



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA *MONITORING* ARUS PENGGIAT PADA OPERASI
GENERATOR DI UNIT PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
PANAS BUMI (PLTP) GUNUNG SALAK**

SKRIPSI

**AKBAR REZA SWASTIKA
0906602345**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 EKSTENSI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA *MONITORING* ARUS PENGGIAT PADA OPERASI
GENERATOR DI UNIT PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
PANAS BUMI (PLTP) GUNUNG SALAK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar S1

**AKBAR REZA SWASTIKA
0906602345**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 EKSTENSI TEKNIK ELEKTRO
KEKHUSUSAN TENAGA LISTRIK
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : AKBAR REZA SWASTIKA

NPM : 0906602345

Tanda Tangan :



Tanggal : 27 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

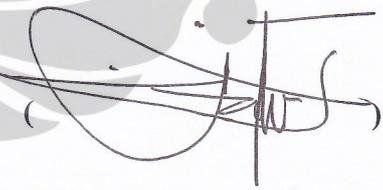
Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Akbar Reza Swastika
NPM : 0906602345
Program Studi : S1 Ekstensi Teknik Elektro
Judul Skripsi : ANALISA *MONITORING* ARUS PENGGIAT
PADA OPERASI GENERATOR DI UNIT
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS
BUMI (PLTP) GUNUNG SALAK

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana S1 pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. I Made Ardita Y, M.T. ()

Penguji : Ir. Agus R. Utomo, M.T. ()

Penguji : Dr. Ir. Ridwan Gunawan, M.T. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. I Made Ardita Y, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Segenap jajaran dosen Departmen Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan kepada saya selama masa perkuliahan;
3. Pihak PT. Indonesia Power UBP Kamojang Unit PLTP Gunung Salak yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
4. Orang tua (Bapak dan Ibu) dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
5. Teman-teman futsal, baik Al-Fath Futsal Club, UKOR Futsal Universitas Indonesia, Futsal Teknik Universitas Indonesia, TEKITA, S. T. dan Futsal Elektro Univeritas Indonesia, terima kasih atas kebersamaan, canda dan tawa, nasihat, goal, kemenangan, kekalahan, medali dan semuanya, *“senang pernah bermain bersama kalian di lapangan”*;
6. Sahabat-sahabat kosan Rahmat, Wahyu Andrianto Nugroho (*my roommate*), Agung Ari Praja (“Nangke”), Tierta Syafraditya, Akbar Eka Purnama dan Ryan Permana, *“sahabat yang baik sulit untuk ditemukan, lebih sulit untuk ditinggalkan, dan tidak mungkin untuk dilupakan”*;
7. Teman-teman Ekstensi Teknik Elektro 2009 dan juga S1 Reguler Teknik Elektro 2007, 2008, 2009, 2010 dan 2011, yang telah menjadi salah satu keluarga yang ada di Fakultas Teknik;

8. Teman seperjuangan dari D3 Fisika Instrumentasi, Ellan S. Siregar dan Nugroho Nandar Dyto, atas *sharing*-annya, canda dan tawanya selama masa penyelesaian skripsi ini;
9. Saudara Dennis Defri, yang telah membantu saya dalam proses pengeditan halaman pada skripsi ini;
10. Saudara Buyung Anggi, yang telah membantu saya dalam menerjemahkan bahan-bahan skripsi;
11. Saudara Agung Herianto, yang telah meminjamkan laptopnya untuk membantu saya dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini;
12. Teman-teman di proyek *Development of World Class University at University of Indonesia* atau FRIK UI (Fakultas Rumpun Ilmu Kesehatan Universitas Indonesia) baik PIU UI (*Project Implementation Unit University of Indonesia*) dan PT. Cakra Manggilingan Jaya selaku *Engineering & Management Consultant*;
13. Geng Stabilers (Enita Trihapsari, Bornok Rumata dan Febi Patria Okti) yang telah banyak memberikan saya inspirasi dan motivasi dalam proses penyelesaian skripsi ini;
14. Teman-teman marching band MBUI yang telah memberikan warna bermusik dan menjadi bagian dalam kehidupan saya di kampus;
15. Semua pihak yang secara tidak langsung ikut terlibat dalam penyelesaian skripsi ini yang namanya tidak saya sebutkan satu persatu, semoga kebaikan yang telah dilakukan dibalas oleh Allah SWT. Aamiin...

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 27 Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Akbar Reza Swastika
NPM : 0906602345
Program Studi : S1 Ekstensi Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“ANALISA *MONITORING* ARUS PENGGIAT PADA OPERASI GENERATOR DI UNIT PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI (PLTP) GUNUNG SALAK”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 27 Juni 2012

Yang menyatakan



(Akbar Reza Swastika)

ABSTRAK

Nama : Akbar Reza Swastika
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisa *Monitoring* Arus Penggiat pada Operasi Generator di Unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak

Skripsi ini membahas tentang analisa *monitoring* arus penggiat (arus eksitasi) pada operasi generator di unit PLTP Gunung Salak. Penelitian yang dilakukan adalah penelitian kuantitatif dengan mengambil contoh data pada operasi generator. Tujuannya adalah untuk melihat daerah atau letak operasi kerja dari generator (mendahului atau tertinggal) dan melihat hubungan antara arus eksitasi terhadap temperatur pada sisi stator atau rotor pada sebuah pengoperasian generator di pembangkit. Kenaikan suhu atau temperatur ini merupakan salah satu indikasi (indikator) penuaan dari generator pada pembangkit. Oleh karena itu, diperlukan suatu analisa *monitoring* arus penggiat (arus eksitasi) pada operasi pembangkit yang bertujuan untuk menentukan kondisi (*lifetime*) dari pembangkit itu sendiri.

Kata Kunci:

Arus penggiat (arus eksitasi), generator, PLTP, temperatur, stator dan rotor.

ABSTRACT

Name : Akbar Reza Swastika
Study Program : Electrical Engineering
Title : Analysis of Monitoring the Operation of the Generator
Excitation Current in Units of Geothermal Power Plant
(PLTP) Mount Salak

This thesis discusses the analysis of current monitoring instigators (excitation current) on the generator operating at Mount Salak geothermal unit. Research carried out is by taking a sample of quantitative research data on the operation of the generator. The goal is to see the area where the operation or the work of the generator (*leading* or *lagging*) and look at the relationship between the excitation current to the temperature in the stator or rotor in a generator in the plant operation. Temperature or temperature rise is one indication (indicator) on the aging of generator power. Therefore, required an analysis of current monitoring instigators (excitation current) on the plant operation aims to determine the conditions (lifetime) of the plant itself.

Key words:

Instigators of the current (excitation current), generators, Geothermal, temperature, stator and rotor.

DAFTAR ISI

| | |
|---|----------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH | vi |
| ABSTRAK | vii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR TABEL..... | xii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiv |
| 1. PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4. Manfaat Penelitian | 2 |
| 1.5. Batasan Masalah | 3 |
| 1.6. Metode Penelitian | 3 |
| 1.7. Sistematika Penulisan | 3 |
| 2. TEORI DASAR..... | 5 |
| 2.1. Prinsip Pembangkit Energi Listrik..... | 5 |
| 2.1.1. Induksi Elektromagnet..... | 5 |
| 2.1.2. Gaya Gerak Listrik | 6 |
| 2.1.3. Fluks Magnetik (Φ) | 7 |
| 2.2. Generator Sinkron..... | 8 |
| 2.2.1. Stator..... | 9 |
| 2.2.1.1. Rangka Stator (<i>Stator Frame</i>)..... | 9 |
| 2.2.1.2. Inti Stator (<i>Stator Core</i>)..... | 9 |
| 2.2.1.3. Belitan Stator (<i>Stator Winding</i>)..... | 10 |
| 2.2.1.4. Slot | 11 |
| 2.2.2. Rotor | 12 |
| 2.2.2.1. Rotor Kutub Silinder (<i>Non-Salient Pole Rotor</i>)..... | 12 |
| 2.2.2.2. Rotor Kutub Menonjol (<i>Salient Pole Rotor</i>)..... | 12 |
| 2.3. Prinsip Kerja Generator Sinkron..... | 13 |
| 2.3.1. Generator Sinkron Tanpa Beban | 14 |
| 2.3.2. Generator Sinkron Berbeban | 15 |
| 2.3.2.1. Resistansi Jangkar | 16 |
| 2.3.2.2. Reaktansi Bocor Jangkar | 16 |
| 2.3.2.3. Reaksi Jangkar..... | 17 |
| 2.4. Pengontrolan Generator | 18 |
| 2.5. Sistem Eksitasi (<i>Excitation System</i>) pada Generator | 19 |
| 2.5.1. Sistem Eksitasi dengan Sikat (<i>Brush Excitation</i>)..... | 19 |
| 2.5.1.1. Prinsip Kerja pada Sistem Eksitasi dengan Sikat (<i>Brush Excitation</i>) | 20 |
| 2.5.2. Sistem Eksitasi tanpa Sikat (<i>Brushless Excitation</i>)..... | 21 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5.2.1. Prinsip Kerja pada Sistem Eksitasi tanpa Sikat (<i>Brushless Excitation</i>) | 22 |
| 2.6. Daya Aktif (P), Reaktif (Q) dan Semu (S)..... | 23 |
| 2.6.1. Pengertian Daya..... | 23 |
| 2.6.2. Daya Aktif | 24 |
| 2.6.3. Daya Reaktif | 24 |
| 2.6.4. Daya Semu..... | 24 |
| 2.6.5. Segitiga Daya..... | 25 |
| 2.6.6. Faktor Daya | 26 |
| 2.6.6.1. Faktor Daya “ <i>Leading</i> ” | 28 |
| 2.6.6.2. Faktor Daya “ <i>Lagging</i> ” | 29 |
| 3. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI (PLTP) DAN DATA OPERASI UNIT PLTP GUNUNG SALAK | 30 |
| 3.1. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)..... | 30 |
| 3.2. Jenis-jenis Sistem atau Teknologi Pembangkit Listrik Panas Bumi..... | 31 |
| 3.2.1. Sistem Uap Kering (<i>Dry Steam System</i>)..... | 31 |
| 3.2.2. Sistem Uap Basah (<i>Flash Steam System</i>) | 32 |
| 3.2.3. Sistem Air Panas (<i>Binary Cycle System</i>)..... | 33 |
| 3.2.4. Metode dengan Batuan Panas..... | 34 |
| 3.3. Komponen Utama pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak..... | 36 |
| 3.3.1. Separator | 36 |
| 3.3.2. <i>Scrubber</i> | 37 |
| 3.3.3. Demister | 37 |
| 3.3.4. Turbin..... | 38 |
| 3.3.5. Generator..... | 39 |
| 3.3.6. Trafo Utama (<i>Main Transformer</i>)..... | 40 |
| 3.3.7. Gardu Induk GIS (Gas Insulated Substation atau Gas Insulated Switthgear)..... | 41 |
| 3.3.8. <i>Condensor</i> | 42 |
| 3.3.9. Ejector | 42 |
| 3.3.10. <i>Inter dan After Condensor</i> | 43 |
| 3.3.11. <i>Main Cooling Water Pump (MCWP)</i> | 44 |
| 3.3.12. Cooling Tower (Menara Pendingin)..... | 44 |
| 3.4. Overview Unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak..... | 45 |
| 3.5. Proses Kerja Pembangkitan Unit PLTP Gunung Salak | 46 |
| 3.6. Data Operasi Unit Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak..... | 47 |
| 3.5.1. Data Operasi Generator di Unit 1 PLTP Gunung Salak..... | 48 |
| 3.5.2. Data Operasi Generator di Unit 2 PLTP Gunung Salak..... | 49 |
| 3.5.3. Data Operasi Generator di Unit 3 PLTP Gunung Salak..... | 50 |
| 4. PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA | 51 |
| 4.1. Pengolahan dan Analisa Data Operasi Generator pada Unit 1..... | 51 |
| 4.1.1. Data Daya Aktif (P), Daya Reaktif (Q) dan Daya Semu (S) terhadap Perubahan Waktu pada Unit 1 | 51 |

| | |
|---|------------|
| 4.1.2. Data Faktor Daya (Cos ϕ) pada Unit 1 | 56 |
| 4.1.3. Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) pada Unit 1 | 60 |
| 4.1.3.1. Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) pada Unit 1. | 61 |
| 4.1.3.2. Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Reaktif (Q) pada Unit 2..... | 63 |
| 4.1.4. Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Tegangan Output Generator pada Unit 1..... | 66 |
| 4.1.5. Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Temperatur Stator pada Unit 1 | 68 |
| 4.2. Pengolahan dan Analisa Data Operasi Generator pada Unit 2 | 71 |
| 4.2.1. Data Daya Aktif (P), Daya Reaktif (Q) dan Daya Semu (S) terhadap Perubahan Waktu pada Unit 2 | 72 |
| 4.2.2. Data Faktor Daya (Cos ϕ) pada Unit 2..... | 76 |
| 4.2.3. Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) pada Unit 2 | 80 |
| 4.2.3.1. Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) pada Unit 2. | 80 |
| 4.2.3.2. Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Reaktif (Q) pada Unit 2. | 83 |
| 4.2.4. Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Tegangan Output Generator pada Unit 2..... | 85 |
| 4.2.5. Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Temperatur Stator pada Unit 2 | 88 |
| 4.3. Pengolahan dan Analisa Data Operasi Generator pada Unit 3 | 90 |
| 4.3.1. Data Daya Aktif (P), Daya Reaktif (Q) dan Daya Semu (S) terhadap Perubahan Waktu pada Unit 3 | 91 |
| 4.3.2. Data Faktor Daya (Cos ϕ) pada Unit 3..... | 95 |
| 4.3.3. Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) pada Unit 3..... | 100 |
| 4.3.3.1. Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) pada Unit 3..... | 101 |
| 4.3.3.2. Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Reaktif (Q) pada Unit 3..... | 104 |
| 4.3.4. Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Tegangan Output Generator pada Unit 3..... | 106 |
| 4.3.5. Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Temperatur Stator pada Unit 3..... | 109 |
| 5. KESIMPULAN..... | 113 |
| 5.1. Kesimpulan..... | 113 |
| DAFTAR REFERENSI..... | 114 |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|-----|
| Tabel 3.1. Data operasi generator di unit 1 | 48 |
| Tabel 3.2. Data operasi generator di unit 2 | 49 |
| Tabel 3.3. Data operasi generator di unit 3 | 50 |
| Tabel 4.1. Hasil perhitungan daya semu (S) yang dihasilkan oleh daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada unit 1..... | 52 |
| Tabel 4.2. Hasil pengolahan faktor daya ($\cos \phi$) pada unit 1 | 57 |
| Tabel 4.3. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 1 | 61 |
| Tabel 4.4. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 1 .. | 62 |
| Tabel 4.5. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 1..... | 66 |
| Tabel 4.6. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 1 | 69 |
| Tabel 4.7. Hasil perhitungan daya semu (S) yang dihasilkan oleh daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada unit 2..... | 72 |
| Tabel 4.8. Hasil pengolahan faktor daya ($\cos \phi$) pada unit 2..... | 77 |
| Tabel 4.9. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 2..... | 80 |
| Tabel 4.10. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 2.. | 86 |
| Tabel 4.11. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 2..... | 86 |
| Tabel 4.12. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 2 | 88 |
| Tabel 4.13. Hasil perhitungan daya semu (S) yang dihasilkan oleh daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada unit 3..... | 91 |
| Tabel 4.14. Hasil pengolahan faktor daya ($\cos \phi$) pada unit 3..... | 96 |
| Tabel 4.15. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 3..... | 101 |

| | |
|--|-----|
| Tabel 4.16. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 3 | 103 |
| Tabel 4.17. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 3..... | 107 |
| Tabel 4.18. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 3 | 109 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1. Induksi elektromagnet | 5 |
| Gambar 2.2. <i>Fleming's right-hand rule</i> | 6 |
| Gambar 2.3. Penampang melintang generator sinkron | 8 |
| Gambar 2.4. Penampang stator..... | 9 |
| Gambar 2.5. Belitan satu lapis generator sinkron tiga fasa | 10 |
| Gambar 2.6. Belitan berlapis ganda generator sinkron tiga fasa..... | 11 |
| Gambar 2.7. Penampang rotor kutub silinder (<i>non-salient pole rotor</i>)..... | 12 |
| Gambar 2.8. Penampang rotor kutub menonjol (<i>salient pole rotor</i>)..... | 13 |
| Gambar 2.9. (a). Kurva karakteristik generator sinkron tanpa beban (b). Rangkaian ekivalen generator sinkron tanpa beban | 15 |
| Gambar 2.10. Rangkaian generator sinkron berbeban | 15 |
| Gambar 2.11. Diagram fasor pengaruh X_L terhadap V_ϕ (beban induktif)..... | 17 |
| Gambar 2.12. Model reaksi jangkar generator sinkron | 17 |
| Gambar 2.13. Sistem eksitasi dengan sikat (<i>brush excitation</i>)..... | 20 |
| Gambar 2.14. Sistem eksitasi tanpa sikat (<i>brushless excitation</i>) | 22 |
| Gambar 2.15. Arah aliran arus listrik..... | 23 |
| Gambar 2.16. Penjumlahan trigonometri daya aktif (P), reaktif (Q) dan semu (S) | 24 |
| Gambar 2.17. Diagram faktor daya | 25 |
| Gambar 2.18. Faktor daya <i>leading</i> | 28 |
| Gambar 2.19. Segitiga daya untuk beban kapasitif..... | 29 |
| Gambar 2.20. Faktor daya <i>lagging</i> | 29 |
| Gambar 2.21. Segitiga daya untuk beban induktif | 29 |

| | | |
|--------------|--|----|
| Gambar 3.1. | (a). Skema Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan (b). Skema Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)..... | 31 |
| Gambar 3.2. | Skema PLTP dengan sistem uap kering (<i>dry steam system</i>) | 32 |
| Gambar 3.3. | Skema PLTP dengan sistem uap basah (<i>flash steam system</i>)..... | 33 |
| Gambar 3.4. | Skema PLTP dengan sistem air panas (<i>binary cycle system</i>)..... | 34 |
| Gambar 3.5. | Skema PLTP dengan batuan panas..... | 35 |
| Gambar 3.6. | <i>Separator</i> | 36 |
| Gambar 3.7. | <i>Scrubber</i> | 37 |
| Gambar 3.8. | Demister | 38 |
| Gambar 3.9. | Turbin (<i>double flow condensing turbine</i>)..... | 39 |
| Gambar 3.10. | Generator | 40 |
| Gambar 3.11. | Trafo utama (<i>main transformer</i>) dengan tipe ONAN..... | 40 |
| Gambar 3.12. | Gardu Induk <i>GIS</i> | 41 |
| Gambar 3.13. | <i>Condensor</i> | 42 |
| Gambar 3.14. | <i>Steam Jet Ejector</i> | 43 |
| Gambar 3.15. | <i>Inter dan After Condenser</i> | 43 |
| Gambar 3.16. | <i>Main Cooling Water Pump (MCWP)</i> | 44 |
| Gambar 3.17. | Menara pendingin (<i>cooling tower</i>) | 45 |
| Gambar 3.18. | Layout unit PLTP Gunung Salak | 45 |
| Gambar 3.19. | Flow diagram PLTP Gunung Salak..... | 46 |
| Gambar 4.1. | Grafik hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap waktu pada unit 1 | 53 |
| Gambar 4.2. | Grafik hubungan antara daya aktif (P) terhadap waktu pada unit 1 | 54 |
| Gambar 4.3. | Grafik hubungan antara daya reaktif (Q) terhadap waktu pada unit 1..... | 55 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.4. Grafik hubungan antara daya semu (S) terhadap waktu pada unit 1 | 55 |
| Gambar 4.5. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.99$ pada unit 1 | 58 |
| Gambar 4.6. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.98$ pada unit 1 | 58 |
| Gambar 4.7. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.97$ pada unit 1 | 59 |
| Gambar 4.8. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.96$ pada unit 1 | 59 |
| Gambar 4.9. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 1 | 62 |
| Gambar 4.10. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 1 | 65 |
| Gambar 4.11. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 1 | 68 |
| Gambar 4.12. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 1 | 70 |
| Gambar 4.13. Grafik hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap waktu pada unit 2 | 73 |
| Gambar 4.14. Grafik hubungan antara daya aktif (P) terhadap waktu pada unit 2 | 74 |
| Gambar 4.15. Grafik hubungan antara daya reaktif (Q) terhadap waktu pada unit 2 | 75 |
| Gambar 4.16. Grafik hubungan antara daya semu (S) terhadap waktu pada unit 2 | 75 |
| Gambar 4.17. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.99$ pada unit 2 | 78 |
| Gambar 4.18. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.98$ pada unit 2 | 78 |
| Gambar 4.19. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.97$ pada unit 2 | 79 |
| Gambar 4.20. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 2 | 82 |
| Gambar 4.21. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 2 | 84 |
| Gambar 4.22. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 2 | 87 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.23. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 2..... | 89 |
| Gambar 4.24. Grafik hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap waktu pada unit 3 | 92 |
| Gambar 4.25. Grafik hubungan antara daya aktif (P) terhadap waktu pada unit 3 | 93 |
| Gambar 4.26. Grafik hubungan antara daya reaktif (Q) terhadap waktu pada unit 3 | 94 |
| Gambar 4.27. Grafik hubungan antara daya semu (S) terhadap waktu pada unit 3 | 95 |
| Gambar 4.28. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.98$ pada unit 3 | 97 |
| Gambar 4.29. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.97$ pada unit 3 | 97 |
| Gambar 4.30. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.96$ pada unit 3..... | 98 |
| Gambar 4.31. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.95$ pada unit 3 | 98 |
| Gambar 4.32. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.94$ pada unit 3 | 99 |
| Gambar 4.33. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.93$ pada unit 3..... | 99 |
| Gambar 4.34. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.92$ pada unit 3..... | 100 |
| Gambar 4.35. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 3 | 103 |
| Gambar 4.36. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 3 | 105 |
| Gambar 4.37. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 3 | 108 |
| Gambar 4.38. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 3 | 111 |

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang dari permasalahan yang diambil, perumusan masalah, tujuan dari penelitian, manfaat dari penelitian, batasan masalah yang diambil oleh penulis, metode penelitian, dan sistematika penulisan laporan skripsi.

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok yang sangat penting dalam kehidupan manusia saat ini. Hal tersebut dikarenakan sebagian besar energi yang dibutuhkan untuk hampir semua aktifitas manusia khususnya masyarakat modern disuplai dalam bentuk energi listrik. Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan meningkatnya jumlah populasi penduduk di Indonesia serta bertambahnya kebutuhan hidup sehari-hari, maka mengakibatkan permintaan akan energi listrik pun juga meningkat. Akan tetapi dengan sumber daya yang ada, pihak penyedia energi listrik, yaitu PLN, belum mampu memenuhi kebutuhan listrik masyarakat secara keseluruhan. Ketersediaan sumber daya energi fosil seperti minyak bumi, gas dan batubara termasuk energi yang tak terbarukan semakin lama semakin berkurang akibat penggunaan energi yang berlebihan.

Selain ketersediaan sumber daya energi fosil, proses produksi listrik juga merupakan salah satu rangkaian penting dalam melayani kebutuhan energi listrik, dimulai dari pembangkit listrik sampai dengan *end user* yaitu konsumen sebagai pengguna listrik.

Energi listrik yang diproduksi untuk konsumen (masyarakat) dihasilkan oleh generator sinkron banyak fasa (*polyphase*) yang ada di pusat pembangkit tenaga listrik. Generator sinkron yang dipergunakan ini adalah generator sinkron 3 fasa yang mempunyai rating daya sampai ribuan Mega-Volt-Ampere (MVA). Daya yang dihasilkan ini dipengaruhi oleh besarnya arus eksitasi dan tegangan output pada generator sinkron 3 fasa. Sistem eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator listrik atau sebagai pembangkit medan magnet, sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan

besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasinya. Sistem ini merupakan sistem yang vital pada proses pembangkitan listrik, karena dalam pengoperasian generator di pembangkit, perubahan dan akselerasi pembebanan sangat dipengaruhi oleh perubahan input penggerak dan besarnya pemberian arus eksitasi. Selain itu, besarnya pemberian arus eksitasi pada generator juga berdampak pada kenaikan suhu atau temperatur baik pada sisi stator dan rotor. Kenaikan suhu atau temperatur ini merupakan salah satu indikasi (indikator) penuaan dari generator pada pembangkit listrik itu sendiri.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perumusan masalah ini akan ditekankan pada suatu analisa monitoring arus eksitasi pada operasi pembangkit listrik yang bertujuan untuk melihat kondisi (*lifetime*) dari pembangkit listrik itu sendiri.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menganalisa dan mengkaji arus eksitasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) untuk melihat dimana letak operasi kerjanya (*leading* atau *lagging*), dan
2. Menganalisa hubungan atau korelasi antara perubahan arus eksitasi terhadap perubahan suhu atau temperatur pada sisi stator atau rotor.
- 3.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini antara lain:

1. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini diharapkan bisa dikembangkan di penelitian berikutnya seperti penyempurnaan di bagian analisa arus eksitasi pada operasi generator saat kondisi *leading* di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).
2. Penelitian ini diharapkan bisa digunakan sebagai bahan acuan atau landasan dalam penganalisaan arus eksitasi untuk Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) lainnya.

1.5 Batasan Masalah

Pembahasan penelitian ini dibatasi pada spesifikasi data operasi dari generator di unit 1 sampai 3 pada PT. Indonesia Power UBP Kamojang Unit PLTP Gunung Salak.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahap antara lain sebagai berikut:

1. Tinjauan Pustaka

Untuk memperoleh teori-teori dasar serta teori penunjang yang dibutuhkan dalam pembuatan prototipe dan penulisan skripsi ini, penulis melakukan pencarian dari berbagai sumber baik dari buku-buku, literatur, laporan riset, maupun makalah-makalah yang diberikan oleh dosen pembimbing dan didapat dari perpustakaan, dan internet.

2. Pengambilan Data

Data yang diambil adalah data dari operasi generator pada unit 1 sampai 3 pada PT. Indonesia Power UBP Kamojang Unit PLTP Gunung Salak.

3. Pengolahan dan Analisa Data

Pengolahan dan analisa data dilakukan secara manual.

