

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Teori Dasar

2.1.1 Pengertian Beban Listrik

Beban listrik merupakan seluruh peralatan atau sistem yang menggunakan energi listrik untuk menjalankan fungsi tertentu sehingga mengonsumsi daya listrik dari sumber tenaga listrik. Dalam sistem tenaga listrik, beban menjadi komponen utama yang menentukan besarnya kebutuhan energi yang harus disuplai oleh sumber listrik, baik dari jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN) maupun sumber listrik cadangan seperti generator set (genset). Besarnya beban listrik dinyatakan dalam satuan watt (W) untuk daya aktif, volt-ampere (VA) untuk daya semu, dan volt-ampere reaktif (VAR) untuk daya reaktif. Pada sistem tenaga listrik arus bolak-balik (AC), beban listrik tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya daya aktif, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor daya (power factor) yang menunjukkan hubungan antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya yang rendah menyebabkan kebutuhan daya semu menjadi lebih besar sehingga kapasitas peralatan listrik seperti transformator, kabel, maupun generator harus disesuaikan agar mampu melayani kebutuhan beban secara aman dan efisien.

Karakteristik beban listrik pada setiap bangunan berbeda-beda bergantung pada fungsi bangunan tersebut. Pada bangunan perkantoran, sebagian besar beban terdiri atas komputer, printer, server, sistem jaringan komunikasi, pendingin ruangan (AC), sistem penerangan, serta berbagai peralatan pendukung operasional lainnya. Variasi penggunaan peralatan tersebut menyebabkan besarnya beban listrik berubah-ubah sesuai dengan waktu operasional, jumlah pengguna, dan aktivitas

yang berlangsung di dalam gedung. Dalam perencanaan sistem tenaga listrik, analisis beban listrik merupakan tahapan yang sangat penting karena menjadi dasar dalam menentukan kapasitas penghantar, sistem proteksi, transformator, maupun sumber daya cadangan. Perhitungan beban yang dilakukan secara tepat akan menghasilkan sistem kelistrikan yang andal, aman, ekonomis, dan mampu mengantisipasi pertumbuhan kebutuhan listrik di masa mendatang. Sebaliknya, kesalahan dalam menghitung beban dapat menyebabkan peralatan bekerja melebihi kapasitasnya (overload) atau justru terlalu rendah (underload), sehingga menurunkan efisiensi sistem dan memperpendek umur peralatan. Pada penelitian ini, analisis beban listrik difokuskan pada identifikasi dan perhitungan beban esensial di Gedung A Kantor Samsat Palembang I. Beban esensial merupakan kelompok beban yang harus tetap memperoleh suplai listrik ketika terjadi pemadaman dari PLN agar pelayanan publik tetap berjalan dengan baik. Oleh karena itu, hasil perhitungan beban listrik digunakan sebagai dasar dalam menentukan kapasitas generator set (genset) yang sesuai dengan kebutuhan operasional gedung.

2.1.2 Klasifikasi Beban Listrik

Beban listrik dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsi dan karakteristik penggunaannya. Pengelompokan ini bertujuan untuk mempermudah perencanaan sistem tenaga listrik, analisis kebutuhan daya, serta penentuan kapasitas sumber listrik utama maupun sumber listrik cadangan. Menurut Gonen (2020), secara umum beban listrik dapat dikelompokkan menjadi empat kategori, yaitu beban rumah tangga, beban komersial, beban industri, dan beban fasilitas umum[1].

a. Beban Rumah Tangga

Beban rumah tangga merupakan beban listrik yang digunakan pada bangunan tempat tinggal untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Beban ini umumnya terdiri atas lampu penerangan, kipas angin, televisi, lemari es, mesin cuci, pompa air, penanak nasi, serta peralatan elektronik rumah tangga lainnya. Karakteristik beban rumah tangga bersifat fluktuatif dan dipengaruhi oleh aktivitas penghuni, dengan penggunaan daya yang biasanya meningkat pada pagi dan malam hari.

b. Beban Komersial

Beban komersial adalah beban listrik yang digunakan pada bangunan yang berfungsi sebagai tempat kegiatan bisnis dan pelayanan, seperti perkantoran, pusat perbelanjaan, hotel, bank, rumah makan, dan gedung pelayanan publik. Jenis beban ini didominasi oleh sistem penerangan, komputer, printer, server, pendingin ruangan (AC), lift, eskalator, serta berbagai perangkat elektronik pendukung operasional. Karakteristik beban komersial umumnya mengalami peningkatan pada jam operasional dan menurun setelah aktivitas pelayanan selesai. Gedung A Kantor Samsat Palembang I termasuk dalam kategori beban komersial karena seluruh aktivitas pelayanan administrasi kendaraan bermotor didukung oleh sistem komputerisasi dan teknologi informasi yang membutuhkan pasokan listrik secara berkesinambungan.

c. Beban Industri

Beban industri merupakan beban listrik yang digunakan pada sektor manufaktur dan proses produksi. Beban ini umumnya terdiri atas motor listrik, mesin produksi, kompresor, pompa, konveyor, sistem kontrol otomatis, dan

peralatan industri lainnya. Karakteristik beban industri didominasi oleh beban induktif sehingga memiliki kebutuhan daya reaktif yang relatif besar. Oleh karena itu, sistem kelistrikan industri biasanya dilengkapi dengan peralatan kompensasi faktor daya untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik.

d. Beban Fasilitas Umum

Beban fasilitas umum adalah beban listrik yang digunakan untuk menunjang pelayanan kepada masyarakat, seperti rumah sakit, sekolah, bandara, terminal, pelabuhan, kantor pemerintahan, tempat ibadah, serta fasilitas publik lainnya. Pada fasilitas umum terdapat beberapa kelompok beban yang harus tetap memperoleh suplai listrik ketika terjadi pemadaman, terutama peralatan yang berkaitan dengan keselamatan, keamanan, komunikasi, serta pelayanan kepada masyarakat. Oleh karena itu, fasilitas umum umumnya dilengkapi dengan sistem tenaga listrik cadangan berupa generator set (genset), Automatic Transfer Switch (ATS), dan Uninterruptible Power Supply (UPS). Berdasarkan klasifikasi tersebut, Gedung A Kantor Samsat Palembang I termasuk dalam kelompok beban fasilitas umum yang memiliki tingkat keandalan pasokan listrik tinggi. Hal ini disebabkan sebagian besar proses pelayanan administrasi bergantung pada perangkat teknologi informasi, sehingga diperlukan identifikasi beban esensial sebagai dasar dalam menentukan kapasitas generator set yang mampu menjaga kontinuitas pelayanan saat terjadi gangguan pasokan listrik dari PLN.

