

## **BAB IV**

### **PEMBAHASAN DAN ANALISIS**

#### **4.1. *Load Sharing***

##### **4.1.1. *Operasi Load Sharing***

Sinkron generator secara otomatis umumnya menggunakan alat system yang bekerja otomatis memonitor perbedaan fasa, tegangan, frekuensi, dan urutan fasa. Apabila semua kondisi telah tercapai alat memberi suatu sinyal bahwa saklar untuk sinkron dapat di sambung ke bus.

Bilamana salah satu syarat diatas tidak dipenuhi, maka antara kedua generator sinkron akan terjadi selisih-selisih tegangan yang dapat menyebabkan arus-arus yang cukup besar sehingga dapat menimbulkan kerusakan-kerusakan pada mesin-mesin. Dalam praktek ada suatu alat yang dapat mengecek ketiga syarat tersebut diatas yaitu yang disebut sinkronoskop. Diantara sinkronoskop dapat disebut: sinkronoskop lampu, pengukur volt nol, dan osilograf elektron yang dapat dipergunakan sebagai sinkronoskop.

##### **4.1.2. *Sistem Sinkron Generator***

Sistem sinkron generator dapat dilakukan dengan dua cara yaitu manual dan otomatis. Sinkronisasi secara manual mengandalkan peralatan dan ketelitian seorang operator ketika kedua atau beberapa generator aman untuk di sinkron. Peralatan yang harus ada pada kondisi manual sinkron adalah synchroscope, dobel volt meter, dobel frekuensi meter, lampu indikator kondisi sinkron generator.

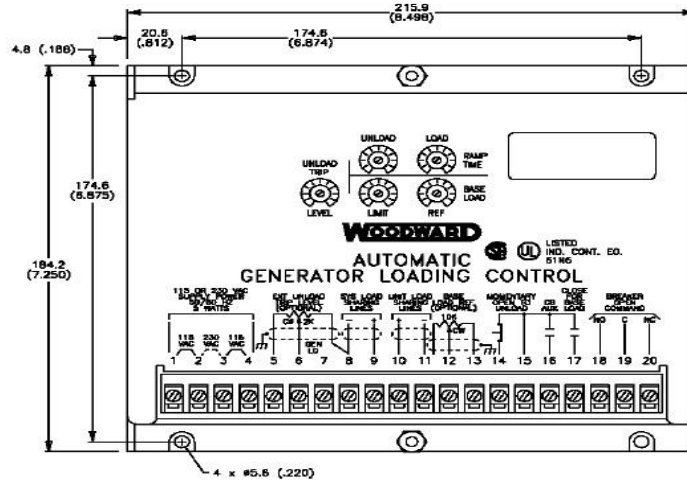


Gambar 4.1. *Synchroscope*

Sumber (Laporan Kerja Praktik Robi Kurnia Tisna Teknik Elektro UMY 2017)

#### **4.1.3. *Automatic Generator Loading Control***

*Automatic generator loading control* adalah penambahan kendali system pembebanan masing masing generator. *AGLC* di desain untuk digunakan sebagai pendukung *system load sharing and speed control* untuk bekerja auto mengendalikan pembebanan (*loading*) dan pelepasan beban (*unloading*) dari *engine generator- set*. *AGLC* membantu *system load sharing and speed control* agar tidak terjadi benturan saat operasi parallel dimulai. *AGLC* juga membantu generator untuk dapat menanggung beban sesuai kemampuan.



Gambar 4.2. AGLC

Sumber (*Woodward AGLC Manual 82004 USA*)

Cara kerjanya yaitu relay K1 menghidupkan *power AGLC*. *AGLC* aktif ketika kontak bantu *circuit breaker* dalam posisi tertutup. Relay K3 memberi *power* untuk menyalakan *load secara sequence*. *AGLC* mengkomparasi tegangan bus dan tegangan keluaran generator. Awal pembebanan, beban akan mengakibatkan penurunan *torsi engine*. Penurunan torsi tersebut juga menyebabkan frekwensi mengalami penurunan, perlu waktu untuk engine mengikuti permintaan torsi yang tepat setelah pembebanan. Ketika tegangan selesai di kalkulasikan relay K2 memberi perintah untuk unit untuk masuk ke *system load sharing*, serta untuk mengisolasi *load ramp signal*.

Pelepasan beban *sequence* di inisiasi oleh *moment unload contacts*. *AGLC* mengenergized *load sharing* relay K2 untuk melepas generator yang online dari *system load sharing*. K2 akan *deenergized* kembali dengan rekay K3 bila generator akan online bersama *system load sharing*.

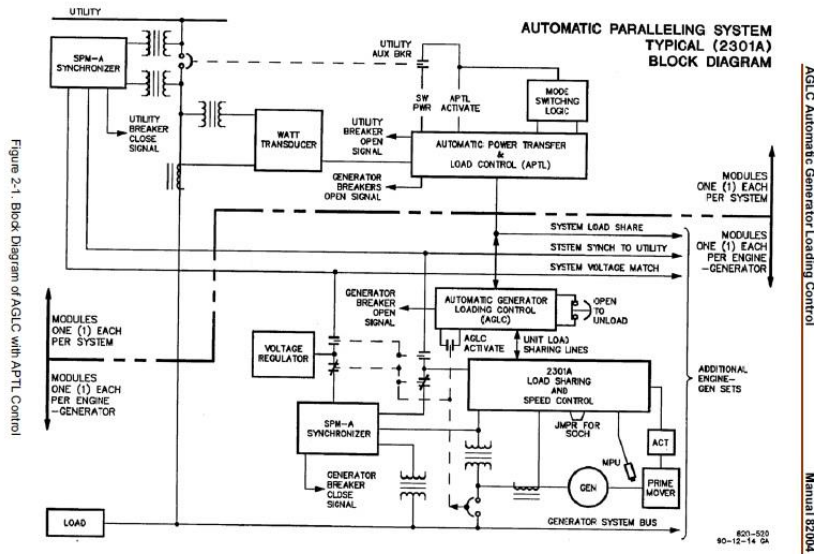


Figure 2-1. Block Diagram of AGLC with APTL Control

Gambar 4.3. APS Block Diagram

Sumber (*Woodward AGLC Manual 82004 USA*)

AGLC juga berfungsi untuk mengatur generator bekerja dengan *mode base load*. Ketika AGLC aktif, *base load* akan bekerja dengan perintah dari *contact closure*. Fungsi ini dapat digunakan untuk 2 mode. Dapat digunakan untuk *system control* beban dengan utility ataupun *single operation*. Dapat juga bekerja *online* sebagai *base load* dengan *system load sharing* maupun dengan beban khusus. Mode kedua juga dapat digunakan ketika pengendali pelepasan beban berusaha melepas generator dari *system load sharing* tanpa menonaktifkan *engine*. Referensi *base load* dari luar dapat di set pada level tinggi dan rendah. Beban akan diangkat pada level yang baru, *engine* harus dapat membalance torsi dan putaran. Pengaturan ini dapat membantu generator masuk ke dalam *system load sharing*

Beban dapat ditambah dan dikurangi standarnya. Batas *base load* harus diperkirakan agar tidak terjadi *overload*. Penambahan maksimum beban yang dapat ditanggung sangat penting untuk diperhitungkan. Ketika AGLC digunakan sebagai pengendali unit, AGLC dapat membuka kontak *base load* dengan *system load sharing* dan melepas secara otomatis. Membuka kontak bantu *breaker* (dengan mengaktifkan AGLC tanpa membuka kontak aktifasi *base load*) memindahkan bias *signal* dari *system*. Menutup kembali kontak bantu *breaker* akan mengakibatkan

*system* kembali menjadi *base load*. Sebagai *system control*, 1 *AGLC* dapat digunakan untuk mengendalikan *base load* dari satu sampai lima belas *engine generator set* dengan *utility*. Dalam mode ini, *system load sharing* terkoneksi dengan *AGLC* unit yang beroperasi. *AGLC* menerima signal dalam bentuk 0-1 mA sebagai drive nya. Signal ini proporsional sebagai jalur referensi level tegangan. Signal tersebut akan mengindikasikan apakah beban on dan off, dan apa yang terjadi pada *system* pembangkitan listrik.

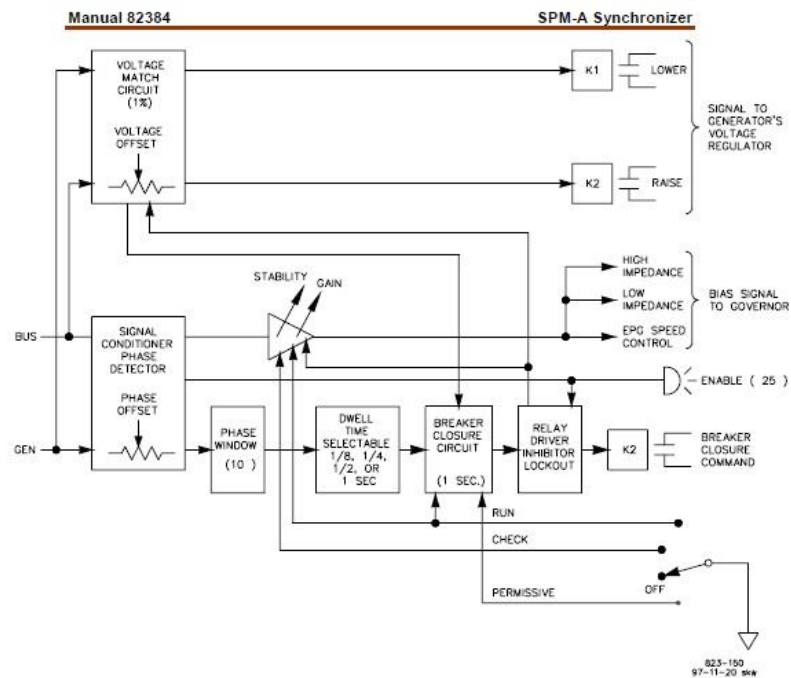
#### **4.1.4 Modul Pendukung *Load Sharing System***

Modul pendukung *load sharing system* yang dimaksud adalah modul yang mengatur bagaimana unit pembangkit dapat masuk ke dalam jaringan sesuai aturan yang berlaku, setelah masuk ke jaringan suplai unit pembangkit tersebut akan diberi tugas untuk mensuplai daya listrik yang dikira mampu untuk ditanggung. *System load sharing* memerlukan modul khusus dan terkoneksi dengan *DCS Control room* agar dengan mudah dapat dilihat apabila ada gangguan maupun naik turun nilai nilai yang perlu diperhatikan.

