dikelompokkan menjadi dua, yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder [6]. Dalam melakukan distribusi tenaga listrik diperlukan beberapa komponen utama yang menunjang distribusi tenaga listrik.



Gambar 2.1 sistem tenaga listrik. [7]

A. Gardu Induk (GI)

Gardu induk merupakan suatu komponen penting dalam distribusi tenaga listrik yang berfungsi sebagai pengatur daya. Gardu induk juga berfungsi mentransformasikan daya listrik yang dihasilkan dari pusat-pusat pembangkit ke gardu induk lain dan juga ke gardu-gardu distribusi yang merupakan suatu interkoneksi dalam distribusi tenaga listrik. Gardu Induk adalah suatu instalasi listrik mulai dari TET (Tegangan Ekstra Tinggi), TT (Tegangan Tinggi) dan TM (Tegangan Menengah) yang terdiri dari bangunan dan peralatan listrik.

Faktor kebutuhan adalah perbandingan antara kebutuhan maksimum (beban puncak) terhadap total daya tersambung. [2] Pada prinsipnya

penempatan gardu induk memiliki criteria tertentu dimana hal penempatan ini berdasarkan Kebutuhan (*Demand*) beban yang semakin meningkat, mendekati bahkan melebihi kemampuan Gardu Induk yang ada. Jika kondisi Gardu Induk eksisting masih memungkinkan, biasanya cukup dilakukan uprating atau menaikkan kapasitas Gardu Induk yang ada, misalnya dengan melakukan penggantian dan penambahan transformator daya. Adanya perluasan daerah atau adanya daerah baru, yang pasti membutuhkan ketersediaan daya listrik cukup besar.

Adanya pembangunan infra struktur bagi kawasan industri (industrial estate). Proyeksi kebutuhan daya listrik untuk jangka waktu tertentu, sehingga perlu disiapkan gardu induk baru atau perluasan gardu induk. Adanya pengembangan sistem tenaga listrik secara terpadu, misalnya pembangunan pembangkit listrik - pembangkit listrik baru, sehingga dilakukan perluasan sistem penyaluran (transmisi), tentunya dibarengi dengan pembangunan GI-GI baru atau perluasan.

Gardu Induk memiliki banyak jenis, baik dari segi fungsi, segi pemasangan dan lain-lain berikut adalah jenis-jenis dari Gardu Induk:

Berdasarkan besaran tegangannya, terdiri dari :

- .a. Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 275 KV, 500 KV
 - b. Gardu Induk Tegangan Tinggi (GI) 150 KV dan 70 KV.
- . Gardu Induk Pasangan Luar Merupakan gardu induk yang sebagian besar komponennya di tempatkan di luar gedung, kecuali komponen

kontrol, sistem proteksi dan sistem kendali serta komponen bantu lainnya, ada di dalam gedung.

Gardu Induk semacam ini biasa disebut dengan gardu induk konvensional. Sebagian besar gardu induk di Indonesia adalah gardu induk konvensional. Untuk daerah-daerah yang padat pemukiman dan di kota-kota besar di Pulau Jawa, sebagian menggunakan gardu induk pasangan dalam, yang disebut Gas Insulated Substation atau *Gas Insulated Switchgear* (GIS). Merupakan gardu induk yang hampir semua komponennya (switchgear, busbar, isolator, komponen kontrol, komponen kendali, cubicle, dan lain-lain) dipasang di dalam gedung. Kecuali transformator daya, pada umumnya dipasang di luar gedung. Gardu Induk semacam ini biasa disebut *Gas Insulated Substation* (GIS). GIS merupakan bentuk pengembangan gardu induk, yang pada umumnya dibangun di daerah perkotaan atau padat pemukiman yang sulit untuk mendapatkan lahan.