2.1.3 Karakteristik Beban Listrik

Karakteristik beban listrik merupakan sifat atau perilaku suatu beban dalam mengonsumsi energi listrik selama beroperasi. Setiap jenis beban memiliki karakteristik yang berbeda-beda berdasarkan hubungan antara arus dan tegangan, sehingga memengaruhi besarnya daya yang dibutuhkan, faktor daya (power factor), kualitas sistem tenaga listrik, serta kapasitas sumber listrik yang harus disediakan. Pemahaman mengenai karakteristik beban sangat penting dalam perencanaan sistem kelistrikan, khususnya dalam menentukan kapasitas generator set (genset), karena setiap jenis beban memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kinerja sistem. Secara umum, karakteristik beban listrik pada sistem arus bolak-balik (AC) dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif.

a. Beban Resistif (*Resistive Load*)

Beban resistif adalah beban yang mengubah energi listrik menjadi energi panas atau cahaya tanpa menimbulkan pergeseran fasa antara arus dan tegangan. Pada beban ini, nilai faktor daya (power factor) mendekati satu ($\cos \phi = 1$), sehingga seluruh daya yang diserap merupakan daya aktif. Beban resistif relatif mudah dilayani oleh sistem tenaga listrik karena tidak menghasilkan daya reaktif. Contoh beban resistif antara lain lampu pijar, elemen pemanas listrik (heater), kompor listrik, dan setrika listrik. Pada gedung perkantoran, sistem penerangan merupakan salah satu beban yang dominan bersifat resistif.

b. Beban Induktif (*Inductive Load*)

Beban induktif merupakan beban yang memiliki lilitan atau kumparan sehingga dapat menghasilkan medan magnet ketika dialiri arus listrik. Pada jenis beban ini, arus tertinggal terhadap tegangan (lagging), sehingga selain membutuhkan daya aktif juga memerlukan daya reaktif. Akibatnya, faktor daya menjadi lebih kecil dari satu dan kebutuhan daya semu meningkat. Beban induktif umumnya memiliki arus awal (starting current atau inrush current) yang jauh lebih besar dibandingkan arus saat kondisi normal. Kondisi ini harus diperhatikan dalam menentukan kapasitas generator set karena dapat menyebabkan penurunan tegangan (voltage drop) apabila kapasitas sumber listrik tidak mencukupi. Contoh beban induktif meliputi motor listrik, pompa air, transformator, kompresor, kipas angin, serta pendingin ruangan (AC). Pada Kantor Samsat Palembang I, peralatan seperti AC dan pompa air termasuk dalam kelompok beban induktif.

c. Beban Kapasitif (*Capacitive Load*)

Beban kapasitif adalah beban yang memiliki sifat menyimpan energi listrik di dalam medan listrik. Pada jenis beban ini, arus mendahului tegangan (leading), sehingga mampu menghasilkan daya reaktif yang dapat digunakan untuk memperbaiki faktor daya pada sistem tenaga listrik. Beban kapasitif umumnya tidak mendominasi penggunaan energi listrik pada bangunan perkantoran, tetapi banyak dijumpai dalam bentuk bank kapasitor (capacitor bank) yang dipasang untuk meningkatkan faktor daya serta mengurangi rugi-rugi daya pada sistem distribusi listrik. Selain itu, beberapa perangkat elektronik modern juga memiliki karakteristik kapasitif karena menggunakan rangkaian catu daya berbasis kapasitor. Dalam penelitian ini, karakteristik beban listrik menjadi salah satu dasar dalam

menentukan kapasitas generator set. Meskipun sebagian besar beban esensial di Gedung A Kantor Samsat Palembang I berupa komputer, server, printer, dan perangkat jaringan, keberadaan beban induktif seperti pendingin ruangan pada ruang server tetap perlu dipertimbangkan karena membutuhkan arus awal yang lebih tinggi dibandingkan beban resistif. Oleh karena itu, penentuan kapasitas genset tidak hanya didasarkan pada total daya aktif, tetapi juga mempertimbangkan faktor daya dan karakteristik masing-masing beban agar sistem tenaga cadangan dapat beroperasi secara andal, aman, dan efisien.

2.1.4 Beban Esensial

Beban esensial (essential load) merupakan kelompok beban listrik yang harus tetap memperoleh suplai daya ketika sumber tenaga listrik utama mengalami gangguan atau pemadaman. Beban ini memiliki peranan penting dalam menjaga kontinuitas operasional suatu bangunan atau fasilitas sehingga aktivitas utama tetap dapat berlangsung meskipun terjadi kegagalan pada sistem penyediaan tenaga listrik. Oleh karena itu, beban esensial umumnya diprioritaskan untuk memperoleh pasokan listrik dari sumber daya cadangan, seperti generator set (genset) atau Uninterruptible Power Supply (UPS). Dalam sistem tenaga listrik, beban esensial berada pada tingkat prioritas yang lebih tinggi dibandingkan beban non-esensial. Beban non-esensial merupakan peralatan yang dapat dimatikan sementara selama kondisi darurat tanpa menimbulkan dampak yang signifikan terhadap operasional gedung. Sebaliknya, apabila beban esensial kehilangan suplai listrik, maka proses pelayanan, komunikasi, pengolahan data, maupun sistem keamanan dapat terganggu sehingga menurunkan keandalan operasional suatu fasilitas.