##### **4.1.4.1 *SPM-A Synchronizer***

*SPM-A Synchronizer* menyeimbangkan kecepatan putaran generator set. Artinya frekuensi diatur untuk sama dengan frekuensi bus. *SPM* dapat bekerja secara otomatis apabila mendapat signal untuk menutup kontak *circuit breaker* ketika frekwensi dan phase terhitung masuk dalam batas waktu untuk menutup *circuit breaker* yang artinya unit terhubung dengan bus. *SPM* mengunci *loop synchronizer* dan berusaha mendapatkan perhitungan frekuensi dan tegangan. *SPM* dengan perhitungan tegangan menghasilkan signal yang dapat digunakan untuk penambahan ataupun pengurangan tegangan dan frekuensi. Signal tersebut sebagai indikasi kontak dengan *voltage regulator*. Tegangan harus masuk dalam toleransi *SPM* untuk mengindikasikan *breaker* menutup kontakannya.

Instalasi untuk *synchronizer* di setiap generator dan setiap unit yang bekerja sendiri maupun parallel dengan bus. Untuk operasi paralel *synchronization*, satu *synchronizer* dapat mensinkron sampai tujuh generator paralel unit secara simultan dengan bus.



Gambar 4.6. SPM A Synchronizer Diagram

Sumber (Woodward SPM-A Synchronizer Manual 82384 USA)

#### 4.1.4.2. Load Sharing and Speed Control

*LSSC* adalah modul yang digunakan untuk mengatur beban yang ditanggung dan juga kecepatan putaran generator. Fungsinya, supaya generator dapat mensuplay daya ke beban dengan tepat dan frekwensi jaringan tetap stabil. Pada saat frekuensi turun, *LSSC* memberi perintah *governor* untuk mengindikasi *actuator* untuk menambah *fuel* yang diinject kan ke *combustion* untuk menambah torsi dan kecepatan putaran *engine*, outputnya putaran generator akan naik dan frekuensi akan ikut naik.

#### 4.1.4.2.1. Fungsi LSSC:

- *Speed*

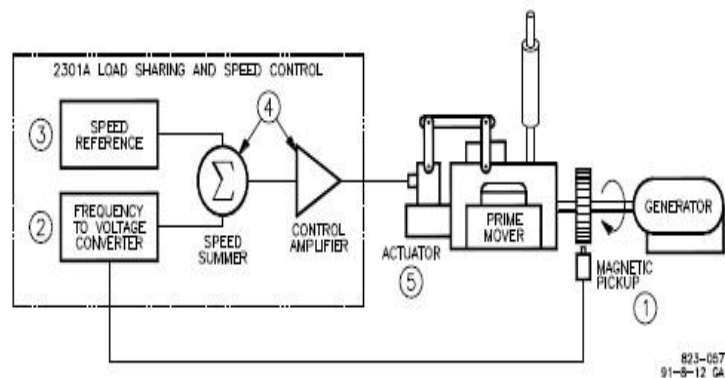
Kendali kecepatan menjaga pasokan *prime mover* tetap pada kecepatan yang menentukan frekuensi *set point*.

- *Load Sharing*

Selama operasi paralel 2 atau lebih generator, *Load Sharing* mengukur beban yang ditanggung generator unit dan jaringan sehingga dapat dibagi beban secara proporsional.

#### 4.1.4.2.2. Speed Control

- *Magnetic pick up* digunakan untuk mengukur kecepatan putaran *engine*
- Nilai frekwensi diubah menjadi tegangan
- Kecepatan referensi untuk menghitung berapa kecepatan yang perlu ditambah maupun dikurangi.
- *Speed amplifier* sebagai indikasi output yang memerintah *governor* dan *electro hydraulic actuator* menambah atau mengurangi *flow fuel*, maupun menjaga pasokan agar frekuensi tetap stabil.
- *Actuator* perangkat mekanis yang digunakan membuka *valve* jalur *flow* dari *fuel*.

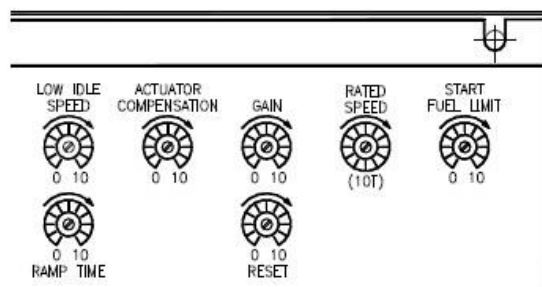


Gambar 4.7. Speed Control System

Sumber (*Woodward LSSC Manual 82389 USA*)

*Speed sensing device* yang dimaksud disini adalah *magnetic pickup*, mengukur kecepatan *prime mover* dan mengkonversi hasil pengukuran ke AC signal dengan frekwensi proporsional untuk kecepatan *prime mover*. Hasil berupa frekwensi di konversi menjadi tegangan. AC signal diterima dari *speed sensor* kemudian diubah lagi menjadi tegangan dc untuk diolah.

Signal kecepatan berupa tegangan di komparasi untuk dicari selisihnya dengan tegangan referensi. Jika signal tegangan tersebut lebih rendah ataupun lebih tinggi dari tegangan referensi, maka signal tersebut diolah oleh *amplifier* untuk dihasilkan output yang memberi perintah menambah ataupun mengurangi kecepatan *engine / prime mover*. *Actuator* merespon signal dari *control amplifier* untuk mengubah posisi valve aliran fuel, mengubah kecepatan putaran engine sampai signal tegangan referensi dan pengukuran menjadi sama.



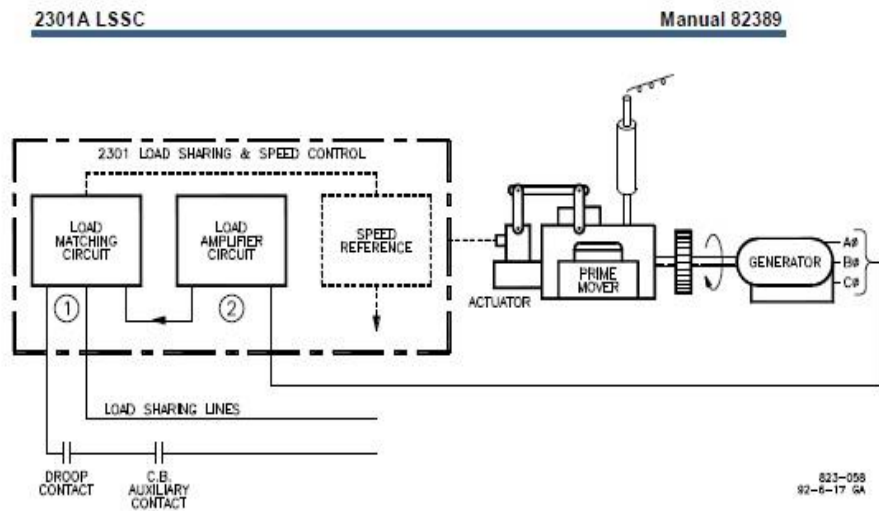
Gambar 4.8. *Speed Control Manual Adjustment*

Sumber (*Woodward LSSC Manual 82389 USA*)

*Speed control adjustment potentiometer* adalah cara manual untuk menambah ataupun mengurangi frekuensi dengan cara mengatur *fuel / prime mover*.



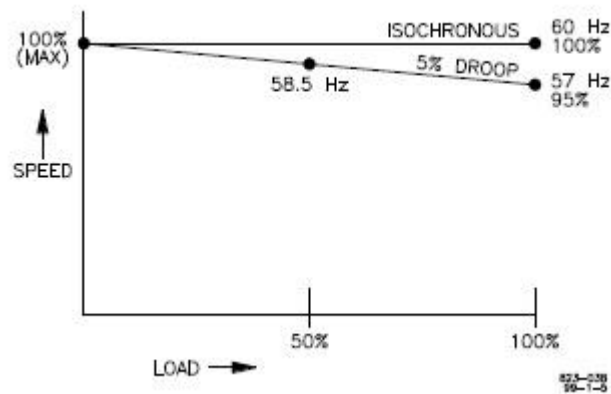
#### 4.1.5. Parallel Operation



Gambar 4.9. Speed Control Parallel Operation

Sumber (*Woodward LSSC Manual 82389 USA*)

Dalam *mode droop speed*, apabila sebuah generator online dengan *mode droop*, beban akan menyebabkan torsi *prime mover* semakin berat dan kecepatan putaran akan menurun, hal ini yang menyebabkan frekuensi turun.



Gambar 4.10. Pengaruh Beban Terhadap Frekwensi

Sumber (*Woodward LSSC Manual 82389 USA*)

Berbeda dengan mode *isochronous*, dalam mode ini unit generator yang online akan mengikuti permintaan frekuensi sesuai *set point*. Frekuensi akan dijaga dengan cara mempertahankan aliran *fuel* atau *prime mover* sehingga putaran rotor generator stabil meskipun beban bertambah ataupun menurun, akan tetapi unit generator dengan mode ini harus diperhatikan kondisi baik mesin maupun generatornya, kemampuan mesin sangat mempengaruhi apakah nilai yang dihasilkan presisi atau tidak.