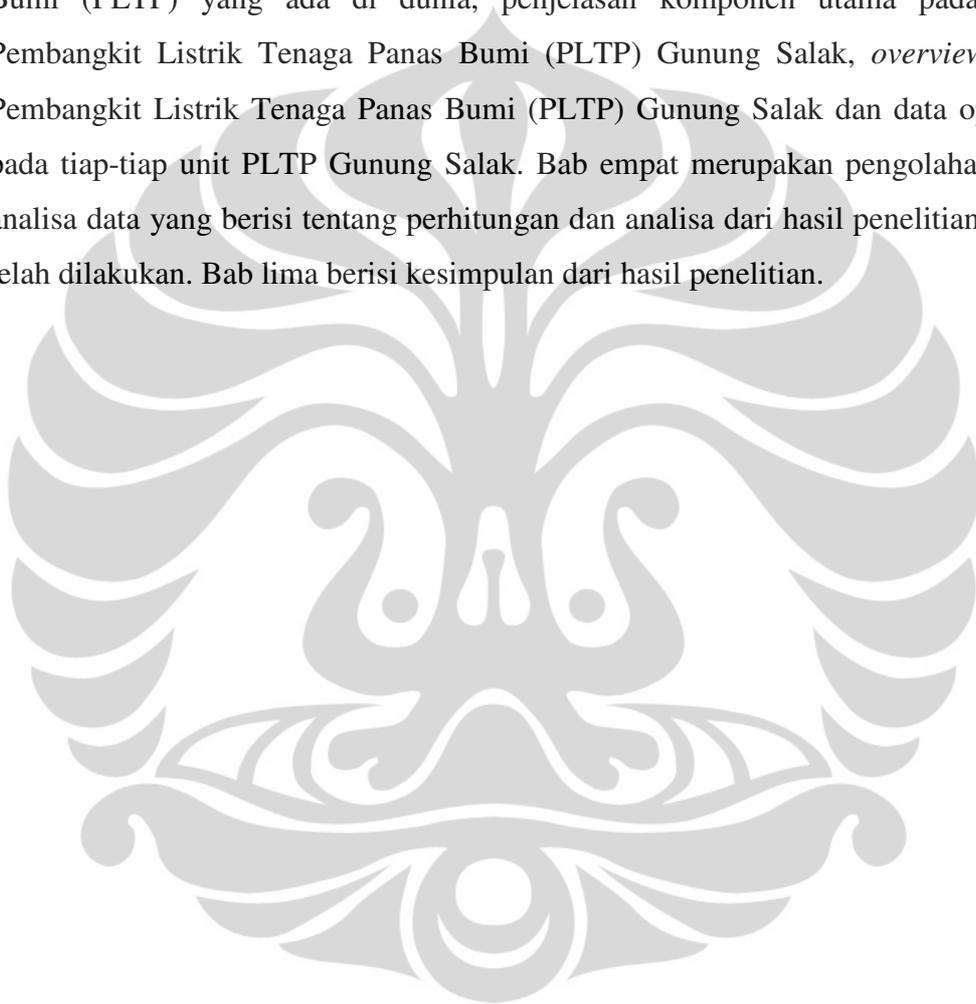
4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat berdasarkan dari hasil perhitungan atau pengolahan data dan analisa data dalam bentuk laporan.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini disusun dalam lima bab. Bab satu merupakan pendahuluan yang berisi tentang latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian, serta sistematika penulisan yang digunakan. Bab dua merupakan tinjauan pustaka yang berisi tentang teori pendukung yang berkaitan dengan penelitian. Teori yang digunakan pada bab ini adalah teori tentang prinsip-

prinsip yang digunakan pada pembangkit energi listrik (induksi elektromagnet, gaya gerak listrik, dan fluks magnetik), komponen utama pada generator sinkron, prinsip kerja generator sinkron beserta dengan cara pengontrolannya, sistem eksitasi (*excitation system*) pada generator dan tipe-tipe daya yang dihasilkan oleh generator. Bab tiga berisi tentang Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) secara umum, jenis-jenis sistem atau teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang ada di dunia, penjelasan komponen utama pada unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak, *overview* unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak dan data operasi pada tiap-tiap unit PLTP Gunung Salak. Bab empat merupakan pengolahan dan analisa data yang berisi tentang perhitungan dan analisa dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Bab lima berisi kesimpulan dari hasil penelitian.



BAB 2

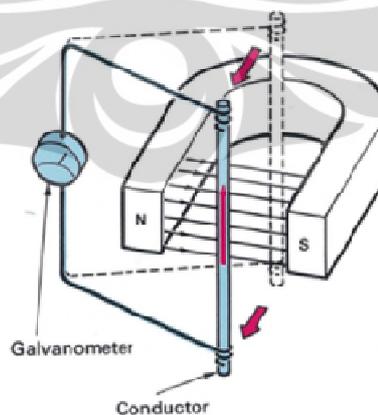
TEORI DASAR

Teori dasar yang melandasi penelitian laporan skripsi ini adalah teori dasar tentang prinsip-prinsip yang digunakan pada pembangkit energi listrik (induksi elektromagnet, gaya gerak listrik dan fluks magnetik), prinsip kerja generator sinkron beserta dengan cara pengontrolannya, sistem eksitasi (*excitation system*) pada generator dan tipe-tipe daya yang dihasilkan oleh generator.

2.1 Prinsip Pembangkit Energi Listrik

2.1.1 Induksi Elektromagnet

Induksi elektromagnet terjadi apabila sebuah penghantar bergerak melintasi garis-garis gaya magnet, maka pada penghantar tersebut akan mengalir arus listrik, apabila dipasang sebuah galvanometer dan penghantar digerakkan maju-mundur diantara kutub utara dan kutub selatan magnet, maka jarum galvanometer akan bergerak. Fenomena ini menyimpulkan bahwa arah gerakan jarum galvanometer akan bervariasi mengikuti arah gerakan penghantar atau magnet dan besarnya gerakan jarum galvanometer akan semakin besar sebanding dengan kecepatan gerakan penghantar. Penghantar dilewatkan melalui garis gaya magnet, maka dalam penghantar akan terbangkit gaya gerak listrik.



Gambar 2.1. Induksi elektromagnet

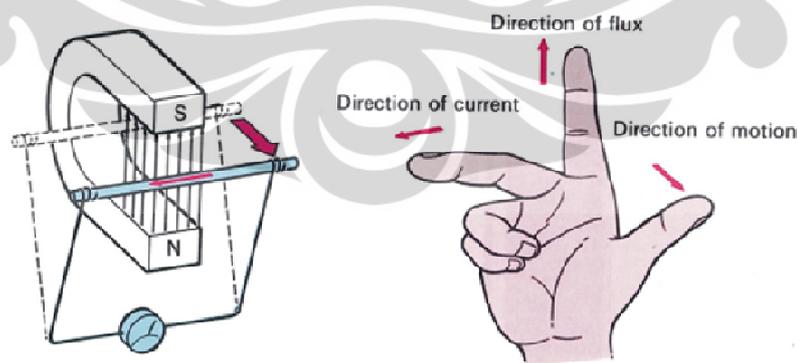
Peristiwa dihasilkannya arus listrik akibat adanya perubahan medan magnetik disebut dengan induksi elektromagnet, sedangkan arus yang dihasilkan dari induksi elektromagnetik dinamakan arus induksi. Penemuan ini dikenal dengan “*Hukum Faraday*”.

Bunyi dari Hukum Faraday:

1. *Jika sebuah penghantar memotong garis-garis gaya dari suatu medan magnetik (flux) yang konstan, maka pada penghantar tersebut akan timbul tegangan induksi.*
2. *Perubahan flux medan magnetik didalam suatu rangkaian bahan penghantar, akan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian tersebut.*

2.1.2 Gaya Gerak Listrik

Arah gaya gerak listrik yang terbangkit di dalam penghantar diantara medan magnet bervariasi mengikuti perubahan arah garis gaya magnet dan gerakan penghantar. Arah garis gaya magnet dapat dipahami dengan menggunakan hukum tangan kanan Fleming (*Fleming's Right-Hand Rule*), dalam kaidah ini digunakan ibu jari, jari telunjuk dan jari tengah tangan kanan dibuka dengan sudut yang tepat satu sama lain. Jari telunjuk akan menunjukkan arah gerakan penghantar dan jari tengah menunjukkan arah gaya gerak listrik.



Gambar 2.2. *Fleming's right-hand rule*

Besarnya gaya gerak listrik yang dibangkitkan pada saat penghantar memotong garis gaya magnet diantara medan magnet sebanding dengan banyaknya garis gaya magnet yang dipotong pada suatu satuan waktu dan gaya gerak listrik dalam satuan volt. Secara matematis dapat dituliskan:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.1)$$

Jika penghantar tersebut merupakan sebuah kumparan dengan N lilitan, maka besar ggl induksi yang terjadi adalah:

$$e = - N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.2)$$

dimana:

N = jumlah lilitan,

$\frac{d\Phi}{dt}$ = laju perubahan fluks magnetik (wb/s)

(-) = tanda negatif berarti sesuai dengan Hukum Lenz, yaitu "*ggl induksi selalu membangkitkan arus yang medan magnetiknya berlawanan dengan sumber perubahan fluks magnetik*".

2.1.3 Fluks Magnetik (Φ)

Fluks Magnetik (Φ) adalah kerapatan garis-garis gaya dalam medan magnet, artinya fluks magnetik yang berada pada permukaan yang lebih luas kerapatannya rendah dan kuat medan magnetik lebih lemah, sedangkan pada permukaan yang lebih sempit kerapatan fluks magnet akan kuat dan kuat medan magnetik lebih tinggi.

Satuan internasional dari besaran fluks magnetik diukur dalam Weber, disingkat Wb dan didefinisikan dengan "*suatu medan magnet serba sama mempunyai fluks magnetik sebesar 1 weber bila sebatang penghantar memotong garis-garis gaya magnetik selama satu detik akan menimbulkan gaya gerak listrik (ggl) sebesar satu volt*".

Persamaan fluks magnetik (Φ) adalah:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \theta \quad (2.3)$$

dimana:

Φ = fluks magnetik (Weber)

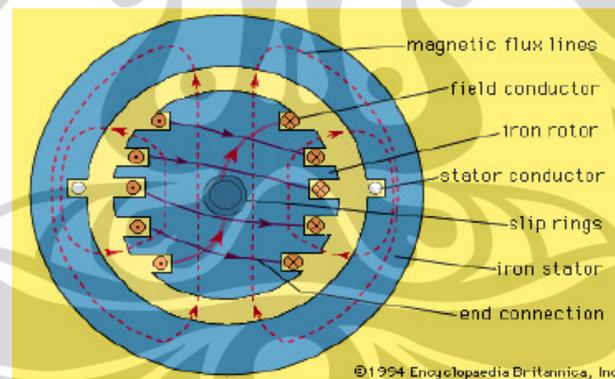
B = medan magnetik (Tesla)

A = luas penampang (m^2)

θ = sudut antara arah medan magnetik (B) dengan arah normal bidang (n)

2.2 Generator Sinkron

Generator sinkron merupakan sumber utama energi yang paling banyak dipakai di pembangkit-pembangkit (*power plant*) maupun di dunia industri dan pertambangan. Mesin ini merupakan konverter energi terbesar di dunia, yang prinsip kerjanya mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.



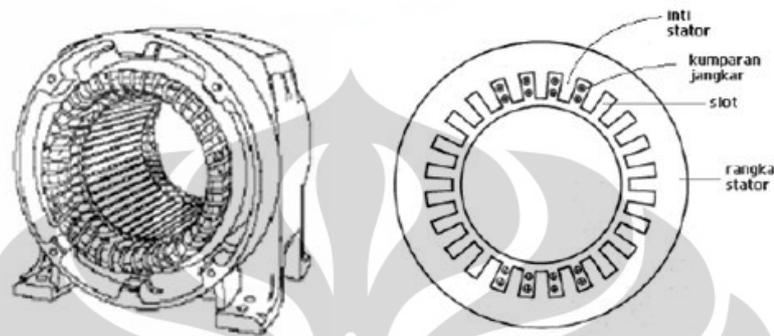
Gambar 2.3. Penampang melintang generator sinkron

Secara umum, konstruksi dari sebuah motor sinkron terdiri dari :

1. Stator adalah bagian dari motor yang diam,
2. Rotor adalah bagian dari motor yang berputar, dan
3. Celah udara adalah ruang antara stator dan rotor.

2.2.1 Stator

Stator merupakan bagian yang diam dan mempunyai alur atau slot memanjang yang didalamnya terdapat belitan yang disebut dengan belitan atau kumparan jangkar (*Armature Winding*).



Gambar 2.4. Penampang stator

Secara umum stator terdiri dari rangka stator (*stator frame*), inti stator (*stator core*), belitan atau kumparan stator (*stator winding*) dan slot.

2.2.1.1 Rangka Stator (*Stator Frame*)

Rangka stator berfungsi sebagai tempat melekatnya kumparan jangkar. Pada rangka stator terdapat lubang pendingin dimana udara dan gas pendingin disirkulasikan. Rangka stator biasanya dibuat dari besi campuran baja atau plat baja giling yang dibentuk sedemikian rupa sehingga diperoleh rangka yang sesuai dengan kebutuhan.

2.2.1.2 Inti Stator (*Stator Core*)

Inti stator melekat pada rangka stator dimana inti ini terbuat dari laminasi-laminasi besi khusus atau campuran baja. Hal ini dilakukan untuk memperkecil rugi arus *Eddy*. Tiap laminasi diberi isolasi dan diantaranya dibentuk celah sebagai tempat aliran udara.

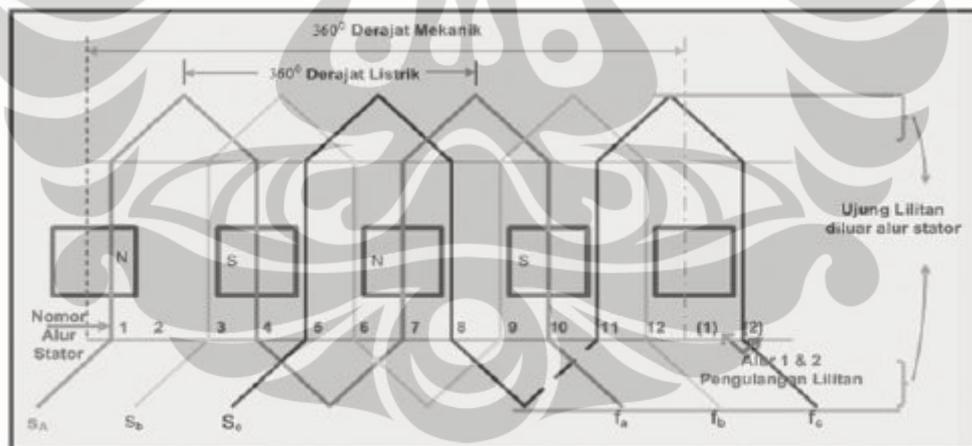
2.2.1.3 Belitan Stator (*Stator Winding*)

Belitan jangkar (stator) yang umum digunakan oleh mesin sinkron tiga fasa, ada dua tipe yaitu:

- **Belitan satu lapis (*Single Layer Winding*)**

Gambar 2.5. memperlihatkan belitan satu lapis karena hanya ada satu sisi lilitan di dalam masing - masing alur. Bila kumparan tiga fasa dimulai pada S_a , S_b , dan S_c dan berakhir di F_a , F_b , dan F_c bisa disatukan dalam dua cara, yaitu hubungan bintang dan segitiga. Antar kumparan fasa dipisahkan sebesar 120 derajat listrik atau 60 derajat mekanik, satu siklus ggl penuh akan dihasilkan bila rotor dengan 4 kutub berputar 180 derajat mekanis. Satu siklus ggl penuh menunjukkan 360 derajat listrik, adapun hubungan antara sudut rotor mekanis α_{mek} dan sudut listrik α_{lis} , adalah:

$$\alpha_{lis} = \frac{P}{2} \alpha_{mek} \quad (2.4)$$



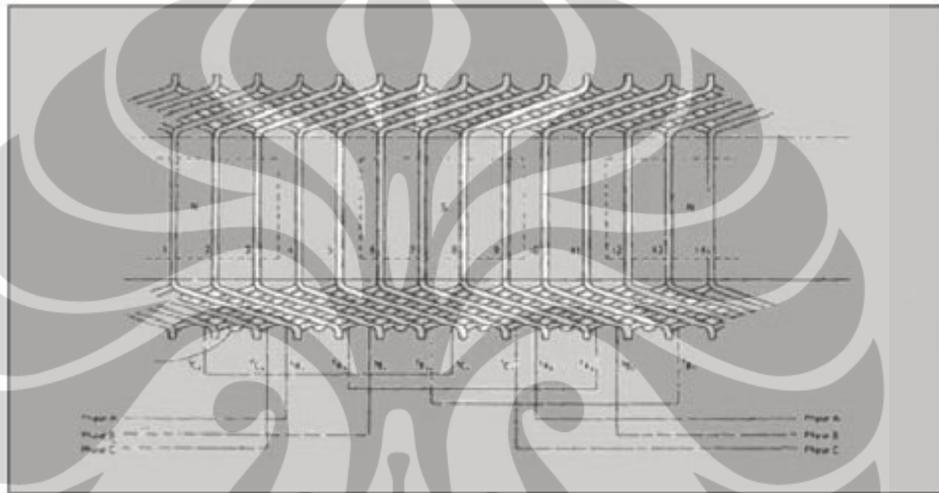
Gambar 2.5. Belitan satu lapis generator sinkron tiga fasa

- **Belitan berlapis ganda (*Double Layer Winding*)**

Kumparan jangkar yang diperlihatkan pada hanya mempunyai satu lilitan per kutub per fasa, akibatnya masing-masing kumparan hanya dua lilitan secara seri. Bila alur-alur tidak terlalu lebar, masing-masing penghantar yang berada dalam alur akan membangkitkan tegangan yang sama. Masing masing tegangan

phasa akan sama untuk menghasilkan tegangan per penghantar dan jumlah total dari penghantar per phasa.

Dalam kenyataannya cara seperti ini tidak menghasilkan cara yang efektif dalam penggunaan inti stator, karena variasi kerapatan fluks dalam inti dan juga melokalisir pengaruh panas dalam daerah alur dan menimbulkan harmonik. Untuk mengatasi masalah ini, generator praktisnya mempunyai kumparan terdistribusi dalam beberapa alur per kutub per phasa.



Gambar 2.6. Belitan berlapis ganda generator sinkron tiga fasa

Gambar 2.6. memperlihatkan bagian dari sebuah kumparan jangkar yang secara umum banyak digunakan. Pada masing masing alur ada dua sisi lilitan dan masing-masing lilitan memiliki lebih dari satu putaran. Bagian dari lilitan yang tidak terletak ke dalam alur biasanya disebut *winding overhang*, sehingga tidak ada tegangan dalam *winding overhang*.

2.2.1.4 Slot

Slot adalah tempat konduktor berada yang letaknya pada bagian dalam sepanjang keliling stator. Bentuk slot ada 3 jenis yaitu slot terbuka, slot setengah terbuka, dan slot tertutup.

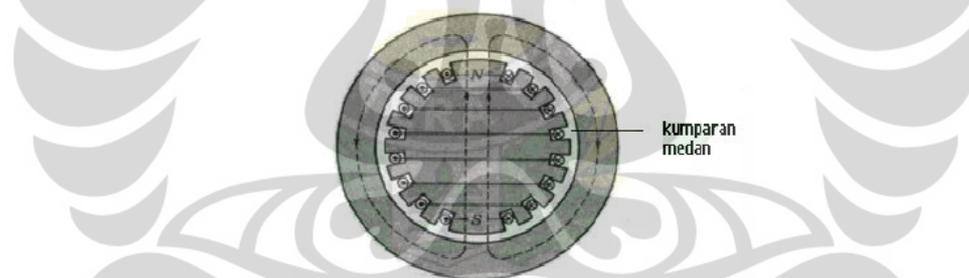
2.2.2 Rotor

Rotor berfungsi sebagai tempat belitan medan (eksitasi) yang membentuk kemagnetan listrik kutub utara selatan (*magnetic field*) pada inti rotor. Belitan medan tersebut dihubungkan dengan sumber eksitasi DC.

Berdasarkan bentuknya ada 2 jenis rotor pada generator sinkron yaitu kutub silinder dan kutub menonjol.

2.2.2.1 Rotor Kutub Silinder (*Non-Salient Pole Rotor*)

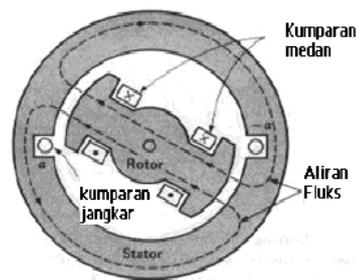
Rotor tipe ini dibuat dari plat baja berbentuk silinder yang mempunyai sejumlah slot sebagai tempat kumparan. Karena adanya slot-slot dan kumparan medan yang terletak pada rotor mengakibatkan jumlah kutub sedikit. Selain itu motor ini memiliki putaran yang tinggi pada frekuensi yang konstan. Tipe rotor biasanya berdiameter kecil dan sumbunya sangat panjang. Konstruksinya memberikan keseimbangan mekanis yang lebih baik karena rugi-rugi anginnya lebih kecil dibandingkan rotor kutub menonjol.



Gambar 2.7. Penampang rotor kutub silinder (*non-salient pole rotor*)

2.2.2.2 Rotor Kutub Menonjol (*Salient Pole Rotor*)

Rotor tipe ini mempunyai kutub yang jumlahnya banyak dan putarannya rendah. Kutub menonjol ditandai dengan rotor berdiameter besar dan panjang sumbunya pendek. Kumparan dibelitkan pada tangkai kutub, dimana kutub-kutub diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus *Eddy*.



Gambar 2.8. Penampang rotor kutub menonjol (*salient pole rotor*)

2.3 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Jika kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak di antara kutub magnet utara dan selatan diputar oleh *prime mover*, maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet atau fluks yang bersifat bolak-balik atau fluks putar. Fluks putar ini akan memotong-motong kumparan stator sehingga pada ujung-ujung kumparan stator timbul gaya gerak listrik karena pengaruh induksi dari fluks putar tersebut. Gaya gerak listrik (ggl) yang timbul pada kumparan stator juga bersifat bolak-balik, atau berputar dengan kecepatan sinkron terhadap kecepatan putar rotor.

Frekuensi listrik yang dihasilkan generator sinkron adalah sinkron dengan kecepatan putar generator. Rotor generator sinkron terdiri atas rangkaian elektromagnet dengan suplai arus DC. Medan magnet rotor bergerak pada arah putaran rotor. Hubungan antara kecepatan putar medan magnet pada mesin dengan frekuensi listrik pada stator adalah:

$$f = \frac{n}{60} \times \frac{p}{2} \quad (2.5)$$

$$f = \frac{nP}{60} \quad (2.6)$$

dimana:

f = frekuensi listrik (Hz)

n = kecepatan putar rotor (rpm)

p = jumlah kutub magnet

$P = \frac{p}{2}$ = jumlah pasang kutub

Oleh karena rotor berputar pada kecepatan yang sama dengan medan magnet, persamaan diatas juga menunjukkan hubungan antara kecepatan putar rotor dengan frekuensi listrik yang dihasilkan. Agar daya listrik dibangkitkan tetap pada frekuensi 50Hz atau 60 Hz, maka generator harus berputar pada kecepatan tetap dengan jumlah kutub mesin yang telah ditentukan. Sebagai contoh untuk membangkitkan 60 Hz pada mesin dua kutub, rotor harus berputar dengan kecepatan 3600 rpm. Untuk membangkitkan daya 50 Hz pada mesin empat kutub, rotor harus berputar pada 1500 rpm.

2.3.1 Generator Sinkron Tanpa Beban

Dengan memutar generator sinkron diputar pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan (I_f), maka tegangan (E_o) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator. Bentuk hubungannya diperlihatkan pada persamaan berikut.

$$E_o = c. n. \Phi \quad (2.7)$$

dimana :

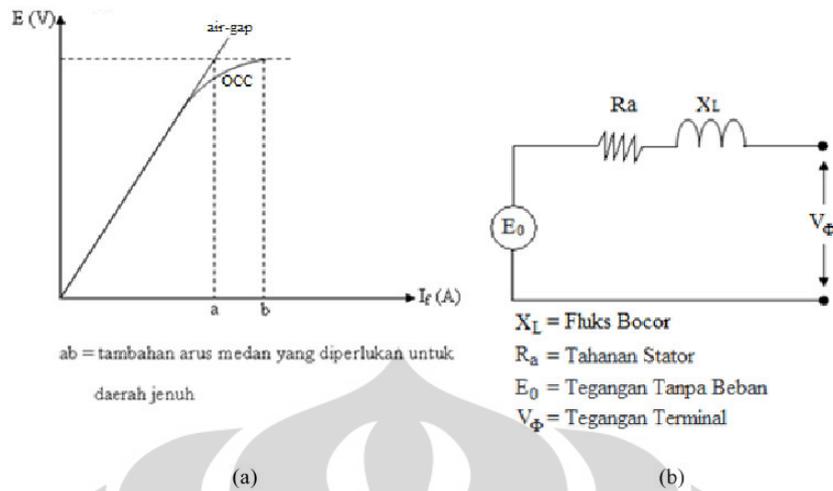
c = konstanta mesin

n = putaran sinkron

Φ = fluks yang dihasilkan oleh I_f

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, karenanya tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan (I_f). Apabila arus medan (I_f) diubah-ubah harganya, akan diperoleh harga E_o seperti yang terlihat pada kurva sebagai berikut.

Bila besarnya arus medan dinaikkan, maka tegangan output juga akan naik sampai titik saturasi (jenuh) seperti diperlihatkan pada gambar 2.9. berikut:



Gambar 2.9. (a). Kurva karakteristik generator sinkron tanpa beban
 (b). Rangkaian ekivalen generator sinkron tanpa beban

Persamaan umum generator adalah :

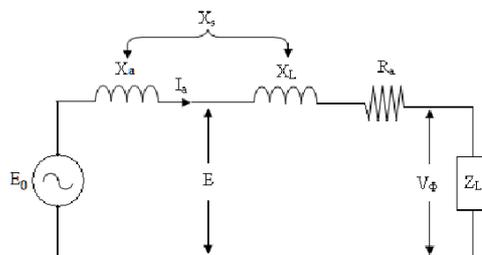
$$E_0 = V_\phi + I_a (R_a + jX_s) \tag{2.8}$$

2.3.2 Generator Sinkron Berbeban

Bila generator diberi beban yang berubah-ubah maka besarnya tegangan terminal V_t akan berubah-ubah pula. Hal ini disebabkan adanya :

1. Jatuh tegangan karena resistansi jangkar (R_a)
2. Jatuh tegangan karena reaktansi bocor jangkar (X_L)
3. Jatuh tegangan karena reaksi jangkar

Gambar rangkaian dan karakteristik generator sinkron berbeban diperlihatkan pada gambar 2.10. berikut ini.



Gambar 2.10. Rangkaian generator sinkron berbeban

Persamaan tegangan pada generator berbeban adalah:

$$E_a = V_\phi + I_a R_a + j I_a X_s \quad (2.9)$$

$$X_s = X_L + X_a \quad (2.10)$$

dimana:

E_a = tegangan induksi pada jangkar per fasa (Volt)

V_ϕ = tegangan terminal output per fasa (Volt)

R_a = resistansi jangkar per fasa (ohm)

X_s = reaktansi sinkron per fasa (ohm)

X_L = reaktansi bocor per fasa (ohm)

X_a = reaktansi reaksi jangkar per fasa (ohm)

2.3.2.1 Resistansi Jangkar

Resistansi jangkar per fasa R_a yang dialiri oleh arus jangkar I_a menyebabkan terjadinya tegangan jatuh per fasa $I_a R_a$ yang sefasa dengan arus jangkar I_a . Akan tetapi, pada praktiknya jatuh tegangan ini diabaikan karena sangat kecil.