Penentuan beban esensial dilakukan berdasarkan fungsi dan tingkat kepentingan setiap peralatan terhadap kelangsungan aktivitas utama bangunan. Pada gedung perkantoran dan fasilitas pelayanan publik, beban esensial umumnya meliputi server, komputer pelayanan, perangkat jaringan komunikasi, printer operasional, sistem penerangan utama, perangkat keamanan seperti CCTV, serta sistem komunikasi internal. Peralatan-peralatan tersebut harus tetap beroperasi selama terjadi pemadaman listrik agar pelayanan kepada masyarakat tidak terhenti dan data operasional tetap terjaga. Menurut IEEE Std 446 (Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications), sistem tenaga darurat harus dirancang untuk menyuplai beban yang memiliki tingkat prioritas tinggi sehingga kontinuitas operasional dapat dipertahankan selama terjadi gangguan pada sumber listrik utama[2]. Oleh karena itu, identifikasi dan pengelompokan beban esensial menjadi tahapan penting dalam menentukan kapasitas sumber daya cadangan agar genset yang dipilih mampu melayani seluruh beban prioritas secara aman, andal, dan efisien.

Pada penelitian ini, beban esensial di Gedung A Kantor Samsat Palembang I ditentukan berdasarkan hasil inventarisasi peralatan listrik yang mendukung proses pelayanan administrasi kepada masyarakat. Beban tersebut meliputi perangkat server, komputer loket pelayanan, printer, perangkat jaringan (router dan switch), UPS, CCTV, serta sistem penerangan pada area pelayanan. Sementara itu, peralatan seperti pendingin ruangan pada area umum, dispenser, pompa air, dan peralatan penunjang lainnya dikategorikan sebagai beban non-esensial karena tidak harus tetap beroperasi pada saat kondisi darurat. Pengelompokan beban menjadi beban

esensial dan non-esensial memberikan beberapa keuntungan, antara lain mengurangi kapasitas genset yang diperlukan, meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar, menekan biaya investasi, serta memperpanjang umur operasi genset. Dengan demikian, kapasitas genset dapat ditentukan secara lebih ekonomis tanpa mengurangi keandalan sistem kelistrikan selama kondisi darurat.

2.2 Generator Set

2.2.1 Pengertian Genset

Generator adalah mesin yang dapat mengubah energi mekanis menjadi tenaga listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Generator memperoleh energi mekanis dari prime mover, Generator arus bolak balik dikenal dengan sebutan alternator[3].

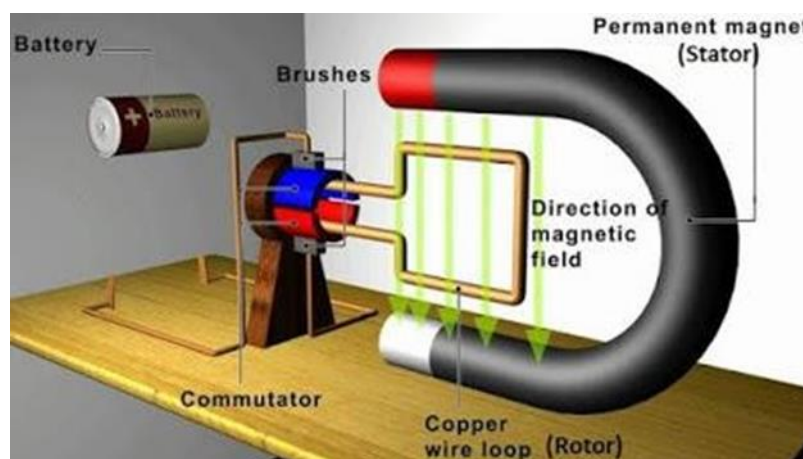
Sedangkan genset merupakan bagian dari generator. Genset merupakan suatu alat yang dapat mengubah energy mekanik menjadi energy listrik. Generator terpasang satu poros dengan motor diesel, yang biasanya menggunakan generator sinkron (alternator) pada pembangkitan.



Gambar 2.1 Generator Set

2.2.2 Prinsip Kerja Genset

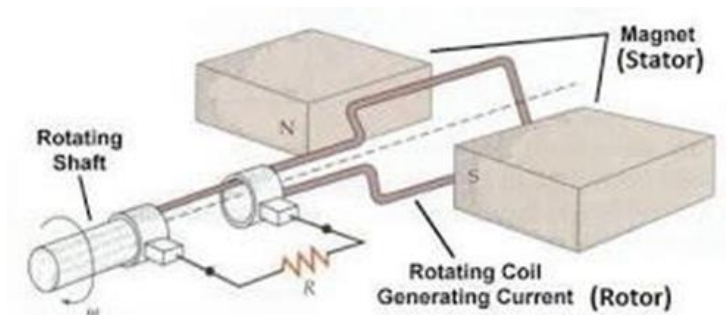
Pada dasarnya generator bekerja menggunakan prinsip elektromagnetik yang sesuai dengan hukum Faraday. Dimana hukum Faraday berbunyi “Ketika sebuah medan magnet berputar secara terus menerus memotong kumparan (Coil) maka akan membangkitkan beda potensial (Voltage) pada kumparan tersebut” Dari hukum tersebut kita bisa hubungkan dengan bagaimana cara kerja generator. Generator memiliki 2 komponen utama yang berperan penting dalam menghasilkan listrik yaitu stator dan rotor. Stator merupakan komponen generator yang diam yang menghasilkan medan magnet. Sedangkan rotor merupakan komponen yang berputar yang berisi lilitan Coil didalamnya.



