



ANALISA PERUBAHAN BEBAN TERHADAP PERFORMA GENERATOR DI PLTD KAIRATU

Rani Utami Gunawan¹, Hamles Leonardo Latupeirissa², Elisabeth T Mbitu³

^{1,2,3}*Teknologi Rekayasa Kelistrikan Minyak dan Gas, Politeknik Negeri Ambon*

¹Raniutami2001@gmail.com, ²hamleslatupeirissa@gmail.com, ³elisabethtansianambitu@gmail.com

Abstract - The generator at the Diesel Power Plant (PLTD) of PT. PLN (Persero) Kairatu serves as the main power source supplying electricity to several feeders in the surrounding districts, including Kairatu, Rumahkay, Waiselang, and Waisarissa. The amount of electrical energy generated by PLTD Kairatu in January 2024 was 31.367 MW, in February 2024 it was 29.094 MW, in March 2024 it was 38.345 MW, and in April 2024 it was 57.321 MW. A variation in the amount of generated electrical energy can be observed. This variation is due to changes in electricity load usage. In an electrical power generation system, the demand for electrical energy can change at any time according to load usage, which can affect the efficiency of the generator, which plays a role as the power generator. Therefore, it is necessary to analyze the impact of load changes on the generator's performance. The analysis results showed changes in efficiency, with the average efficiency of the GTG 2 generator being 88.18% and GTG 3 being 85.23%, with the average load of GTG 2 being 0.617 MW and GTG 3 being 0.45 MW. The average input power of GTG 2 units was 79 MW, and GTG 3 was 569 MW. The lowest efficiency occurred in March at 87.43%, while the highest efficiency occurred in February at 89%. The lowest efficiency in March was 83.71%, and the highest efficiency was in March at 86.55%.

Keywords: *Generator, Efficiency, Load*

Abstrak - Generator yang terdapat Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) PT. PLN (Persero) Kairatu merupakan pembangkit utama untuk menyuplai daya ke beberapa penyulang yang ada di kabupaten sbb, diantaranya penyulang kairatu, rumahkay, waiselang dan waisarissa. Nilai energi listrik yang dibangkitkan oleh PLTD Kairatu pada bulan Januari 2024 sebesar 31.367 MW, pada bulan Februari 2024 sebesar 29.094 MW, pada bulan Maret 2024 sebesar 38.345 MW dan pada bulan April 2024 sebesar 57.321 MW. Dapat dilihat adanya perubahan nilai pada energi listrik yang dibangkitkan. Perubahan energi listrik yang dibangkitkan diakibatkan oleh perubahan penggunaan beban listrik. Dalam sistem pembangkit energi listrik, perubahan kebutuhan energi listrik sewaktu-waktu dapat berubah sesuai dengan penggunaan beban sehingga dapat berpengaruh terhadap efisiensi pada generator yang berperan sebagai pembangkit energi listrik. Sehingga perlu dilakukan analisa perubahan terhadap perubahan beban terhadap performa generator. Hasil analisa menunjukkan terdapat perubahan efisiensi yaitu nilai rata-rata efisiensi generator GTG 2 sebesar 88.18% dan GTG 3 sebesar 85.23%. dengan beban rata-rata GTG 2 sebesar 0.617 MW dan GTG 3 sebesar 0.45 MW. Daya masukan rata-rata unit GTG 2 sebesar 79 MW dan GTG 3 sebesar 569 MW. Efisiensi terendah terjadi pada bulan maret dengan efisiensi sebesar 87.43%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada bulan february dengan efisiensi sebesar 89% dan efisiensi terendah terjadi pada bulan maret dengan efisiensi sebesar 83.71%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada bulan maret dengan efisiensi sebesar 86.55%.

Kata kunci: *Generator, Efisiensi, Beban*

I. PENDAHULUAN

Generator memiliki fungsi yang penting dalam kelangsungan proses performa sebuah pembangkit listrik. Kemampuan generator untuk mengkonversi energi menjadi suatu energi listrik yang sangat bermanfaat, ditunjang pula oleh suatu perangkat dan controlling lainnya. Dimana perangkat controlling berpengaruh terhadap kemampuan optimal sebuah generator dalam mengoperasikan fungsinya yang berperan untuk memenuhi kebutuhan pasokan listrik dilingkungan perusahaan industri dengan menggunakan generator sebagai alat konverternya [1].

Generator yang terdapat Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) PT. PLN (Persero) Kairatu merupakan pembangkit utama untuk menyuplai daya ke beberapa penyulang yang ada di kabupaten sbb, diantaranya penyulang kairatu, rumahkay, waiselang dan waisarissa. Dalam sistem pembangkit energi listrik, perubahan kebutuhan energi listrik sewaktu-waktu dapat berubah sesuai dengan penggunaan beban sehingga dapat berpengaruh terhadap efisiensi pada generator yang berperan sebagai pembangkit energi listrik.

Berdasarkan hasil observasi awal diperoleh data nilai energi listrik yang dibangkitkan oleh PLTD Kairatu pada bulan Januari 2024 sebesar 31.367 MW, pada bulan Februari 2024 sebesar 29.094 MW, pada bulan Maret 2024 sebesar 38.345 MW dan pada bulan April 2024 sebesar 57.321 MW. Penelitian ini berfokus pada mengkaji dan menganalisa perubahan beban terhadap performa generator yang terjadi pada PLTD Kairatu.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) adalah pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel berbahan bakar High Speed Diesel (HSD) atau solar sebagai penggerak mula (prime mover). Prime mover merupakan peralatan yang berfungsi menghasilkan energi mekanis untuk memutar rotor generator sehingga energi listrik dapat diproduksi. PLTD biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam jumlah beban kecil, terutama untuk daerah baru yang terpencil atau untuk listrik pedesaan dan untuk memasok kebutuhan listrik suatu pabrik.