B. Gardu Hubung (GH)

Gardu Hubung atau disingkat GH atau Switching Substation adalah gardu yang berfungsi sebagai sarana manuver pengendali beban listrik jika terjadi gangguan aliran listrik, program pelaksanaan pemeliharaan atau untuk maksud mempertahankan kontinuitas pelayanan. Pemakaian Gardu Hubung dipergunakan untuk jaringan kabel tanah yang mempergunakan sistem *spindle* atau jaringan udara. [8]

Gardu hubung menerima daya listrik dari gardu induk yang telah diturunkan menjadi tegangan menengah dan menyalurkan atau membagi daya listrik tanpa merubah tegangannya melalui jaringan distribusi primer (JTM) menuju gardu atau transformator distribusi. Merupakan satu gardu yang terdiri dari peralatan-peralatan hubung serta alat-alat kontrol lainnya, namun tidak terdapat trafo daya. Alat penghubung yang terdapat pada gardu hubung adalah sakelar beban yang selalu dalam kondisi terbuka (*normally open*), sakelar ini bekerja atau menutup hanya jika penyulang utama mengalami gangguan.

Isi dari Gardu Hubung adalah rangkaian saklar beban (*Load Break Switch/LBS*), dan atau pemutus tenaga terhubung paralel. Gardu Hubung juga dapat dilengkapi sarana pemutus tenaga pembatas beban pelanggan khusus tegangan menengah. Konstruksi gardu hubung sama dengan konstruksi gardu distribusi tipe beton. Pada ruang dalam Gardu Hubung dapat dilengkapi dengan ruang untuk gardu distribusi yang terpisah dan ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh.

Berdasarkan kebutuhannya Gardu Hubung terbagi menjadi :

- a. Gardu Hubung untuk 7 buah sel kubikel
- b. Gardu Hubung untuk 7+7 buah sel kubikel
- c. Gardu Hubung untuk 7+7+7 buah sel kubikel

Penggunaan kelompok-kelompok sel tersebut bergantung atas sistem yang digunakan pada suatu daerah operasional, misalnya *Spindle*, *Spotload*, *Fork*, Bunga, dan lain-lain. Spesifikasi teknis Gardu Hubung

sama dengan spesifikasi teknis gardu distribusi, kecuali kemampuan Arus Nominal-nya yang bisa berbeda

C. Gardu Distribusi (GD)

Proses penyaluran dari transmisi hingga ke konsumen, Distribusi terbagi menjadi distribusi primer dan distribusi sekunder. [9] Gardu Distribusi tenaga listrik adalah suatu bangunan gardu listrik yang dipasok dengan tegangan menengah 20 kV dari saluran kabel tegangan menengah atau saluran udara tegangan menengah. [8] Disalurkan melalui penyulang-penyulang (*feeder*). Sama seperti transmisi, saluran distribusi primer ada yang saluran udara (SUTM) dan kabel bawah tanah (SKTM). Pada SUTM biasanya kita melihat di pinggir jalan ada tiang dengan tiga kawat konduktor di atasnya. SUTM disebut saluran udara tegangan menengah karena kawat hantarnya yang bertegangan menengah berada di udara. [10] Sebelum masuk ke Distribusi sekunder listrik akan diturunkan lagi tegangannya oleh trafo *step-down* menjadi tegangan pakai. Distribusi sekunder adalah saluran dari trafo *step-down* distribusi hingga ke kWh pelanggan, tegangan pada distribusi sekunder adalah tegangan pakai yaitu 380/220 Volt yang diklasifikasikan sebagai tegangan rendah (TR).



Gambar 2.2 Trafo Distribusi 20 KV. [9]

Fungsi gardu distribusi adalah sebagai berikut :

1. Menyalurkan atau meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke konsumen tegangan rendah.
2. Menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah selanjutnya didistribusikan ke konsumen tegangan rendah.
3. Menyalurkan atau meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke gardu distribusi lainnya dan ke gardu hubung.

2.2.2 instalasi Listrik Gedung

Gedung adalah pembagian antara konsumsi energi listrik pada kurun waktu tertentu dengan satuan luas bangunan gedung. [1] Instalasi listrik adalah suatu perlengkapan yang digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber listrik ke peralatan- peralatan yang membutuhkan tenaga listrik. Jadi, instalasi listrik itu sendiri memang

penting dilakukan, terutama untuk konstruksi bangunan yang sudah direncanakan sebelumnya.

Sumber listrik yang yang bisa diberikan untuk pemasangan listrik pada suatu bangunan konstruksi itu sendiri dapat berasal dari genset, dari PLN (Perusahaan Listrik Negara) atau apapun yang bisa menghasilkan tenaga listrik lainnya. Misalnya seperti misalnya baterai, *solar cell* dan sebagainya. Sementara itu, peralatan yang membutuhkan tenaga listrik pun seperti yang Anda tahu. itu pun sangat banyak. Hal itu dapat dimulai dari peralatan di rumah tangga, di kantor, di industri, di kendaraan dan lain sebagainya.