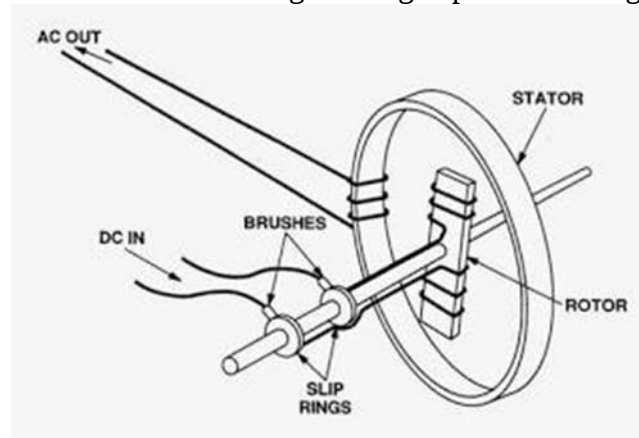
Gambar 2.2 Proses Kerja Generator Secara Umum

Ketika rotor berputar akan memotong medan magnet yang dihasilkan oleh stator sehingga akan terjadi pergerakan elektron yang besarnya sesuai dengan jumlah lilitan coil dan besarnya medan magnet. Aliran listrik yang dihasilkan akan diteruskan melalui brush dengan menggunakan sistem Slip ring (untuk menghasilkan arus AC) atau dengan Comutator (untuk menghasilkan arus DC). Untuk medan magnet yang dihasilkan oleh Generator sendiri terdapat 2 jenis yaitu

medan magnet dengan pemanen magnet dan medan magnet buatan yang terdiri dari kumparan Coil yang diberikan arus eksitasi. Pada medan magnet buatan ini biasanya rotor yang akan bertindak sebagai penghasil medan magnet.



Gambar 2.3 Medan magnet dengan permanen magnet



Gambar 2.4 Medan magnet buatan dengan arus eksitasi

Biasanya untuk generator rumahan atau generator pembangkit yang memiliki kapasitas besar memiliki Jenis stator dengan medan magnet buatan (Coil yang diberi arus eksitasi).

2.2.3 Komponen Generator Set (Genset)

Generator set (genset) merupakan suatu sistem pembangkit listrik yang terdiri atas beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Kinerja genset sangat dipengaruhi oleh kondisi setiap komponen penyusunnya. Oleh karena itu, pemahaman mengenai fungsi

masing-masing komponen menjadi penting dalam proses perencanaan, pengoperasian, maupun pemeliharaan genset sebagai sumber daya listrik cadangan. Adapun komponen utama generator set (genset) adalah sebagai berikut.

1. Mesin Diesel (Diesel Engine)

Mesin diesel merupakan sumber tenaga mekanik (prime mover) yang berfungsi menggerakkan poros generator. Energi yang dihasilkan berasal dari proses pembakaran bahan bakar solar di dalam ruang bakar mesin. Putaran mesin diesel kemudian diteruskan ke alternator melalui poros sehingga menghasilkan energi listrik. Kapasitas mesin diesel harus disesuaikan dengan kapasitas alternator agar mampu menghasilkan daya secara optimal.

2. Alternator (Generator)

Alternator merupakan komponen yang berfungsi mengubah energi mekanik yang berasal dari mesin diesel menjadi energi listrik arus bolak-balik (AC) melalui prinsip induksi elektromagnetik. Alternator terdiri atas rotor sebagai bagian yang berputar dan stator sebagai bagian yang diam. Ketika rotor berputar di dalam medan magnet, akan timbul gaya gerak listrik pada kumparan stator sehingga menghasilkan tegangan keluaran.

3. Automatic Voltage Regulator (AVR)

Automatic Voltage Regulator (AVR) merupakan perangkat pengatur tegangan yang berfungsi menjaga kestabilan tegangan keluaran alternator meskipun terjadi perubahan beban. AVR bekerja dengan mengatur besar kecilnya arus eksitasi pada rotor sehingga tegangan keluaran genset tetap berada pada nilai nominal sesuai standar operasi.

4. Sistem Bahan Bakar (Fuel System)

Sistem bahan bakar berfungsi menyimpan, menyaring, dan menyalurkan bahan bakar dari tangki menuju mesin diesel. Komponen utama sistem ini meliputi tangki bahan bakar, pompa bahan bakar, filter bahan bakar, serta saluran distribusi. Sistem bahan bakar yang baik akan menjamin proses pembakaran berlangsung secara sempurna sehingga performa genset tetap optimal.

5. Sistem Pendingin (Cooling System)

Selama beroperasi, mesin diesel menghasilkan panas yang cukup tinggi akibat proses pembakaran. Oleh karena itu, genset dilengkapi dengan sistem pendingin yang terdiri atas radiator, kipas pendingin, pompa air, dan cairan pendingin (coolant). Sistem pendingin berfungsi menjaga temperatur kerja mesin agar tetap berada pada batas yang diizinkan sehingga mencegah terjadinya overheating yang dapat mengurangi umur mesin.

6. Sistem Pelumasan (Lubrication System)

Sistem pelumasan berfungsi mengurangi gesekan antar komponen yang bergerak di dalam mesin diesel. Oli pelumas dipompa ke seluruh bagian mesin untuk melumasi bantalan, piston, poros engkol, dan komponen lainnya. Selain mengurangi keausan, sistem pelumasan juga membantu proses pendinginan dan membersihkan kotoran hasil pembakaran.

7. Sistem Starter (Starting System)

Sistem starter digunakan untuk menghidupkan mesin diesel sebelum genset beroperasi. Pada genset modern, sistem starter umumnya menggunakan motor listrik yang memperoleh suplai daya dari baterai (starting battery). Ketika tombol

start ditekan atau saat ATS memberikan sinyal otomatis, motor starter akan memutar poros mesin hingga proses pembakaran berlangsung dan mesin hidup.

8. Baterai (Battery)

Baterai berfungsi sebagai sumber energi listrik untuk mengoperasikan motor starter, panel kontrol, dan sistem kontrol lainnya sebelum genset menghasilkan listrik. Kondisi baterai harus selalu terjaga agar proses penyalaan genset dapat berlangsung dengan baik, terutama ketika terjadi pemadaman listrik secara tiba-tiba.

