

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Tujuan utama dari sistem distribusi adalah mendistribusikan tenaga listrik dari suatu sumber energy yang terhubung. Bila terjadi perubahan jumlah dan jenis beban yang terpasang pada saat sekarang ini dengan beban yang terpasang pada saat awal pengoprasian suatu jaringan atau sistem distribusi listrik, maka terjadi pula perubahan karakteristik beban dari sistem tersebut.

Irvan Kriswantoro (2013) telah melakukan penelitian dengan judul “ Audit Energi Gedung Hotel Inna Garuda” Menganalisa bahwa keadaan Beban energi listrik pada gedung Hotel inna Garuda 205,975kWH/m² tahun mengalami penghematan sebesar 50.322kWH/tahun dengan cara merubah sistem pemeliharaan energi listrik di gedung tersebut.

Jurnal yang berjudul “Karakteristik Beban Tenaga Listrik” Jurnal ini membahas tentang sistem distribusi listrik yang dibagi dalam beberapa sektor, yaitu sektor perumahan, sektor industri, sektor komersial dan sektor usaha dalam hal ini pembebanan energi listrik di setiap sektor berbeda- beda sehingga kita dapat memahami karakteristik sistem kelistrikan. (Daman Suswanto 2010)

Jurnal yang berjudul “Karakteristik Beban Listrik di Lingkungan Fakultas Teknik UGM Berbasis Data Rekaman Power Logic PM710 dan PM810 Schinder” jurnal ini menjelaskan tentang Evaluasi beban listrik yang kesimpulannya dapat

dijadikan rekomendasi bagi gedung terkait untuk perbaikan dan pengembangan sistem kelistrikan dimasa yang akan datang. (Cahyo Prihanto, M. Isnaen B.S, dan Yusuf Susilo Wijaya UGM 2 Juli 2014)

2.2 Pengertian Beban

Beban listrik adalah suatu alat atau benda yang dapat bekerja atau berfungsi apabila dialiri arus listrik yang berpotensi (dapat bekerja dengan memanfaatkan energi listrik). Berdasarkan sifat suatu beban listrik dapat dibedakan menjadi 3 yaitu;

a. Resistif

Beban yang memiliki sifat resistif akan memiliki sifat yang sama dengan resistor (R). 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

b. Induktif

Beban yang bersifat *induktif* memiliki sifat yang sama dengan *induktor* (L). 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.

c. Kapasitif

Beban yang bersifat *kapasitif* memiliki sifat yang sama dengan *kapasitor* (C). 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.

2.3 Karakteristik Beban

Pengertian dari karakteristik beban adalah variasi beban yang digambarkan terhadap waktu. Untuk menggambarkan karakteristik beban diperlukan sejumlah data yang didapat dari suatu alat ukur yang dapat merekam sejumlah besaran listrik yang menggambarkan keadaan operasi listrik yang terjadi pada waktu tertentu.

Pengetahuan tentang karakteristik beban diperlukan dalam bidang *design* operasi dan evaluasi dari suatu jaringan yang mempunyai berbagai macam beban listrik. Dalam bidang *design*, bila diketahui karakteristik beban yang akan dilayani maka akan terbantu kegiatan seperti berikut ;

1. Memilih berbagai peralatan distribusi sesuai dengan sistem tersebut. Hal ini berkaitan dengan pemilihan kapasitas peralatan, Misalnya peralatan proteksi dan penghantar listrik yang digunakannya.
2. Memprediski penambahan beban dimasa yang akan datang. Bila data rekaman karakteristik beban dapat diperoleh dalam waktu yang cukup lama maka akan diprediksi besarnya pembebanan yang akan terjadi di masa yang akan datang.

3. Memilih kapasitas pembangkit (Bila sistem tersebut di suplai oleh pembangkit sendiri). Pemilihan kapasitas pembangkit sendiri tidak lepas biaya investasi dan juga biaya operasi dalam pengoprasiaannya.