## **4.2. Analisis**

### **4.2.1. Load Sharing Saturn 20 Bravo dan 3512 Gas Engine Alpha- Charlie**

Kebutuhan daya listrik di pagerungan paling tinggi terjadi pada malam hari, hal ini disebabkan karena beban lampu bertambah dan beban puncak terjadi. Saat ini kebutuhan listrik untuk produksi sudah berkurang, hal ini disebabkan karena produksi gas sudah menurun. Penerangan untuk desa pagerungan merupakan tanggung jawab pihak Kangean Energy Indonsia Ltd.

Kangean Energy Indonesia Ltd Pagerungan Operation adalah salah satu oil and gas company di Indonesia menggunakan system kelistrikan seperti di Amerika Serikat. Peralatan yang digunakan pun berbeda, ini mengikuti standar kelistrikan yang biasa diterapkan di Amerika, yaitu frekuensi 60 Hz. Oleh karena itu, memang seharusnya di Pagerungan Operation ini harus memiliki pembangkit listrik yang memasok energi listrik untuk keperluan proses produksi dan fasilitas yang ada di Pagerungan Operation Kangean Energy Indonesia Ltd agar sesuai dengan sistem kelistrikan yang diperlukan.

Sistem kelistrikan di Pagerungan Operation - Kangean Energy Indonesia Ltd memakai sistem:

- 3 fasa, 4160 Volt, 60 Hertz
- 3 fasa, 480 Volt, 60 Hertz

- 3 fasa, 208 Volt, 60 Hertz
- 1 fasa, 220 Volt, 60 Hertz
- 1 fasa, 120 Volt, 60 Hertz

Untuk memberi suplai energi ke seluruh peralatan proses produksi dan fasilitas yang ada di Pagerungan Operation - Kangean Energ Indonesia Ltd, disuplai oleh 6 unit generator, yaitu 2 unit *gas turbine generator* dengan masing-masing memiliki daya maksimal 1000 Kilo Watt, 3 unit *gas engine generator* dengan setiap unit memiliki daya maksimal 450 Kilo Watt, dan 1 unit *emergency generator* berupa *diesel engine generator* yang berkapasitas maksimum 622 Kilo Watt untuk menjaga pasokan energi pada saat terjadi shutdown. *Diesel engine generator* ini dipilih sebagai *emergency generator* dapat start dan bekerja tanpa menggunakan fuel gas, sedangkan *gas engine* dan *gas turbine* memerlukan *air instrument* dan fuel gas, sehingga jika terjadi shutdown dimana produksi gas terhenti, maka *generator diesel* ini dapat mensuplai kebutuhan energi listrik.

#### **4.2.1.1. Gas Turbine Generator**

*Gas turbine generator* yang digunakan di Pagerungan Operation - Kangean Energ Indonesia Ltd terdiri dari 2 unit *Saturn 20 Solar Turbine Caterpillar*. Di wilayah operasi pagerungan, saturn 20 diberi nama dengan M 6100. M 6100 menggunakan bahan bakar gas, dikontrol oleh PLC Alen Bradley, memiliki kecepatan 18.000 Rpm yang direduce menjadi 1800 Rpm. Generator yang digunakan yaitu buatan dari Kato Generator, dengan tegangan *output* 4160 Volt, dengan rotor 4 kutub frekuensi 60 Hertz dan berkapasitas 1000 Kilo Watt.

#### **4.2.1.2. Gas Engine Generator**

Gas engine generator pada Pagerungan Operation - Kangean Energ Indonesia Ltd terdiri dari 3 unit *Caterpillar 3512 Spark Ignited Air Started Engine*, dimana setiap unit memiliki kapasitas 500 Kilo Watt pada tegangan 480Voltn3 fasa. Proporsional dalam praktiknya, setiap generator dibatasi

dalam penyuplaian daya tidak melebihi 450 Kilo Watt per unit, karena faktor usia generator. Mesin ini menggunakan bahan bakar gas dari *Fuel Gas System* untuk pembakaran. *Governor* mengontrol bahan bakar gas untuk karburator sehingga terjadi pembakaran yang efisien dari kecepatan rendah sampai kecepatan mesin maksimal. *Altronic III Electronic Ignition* terpasang pada unit gas engine generator.

#### **4.2.1.3. Generator Diesel**

*Emergency Generator* terdiri atas satu *Diesel Engine Generating Set* yang berkapasitas 622 KW. *Emergency Generator* ini digerakkan dengan *Battery Start Diesel Caterpillar 3500 Series*. Bahan bakar diesel disuplai dari *diesel fuel system* melalui *Diesel Day Tank T-6000*. Tangki tersebut memiliki kapasitas 1690 liter. Tangki ini diproteksi dengan *high and low level swithcs* (LSH-6002 dan LSL-6003), yang akan mengaktifkan alarm di DCS untuk memperingatkan operator jika terdapat keadaan yang tidak normal.

Generator tersebut menghasilkan tegangan 3 fasa dan 480 Volt pada frekuensi 60 Hz. *Diesel Engine* ini dikontrol dengan menggunakan DCS. *Selector Switch* ditempatkan berdekatan dengan mesin yang menentukan apakah generator itu menjadi *under local* atau *remote control*. Pada saat memilih remote, generator bisa di-start dari ruang kontrol. Sekali generator mencapai kecepatan sinkronnya, dan *circuit breaker* telah dipilih untuk bekerja otomatis, *circuit breaker* akan tertutup dan generator set akan tersinkronisasi secara online. Rotor generator memiliki 6 kutub dengan belitan stator generator terkoneksi dengan konfigurasi bintang /Y. Sistem ini pada 3 fasa, 3 kabel yang tidak terdapat tegangan satu fasa di *generating bus*.

Pengaturan kecepatan mesin biasanya dilakukan melalui *electronic governor* yang punya unit pengatur di *switchgear 6003*. Setiap unit pengatur ini memperbolehkan generator secara otomatis membagi beban ditempat

lain. Dalam hal *automatic load sharing* dan kontrol kecepatan, *local manual speed control* juga dapat digunakan. Ini berarti generator dapat disinkronisasi manual dengan menggunakan *speed control* dan *synchronoscope*.

#### 4.2.2. Kalkulasi Kapasitas Generator

Konfigurasi normal operasi generator dibutuhkan agar sistem pelepasan beban dapat dilakukan. Bila tidak ada konfigurasi normal operasi generator, maka sistem pelepasan beban yang diprogram di PLC tidak dapat berjalan, dan juga bus *circuit breaker* pada modul pembangkit listrik *gas turbine* dan pembangkit listrik *gas engine* harus dalam keadaan tertutup. Apabila keadaan tersebut terpenuhi maka sistem tenaga listrik yang ada akan terkoneksi dengan *DCS*.

Bagi generator yang berkontribusi ke kapasitas pembangkit yang ada, maka generator tersebut harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- Adanya sinyal bekerjanya generator dari sistem kontrol baik pada *gas turbine* dan *gas engine*.
- Sinyal tertutupnya *circuit breaker generator* dari *switch gear*.

Operasi *override* untuk tegangan dan frekuensi tidak seharusnya berjalan. Dengan adanya kondisi di atas dan nilai kapasitas yang telah ditentukan pada register data, maka data tersebut dijumlahkan dengan set kapasitas generator yang sudah tersambung atau sudah online di jaringan sebelumnya. Kemudian penjumlahan set kapasitas dari masing-masing generator tersebut mengalami proses perhitungan dan terbentuklah data set kapasitas keseluruhan sistem yang disebut *syscap (system capacity)*. Salah satu *output* dari setiap *set availability logic* merupakan sinyal permisif yang akan menjadi masukan kalkulasi beban sehingga set beban yang tidak *on line* atau tidak tersambung di jaringan tidak akan ikut terhitung sebagai kapasitas sistem. Operasi *override* untuk tegangan dan frekuensi harus terdapat *timed alarm* yang bisa memberikan sinyal peringatan setelah 30

menit saat set generator yang berjalan dan *circuit breaker* tertutup. Hal tersebut bertujuan untuk mencegah set pada *bypass* dan *ter-disabled*-nya penghitungan beban dan sistem pelepasan dari set generator.

### 4.2.3. Perhitungan

#### 4.2.3.1. Tabel Data Gas Engine Generator Alpha

Tabel 4.1 Tabel Data Gas Engine Generator Alpha

No	Tanggal	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Faktor Daya (Cos Phi)	Daya (Kilo Watt)	Frekwensi (Hz)
1.	28-04-2018	315	480	0,87	225	60,3
2.	29-04-2018	327,5	480	0,86	247,5	60,3
3.	30-04-2018	330	480	0,86	235	60,3
4.	31-04-2018	330	480	0,85	241,25	60,2
5.	01-05-2018	325	480	0,85	227,5	60,4
6.	02-05-2018	340	480	0,83	232,5	60,3
7.	03-05-2018	307,5	480	0,83	220	60,3
8.	04-05-2018	317,5	480	0,86	227,5	60,3
9.	05-05-2018	270	480	0,86	225	60,3
11.	06-05-2018	250	480	0,88	202,5	60,4
12.	07-05-2018	245	480	0,91	195	60,4
13.	08-05-2018	280	480	0,89	205	60,4
14.	09-05-2018	267,5	480	0,85	187,5	60,6
15.	10-05-2018	270	480	0,87	200	60,5
16.	15-05-2018	257,5	480	0,88	187,5	60,4
17.	16-05-2018	260	480	0,87	187,5	60,4
18.	17-05-2018	232,5	480	0,89	180	60,4
19.	18-05-2018	222,5	480	0,89	175	60,4
20.	19-05-2018	227,5	480	0,91	180	60,4
21.	20-05-2018	260	480	0,88	190	60,4
22.	21-05-2018	172,5	480	0,91	180	60,4
23.	22-05-2018	232,5	480	0,91	182,5	60,4
24.	23-05-2018	230	480	0,90	170	60,4
25.	24-05-2018	257,5	480	0,89	185	60,5
26.	25-05-2018	233,4	480	0,90	180	60,4
27.	26-05-2018	200	480	0,89	175	60,4
28.	27-05-2018	236,6	480	0,86	183,3	60,5

Nilai- nilai diatas merupakan nilai hasil pengukuran 4 kali selama 24 jam yang dijumlahkan dan dibagi 4 untuk diambil nilai rata – rata.