Ragam beban beban listrik itu sendiri secara sifatnya hanya dibagi menjadi 3 macam, di antaranya:

- a. Beban Resistif (misalnya setrika, solder, lampu pijar, dan sebagainya).
- b. Beban Induktif (misalnya kipas angin, mesin bor, lampu TL dan sebagainya).
- c. Beban Kapasitif (misalnya Kapasitor).

Dalam merancang atau menggambar instalasi listrik pada bangunan itu sendiri dibutuhkan penerangan dan tenaga. Selain itu, hal ini juga perlu diperhatikan melalui analisa data perhitungan teknis mengenai susut tegangan, beban terpasang dan kebutuhan beban maksimum, arus hubung singkat dan daya hubung singkat pada proses pemasangannya.

Di sisi lainnya, masih perlu juga untuk melengkapi daftar kebutuhan bahan instalasi beserta uraian teknis sebagai pelengkap yang meliputi penjelasan tentang cara pemasangan peralatan atau bahan. Cara pengujiannya pun perlu dibarengi dengan rencana waktu pelaksanaan, rencana anggaran biaya, beserta lama waktu pengerjaan yang dibutuhkan. Dalam pembangunan berbagai jenis gedung gedung baik untuk rumah tinggal, kantor, sekolahan yang dilengkapi sarana pendukung listrik perlu dilakukan. Hal ini dilakukan supaya bangunan agar dapat berfungsi dan dihuni dengan baik. Selain itu dapat memberikan kenyamanan dan dapat memenuhi keselamatan.

Instalansi listrik bangunan ini dalam perancangannya memerlukan perencanaan lewat gambar instalasi listrik yang cermat dengan mengacu pada aturan-aturan yang ditetapkan dalam dunia teknik listrik.

Peralatan instalansi listrik bangunan yang harus dipenuhi dalam pemasangannya. Misalnya panel hubung bagi (PHB), alat-alat ukur, pengaman jaringan, pentanahan, sakelar dan sebagainya. Berikut ini adalah beberapa perlengkapan yang mesti dipenuhi dalam pemasangan atau instalasi listrik untuk sebuah bangunan:

1. APP (Alat Pembatas dan Pengukur)



Gambar 2.3 APP Listrik

APP singkatan dari alat pembatas dan pengukur. Perlengkapan instalasi listrik ini memiliki fungsi untuk membatasi besarnya arus yang akan mengalir ke konsumen sehingga daya terpasang yang telah ditentukan tidak bisa terlewati. Jika daya terpasang ini terlewati, maka pemutus akan secara otomatis memutuskan arus listrik pada bangunan. Selain itu alat ini juga diperlengkapi dengan alat-alat ukur untuk mengukur besaran-besaran listrik. Misalnya seperti tegangan listrik, arus, faktor kerja, energi listrik dan sebagainya disesuaikan dengan kebutuhannya.

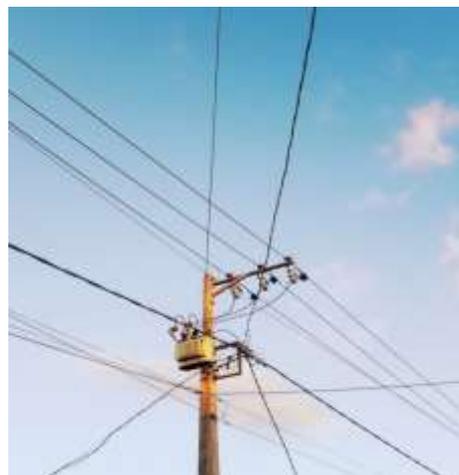
2. Sistem TM (Sistem Tegangan Menengah)



Gambar 2.4 Sistem Tegangan Menengah

Sistem tegangan menengah itu sendiri terdiri dari hantaran masuk, cubicle dan hantaran keluar. Hantaran yang digunakan merupakan kabel tegangan menengah dan biasanya dengan kabel XLPE atau N2XSBY. Sementara cubicle terdiri dari tiga bagian yaitu cadangan, incoming dan cubicle outgoing. Pengaman arus listriknya terdiri dari sekering dan LBS (*Load Break Switch*).