Dalam bidang operasi, pengetahuan tentang karakteristik beban bermanfaat antara lain untuk ;

1. Menyiapkan energi listrik yang cukup dalam melayani beban pada saat itu, bila telah di perediksi beban yang akan terjadi pada suatu waktu tertentu maka dengan mudah dapat di bangkitkan energi listrik sesuai dengan besarnya beban tersebut disamping juga sebagai cadangan agar tercapai operasi yang ekonomis
2. Mengatur waktu pembebanan apabila pembangkit listrik terbatas. Misalkan ada suatu beban listrik yang cukup besar kapasitasnya, Waktu pengoperasinya dapat diatur sehingga beban tersebut dapat dilayani oleh pembangkit yang dimiliki.
3. Mengantisipasi perkembangan sistem yang dikarenakan beban selalu berubah sepanjang waktu dan juga selalu berkembang seiring dengan perkembangan aktivitas yang tidak dapat dirumuskan secara eksak, sehingga perlu diamati secara terus menerus agar dapat diketahui perkembangan sistem yang harus dilakukan agar sistem selalu dapat mengikuti perkembangan beban.

Dalam bidang evaluasi, pengetahuan mengenai karakteristik beban sangat penting bagi seorang perencana sistem tersebut untuk membandingkan keadaan

operasi yang sudah direncanakan sesuai dengan keadaan yang sebenarnya terjadi sehingga apabila ditemukan keadaan operasi yang kurang sesuai yang direncanakan maka dapat dilakukan perbaikan sistem tersebut.

Untuk dapat melakukan analisa kemudian melakukan evaluasi atas operasi sistem perlu ada laporan mengenai operasi sistem tenaga listrik. Laporan operasi sistem sebaiknya meliputi hal – hal sebagai berikut ;

1. Data mengenai instalasi terpasang

Meliputi daya terpasang unit pembangkit, daya terpasang transformator, panjang dan luas penampang jaringan serta peralatan lainnya yang dianggap erat kaitannya dengan peralatan instalasi yang dioperasikan misalnya peralatan telekomunikasi dan komputer. Dalam laporan ini perlukan gambaran penambahan dan pengurangan yang terjadi dalam periode laporan, sehingga memberikan gambaran mengenai daya dan kemampuan peralatan yang terpasang dalam instalasi

2. Laporan pemeliharaan dan perbaikan

Laporan ini menggambarkan rencana dan realisasi pekerjaan pemeliharaan serta perbaikan bagian-bagian instalasi khususnya unit-unit pembangkit sehingga didapat gambaran mengenai kesiapan instalasi dalam menghadapi perubahan beban sistem.

3. Laporan pembebanan instalasi

Laporan ini menggambarkan perkiraan beban dan realisasi beban yang terjadi dalam sistem. Perlu pula dilaporkan beban yang tinggi misalnya diatas 80% dan beban yang rendah semisal dibawah 20% yang terjadi pada

bagian-bagian instalasi. Laporan ini diperlukan untuk mencegah beban lebih pada bagian suatu instalasi.

4. Laporan produksi

Untuk mendapatkan gambaran mengenai kegiatan produksi secara keseluruhan yang terjadi dalam sistem. Maka laporan mengenai produksi secara biasa berbentuk Neraca Energi, Neraca Energi menggambarkan hasil utama dari operasi sistem tenaga listrik dan dipakai untuk mengevaluasi berhasil tidaknya operasi sistem tenaga listrik.

5. Laporan mengenai hambatan dalam operasi

Hambatan-hambatan yang dialami dan juga diperkirakan akan dialami, perlu dilaporkan. Hambatan-hambatan operasi pada umumnya berupa ;

- a. Gangguan-gangguan dalam instalasi.
- b. Kerusakan-kerusakan dalam instalasi.