Keandalan pembangkit ini tinggi karena dalam operasinya tidak bergantung pada alam seperti halnya PLTA. Mengingat waktu startnya yang cepat namun ongkos bahan bakarnya tergolong mahal dan bergantung dengan perubahan harga minyak dunia yang cenderung meningkat dari tahun ke tahun, PLTD disarankan hanya dipakai untuk melayani konsumen pada saat beban puncak.

2.2 Generator

Generator adalah salah satu jenis mesin listrik yang digunakan sebagai alat pembangkit energi listrik dengan cara menkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Pada generator, energi mekanik didapat dari penggerak mula yang bisa berupa mesin diesel, turbin, baling-baling dan lain-lain [2].

2.2.1 Fungsi Generator

Generator merupakan perangkat listrik yang berfungsi menghasilkan sumber arus Listrik. Pada penelitian ini sumber arus yang dihasilkan oleh generator adalah arus Listrik AC 3 phase. Listrik yang dihasilkan dapat berfungsi untuk mengaktifkan perangkat listrik yang membutuhkan arus listrik AC 3 phase seperti motor listrik, listrik rumah, motorcrane, dll.

2.2.2 Prinsip Kerja Generator

Memanfaatkan energi gerak sesuai hukum faraday yaitu: **“Jika terjadi perubahan medan magnet yang terhubung ke sebuah kawat loop tertutup maka akan menimbulkan gaya gerak listrik”** Yang dimaksud dengan gaya gerak listrik adalah gaya yang bisa menggerakkan elektron atau dengan kata lain adalah arus listrik. Dalam konstruksinya medan magnet yang dimaksud dipasang sedemikian rupa sehingga ketika terjadi gerakan / putaran diantara celah kutub utara-selatan akan menghasilkan induksi listrik. didapat dari induksi antara kumparan dan medan magnet ini kemudian disalurkan dengan aman ke luar generator.



Kaidah Tangan Kanan Fleming

Kaidah tangan kanan yang diperkenalkan oleh John Ambrose Fleming adalah sebuah metode mnemonik untuk memudahkan kita menentukan arah vektor dari ketiga komponen hukum Faraday, yakni arah gaya gerak kumparan kawat, arah medan magnet, serta arah arus listrik. Jika Anda menirukan

posisi jari tangan kanan Anda seperti pada gambar di atas. maka ibu jari akan menunjukkan arah gaya (torsi), jari telunjuk menunjukkan arah medan magnet, dan jari tengah menunjukkan arah arus listrik.

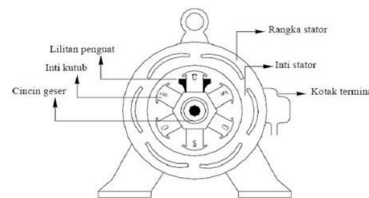
2.2.3 Bagian – Bagian Generator

1. Stator (bagian yang diam)

Stator merupakan elemen diam yang terdiri dari rangka stator, inti stator dan belitan-belitan stator (belitan jangkar). Rangka stator terbuat dari besi tuang dan merupakan rumah dari semua bagian-bagian generator. Rangka stator ini berbentuk lingkarcan dimana sambungansambungan pada rusuknya akan menjamin generator terhadap getaran-getaran. Inti stator terbuat dari bahan ferromagnetic atau besi lunak disusun berlapis-lapis tempat terbentuknya fluks magnet. Sedangkan belitan stator terbuat dari tembaga disusun dalam alur-alur, belitan stator berfungsi tempat terbentuknya gaya gerak listrik.

2. Rotor (Bagian yang berputar)

Rotor merupakan bagian generator yang berputar. Rotor generator magnet permanen tersusun dari sejumlah magnet permanen sebagai penghasil medan magnet yang diperlukan dalam pembangkitan tegangan generator. Magnet permanen disusun pada sepasang media berbentuk piringan dengan posisi berhadapan mengapit stator sedemikian sehingga fluks magnet yang melingkupi kumparan stator dari masing- masing magnet permanen saling memperkuat. Agar dapat berputar dua piringan tersebut dihubungkan pada shaft yang tersambung dengan poros menuju penggerak mula.



Gambar 2. Bagian – Bagian Generator

2.2.4 Macam – Macam Generator

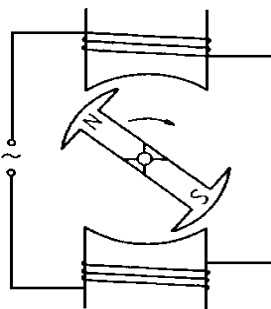
2.2.4.1 Berdasarkan Pole

1. Internal Pole

Medan magnet dibangkitkan oleh kutub rotor dan tegangan AC dibangkitkan pada stator [3].

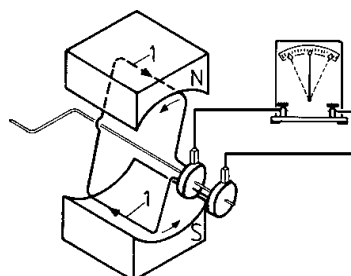
2. External Pole

Gambar 3. Internal Pole



2.2.4.2 Berdasarkan Arus Yang Dihasilkan

Energi listrik dibangkitkan pada kumparan motor [3].