3. Sistem TR (Sistem Tegangan Rendah)



Gambar 2.5 Sistem Tegangan Rendah

Sistem tegangan rendah ini sendiri meliputi berbagai perlengkapan listrik tegangan rendah, baik itu untuk pembagian tenaga listrik, penyaluran, pengamanan maupun pengendaliannya. Pembagian tenaga listrik dilakukan dalam panel listrik. Di dalam panel listrik untuk kebutuhan daya yang besar atau yang disebut Main Distribution Panel. Biasanya, busbar atau rel ini dibagi menjadi dua segmen yang saling berhubungan dengan saklar pemisah. Yang satu mendapat saluran masuk dari APP, dan satunya lagi dari sumber listrik sendiri (bisa dari genset).

Dari kedua busbar didistribusikan ke beban secara langsung atau melalui SDP dan atau SSDP. Tujuan busbar dibagi menjadi dua segmen ini adalah jika sumber listrik dari PLN mati akibat gangguan ataupun karena pemeliharaan. Maka suplai ke beban tidak akan terganggu dengan adanya sumber listrik sendiri, yaitu genset dapat digunakan sebagai cadangan.

Untuk hantaran utamanya dapat menggunakan kabel feeder dan biasanya menggunakan NYFGBY. Semenatar itu, untuk hantaran cabang biasanya digunakan NYM.

Dengan demikian, perlengkapan instalasi yang disebutkan tadi itu diharapkan dapat mempermudah dalam:

- a. Penentuan serta pembagian energi listrik yang merata dan tepat bagi bangunan.

- b. Membarikan pengamanan instalasi dan pemakaian listrik untuk bangunan.
- c. Melakukan pemeriksaan, perbaikan, atau pemeliharaan pada listrik untuk bangunan.

4. Panel Hubung Bagi (PHB)



Gambar 2.6 Panel Hubung Bagi

PHB yang dipasang perlu diperhatikan agar dapat melakukan fungsi-fungsinya di antaranya adalah sebagai berikut:

- a. Supaya mudah dilayani dan aman penggunaannya.
- b. Dipasang pada tempat yang mudah dicapai.
- c. Jika dipasng di depan pane, maka ruangnya harus bebas.

- d. Panel tidak boleh di tempatkan pada tempat yang lembab supaya penggunaannya aman.

Pemasangan instalasi listrik membutuhkan ketepatan dalam pemilihan bahan dengan mengacu pada PUIL.

- a. Kabel listrik yang akan digunakan harus memenuhi syarat seperti mampu terhadap ketahanan elektris, mekanis, termis, dan kimia. Selain itu juga dapat menghantarkan arus dengan maksimal dan harus mempunyai rugi-rugi sekecil mungkin.
- b. Stop kontak adalah salah satu komponen listrik yang berfungsi menyalurkan beban ke sumber listrik tidak harus membuat sambungan langsung ke rangkaian listrik.
- c. Saklar merupakan komponen yang berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus listrik menuju beban.
- d. *Fitting* Komponen yang berfungsi sebagaiudukan posisi lampu, memiliki tingkat isolasi yang tinggi dan juga mempunyai ketahanan terhadap panas.

Prinsip dasar instalasi listrik harus mempertimbangkan pemasangan suatu instalasi listrik agar instalasi yang dipasang dapat digunakan secara optimal, efektif dan efisien. [11] Prinsip dasar instalasi listrik yaitu sebagai berikut :

- a. Seluruh peralatan yang dipakai pada instalasi harus handal dan baik secara mekanik maupun secara kelistrikan.