6. Kurangnya siapnya personil teknisi, khususnya dalam mengoperasikan, pemeliharaan dan memperbaiki peralatan baru.

7. Statistik operasi

Laporan mengenai operasi sistem tenaga listrik dari butir –butir di atas sebaiknya juga dilaporkan dalam bentuk statistik Tahunan dan statistik Bulanan. Dengan menggunakan statistik dapat dengan cepat dideteksi apakah ada kekeliruan atau tidak mengenai angka laporan, statistik juga dapat dipakai untuk melihat kecenderungan perubahan suatu besaran dalam suatu sistem.

8. Laporan aliran daya

Laporan *load flow* menggambarkan aliran daya yang terjadi dalam bagian - bagian sistem beserta tegangannya di rel – rel sistem dengan memperhatikan laporan ini dapat segera di ketahui bagian – bagian mana saja dalam sistem yang tegangannya rendah dan juga bagian – bagian mana saja yang mengalami pembebanan lebih, sehingga dapat dilakukan langkah – langkah perbaikan dan pengembangan system yang tepat.

Faktor utama yang menjadi alasan untuk mengadakan evaluasi pada jaringan sistem kelistrikan adalah faktor ekonomi. Faktor ini menuntut seorang engineer agar dapat men – *design* dan juga mengoperasikan sistem kelistrikan secara efektif. Dengan mengetahui karakteristik beban maka dapat diketahui kuantitas dan kualitas listrik pada jaringan misalnya besarnya tegangan, besarnya arus, keseimbangan beban (pada sistem 3 fasa), keseimbangan tegangan, *power factor* prediksi *losses* yang terjadi di jaringan dan kendala jaringan.

Bidang evaluasi ini juga berkaitan erat juga dengan bidang *design* misalnya dalam design konfigurasi beban 1 fasa ke dalam sistem 3 fasa design kapasitor untuk perbaiki power factor daya perancangan filter harmonik dan sebagainya.

2.4 Klasifikasi Beban

Berdasarkan jenis konsumen, beban dapat diklasifikasi sebagai berikut ;

2.4.1 Beban Perumahan (residential)

Beban perumahan juga terbagi lagi berdasarkan letak perumahan tersebut yaitu ;

- a. Perumahan kota
- b. Perumahan desa

Penggunaan terbesar beban perumahan adalah untuk penerangan di malam hari. Perumahan di kota menggunakan listrik untuk menyetrika, lemari pendingin, ruangan pendingin, pompa air, memasak, untuk peralatan hiburan disamping itu juga untuk kebutuhan penerangan dan lain-lain. Sedangkan penerangan di desa pada umumnya hanya untuk penerangan saja. Karakteristik beban perumahan di desa dan di kota juga berbeda dari segi jumlah pemakaian energi listriknya.

2.4.2 Beban Komersial

Karakteristik beban ini hampir sama dengan beban perumahan hanya disini listrik digunakan untuk keperluan komersial, perkantoran, gedung bioskop, hotel, toko adalah termasuk beban komersial, demikian juga pusat perbelanjaan juga termasuk beban komersial

2.4.3 Beban Industri

Beban industri membutuhkan listrik dalam jumlah yang besar dan karakteristik yang berbeda dengan beban perumahan maupun beban komersial. Perbedaan

karakteristik yang penting antar beban industri dan beban perumahan dapat diberikan sebagai berikut;

- a. Penggunaan listrik pada beban industri adalah bersifat produktif, sedangkan beban perumahan penggunaan listriknya bersifat konsumtif
- b. Pada beban industri pemakaian terbesar terjadi pada siang hari yaitu pada jam – jam kerja, sedangkan pada beban perumahan pemakaian terbesar terjadi pada malam hari yaitu untuk penerangan.
- c. Secara umum , jumlah pelanggan industri lebih sedikit dan jumlah pelanggan perumahan lebih banyak, tetapi pada pelanggan industri, daya terpasang lebih besar sedangkan pada pelanggan perumahan, daya terpasang relatif kecil.