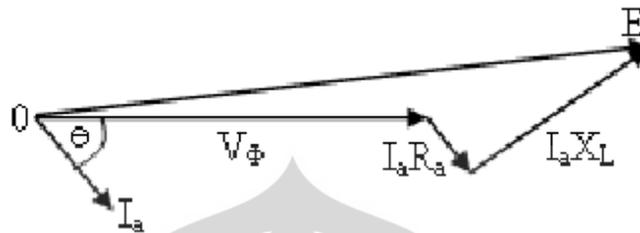
2.3.2.2 Reaktansi Bocor Jangkar

Saat arus mengalir melalui penghantar jangkar, sebagian fluks yang terjadi tidak memotong *air-gap*, melainkan mengambil jalur yang lain dan menghubungkan sisi-sisi kumparan. Fluks-fluks tersebut dinamakan fluks bocor (*leakage fluxes*). Fluks bocor tersebut bergerak dengan arus jangkar dan memberikan induktansi diri (*self-inductance*) belitan yang disebut dengan reaktansi bocor jangkar (X_L). Oleh karena itu, fluks bocor ini akan menimbulkan jatuh tegangan akibat reaktansi bocor (X_L) yang sama dengan $I_a X_L$. Dimana, jatuh tegangan ini juga dapat mengurangi tegangan terminal (V_ϕ). Jadi, akan diperoleh persamaan :

$$E = V_\phi + I_a (R_a + jX_L) \quad (2.11)$$

$$V_\phi = E - I_a (R_a + jX_L) \quad (2.12)$$

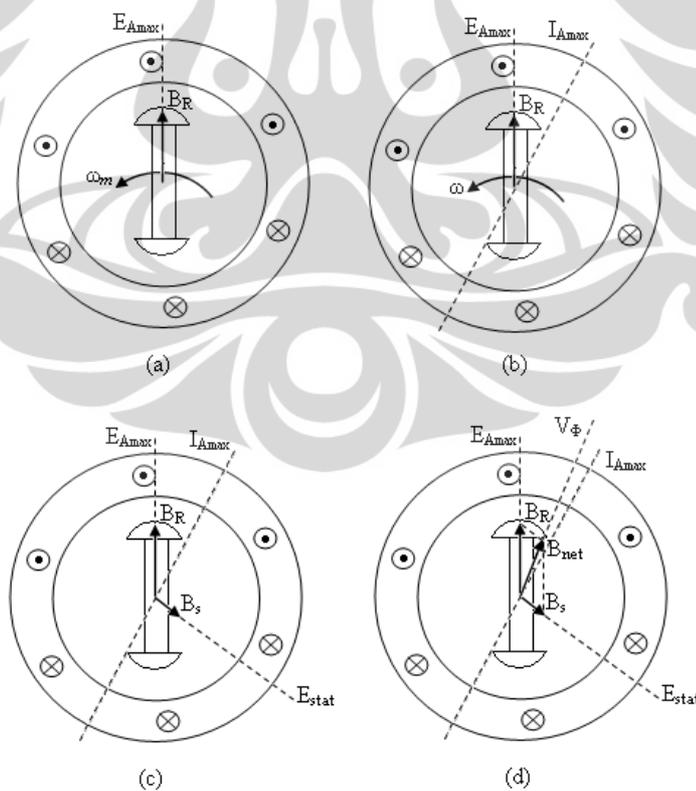
Gambar 2.11. berikut akan memperlihatkan diagram fasor dari pengaruh reaktansi bocor jangkar (X_L) terhadap tegangan terminal (V_ϕ).



Gambar 2.11. Diagram fasor pengaruh X_L terhadap V_ϕ (beban induktif)

2.3.2.3 Reaksi Jangkar

Seperti pada generator dc, reaksi jangkar adalah pengaruh dari fluksi jangkar pada fluksi medan utama. Dalam kasus alternator, faktor daya dari beban memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap reaksi jangkar. Gambar 2.12. berikut akan memperlihatkan model reaksi jangkar pada generator sinkron.



Gambar 2.12. Model reaksi jangkar generator sinkron

Dimana :

- Gambar 2.12. (a). menunjukkan suatu medan magnet yang berputar menghasilkan tegangan induksi E_A tidak timbul arus jangkar karena tidak ada beban yang terhubung dan $E_A = V_\phi$
- Gambar 2.12. (b). memperlihatkan ketika beban induktif (*lagging*) dihubungkan pada terminal jangkar, arus jangkar (I_A) mengalir.
- Gambar 2.12. (c). arus jangkar menghasilkan medan magnet B_s yang kemudian menghasilkan tegangan E_{stat} pada belitan stator.
- Gambar 2.12. (d). medan magnet stator B_s menambah B_R menjadi B_{net} . Tegangan E_{stat} menambah E_A menghasilkan V_ϕ pada terminal outputnya.

2.4 Pengontrolan Generator

AVR (Automatic Voltage Generator) fungsinya untuk menjaga tegangan yang dihasilkan generator tetap konstan. Tegangan yang diatur adalah ketika tegangan pada beban nol sampai tegangan pada beban penuh dimana untuk menjaga eksitasi dan putarannya tetap. Pengaturan dilakukan dengan cara membandingkan tegangan dari generator dan tegangan dari sistem.

Voltage regulator memvariasikan tahanan pada *field winding circuit* untuk mempertahankan agar *terminal voltage* konstan secara otomatis. Bila beban dihubungkan dengan generator, maka akan terjadi penurunan tegangan. Hasilnya, tegangan *output* generator akan jatuh.

Field output terminal merupakan *connection point* untuk *exciter field*. *Regulator power stage* harus dapat memasok tegangan yang cukup ke *field*. *Power stage* harus mempunyai *current rating* yang cukup untuk *field resistance* pada *exciter*.

AVR (Automatic Voltage Generator) terdiri dari 3 bagian utama, yaitu:

1. Komponen untuk memonitor tegangan *output* dari generator.
2. Komponen untuk menentukan tegangan *set point*.
3. Komponen untuk membandingkan tegangan *output* generator dan *set point* sehingga menghasilkan *error signal*.

Tiga keadaan *AVR (Automatic Voltage Generator)*, yaitu:

1. Jika tegangan *output* tinggi maka *error signal* akan (+) sehingga *AVR* akan memberikan perintah untuk mengurangi arus eksitasi.
2. Jika tegangan cocok dengan harga *set point* (0) maka *AVR* tidak akan memberikan perintah apapun.
3. Jika tegangan *output* rendah maka *error signal* akan (-) sehingga *AVR* akan memberikan perintah agar menambahkan arus eksitasi.

2.5 Sistem Eksitasi (*Excitation System*) pada Generator

Sistem eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator listrik atau sebagai pembangkit medan magnet, sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasinya.

Sistem ini merupakan sistem yang vital pada proses pembangkitan listrik dan pada perkembangannya, sistem eksitasi pada generator listrik ini dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu:

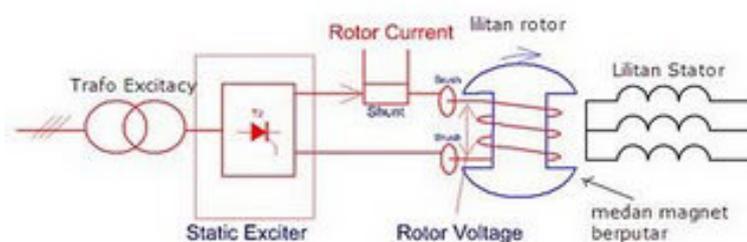
- Sistem Eksitasi dengan menggunakan sikat (*brush excitation*) dan
- Sistem Eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*).

2.5.1 Sistem Eksitasi dengan Sikat (*Brush Excitation*)

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 *PMG (Permanent Magnet Generator)*, medan magnetnya adalah magnet *permanent*. Dalam lemari penyearah, tegangan listrik arus bolak balik 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, demikian juga penyaluran arus yang berasal dari *pilot exciter* ke *main exciter*.



Gambar 2.13. Sistem eksitasi dengan sikat (*brush excitation*)

2.5.1.1 Prinsip Kerja pada Sistem Eksitasi dengan Sikat (*Brush Excitation*)

Generator penguat yang pertama, adalah generator arus searah hubungan *shunt* yang menghasilkan arus penguat bagi generator penguat kedua. Generator penguat (*exciter*) untuk generator sinkron merupakan generator utama yang diambil dayanya.

Pengaturan tegangan pada generator utama dilakukan dengan mengatur besarnya arus eksitasi (arus penguatan) dengan cara mengatur potensiometer atau tahanan asut. Potensiometer atau tahanan asut mengatur arus penguat generator pertama dan generator penguat kedua menghasilkan arus penguat generator utama. Dengan cara ini arus penguat yang diatur tidak terlalu besar nilainya (dibandingkan dengan arus generator penguat kedua) sehingga kerugian daya pada potensiometer tidak terlalu besar. *PMT* arus penguat generator utama dilengkapi tahanan yang menampung energi medan magnet generator utama karena jika dilakukan pemutusan arus penguat generator utama harus dibuang ke dalam tahanan.

Sekarang ini sudah banyak generator arus bolak-balik yang dilengkapi dengan penyearah. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan arus searah yang dapat digunakan bagi penguatan generator utama, sehingga penyaluran arus searah bagi penguatan generator utama oleh generator penguat kedua tidak memerlukan cincin geser karena penyearah ikut berputar bersama poros generator. Cincin geser digunakan untuk menyalurkan arus dari generator penguat pertama ke medan penguat generator penguat kedua. Nilai arus penguatan kecil sehingga penggunaan cincin geser tidak menimbulkan masalah.

Pengaturan besarnya arus penguatan generator utama dilakukan dengan pengatur tegangan otomatis supaya nilai tegangan klem generator konstan.

Pengaturan tegangan otomatis pada awalnya berdasarkan prinsip mekanis, tetapi sekarang sudah menjadi elektronik.

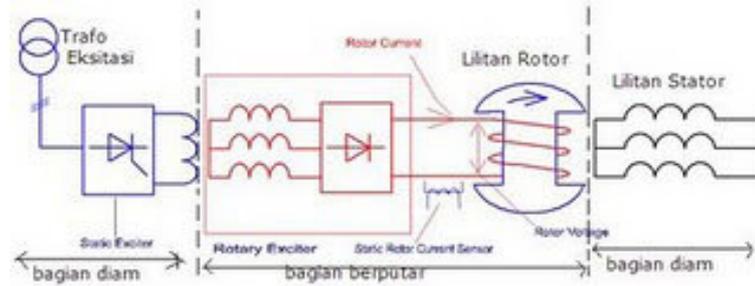
Perkembangan sistem eksitasi pada generator sinkron dengan sistem eksitasi tanpa sikat lebih banyak digunakan pada pembangkit-pembangkit listrik di Indonesia, karena jika menggunakan sikat dapat menimbulkan loncatan api pada putaran tinggi. Untuk menghilangkan sikat maka digunakan diode berputar yang dipasang pada jangkar. Berikut penjelasan beserta gambar (gambar 2.14.) sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat.

2.5.2 Sistem Eksitasi tanpa Sikat (*Brushless Excitation*)

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*).

Keuntungan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (*brushless excitation*), antara lain adalah:

- Energi yang diperlukan untuk eksitasi diperoleh dari poros utama (*main shaft*), sehingga keandalannya tinggi.
- Biaya perawatan berkurang karena pada sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*) tidak terdapat sikat, komutator dan *slip ring*.
- Pada sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*) tidak terjadi kerusakan isolasi karena melekatnya debu karbon pada *farnish* akibat sikat arang.
- Mengurangi kerusakan (*trouble*) akibat udara buruk (*bad atmosfere*) sebab semua peralatan ditempatkan pada ruang tertutup.
- Selama operasi tidak diperlukan pengganti sikat, sehingga meningkatkan keandalan operasi yang dapat berlangsung terus pada waktu yang lama.
- Pemutus medan generator (*generator field breaker*), *field generator* dan *bus exciter* atau kabel tidak diperlukan lagi.
- Biaya pondasi berkurang, sebab saluran udara dan *bus exciter* atau kabel tidak memerlukan pondasi.



Gambar 2.14. Sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*)

Keterangan gambar:

- ME : *Main Exciter*
- MG : *Main Generator*
- PE : *Pilot Exciter*
- AVR : *Automatic Voltage Regulator*
- V : Tegangan Generator
- AC : *Alternating Current* (arus bolak balik)
- DC : *Direct Current* (arus searah)

2.5.2.1 Prinsip Kerja pada Sistem Eksitasi tanpa Sikat (*Brushless Excitation*)

Generator penguat pertama disebut *pilot exciter* dan generator penguat kedua disebut *main exciter* (penguat utama). *Main exciter* adalah generator arus bolak-balik dengan kutub pada statornya. Rotor menghasilkan arus bolak-balik yang kemudian disearahkan dengan diode yang berputar pada poros *main exciter* (satu poros dengan generator utama). Arus searah yang dihasilkan oleh diode berputar menjadi arus penguat generator utama. *Pilot exciter* pada generator arus bolak-balik dengan rotor berupa kutub magnet permanen yang berputar menginduksi pada lilitan stator. Tegangan bolak-balik disearahkan oleh penyearah diode dan menghasilkan arus searah yang dialirkan ke kutub-kutub magnet yang ada pada stator *main exciter*. Besar arus searah yang mengalir ke kutub *main exciter* diatur oleh pengatur tegangan otomatis (*Automatic Voltage Regulator* atau AVR).

Besarnya arus tersebut berpengaruh pada besarnya arus yang dihasilkan *main exciter*, maka besarnya arus *main exciter* juga mempengaruhi besarnya tegangan yang dihasilkan oleh generator utama.

Pada sistem eksitasi tanpa sikat, permasalahan timbul jika terjadi hubung singkat atau gangguan hubung tanah di rotor. Selain itu permasalahan lainnya yang timbul adalah jika ada sekering lebur dari diode berputar yang putus, hal ini harus dapat dideteksi. Gangguan pada rotor yang berputar dapat menimbulkan distorsi medan magnet pada generator utama dan dapat menimbulkan vibrasi (getaran) berlebihan pada unit pembangkit.

2.6 Daya Aktif (P), Reaktif (Q) dan Semu (S)

2.6.1 Pengertian Daya

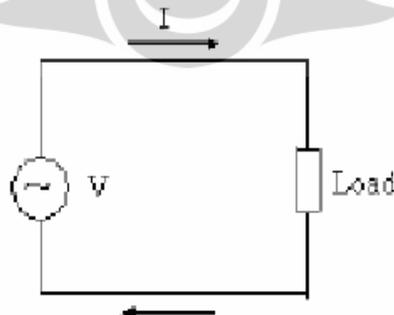
Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau *Horsepower* (HP), *Horsepower* merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP setara 746 Watt atau *lbf/second*. Sedangkan Watt merupakan unit daya listrik dimana 1 Watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 Ampere dan tegangan 1 Volt.

Daya dinyatakan dalam P, Tegangan dinyatakan dalam V dan Arus dinyatakan dalam I, sehingga besarnya daya dinyatakan:

$$P = V \times I \quad (2.13)$$

$$P = \text{Volt} \times \text{Ampere} \times \text{Cos } \phi$$

$$P = \text{Watt}$$



Gambar 2.15. Arah aliran arus listrik

2.6.2 Daya Aktif

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Misalnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain - lain.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.14)$$

$$P = 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja.

2.6.3 Daya Reaktif

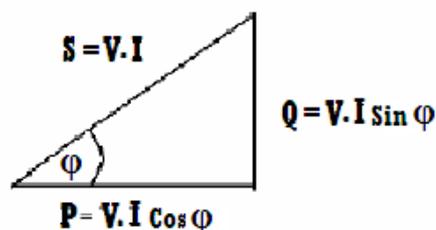
Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain -lain. Satuan daya reaktif adalah VAR.

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.15)$$

$$Q = 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi$$

2.6.4 Daya Semu

Daya semu (*Apparent Power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Satuan daya nyata adalah VA (Volt Ampere).



Gambar 2.16. Penjumlahan trigonometri daya aktif (P), reaktif (Q) dan semu (S)

$$S = P + jQ, \text{ mempunyai nilai atau besar dan sudut} \quad (2.16)$$

$$S = S \angle \varphi \quad (2.17)$$

$$S = \sqrt{P^2 + \sqrt{Q^2}} \angle \varphi \quad (2.18)$$

Dari gambar 2.14. terlihat bahwa:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ (Persamaan 2.13)}$$

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ (Persamaan 2.14)}$$

maka:

$$S_{1\varphi} = V \cdot I \cdot \cos \varphi + j V \cdot I \cdot \sin \varphi$$

$$S_{1\varphi} = V \cdot I \cdot (\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

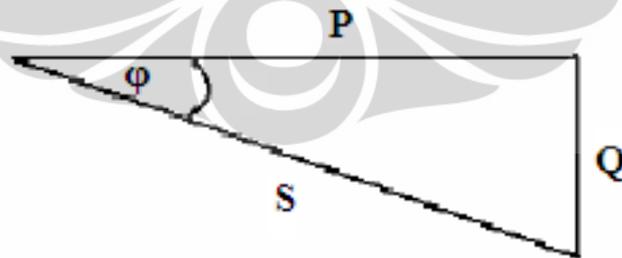
$$S_{1\varphi} = V \cdot I \cdot e^{j\varphi}$$

$$S_{1\varphi} = V \cdot I \angle \varphi$$

$$S_{1\varphi} = V \cdot I^* \quad (2.19)$$

2.6.5. Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe-tipe daya yang berbeda (*Apparent Power*, *Active Power* dan *Reactive Power*) berdasarkan prinsip trigonometri.



Gambar 2.17. Diagram faktor daya ($\cos \varphi$)

Pada gambar 2.17 berlaku hubungan :

$$S = \sqrt{P^2 + \sqrt{Q^2} \angle \varphi}$$

$$P = S / \text{Cos } \varphi \quad (2.20)$$

$$Q = S / \text{Sin } \varphi \quad (2.21)$$

2.6.6 Faktor Daya

Faktor daya ($\text{Cos } \varphi$) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya nyata (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\text{cos } \varphi$.

$$\begin{aligned} \text{Faktor Daya} &= \text{Daya Aktif (P)} / \text{Daya Semu (S)} \\ &= \text{kW} / \text{kVA} \\ &= V \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi / V \cdot I \\ &= \text{Cos } \varphi \end{aligned} \quad (2.22)$$

Faktor daya mempunyai nilai range antara 0 –1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen. Faktor daya yang bagus apabila bernilai mendekati satu.

$$\text{Tan } \varphi = \text{Daya Reaktif (Q)} / \text{Daya Aktif (P)} = \text{kVAR} / \text{kW} \quad (2.23)$$

karena komponen daya aktif umumnya konstan (komponen kVA dan kVAR berubah sesuai dengan faktor daya), maka dapat ditulis seperti berikut:

$$\text{Daya Reaktif (Q)} = \text{Daya Aktif (P)} \times \text{Tan } \varphi \quad (2.24)$$

sebuah contoh, rating kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya sebagai berikut:

$$\text{Daya Reaktif pada } pf \text{ awal} = \text{Daya Aktif (P)} \times \text{Tan } \varphi_1 \quad (2.25)$$

$$\text{Daya Reaktif pada } pf \text{ diperbaiki} = \text{Daya Aktif (P)} \times \text{Tan } \varphi_2 \quad (2.26)$$

sehingga rating kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya adalah:

$$\text{Daya Reaktif (kVAR)} = \text{Daya Aktif (kW)} \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (2.27)$$

Beberapa keuntungan meningkatkan faktor daya:

- Tagihan listrik akan menjadi kecil (PLN akan memberikan denda jika pf lebih kecil dari 0,85),
- Kapasitas distribusi sistem tenaga listrik akan meningkat,
- Mengurangi rugi – rugi daya pada sistem dan
- Adanya peningkatan tegangan karena daya meningkat.

Jika pf lebih kecil dari 0,85 maka kapasitas daya aktif (kW) yang digunakan akan berkurang. Kapasitas itu akan terus menurun seiring dengan menurunnya pf sistem kelistrikan. Akibat menurunnya pf maka akan timbul beberapa persoalan diantaranya:

- Membesarnya penggunaan daya listrik kWh karena rugi – rugi,
- Membesarnya penggunaan daya listrik kVAR dan
- Mutu listrik menjadi rendah karena jatuh tegangan (*voltage drops*).

Beberapa strategi untuk koreksi faktor daya adalah:

- Meminimalkan operasi dari beban motor yang ringan atau tidak bekerja,
- Menghindari operasi dari peralatan listrik diatas tegangan rata – ratanya,
- Mengganti motor – motor yang sudah tua dengan energi efisien motor. Meskipun dengan energi efisien motor, bagaimanapun faktor daya dipengaruhi oleh beban yang variasi. Motor ini harus dioperasikan sesuai dengan kapasitas rata –ratanya untuk memperoleh faktor daya tinggi dan
- Memasang kapasitor pada jaringan AC untuk menurunkan medan dari daya reaktif.

Selain itu, pemasangan kapasitor dapat menghindari:

- Trafo kelebihan beban (*overload*), sehingga memberikan tambahan daya yang tersedia,
- *Voltage drops* pada *line ends* dan
- Kenaikan arus atau suhu pada kabel, sehingga mengurangi rugi – rugi.

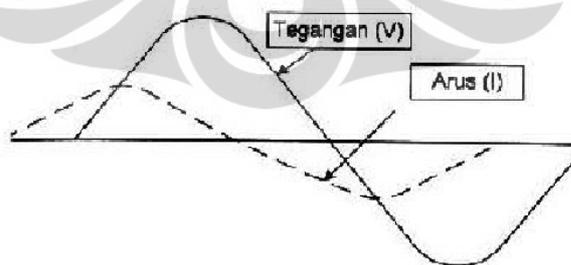
Untuk pemasangan *Capasitor Bank* diperlukan:

- Kapasitor, dengan jenis yang cocok dengan kondisi jaringan,
- Regulator, dengan pengaturan daya tumpuk kapasitor (*Capasitor Bank*) otomatis,
- Kontaktor, untuk *switching* kapasitor dan
- Pemutus tenaga, untuk proteksi tumpuk kapasitor.

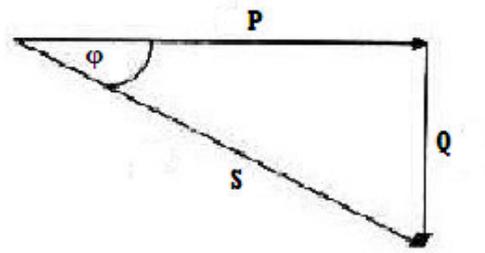
Faktor daya terdiri dari dua sifat yaitu faktor daya “*leading*” dan faktor daya “*lagging*”. Faktor daya ini memiliki karakteristik seperti berikut:

2.6.6.1 Faktor Daya “*Leading*”

Apabila arus mendahului tegangan, maka faktor daya ini dikatakan “*leading*”. Faktor daya *leading* ini terjadi apabila bebannya kapasitif, seperti *capacitor*, *synchronocus generators*, *synchronocus motors* dan *synchronocus condensor*.



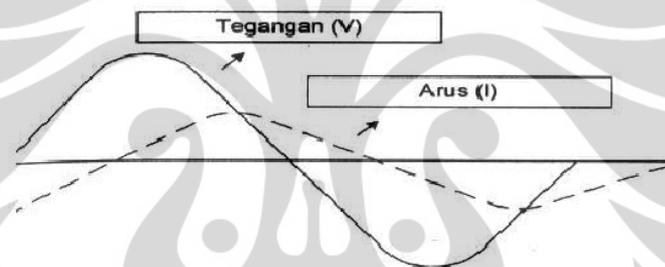
Gambar 2.18. Faktor daya *leading*



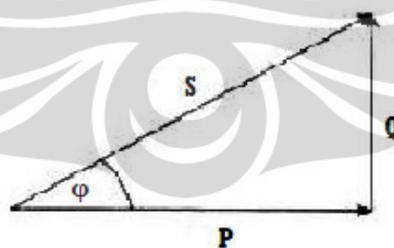
Gambar 2.19. Segitiga daya untuk beban kapasitif

2.6.6.2 Faktor Daya “Lagging”

Apabila tegangan mendahului arus, maka faktor daya ini dikatakan “lagging”. Faktor daya lagging ini terjadi apabila bebannya induktif, seperti motor induksi, AC dan transformator.



Gambar 2.20. Faktor daya lagging



Gambar 2.21. Segitiga daya untuk beban induktif

BAB III

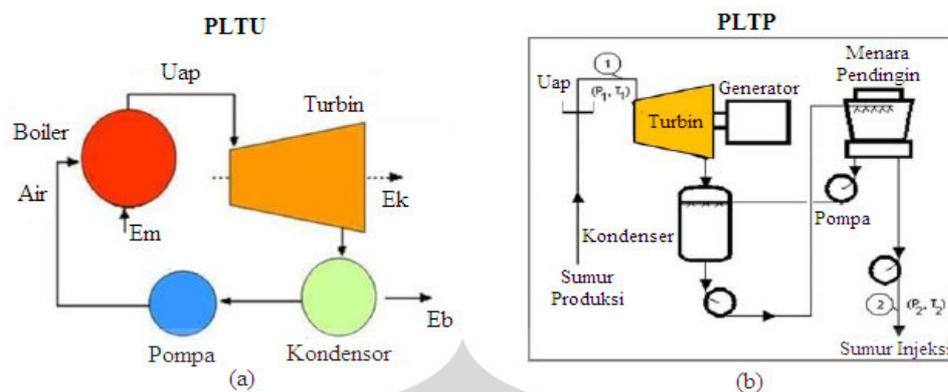
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI (PLTP) DAN DATA OPERASI UNIT PLTP GUNUNG SALAK

Pada bab ini membahas mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) secara umum, jenis-jenis sistem atau teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang ada di dunia, penjelasan komponen utama pada unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak, *overview* unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak, proses kerja pembangkitan PLTP dan data operasi pada tiap-tiap unit PLTP Gunung Salak.

3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Fluida panas bumi yang telah dikeluarkan ke permukaan bumi mengandung energi panas yang akan dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Hal ini dimungkinkan oleh suatu sistem konversi energi fluida panas bumi (*geothermal power cycle*) yang mengubah energi panas dari fluida menjadi energi listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) pada prinsipnya sama seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), hanya pada PLTU uap dibuat di permukaan menggunakan boiler, sedangkan pada PLTP uap berasal dari *reservoir* panas bumi. Apabila fluida di kepala sumur berupa fasa uap, maka uap tersebut dapat dialirkan langsung ke turbin, dan kemudian turbin akan mengubah energi panas bumi menjadi energi gerak yang akan memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik. Apabila fluida panas bumi keluar dari kepala sumur sebagai campuran fluida dua fasa (fasa uap dan fasa cair) maka terlebih dahulu dilakukan proses pemisahan pada fluida. Hal ini dimungkinkan dengan melewatkan fluida ke dalam separator, sehingga fasa uap akan terpisahkan dari fasa cairnya. Fraksi uap yang dihasilkan dari separator inilah yang kemudian dialirkan ke turbin.



Gambar 3.1 (a). Skema Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan
(b). Skema Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

3.2 Jenis-jenis Sistem atau Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

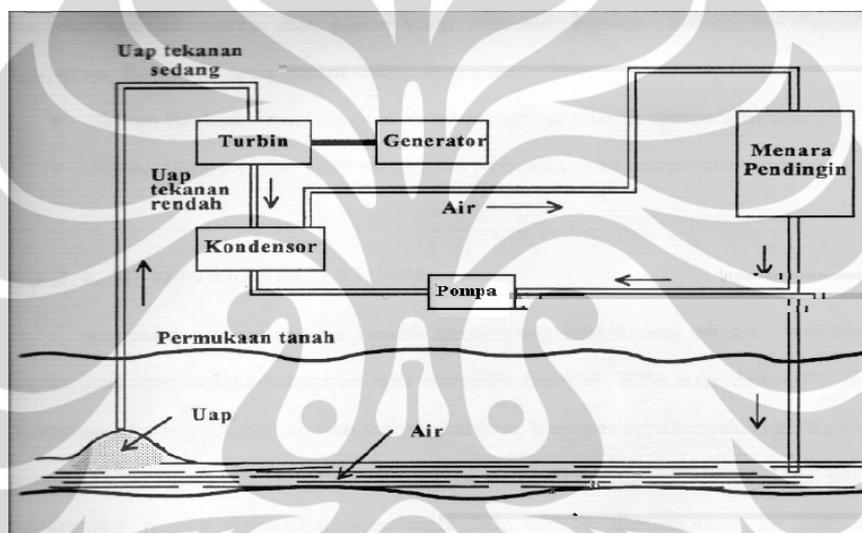
Banyak sistem pembangkitan listrik dari fluida panas bumi yang telah diterapkan di lapangan. Tetapi secara umum ada tiga macam sistem atau teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang biasa digunakan yaitu *dry steam*, *flash steam*, dan *binary cycle*. Selain ketiga macam teknologi yang telah disebutkan, terdapat pula satu metode yang dapat juga dijadikan sebagai sistem atau teknologi pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), yaitu metode dengan menggunakan batuan panas. Untuk lebih jelasnya akan dibahas secara lengkap dibawah ini.