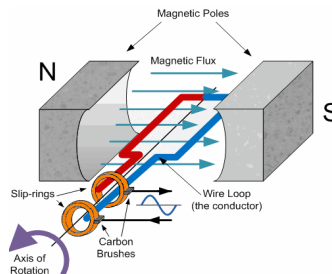


Gambar 4. External Pole

2.2.4.3 Berdasarkan Fasa

1. Generator Arus Bolak Balik (AC)

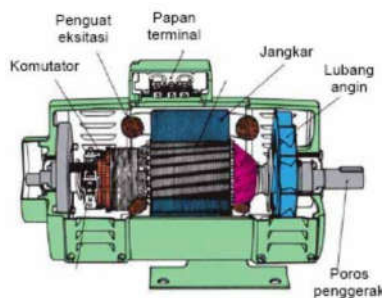
Generator arus bolak-balik yaitu generator dimana tegangan yang dihasilkan (tegangan output) berupa tegangan bolak-balik [3].



Gambar 5. Generator Arus Bolak-Balik

2. Generator Arus Searah (DC)

Generator arus searah yaitu generator dimana tegangan yang dihasilkan (tegangan output) berupa tegangan searah, karena didalamnya terdapat sistem penyearahan yang dilakukan bisa berupa oleh komutator atau menggunakan dioda [3].

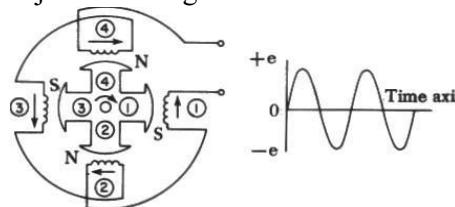


Gambar 6. Generator Arus Searah

2.2.4.4 Berdasarkan Bentuk Rotor

1. Generator 1 Fasa

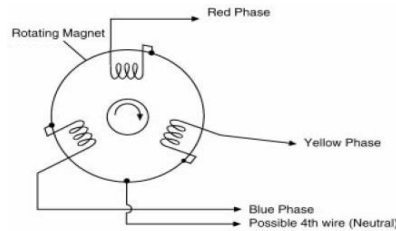
Generator yang dimana dalam sistem melilitnya hanya terdiri dari satu kumpulan kumparan yang hanya dilukiskan dengan satu garis dan dalam hal ini tidak diperhatikan banyaknya lilitan. Ujung kumparan atau fasa yang satu dijelaskan dengan huruf besar X dan ujung yang satu dengan huruf U [3].



Gambar 7. Sistem Generator 1 Phase

2. Generator 3 Fasa

Generator yang dimana dalam sistem melilitnya terdiri dari tiga kumpulan kumparan yang mana kumparan tersebut masing-masing dinamakan lilitan fasa. Jadi pada statornya ada lilitan fasa yang ke satu ujungnya diberi tanda U – X; lilitan fasa yang ke dua ujungnya diberi tanda dengan huruf V – Y dan akhirnya ujung lilitan fasa yang ke tiga diberi tanda dengan huruf W – Z [3].



Gambar 8. Komponen Generator 3 Phase

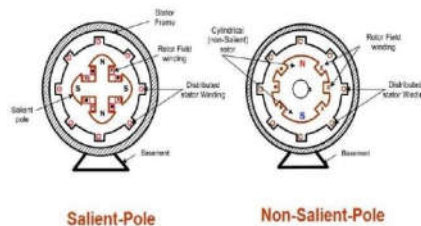
2.2.4.5 Berdasarkan Sistem Eksitasi

1. *Silent Pole* (Kutub Menonjol)

Pada jenis salient pole, kutub magnet menonjol dari permukaan rotor. Belitan-belitan medannya dihubungkan secara seri. Ketika belitan medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub berlawanan. Rotor jenis ini biasanya digunakan pada generator dengan kecepatan putar rendah dan sedang (120-400 rpm) [3]

2. *Non Salient Pole* (Kutub Silinder)

Pada jenis non salient pole, konstruksi kutub magnet rata dengan permukaan rotor. Jenis ini terbuat dari baja tempa halus yang berbentuk silinder yang mempunyai alur-alur terbuat di sisi luarnya. Belitan-belitan medan dipasang pada alur-alur di sisi luarnya dan terhubung seri yang disuplai oleh eksiter. Rotor silinder pada umumnya digunakan pada generator dengan kecepatan putar tinggi (1500-3000 rpm) [3]



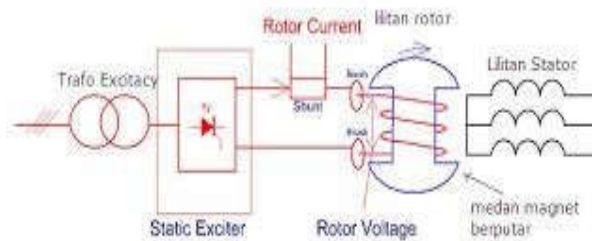
Gambar 9. Perbedaan Jenis Salient Pole dan Non Salient Pole

2.2.4.6 Berdasarkan Sistem Eksitasi

1. Sistem Eksitasi Dengan Sikat

Pada Sistem Eksitasi menggunakan sikat, sumber tenaga listriknya berasal dari generator arus searah (DC) atau generator arus bolak balik (AC) yang disearahkan terlebih dahulu dengan menggunakan *rectifier*.