### 1. Arus

$$\text{Ampere 1} = 330 + 320 + 310 + 300 = 1260$$

$$\text{Ampere 2} = 330 + 320 + 310 + 300 = 1260$$

$$\text{Ampere 3} = 330 + 320 + 310 + 300 = 1260$$

$$\text{Ampere 1} = 1260 : 4 = 315$$

$$\text{Ampere 2} = 1260 : 4 = 315$$

$$\text{Ampere 3} = 1260 : 4 = 315$$

$$\text{Ampere} = 315 + 315 + 315 : 3$$

$$\text{Ampere} = 315 \text{ Ampere}$$

### 2. Daya

$$= 240 + 220 + 230 + 210 = 900$$

$$= 900 : 4 = 225 \text{ Kilowatt}$$

Persen

$$= 225 \text{ Kilowatt} \times 100 : 500$$

$$= 45 \%$$

### 3. Tegangan

$$\text{Volt 1} = 480 + 480 + 480 + 480 = 1920$$

$$\text{Volt 2} = 480 + 480 + 480 + 480 = 1920$$

$$\text{Volt 3} = 480 + 480 + 480 + 480 = 1920$$

$$\text{Volt 1} = 1920 : 4 = 480$$

$$\text{Volt 2} = 1920 : 4 = 480$$

$$\text{Volt 3} = 1920 : 4 = 480$$

$$= 480 \text{ Volt} \times 3 : 3$$

$$= 480 \text{ Volt}$$

#### 4. Frekuensi

$$= 60.3 + 60.3 + 60.4 + 60.4 = 241.4$$

$$= 241.4 : 4$$

$$= 60.35 \text{ Hertz}$$

#### 5. Faktor Daya

$$= 0.87 + 0.86 + 0.90 + 0.85 = 3.48$$

$$= 3.48 : 7$$

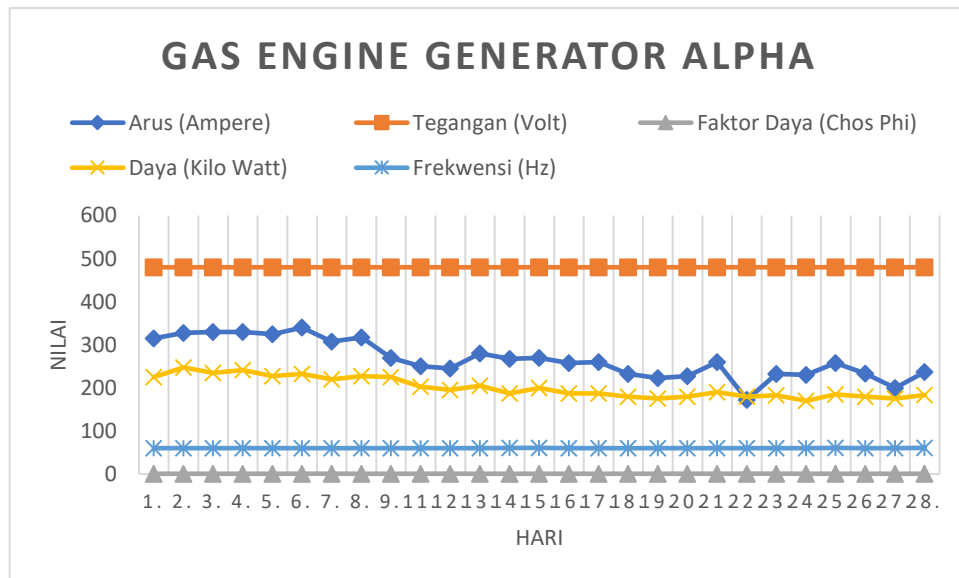
$$= 0.87$$

Dari tabel dan perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa *gas engine generator alpha* menghasilkan arus terendah 170 ampere dan tertinggi 330 ampere. Hal ini disebabkan karena pembebanan untuk *gas engine generator alpha* sudah dikendalikan oleh *automatic generator loading control*, sehingga kerja dari *gas engine generator alpha* disesuaikan dengan permintaan beban. Tegangan yang dihasilkan stabil 480 volt. Hal ini disebabkan karena sistem eksitasi dikendalikan oleh *voltage regulator*, sehingga sistem eksitasi selalu menyesuaikan tegangan keluaran generator. Daya listrik terendah yang dihasilkan oleh *gas engine generator alpha* adalah 170 Kilo Watt yang terjadi pada tanggal 25-05-2018 dan tertinggi 247,5 Kilo Watt tanggal 04-04-2018. Karena kebutuhan daya listrik bervariasi



maka arus pada *gas engine generator alpha* pun bervariasi. Pembebanan untuk gas engine generator sendiri dibatasi sampai 450 Kilowatt, dan itu sangat dihindari mengingat usia *gas engine generator* yang sudah lebih dari 20 tahun.

#### 4.2.3.2. Grafik Bulanan *Gas Engine Generator Alpha*



Gambar 4.10 Grafik Data *Gas Engine Generator Alpha*

Gambar 4.10 diatas merupakan data yang ditampilkan melalui konversi tabel 4.1 *gas engine generator alpha*. Tegangan *gas engine generator alpha* stabil di 480v karena dijaga set point nya oleh *voltage regulator*. Arus dan daya yang mengalami peningkatan dan penurunan disebabkan oleh berubahnya beban – beban listrik yang ada di pagerungan. Arus dan daya tertinggi terjadi pada tanggal 02 mei 2018 340 Ampere, dan terendah pada tanggal 21 mei 2018 172,5 Ampere.

#### 4.2.3.3. Tabel Data Gas Engine Generator Bravo

Tabel 4.2 Tabel Data Gas Engine Generator Bravo

No	Tanggal	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Faktor Daya (Chos Phi)	Daya (Kilo Watt)	Frekwensi (Hz)
1.	28-04-2018	325	480	0,90	232,5	60,4
2.	29-04-2018	360	480	0,90	257,5	60,3
3.	30-04-2018	347,5	480	0,92	237,5	60,4
4.	31-04-2018	357,5	480	0,92	257,5	60,4
5.	01-05-2018	235,5	480	0,93	233,3	60,4
6.	02-05-2018	332,5	480	0,93	245	60,4
7.	03-05-2018	310	480	0,92	227,5	60,4
8.	04-05-2018	297,5	480	0,94	232,5	60,4
9.	05-05-2018	250	480	0,94	275	60,4
10.	06-05-2018	262,5	480	0,94	195	60,4
11.	07-05-2018	252,5	480	0,94	190	60,4
12.	08-05-2018	252,5	480	0,94	187,5	60,5
13.	09-05-2018	275	480	0,90	190	60,5
14.	10-05-2018	202,5	480	0,90	162,5	60,6
15.	11-05-2018	287,5	480	0,86	200	60,5
16.	12-05-2018	292,5	480	0,84	200	60,6
17.	13-05-2018	317,5	480	0,84	222,5	60,5
18.	14-05-2018	330	480	0,84	225	60,5
19.	15-05-2018	305	480	0,88	222,5	60,6