3.2.1 Sistem Uap Kering (*Dry Steam System*)

Prinsip atau cara kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) sistem *dry steam* adalah dengan mengambil sumber uap panas dari bawah permukaan. Sistem ini dipakai jika fluida yang dikeluarkan melalui sumur produksi berupa fasa uap. Uap tersebut akan langsung dimanfaatkan untuk memutar turbin dan kemudian turbin akan mengubah energi panas bumi menjadi energi gerak yang akan memutar generator untuk menghasilkan energi listrik.

Berikut adalah syarat-syarat yang harus dimiliki pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) dengan sistem *dry steam*, yaitu:

1. Mempunyai suhu yang relatif tinggi ($> 230\text{ }^{\circ}\text{C}$),
2. Memiliki tekanan uap yang cukup besar ($> 3,5\text{ atm}$),
3. Memiliki volume uap yang cukup banyak (10 ton/jam atau setara 1000 kW),
4. Letaknya tidak terlalu dalam dari permukaan bumi (maksimum 2500 meter), dan
5. Fluidanya tidak bersifat korosif.



Gambar 3.2 Skema PLTP dengan sistem uap kering (*dry steam system*)

3.2.2 Sistem Uap Basah (*Flash Steam System*)

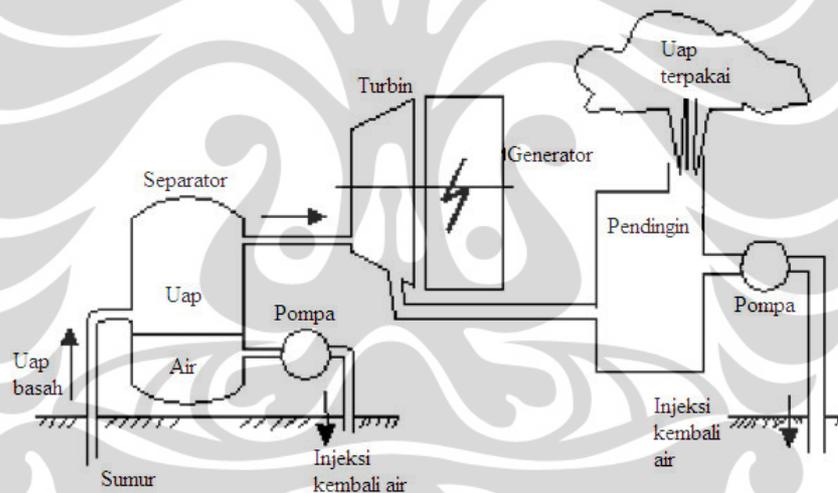
Keadaan yang ideal, mudah dan menguntungkan untuk memanfaatkan sumber daya panas bumi adalah bila energi yang keluar dari perut bumi itu langsung berbentuk uap kering. Jenis uap yang demikian jarang ditemukan. Biasanya uap itu akan berupa uap basah, yang mengandung sejumlah air, dimana uap basah tersebut harus dipisahkan terlebih dahulu sebelum uap tersebut dapat dipakai dalam turbin.

Yang terbanyak didapat adalah air panas bertekanan, yang setelah mencapai permukaan, akan mencetus dan memisah menjadi kira-kira 20% uap dan 80% air. Dalam separator atau pemisah, air dan uap dipisahkan. Air

diinjeksikan kembali ke dalam tanah, untuk menjaga sebanyak mungkin keseimbangan jumlah air yang tersedia dalam tanah. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.

Mula-mula uap diambil dari separator dan dibawa ke turbin, setelah uap yang dipakai diteruskan ke pendingin. Air yang terjadi pada pendingin kembali dipompa ke dalam tanah, sedangkan sisa uap dibuang di udara. Sering juga terjadi, bahwa air yang didapat dalam pengusahaan panas bumi mengandung berbagai mineral yang berharga, sehingga menguntungkan untuk mengeluarkannya dari air itu.

Kiranya jelas, bahwa jika yang didapat bukannya uap basah melainkan uap kering, separator tidak diperlukan lagi dan uap dapat langsung dibawa ke turbin. Untuk menjaga kelangsungan hidup turbin, pada umumnya uap masih dibersihkan terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam turbin.



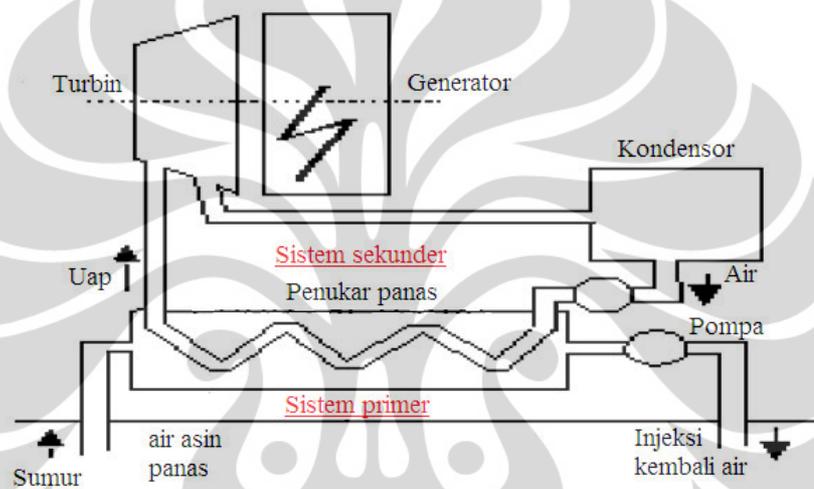
Gambar 3.3. Skema PLTP dengan sistem uap basah (*flash steam system*)

3.2.3 Sistem Air Panas (*Binary Cycle System*)

Dari perut bumi sering didapatkan air panas, atau lebih tepat air asin panas (*brine*) yang suhunya tidak seberapa tinggi, dan mengandung banyak mineral. Persoalannya adalah jika air ini dicetus (*flushed*) secara biasa bila mencapai permukaan bumi, maka campuran mineral, yang ikut arus naik ke atas, akan menempel pada dinding pipa-pipa, sehingga lambat laun garis tengah pipa akan mengecil, bahkan dapat membuntu. Untuk mencegah air panas itu mencetus,

dipergunakan apa yang namanya sistem biner (*binary system*) yang terlihat pada Gambar 3.4.

Air panas dibawa ke suatu penukar panas (*heat exchanger*) untuk kemudian diinjeksi kembali ke dalam tanah. Siklus pertama ini dinamakan sistem primer. Melalui penukar panas energi yang terkandung dalam air panas dipindahkan ke sirkuit kedua, yang diisi dengan air. Air dalam rangkaian kedua ini setelah meninggalkan penukar panas akan menjadi uap, yang kemudian dimasukkan ke dalam turbin. Rangkaian kedua ini dinamakan sistem sekunder.



Gambar 3.4 Skema PLTP dengan sistem air panas (*binary cycle system*)

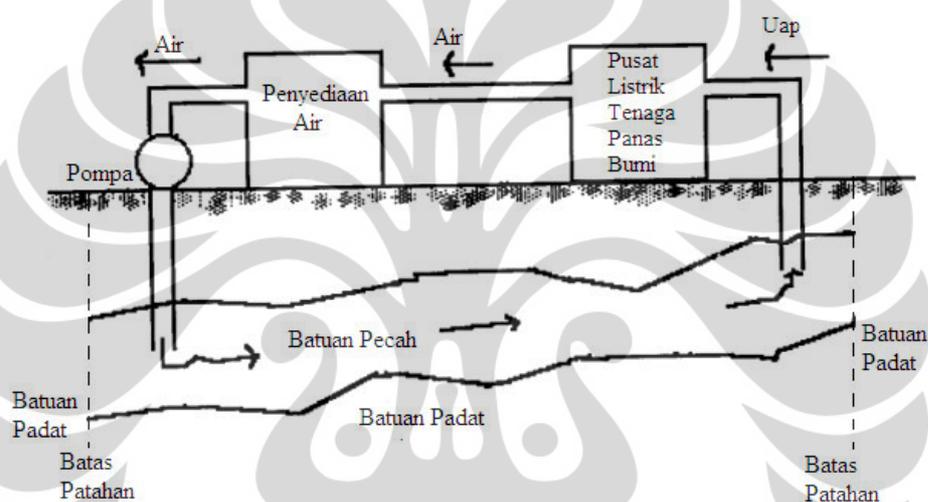
Jika tekanan air panas dari bumi kurang tinggi, perlu dipakai suatu pompa yang mempunyai konstruksi khusus, karena harus tahan air asin yang sangat korosif. Medium pada sistem sekunder dapat pula dipakai suatu bahan yang mempunyai titik mendidih yang rendah, seperti Amonia (NH_3) atau Gas Propan (C_3H_6), bilamana suhu air panas tidak begitu tinggi.

3.2.4 Metode dengan Batuan Panas

Telah dikemukakan bahwa terdapat jauh lebih banyak energi panas bumi dalam bentuk air panas daripada sebagai uap kering. Dalam kaitan ini dapat dikatakan juga bahwa lebih banyak lagi terdapat energi panas bumi dalam bentuk batu panas yang kering. Panas ini tidak “datang” ke atas, melainkan harus

“diambil sendiri”. Hal ini dapat dilakukan dengan memasukkan ke dalam tanah air dingin biasa ke dalam batuan-batuan panas itu. Air dingin itu diberi kesempatan melewati batu-batu yang panas. Air itu disedot kembali ke tempat lain sebagai uap atau sebagai air panas.

Hal ini dilukiskan secara skematis dalam Gambar 3.5, yang dilandaskan pada pemikiran berikut. Dibor suatu lubang atau sumur yang mencapai taraf batu padat yang panas itu. Kemudian batu padat itu diledakkan dengan suatu alat nuklir. Dengan demikian sebagian batu padat itu menjadi pecah dan akan terdiri atas batu bata yang berlubang.



Gambar 3.5. Skema PLTP dengan batuan panas

Kemudian dibor lagi satu sumur sampai taraf batu pecah. Lalu air dipompa dengan tekanan tinggi ke dalam batu-batu pecah yang panas. Karena dalam keadaan pecah, batu-batu ini memungkinkan air mengalir didalamnya kemudian menjadi panas. Pada ujung lainnya air panas ini, yang kini telah menjadi uap, diambil kembali untuk dipakai pada pusat listrik tenaga panas bumi. Diperkirakan, bahwa luas wilayah ini akan mempunyai ukuran panjang dan lebar sekitar 500 meter. Perlu dikemukakan, bahwa pemanasan lapisan batu pecah bukan saja dilakukan oleh batu panas, melainkan juga oleh energi sisa dari ledakan nuklir yang dipakai untuk membuat pecah lapisan batu.

Cara untuk mendapatkan panas bumi dengan metode ini hingga kini masih merupakan gagasan dan belum ada suatu proyek pelaksanaan.

3.3 Komponen Utama pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak

Suatu PLTP memiliki peralatan-peralatan yang tidak banyak berbeda dengan suatu PLTU bahkan lebih sederhana karena tidak ada bagian pembangkitan uap. Komponen atau peralatan utama yang digunakan pada sistem PLTP khususnya di PLTP Gunung Salak terdiri dari :

3.3.1 Separator

Uap yang keluar dari sumur produksi, kemudian dialirkan ke *separator*. Pada prinsipnya fungsi dari *separator* adalah memisahkan air panas (*brine*) dari uap, sehingga diperoleh uap kering yang akan dialirkan ke PLTP. Proses pemisahan air panas dan uap dilakukan berdasarkan gaya sentrifugal, konstruksi *inlet* yang dibuat tangensial menyebabkan aliran membentuk gerakan putar dan apabila berlangsung secara kontinu akan menyebabkan gaya sentrifugal. Karena adanya pengaruh gaya sentrifugal air panas (*brine*) akan terdorong ke dinding pipa dan dengan adanya gravitasi cairan akan cenderung ke bawah kemudian keluar melalui *outlet* bagian bawah, sedangkan uap yang lebih ringan akan terdesak ke bagian pusat *cyclone* dan naik ke atas mengisi bagian tengah pipa kemudian mengalir dalam pipa uap menuju *scrubber*. Air yang terpisah dialirkan ke dalam *water drum*, kemudian air dari *water drum* dialirkan melalui pipa *brine* ke sumur reinjeksi.



Gambar 3.6. Separator

3.3.2. Scrubber

Scrubber mempunyai konstruksi yang sama dengan *separator* tetapi mempunyai ukuran diameter yang lebih kecil. *Scrubber* berfungsi memisahkan uap dan air panas yang mengandung partikel, hal ini dimungkinkan apabila uap yang masuk kedalam *scrubber* masih mempunyai kandungan air sehingga uap yang dihasilkan berupa uap kering yang dialirkan untuk memutar turbin. Tingkat kebasahan uap maksimal yang dapat masuk ke turbin adalah 1%, kebasahan yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya vibrasi, erosi dan pembentukan kerak pada turbin.

Scrubber umumnya diletakkan sedekat mungkin dengan PLTP untuk menghindari terjadinya kondensasi uap dalam pipa distribusi.



Gambar 3.7. *Scrubber*

3.3.3 Demister

Alat ini berbentuk tabung silinder yang didalamnya terdapat kisi-kisi baja yang berfungsi untuk mengeliminasi butir-butir air yang terbawa oleh uap dari sumur-sumur panas bumi. Di bagian bawahnya terdapat kerucut yang berfungsi untuk menangkap air dan partikel-partikel padat lainnya yang lolos dari separator, sehingga uap yang akan dikirim ke turbin merupakan uap yang benar-benar uap yang kering dan bersih. Karena jika uap yang masuk ke turbin tidak kering dan kotor, akan menyebabkan terjadinya vibrasi, erosi dan pembentukan kerak pada

turbin. Uap masuk dari atas demister langsung menabrak kerucut, karena perbedaan tekanan dan berat jenis maka butiran air kondensat dan partikel-partikel padat yang terkandung di dalam uap akan jatuh. Uap bersih akan masuk ke saluran keluar yang sebelumnya melewati saringan terlebih dahulu dan untuk selanjutnya diteruskan ke turbin.

Demister ini dipasang pada jalur uap utama setelah alat pemisah akhir (*final separator*) yang ditempatkan pada bangunan rangka besi yang sangat kokoh dan terletak di luar gedung pembangkit.



Gambar 3.8. Demister

3.3.4 Turbin

Hampir di semua pusat pembangkit tenaga listrik memiliki turbin sebagai penghasil gerakan mekanik yang akan diubah menjadi energi listrik melalui generator. Pada sistem PLTP Gunung Salak mempergunakan turbin jenis silinder tunggal dua aliran (*single cylinder double flow*) yang merupakan kombinasi dari turbin aksi (impuls) dan reaksi. Yang membedakan antara turbin aksi dan reaksi adalah pada proses ekspansi dari uapnya. Pada turbin aksi, proses ekspansi (penurunan tekanan) dari fluida kerja hanya terjadi di dalam baris sudu tetapnya saja, sedangkan pada turbin reaksi, proses dari fluida kerja terjadi baik di dalam baris sudu tetap maupun sudu beratnya.

Turbin tersebut dapat menghasilkan daya listrik sebesar 60 MW per-unit aliran ganda dengan putaran 3000 rpm. Turbin ini dirancang dengan memperhatikan efisiensi, dan performanya disesuaikan dengan kondisi dan kualitas uap panas bumi.



Gambar 3.9. Turbin (*double-flow condensing turbine*)

3.3.5 Generator

Generator adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik putaran poros turbin menjadi energi listrik. PLTP Gunung Salak mempergunakan generator jenis hubung langsung dan didinginkan dengan air, memiliki 2 kutub, 3 *phase*, 50 Hz dengan putaran 3000 rpm.

Sistem penguatan yang digunakan adalah *rotating brushless type AC* dengan *rectifier*, sedangkan tegangannya diatur dengan *Automatic Voltage Regulator (AVR)*. Kemampuan generator maksimum untuk semua unit (unit 1 sampai unit 3) adalah 60 MW.

Generator akan menghasilkan energi listrik bolak balik sebesar 11,8 kV ketika turbin yang berputar dengan putaran 3000 rpm mengkopel terhadap generator. Perputaran pada generator tersebut akan menghasilkan perpotongan gaya gerak magnet yang menghasilkan energi listrik



Gambar 3.10. Generator

3.3.6 Trafo Utama (*Main Transformer*)

Trafo utama yang digunakan adalah tipe ONAN dengan tegangan 11,8 kV pada sisi primer dan 150 kV pada sisi sekunder. Tegangan output generator 11,8 kV ini kemudian dinaikkan (*step up* trafo) menjadi 150 KV dan dihubungkan secara paralel dengan sistem Jawa-Bali. Kapasitas dari trafo utama adalah 70.000 kVA.

Gambar 3.11. Trafo utama (*main transformer*) dengan tipe ONAN

3.3.7 Gardu Induk GIS (*Gas Insulated Substation* atau *Gas Insulated Switchgear*)

Gardu induk pasangan dalam adalah gardu induk yang hampir semua komponennya (*switchgear*, busbar, isolator, komponen kontrol, komponen kendali, *cubicle*, dan lain-lain) dipasang di dalam gedung, kecuali transformator daya yang pada umumnya dipasang di luar gedung.

GIS merupakan bentuk pengembangan gardu induk, yang pada umumnya dibangun di daerah perkotaan atau padat pemukiman yang sulit untuk mendapatkan lahan.

Beberapa keunggulan GIS dibanding GI konvensional :

1. Hanya membutuhkan lahan seluas ± 3.000 meter persegi atau $\pm 6\%$ dari luas lahan GI konvensional.
2. Mampu menghasilkan kapasitas daya (*power capacity*) sebesar 3 x 60 MVA bahkan bisa ditingkatkan sampai dengan 3 x 100 MVA.
3. Jumlah penyulang keluaran (*output feeder*) sebanyak 24 penyulang (*feeder*) dengan tegangan kerja masing-masing 20 kV.
4. Bisa dipasang di tengah kota yang padat pemukiman.
5. Keunggulan dari segi estetika dan arsitektural, karena bangunan bisa didesain sesuai kondisi disekitarnya.



Gambar 3.12. Gardu Induk GIS

3.3.8 Condensor

Condensor adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengkondensasikan uap bekas dari turbin dengan kondisi tekanan yang hampa. Uap bekas dari turbin masuk dari sisi atas *condensor*, kemudian mengalami kondensasi sebagai akibat penyerapan panas oleh air pendingin yang diinjeksikan melalui *spray nozzle*. Uap bekas yang tidak terkondensasi dikeluarkan dari *condensor* oleh *ejector*. *Ejector* ini juga berfungsi untuk mempertahankan kehampaan *condensor* pada saat operasi normal dan membuat hampa *condensor* sewaktu *start* awal. Air kondensat dipompakan oleh dua buah pompa pendingin utama (*Main Cooling Water Pump* atau *MCWP*) ke menara pendingin (*cooling tower*) untuk didinginkan ulang sebelum disirkulasikan kembali ke *condensor*.



Gambar 3.13. *Condensor*

3.3.9 Ejector

Berfungsi untuk menghisap gas yang tidak terkondensasi yang terdapat di dalam *condensor* untuk dikeluarkan melalui *inter* atau *after condensor*, *fan stack cooling tower* ke udara luar dengan maksud untuk mempertahankan *vacuum condensor*.



Gambar 3.14. *Steam Jet Ejector*

3.3.10 *Inter dan After Condensor*

Inter condensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap yang tidak terkondensasi di dalam *condensor* yang dihisap oleh *ejector* tingkat 1 dan mengkondensasikan uap yang berasal dari *ejector* tingkat 1.

After Condensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap yang tidak terkondensasi di dalam *inter condensor* yang dihisap oleh *ejector* tingkat 2 dan mengkondensasikan uap yang berasal dari *ejector* tingkat 2.



Gambar 3.15. *Inter dan after condenser*

3.3.11 Main Cooling Water Pump (MCWP)

Main cooling water pump (MCWP) adalah pompa pendingin utama yang berfungsi untuk memompakan air kondensat dari *condensor* ke *cooling tower* untuk kemudian didinginkan di *cooling tower*, yang kemudian akan digunakan kembali di *condensor*.



Gambar 3.16. *Main Cooling Water Pump (MCWP)*

3.3.12 Cooling Tower (Menara Pendingin)

Air yang dipompakan dari *condensor* didistribusikan ke dalam bak (*hot water basin*) yang terdapat di bagian atas *cooling tower*. Bak tersebut juga dilengkapi dengan *noozle* yang berfungsi untuk memancarkan air sehingga menjadi butiran-butiran halus dan didinginkan dengan cara kontak langsung dengan udara pendingin. Setelah terjadi proses pendinginan, air akan turun karena gaya gravitasi untuk seterusnya menuju bak penampung air (*cool water basin*) yang terdapat di bagian bawah dari *cooling tower* dan seterusnya dialirkan ke *condensor* yang sebelumnya melewati 4 buah *screen* untuk menyaring kotoran-kotoran yang terdapat dalam air.

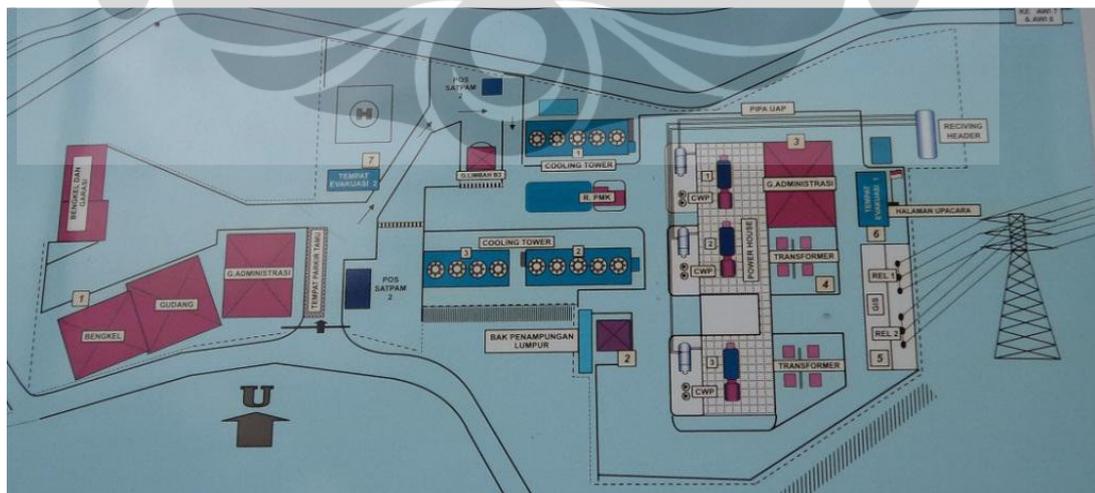
Aliran udara yang melewati tiap ruang pendingin dihisap ke atas dengan kipas hisap paksa tipe aksial. Setiap kipas digerakkan oleh motor listrik induksi dengan perantaraan gigi reduksi (*reduction gear*).



Gambar 3.17. Menara pendingin (*cooling tower*)

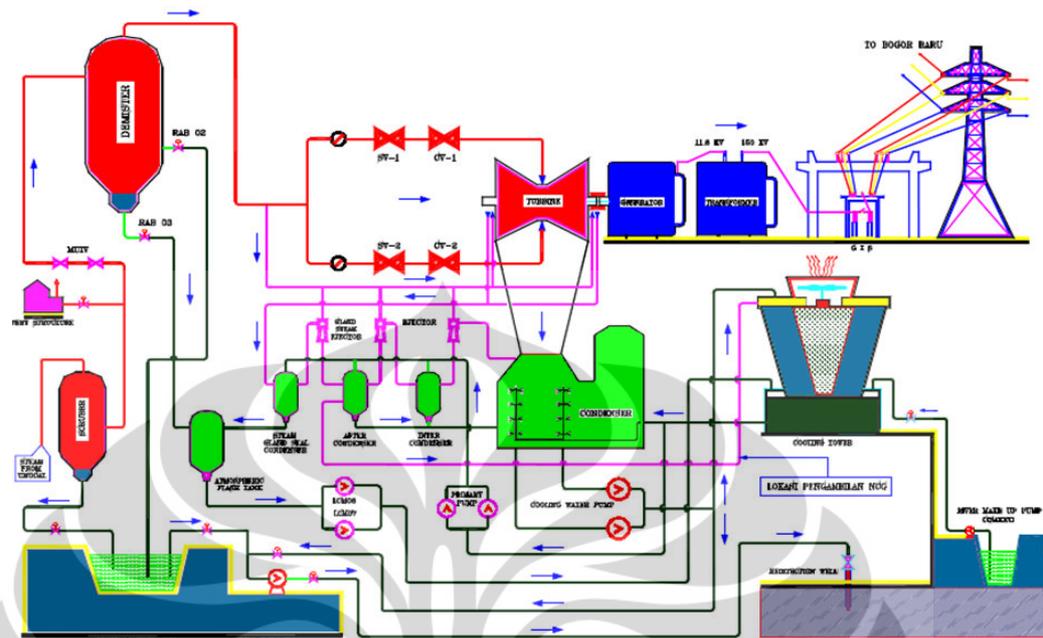
3.4 Overview Unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak

Unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PTLP) Gunung Salak PT. Indonesia Power berada di Taman Nasional Gunung Halimun Salak berlokasi di perbatasan kabupaten Sukabumi dan kabupaten Bogor, Indonesia yang diberikan kekayaan kandungan alam yang beraneka ragam yang salah satunya kandungan panas bumi memiliki fasilitas pembangkit listrik ini di area taman nasional Gunung Salak, Jawa Barat. Pembangkit ini memiliki tiga unit bisnis pembangkit yang berkapasitas total 180 MW. Unit 1 dan unit 2 dibuat pada tahun 1993 dan unit 3 pada tahun 1995.



Gambar 3.18. Layout unit PLTP Gunung Salak

3.5 Proses Kerja Pembangkitan Unit PLTP Gunung Salak



Gambar 3.19. Flow diagram PLTP Gunung Salak

Uap yang berasal dari instalasi milik PT. Chevron Pacific Indonesia di alirkan ke instalasi pembangkit PLTP Indonesia Power yang pertama yaitu *MUIV* (*Main Unit Isolation Valve*) yang berfungsi sebagai gerbang masuk uap ke instalasi PLTP Indonesia Power, kemudian mengalir ke demister untuk dipisahkan antara uap dan zat-zat padat, silika, dan air. Dari demister uap yang telah terpisahkan dengan air dan zat-zat padat dialirkan ke turbin melalui 2 jalur yang di tiap jalurnya terpasang *steam strainer* yang berfungsi untuk menyaring uap yang masuk ke turbin agar lebih bersih. Uap juga ada yang dialirkan ke peralatan uap bantu yaitu *ejector* dan *turbin steam seal system*.

Setelah uap keluar dari *steam strainer*, uap masuk ke *stop valve* dan *control valve* untuk di atur laju aliran uapnya. Setelah melalui *stop valve* dan *control valve*, uap masuk ke turbin dan kemudian memutar turbin. Turbin diatur putarannya sampai 3000 rpm dan putaran turbin tersebut di-*couple* dengan generator dimana generator mendapatkan arus DC melalui eksitasi yang disalurkan ke belitan rotor generator sebagai kutub-kutub magnet generator. Akibat dari perputaran rotor yang terjadi adalah medan magnet putar akan

menginduksi belitan stator sehingga timbul ggl induksi pada terminal output generator yang menghasilkan tegangan sebesar 11,8 kV. Tegangan 11,8 kV tersebut kemudian dinaikkan menjadi tegangan 150 kV oleh transformator *step up*. PLTP Gunung Salak terdiri atas tiga unit dengan kapasitas masing-masing 60 MW. Daya listrik dari tiga unit ini ditransmisikan ke dalam jaringan transmisi 150 kV Bogor Baru untuk interkoneksi dengan sistem Jawa Madura Bali. Sebagian dari daya yang dibangkitkan, digunakan juga untuk pemakaian sendiri.