- b. Pemasangan peralatan instalasi listrik yang relatif mudah dijangkau oleh pengguna pada saat mengoperasikannya dan tata letak komponen listrik mudah untuk dioperasikan, sebagai contoh pemasangan sakelar tidak terlalu tinggi atau terlalu rendah.
- c. Ketersediaan instalasi listrik dalam melayani kebutuhan baik berupa daya, peralatan maupun kemungkinan perluasan instalasi. Apabila ada perluasan instalasi tidak mengganggu sistem instalasi yang sudah ada, tetapi hanya menghubungkan pada sumber cadangan (*spare*) yang telah diberi pengaman.
- d. Pemasangan peralatan instalasi listrik harus dipasang sedemikian rupa, sehingga terlihat rapi dan indah serta tidak menyalahi peraturan yang berlaku.
- e. Faktor keamanan dari suatu instalasi listrik, baik keamanan terhadap manusia, bangunan atau harta benda, makhluk hidup lain dan peralatan itu sendiri.
- f. Biaya yang dikeluarkan dalam pemasangan instalasi listrik harus diperhitungkan dengan teliti dengan biaya sehemat mungkin.

2.2.3 Daya Listrik

Daya listrik atau dalam bahasa Inggris disebut dengan *Electrical Power* adalah jumlah energi yang diserap atau dihasilkan dalam sebuah sirkuit/rangkaian. [2] Dalam kisaran yang ditentukan, frekuensi yang stabil dan sangat dekat dengan nilai nominalnya (dalam persekian persen). Berdasarkan satuan SI, Daya dinyatakan dalam satuan Joule / Sekon atau

J/s = Watt (W). kWh adalah satuan yang biasa digunakan untuk menyatakan energi listrik[4].

Listrik adalah energi yang paling nyaman dan cocok digunakan manusia. [12] Dalam pembelajaran elektronika ada pula materi mengenai daya listrik. Daya listrik tersebut juga termasuk kedalam golongan istilah kelistrikan yang juga familiar. Dalam kehidupan sehari-hari kita juga sering menjumpai istilah ini. Daya listrik merupakan jumlah energi yang dapat diserap dalam sebuah rangkaian listrik. Dalam menghitung besar daya listrik juga menggunakan rumus hukum Ohm maupun rumus daya listrik secara umum agar lebih mudah. Hal ini karena besar daya listrik berkaitan dengan energi dan waktu terjadinya. Tidak hanya itu juga, daya listrik juga berkaitan dengan beda potensial dan kuat arus listrik karena dirangkai dalam sebuah penghantar. Pada kesempatan kali ini materi belajar akan mengupas lebih dalam mengenai pengertian daya listrik dan rumus daya listrik.

Daya listrik, dilambangkan dengan huruf P dalam persamaan listrik. Pada rangkaian arus DC, daya listrik sesaat dihitung menggunakan Hukum Joule, sesuai nama fisikawan Britania James Joule, yang pertama kali menunjukkan bahwa energi listrik dapat berubah menjadi energi mekanik, dan sebaliknya. Semakin tinggi nilai watt-nya semakin tinggi pula daya listrik yang dikonsumsinya. [2]

Berikut ini adalah rumus yang digunakan daya listrik (P) :

$$P = W/t \dots\dots\dots(2.1)$$

$$P = V \cdot I.t/t = V.I \dots\dots\dots(2.2)$$

$$P = i^2 R \dots\dots\dots(2.3)$$

$$P = V^2/R \text{ (Dalam satuan volt-ampere, VA) } \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (Ampere)

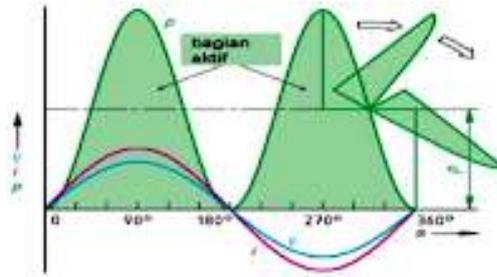
R = Hambatan

T = Waktu

A. Daya Aktif (P)

Daya nyata P merupakan daya sebenarnya yang dibutuhkan oleh beban-beban. [13] Satuan daya aktif adalah **W** (*Watt*) dan dapat diukur dengan menggunakan alat ukur listrik *Wattmeter*.

Daya Aktif pada beban yang bersifat *resistansi* (**R**), dimana tidak mengandung induktor grafik gelombang *tegangan* (**V**) dan arus se fasa, sehingga besar daya sebagai perkalian tegangan dan arus menghasilkan dua gelombang yang keduanya bernilai positif. besarnya daya aktif adalah P. Sisa puncak dibagi menjadi dua untuk mengisi celah-celah kosong sehingga kedua rongga terisi oleh dua puncak yang mengisinya.