### 1. Arus

$$\text{Ampere 1} = 350 + 320 + 330 + 300 = 1300$$

$$\text{Ampere 2} = 350 + 320 + 330 + 300 = 1300$$

$$\text{Ampere 3} = 350 + 320 + 330 + 300 = 1300$$

$$\text{Ampere 1} = 1300 : 4 = 325$$

$$\text{Ampere 2} = 1300 : 4 = 325$$

$$\text{Ampere 3} = 1300 : 4 = 325$$

$$\text{Ampere} = 325 + 325 + 325 : 3 = 325 \text{ Ampere}$$

### 2. Daya

$$= 250 + 250 + 240 + 210 = 950$$

$$= 950 : 4 = 237.5 \text{ Kilowatt}$$

Persen

$$= 237.5 \times 100 : 500$$

$$= 47.5 \%$$

### 3. Tegangan

$$\text{Volt 1} = 480 + 480 + 480 + 480 = 1920$$

$$\text{Volt 2} = 480 + 480 + 480 + 480 = 1920$$

$$\text{Volt 3} = 480 + 480 + 480 + 480 = 1920$$

$$\text{Volt 1} = 1920 : 4 = 480$$

$$\text{Volt 2} = 1920 : 4 = 480$$

$$\text{Volt 3} = 1920 : 4 = 480$$

$$= 480 \text{ Volt} \times 3 : 3$$

$$= 480 \text{ Volt}$$

#### 4. Frekuensi

$$= 60.3 + 60.3 + 60.4 + 60.4 = 241.4$$

$$= 241.4 : 4 = 60.35 \text{ Hertz}$$

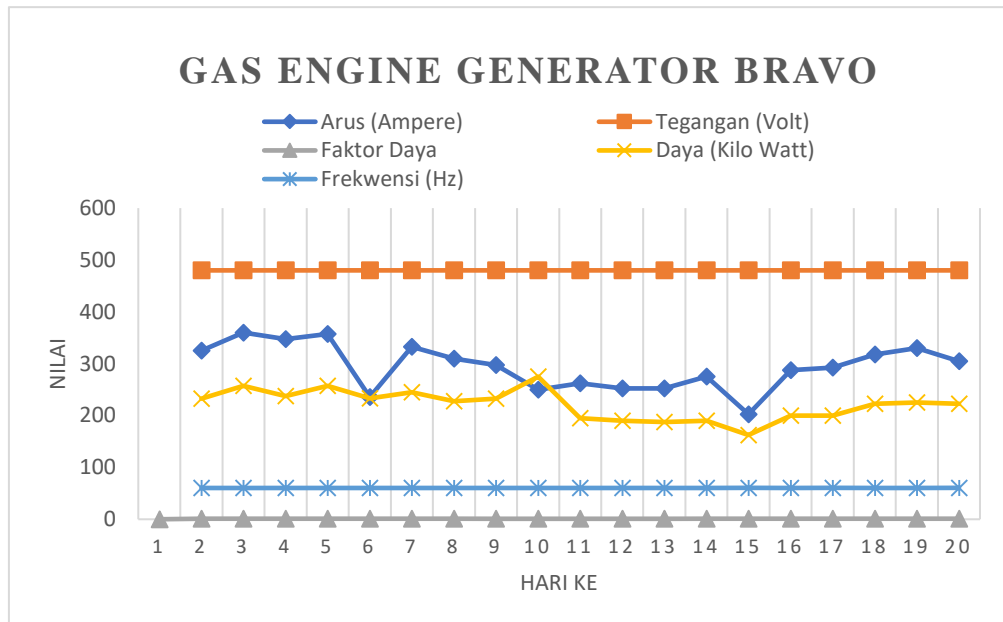
#### 5. Faktor Daya

$$= 0.91 + 0.90 + 0.93 + 0.89 = 3.63$$

$$= 3.63 : 4 = 0.90$$

Dari tabel dan perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa *gas engine generator bravo* menghasilkan arus terendah 202 ampere dan tertinggi 360 ampere. Hal ini disebabkan karena pembebanan untuk *gas engine generator bravo* sudah dikendalikan oleh *automatic generator loading control*, sehingga kerja dari *gas engine generator bravo* disesuaikan dengan permintaan beban. Tegangan yang dihasilkan stabil 480 volt. Hal ini disebabkan karena sistem eksitasi dikendalikan oleh *voltage regulator*, sehingga sistem eksitasi selalu menyesuaikan tegangan keluaran generator. Daya listrik terendah yang dihasilkan oleh *gas engine generator bravo* adalah 187,5 Kilo Watt yang terjadi pada tanggal 08-05-2018, dan tertinggi 257,5 Kilo Watt tanggal 31-04-2018 . Karena kebutuhan daya listrik bervariasi maka arus pada *gas engine generator bravo* pun bervariasi. Pembebanan untuk *gas engine generator* sendiri dibatasi sampai 450 Kilo Watt, dan itu sangat dihindari, hal ini merupakan salah satu alasan mengapa *load sharing system* perlu diterapkan.

#### 4.2.3.4. Grafik Data Gas Engine Generator Bravo



Gambar 4.11. Data Bulanan *Gas Engine Generator Bravo*

Gambar 4.11 diatas merupakan data yang ditampilkan melalui konversi tabel 4.2 *gas engine generator bravo*. Tegangan *gas engine generator bravo* stabil di 480v karena dijaga set point nya oleh *voltage regulator*. Arus dan daya yang mengalami peningkatan dan penurunan disebabkan oleh berubahnya beban – beban listrik yang ada di pagerungan. Arus dan daya tertinggi terjadi pada tanggal 29 april 2018 360 Ampere, dan terendah pada tanggal 10 mei 2018 202 Ampere.

#### 4.2.3.5. Tabel Data Gas Engine Generator Charlie

Tabel 4.3 Tabel Data Gas Engine Generator Charlie

No	Tanggal	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Faktor Daya (Chos Phi)	Daya (Kilo Watt)	Frekwensi (Hz)
1.	11-05-2018	210	480	0,90	165	60,6
2.	12-05-2018	220	480	0,89	162,5	60,6
3.	13-05-2018	235	480	0,88	182,5	60,6
4.	14-05-2018	245	480	0,87	175	60,6
5.	15-05-2018	280	480	0,88	272,5	60,6
6.	16-05-2018	280	480	0,89	200	60,6
7.	17-05-2018	282,5	480	0,86	212,5	60,6
8.	18-05-2018	275	480	0,87	208,7	60,6
9.	19-05-2018	210	480	0,92	200	60,6
10.	20-05-2018	285	480	0,90	232,5	60,6
11.	21-05-2018	296,6	480	0,88	216,6	60,6
12.	22-05-2018	292,5	480	0,89	220	60,6
13.	23-05-2018	393,3	480	0,83	215	60,6
14.	24-05-2018	310	480	0,88	225	60,6
15.	25-05-2018	286,6	480	0,86	210	60,6
16.	26-05-2018	295	480	0,92	220	60,6
17.	27-05-2018	273,3	480	0,93	250	60,6

#### 1. Arus

$$\text{Ampere 1} = 200 + 220 + 200 + 220 = 840$$

$$\text{Ampere 2} = 200 + 220 + 200 + 220 = 840$$

$$\text{Ampere 3} = 200 + 220 + 200 + 220 = 840$$

$$\text{Ampere 1} = 840 : 4 = 210$$

$$\text{Ampere 2} = 840 : 4 = 210$$

$$\text{Ampere 2} = 840 : 4 = 210$$

$$\text{Ampere} = 210 + 210 + 210 : 3$$

$$= 210 \text{ Ampere}$$

## 2. Daya

$$= 170 + 160 + 150 + 180 = 660$$

$$= 660 : 4 = 165 \text{ Kilowatt}$$

Persen

$$= 165 \times 100 : 500$$

$$= 33 \%$$

## 3. Tegangan

$$\text{Volt 1} = 480 + 480 + 480 + 480 = 1920$$

$$\text{Volt 2} = 480 + 480 + 480 + 480 = 1920$$

$$\text{Volt 3} = 480 + 480 + 480 + 480 = 1920$$

$$\text{Volt 1} = 1920 : 4 = 480$$

$$\text{Volt 2} = 1920 : 4 = 480$$

$$\text{Volt 3} = 1920 : 4 = 480$$

$$= 480 \text{ Volt} \times 3 : 3$$

$$= 480 \text{ Volt}$$

#### 4. Frekuensi

$$= 60.6 + 60.6 + 60.6 + 60.6 = 242.4$$

$$= 242.4 : 4$$

$$= 60.6 \text{ Hertz}$$

#### 5. Faktor Daya

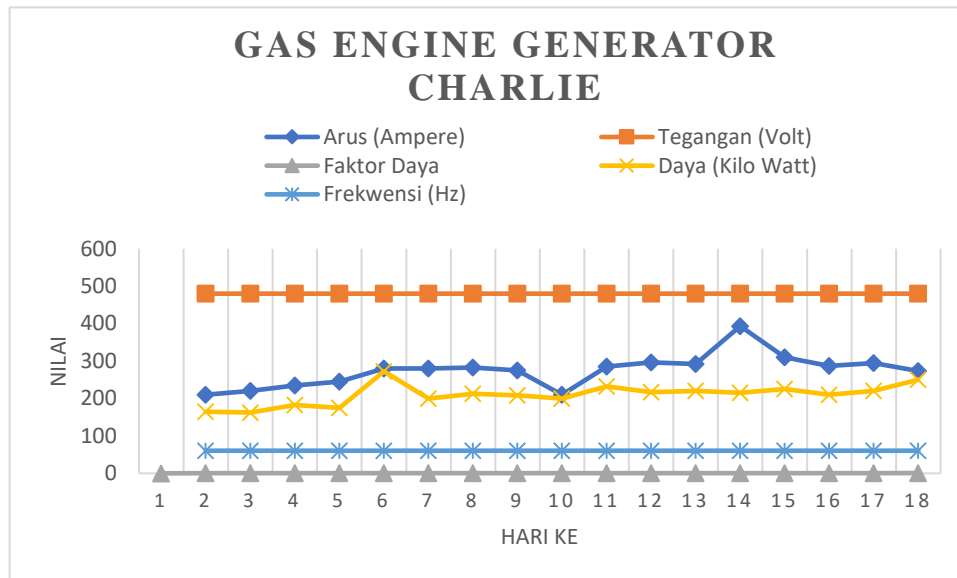
$$0.90 + 0.89 + 0.90 + 0.92 = 3.61$$

$$3.61 : 4 = 0.90$$

Dari tabel dan perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa *gas engine generator charlie* menghasilkan arus terendah 210 ampere dan tertinggi 310 ampere. Hal ini disebabkan karena pembebanan untuk *gas engine generator charlie* sudah dikendalikan oleh *automatic generator loading control*, sehingga kerja dari *gas engine generator charlie* disesuaikan dengan permintaan beban. Tegangan yang dihasilkan stabil 480 volt. Hal ini disebabkan karena sistem eksitasi dikendalikan oleh *voltage regulator*, sehingga sistem eksitasi selalu menyesuaikan tegangan keluaran generator. Daya listrik terendah yang dihasilkan oleh *gas engine generator charlie* adalah 162,5 Kilo Watt yang terjadi pada tanggal 12-05-2018, dan tertinggi 272,5 Kilo Watt tanggal 15-05-2018 . Karena kebutuhan daya listrik bervariasi maka arus pada *gas engine generator charlie* pun bervariasi. Pembebanan untuk *gas engine generator* sendiri dibatasi sampai 450 Kilo Watt, dan itu sangat dihindari, pembebanan sendiri menyesuaikan permintaan perihal kebutuhan listrik, hal ini merupakan salah satu alasan mengapa *load sharing system* perlu diterapkan.