9. Panel Kontrol (Control Panel)

Panel kontrol merupakan pusat pengendalian dan pemantauan operasi genset. Panel ini menampilkan berbagai parameter operasi seperti tegangan, arus, frekuensi, faktor daya, putaran mesin, tekanan oli, temperatur mesin, dan jam operasi. Selain itu, panel kontrol juga dilengkapi dengan sistem proteksi yang akan menghentikan operasi genset apabila terjadi gangguan seperti tekanan oli rendah, suhu mesin tinggi, atau kelebihan beban (overload).

10. Sistem Pembuangan Gas (Exhaust System)

Sistem pembuangan gas berfungsi menyalurkan gas hasil pembakaran dari mesin diesel menuju atmosfer melalui knalpot (muffler). Selain membuang gas sisa pembakaran, sistem ini juga berfungsi meredam kebisingan selama genset beroperasi sehingga tingkat kebisingan yang dihasilkan menjadi lebih rendah. Seluruh komponen tersebut bekerja secara terpadu dalam menghasilkan suplai listrik cadangan yang andal. Apabila salah satu komponen mengalami gangguan, maka kinerja genset dapat menurun bahkan menyebabkan kegagalan operasi. Oleh

karena itu, pemeriksaan dan pemeliharaan berkala terhadap setiap komponen sangat diperlukan untuk menjaga keandalan genset sebagai sumber daya listrik darurat. Dalam penelitian ini, pemahaman mengenai komponen-komponen genset menjadi dasar dalam menentukan kapasitas genset yang sesuai dengan kebutuhan beban esensial di Gedung A Kantor Samsat Palembang I.

2.2.4 Faktor yang Mempengaruhi Pemilihan Kapasitas Genset

Pemilihan kapasitas generator set (genset) merupakan salah satu tahapan penting dalam perancangan sistem tenaga listrik cadangan. Kapasitas genset yang dipilih harus mampu menyuplai seluruh beban yang menjadi prioritas ketika sumber listrik utama mengalami gangguan. Pemilihan kapasitas yang terlalu kecil dapat menyebabkan genset mengalami beban lebih (overload), penurunan tegangan, hingga kegagalan sistem. Sebaliknya, kapasitas yang terlalu besar akan mengakibatkan investasi awal, biaya operasional, serta konsumsi bahan bakar menjadi lebih tinggi, sementara efisiensi kerja genset menurun karena beroperasi pada beban yang terlalu rendah (underload). Oleh karena itu, diperlukan analisis terhadap beberapa faktor teknis agar kapasitas genset yang dipilih sesuai dengan kebutuhan sistem. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan kapasitas genset antara lain sebagai berikut.

1. Total Beban Listrik

Total beban listrik merupakan faktor utama dalam menentukan kapasitas genset. Perhitungan dilakukan dengan menjumlahkan seluruh daya peralatan yang akan disuplai oleh genset, terutama beban esensial yang harus tetap beroperasi saat terjadi pemadaman listrik. Pada gedung perkantoran, beban esensial umumnya

meliputi server, komputer pelayanan, printer, perangkat jaringan, sistem komunikasi, serta penerangan darurat.

2. Faktor Daya (*Power Factor*)

Faktor daya (power factor atau $\cos \phi$) menunjukkan perbandingan antara daya aktif (kW) dan daya semu (kVA). Semakin kecil nilai faktor daya, maka kapasitas semu yang harus disediakan genset akan semakin besar. Oleh karena itu, kapasitas genset tidak ditentukan hanya berdasarkan daya aktif, tetapi juga mempertimbangkan faktor daya sistem. Pada instalasi gedung perkantoran, nilai faktor daya umumnya berkisar antara 0,8 hingga 0,9.

3. Demand Factor

Demand factor merupakan perbandingan antara beban maksimum yang digunakan secara bersamaan dengan total daya terpasang. Tidak seluruh peralatan listrik beroperasi pada waktu yang sama, sehingga penggunaan demand factor menghasilkan perencanaan kapasitas genset yang lebih realistis dan ekonomis. Dalam praktik perencanaan gedung, nilai demand factor disesuaikan dengan karakteristik penggunaan beban berdasarkan hasil observasi lapangan atau standar yang berlaku.

4. Arus Awal (*Starting Current*)

Beberapa jenis beban, terutama motor listrik, pompa, dan pendingin ruangan (AC), memerlukan arus awal yang jauh lebih besar dibandingkan arus saat beroperasi normal. Lonjakan arus ini dapat mencapai beberapa kali arus nominal sehingga perlu diperhitungkan dalam pemilihan kapasitas genset agar tidak terjadi penurunan tegangan (voltage drop) maupun kegagalan saat proses penyalaan beban.

5. Safety Margin (Cadangan Daya)

Dalam perencanaan sistem tenaga listrik, kapasitas genset umumnya ditambahkan cadangan daya (safety margin) sekitar 20–30% dari hasil perhitungan kebutuhan beban. Penambahan cadangan ini bertujuan mengantisipasi kemungkinan penambahan beban di masa mendatang, fluktuasi penggunaan daya, serta menjaga agar genset tidak bekerja pada kapasitas maksimum secara terus-menerus. Dengan adanya safety margin, umur pakai genset dapat lebih panjang dan keandalan sistem meningkat.

6. Persentase Pembebanan Genset (*Load Factor*)

Kinerja genset sangat dipengaruhi oleh tingkat pembebanannya. Mesin diesel umumnya memiliki efisiensi terbaik ketika beroperasi pada kisaran 60–80% dari kapasitas nominal. Pembebanan yang terlalu rendah dapat menyebabkan terjadinya wet stacking, yaitu penumpukan residu bahan bakar yang tidak terbakar secara sempurna pada sistem pembuangan. Sebaliknya, pembebanan yang terlalu tinggi akan meningkatkan temperatur mesin, mempercepat keausan komponen, serta memperpendek umur operasi genset. Berdasarkan faktor-faktor tersebut, pemilihan kapasitas genset harus dilakukan melalui analisis teknis yang mempertimbangkan karakteristik beban, faktor daya, demand factor, arus awal peralatan, safety margin, serta tingkat pembebanan genset. Pada penelitian ini, penentuan kapasitas genset dilakukan berdasarkan hasil perhitungan beban esensial Gedung A Kantor Samsat Palembang I sehingga kapasitas yang dipilih mampu menjamin kontinuitas pelayanan publik secara andal, efisien, dan ekonomis.