Jika menggunakan sumber listrik listrik yang berasal dari generator AC atau menggunakan Permanent Magnet Generator (PMG) medan magnetnya adalah magnet permanen. Dalam lemari penyearah, tegangan AC diubah atau disearahkan menjadi tegangan arus searah untuk mengontrol kumparan medan eksiter utama (*main exciter*). Untuk mengalirkan arus eksitasi dari *main exciter* ke rotor generator menggunakan slip ring dan sikat arang [4]

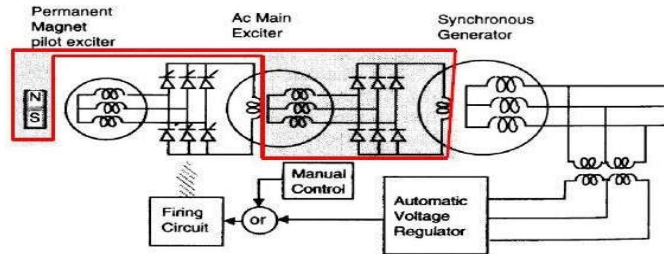


Gambar 10. Sistem Eksitasi Dengan Sikat

2. Sistem Eksitasi Tanpa Sikat

Penggunaan sikat atau slip ring untuk menyalurkan arus eksitasi ke rotor generator mempunyai kelemahan karena besarnya arus yang mampu dialirkan pada sikat arang relatif kecil. Untuk mengatasi keterbatasan sikat arang, digunakan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (*brushless excitation*) [4]

Gambar 11. Sistem Eksitasi Tanpa Sikat



3. AVR (*Automatic Voltage Regulator*)

Generator yang menggunakan sistem penstabil tegangan keluaran. Berfungsi menstabilkan tegangan listrik yang dihasilkan oleh Exciter Field, sehingga tegangan listrik yang dikeluarkan oleh Generator *tETAP* terjaga dikisaran 400/240VAC.

2.3 Beban

Definisi beban listrik adalah suatu peralatan yang terkoneksi dengan sistem daya sehingga mengkonsumsi energi listrik atau total daya reaktif yang dikonsumsi oleh suatu peralatan yang terkoneksi dengan sumber daya.

2.3.1 Beban Resistif

Beban resistif yaitu beban yang hanya terdiri dari komponen tahanan ohm (resistance), seperti elemen pemanas (heating element) dan lampu pijar. Beban jenis ini hanya mengkonsumsi beban aktif dan mempunyai faktor daya sama dengan satu. Tegangan dan arusnya sefasa. Persamaan daya sebagai berikut [5]:

$$P = V.I \dots\dots\dots 1$$

dimana :

- P = daya aktif yang diserap beban (watt)
- V = tegangan yang mencatu beban (volt)
- I = arus yang mengalir pada beban (ampere)

2.3.2 Beban Induktif

Beban induktif yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti coil, transformator dan solenoida. Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (phase shift) pada arus sehingga bersifat lagging. Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis akan mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif sebagai berikut [5] :

$$P = V.I.\cos \phi \dots\dots\dots 2$$

dimana :

- P = daya aktif yang diserap beban (watt)
- V = tegangan yang mencatu beban (volt)
- I = arus yang mengalir pada beban (ampere)
- Φ = sudut antara arus dan tegangan

Untuk menghitung besarnya reaktansi induktif (X_L), dapatdigunakan rumus :

$$X_L = 2\pi fL$$

dimana :

- X_L = reaktansi induktif
- F = frekuensi (Hz)
- L = induktansi (Henry)

2.3.3 Beban Kapasitif

Beban kapasitif yaitu beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (electrical discharge) pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat menyebabkan arus leading terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut [5] :

$$P = V.I.\cos \varphi \dots\dots\dots 3$$

Dimana :

- P = daya aktif yang diserap beban (watt)
- V = tegangan yang mencatu beban (volt)
- I = arus yang mengalir pada beban (ampere)
- φ = sudut antara arus dan tegangan

2.4 Karakteristik Generator

2.4.1 Generator Tanpa Beban

Jika poros generator diputar dengan kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan I_f , maka tegangan E_0 akan terinduksi pada kumparan jangkar stator sebesar :

$$E_0 = c n \Phi \dots\dots\dots 4$$

dimana :

- c = konstanta mesin
- n = putaran sinkron
- Φ = fluks yang dihasilkan oleh I_f

2.4.2 Generator Berbeban

Pada saat generator dibebani akan terjadi drop tegangan sebelum terminal outputnya. Besarnya drop tegangan ini sangat tergantung pada kondisi beban yang ada.

Adapun macam macam drop tegangan tersebut yakni :

1. Drop tegangan akibat tahanan jangkar (IR_a)
2. Drop tegangan akibat reaktansi jangkar (IX_a)
3. Drop tegangan flux bocor (IX_l)

Seperti telah dibahas, maka beban AC dapat digolongkan dalam 3 kondisi yaitu :

1. Beban $\cos \varphi = 1$

Beban Resistif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Sifat beban resistif adalah arus beban resistif sefase dengan tegangannya atau faktor daya atau $\cos \varphi = 1$. Efek beban ini terhadap generator adalah putaran generator turun dan tegangan generator juga turun. Contoh dari beban resistif adalah lampu pijar dan alat pemanas [4]

2. Lagging

Beban Induktif adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti besi. Sifat beban induktif adalah arus beban induktif 90° ketinggalan terhadap tegangannya atau faktor daya : $\cos \varphi = 0$. Bila $\cos \varphi = 0$ maka $\sin \varphi = 1$ dan daya aktif menjadi nol daya reaktif maksimum.

Efek beban ini terhadap generator adalah tegangan stator turun dan putaran $tETAP$. Contoh dari beban induktif adalah kumparan, motor-motor listrik, dan lampu TL [4]

3. Leading

Sifat beban kapasitif adalah arus beban kapasitif 90° mendahului terhadap tegangannya atau faktor daya : $\cos \varphi = 0$. Efek beban ini terhadap generator adalah akibatnya tegangan stator naik putaran $tETAP$. Contoh dari beban kapasitif adalah kapasitor/kondensator [4]

2.4.3 Generator Beban Tidak Seimbang

Sifat terpenting dari pembebanan yang seimbang adalah jumlah phasor dari ketiga tegangan adalah sama dengan nol, begitupula dengan jumlah phasor dari arus pada ketiga fase juga sama dengan nol. Jika impedansi beban dari ketiga fase tidak sama, maka jumlah phasor dan arus netralnya (I_n) tidak sama dengan nol dan beban dikatakan tidak seimbang. Ketidakseimbangan beban ini dapat saja terjadi karena hubung singkat atau hubung terbuka pada beban.