#### 4.2.3.6. Grafik Data Gas Engine Generator Charlie



Gambar 4.12. Grafik Data Gas Engine Generator Charlie

Gambar 4.12 diatas merupakan data yang ditampilkan melalui konversi tabel 5.3 gas engine generator charlie. Tegangan gas engine generator charlie stabil di 480 V karena dijaga set point nya oleh voltage regulator. Arus dan daya yang mengalami peningkatan dan penurunan disebabkan oleh berubahnya beban – beban listrik yang ada di pagerungan. Arus dan daya tertinggi terjadi pada tanggal 23 mei 2018 393,3 Ampere, dan terendah pada tanggal 11 mei 2018 210 Ampere.

#### 4.2.3.7. Tabel Data Gas Turbine Generator Bravo

Tabel 4.4 Data Gas Turbine Generator Bravo

No	Tanggal	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Faktor Daya (Chos Phi)	Daya (Kilo Watt)	Frekwensi (Hz)
1.	28-04-2018	69,5	4191	0,9	449,5	60,3
2.	29-04-2018	73	4180	0,91	502,75	60,3
3.	30-04-2018	75	4180	0,91	493,5	60,3
4.	31-04-2018	77	4180	0,93	513,5	60,3
5.	01-05-2018	75,75	4191	0,91	486,75	60,4
6.	02-05-2018	78,25	4176	0,91	503	60,4
7.	03-05-2018	75	4197	0,92	487	60,4
8.	04-05-2018	74,75	4176	0,91	489,5	60,4
9.	05-05-2018	82,75	4187	0,91	524,5	60,5
10.	06-05-2018	81,5	4202	0,90	502,75	60,5
11.	07-05-2018	87,25	4191	0,89	553	60,5
12.	08-05-2018	89	4191	0,90	571,5	60,5
13.	09-05-2018	88,75	4202	0,92	577,25	60,5
14.	10-05-2018	94,25	4194	0,92	612,5	60,5
15.	11-05-2018	92,25	4198	0,92	608	60,5
16.	12-05-2018	92,25	4194	0,92	609,25	60,5
17.	13-05-2018	93,5	4194	0,93	629,25	60,5
18.	14-05-2018	93,5	4194	0,93	629,25	60,5
19.	15-05-2018	96,25	4194	0,93	645,5	60,5
20.	16-05-2018	93,75	4194	0,92	619,75	60,5
21.	17-05-2018	93	4198	0,92	601	60,5
22.	18-05-2018	89,75	4198	0,93	594	60,5
23.	19-05-2018	90,75	4202	0,92	590,25	60,5
24.	20-05-2018	90,5	4198	0,91	595	60,5
25.	21-05-2018	99,5	4198	0,92	669,25	60,5
26.	22-05-2018	95,6	4198	0,91	639	60,5
27.	23-05-2018	95	4183	0,91	630,5	60,5
28.	24-05-2018	92,6	4205	0,91	608	60,5
29.	25-05-2018	98,5	4194	0,91	647,25	60,5
30.	26-05-2018	94,6	4205	0,91	614	60,5
31.	27-05-2018	92,5	4205	0,91	596,25	60,5
32.	28-05-2018	95,6	4183	0,92	616	60,5

Nilai diatas diambil dari penjumlahan dibagi 4 kegiatan pengukuran *logsheet* dalam 1 hari. Cara perhitungannya sebagai berikut:

### 1. Arus

$$\text{Ampere 1} = 69 + 65 + 72 + 64$$

$$\text{Ampere 2} = 67 + 64 + 69 + 63$$

$$\text{Ampere 3} = 71 + 67 + 73 + 67$$

$$\text{Ampere 1} = 67.5$$

$$\text{Ampere 2} = 65.75$$

$$\text{Ampere 3} = 69.5$$

$$\text{Ampere} = 67.5 + 65.75 + 69.5 = 202.75$$

$$\text{Ampere} = 202.75 : 4$$

$$= 67.58 \text{ Ampere}$$

### 2. Daya

$$= 466 + 434 + 482 + 416$$

$$= 1.798 : 4$$

$$= 449.5 \text{ Kilowatt}$$

Persen

$$= 449.5 \times 100 : 1000 \text{ Kilowatt}$$

$$= 44.95 \%$$

### 3. Tegangan

$$V 1 = 4191 + 4187 + 4187 + 4194$$

$$V_2 = 4191 + 4191 + 4194 + 4194$$

$$V_3 = 4187 + 4187 + 4183 + 4191$$

$$V_1 = 16.759 : 4 = 4189$$

$$V_2 = 16.770 : 4 = 4192.5$$

$$V_3 = 16.748 : 4 = 4187$$

$$V = 4189 + 4192.5 + 4187$$

$$V = 12.568,5 : 4$$

$$V = 4189.5 \text{ Volt}$$

#### 4. Frekuensi

$$= 60.39 + 60.40 + 60.37 + 60.38$$

$$= 241.54 : 4$$

$$= 60.38 \text{ Hertz}$$

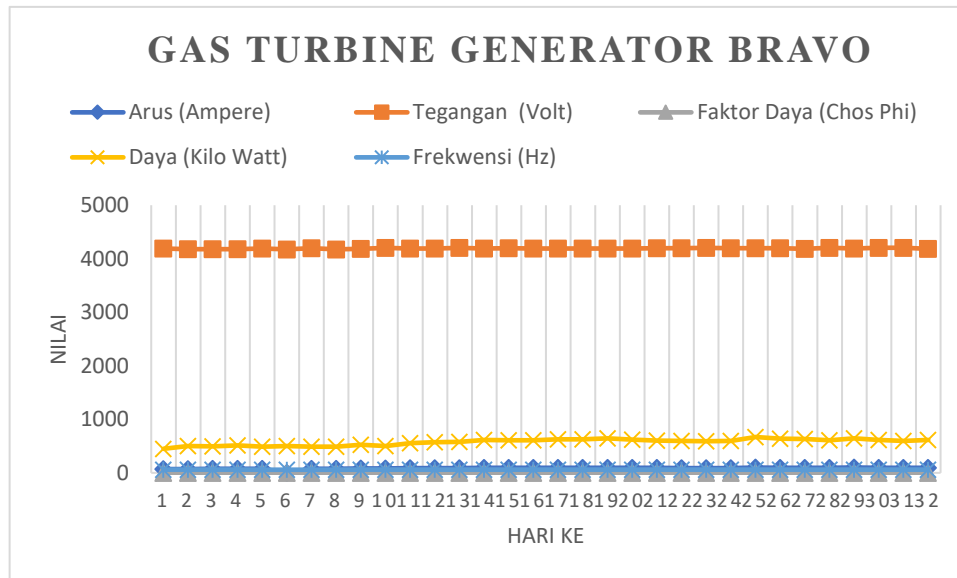
#### 5. Faktor Daya

$$= 0.91 + 0.89 + 0.91 + 0.90$$

$$= 3.61 : 4$$

$$= 0.90$$

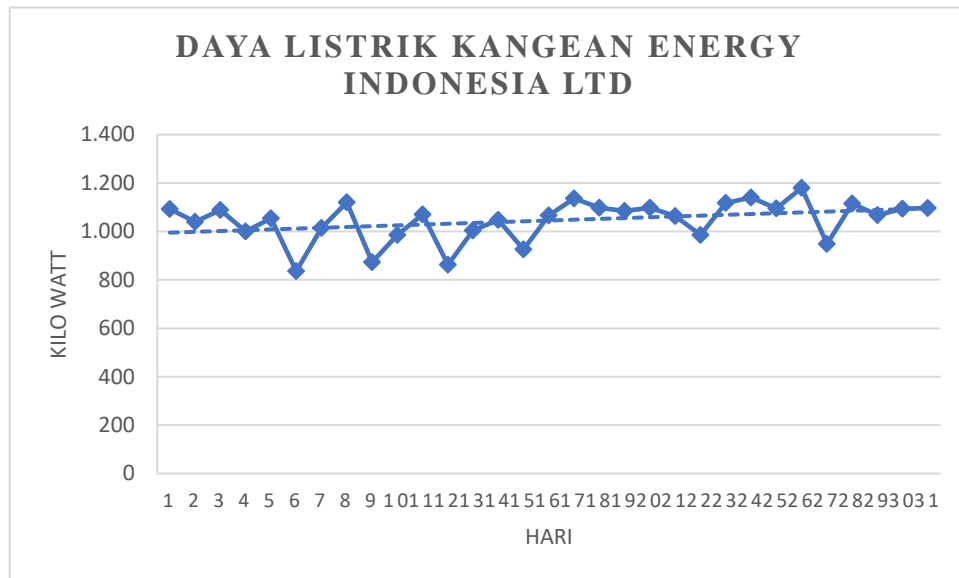
#### 4.2.3.8. Grafik Bulanan Gas Turbine Generator Bravo