Uap bekas yang keluar dari turbin langsung masuk ke dalam *condensor* untuk didinginkan dan dikondensasikan supaya terjadi perubahan bentuk dari uap menjadi air dengan bantuan air pendingin dari *basin cooling tower*. Air yang tertampung di *condensor* dialirkan ke *cooling tower* dengan menggunakan *circulating water pump*. Uap yang tidak terkondensasi di *condensor* akan dihisap oleh *ejector* tingkat 1 kemudian disalurkan ke *inter condensor* dan air dari hasil kondensasi di *inter condensor* di alirkan ke *condensor*, sedangkan uap yang tidak terkondensasi di *inter condensor* dihisap oleh *ejector* tingkat 2 untuk di kondensasi di *after condensor*. Air hasil kondensasi di dalam *after condensor* dialirkan ke *condensor*. Uap yang tidak dapat dikondensasikan di *after condensor* (NCG) dikeluarkan ke udara lepas melalui *fan stack cooling tower*.

Komponen *plate heat exchangers* (sistem *secondary*) bertugas untuk memompakan air pendingin untuk mendinginkan peralatan *lube oil cooler*, generator, *coolers*, dan *E.H.C coolers*.

3.6 Data Operasi Unit Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak

Data operasi generator yang akan diolah adalah data untuk mencari nilai daya semu (S), segitiga daya (daerah atau operasi kerja dari generator), hubungan antara perubahan arus eksitasi terhadap daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), kestabilan dari tegangan output generator, dan hubungan antara perubahan arus eksitasi terhadap perubahan temperature pada stator. Berikut adalah tabel data operasi untuk tiap-tiap unit di PLTP Gunung Salak PT. Indonesia Power.

3.6.1 Data Operasi Generator di Unit 1 PLTP Gunung Salak

Tabel 3.1. Data operasi generator di unit 1

| Time | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | <i>Power Factor</i> | Tegangan Output | Arus Eksitasi | Temperatur Stator |
|-------|----------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------|-------------------|
| | (MW) | (MVAR) | (cos ϕ) | (kV) | (Ampere) | ($^{\circ}$ C) |
| 00:00 | 60.1 | 10.4 | 0.98 | 11.7 | 9.8 | 77.1 |
| 01:00 | 60.3 | 10.1 | 0.99 | 11.7 | 9.7 | 76.8 |
| 02:00 | 60.2 | 9 | 0.99 | 11.8 | 9.5 | 76.8 |
| 03:00 | 60.4 | 7.6 | 0.99 | 11.8 | 9.7 | 76.8 |
| 04:00 | 60.3 | 8.1 | 0.99 | 11.8 | 9.7 | 76.7 |
| 05:00 | 60.4 | 8.1 | 0.99 | 11.8 | 9.7 | 76.8 |
| 06:00 | 60.3 | 9.7 | 0.99 | 11.8 | 9.6 | 76.7 |
| 07:00 | 60.3 | 7.9 | 0.99 | 11.8 | 9.9 | 76.8 |
| 08:00 | 60 | 12.6 | 0.98 | 11.8 | 9.8 | 76.8 |
| 09:00 | 60 | 14.7 | 0.97 | 11.8 | 9.8 | 77.2 |
| 10:00 | 59.8 | 15.8 | 0.97 | 11.8 | 9.8 | 77.3 |
| 11:00 | 59.8 | 16.1 | 0.96 | 11.8 | 9.8 | 77.3 |
| 12:00 | 59.6 | 14.3 | 0.97 | 11.8 | 9.8 | 77.2 |
| 13:00 | 59.9 | 13.8 | 0.97 | 11.8 | 9.9 | 77.1 |
| 14:00 | 59.7 | 15.3 | 0.97 | 11.8 | 9.9 | 76.9 |
| 15:00 | 59.8 | 14.8 | 0.97 | 11.8 | 9.9 | 76.9 |
| 16:00 | 59.9 | 13.8 | 0.97 | 11.8 | 10 | 76.9 |
| 17:00 | 60 | 13.1 | 0.98 | 11.8 | 10 | 77 |
| 18:00 | 60.1 | 15.6 | 0.97 | 11.8 | 10.2 | 77.1 |
| 19:00 | 60.1 | 16.7 | 0.96 | 11.8 | 10.5 | 77.4 |
| 20:00 | 59.8 | 16.2 | 0.96 | 11.8 | 10.5 | 77.4 |
| 21:00 | 59.4 | 15.4 | 0.97 | 11.7 | 10.7 | 77.4 |
| 22:00 | 60.2 | 13.5 | 0.97 | 11.7 | 10.3 | 77.3 |
| 23:00 | 60.3 | 10.2 | 0.99 | 11.8 | 10.2 | 76.9 |
| 24:00 | 60.3 | 8.5 | 0.99 | 11.8 | 10.2 | 76.8 |

Dari tabel 3.1. data operasi generator pada unit 1 terdiri dari data daya aktif (P) dan reaktif (Q), data *power factor* (cos ϕ), data tegangan output generator, data arus penggiat (eksitasi), dan data temperatur stator.

3.6.2 Data Operasi Generator di Unit 2 PLTP Gunung Salak

Tabel 3.2. Data operasi generator di unit 2

| Time | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | <i>Power Factor</i> | Tegangan Output | Arus Eksitasi | Temperatur Stator |
|-------|----------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------|-------------------|
| | (MW) | (MVAR) | (cos ϕ) | (kV) | (Ampere) | ($^{\circ}$ C) |
| 00:00 | 60.5 | 11.9 | 0.99 | 11.8 | 9.7 | 77.4 |
| 01:00 | 60.5 | 10.5 | 0.99 | 11.8 | 9.6 | 77.3 |
| 02:00 | 60.5 | 9.2 | 0.99 | 11.8 | 9.4 | 77.4 |
| 03:00 | 60.7 | 8.1 | 0.99 | 11.8 | 9.6 | 77.3 |
| 04:00 | 60.7 | 8 | 0.99 | 11.8 | 9.5 | 77.3 |
| 05:00 | 60.6 | 8.2 | 0.99 | 11.8 | 9.5 | 77.2 |
| 06:00 | 60.6 | 10.3 | 0.99 | 11.8 | 9.4 | 77.1 |
| 07:00 | 60.8 | 8.3 | 0.99 | 11.8 | 9.7 | 77.1 |
| 08:00 | 60.4 | 13.5 | 0.99 | 11.8 | 9.7 | 77.2 |
| 09:00 | 60.3 | 15.7 | 0.98 | 11.8 | 9.7 | 77.5 |
| 10:00 | 60.3 | 16.5 | 0.97 | 11.8 | 9.6 | 77.7 |
| 11:00 | 60.2 | 16.8 | 0.97 | 11.8 | 9.6 | 77.8 |
| 12:00 | 60 | 14.8 | 0.98 | 11.8 | 9.6 | 77.7 |
| 13:00 | 60.2 | 14.1 | 0.98 | 11.8 | 9.7 | 77.7 |
| 14:00 | 60.2 | 15.8 | 0.97 | 11.8 | 9.7 | 77.6 |
| 15:00 | 60.3 | 15.4 | 0.98 | 11.8 | 9.8 | 77.4 |
| 16:00 | 60.2 | 14.3 | 0.98 | 11.8 | 9.9 | 77.4 |
| 17:00 | 60.2 | 13.8 | 0.98 | 11.8 | 9.9 | 77.5 |
| 18:00 | 60.5 | 16.3 | 0.97 | 11.8 | 10.1 | 77.4 |
| 19:00 | 60.4 | 16.7 | 0.97 | 11.8 | 10.4 | 77.5 |
| 20:00 | 60.2 | 17 | 0.97 | 11.8 | 10.4 | 77.6 |
| 21:00 | 60.2 | 16.2 | 0.97 | 11.7 | 10.5 | 77.6 |
| 22:00 | 60.5 | 13.9 | 0.98 | 11.7 | 10.2 | 77.6 |
| 23:00 | 60.6 | 10.6 | 0.99 | 11.8 | 10.1 | 77.2 |
| 24:00 | 60.5 | 8.5 | 0.99 | 11.8 | 10.1 | 77.1 |

Dari tabel 3.2. data operasi generator pada unit 2 terdiri dari data daya aktif (P) dan reaktif (Q), data *power factor* (cos ϕ), data tegangan output generator, data arus penggiat (eksitasi), dan data temperatur stator.

3.6.3 Data Operasi Generator di Unit 3 PLTP Gunung Salak

Tabel 3.3. Data operasi generator di unit 3

| Time | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | <i>Power Factor</i> | Tegangan Output | Arus Eksitasi | Temperatur Stator |
|-------|----------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------|-------------------|
| | (MW) | (MVAR) | (cos ϕ) | (kV) | (Ampere) | ($^{\circ}$ C) |
| 00:00 | 59.9 | 11.9 | 0.96 | 11.8 | 9.4 | 78.6 |
| 01:00 | 59.9 | 11 | 0.97 | 11.8 | 9.4 | 78.7 |
| 02:00 | 59.9 | 9.5 | 0.98 | 11.8 | 9.3 | 79.3 |
| 03:00 | 60 | 8.4 | 0.98 | 11.8 | 9.5 | 79.3 |
| 04:00 | 59.9 | 8.8 | 0.98 | 11.8 | 9.5 | 79.9 |
| 05:00 | 59.9 | 9.1 | 0.98 | 11.8 | 9.5 | 78.7 |
| 06:00 | 60 | 10.1 | 0.97 | 11.8 | 9.3 | 78.9 |
| 07:00 | 60.2 | 9.6 | 0.98 | 11.8 | 9.6 | 78.4 |
| 08:00 | 60 | 13.3 | 0.96 | 11.8 | 9.5 | 80.1 |
| 09:00 | 59.9 | 15.6 | 0.94 | 11.8 | 9.6 | 78.2 |
| 10:00 | 60 | 16.7 | 0.93 | 11.8 | 9.5 | 79.8 |
| 11:00 | 59.6 | 16.9 | 0.92 | 11.8 | 9.5 | 79.1 |
| 12:00 | 59.7 | 14.6 | 0.95 | 11.8 | 9.5 | 79.1 |
| 13:00 | 59.7 | 14.6 | 0.95 | 11.8 | 9.6 | 79.2 |
| 14:00 | 59.6 | 15.4 | 0.95 | 11.8 | 9.6 | 79.1 |
| 15:00 | 59.6 | 15.8 | 0.94 | 11.8 | 9.6 | 78.6 |
| 16:00 | 59.6 | 14.8 | 0.94 | 11.8 | 9.6 | 78.6 |
| 17:00 | 59.8 | 14 | 0.95 | 11.8 | 9.7 | 78.5 |
| 18:00 | 59.6 | 16.3 | 0.93 | 11.8 | 9.9 | 78.9 |
| 19:00 | 59.8 | 17.3 | 0.92 | 11.8 | 10.2 | 79 |
| 20:00 | 59.7 | 17.3 | 0.92 | 11.8 | 10.1 | 79.5 |
| 21:00 | 59.4 | 16.2 | 0.93 | 11.8 | 10.3 | 79.1 |
| 22:00 | 59.8 | 14.1 | 0.94 | 11.8 | 9.9 | 78.3 |
| 23:00 | 59.9 | 11.2 | 0.97 | 11.8 | 9.8 | 79 |
| 24:00 | 59.8 | 8.9 | 0.98 | 11.8 | 9.9 | 78.8 |

Dari tabel 3.3. data operasi generator pada unit 3 terdiri dari data daya aktif (P) dan reaktif (Q), data *power factor* (cos ϕ), data tegangan output generator, data arus penggiat (eksitasi), dan data temperatur stator.

BAB 4

PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA

Bab 4 skripsi ini membahas tentang hasil pengolahan data operasi generator yang telah dilakukan serta analisa hasil pengolahan data tersebut. Pengolahan data operasi generator yang dilakukan terdiri dari 3 bagian, yaitu pengolahan data operasi generator pada unit 1, unit 2 dan unit 3 yang terdapat di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak. Berikut penjelasan hasil pengolahan dan analisa data operasi generator untuk masing-masing unitnya.

4.1 Pengolahan dan Analisa Data Operasi Generator pada Unit 1

Data operasi generator yang digunakan untuk pengolahan data pada unit 1 adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012 dan 21 April 2012. Pengolahan data operasi generator pada unit 1 ini terdiri dari 5 bagian, yaitu data daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap waktu, data faktor daya ($\cos \phi$), data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output dari generator dan data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator. Berikut ini adalah penjelasan untuk masing-masing pengolahan data di atas.

4.1.1 Data Daya Aktif (P), Daya Reaktif (Q) dan Daya Semu (S) terhadap Waktu pada Unit 1

Data yang digunakan untuk pengolahan data daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya Semu (S) pada unit 1 adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat besarnya nilai perubahan daya semu (S) dari masing-masing perubahan waktu yang terjadi pada unit 1 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak. Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa daya semu (S) yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 saat terjadi perubahan waktu selama 24 jam.

Daya semu (S) yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 (berlaku juga untuk unit 2 dan 3) dapat dihitung dengan persamaan (4.1).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \angle \varphi \quad (4.1)$$

dimana:

- S = Daya Semu (MVA)
 P = Daya Aktif (MW)
 Q = Daya Reaktif (MVAR)
 $\angle \varphi$ = Faktor Daya

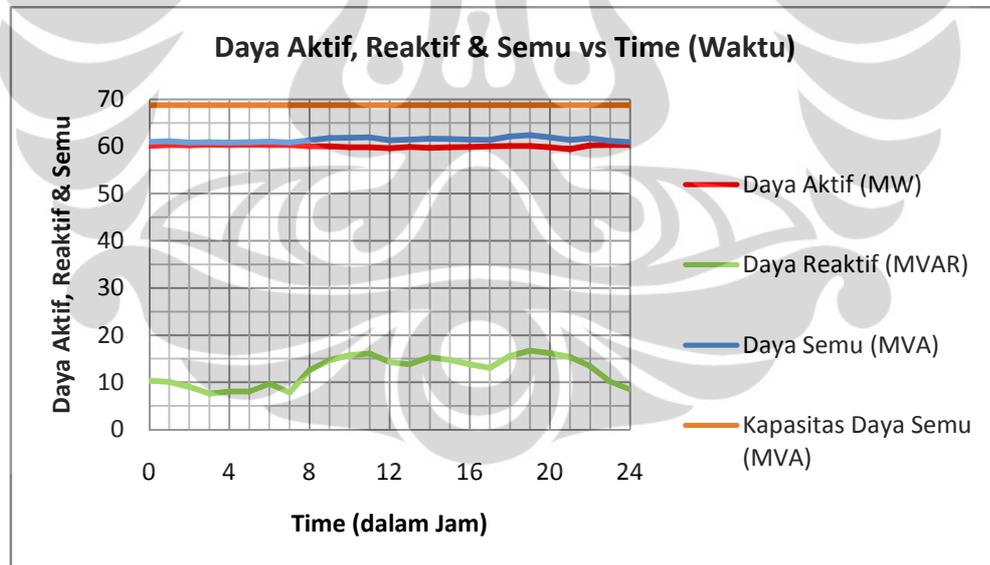
Menurut perhitungan diatas, daya semu (S) yang dapat dihasilkan oleh generator untuk masing-masing perubahan waktu pada unit 1 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1. Hasil perhitungan daya semu (S) yang dihasilkan oleh daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada unit 1

| No. | Time (Jam) | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | Daya Semu (S) |
|-----|------------|----------------|------------------|---------------|
| | | (MW) | (MVAR) | (MVA) |
| 1 | 00:00 | 60.1 | 10.4 | 60.99319634 |
| 2 | 01:00 | 60.3 | 10.1 | 61.14000327 |
| 3 | 02:00 | 60.2 | 9 | 60.86903975 |
| 4 | 03:00 | 60.4 | 7.6 | 60.87626795 |
| 5 | 04:00 | 60.3 | 8.1 | 60.84159761 |
| 6 | 05:00 | 60.4 | 8.1 | 60.94070889 |
| 7 | 06:00 | 60.3 | 9.7 | 61.07519955 |
| 8 | 07:00 | 60.3 | 7.9 | 60.81529413 |
| 9 | 08:00 | 60 | 12.6 | 61.30872695 |
| 10 | 09:00 | 60 | 14.7 | 61.77445093 |
| 11 | 10:00 | 59.8 | 15.8 | 61.85208161 |
| 12 | 11:00 | 59.8 | 16.1 | 61.92939528 |
| 13 | 12:00 | 59.6 | 14.3 | 61.29151654 |
| 14 | 13:00 | 59.9 | 13.8 | 61.46909793 |
| 15 | 14:00 | 59.7 | 15.3 | 61.62937611 |

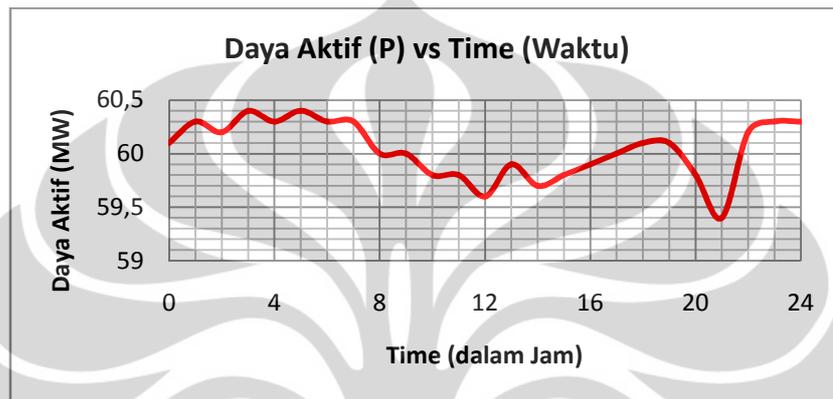
| | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|-------------|
| 16 | 15:00 | 59.8 | 14.8 | 61.60422063 |
| 17 | 16:00 | 59.9 | 13.8 | 61.46909793 |
| 18 | 17:00 | 60 | 13.1 | 61.41343501 |
| 19 | 18:00 | 60.1 | 15.6 | 62.09162584 |
| 20 | 19:00 | 60.1 | 16.7 | 62.37707912 |
| 21 | 20:00 | 59.8 | 16.2 | 61.95546788 |
| 22 | 21:00 | 59.4 | 15.4 | 61.363833 |
| 23 | 22:00 | 60.2 | 13.5 | 61.69513757 |
| 24 | 23:00 | 60.3 | 10.2 | 61.15660226 |
| 25 | 24:00 | 60.3 | 8.5 | 60.89614109 |
| Rata-rata | | 60.04 | 12.452 | 61.39314373 |

Dari tabel 4.1., dibuat grafik hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap perubahan waktu yang dihasilkan oleh generator pada unit 1.



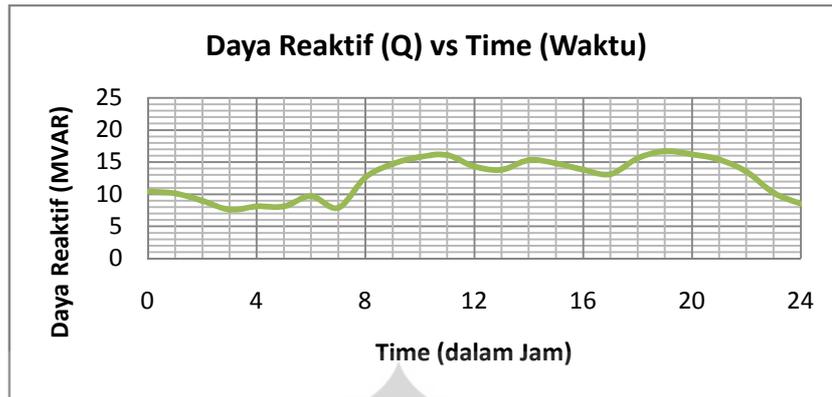
Gambar 4.1. Grafik hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap waktu pada unit 1

Gambar 4.1., menunjukkan bahwa perubahan waktu (selama 24 jam) sangat berpengaruh terhadap daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) yang dihasilkan oleh operasi generator pada unit 1. Untuk melihat perubahan grafik secara jelasnya dari masing-masing daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap perubahan waktu pada unit 1 dapat dilihat pada grafik-grafik di bawah ini.



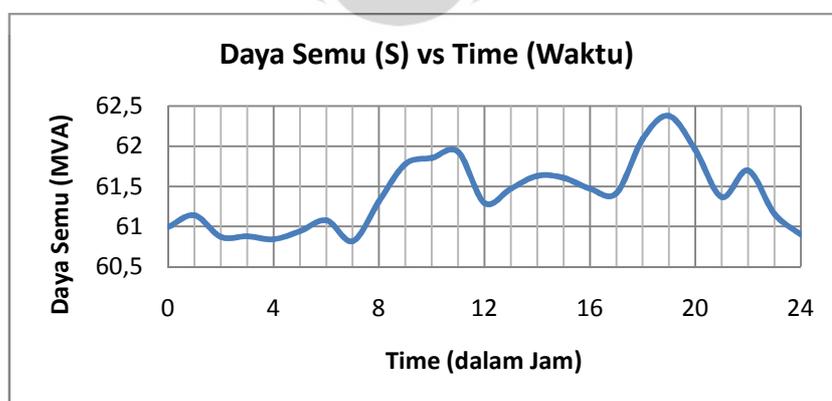
Gambar 4.2. Grafik hubungan antara daya aktif (P) terhadap waktu pada unit 1

Dari gambar 4.2., terlihat bahwa perubahan waktu sangat berpengaruh terhadap perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 1. Daya aktif (P) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 60.4 MW pada pukul 03:00 WIB dan 05:00 WIB. Sedangkan daya aktif (P) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 59.4 MW pada pukul 21:00 WIB. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada pukul 03:00 WIB dan 05:00 WIB ini merupakan waktu terjadinya beban tertinggi (beban puncak harian) yang terjadi selama 24 jam. Sedangkan pemakaian daya aktif (P) yang terjadi pada pukul 21:00 WIB merupakan waktu pemakaian daya listrik yang paling terendah selama 24 jam. Nilai daya aktif (P) rata-rata yang diperoleh pada unit 1 adalah sebesar 60.04 MW.



Gambar 4.3. Grafik hubungan antara daya reaktif (Q) terhadap waktu pada unit 1

Dari gambar 4.3., terlihat bahwa perubahan waktu juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya reaktif (Q) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 1. Daya reaktif (Q) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 16.7 MVAR pada pukul 19:00 WIB. Ini menunjukkan bahwa nilai daya reaktif (Q) maksimum yang terjadi pada pukul 19:00 WIB ini merupakan beban induktif (beban yang mengkonsumsi atau pemakaian daya reaktif) tertinggi yang terjadi selama 24 jam. Sedangkan daya reaktif (Q) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 7.6 MVAR pada pukul 03:00 WIB. Pemakaian daya reaktif (Q) pada pukul 03:00 WIB ini merupakan pemakaian daya reaktif (Q) yang paling terendah selama 24 jam. Biasanya pemakaian daya reaktif (Q) ini terdapat di pabrik-pabrik atau industri-industri yang memiliki beban tertentu seperti motor listrik yang memerlukan daya reaktif (Q) untuk membuat medan magnet (sebagai energi pembangkitan fluks magnetik). Nilai daya reaktif (Q) rata-rata yang diperoleh pada unit 1 adalah sebesar 12.452 MVAR.



Gambar 4.4. Grafik hubungan antara daya semu (S) terhadap waktu pada unit 1

Dari gambar 4.4., terlihat bahwa perubahan waktu juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya semu (S) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 1. Daya semu (S) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 62.37707912 MVA pada pukul 19:00 WIB dan Daya semu (S) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 60.81529413 MVA pada pukul 07:00 WIB. Sedangkan untuk nilai daya semu (S) rata-rata yang diperoleh pada unit 1 adalah sebesar 61.39314373 MVA. Data-data tersebut menunjukkan bahwa daya semu (S) yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 tidak melebihi dari batas kapasitas daya semu (S) yang sudah ditentukan, yaitu sebesar 68.75 MVA.