Dalam sistem 3 fase ada 2 jenis ketidakseimbangan, yaitu:

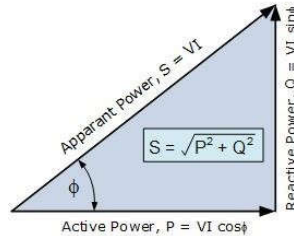
1. Ketidakseimbangan pada beban, beban resistif
2. Ketidakseimbangan pada sumber listrik (sumber daya), beban kapasitif

Kombinasi dari kedua ketidakseimbangan sangatlah rumit untuk mencari pemecahan permasalahannya, oleh karena itu kamihanya akan membahas mengenai ketidakseimbangan beban dengan sumber listrik yang seimbang.

2.5 Daya

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam sirkuit listrik. Satuan SI daya listrik adalah *watt* yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (joule/detik).

Segitiga daya merupakan suatu konsep agar lebih mudah memahami hubungan antara tegangan, arus dan hambatan pada listrik. Besarnya arus berubah sebanding dengan tegangan (V) dan berbanding terbalik dengan beban.



Gambar 12. Segitiga Daya

dimana :

ϕ = Sudut daya reaktif dan daya total

$\cos \phi$ = Faktor daya (*Power Factor*)

2.6 Macam – Macam Daya

2.6.1 Daya Aktif

Didefinisikan sebagai daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya. Dengan Rumus : [6]

$$P = V \times I \times \cos \phi \quad (1 \text{ phase}) \dots\dots\dots 5$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \quad (3 \text{ phase}) \dots\dots\dots 6$$

dimana:

P = Daya Nyata (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)

$\cos \phi$ = Faktor Daya

2.6.2 Daya Semu (S)

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar. Dengan Rumus: [6]

$$S = V \times I \quad (1 \text{ phase}) \dots\dots\dots 7$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (3 \text{ phase}) \dots\dots\dots 8$$

dimana:

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)

2.6.3 Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, dimana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas. Daya reaktif ini adalah hasil kali antara besarnya arus dan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor daya, dengan Rumus : [6]

$$Q = V \times I \times \sin \phi \quad (1 \text{ phase}) \dots\dots\dots 9$$

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi \quad (3 \text{ phase}) \dots\dots\dots 10$$

dimana:

Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Amper)

$\sin \phi$ = Faktor Daya

2.7 Effisiensi Generator

Efisiensi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya keluaran (*output*) terhadap daya masukan (*input*) dalam suatu proses. Efisiensi merupakan persamaan yang penting dalam termodinamika untuk mengetahui seberapa baik konversi energi yang terjadi. Daya masukan generator berupa daya mekanik karena turbin dan generator dikopel dan bekerja bersama untuk menghasilkan

daya keluaran menjadi daya listrik. Semakin besar nilai efisiensi generator maka semakin besar juga daya output yang dihasilkan. Untuk menghitung efisiensi generator dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \dots\dots\dots 11$$

Selain itu efisiensi generator juga akan mempengaruhi kerja dari sistem pembangkit secara keseluruhan. Efisiensi dari generator dapat mengalami penurunan akibat adanya beberapa faktor antara lain rugi-rugi daya yang timbul pada generator, lamanya waktu operasi generator dan proses pemeliharaan.

2.8 ETAP (Electrical Transient Analysis Program) 12.6

Electric Transient Analysis Program merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan *ETAP* antara lain: [7]

1. Analisa aliran daya
2. Analisa hubung singkat
3. Arc Flash Analysis
4. Analisa kestabilan transien, dll.

Dalam menganalisa tenaga listrik, suatu single line diagram merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. *ETAP* memiliki 2 macam standar yang digunakan untuk melakukan analisa kelistrikan, ANSI dan IEC.

III. METODE

Penelitian ini bertempat di Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Kairatu. Jenis data yang diperlukan i) spesifikasi generator, ii) trafo, iii) mesin diesel iv) data pembebanan generator. Simulasi data dilakukan menggunakan *ETAP*.

Analisa data dimulai dengan hasil simulasi running *ETAP* untuk mengetahui nilai perubahan beban pada generator, kemudian mengetahui nilai efisiensi dimana perubahan beban dipengaruhi oleh efisiensi generator yang selalu berubah saat energi listrik dibangkitkan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1 Deskripsi Lokasi Penelitian

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) PT. PLN (Persero) Kairatu merupakan salah satu Pusat Listrik yang terletak di Provinsi Maluku, Jl Lintas seram. Dusun Waiselang Desa kairatu, Kec. kairatu, Kabupaten Seram Bagian Barat. PLTD Kairatu memiliki 4 Mesin Pembangkit Listrik Generator diantaranya, Unit 1 merk PINDAD tipe IFC7630-81MB16 dengan Daya 935 KVA, Unit 2 merk MEEC ALTE tipe ECO43-1M4 dengan Daya 930 KVA, Unit 3 merk STAMFORD tipe 675 KVA, dan Unit 4 merk STAMFORD tipe EGS 1200-7 dengan Daya 11000 KVA.

PLTD Kairatu menyuplai Listrik ke 4 Penyulang yang ada di Kabupaten seram bagian barat, diantaranya Penyulang Kairatu, Penyulang Rumakay, Penyulang Waisarissa dan Penyulang Waiselang.