2.3 *Automatic Transfer Swicth (ATS)*

2.3.1 *Pengertian ATS*

Automatic Transfer Switch (ATS) merupakan perangkat kendali otomatis yang berfungsi memindahkan sumber suplai listrik dari sumber utama ke sumber cadangan, atau sebaliknya, tanpa memerlukan pengoperasian secara manual. ATS dirancang untuk menjaga kontinuitas pasokan listrik pada suatu instalasi ketika terjadi gangguan atau pemadaman pada sumber listrik utama, sehingga beban yang telah ditentukan tetap memperoleh suplai daya secara berkesinambungan. Prinsip kerja ATS didasarkan pada pemantauan kondisi tegangan dan frekuensi dari sumber listrik utama. Selama suplai dari PLN berada pada kondisi normal, ATS akan menghubungkan beban ke sumber utama. Namun, apabila ATS mendeteksi terjadinya gangguan, seperti hilangnya tegangan (*under voltage*), kehilangan salah satu fasa, atau pemadaman total, maka sistem akan mengirimkan sinyal untuk menghidupkan generator set (*genset*). Setelah genset mencapai putaran, tegangan, dan frekuensi nominal yang stabil, ATS secara otomatis memindahkan sambungan beban dari sumber utama ke genset.

Ketika pasokan listrik dari PLN kembali normal dan telah memenuhi parameter operasi yang ditentukan, ATS akan memindahkan kembali beban ke sumber utama secara otomatis. Selanjutnya, genset tetap dioperasikan selama beberapa menit tanpa beban (*cooling down*) sebelum berhenti bekerja. Proses tersebut bertujuan menjaga temperatur mesin tetap stabil sehingga dapat memperpanjang umur operasional genset. Penggunaan ATS memberikan berbagai keuntungan, antara lain meningkatkan keandalan sistem kelistrikan, mempercepat

proses perpindahan sumber listrik, mengurangi risiko gangguan operasional akibat pemadaman, serta meminimalkan kesalahan yang dapat terjadi apabila perpindahan dilakukan secara manual. Oleh karena itu, ATS banyak diterapkan pada fasilitas yang membutuhkan kontinuitas pasokan listrik, seperti rumah sakit, pusat data (data center), industri, gedung perkantoran, bandara, dan instansi pelayanan publik.

Pada penelitian ini, ATS berperan sebagai penghubung otomatis antara jaringan listrik PLN dan generator set (genset) pada Gedung A Kantor Samsat Palembang I. Ketika terjadi pemadaman listrik dari PLN, ATS akan mengaktifkan genset dan memindahkan suplai listrik menuju beban esensial, seperti server, komputer pelayanan, printer, perangkat jaringan, dan sistem penerangan utama. Dengan demikian, proses pelayanan kepada masyarakat tetap dapat berlangsung tanpa gangguan yang signifikan selama masa perpindahan sumber listrik.

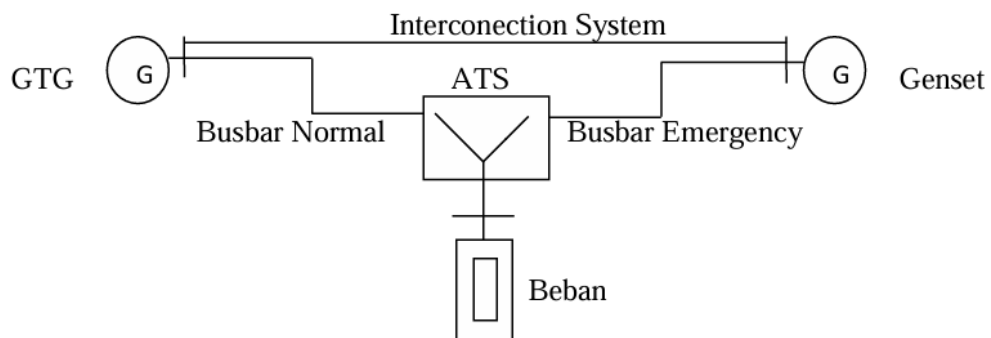
2.3.2 Prinsip Kerja *Automatic Transfer Switch* (ATS)

Automatic Transfer Switch (ATS) merupakan perangkat kendali otomatis yang berfungsi memindahkan sumber suplai listrik dari sumber utama, yaitu PLN, ke sumber listrik cadangan berupa generator set (genset), maupun sebaliknya, tanpa memerlukan pengoperasian secara manual. Penggunaan ATS bertujuan menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik sehingga peralatan penting tetap memperoleh suplai daya ketika terjadi gangguan pada sumber listrik utama.

Prinsip kerja ATS diawali dengan pemantauan secara terus-menerus terhadap kondisi tegangan, frekuensi, dan kualitas sumber listrik dari PLN. Selama parameter kelistrikan berada dalam kondisi normal, ATS akan mempertahankan posisi kontak pada sumber utama sehingga seluruh beban disuplai oleh jaringan