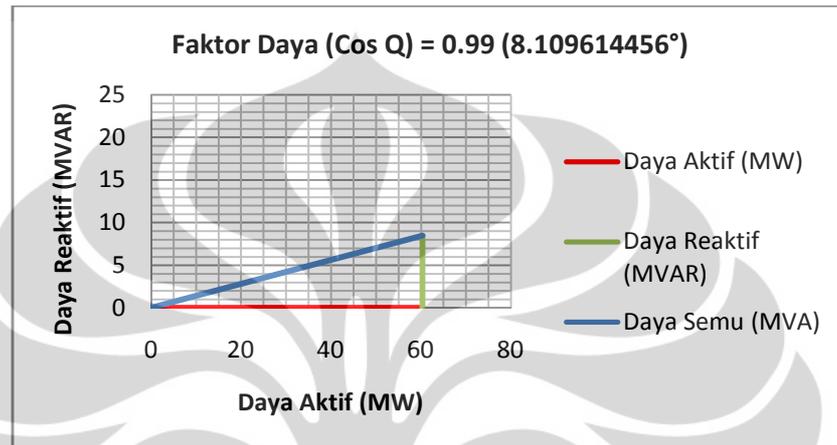
4.1.2 Data Faktor Daya (Cos ϕ) pada Unit 1

Data yang digunakan untuk pengolahan data faktor daya (cos ϕ) pada unit 1 adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat efisiensi jaringan yang digunakan dalam menyalurkan daya listrik yang bisa dimanfaatkan oleh konsumen selama 24 jam. Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa ϕ (phi atau sudut antara daya aktif dengan daya semu) dan gambar segitiga daya yang dihasilkan dari hubungan ketiga daya (daya aktif, daya reaktif dan daya semu) untuk masing-masing perubahan waktu selama 24 jam. Faktor daya (cos ϕ) dibatasi dari 0 hingga 1, semakin tinggi faktor daya (mendekati 1) yang dihasilkan pada pembangkit listrik maka akan semakin banyak pula daya semu (S) yang diberikan sumber yang bisa dimanfaatkan oleh konsumen. Sebaliknya, apabila semakin rendah faktor daya (mendekati 0) maka semakin sedikit daya listrik yang bisa dimanfaatkan dari sejumlah daya semu yang sama. Hasil pengolahan data yang didapat pada unit 1 ditunjukkan oleh tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil pengolahan faktor daya ($\cos \phi$) pada unit 1

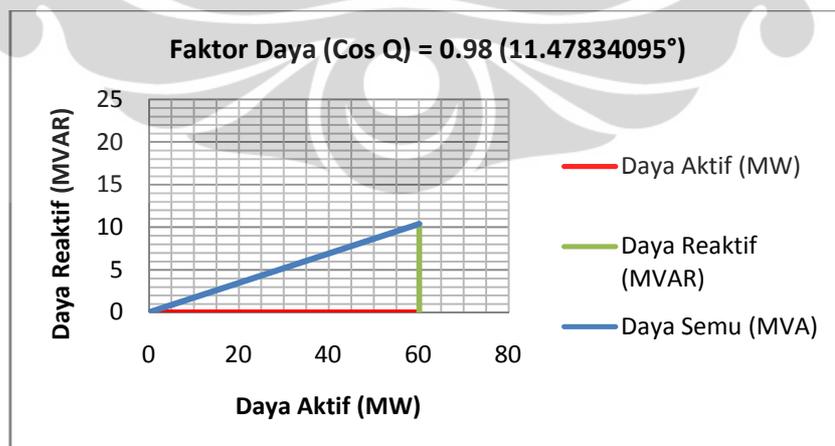
| Data Operasi pada Unit 1 | | | | | | |
|--------------------------|---------------|----------------|------------------|---------------|----------------|------------------|
| No. | Time (Jam) | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | Daya Semu (S) | Cos Q | Sudut (ϕ) |
| | | (MW) | (MVAR) | (MVA) | (Power Factor) | |
| 1 | 00:00 | 60.1 | 10.4 | 60.99319634 | 0.98 | 11.47834095° |
| 2 | 01:00 | 60.3 | 10.1 | 61.14000327 | 0.99 | 8.109614456° |
| 3 | 02:00 | 60.2 | 9 | 60.86903975 | 0.99 | 8.109614456° |
| 4 | 03:00 | 60.4 | 7.6 | 60.87626795 | 0.99 | 8.109614456° |
| 5 | 04:00 | 60.3 | 8.1 | 60.84159761 | 0.99 | 8.109614456° |
| 6 | 05:00 | 60.4 | 8.1 | 60.94070889 | 0.99 | 8.109614456° |
| 7 | 06:00 | 60.3 | 9.7 | 61.07519955 | 0.99 | 8.109614456° |
| 8 | 07:00 | 60.3 | 7.9 | 60.81529413 | 0.99 | 8.109614456° |
| 9 | 08:00 | 60 | 12.6 | 61.30872695 | 0.98 | 11.47834095° |
| 10 | 09:00 | 60 | 14.7 | 61.77445093 | 0.97 | 14.06986775° |
| 11 | 10:00 | 59.8 | 15.8 | 61.85208161 | 0.97 | 14.06986775° |
| 12 | 11:00 | 59.8 | 16.1 | 61.92939528 | 0.96 | 16.26020471° |
| 13 | 12:00 | 59.6 | 14.3 | 61.29151654 | 0.97 | 14.06986775° |
| 14 | 13:00 | 59.9 | 13.8 | 61.46909793 | 0.97 | 14.06986775° |
| 15 | 14:00 | 59.7 | 15.3 | 61.62937611 | 0.97 | 14.06986775° |
| 16 | 15:00 | 59.8 | 14.8 | 61.60422063 | 0.97 | 14.06986775° |
| 17 | 16:00 | 59.9 | 13.8 | 61.46909793 | 0.97 | 14.06986775° |
| 18 | 17:00 | 60 | 13.1 | 61.41343501 | 0.98 | 11.47834095° |
| 19 | 18:00 | 60.1 | 15.6 | 62.09162584 | 0.97 | 14.06986775° |
| 20 | 19:00 | 60.1 | 16.7 | 62.37707912 | 0.96 | 16.26020471° |
| 21 | 20:00 | 59.8 | 16.2 | 61.95546788 | 0.96 | 16.26020471° |
| 22 | 21:00 | 59.4 | 15.4 | 61.363833 | 0.97 | 14.06986775° |
| 23 | 22:00 | 60.2 | 13.5 | 61.69513757 | 0.97 | 14.06986775° |
| 24 | 23:00 | 60.3 | 10.2 | 61.15660226 | 0.99 | 8.109614456° |
| 25 | 24:00 | 60.3 | 8.5 | 60.89614109 | 0.99 | 8.109614456° |
| Rata-rata | | 60.04 | 12.452 | 61.39314373 | 0.979545455 | 11.8760337833° |

Dari tabel 4.2., didapatkan hasil bahwa faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi pada unit 1 adalah 0.99, 0.98, 0.97 dan 0.96. Faktor daya ($\cos \phi$) maksimum yang dihasilkan adalah 0.99. Sedangkan faktor daya ($\cos \phi$) minimum yang dihasilkan adalah 0.96. Perubahan nilai faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi pada unit 1 ditunjukkan oleh gambar-gambar segitiga daya dibawah berikut:



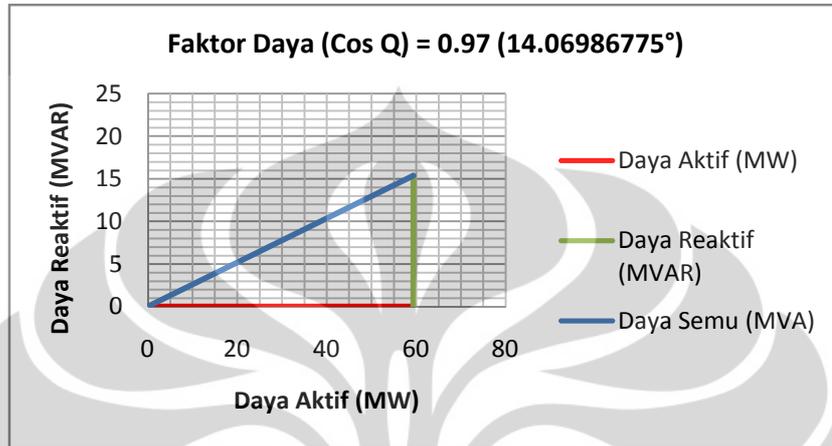
Gambar 4.5. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.99$ pada unit 1

Gambar 4.5., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.99 terbentuk pada pukul 01:00 – 07:00 WIB dan 23:00 – 24:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.99$ adalah sebesar $8.109614456^\circ \approx 8.11^\circ$.



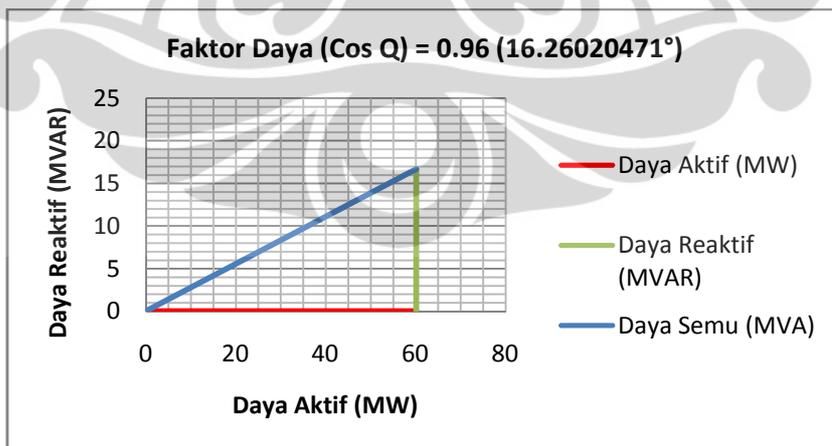
Gambar 4.6. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.98$ pada unit 1

Gambar 4.6., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \varphi$) sebesar 0.98 terbentuk pada pukul 00:00 WIB, 08:00 WIB dan 17:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \varphi = 0.98$ adalah sebesar $11.47834095^\circ \approx 11.48^\circ$.



Gambar 4.7. Segitiga daya dengan $\cos \varphi = 0.97$ pada unit 1

Gambar 4.7., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \varphi$) sebesar 0.97 terbentuk pada pukul 09:00 – 10:00 WIB, 12:00 – 16:00 WIB, 18:00 WIB dan 21:00 – 22:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \varphi = 0.97$ adalah sebesar $14.06986775^\circ \approx 14.07^\circ$.



Gambar 4.8. Segitiga daya dengan $\cos \varphi = 0.96$ pada unit 1

Gambar 4.8., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.96 terbentuk pada pukul 11:00 WIB dan 19:00 – 20:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.96$ adalah sebesar $16.26020471^\circ \approx 16.26^\circ$.

Pada unit 1, semakin besar daya reaktif (Q)-nya akan meningkatkan sudut antara daya aktif (P) dan daya semu (S). Nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh adalah 0.979545455 (11.8760337833°). Nilai faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh pada unit 1 ini dikatakan aman karena perubahan faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi pada setiap perubahan waktu selama 24 jam dan nilai rata-ratanya masih diatas batas minimum dari faktor daya ($\cos \phi$) yang sudah ditentukan oleh pembangkit listrik, yaitu sebesar 0.8. Jika terdapat nilai faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh lebih rendah dari nilai faktor daya ($\cos \phi$) yang telah ditentukan, yaitu sebesar 0.8, maka faktor daya ($\cos \phi$) yang rendah ini dapat merugikan, karena akan mengakibatkan arus beban menjadi lebih tinggi. Arus beban yang tinggi ini akan menyebabkan kenaikan rugi-rugi daya listrik pada saluran distribusi yang harus ditanggung oleh PLN (Perusahaan Listrik Negara). Sehingga diperlukan perbaikan faktor daya ($\cos \phi$) yang dapat dilakukan dengan menggunakan kapasitor.

4.1.3 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) pada Unit 1

Data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada unit 1 adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012. Pada pengolahan data ini, dilakukan dua macam pengolahan data, yaitu pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 1.

4.1.3.1 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) pada Unit 1

Pengolahan data ini dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan arus penggiat (eksitasi) yang diberikan pada generator di unit 1 sebanding dengan perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan selama 24 jam. Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa perubahan daya aktif (P) serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 1. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem *sorting* data atau dengan cara mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai perubahan dari daya aktif (P). Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data ini ditunjukkan oleh tabel 4.3.

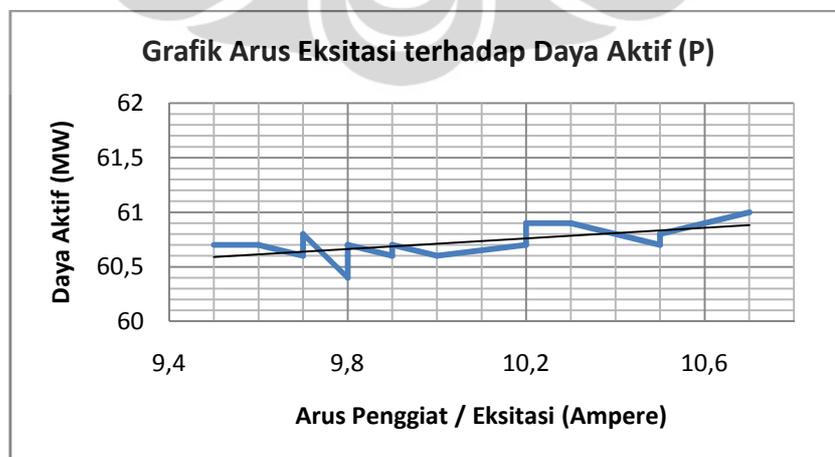
Tabel 4.3. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 1

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Cos Q | Daya Aktif (P) |
|-----|---------------|--------------------------|----------------|----------------|
| | | (Ampere) | (Power Factor) | (MW) |
| 1 | 02:00 | 9.5 | 1.00 | 60.7 |
| 2 | 06:00 | 9.6 | 1.00 | 60.7 |
| 3 | 03:00 | 9.7 | 1.00 | 60.6 |
| 4 | 01:00 | 9.7 | 1.00 | 60.7 |
| 5 | 04:00 | 9.7 | 1.00 | 60.8 |
| 6 | 05:00 | 9.7 | 1.00 | 60.8 |
| 7 | 10:00 | 9.8 | 1.00 | 60.4 |
| 8 | 09:00 | 9.8 | 1.00 | 60.5 |
| 9 | 11:00 | 9.8 | 1.00 | 60.5 |
| 10 | 08:00 | 9.8 | 1.00 | 60.6 |
| 11 | 00:00 | 9.8 | 1.00 | 60.7 |
| 12 | 12:00 | 9.8 | 1.00 | 60.7 |
| 13 | 13:00 | 9.9 | 1.00 | 60.6 |
| 14 | 07:00 | 9.9 | 1.00 | 60.7 |
| 15 | 14:00 | 9.9 | 1.00 | 60.7 |
| 16 | 15:00 | 9.9 | 1.00 | 60.7 |
| 17 | 16:00 | 10 | 1.00 | 60.6 |
| 18 | 17:00 | 10 | 0.99 | 60.6 |

| | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|------|
| 19 | 18:00 | 10.2 | 0.99 | 60.7 |
| 20 | 23:00 | 10.2 | 0.99 | 60.9 |
| 21 | 24:00 | 10.2 | 0.99 | 60.9 |
| 22 | 22:00 | 10.3 | 0.99 | 60.9 |
| 23 | 20:00 | 10.5 | 0.98 | 60.7 |
| 24 | 19:00 | 10.5 | 0.98 | 60.8 |
| 25 | 21:00 | 10.7 | 0.98 | 61 |
| Rata-rata | | 9.956 | 0.9956 | 60.7 |

Dari tabel 4.3., didapatkan hasil bahwa arus penggiat (eksitasi) maksimum yang dihasilkan adalah 10.7 Ampere pada pukul 21:00 WIB dan arus penggiat (eksitasi) minimum yang dihasilkan adalah 9.5 Ampere pada pukul 02:00 WIB. Sedangkan arus penggiat (eksitasi) rata-rata yang didapat adalah 9.956 Ampere. Data-data tersebut menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) yang diberikan ke generator pada unit 1 cukup untuk menimbulkan fluks yang besarnya tetap terhadap waktu.

Dari tabel 4.3., juga didapatkan hasil bahwa daya aktif (P) maksimum yang dihasilkan adalah 61 MW pada pukul 21:00 WIB dan daya aktif (P) minimum yang dihasilkan adalah 60.4 MW pada pukul 10:00 WIB. Sedangkan daya aktif (P) rata-rata yang didapat adalah 60.7 MW. Gambar 4.9. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan daya aktif (P) yang dihasilkan oleh generator pada unit 1.



Gambar 4.9. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 1

Gambar 4.9., menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator di unit 1 sangat berpengaruh terhadap perubahan daya aktif (P). Jika arus penggiat (eksitasi) semakin besar, maka daya aktif (P) yang dihasilkan oleh pembangkit listrik akan semakin besar pula. Akan tetapi, pada saat arus penggiat (eksitasi)-nya dinaikkan (diurutkan) dari 10.3 Ampere menjadi 10.5 Ampere terjadi penurunan daya aktif (P) sebesar 0.2 MW dari 60.9 MW menjadi 60.7 MW. Hal ini disebabkan oleh penurunan yang terjadi pada faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.01 dari 0.99 menjadi 0.98. Selain itu, penurunan daya aktif (P) bisa juga disebabkan oleh beban yang berubah-ubah pada jaringan, transduser atau juga bisa disebabkan oleh sistem dari DCS (Distributed Control System)-nya. Namun, besarnya perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 ini cukup untuk menyuplai kebutuhan beban listrik konsumen.

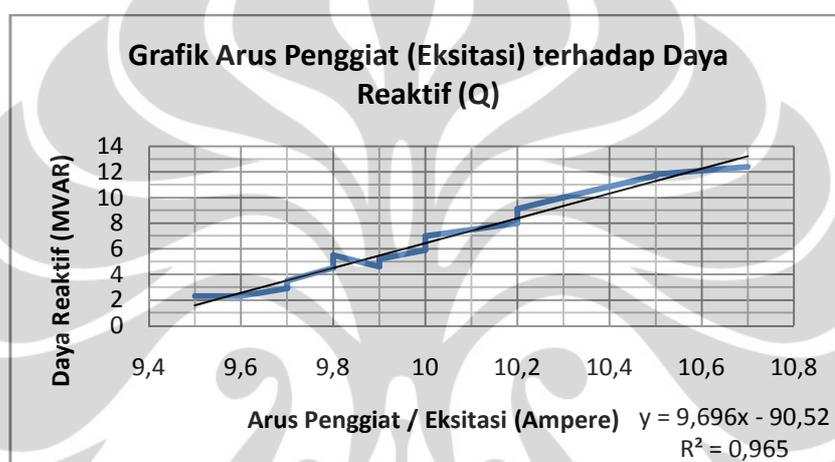
4.1.3.2 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Reaktif (Q) pada Unit 1

Pengolahan data ini dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan arus penggiat (eksitasi) yang diberikan pada generator di unit 1 sebanding dengan perubahan daya reaktif (Q) yang dihasilkan selama 24 jam. Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa perubahan daya reaktif (Q) serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 1. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem *sorting* data atau dengan cara mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai perubahan dari daya aktif (P). Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data ini ditunjukkan oleh tabel 4.4.

Tabel 4.4. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 1

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Cos Q | Daya Reaktif (Q) |
|-----------|---------------|--------------------------|----------------|------------------|
| | | (Ampere) | (Power Factor) | (MVAR) |
| 1 | 02:00 | 9.5 | 1.00 | 2.3 |
| 2 | 06:00 | 9.6 | 1.00 | 2.3 |
| 3 | 04:00 | 9.7 | 1.00 | 2.9 |
| 4 | 05:00 | 9.7 | 1.00 | 3 |
| 5 | 01:00 | 9.7 | 1.00 | 3.3 |
| 6 | 03:00 | 9.7 | 1.00 | 3.5 |
| 7 | 08:00 | 9.8 | 1.00 | 4.5 |
| 8 | 12:00 | 9.8 | 1.00 | 4.6 |
| 9 | 09:00 | 9.8 | 1.00 | 4.7 |
| 10 | 11:00 | 9.8 | 1.00 | 5 |
| 11 | 00:00 | 9.8 | 1.00 | 5.2 |
| 12 | 10:00 | 9.8 | 1.00 | 5.5 |
| 13 | 13:00 | 9.9 | 1.00 | 4.6 |
| 14 | 14:00 | 9.9 | 1.00 | 4.9 |
| 15 | 15:00 | 9.9 | 1.00 | 4.9 |
| 16 | 07:00 | 9.9 | 1.00 | 5.2 |
| 17 | 16:00 | 10 | 1.00 | 5.9 |
| 18 | 17:00 | 10 | 0.99 | 7 |
| 19 | 23:00 | 10.2 | 0.99 | 8 |
| 20 | 24:00 | 10.2 | 0.99 | 8.1 |
| 21 | 18:00 | 10.2 | 0.99 | 9.1 |
| 22 | 22:00 | 10.3 | 0.99 | 10 |
| 23 | 20:00 | 10.5 | 0.98 | 11.7 |
| 24 | 19:00 | 10.5 | 0.98 | 11.8 |
| 25 | 21:00 | 10.7 | 0.98 | 12.4 |
| Rata-rata | | 9.956 | 0.9956 | 6.016 |

Dari tabel 4.4., didapatkan hasil bahwa daya reaktif (Q) maksimum yang dihasilkan adalah 12.4 MVAR pada pukul 21:00 WIB dan daya reaktif (Q) minimum yang dihasilkan adalah 2.3 MVAR pada pukul 02:00 WIB. Sedangkan daya reaktif (Q) rata-rata yang didapat adalah 6.016 MVAR. Data-data tersebut menunjukkan bahwa daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 cukup untuk menyuplai kebutuhan beban induktif di pabrik-pabrik atau industri-industri. Gambar 4.10. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh generator pada unit 1.



Gambar 4.10. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 1

Gambar 4.10., menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator di unit 1 juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya reaktif (Q). Jika arus penggiat (eksitasi) semakin besar, maka daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh pembangkit listrik akan semakin besar pula. Hal ini membuktikan bahwa pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator berbanding lurus dengan daya reaktif (Q) yang dihasilkan pada unit 1. Contohnya adalah pada saat arus penggiat (eksitasi)-nya dinaikkan (diurutkan) dari 10.3 Ampere menjadi 10.5 Ampere terjadi kenaikan daya reaktif (P) sebesar 1.7 MVAR dari 10 MW menjadi 11.7 MW. Sebaliknya, faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi ketika kenaikan daya reaktif (Q) mengalami penurunan sebesar 0.01 dari 0.99 menjadi 0.98. Ini membuktikan bahwa daya reaktif (Q) yang semakin tinggi akan meningkatkan sudut dari faktor daya ($\cos \phi$) dan sebagai hasilnya faktor daya ($\cos \phi$) akan menjadi lebih rendah.

4.1.4 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Tegangan Output Generator pada Unit 1

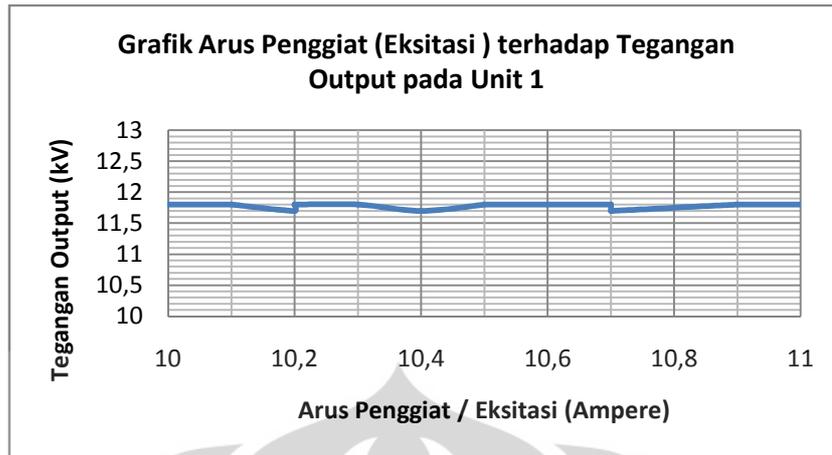
Data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 1 adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat kestabilan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak. Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa tegangan output dan gambar grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 1. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem *sorting* data, yaitu dengan cara mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai kestabilan atau perubahan dari tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 1. Hasil pengolahan data yang didapat ini ditunjukkan oleh tabel 4.5.

Tabel 4.5. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 1

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Tegangan Output |
|-----|------------|--------------------------|-----------------|
| | | (Ampere) | (kV) |
| 1 | 03:00 | 10 | 11.8 |
| 2 | 07:00 | 10 | 11.8 |
| 3 | 04:00 | 10.1 | 11.8 |
| 4 | 05:00 | 10.1 | 11.8 |
| 5 | 24:00 | 10.1 | 11.8 |
| 6 | 01:00 | 10.2 | 11.8 |
| 7 | 02:00 | 10.2 | 11.8 |
| 8 | 06:00 | 10.2 | 11.7 |
| 9 | 23:00 | 10.3 | 11.8 |
| 10 | 00:00 | 10.4 | 11.7 |
| 11 | 08:00 | 10.5 | 11.8 |
| 12 | 09:00 | 10.5 | 11.8 |
| 13 | 17:00 | 10.5 | 11.8 |

| | | | |
|-----------|-------|--------|--------|
| 14 | 12:00 | 10.6 | 11.8 |
| 15 | 13:00 | 10.6 | 11.8 |
| 16 | 16:00 | 10.6 | 11.8 |
| 17 | 21:00 | 10.7 | 11.7 |
| 18 | 22:00 | 10.7 | 11.7 |
| 19 | 14:00 | 10.7 | 11.8 |
| 20 | 15:00 | 10.7 | 11.8 |
| 21 | 18:00 | 10.9 | 11.8 |
| 22 | 11:00 | 10.9 | 11.8 |
| 23 | 10:00 | 10.9 | 11.8 |
| 24 | 20:00 | 10.9 | 11.8 |
| 25 | 19:00 | 11 | 11.8 |
| Rata-rata | | 10.492 | 11.784 |

Dari tabel 4.5., didapatkan hasil bahwa arus penggiat (eksitasi) maksimum yang diberikan ke generator pada unit 1 adalah 11 Ampere (19:00 WIB) dan arus penggiat (eksitasi) minimum yang diberikan ke generator pada unit 1 adalah 10 Ampere (03:00 dan 07:00 WIB). Sedangkan arus penggiat (eksitasi) rata-rata yang diberikan selama 24 jam ke generator pada unit 1 adalah 10.492 Ampere. Data-data tersebut menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) yang diberikan cukup untuk menstabilkan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 1. Gambar 4.11, menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 1.



Gambar 4.11. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 1

Gambar 4.11., seharusnya menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) menentukan kestabilan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 1. Akan tetapi, terjadi penurunan nilai tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 yaitu sebesar 0.1 kV dari 11.8 kV menjadi 11.7 kV (pada pukul 05:00 – 06:00 WIB dan 20:00 – 21:00 WIB). Penurunan tegangan output ini dianggap tidak bermasalah karena masih diatas batas minimal dari tegangan output yang telah ditentukan yaitu, sebesar 11 kV.

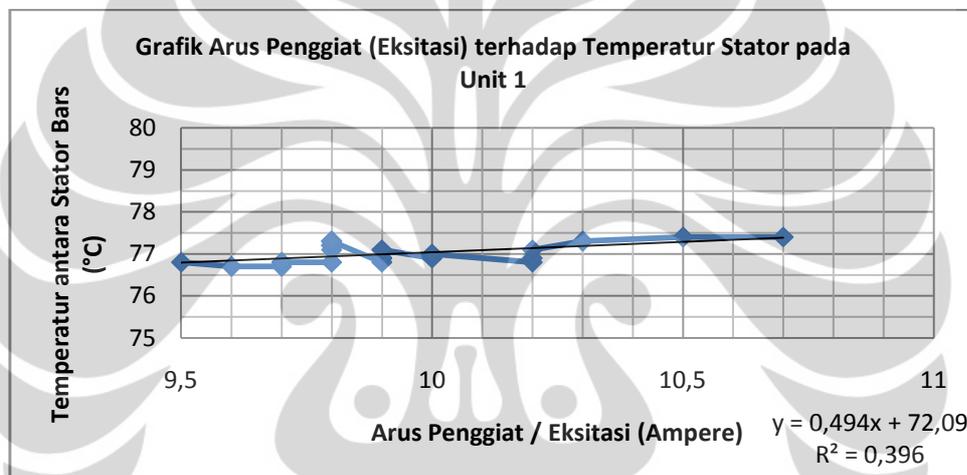
4.1.5 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Temperatur Stator pada Unit 1

Data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 1 adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat hubungan atau korelasi antara perubahan arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator dan untuk mengetahui kehandalan pada unit 1 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa arus penggiat (eksitasi) dan temperatur stator serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 1. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan sistem *sorting* data, yaitu dengan mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai perubahan dari temperatur stator. Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data pada unit 1 ditunjukkan oleh tabel 4.6.

Tabel 4.6. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 1

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Temperatur Stator |
|-----------|---------------|--------------------------|--------------------------------------|
| | | (Ampere) | Between Stator Bars T. E : 1 (°C) |
| 1 | 02:00 | 9.5 | 76.8 |
| 2 | 06:00 | 9.6 | 76.7 |
| 3 | 04:00 | 9.7 | 76.7 |
| 4 | 01:00 | 9.7 | 76.8 |
| 5 | 03:00 | 9.7 | 76.8 |
| 6 | 05:00 | 9.7 | 76.8 |
| 7 | 08:00 | 9.8 | 76.8 |
| 8 | 00:00 | 9.8 | 77.1 |
| 9 | 09:00 | 9.8 | 77.2 |
| 10 | 12:00 | 9.8 | 77.2 |
| 11 | 10:00 | 9.8 | 77.3 |
| 12 | 11:00 | 9.8 | 77.3 |
| 13 | 07:00 | 9.9 | 76.8 |
| 14 | 14:00 | 9.9 | 76.9 |
| 15 | 15:00 | 9.9 | 76.9 |
| 16 | 13:00 | 9.9 | 77.1 |
| 17 | 16:00 | 10 | 76.9 |
| 18 | 17:00 | 10 | 77 |
| 19 | 24:00 | 10.2 | 76.8 |
| 20 | 23:00 | 10.2 | 76.9 |
| 21 | 18:00 | 10.2 | 77.1 |
| 22 | 22:00 | 10.3 | 77.3 |
| 23 | 19:00 | 10.5 | 77.4 |
| 24 | 20:00 | 10.5 | 77.4 |
| 25 | 21:00 | 10.7 | 77.4 |
| Rata-rata | | 9.956 | 77.016 |

Dari tabel 4.6., didapatkan hasil bahwa temperatur stator maksimum yang dihasilkan adalah 77.4 °C pada pukul 19:00 – 21:00 WIB dan temperatur stator minimum yang dihasilkan adalah 76.7 °C pada pukul 04:00 dan 06:00 WIB. Sedangkan temperatur stator rata-rata yang dihasilkan 77.016 °C. Data-data tersebut menunjukkan bahwa temperatur stator yang dihasilkan diantara stator bars di generator pada unit 1 masih dikatakan aman, karena besarnya tidak melampaui dari batas yang sudah ditentukan oleh pembangkit listrik, yaitu 120 °C. Gambar 4.12. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan tegangan stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 1.



Gambar 4.12. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 1

Gambar 4.12., menunjukkan bahwa menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) sangat berpengaruh terhadap perubahan temperatur stator. Jika arus penggiat (eksitasi) semakin besar, maka temperatur stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 akan semakin besar pula.