2.4.4 Beban khusus

Beban khusus ini di Indonesia antara lain sekolah, tempat ibadah, perkantoran pemerintahan, penerangan jalan dan gedung-gedung lainnya yang digunakan untuk aktivitas sosial.

2.5 Beberapa Definisi Data Karakteristik Beban

2.5.1 Daya

Daya adalah kecepatan (*rate*) berubahnya *energy* terhadap waktu dalam bentuk tegangan dan arus.

$$P = V \cdot I \cos \phi \dots\dots\dots (2.1)$$

P adalah kuantitas daya, jika perkataan “daya” tersebut tidak dirubah maksudnya oleh suatu kata sifat yang akan memberinya identitas lain P, atau daya rata-rata, juga disebut *daya nyata (real power)*. satuan dasar daya, baik sesaat maupun rata-rata adalah watt. Tetapi karena watt adalah satuan yang terlalu kecil untuk kuantis-kuantitas sistem tenaga maka **P** biasanya di ukur dalam kilowatt atau megawatt.

Cosinus sudut fasa phi di antara tegangan dan arus dinamakan *factor daya (power factor)*. Suatu rangkayan induktif dikatakan mempunyai factor daya yang ketinggalan (*lagging power factor*), dan rangkaian kapasitif dikatakan mempunyai factor daya yang mendahului (*leading power factor*). Dengan perkataan lain istilah lagging dan leading power faktor berturut – turut menunjukkan apakah arus tertinggal dari atau mendahului tegangan yang terpasang.

$$Q = V \cdot I \sin \phi \dots\dots\dots(2.2)$$

Q dinamakan **Daya reaktif** atau daya volt-ampere yang akan sangat berguna dalam melukiskan kerjanya suatu sistem tenaga. Tentu saja P dan Q mempunyai unit dimensi yang sama, tetapi biasanya unit – unit untuk Q dinyatakan dengan vars (yang berarti *volt-ampere reaktif*). Unit – unit yang lebih praktis untuk Q adalah *kilovars* atau *megavars*.

Dari P dan Q akhirnya dapat dibuat sebuah persamaan matematis untuk mengetahui nilai *factor daya*.

$$\cos \phi = \cos \tan^{-1} \left(\frac{Q}{P} \right) \dots\dots\dots(2.3)$$

Atau

$$\cos \varphi = \left(\frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \right) \dots\dots\dots (2.4)$$

S merupakan kuantitas daya kompleks yaitu penjumlahan secara vector dari daya aktif dan daya reaktif persamaannya adalah sebagai berikut

$$S = V.I \cos (\alpha - \beta) + j V.I \sin (\alpha - \beta) \dots\dots\dots (2.5)$$

Karena $\alpha - \beta$ merupakan sudut fasa antara tegangan dan arus, jadi sama dengan φ dalam persamaan – persamaan terdahulu maka

$$S = P + jQ \dots\dots\dots (2.6)$$

Daya reaktif Q akan menjadi positif jika sudut fasa $\alpha - \beta$ di antara tegangan dan arus adalah positif, yaitu jika $\alpha > \beta$ yang juga berarti bahwa arusnya tertinggal (*lagging*) terhadap tegangan. Ini sesuai dengan pemilihan tanda positif untuk daya reaktif dari suatu rangkaian induktif dan tanda negatif untuk daya reaktif dari suatu rangkaian kapasitif.

Untuk beban 3 fasa, total daya dapat diperoleh dengan mudah dengan menjumlahkan daya pada ketiga fasanya. Pada suatu rangkaian yang seimbang ini sama saja dengan 3 kali daya pada fasa yang mana juga, karena daya pada semua fasa semua adalah sama.