PLN. Pada kondisi ini, genset berada dalam keadaan siaga (standby) dan sistem pengisian baterai tetap bekerja untuk memastikan mesin siap dioperasikan apabila sewaktu-waktu diperlukan. Apabila ATS mendeteksi terjadinya pemadaman listrik atau penurunan tegangan di bawah batas yang telah ditentukan (under voltage), maka ATS akan mengirimkan sinyal kepada sistem Automatic Mains Failure (AMF) untuk menghidupkan mesin genset secara otomatis. Setelah mesin genset mencapai putaran nominal, menghasilkan tegangan yang stabil, serta frekuensi berada pada nilai standar, ATS akan memutuskan hubungan dengan sumber PLN (break) kemudian menghubungkan beban ke sumber listrik genset (make). Proses perpindahan ini dilakukan secara berurutan agar tidak terjadi hubungan paralel antara kedua sumber listrik yang dapat menimbulkan gangguan pada sistem tenaga listrik. Selama kondisi darurat, seluruh beban esensial memperoleh suplai listrik dari genset sehingga kegiatan operasional tetap dapat berlangsung. Pada penelitian ini, beban yang diprioritaskan meliputi server, komputer pelayanan, printer, perangkat jaringan, serta sistem penerangan utama yang mendukung pelayanan di Gedung A Kantor Samsat Palembang I. Ketika pasokan listrik PLN kembali normal dan stabil dalam waktu tertentu sesuai pengaturan waktu (time delay), ATS secara otomatis memindahkan kembali sumber suplai listrik dari genset ke PLN. Setelah perpindahan selesai, genset tidak langsung dimatikan, tetapi tetap beroperasi selama beberapa menit pada kondisi tanpa beban (cooling down) untuk menurunkan temperatur mesin secara bertahap. Setelah proses pendinginan selesai, sistem AMF akan mematikan mesin genset secara otomatis dan mengembalikannya ke kondisi siaga.

Penerapan ATS pada sistem kelistrikan gedung memiliki beberapa keuntungan, antara lain mempercepat proses perpindahan sumber listrik, mengurangi risiko kesalahan akibat pengoperasian manual, meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik, serta menjamin kontinuitas pelayanan ketika terjadi gangguan pasokan listrik dari PLN. Oleh karena itu, ATS menjadi salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik darurat yang menggunakan generator set sebagai sumber daya cadangan.



Gambar 2.5 Prinsip Kerja ATS Terhadap Sumber Listrik

2.4 Perhitungan Kapasitas Genset

Perhitungan kapasitas generator set (genset) merupakan tahapan penting dalam perencanaan sistem tenaga listrik cadangan. Penentuan kapasitas genset harus dilakukan secara tepat agar mampu menyuplai seluruh beban esensial saat terjadi pemadaman listrik dari sumber utama tanpa mengalami kelebihan beban (overload) maupun pembebanan yang terlalu rendah (underload). Genset dengan kapasitas yang terlalu kecil berpotensi mengalami penurunan tegangan, frekuensi tidak stabil, serta mempercepat kerusakan mesin akibat bekerja melebihi kapasitasnya. Sebaliknya, genset yang memiliki kapasitas terlalu besar akan

meningkatkan biaya investasi, konsumsi bahan bakar, dan biaya pemeliharaan sehingga menjadi kurang ekonomis. Dalam menentukan kapasitas genset terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan, yaitu daya aktif (active power), daya semu (apparent power), faktor daya (power factor), faktor kebutuhan (demand factor), serta faktor keamanan (safety margin). Parameter-parameter tersebut digunakan untuk memperoleh kapasitas genset yang mampu bekerja secara andal dan efisien sesuai dengan karakteristik beban yang dilayani.

2.4.1 Perhitungan Daya Aktif (P)

Daya aktif merupakan daya listrik yang benar-benar digunakan oleh peralatan untuk melakukan kerja, seperti menggerakkan motor listrik, menyalakan lampu, mengoperasikan komputer, server, printer, maupun peralatan elektronik lainnya. Daya aktif dinyatakan dalam satuan watt (W) atau kilowatt (kW). Besarnya daya aktif total diperoleh dengan menjumlahkan seluruh daya peralatan yang termasuk dalam kelompok beban esensial.

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3 + P_n \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

P_{total} = Total daya aktif (kW)

P_n = Daya masing-masing beban (kW)

2.4.2 Perhitungan Daya Semu (S)

Dalam sistem tenaga listrik arus bolak-balik (AC), kapasitas generator tidak dinyatakan dalam satuan kW, melainkan dalam satuan kilo volt-ampere (kVA). Oleh karena itu, daya aktif harus dikonversikan menjadi daya semu dengan

memperhitungkan faktor daya (power factor). Persamaan daya semu menurut Wadhwa (2017) adalah sebagai berikut[4] :

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

S = Daya semu (kVA)

P = Daya aktif (kW)

Cos φ = Faktor daya

Pada instalasi gedung perkantoran umumnya digunakan faktor daya sebesar 0,8 sehingga nilai daya semu menjadi dasar dalam menentukan kapasitas minimum generator set.

2.4.3 Faktor Keamanan (*Safety Margin*)

Dalam praktik perencanaan, kapasitas genset tidak ditentukan sama dengan hasil perhitungan kebutuhan daya. Penambahan cadangan daya (*safety margin*) diperlukan untuk mengantisipasi lonjakan arus awal (*starting current*), perubahan beban saat operasi, serta kemungkinan penambahan peralatan di masa mendatang. Perhitungan kapasitas genset dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$P_{genset} = P_{beban} \times (1 + Safety\ Margin) \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

P_{genset} = Kapasitas genset (kVA)

P_{beban} = Daya semu hasil perhitungan (kVA)

FC = Safety margin (20–30%)

Pada penelitian ini digunakan safety margin sebesar 25% sehingga kapasitas genset yang dipilih memiliki cadangan daya yang cukup untuk menjamin keandalan operasi.

2.4.4 Persentase Pembebanan Genset (*Load Factor*)

Setelah kapasitas genset ditentukan, perlu dilakukan analisis persentase pembebanan genset untuk mengetahui apakah genset bekerja pada kondisi operasi yang optimal. Persentase pembebanan dihitung menggunakan persamaan:

$$LF = \frac{P_{beban}}{P_{genset}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

LF = Persentase pembebanan genset (%)

P_{beban} = Total daya beban (kW)

P_{genset} = Kapasitas daya keluaran genset (kW)

Berdasarkan rekomendasi IEEE Std 446 dan praktik industri, genset diesel memiliki kinerja terbaik apabila beroperasi pada kisaran 60%–80% dari kapasitas nominalnya[5]. Pembebanan pada rentang tersebut menghasilkan efisiensi bahan bakar yang lebih baik, menjaga kestabilan tegangan dan frekuensi, serta memperpanjang umur operasi mesin.