4.1.2 Spesifikasi Mesin Diesel

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Diesel GTG 2 dan GTG 3

5 Unit Generator	Merk	Serial Number	Type	Kapasitas	Tahun Operasi
GTG 2	DEUTZ	616.16.001307	TBD616V16	700 KW	1997
GTG 3	DEUTZ	2204498	TBD616V12	528 KW	1994

(Sumber: PLTD Kairatu,2024)

4.1.3 Spesifikasi Generator

Tabel 2. Spesifikasi GTG 2

GTG Unit 2	
Merk : MEEC ALTE	Power Factor : 0.8
Type : ECO43, 1M4	Putaran : 1500 RPM
Daya : 930 kVA	

(Sumber: PLTD Kairatu,2024)

Tabel 3. Spesifikasi GTG 3

GTG Unit 3	
Merk : STAMFORD	Tegangan : 400 V
Type : HC 1534 F1	Arus : 1018 A
Tahun Pembuatan : 2004	Putaran : 1500 RPM
Nomor Seri : X04A010162KRT	Frekuensi : 50 HZ
Daya Nominal : 670 KVA	Tegangan Eksitasi : 44 V
Jumlah Fasa : 3 Phase	Arus Eksitasi : 2,8 A
Faktor Daya : 0,8	Tegangan : 400 V

(Sumber: PLTD Kairatu,2024)

4.1.4 Spesifikasi Trafo

Tabel 4. Spesifikasi Trafo GTG 2 & GTG 3

Generator	Jenis	Merk / Tipe	No. Seri	Daya (Kva)	Teg. Primer (V)	Teg. Sekunder (V)	Keterangan
GTG 2	Step Up	SINTRA	4042011	1000	400	2000	MWM V16
GTG 3	Step Up	TRAFINDO	04231835	630	400	2000	MWM V12 G3

(Sumber: PLTD Kairatu,2024)

4.1.5 Data Pembebanan

Data pada tabel 5 merupakan data rata-rata pembebanan selama 4 bulan, dari Januari s/d April 2024 generator di PLTD Kairatu.

Tabel 5 Rata-Rata Pembebanan Generator

Bulan	Pembebanan Penyulang (Watt)			
	Kairatu	Rumahkay	Waiselang	Waisarissa
Januari	442	170.9	72.25	385.9
Februari	445.4	176.8	66.3	381.6
Maret	442.9	168.3	73.95	370.6
April	434.4	174.3	61.2	398.6

(Sumber : PLTD Kairatu,2024)

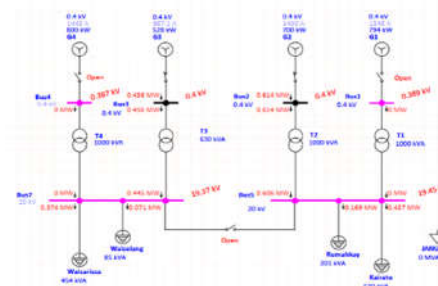
4.2. Pembahasan

Penelitian ini dimulai dengan menggunakan simulasi *ETAP* untuk mengetahui nilai perubahan beban pada generator, kemudian mengetahui nilai efisiensi dimana perubahan beban dipengaruhi oleh efisiensi generator yang selalu berubah saat energi listrik dibangkitkan.

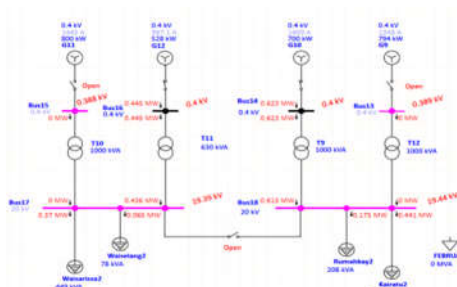
Setelah selesai pengujian simulasi data menggunakan *ETAP* kemudian menganalisa hasil perubahan beban dimana output dari generator masing' mesin masuk ke trafo step up, setelah dari trafo suplai ke masing' penyulang sesuai dengan bebannya. Dari hasil simulasi *ETAP* akan didapatkan output dari dari generator, kemudian melakukan perhitungan Efisiensi.

4.2.1 Hasil Simulasi *ETAP*

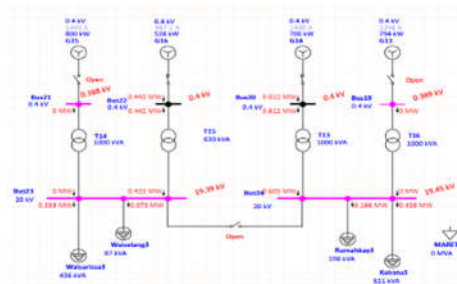
Simulasi *ETAP* pada gambar dibawah ini menunjukkan nilai perubahan beban dari bulan Januari 2024 - April 2024.



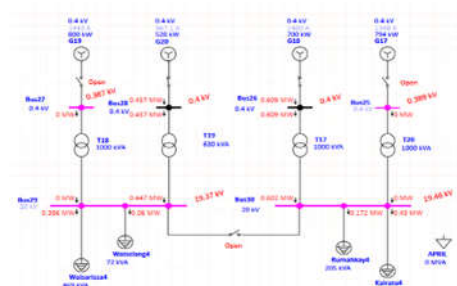
Gambar 1. Hasil Running *ETAP* Bulan Januari 2024



Gambar 2. Hasil Running *ETAP* Bulan Februari 2024



Gambar 3. Hasil Running *ETAP* Bulan Maret 2024



Gambar 4. Hasil Running *ETAP* Bulan April 2024

Hasil running *ETAP* didapatkan output dari generator, dimana masing' mesin masuk ke trafo step up, setelah dari trafo kemudian di suplai ke masing' penyulang sesuai dengan bebannya. Pada hasil running dimasukkan kedalam tabel dibawah ini :