Gambar 4.13. Grafik Data Gas Turbine Generator Bravo

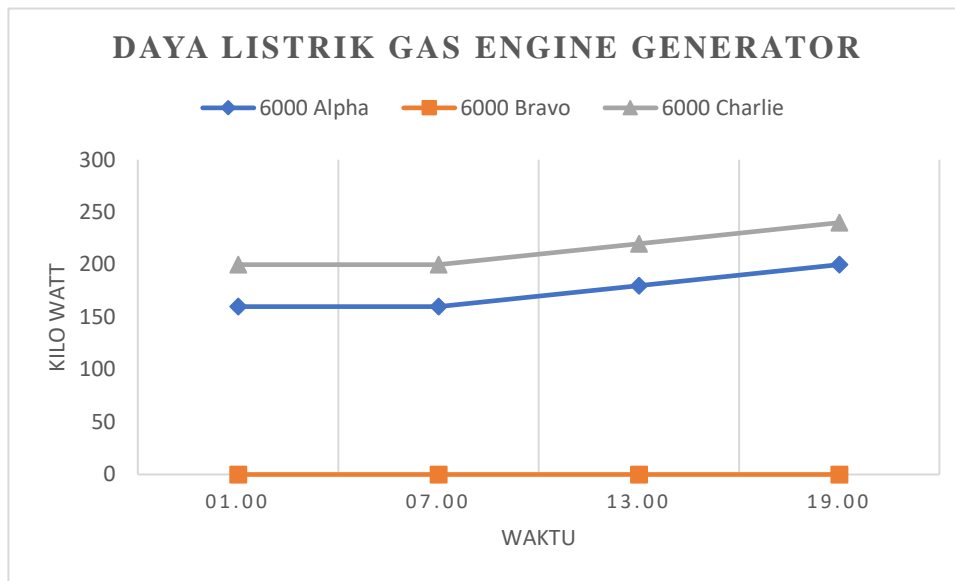
Gambar 4.13 diatas merupakan data yang ditampilkan melalui konversi tabel 4.4 gas turbine generator bravo. Tegangan gas turbine generator bravo stabil di 4180 V karena dijaga set point nya oleh *voltage regulator*. Tegangan yang tinggi tersebut menyebabkan arus yang dihasilkan lebih rendah dari *gas engine generator*. Hal ini merupakan realitas dari rumus daya, yaitu  $V \cdot I = P$ . Semakin tinggi arus listrik maka penampang yang digunakan harus lebih besar, sehingga kurang ekonomis apabila digunakan untuk distribusi jarak jauh. Arus dan daya yang mengalami peningkatan dan penurunan disebabkan oleh berubahnya beban – beban listrik yang ada di pagerungan. Arus dan daya tertinggi terjadi pada tanggal 28 mei 2018 98,5 Ampere, dan terendah pada tanggal 28 April 2018 69,5 Ampere.

Dari data tabel diatas selama satu bulan dimulai dari 29 Maret – 28 April 2018 apabila total konsumsi daya di pulau pagerungan di tampilkan dalam bentuk grafik, maka hasilnya sebagai berikut:



Gambar 4.14. Grafik Harian Beban Listrik

*Gas engine generator caterpilaar 3512* yang digunakan di pagerungan ada 3 unit. Akan tetapi, unit yang beroperasi di atur bergantian, hanya 2 unit saja. Listrik yang dihasilkan tidak terlalu besar, dibandingkan saat pabrik beroperasi dengan produksi penuh. Dibawah ini dapat dilihat perhitungan presentase harian dengan logsheet 4 kali dalam satu hari.



Gambar 4.15. Grafik Harian Beban Listrik 3512 *Gas Engine Generator*

### 1. 3512 *Gas Engine Alpha*

$$\text{Pukul 01.00} = 160 \text{ Kw} \cdot 100 / 500 \text{ Kw}$$

$$= 32 \%$$

$$\text{Pukul 07.00} = 160 \text{ Kw} \cdot 100 / 500 \text{ Kw}$$

$$= 32 \%$$

$$\text{Pukul 13.00} = 180 \text{ Kw} \cdot 100 / 500 \text{ Kw}$$

$$= 36 \%$$

$$\text{Pukul 19.00} = 200 \text{ Kw} \cdot 100 / 500 \text{ Kw}$$

$$= 40 \%$$

### 2. 3512 *Gas Engine Charlie*

$$\text{Pukul 01.00} = 200 \text{ Kw} \cdot 100 / 500 \text{ Kw}$$

$$= 40 \%$$

$$\text{Pukul 07.00} = 200 \text{ Kw} \cdot 100 / 500 \text{ Kw}$$

= 40 %

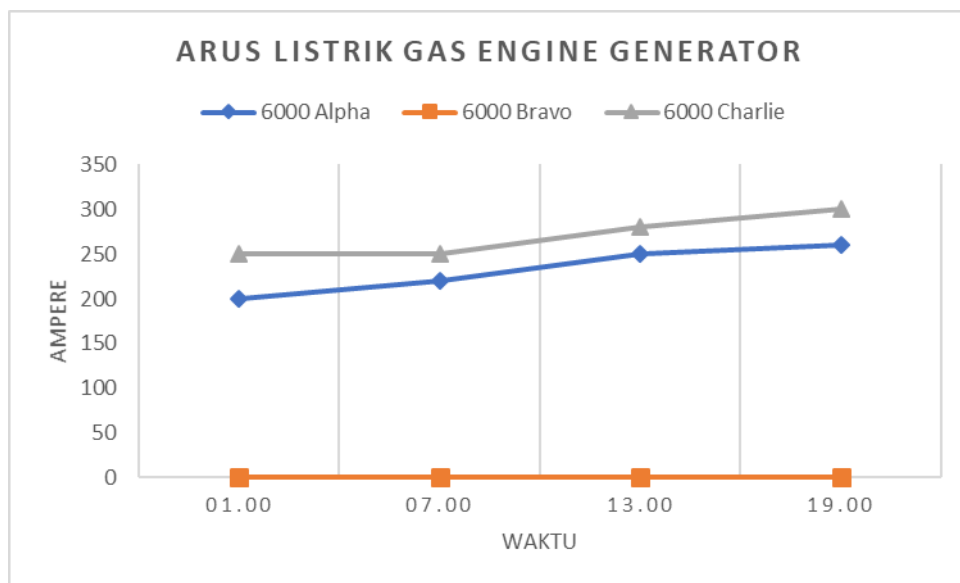
Pukul 13.00 = 220 Kw. 100 / 500 Kw

= 44 %

Pukul 19.00 = 240 Kw. 100 / 500 Kw

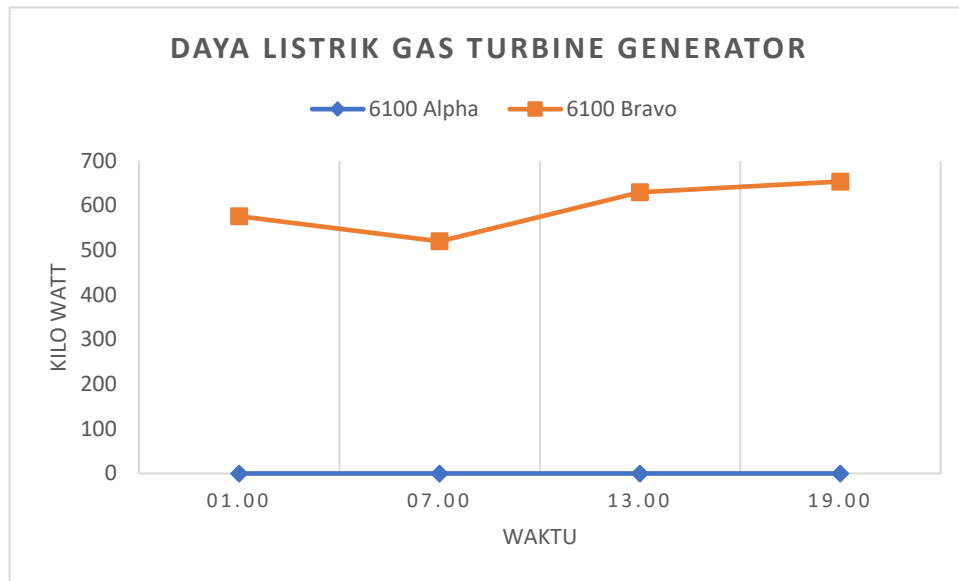
= 48 %

Dari hasil perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa 3512 *gas engine generator charlie* di set dengan beban yang lebih besar dibandingkan dengan 3512 *gas engine generator alpha*. Hal ini dapat diatur berdasarkan kondisi dari *engine*, kondisi generator, maupun salah satu cara untuk menjaga *gas engine* dapat selalu beroperasi dengan baik.



Gambar 4.16. Grafik Arus Listrik Harian 3512 *Gas Engine Generator*





Gambar 4.17. Grafik Harian Beban Listrik *Saturn 20 Gas Turbine Generator*

Grafik diatas merupakan grafik dari daya yang dihasilkan oleh *saturn 20 gas turbine generator bravo* pada tanggal 27 april 2018 sesuai dengan kebutuhan. Dapat dilihat bahwa kebutuhan daya dalam 1 hari tidak constant. Perubahan tersebut diatur oleh *Automatic Generator Loading Control*. Normalnya daya yang dihasilkan oleh sebuah generator yaitu 80 % dari kapasitas. Daya yang dihasilkan pada generator di Kangean Energy Indonesia Ltd Wilayah Pagerungan menyesuaikan dengan permintaan konsumen. Proporsional sebuah pembangkit bekerja dengan 80% kapasitas total nya.