2.4.5 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengevaluasi efisiensi operasional generator set. Semakin besar daya yang dibebankan kepada genset, semakin besar pula konsumsi bahan bakar yang

diperlukan. Perhitungan konsumsi bahan bakar dapat dilakukan menggunakan metode Specific Fuel Consumption (SFC) dengan persamaan:

$$Fuel\ Consumption = SFC \times P \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

- FC = Konsumsi bahan bakar (liter/jam)
- SFC = Specific Fuel Consumption (liter/kWh)
- P = Daya keluaran genset (kW)

Nilai Specific Fuel Consumption bergantung pada spesifikasi mesin diesel yang digunakan. Pada genset diesel berkapasitas kecil hingga menengah, nilai SFC umumnya berada pada kisaran 0,22–0,28 liter/kWh. Perhitungan konsumsi bahan bakar digunakan untuk memperkirakan kebutuhan solar selama genset beroperasi sebagai sumber listrik cadangan.

2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan kajian terhadap penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan memiliki keterkaitan dengan topik penelitian. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui perkembangan penelitian, metode yang digunakan, hasil yang diperoleh, serta menemukan perbedaan atau kebaruan (novelty) dari penelitian yang dilakukan. Dalam penelitian ini, beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan analisis beban listrik, penentuan kapasitas generator set (genset), dan sistem catu daya darurat digunakan sebagai bahan referensi sebagaimana disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu

No	Penulis, Tahun	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
1.	Naibaholo, N., & Yoverly, M. (2022)	Analisa Perhitungan Kebutuhan Genset Stamford 670 kVA pada Apartemen Mustika Golf Residence Cikarang Jawa Barat	Observasi lapangan, perhitungan kebutuhan daya, analisis efisiensi genset dan konsumsi bahan bakar	Hasil penelitian menunjukkan kebutuhan kapasitas genset dihitung berdasarkan beban puncak gedung, kemudian dievaluasi efisiensi pembebanan dan konsumsi bahan bakarnya.	Penelitian dilakukan pada apartemen, sedangkan penelitian ini dilakukan pada gedung pelayanan publik (Kantor Samsat) dengan fokus pada beban esensial.
2	Kirana Mega Novianty, Yudi Prana Hikmat, & Trisnawiyana (2023)	<i>Analisis Pembebanan Generator 500 kVA sebagai Catu Daya Darurat pada Jaringan Listrik Politeknik Negeri Bandung</i>	Pengukuran beban harian, analisis pembebanan generator, dan evaluasi kapasitas genset	Genset 500 kVA hanya dibebani sekitar 63,5% dari kapasitasnya sehingga masih mampu melayani seluruh gedung prioritas secara optimal.	Penelitian berfokus pada evaluasi pembebanan genset yang sudah terpasang, sedangkan penelitian ini menentukan kapasitas genset berdasarkan hasil perhitungan beban esensial.

3	Junico Dwi Yussarianto & Giovanni Dimas Prenata (2024)	<i>Kajian Teknis Kebutuhan Genset sebagai Sumber Energi Cadangan di UNTAG Surabaya</i>	Perhitungan kebutuhan daya dan simulasi menggunakan ETAP	Hasil penelitian menunjukkan kebutuhan daya sebesar 341,3 kVA sehingga genset 500 kVA masih memenuhi kebutuhan dengan efisiensi sekitar 68,25%.	Penelitian menggunakan simulasi ETAP pada lingkungan kampus, sedangkan penelitian ini menggunakan data inventarisasi beban nyata di Gedung A Kantor Samsat Palembang I.
4	Putra, C. A., Budiman, & Ridal, Y. (2024)	<i>Analisa Utilisasi Generator Set Kapasitas 200 kVA di RSUD M. Natsir Kota Solok</i>	Observasi lapangan, pengukuran beban puncak, perhitungan demand factor, utilisasi genset, dan konsumsi bahan bakar	Penelitian memperoleh utilisasi genset, demand factor, serta estimasi konsumsi bahan bakar berdasarkan kondisi operasi aktual rumah sakit.	Penelitian dilakukan pada rumah sakit yang memiliki beban vital medis, sedangkan penelitian ini memfokuskan pada beban esensial pelayanan administrasi pemerintahan.
5	Syarif Hidayat dkk. (2023)	<i>Development of a Genset Monitoring and Control System via PLC DSE 7420 MK II on Automatic Transfer Switch (ATS) and Automatic</i>	Research and Development (R&D), pengembangan sistem monitoring berbasis PLC dan SCADA	Sistem ATS/AMF mampu melakukan perpindahan sumber listrik secara otomatis dalam waktu sekitar 0,7 detik serta meningkatkan keandalan	Penelitian berfokus pada sistem kontrol ATS/AMF, sedangkan penelitian ini berfokus pada analisis perhitungan beban esensial untuk

		<i>Mains Failure (AMF) Panels at PT. XYZ</i>		monitoring genset.	menentukan kapasitas genset yang optimal.
--	--	--	--	--------------------	---

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut, dapat diketahui bahwa sebagian besar penelitian membahas penentuan kapasitas generator set berdasarkan total beban listrik, evaluasi kinerja genset, maupun penerapan sistem Automatic Transfer Switch (ATS). Namun, penelitian yang secara khusus menganalisis kebutuhan beban esensial sebagai dasar penentuan kapasitas genset pada gedung pelayanan publik masih relatif terbatas. Penelitian ini memiliki perbedaan dibandingkan penelitian sebelumnya karena tidak hanya menghitung total kebutuhan daya, tetapi juga melakukan inventarisasi dan klasifikasi beban menjadi beban esensial dan non-esensial. Selanjutnya dilakukan analisis kebutuhan daya nyata dengan mempertimbangkan faktor daya, demand factor, safety margin, persentase pembebanan genset, serta estimasi konsumsi bahan bakar. Hasil analisis tersebut digunakan untuk menentukan kapasitas genset yang paling sesuai sehingga mampu menjamin kontinuitas pelayanan di Gedung A Kantor Samsat Palembang I secara andal, efisien, dan ekonomis.