Gambar 2.7 gelombang daya aktif pada beban yang bersifat resistansi. [9]

Persamaan Daya aktif (**P**) pada beban yang bersifat resistansi :

$$P = \frac{1}{2} \times P_m \dots\dots\dots (2.5)$$

$$= \frac{1}{2} \times V_m \times I_m \dots\dots\dots(2.6)$$

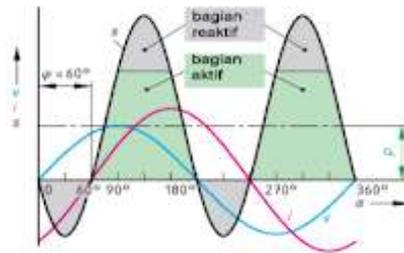
$$= \frac{1}{2} \sqrt{2} \times V \times \sqrt{2} \times I \dots\dots\dots(2.7)$$

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

- P = Daya Aktif (W)
- P_m = Daya maksimum (W)
- I_m = Arus listrik maksimum (A)
- V_m = Tegangan maksimum (V)
- V = Tegangan listrik (V)
- I = Arus listrik (A)

Daya aktif pada beban *impedansi (Z)*, beban *impedansi* pada suatu rangkaian disebabkan oleh beban yang bersifat *resistansi (R)* dan *induktansi (L)*. Maka gelombang mendahului gelombang arus sebesar φ. Perkalian gelombang tegangan dan gelombang arus menghasilkan dua puncak positif yang besar dan dua puncak negatif yang kecil. Pergeseran sudut fasa bergantung seberapa besar nilai dari komponen induktornya



Gambar 2.8 gelombang daya aktif dengan beban impedansi. [9]

(Gelombang tegangan mendahului arus sebesar $\phi = 60^\circ$)

Persamaan *daya aktif* (**P**) pada beban yang bersifat *impedansi* :

$$P = V \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

- P = Daya aktif (W)
- V = Tegangan (V)
- I = Arus listrik (A)
- cos ϕ = Faktor daya

B. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif Q adalah daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif. Satuan dari daya reaktif adalah volt ampere reaktif (VAR). [13] Untuk menghemat daya reaktif dapat dilakukan dengan memasang kapasitor pada rangkaian yang memiliki beban bersifat *induktif*. Hal serupa sering dilakukan pada pabrik-pabrik yang menggunakan motor banyak menggunakan beban berupa motor-motor listrik. Persamaan daya reaktif :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

- Q = Daya Reaktif (VAR)
- V = Tegangan (V)
- I = Arus listrik (A)
- sin ϕ = Faktor reaktif

C. Daya Semu (S)

Daya semu merupakan resultan antara daya nyata dan daya reaktif. Satuan dari daya semu adalah volt ampere (VA). [13] Daya nyata merupakan daya yang diberikan oleh PLN kepada konsumen. Satuan daya nyata adalah **VA** (*Volt.Ampere*).

Beban yang bersifat daya semu adalah beban yang bersifat *resistansi* (**R**), contoh : lampu pijar, setrika listrik, kompor listrik dan lain sebagainya. Peralatan listrik atau beban pada rangkaian listrik yang bersifat *resistansi* tidak dapat dihemat karena tegangan dan arus listrik se fasa perbedaan sudut fasa adalah 0° dan memiliki nilai *faktor daya* adalah **1**. Berikut ini persamaan daya semu :

$$S = V.I \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

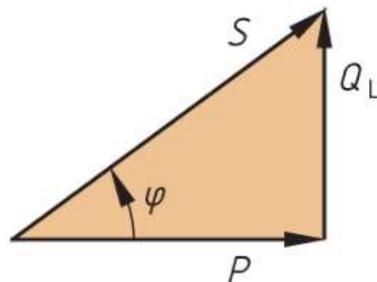
S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (V)

I = Arus listrik (A)

D. Segitiga Daya

Dalam persamaan maupun perhitungan daya, hal pokok yang harus dipahami adalah dengan memahami konsep segitiga daya. [7]



Gambar 2.9 segitiga Daya

Daya aktif (**P**) digambarkan dengan garis horizontal yang lurus. *Daya reaktif (Q)* berbeda sudut sebesar 90° dari daya aktif. Sedangkan *daya semu (S)* adalah hasil penjumlahan secara vektor antara *daya aktif* dengan *daya reaktif*. Jika mengetahui dua dari ketiga daya maka dapat menghitung salah satu daya yang belum diketahui.