Tabel 6 Hasil Pembebanan GTG 2

Bulan	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Arus Generator I (A)	Cos ϕ	Tegangan (kV)	Frekuensi (Hz)
Januari	0.614	0.402	1058	0.8	0.4	50
Februari	0.623	0.408	1075	0.8	0.4	50
Maret	0.612	0.400	1055	0.8	0.4	50
April	0.620	0.399	1051	0.8	0.4	50
Σ	0.617	0.402	1059	0.8	0.4	50

(Sumber: *ETAP* 21.0.1, 2024)

Tabel 7 Hasil Pembebanan GTG 3

Bulan	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Arus Generator I (A)	Cos ϕ	Tegangan (kV)	Frekuensi (Hz)
Januari	0.456	0.291	780.7	0.8	0.4	50
Februari	0.445	0.285	763.1	0.8	0.4	50
Maret	0.442	0.283	757.6	0.8	0.4	50
April	0.457	0.292	783.3	0.8	0.4	50
Σ	0.45	0.287	771	0.8	0.4	50.0

(Sumber: ETAP 21.0.1, 2024)

Berdasarkan Tabel 6 dan 7 menunjukkan data pembebanan generator pada bulan januari – April dengan nilai rata-rata pada GTG 2, 0.617 MW dan pada GTG 3, 0.45 MW . kemudian pada tabel 6 menunjukkan nilai beban tertinggi generator yaitu pada bulan februari sebesar 0.623 MW dan nilai beban terendah generator yaitu pada bulan januari sebesar 0.614 MW. Dan berdasarkan Tabel 7 menunjukkan nilai beban tertinggi generator yaitu pada bulan april sebesar 0.457 MW dan nilai beban terendah generator yaitu pada bulan april sebesar 0.442 MW.

4.2.2 Perhitungan Nilai Efisiensi Generator

Perhitungan efisiensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 11 yaitu :

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\%$$

Pada GTG 2 untuk bulan januari beban 0.614 MW dan dan Pin generator diperoleh dari daya keluaran penggerak mula, sehingga berdasarkan daya Spesifikasi mesin Diesel pada tabel 1 daya masukan 0.7 MW, maka diperoleh :

$$\begin{aligned} \text{GTG 2 : } \eta_{\text{gen}} &= \frac{0.614}{0.7} \times 100\% \\ &= 87.71 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dimana : } P_{\text{out}} &= 0.614 \text{ MW} \\ P_{\text{in}} &= 0.7 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan untuk bulan Februari, Maret dan April dapat dilihat pada tabel 8 dibawah ini :

Tabel 8 Hasil Perhitungan Efisiensi GTG 2

Bulan	Pin (MW)	Pout (MW)	Efisiensi (%)
Januari	0.7	0.614	87.71
Februari	0.7	0.623	89.00
Maret	0.7	0.612	87.43
April	0.7	0.620	88.57
Rata-rata	0.7	0.617	88.18

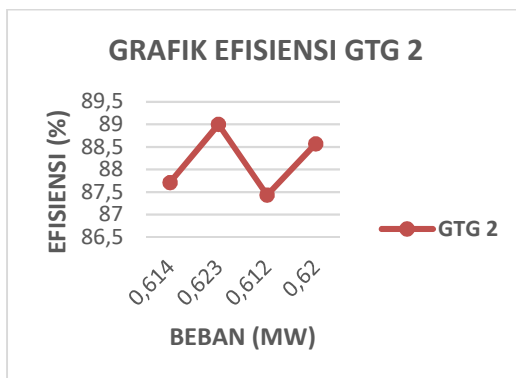
(Sumber: Rani Utami, 2024)

Hasil perhitungan untuk bulan Februari, Maret dan April dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah :

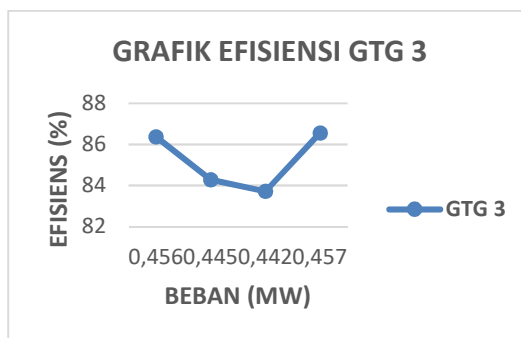
Tabel 9 Hasil Perhitungan Efisiensi GTG 3

Bulan	Pin (MW)	Pout (MW)	Efisiensi (%)
Januari	0.528	0.456	86.36
Februari	0.528	0.445	84.28
Maret	0.528	0.442	83.71
April	0.528	0.457	86.55
Rata-rata	0.528	0.45	85.23

(Sumber: Rani Utami, 2024)



1 Grafik efisiensi GTG 2
(Sumber: Rani Utami,2024)



2 Grafik efisiensi GTG 3
(Sumber: Rani Utami,2024)

Berdasarkan tabel 8 dan 9 diperoleh nilai rata-rata efisiensi generator GTG 2 sebesar 88.18% dan GTG 3 sebesar 85.23%. dengan beban rata-rata GTG 2 sebesar 0.617 MW dan GTG 3 sebesar 0.45 MW. daya masukan rata-rata unit GTG 2 sebesar 79 MW dan GTG 3 sebesar 569 MW. Pada Tabel 8 dapat dilihat bahwa efisiensi terendah terjadi pada bulan maret dengan efisiensi sebesar 87.43%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada bulan february dengan efisiensi sebesar 89% dan Pada Tabel 9 dapat dilihat bahwa efisiensi terendah terjadi pada bulan maret dengan efisiensi sebesar 83.71%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada bulan maret dengan efisiensi sebesar 86.55%.