Dari gambar 4.12., juga didapat sebuah persamaan linier antara arus penggiat (eksitasi) dengan temperatur pada stator, yaitu:

$$y = 0.494x + 72.09 \quad (4.2)$$

dimana;

y = temperatur stator ($^{\circ}\text{C}$)

x = Arus penggiat / eksitasi (Ampere)

Dari persamaan (4.2) dapat ditentukan besarnya temperature stator yang dihasilkan apabila pada generator di unit 1 diberikan arus penggiat (eksitasi) sebesar 1 Ampere.

$$y = 0.494(1) + 72.09$$

$$y = 0.494 + 72.09$$

$$y = 72.584 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Pada unit 1, jika generator diberikan arus penggiat (eksitasi) sebesar 1 Ampere, maka temperatur stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 sebesar $72.584 \text{ } ^{\circ}\text{C}$.

4.2 Pengolahan dan Analisa Data Operasi Generator pada Unit 2

Data operasi generator yang digunakan untuk pengolahan data pada unit 2 sama dengan data yang digunakan pada unit 1 dan 3, yaitu data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012 dan 21 April 2012. Pengolahan data operasi generator pada unit 2 ini terdiri dari 5 bagian, yaitu data daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap waktu, data faktor daya ($\cos \phi$), data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output dari generator dan data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator. Berikut ini adalah penjelasan untuk masing-masing pengolahan data di atas.

4.2.1 Data Daya Aktif (P), Daya Reaktif (Q) dan Daya Semu (S) terhadap Waktu pada Unit 2

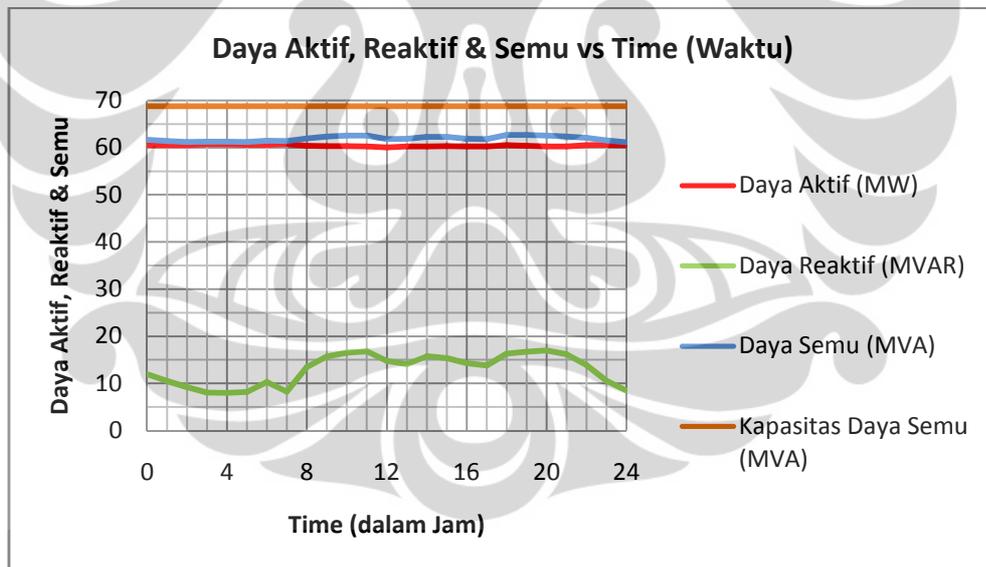
Pada unit 2, data yang juga digunakan untuk pengolahan data daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya Semu (S) adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini juga dilakukan untuk melihat besarnya nilai perubahan daya semu (S) dari masing-masing perubahan waktu yang terjadi pada unit 2 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa daya semu (S) yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 saat terjadi perubahan waktu selama 24 jam. Hasil pengolahan data pada unit 2 yang didapat dari perhitungan dengan menggunakan persamaan 4.1 ditunjukkan oleh tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil perhitungan daya semu (S) yang dihasilkan oleh daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada unit 2

| No. | Time (Jam) | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | Daya Semu (S) |
|-----|---------------|----------------|------------------|---------------|
| | | (MW) | (MVAR) | (MVA) |
| 1 | 00:00 | 60.5 | 11.9 | 61.65922478 |
| 2 | 01:00 | 60.5 | 10.5 | 61.40439724 |
| 3 | 02:00 | 60.5 | 9.2 | 61.19550637 |
| 4 | 03:00 | 60.7 | 8.1 | 61.23806006 |
| 5 | 04:00 | 60.7 | 8 | 61.22491323 |
| 6 | 05:00 | 60.6 | 8.2 | 61.15226897 |
| 7 | 06:00 | 60.6 | 10.3 | 61.46909793 |
| 8 | 07:00 | 60.8 | 8.3 | 61.36391448 |
| 9 | 08:00 | 60.4 | 13.5 | 61.89030619 |
| 10 | 09:00 | 60.3 | 15.7 | 62.31035227 |
| 11 | 10:00 | 60.3 | 16.5 | 62.51671776 |
| 12 | 11:00 | 60.2 | 16.8 | 62.50024 |
| 13 | 12:00 | 60 | 14.8 | 61.79838186 |
| 14 | 13:00 | 60.2 | 14.1 | 61.82920022 |
| 15 | 14:00 | 60.2 | 15.8 | 62.23889459 |
| 16 | 15:00 | 60.3 | 15.4 | 62.23544006 |

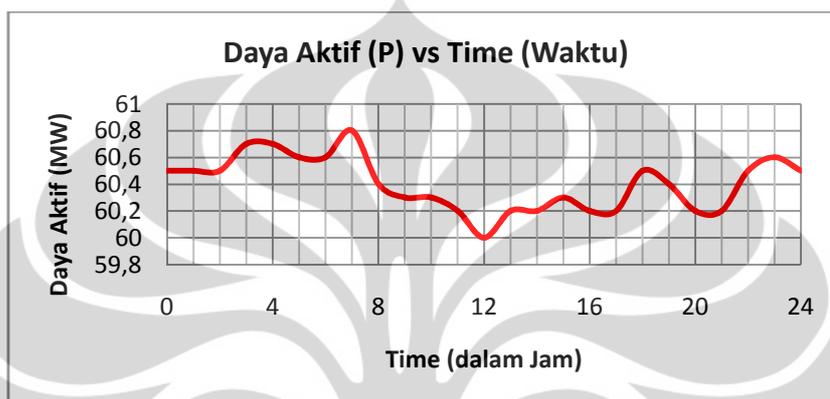
| | | | | |
|-----------|-------|--------|--------|-------------|
| 17 | 16:00 | 60.2 | 14.3 | 61.87511616 |
| 18 | 17:00 | 60.2 | 13.8 | 61.76147667 |
| 19 | 18:00 | 60.5 | 16.3 | 62.657322 |
| 20 | 19:00 | 60.4 | 16.7 | 62.66617908 |
| 21 | 20:00 | 60.2 | 17 | 62.55429642 |
| 22 | 21:00 | 60.2 | 16.2 | 62.34163938 |
| 23 | 22:00 | 60.5 | 13.9 | 62.07624344 |
| 24 | 23:00 | 60.6 | 10.6 | 61.52007802 |
| 25 | 24:00 | 60.5 | 8.5 | 61.09418958 |
| Rata-rata | | 60.404 | 12.976 | 61.86293827 |

Dari tabel 4.7., dibuat grafik hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap perubahan waktu yang dihasilkan oleh generator pada unit 2.



Gambar 4.13. Grafik hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap waktu pada unit 2

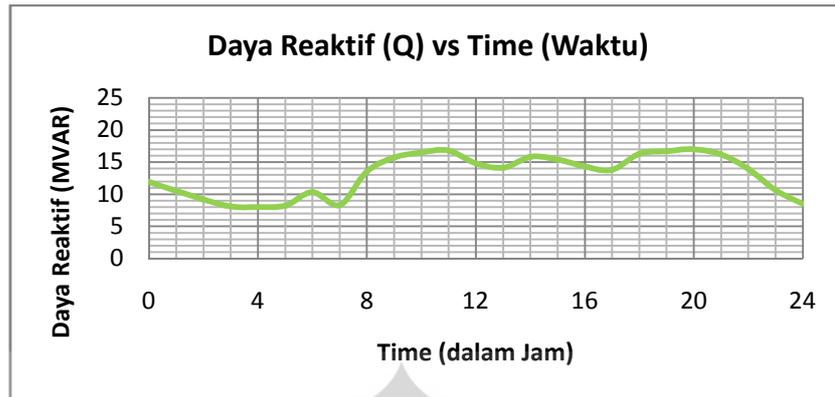
Gambar 4.13. menunjukkan bahwa perubahan waktu (selama 24 jam) pada unit 2 juga sangat berpengaruh terhadap daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) yang dihasilkan oleh operasi generator. Untuk melihat perubahan grafik secara jelasnya dari masing-masing daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap perubahan waktu pada unit 2 dapat dilihat pada grafik-grafik di bawah ini.



Gambar 4.14. Grafik hubungan antara daya aktif (P) terhadap waktu pada unit 2

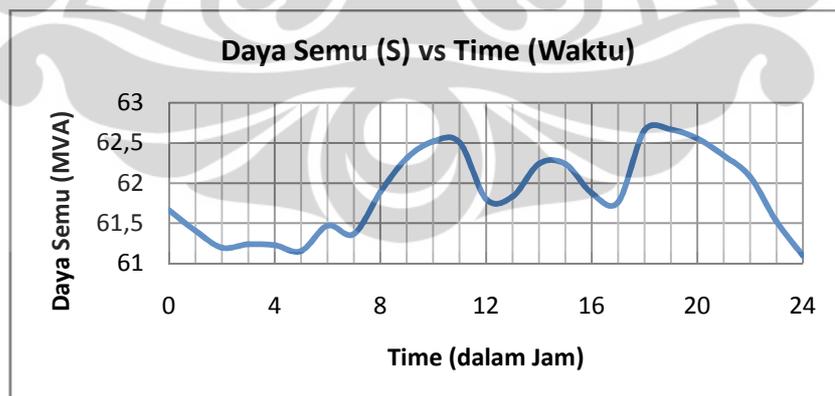
Dari gambar 4.14., terlihat bahwa perubahan waktu sangat berpengaruh terhadap perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 2. Daya aktif (P) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 60.8 MW pada pukul 07:00 WIB. Nilai daya aktif (P) maksimum yang terjadi pada pukul 07:00 WIB ini merupakan nilai daya listrik tertinggi yang dibutuhkan oleh beban (beban puncak harian) yang terjadi selama 24 jam. Sedangkan daya aktif (P) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 60 MW pada pukul 12:00 WIB. Pemakaian daya listrik pada pukul 12:00 WIB ini merupakan pemakaian daya listrik yang paling terendah selama 24 jam.

Pada unit 2, nilai daya aktif (P) rata-rata yang diperoleh adalah sebesar 60.404 MW. Nilai rata-rata daya aktif (P) yang dihasilkan pada unit 2 ini adalah nilai rata-rata daya aktif (P) yang paling besar dibandingkan dengan nilai rata-rata daya aktif (P) yang diperoleh pada unit 1 (60.04 MW) dan unit 3 (59.808 MW).



Gambar 4.15. Grafik hubungan antara daya reaktif (Q) terhadap waktu pada unit 2

Dari gambar 4.15., terlihat bahwa perubahan waktu juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya reaktif (Q) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 2. Daya reaktif (Q) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 16.8 MVAR pada pukul 11:00 WIB. Ini menunjukkan bahwa nilai daya reaktif (Q) maksimum yang terjadi pada pukul 11:00 WIB merupakan beban induktif yang paling tertinggi yang terjadi selama 24 jam. Sedangkan daya reaktif (Q) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 8 MVAR pada pukul 04:00 WIB. Pemakaian daya reaktif (Q) pada pukul 04:00 WIB ini merupakan pemakaian daya reaktif (Q) yang paling terendah selama 24 jam. Pada unit 2, nilai daya reaktif (Q) rata-rata yang diperoleh adalah sebesar 12.976 MVAR.



Gambar 4.16. Grafik hubungan antara daya semu (S) terhadap waktu pada unit 2

Dari gambar 4.16., terlihat bahwa perubahan waktu juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya semu (S) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 2. Daya semu (S) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 62.66617908 MVA pada pukul 19:00 WIB dan daya semu (S) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 61.09418958 MVA pada pukul 24:00 WIB. Sedangkan untuk nilai daya semu (S) rata-rata yang diperoleh pada unit 2 adalah sebesar 61.86293827 MVA. Nilai rata-rata daya semu (S) yang dihasilkan pada unit 2 ini adalah nilai rata-rata daya semu (S) yang paling besar dibandingkan dengan nilai rata-rata daya semu (S) yang diperoleh pada unit 1 (61.39314373 MVA) dan unit 3 (61.33163862 MVA). Data-data tersebut menunjukkan bahwa daya semu (S) yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 tidak melebihi dari batas kapasitas daya semu (S) yang sudah ditentukan, yaitu sebesar 68.75 MVA.

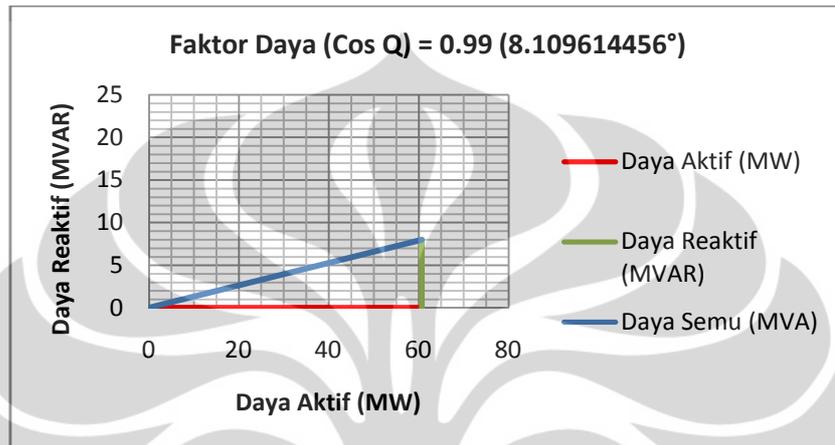
4.2.2 Data Faktor Daya (Cos ϕ) pada Unit 2

Pada unit 2, data yang juga digunakan untuk pengolahan data faktor daya (cos ϕ) adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini juga dilakukan untuk melihat efisiensi jaringan pada unit 2 dalam menyalurkan daya listrik yang bisa dimanfaatkan oleh konsumen selama 24 jam. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa ϕ (phi atau sudut antara daya aktif dengan daya semu) dan gambar segitiga daya yang dihasilkan dari hubungan ketiga daya (daya aktif, daya reaktif dan daya semu) untuk masing-masing perubahan waktu selama 24 jam. Hasil pengolahan data yang didapat pada unit 2 ditunjukkan oleh tabel 4.8.

Tabel 4.8. Data faktor daya ($\cos \phi$) pada unit 2

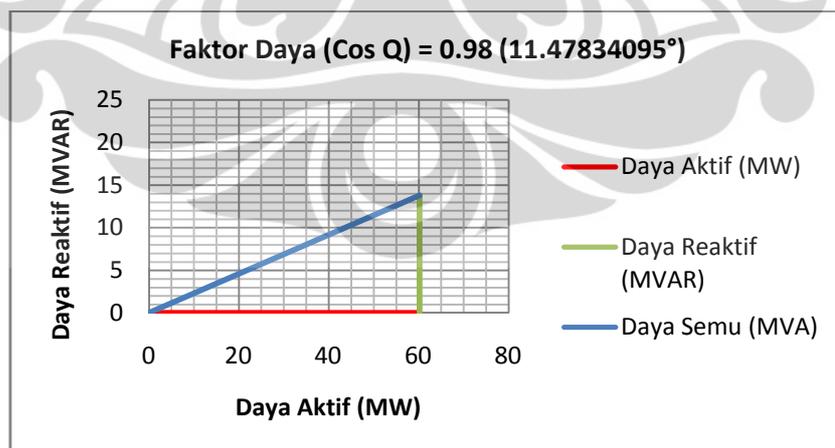
| Data Operasi pada Unit 2 | | | | | | |
|--------------------------|---------------|----------------|------------------|---------------|----------------|------------------|
| No. | Time (Jam) | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | Daya Semu (S) | Cos Q | Sudut (ϕ) |
| | | (MW) | (MVAR) | (MVA) | (Power Factor) | |
| 1 | 00:00 | 60.5 | 11.9 | 61.65922478 | 0.99 | 8.109614456° |
| 2 | 01:00 | 60.5 | 10.5 | 61.40439724 | 0.99 | 8.109614456° |
| 3 | 02:00 | 60.5 | 9.2 | 61.19550637 | 0.99 | 8.109614456° |
| 4 | 03:00 | 60.7 | 8.1 | 61.23806006 | 0.99 | 8.109614456° |
| 5 | 04:00 | 60.7 | 8 | 61.22491323 | 0.99 | 8.109614456° |
| 6 | 05:00 | 60.6 | 8.2 | 61.15226897 | 0.99 | 8.109614456° |
| 7 | 06:00 | 60.6 | 10.3 | 61.46909793 | 0.99 | 8.109614456° |
| 8 | 07:00 | 60.8 | 8.3 | 61.36391448 | 0.99 | 8.109614456° |
| 9 | 08:00 | 60.4 | 13.5 | 61.89030619 | 0.99 | 8.109614456° |
| 10 | 09:00 | 60.3 | 15.7 | 62.31035227 | 0.98 | 11.47834095° |
| 11 | 10:00 | 60.3 | 16.5 | 62.51671776 | 0.97 | 14.06986775° |
| 12 | 11:00 | 60.2 | 16.8 | 62.50024 | 0.97 | 14.06986775° |
| 13 | 12:00 | 60 | 14.8 | 61.79838186 | 0.98 | 11.47834095° |
| 14 | 13:00 | 60.2 | 14.1 | 61.82920022 | 0.98 | 11.47834095° |
| 15 | 14:00 | 60.2 | 15.8 | 62.23889459 | 0.97 | 14.06986775° |
| 16 | 15:00 | 60.3 | 15.4 | 62.23544006 | 0.98 | 11.47834095° |
| 17 | 16:00 | 60.2 | 14.3 | 61.87511616 | 0.98 | 11.47834095° |
| 18 | 17:00 | 60.2 | 13.8 | 61.76147667 | 0.98 | 11.47834095° |
| 19 | 18:00 | 60.5 | 16.3 | 62.657322 | 0.97 | 14.06986775° |
| 20 | 19:00 | 60.4 | 16.7 | 62.66617908 | 0.97 | 14.06986775° |
| 21 | 20:00 | 60.2 | 17 | 62.55429642 | 0.97 | 14.06986775° |
| 22 | 21:00 | 60.2 | 16.2 | 62.34163938 | 0.97 | 14.06986775° |
| 23 | 22:00 | 60.5 | 13.9 | 62.07624344 | 0.98 | 11.47834095° |
| 24 | 23:00 | 60.6 | 10.6 | 61.52007802 | 0.99 | 8.109614456° |
| 25 | 24:00 | 60.5 | 8.5 | 61.09418958 | 0.99 | 8.109614456° |
| Rata-rata | | 60.404 | 12.976 | 61,86293827 | 0.9816 | 10.7217287966° |

Berdasarkan dari tabel 4.8., didapatkan hasil bahwa faktor daya ($\cos \varphi$) yang terjadi pada unit 2 adalah 0.99, 0.98 dan 0.97. Faktor daya ($\cos \varphi$) maksimum yang dihasilkan adalah 0.99. Sedangkan faktor daya ($\cos \varphi$) minimum yang dihasilkan adalah 0.97. Perubahan nilai faktor daya ($\cos \varphi$) yang terjadi pada unit 2 ditunjukkan oleh gambar-gambar segitiga daya dibawah berikut:



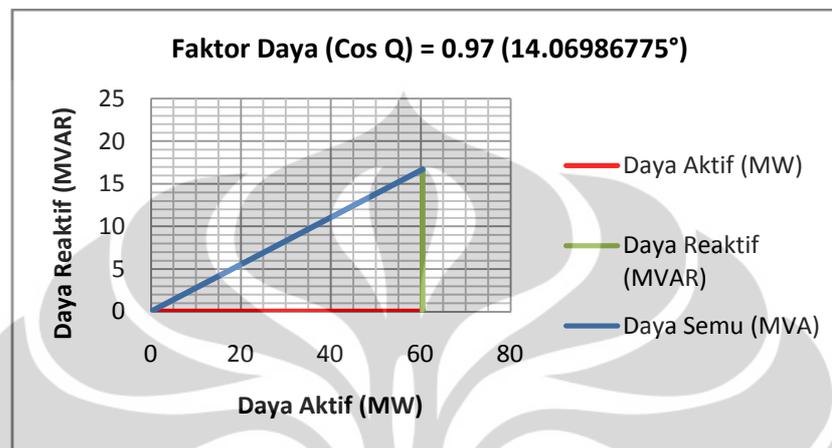
Gambar 4.17. Segitiga daya dengan $\cos \varphi = 0.99$ pada unit 2

Gambar 4.17. menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \varphi$) sebesar 0.99 terbentuk pada pukul 00:00 – 08:00 WIB dan 23:00 – 24:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \varphi = 0.99$ adalah sebesar $8.109614456^\circ \approx 8.11^\circ$.



Gambar 4.18. Segitiga daya dengan $\cos \varphi = 0.98$ pada unit 2

Gambar 4.18. menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.98 terbentuk pada pukul 09:00 WIB, 12:00 – 13:00 WIB 15:00 – 17:00 WIB dan 22:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.98$ adalah sebesar $11.47834095^\circ \approx 11.48^\circ$.



Gambar 4.19. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.97$ pada unit 2

Gambar 4.19. menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.97 terbentuk pada pukul 10:00 – 11:00 WIB, 14:00 WIB dan 18:00 – 21:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.97$ adalah sebesar $14.06986775^\circ \approx 14.07^\circ$.

Pada unit 2, nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh adalah 0.9816 (10.7217287966°). Nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang dihasilkan pada unit 2 ini adalah nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang paling tinggi (paling bagus) dibandingkan dengan nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh pada unit 1 ($0.979545455 / 11.8760337833^\circ$) dan unit 3 ($0.952173913 / 17.3236252528^\circ$). Nilai faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh pada unit 2 ini dikatakan aman karena perubahan faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi pada setiap perubahan waktu selama 24 jam dan nilai rata-ratanya masih diatas batas minimum dari faktor daya ($\cos \phi$) yang sudah ditentukan oleh pembangkit listrik, yaitu sebesar 0.8.

4.2.3 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) pada Unit 2

Data yang juga digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada unit 2 adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012. Pada pengolahan data ini, dilakukan dua macam pengolahan data juga, yaitu pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 2.

4.2.3.1 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) pada Unit 2

Pada unit 2, pengolahan data ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan arus penggiat (eksitasi) yang diberikan pada generator sebanding dengan perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan selama 24 jam. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa perubahan daya aktif (P) serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 2. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem *sorting* data atau dengan cara mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai perubahan dari daya aktif (P). Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data ini ditunjukkan oleh tabel 4.9.

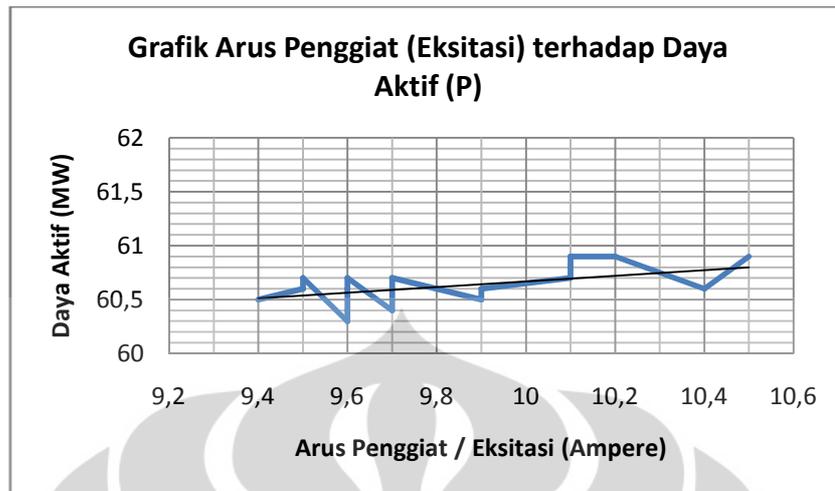
Tabel 4.9. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 2

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Cos Q | Daya Aktif (P) |
|-----|---------------|--------------------------|----------------|----------------|
| | | (Ampere) | (Power Factor) | (MW) |
| 1 | 02:00 | 9.4 | 1.00 | 60.5 |
| 2 | 06:00 | 9.4 | 1.00 | 60.5 |
| 3 | 05:00 | 9.5 | 1.00 | 60.6 |
| 4 | 04:00 | 9.5 | 1.00 | 60.7 |
| 5 | 10:00 | 9.6 | 1.00 | 60.3 |
| 6 | 11:00 | 9.6 | 1.00 | 60.4 |
| 7 | 03:00 | 9.6 | 1.00 | 60.6 |
| 8 | 12:00 | 9.6 | 1.00 | 60.6 |

| | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|-------|
| 9 | 01:00 | 9.6 | 1.00 | 60.7 |
| 10 | 08:00 | 9.7 | 1.00 | 60.4 |
| 11 | 13:00 | 9.7 | 1.00 | 60.5 |
| 12 | 00:00 | 9.7 | 1.00 | 60.6 |
| 13 | 09:00 | 9.7 | 1.00 | 60.6 |
| 14 | 07:00 | 9.7 | 1.00 | 60.7 |
| 15 | 14:00 | 9.7 | 1.00 | 60.7 |
| 16 | 15:00 | 9.8 | 1.00 | 60.6 |
| 17 | 16:00 | 9.9 | 1.00 | 60.5 |
| 18 | 17:00 | 9.9 | 1.00 | 60.6 |
| 19 | 18:00 | 10.1 | 1.00 | 60.7 |
| 20 | 23:00 | 10.1 | 1.00 | 60.8 |
| 21 | 24:00 | 10.1 | 1.00 | 60.9 |
| 22 | 22:00 | 10.2 | 0.99 | 60.9 |
| 23 | 19:00 | 10.4 | 0.99 | 60.6 |
| 24 | 20:00 | 10.4 | 0.99 | 60.6 |
| 25 | 21:00 | 10.5 | 0.99 | 60.9 |
| Rata-rata | | 9.816 | 0.9984 | 60.62 |

Dari tabel 4.9., didapatkan hasil bahwa arus penggiat (eksitasi) maksimum yang dihasilkan adalah 10.5 Ampere pada pukul 21:00 WIB dan arus penggiat (eksitasi) minimum yang dihasilkan adalah 9.4 Ampere pada pukul 02:00 dan 06:00 WIB. Sedangkan arus penggiat (eksitasi) rata-rata yang didapat adalah 9.816 Ampere. Data-data tersebut menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) yang diberikan ke generator pada unit 2 cukup untuk menimbulkan fluks yang besarnya tetap terhadap waktu.

Dari tabel 4.9., juga didapatkan hasil bahwa daya aktif (P) maksimum yang dihasilkan adalah 60.9 MW pada pukul 21:00 – 22:00 WIB dan 24:00 WIB, sedangkan daya aktif (P) minimum yang dihasilkan adalah 60.3 MW pada pukul 10:00 MW. Daya aktif (P) rata-rata yang didapat adalah 60.62 MW. Gambar 4.20. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan daya aktif (P) yang dihasilkan oleh generator pada unit 2.