E. Efisiensi (daya guna)

tidak semua daya yang diberikan ke suatu sistem (Pmasukan) diubah menjadi daya yang dihasilkan sistem tersebut (Pkeluaran).

$$\eta = \frac{P \text{ masukan}}{P \text{ keluaran}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.12)$$

$$\eta = \frac{V_s \cdot I_s}{V_p \cdot I_p} \times 100\% \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan :

η = efisiensi (%)

V_p = tegangan pada kumparan primer (V)

V_s = tegangan pada kumparan sekunder (V)

I_p = arus listriki yang mengalir pada kumparan primer (A)

I_s = arus listriki yang mengalir pada kumparan sekunder (A)

Perbedaan Pmasukan dan Pkeluaran disebabkan oleh daya yang diberikan kepada suatu sistem tidak semuanya diubah menjadi bentuk daya yang kita butuhkan.[9] Sebagai contoh, daya listrik yang digunakan untuk menyalakan lampu tidak semuanya diubah menjadi energi cahaya, ada sebagian daya listrik yang berubah menjadi panas.

besarnya efisiensi biasanya dinyatakan dalam persen :

$$\eta \rightarrow 0\% \leq 100\% \dots \dots \dots (2.13)$$

2.3 Faktor Daya Listrik

Faktor Daya Listrik atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif (Watt) dengan daya semu (VA), atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu. Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu. [5] Semakin nilai faktor daya mendekati 1 maka semakin baik karena daya yang terpakai semakin maksimal.

Secara teoritis, jika seluruh beban daya yang dipasok oleh perusahaan listrik memiliki faktor daya satu, maka daya maksimum yang ditransfer setara dengan kapasitas sistem pendistribusian. Sehingga, dengan beban yang terinduksi dan jika faktor daya berkisar dari 0 hingga 1, PLN menetapkan faktor daya harus lebih besar dari 0,85 bagi pelanggan industri agar tidak dibebani biaya tambahan. Jadi, daya reaktif (VAR) harus serendah mungkin untuk keluaran yang sama dalam rangka meminimalkan kebutuhan daya total (VA). [9]

Faktor Daya atau Faktor kerja menggambarkan sudut fasa antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi. Perbaikan faktor daya ini menggunakan kapasitor. Kapasitor untuk memperbaiki faktor daya. Faktor daya dapat diperbaiki dengan memasang kapasitor pengkoreksi faktor daya pada sistem distribusi listrik atau instalasi listrik di pabrik atau industri. Kapasitor bertindak sebagai pembangkit daya reaktif dan oleh karenanya

akan mengurangi jumlah daya reaktif, juga daya semu yang dihasilkan oleh bagian utilitas.

2.4 Faktor Beban Listrik

Beban listrik adalah perbandingan antara besar beban rata-rata untuk suatu selang waktu misalnya satu hari atau satu bulan terhadap beban puncak tertinggi dalam selang waktu yang sama. Sedangkan beban rata-rata untuk suatu selang waktu adalah jumlah produksi Kwh dalam selang waktu tersebut dibagi dengan jumlah jam dari selang waktu tersebut. Dari uraian di atas didapat :

$$\text{Faktor Beban} = \frac{\text{Beban Rata-rata}}{\text{Beban puncak}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Persamaan tersebut mengandung arti bahwa beban rata-rata akan selalu bernilai lebih kecil dari kebutuhan maksimum atau beban puncak, sehingga faktor beban akan selalu kecil dari satu. [5]

A. Resistif

Beban resistif terdapat pada alat-alat listrik yang bersifat murni tahanan (resistor). [14] Apabila beban tersebut dialiri arus listrik maka arus listrik yang mengalir melalui beban tersebut adalah arus nominal pada beban dan memiliki nilai yang tetap sehingga tidak diaktifkan. Contoh beban listrik yang bersifat resistif adalah lampu pijar (penerangan), setrika, teko listrik, dan alat-alat rumah tangga yang bersifat pemanas lainnya.