4.3. Implementasi

Hasil pembahasan membuktikan bahwa semakin besar beban maka semakin besar pula nilai efisiensinya. Efisiensi terbesar yaitu pada GTG 2 dengan nilai rata-rata yaitu 88.18%. Dimana pada saat beban yang dibangkitkan besar maka akan membutuhkan arus eksitasi yang besar juga. dapat dilihat dari hasil penelitian bahwa nilai efisiensi generator, arus, dan tegangan berubah saat terjadi perubahan beban.

Dalam pengkonversian energi mekanik menjadi energi listrik generator akan mengalami *losses* yang mengakibatkan efisiensi pada generator tidak dapat mencapai 100%. Hal ini dikarenakan adanya rugi-rugi pada generator yang menyebabkan adanya perubahan efisiensi generator saat beroperasi. Efisiensi generator dapat dioptimalkan dengan menambah kecepatan putar pada rotor. Penambahan kecepatan putar rotor membuat lilitan medan pada stator mencapai titik saturasi sehingga kerja generator semakin optimal. Setiap generator memiliki batas maksimal putar rotor yang berbeda, sehingga penambahan kecepatan rotor perlu disesuaikan dengan karakteristik generator yang digunakan. Penambahan kecepatan putar rotor yang melebihi batas maksimal akan berpengaruh terhadap kondisi generator dan berdampak pada ketidakstabilan tegangan yang dihasilkan.

Bisa dilihat pada Tabel 8 dan 9, terlihat dengan jelas bahwa perubahan beban dapat mempengaruhi efisiensi pada generator. Ketika nilai beban atau output generator besar maka nilai efisiensi semakin rendah, sedangkan ketika nilai beban atau *output* generator kecil maka nilai efisiensi akan meningkat.

V. PENUTUP

Berdasarkan data hasil penelitian diperoleh kesimpulan yaitu, generator menunjukkan performa yang optimal pada kondisi beban ringan hingga sedang. Pada beban berat, terdapat penurunan performa yang signifikan, termasuk penurunan daya keluaran. Hal ini menunjukkan bahwa generator memiliki batasan dalam hal kapasitas beban yang dapat diandalkan secara efisien. Perubahan beban pada generator dapat mempengaruhi nilai efisiensi, dimana ketika nilai beban atau output generator besar maka nilai efisiensi semakin rendah, sedangkan ketika nilai beban atau output generator kecil maka nilai efisiensi akan meningkat. Terdapat perubahan efisiensi dari hasil perhitungan, dengan nilai rata-rata efisiensi generator GTG 2 sebesar 88.18% dan GTG 3 sebesar 85.23%. dengan beban rata-rata GTG 2 sebesar 0.617 MW dan GTG 3 sebesar 0.45 MW. daya masukan rata-rata unit GTG 2 sebesar 79 MW dan GTG 3 sebesar 569 MW. Pada Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa efisiensi terendah terjadi pada bulan maret dengan efisiensi sebesar 87.43%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada bulan february dengan efisiensi sebesar 89% dan Pada Tabel 9 dapat dilihat bahwa efisiensi terendah terjadi pada bulan maret dengan efisiensi sebesar 83.71%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada bulan maret dengan efisiensi sebesar 86.55%. Dari kesimpulan dapat disarankan dalam pengoprasian Generator diharapkan agar pihak Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Kairatu agar lebih sering untuk memperhatikan setiap komponen instrument yang terpasang pada pembangkit dengan cara melakukan pengecekan sesuai dengan standar prosedur yang berlaku untuk menjaga bahkan meningkatkan efisiensi dari pembangkit dan lebih memperhatikan setiap operasi. Rutin melakukan pemeliharaan dan pemeriksaan pada generator untuk memastikan bahwa semua komponen berfungsi dengan baik. Pemeliharaan yang baik dapat membantu menjaga performa generator dan memperpanjang umur pakainya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andi Ervianto Nur, Sugeng A Karim, Hasrul (2022). "*Pengaruh Perubahan Beban Generator Terhadap Efisiensi PLTU*" Program Studi Pendidikan Teknik Elektro – Universitas Negeri Makassar, 6(1), 1–7.
- [2] Bandri, S. (2013). "Pengaruh Analisa Beban Perubahan Karakteristik Terhadap Sinkron Generator". Institut Teknologi Padang, 2(1), 42–48.
- [3] Yanto, Ery. (2005). "*Analisa Kebutuhan Daya Generator Akibat Modifikasi Kapal Pada Operasional Peralatan di KM. Kirana Rute Surabaya – Balikpapan*". Jurusan Teknik Sistem Perkapalan – ITS, 5(2), 51–61.
- [4] Nurwidigdo, Arinda. 2008. "*Uji Performa Generator Sinkron Tiga Fase Feedback Type No. 64 – 510 di Lab. Listrik Kapal dan Otomatisasi*". Jurusan Teknik Sistem Perkapalan – ITS.
- [5] Nugrahanto, Agustinus. "Analisa Menentukan Besarnya Daya Pada Generator di Kapal". Jurusan Teknik Sistem Perkapalan – ITS.
- [6] Kartoni, J., & Ervianto, E. (2016). "Analisa Rekonfigurasi Pembebanan Untuk Mengurangi Rugi-rugi Daya pada Saluran Distribusi 20 kV". Jom FTEKNIK, 3(2), 1.
- [7] Ichsan Refaldi, I., Basir, Y., & Yusa Wardhani, D. U. (2022). "*Analisis Fluktuasi Beban Terhadap Efisiensi Generator Sinkron di PT. Pembangkit Listrik Palembang Jaya*". Jurnal Ampere, 6(2), 91.