Jika besarnya tegangan ke netral V_p untuk suatu beban yang terhubung Y adalah

$$V_p = |V_{an}| = |V_{bn}| = |V_{cn}| \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan :

V_p = tegangan fasa beban terhubung Y (volt)

V_{an} = tegangan fasa 'a' ke netral (volt)

V_{bn} = tegangan fasa 'b' ke netral (volt)

V_{cn} = tegangan fasa 'c' ke netral (volt)

Dan jika besarnya arus fasa I_p untuk suatu beban yang terhubung Y adalah

$$I_p = |I_{an}| = |I_{bn}| = |I_{cn}| \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan ;

I_p = arus fasa beban terhubung Y (*Ampare*)

I_{an} = arus fasa 'a' ke netral (*Ampare*)

I_{bn} = arus fasa 'b' ke netral (*Ampare*)

I_{cn} = arus fasa 'c' ke netral (*Ampare*)

Maka daya tiga fasa total adalah ;

$$P = 3 V_p I_p \cos \varphi \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan φ adalah sudut arus fasa tertinggal terhadap tegangan fasa, jadi samadengan sudut dari impedans di masing – masing fasa. Jika V_L dan I_L berturut – turut adalah besarnya tegangan antara saluran dan arus saluran, maka

$$\text{Rumus } V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \text{ dan } I_p = I_L \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan ;

V_p = tegangan fasa (*Volt*)

V_L = tegangan antar saluran (*Volt*)

I_p = arus fasa (*Ampare*)

I_L = arus saluran (*Ampare*)

Dan dengan mensubstitusikan ke persamaan (2.9), di peroleh

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi \dots\dots\dots(2.11)$$

Total vars adalah ;

$$\text{Rumus } Q = 3 V_p I_p \sin \varphi_p \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\text{Rumus } Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin \varphi_p \dots\dots\dots(2.13).$$

Dan *volt ampere* dari beban adalah ;

$$\text{Rumus } S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} V_L I_L \dots\dots\dots(2.14)$$

Persamaan – persamaan rumus (2.11), (2.12), (2.13), dan (2.14) adalah persamaan – persamaan yang biasa di pakai untuk menghitung P, Q, dan S pada jaringan (*network*) tiga-fasa yang seimbang, karena kuantitas yang biasanya diketahui adalah tegangan antar saluran, arus kawat, dan *factor daya* atau $\cos \varphi_p$. Jika kita berbicara tentang sistem tiga-fasa, maka yang dimaksud adalah kondisi seimbang kecuali jika dinyatakan sebaliknya; dan istilah tegangan, arus, dan daya berturut – turut berarti tegangan antara saluran, arus saluran daya total untuk keseluruhan tiga fasa, jika tidak ada rincian sebaliknya.

Jika beban dihubungkan secara (Δ) tegangan pada masing – masing impedans adalah tegangan antar saluran, dan arus yang mengalir lewat masing – masing impedansi sama dengan besarnya arus saluran di bagi $\sqrt{3}$, atau :

$$V_P = V_L \text{ dan } I_P = \frac{I_L}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Daya tiga-fasa total adalah

$$P = 3 V_P I_P \text{ Cos } \phi_p \dots\dots\dots (2.16).$$

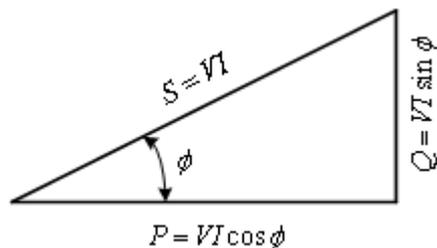
dan dengan mensubstitusikan nilai V_P dan I_P dari persamaan rumus (2.5) ke dalam persamaan rumus (2.16), di peroleh

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \text{ cos } \phi_p \dots\dots\dots (2.17)$$

Yang ternyata identik dengan persamaan rumus (2.11).