B. Induktif

Beban yang bersifat induktif memiliki sifat yang sama dengan *induktor* (L). Induktor adalah komponen listrik yang menentang apapun perubahan arus. [14] Arus listrik yang mengalir melalui beban tersebut akan disimpan dalam bentuk medan magnet karena arus listrik yang mengalir akan terinduksi dan dirubah menjadi medan magnet sehingga dapat tersimpan. Misalnya motor listrik ketika digerakkan dengan cara dialiri arus listrik maka nilai arus start nya akan 3 kali lebih besar dari arus nominal, dan ketika motor listrik telah runing maka nilai arus listrik akan sama dengan nilai arus nominal. Contoh beban listrik yang bersifat induktif adalah pompa air, blender, kipas angin dan alat-alat yang memanfaatkan energi listrik untuk menghasilkan energi gerak sebagai penggerak beban utama.

C. Kapasitif

Beban yang bersifat kapasitif memiliki sifat yang sama dengan kapasitor (C). Kapasitor adalah komponen listrik yang terdiri dari dua konduktor yang dipisahkan oleh isolator atau bahan dielektrik. [14] Hampir sama dengan induktor yang menyimpan energi listrik hanya saja, beban yang bersifat kapasitif menyimpan energi listrik murni. Pada industri - industri besar yang menggunakan penggerak berupa motor listrik memerlukan kapasitor untuk menghemat daya.

2.5 Kebutuhan Daya

1. Kebutuhan (*Demand*)

Kebutuhan sistem listrik adalah beban pada terminal terima secara rata-rata dalam suatu selang (*interval*) waktu tertentu. [9] Beban tersebut bisa dalam satuan Ampere, kiloAmpere, kiloWatts dan kiloVoltAmpere. Kebutuhan beban listrik pada suatu daerah tergantung dari keadaan penduduk, pertumbuhan ekonomi, rencana pengembangannya dalam waktu dekat dan waktu yang akan datang. Sehingga kebutuhan mendatang sangat bergantung pada faktor-faktor yang dapat diketahui tersebut.

2. Kebutuhan Maksimum

Kebutuhan maksimum dapat terjadi selama waktu satu jam, harian, mingguan, bulanan atau tahunan. Kebutuhan maksimum adalah sebagai kebutuhan yang terbesar yang dapat terjadi dalam suatu selang tertentu, biasanya terjadi dalam selang 15 menit, selang 30 menit atau dalam hal hal tertentu 60 menit.

3. Beban Terpasang

Faktor Beban adalah perbandingan antara besarnya beban rata – rata untuk selang waktu (misalnya satu bulan atau satu tahun) terhadap beban puncak tertinggi dalam selang waktu yang sama[15]. Beban terpasang dimaksudkan adalah jumlah kapasitas dari semua beban dengan kapasitas yang tertera pada papan nama (*name plate*) dan

peralatan-peralatan listrik.. Hal ini dapat dijelaskan besarnya jumlah beban terpasang sangat mempengaruhi pola pelayanan beban.

komersil dan industri memiliki derajat pelayanan yang tinggi jika dibandingkan dengan konsumen rumah tangga (residential). Beban terpasang ini dapat diketahui dengan melakukan survei ke lapangan ataupun data sekunder dari perusahaan penyedia daya listrik.

4. Beban Rata-Rata

Beban rata-rata (Br) didefinisikan sebagai perbandingan antara energi yang terpakai dengan waktu pada periode. [9] Atau dituliskan menurut persamaan 1 periode tahunan :

$$\mathbf{Br = \frac{kWh \text{ yang terpakai selama 1 tahun}}{365 \times 24} \dots\dots\dots(2.15)}$$

5. Faktor Kebutuhan

Faktor kebutuhan adalah perbandingan beban puncak dengan seluruh beban terpasang pada sistem. Faktor kebutuhan selalu bernilai lebih kecil dari satu. Besarnya faktor kebutuhan dipengaruhi oleh beberapa hal :

1. Besarnya beban terpasang
2. Sifat pemakaian, sebagai contoh toko-toko, pusat perbelanjaan, kantor-kantor dan industri memiliki faktor kebutuhan tinggi ,sedangkan gudang dan tempat rekreasi memiliki faktor kebutuhan rendah.