$$80 \% \cdot 1000 \text{ Kw} = 800 \text{ Kw}$$

$$\begin{aligned} \text{Pukul 01.00} &= 576 \text{ Kw} \cdot 100 / 1000 \text{ Kw} \\ &= 57,6 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pukul 07.00} &= 520 \text{ Kw} \cdot 100 / 1000 \text{ Kw} \\ &= 52 \% \end{aligned}$$

$$\text{Pukul 13.00} = 630 \text{ Kw} \cdot 100 / 1000 \text{ Kw}$$

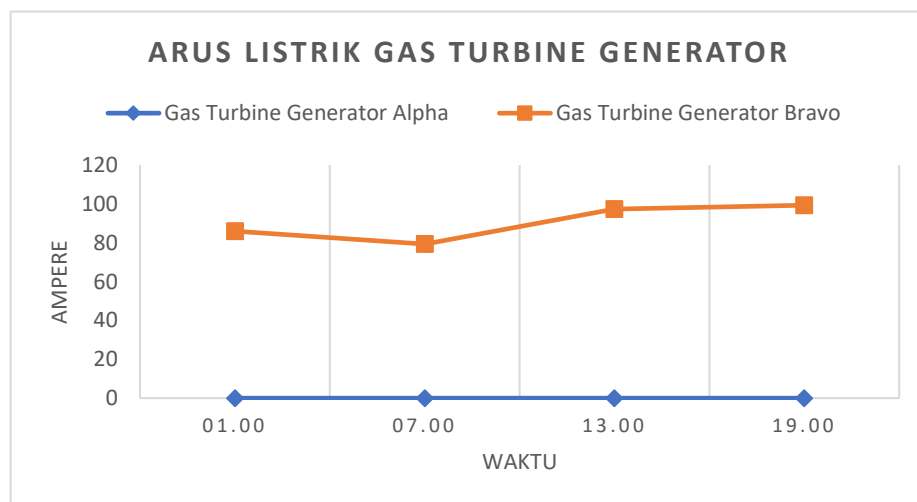
= 63 %

Pukul 19.00 = 654 Kw. 100 / 1000 Kw

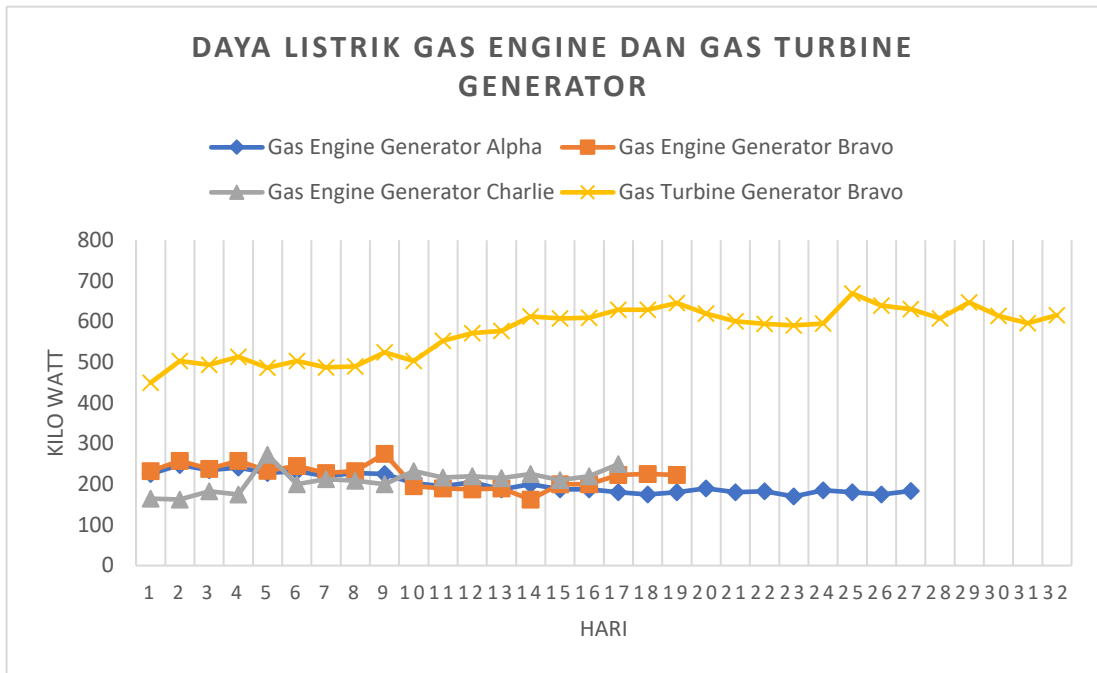
= 65,4 %

Dari hasil perhitungan presentase beban diatas, dapat dilihat bahwa dalam 4 kali logsheet pada tanggal 27 april 2018 *saturn 20 gas turbine generator bravo* belum bekerja mencapai 80% atau 800 Kw. Artinya daya yang dibangkitkan masih dibawah batas maksimal proporsional kemampuan *saturn 20 gas turbine generator bravo*.

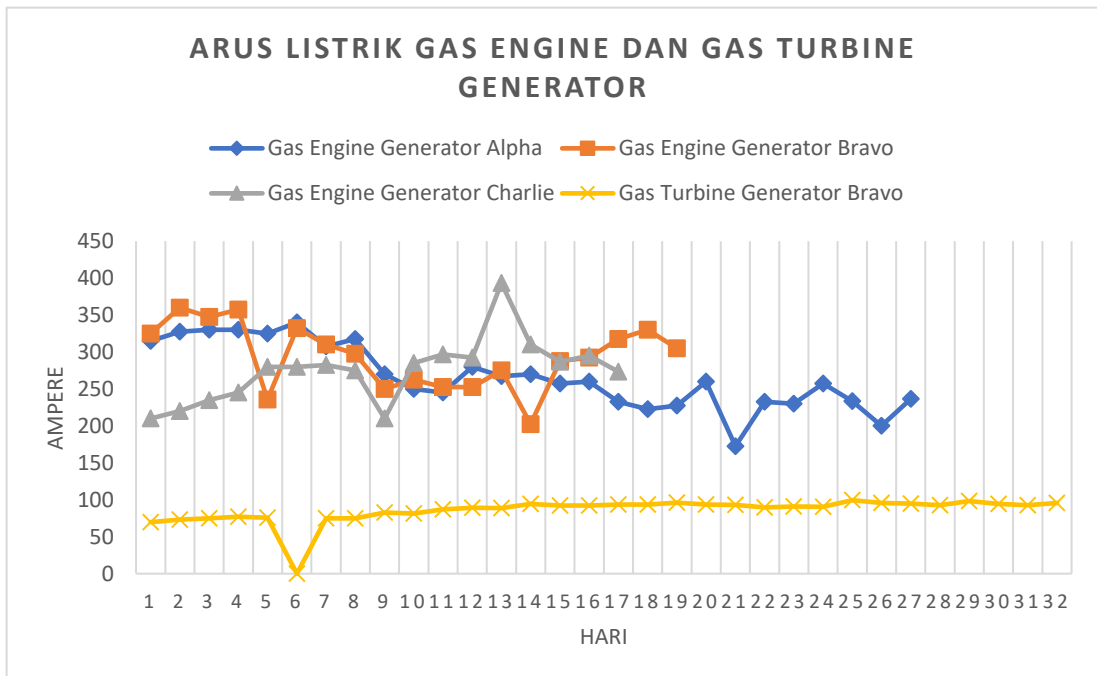
Arus listrik dan tegangan adalah dua satuan dasar dalam kelistrikan. Tegangan listrik adalah penyebab dan arus listrik adalah efeknya. Tegangan adalah beda potensial yang menghasilkan gaya gerak listrik sedangkan arus adalah banyaknya muatan elektron dalam sebuah penghantar atau rangkaian. Saat generator diberi eksitasi dan putaran, maka akan timbul tegangan listrik. Akan tetapi bila belum ada beban yang di tanggung, maka belum ada arus listrik yang mengalir, artinya daya aktif belum digunakan oleh kosumen.



Gambar 4.18. Grafik Harian Arus Listrik *Saturn 20 Gas Turbine Generator*



Gambar 4.19. Grafik Daya Listrik *Gas Engine Generator* dan *Gas Turbine Generator*



Gambar 4.20. Grafik Arus Listrik *Gas Engine Generator* dan *Gas Turbine Generator*

Arus listrik yang dihasilkan oleh *gas engine generator* selalu lebih besar dari *gas turbine generator*, padahal per unit *gas engine generator* hanya dapat menghasilkan maksimal 450 Kilo Watt. *Gas turbine generator* menghasilkan arus listrik jauh lebih rendah dari *gas engine generator*, sedangkan daya yang dihasilkan maksimal hingga 950 Kilo Watt. Hal tersebut merupakan pembuktian bahwa, daya dipengaruhi oleh arus dan tegangan, sedangkan arus dipengaruhi oleh beban. Arus pada *gas engine generator* lebih besar karena tegangan yang dihasilkan 480 Volt lebih kecil dari *gas turbine generator* yang tegangan keluaran mencapai 4180 Volt. Untuk daya yang relative sama, semakin besar tegangan maka arus yang dihasilkan semakin kecil, begitupun sebaliknya, semakin kecil tegangan maka untuk mendapatkan daya yang relative sama arus yang dihasilkan harus diperbesar.

Dari grafik diatas pada grafik *gas engine generator* dapat disimpulkan bahwa kisaran kenaikan arus listrik banyak terjadi di siang hari menjelang petang, Meskipun pada *gas turbine generator* sedikit mengalami penurunan arus listrik pada pagi hari, kemudian meningkat sampai di beban tertinggi malam hari. Nilai arus tersebut masih dalam batas wajar kemampuan unit unit pembangkit, gas turbine generator dan gas engine generator di Kenean Energy Indonesia Ltd Pagerungan Operation.

Hasil akhir dari operasi *load sharing* yaitu beban besar dapat ditanggung oleh beberapa generator secara proporsional serta efisien dan ekonomis. Penggunaan biaya produksi untuk menghasilkan listrik dapat ditekan sesuai dengan situasi dan kondisi power plant itu sendiri. Dengan beban yang besar, apabila ditanggung oleh 1 unit. *Load sharing* digunakan saat konsumen ingin memanfaatkan unit pembangkit yang ada seiring dengan bertambahnya kebutuhan listrik. Sistem load sharing banyak digunakan di pusat pembangkitan tenaga listrik, industri, *oil and gas company*, kapal laut, dan lain sebagainya.

Kehandalan sebuah *system load sharing* sangat mutlak dijaga dan dioptimalkan, karena peran tenaga listrik sangat vital di dunia perekonomian dan kehidupan.