2.5.2 Segitiga Daya

Suatu segitiga daya dapat di gambar untuk suatu beban induktif, seperti terlihat gambar 2.1. untuk beberapa beban = beban yang dihubungkan parallel P total adalah jumlah daya rata- rata dari semua beban, yang harus digambarkan pada sumbu mendatar untuk suatu analisis grafis. Untuk suatu beban induktif, Q digambarkan vertical ke atas karena bertanda positif, suatu bebaban kapasitif akan mempunyai daya reaktif negativ, dan karenanya Q digambarkan vertikal kebawah.



Gambar 2.1 segitiga daya

2.5.3 Power Factor

Power factor merupakan $\cos \phi$, yaitu cosinus sudut antara tegangan dan arus. Suatu arus dan rangkaian induktif dikatakan mempunyai “faktor daya yang tertinggal” (*lagging power factor*), dan rangkaian kapasitif dikatakan mempunyai “faktor daya yang mendahului” (*leading power factor*). Dengan perkataan lain, istilah-istilah faktor daya yang ketinggalan dan mendahului berturut-turut menunjukkan apakah arus tersebut tertinggal dari atau mendahului tegangan yang terpasang, *power factor* juga dapat diartikan sebagai perbandingan antar daya aktif (P) dan daya total (S).

2.5.4. Demand (Kebutuhan)

Demand dari sebuah sistem instalasi adalah kebutuhan daya listrik pada suatu *receiving terminal* (terminal penerima) yang dirata-ratakan pada sebuah periode waktu tertentu. Beban dapat dinyatakan dalam kilowatt, kilovar, kilo *Ampere* serta *Ampere*.

a. Demand Interval (Interval Kebutuhan)

Demand interval adalah rentang waktu yang digunakan dalam perataan pembebanan. Periode yang dapat bernilai 15 menit, 30 menit, 1 jam atau bahkan lebih lama.

b. Maximum Demand (Kebutuhan Maksimum)

Maximum demand adalah nilai maksimum pembebanan dari suatu instalasi atau sistem yang terjadi pada suatu periode waktu tertentu. Besaran ini harus

mengikuti sertakan waktu intervalnya, yang dinyatakan dalam harian, mingguan, bulanan, atau tahunan.

c. *Demand Factor* (Faktor kebutuhan)

Deman factor adalah perbandingan dari kebutuhan maksimum dari sebuah system terhadap total bebanyang terhubung (*total conection demand*) ke sistem.

$$\text{Demand factor} = \frac{\text{Maximum demand}}{\text{Total Connected demand}} \dots\dots\dots (2.18)$$

Total connection demand kesuatu system didefinisikan sebagai jumlah dari rating kontinyu peralatan beban yang terhubung kesistem. Baik pembebanan maksimum dan total beban terhubung dinyatakan dalam satuan yang sama sehingga mempunyai besaran yang berdimensi.

Demand factor dapat ditemukan di dalam bagian system sebagaimana dalam keseluruhan sistem. Namun, dalam hal ini, demand faktor biasanya berkaitan dengan sebuah kelompok pembebanan daripada kepada keseluruhan sistem distribusi. Besar factor ini biasanya bernilai kurang dari satu. Hal ini merupakan sebuah indikator sifat simulasi dari operasi beban.

d. *Utilization factor*

Utilization factor merupakan perbandingan antara maximum demand dengan kapasitas sistem yang tertera. *Utilization factor* membrikan gambaran derajat pemakaian sistem pada saat beban puncak dibandingkan dengan kapasitas sistem yang tertera.

$$\text{Utilization factor} = \text{Maximum demand} / \text{Rate Capacity of the system}$$

e. *Load Factor* (Factor Beban)

Load factor (F_{LD}) adalah perbandingan *average load* (Pembebanan rata-rata) pada sebuah periode waktu tertentu terhadap *peak load* (Pembebanan Puncak) yang terjadi selama periode tertentu.

$$F_{LD} = \frac{\textit{average load}}{\textit{peak load}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Faktor beban dinyatakan dalam presentase atau pecahan dan biasanya bernilai dari 100% atau 1.