Gambar 4.20. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 2

Gambar 4.20., menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator di unit 2 ini juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya aktif (P). Akan tetapi terjadi hal yang sama seperti pada unit 1, pada saat arus penggiat (eksitasi)-nya dinaikkan (diurutkan) dari 10.2 Ampere menjadi 10.4 Ampere terjadi penurunan daya aktif (P) sebesar 0.3 MW dari 60.9 MW menjadi 60.6 MW. Hal ini juga disebabkan oleh penurunan yang terjadi pada faktor daya ($\cos \varphi$) sebesar 0.01 dari 1.00 menjadi 0.99. Selain itu, penurunan daya aktif (P) bisa juga disebabkan oleh beban yang berubah-ubah pada jaringan, transduser atau juga bisa disebabkan oleh sistem dari DCS (Distributed Control System)-nya. Namun, besarnya perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 ini cukup untuk menyuplai kebutuhan beban listrik konsumen.

4.2.3.2 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Reaktif (Q) pada Unit 2

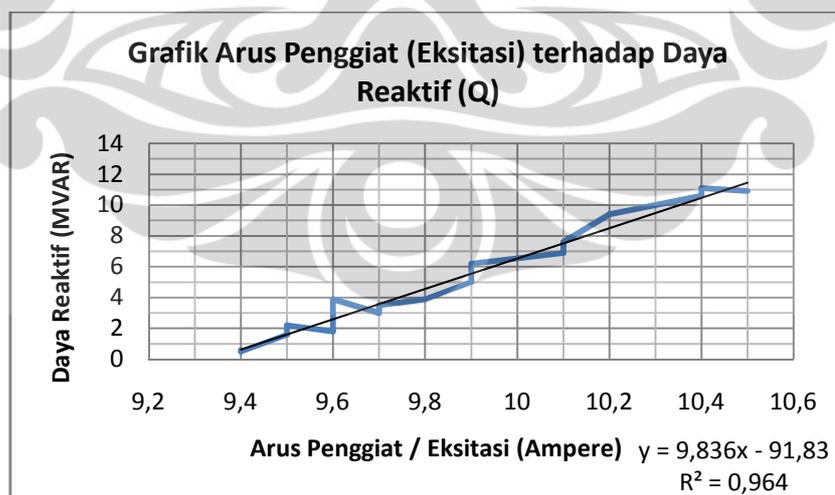
Pada unit 2, pengolahan data ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan arus penggiat (eksitasi) yang diberikan pada generator sebanding dengan perubahan daya reaktif (Q) yang dihasilkan selama 24 jam. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa perubahan daya reaktif (Q) serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 2. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem *sorting* data atau dengan cara mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai perubahan dari daya aktif (P). Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data ini ditunjukkan oleh tabel 4.10.

Tabel 4.10. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 2

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Cos Q | Daya Reaktif (Q) |
|-----|---------------|--------------------------|----------------|------------------|
| | | (Ampere) | (Power Factor) | (MVAR) |
| 1 | 06:00 | 9.4 | 1.00 | 0.5 |
| 2 | 02:00 | 9.4 | 1.00 | 0.6 |
| 3 | 04:00 | 9.5 | 1.00 | 1.6 |
| 4 | 05:00 | 9.5 | 1.00 | 2.2 |
| 5 | 01:00 | 9.6 | 1.00 | 1.8 |
| 6 | 03:00 | 9.6 | 1.00 | 1.9 |
| 7 | 12:00 | 9.6 | 1.00 | 3 |
| 8 | 10:00 | 9.6 | 1.00 | 3.8 |
| 9 | 11:00 | 9.6 | 1.00 | 3.9 |
| 10 | 08:00 | 9.7 | 1.00 | 3 |
| 11 | 13:00 | 9.7 | 1.00 | 3.2 |
| 12 | 09:00 | 9.7 | 1.00 | 3.3 |
| 13 | 14:00 | 9.7 | 1.00 | 3.3 |
| 14 | 00:00 | 9.7 | 1.00 | 3.5 |
| 15 | 07:00 | 9.7 | 1.00 | 3.5 |
| 16 | 15:00 | 9.8 | 1.00 | 3.9 |
| 17 | 16:00 | 9.9 | 1.00 | 5 |

| | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|------|
| 18 | 17:00 | 9.9 | 1.00 | 6.2 |
| 19 | 23:00 | 10.1 | 1.00 | 6.9 |
| 20 | 24:00 | 10.1 | 1.00 | 7.3 |
| 21 | 18:00 | 10.1 | 1.00 | 7.6 |
| 22 | 22:00 | 10.2 | 0.99 | 9.4 |
| 23 | 19:00 | 10.4 | 0.99 | 10.6 |
| 24 | 20:00 | 10.4 | 0.99 | 11.1 |
| 25 | 21:00 | 10.5 | 0.99 | 10.9 |
| Rata-rata | | 9.816 | 0.9984 | 4.72 |

Dari tabel 4.10., didapatkan hasil bahwa daya reaktif (Q) maksimum yang dihasilkan adalah 11.1 MVAR pada pukul 20:00 WIB dan daya reaktif (Q) minimum yang dihasilkan adalah 0.5 MVAR pada pukul 06:00 WIB. Sedangkan daya reaktif (Q) rata-rata yang didapat adalah 4.72 MVAR. Data-data tersebut menunjukkan bahwa daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 cukup untuk menyuplai kebutuhan beban induktif di pabrik-pabrik atau industri-industri. Gambar 4.21. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh generator pada unit 2.



Gambar 4.21. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 2

Gambar 4.21., juga menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator di unit 2 sangat berpengaruh terhadap perubahan daya reaktif (Q). Jika arus penggiat (eksitasi) semakin besar, maka daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh pembangkit listrik akan semakin besar pula. Hal ini membuktikan bahwa pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator berbanding lurus dengan daya reaktif (Q) yang dihasilkan pada unit 2. Contohnya adalah pada saat arus penggiat (eksitasi)-nya dinaikkan (diurutkan) dari 10.1 Ampere menjadi 10.2 Ampere terjadi kenaikan daya reaktif (P) sebesar 1.8 MVAR dari 7.6 MW menjadi 9.4 MW. Sebaliknya, faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi ketika kenaikan daya reaktif (Q) mengalami penurunan sebesar 0.01 dari 1.00 menjadi 0.99. Ini juga membuktikan bahwa daya reaktif (Q) yang semakin tinggi akan meningkatkan sudut dari faktor daya ($\cos \phi$) dan sebagai hasilnya faktor daya ($\cos \phi$) akan menjadi lebih rendah.

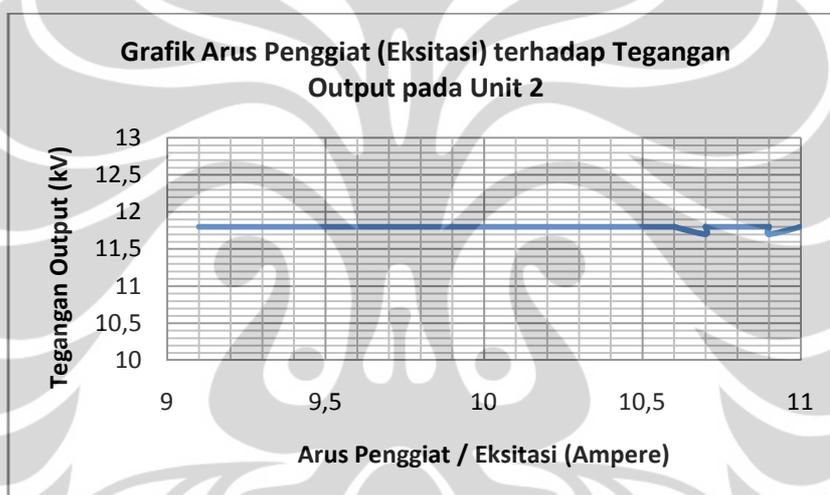
4.2.4 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Tegangan Output Generator pada Unit 2

Pada unit 2, data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat kestabilan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak. Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa tegangan output dan gambar grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 2. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem yang dengan sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data pada unit 1, yaitu sistem *sorting* data. Hasil pengolahan data yang didapat ini ditunjukkan oleh tabel 4.11.

Tabel 4.11. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 2

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Tegangan Output |
|-----------|---------------|--------------------------|-----------------|
| | | (Ampere) | (kV) |
| 1 | 08:00 | 9.1 | 11.8 |
| 2 | 09:00 | 9.1 | 11.8 |
| 3 | 03:00 | 10.1 | 11.8 |
| 4 | 07:00 | 10.1 | 11.8 |
| 5 | 24:00 | 10.1 | 11.8 |
| 6 | 02:00 | 10.2 | 11.8 |
| 7 | 04:00 | 10.2 | 11.8 |
| 8 | 01:00 | 10.3 | 11.8 |
| 9 | 05:00 | 10.3 | 11.8 |
| 10 | 00:00 | 10.4 | 11.8 |
| 11 | 06:00 | 10.4 | 11.8 |
| 12 | 23:00 | 10.4 | 11.8 |
| 13 | 12:00 | 10.6 | 11.8 |
| 14 | 13:00 | 10.6 | 11.8 |
| 15 | 17:00 | 10.6 | 11.8 |
| 16 | 22:00 | 10.7 | 11.7 |
| 17 | 15:00 | 10.7 | 11.8 |
| 18 | 16:00 | 10.7 | 11.8 |
| 19 | 14:00 | 10.8 | 11.8 |
| 20 | 10:00 | 10.9 | 11.8 |
| 21 | 11:00 | 10.9 | 11.8 |
| 22 | 21:00 | 10.9 | 11.7 |
| 23 | 18:00 | 11 | 11.8 |
| 24 | 19:00 | 11 | 11.8 |
| 25 | 20:00 | 11 | 11.8 |
| Rata-rata | | 10.444 | 11.792 |

Dari tabel 4.11., didapatkan hasil bahwa arus penggiat (eksitasi) maksimum yang diberikan ke generator pada unit 2 adalah 11 Ampere (18:00 - 20:00 WIB) dan arus penggiat (eksitasi) minimum yang diberikan ke generator pada unit 2 adalah 9.1 Ampere (08:00 dan 09:00 WIB). Sedangkan arus penggiat (eksitasi) rata-rata yang diberikan selama 24 jam ke generator pada unit 1 adalah 10.444 Ampere. Data-data tersebut menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) yang diberikan cukup untuk menstabilkan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 2. Gambar 4.22, menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 2.



Gambar 4.22. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 2

Gambar 4.22., seharusnya menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) menentukan kestabilan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 2. Akan tetapi, terjadi penurunan nilai tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 yaitu sebesar 0.1 kV dari 11.8 kV menjadi 11.7 kV (pada pukul 20:00 – 22:00 WIB). Sama halnya pada unit 1, penurunan tegangan output pada unit 2 ini juga dianggap tidak bermasalah karena masih diatas batas minimal dari tegangan output yang telah ditentukan yaitu, sebesar 11 kV.

4.2.5 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Temperatur Stator pada Unit 2

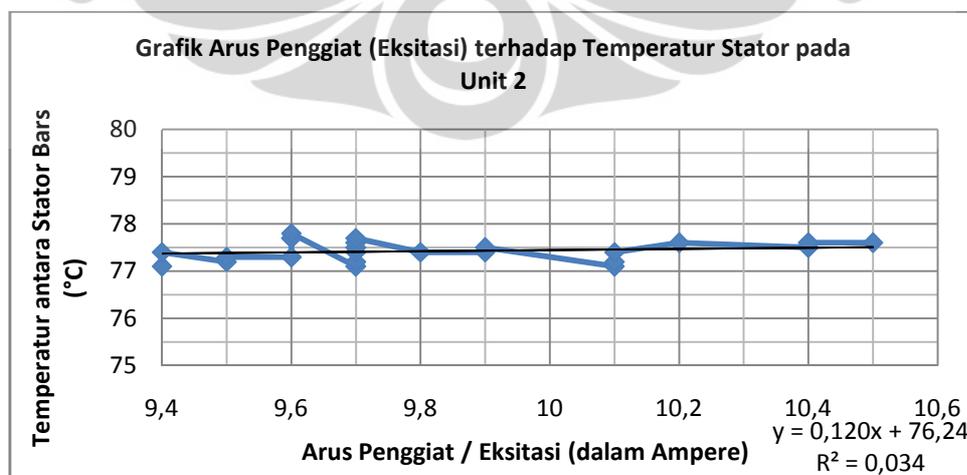
Pada unit 2, data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat hubungan atau korelasi antara perubahan arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator dan untuk mengetahui kehandalan pada unit 2 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa arus penggiat (eksitasi) dan temperatur stator serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 2. Pada unit 2, pengolahan data dilakukan dengan menggunakan sistem *sorting* data yang digunakan pada pengolahan data pada unit 1. Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data pada unit 2 ditunjukkan oleh tabel 4.12.

Tabel 4.12. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 2

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) (Ampere) | Temperatur Stator |
|-----|---------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | | Between Stator Bars T. E : 1 (°C) |
| 1 | 06:00 | 9.4 | 77.1 |
| 2 | 02:00 | 9.4 | 77.4 |
| 3 | 05:00 | 9.5 | 77.2 |
| 4 | 04:00 | 9.5 | 77.3 |
| 5 | 01:00 | 9.6 | 77.3 |
| 6 | 03:00 | 9.6 | 77.3 |
| 7 | 10:00 | 9.6 | 77.7 |
| 8 | 12:00 | 9.6 | 77.7 |
| 9 | 11:00 | 9.6 | 77.8 |
| 10 | 07:00 | 9.7 | 77.1 |
| 11 | 08:00 | 9.7 | 77.2 |
| 12 | 00:00 | 9.7 | 77.4 |
| 13 | 09:00 | 9.7 | 77.5 |
| 14 | 14:00 | 9.7 | 77.6 |
| 15 | 13:00 | 9.7 | 77.7 |

| | | | |
|-----------|-------|-------|--------|
| 16 | 15:00 | 9.8 | 77.4 |
| 17 | 16:00 | 9.9 | 77.4 |
| 18 | 17:00 | 9.9 | 77.5 |
| 19 | 24:00 | 10.1 | 77.1 |
| 20 | 23:00 | 10.1 | 77.2 |
| 21 | 18:00 | 10.1 | 77.4 |
| 22 | 22:00 | 10.2 | 77.6 |
| 23 | 19:00 | 10.4 | 77.5 |
| 24 | 20:00 | 10.4 | 77.6 |
| 25 | 21:00 | 10.5 | 77.6 |
| Rata-rata | | 9.816 | 77.424 |

Dari tabel 4.12., didapatkan hasil bahwa temperatur stator maksimum yang dihasilkan adalah 77.6 °C pada pukul 20:00 – 22:00 WIB dan temperatur stator minimum yang dihasilkan adalah 77.1 °C pada pukul 06:00 – 07:00 WIB dan 24:00 WIB. Sedangkan temperatur stator rata-rata yang dihasilkan 77.424 °C. Pada unit 2, data-data tersebut menunjukkan bahwa temperatur stator yang dihasilkan diantara stator bars di generator masih dikatakan aman, karena besarnya tidak melampaui dari batas yang sudah ditentukan oleh pembangkit listrik, yaitu 120 °C. Gambar 4.23. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan tegangan stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 2.



Gambar 4.23. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 2

Gambar 4.23., menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) sangat berpengaruh terhadap perubahan temperatur stator. Jika arus penggiat (eksitasi) semakin besar, maka temperatur stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 akan semakin besar pula.

Dari gambar 4.23., juga didapat sebuah persamaan linier antara arus penggiat (eksitasi) dengan temperatur pada stator, yaitu:

$$y = 0.120x + 76.24 \quad (4.3)$$

dimana;

y = temperatur stator (°C)

x = arus penggiat / eksitasi (Ampere)

Dari persamaan (4.3) dapat ditentukan besarnya temperatur stator yang dihasilkan apabila pada generator di unit 2 diberikan arus penggiat (eksitasi) sebesar 1 Ampere.

$$y = 0.120(1) + 76.24$$

$$y = 0.120 + 76.24$$

$$y = 76.36 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pada unit 2, jika generator diberikan arus penggiat (eksitasi) sebesar 1 Ampere, maka temperatur stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 sebesar 76.36 °C.

4.3 Pengolahan dan Analisa Data Operasi Generator pada Unit 3

Sama halnya dengan data operasi generator pada unit 1 dan 2, data operasi generator yang digunakan untuk pengolahan data pada unit 3 adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012 dan 21 April 2012. Pengolahan data operasi generator pada unit 3 ini terdiri dari 5 bagian, yaitu data daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap waktu, data faktor daya ($\cos \phi$), data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), data arus

penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output dari generator dan data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator. Berikut ini adalah penjelasan untuk masing-masing pengolahan data di atas.

4.3.1 Data Daya Aktif (P), Daya Reaktif (Q) dan Daya Semu (S) terhadap Waktu pada Unit 3

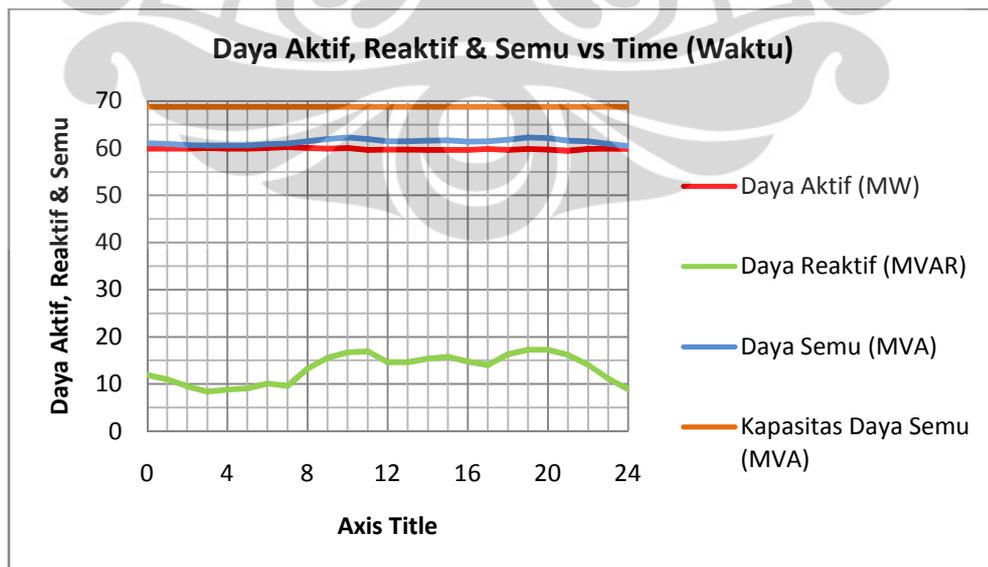
Sama halnya pada unit 1 dan 2, data yang juga digunakan untuk pengolahan data daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya Semu (S) pada unit 3 adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini juga dilakukan untuk melihat besarnya nilai perubahan daya semu (S) dari masing-masing perubahan waktu yang terjadi pada unit 3 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa daya semu (S) yang dihasilkan oleh generator pada unit 3 saat terjadi perubahan waktu selama 24 jam. Hasil pengolahan data pada unit 3 yang didapat dari perhitungan dengan menggunakan persamaan 4.1 ditunjukkan oleh tabel 4.13.

Tabel 4.13. Hasil perhitungan daya semu (S) yang dihasilkan oleh daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada unit 3

| No. | Time (Jam) | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | Daya Semu (S) |
|-----|---------------|----------------|------------------|---------------|
| | | (MW) | (MVAR) | (MVA) |
| 1 | 00:00 | 59.9 | 11.9 | 61.07061487 |
| 2 | 01:00 | 59.9 | 11 | 60.90164201 |
| 3 | 02:00 | 59.9 | 9.5 | 60.64866033 |
| 4 | 03:00 | 60 | 8.4 | 60.58514669 |
| 5 | 04:00 | 59.9 | 8.8 | 60.54295995 |
| 6 | 05:00 | 59.9 | 9.1 | 60.5872924 |
| 7 | 06:00 | 60 | 10.1 | 60.84414516 |
| 8 | 07:00 | 60.2 | 9.6 | 60.96064304 |
| 9 | 08:00 | 60 | 13.3 | 61.45640731 |
| 10 | 09:00 | 59.9 | 15.6 | 61.89806136 |
| 11 | 10:00 | 60 | 16.7 | 62.28073538 |

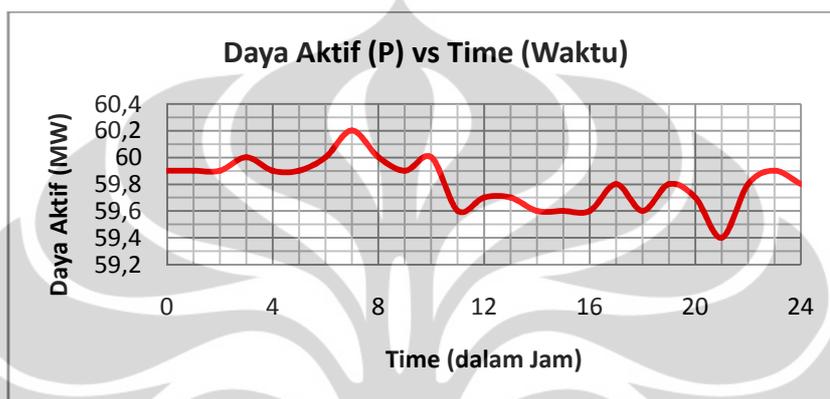
| | | | | |
|-----------|-------|--------|--------|-------------|
| 12 | 11:00 | 59.6 | 16.9 | 61.94973769 |
| 13 | 12:00 | 59.7 | 14.6 | 61.45933615 |
| 14 | 13:00 | 59.7 | 14.6 | 61.45933615 |
| 15 | 14:00 | 59.6 | 15.4 | 61.55745284 |
| 16 | 15:00 | 59.6 | 15.8 | 61.65873823 |
| 17 | 16:00 | 59.6 | 14.8 | 61.41009689 |
| 18 | 17:00 | 59.8 | 14 | 61.41693578 |
| 19 | 18:00 | 59.6 | 16.3 | 61.78875302 |
| 20 | 19:00 | 59.8 | 17.3 | 62.25214856 |
| 21 | 20:00 | 59.7 | 17.3 | 62.15609383 |
| 22 | 21:00 | 59.4 | 16.2 | 61.56947296 |
| 23 | 22:00 | 59.8 | 14.1 | 61.43980794 |
| 24 | 23:00 | 59.9 | 11.2 | 60.93808333 |
| 25 | 24:00 | 59.8 | 8.9 | 60.45866356 |
| Rata-rata | | 59.808 | 13.256 | 61.33163862 |

Dari tabel 4.13., dibuat grafik hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap perubahan waktu yang dihasilkan oleh generator pada unit 3.



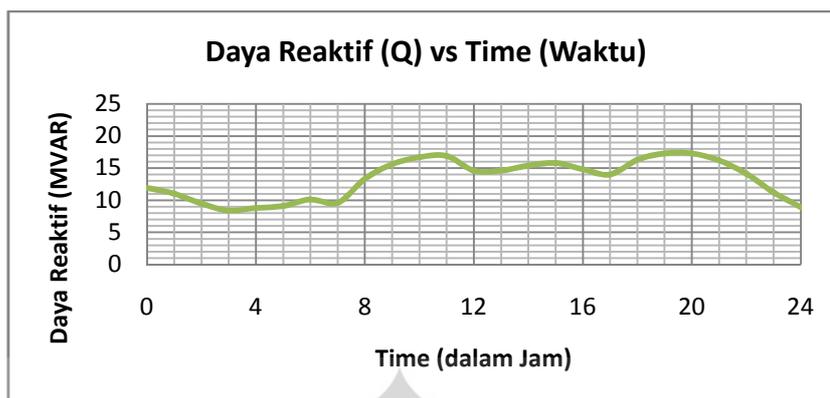
Gambar 4.24. Grafik hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap waktu pada unit 3

Sama hal pada unit 3, pada gambar 4.24. menunjukkan bahwa perubahan waktu (selama 24 jam) juga sangat berpengaruh terhadap daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) yang dihasilkan oleh operasi generator. Untuk melihat perubahan grafik secara jelasnya dari masing-masing daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap perubahan waktu pada unit 3 dapat dilihat pada grafik-grafik di bawah ini.



Gambar 4.25. Grafik hubungan antara daya aktif (P) terhadap waktu pada unit 3

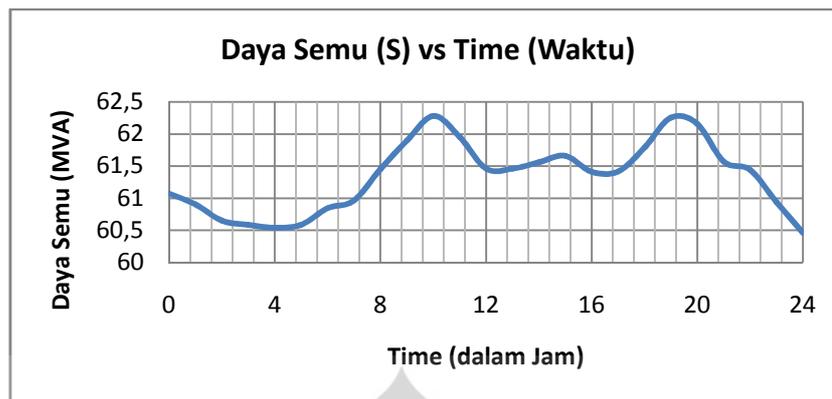
Dari gambar 4.25., terlihat bahwa perubahan waktu juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 3. Daya aktif (P) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 60.2 MW pada pukul 07:00 WIB. Ini menunjukkan bahwa daya aktif (P) maksimum yang terjadi pada pukul 07:00 WIB ini merupakan nilai daya listrik tertinggi yang dibutuhkan oleh beban (beban puncak harian) yang terjadi selama 24 jam. Sedangkan daya aktif (P) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 59.4 MW pada pukul 21:00 WIB. Ini menunjukkan bahwa pemakaian daya listrik pada pukul 21:00 WIB di unit 3 ini adalah pemakaian yang paling terendah selama 24 jam. Pada unit 3, nilai daya aktif (P) rata-rata yang diperoleh adalah sebesar 59.808 MW.



Gambar 4.26. Grafik hubungan antara daya reaktif (Q) terhadap waktu pada unit 3

Dari gambar 4.26., terlihat bahwa perubahan waktu juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya reaktif (Q) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 3. Nilai daya reaktif (Q) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 17.3 MVAR pada pukul 19:00 WIB. Ini menunjukkan bahwa nilai daya reaktif (Q) maksimum yang terjadi pada pukul 19:00 WIB merupakan beban induktif yang paling tertinggi yang terjadi selama 24 jam. Sedangkan daya reaktif (Q) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 8.4 MVAR pada pukul 03:00 WIB. Pemakaian daya reaktif (Q) pada pukul 03:00 WIB ini merupakan pemakaian daya reaktif (Q) yang paling terendah selama 24 jam.

Pada unit 3, nilai daya reaktif (Q) rata-rata yang diperoleh adalah sebesar 13.256 MVAR. Nilai rata-rata daya reaktif (Q) yang dihasilkan pada unit 3 ini adalah nilai rata-rata daya reaktif (Q) yang paling besar dibandingkan dengan nilai rata-rata daya reaktif (Q) yang diperoleh pada unit 1 (12.452 MVAR) dan unit 2 (12.976 MVAR). Sebenarnya daya reaktif (Q) ini tidak memiliki dampak apapun dalam kerja suatu beban listrik, dengan kata lain daya reaktif (Q) ini tidak terlampau berguna bagi konsumen listrik rumah tangga. Akan tetapi, untuk konsumen industri PLN dikenakan biaya tambahan berupa biaya beban reaktif tadi.



Gambar 4.27. Grafik hubungan antara daya semu (S) terhadap waktu pada unit 3

Dari gambar 4.27., terlihat bahwa perubahan waktu pada unit 3 juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya semu (S) yang dihasilkan pada operasi generator. Daya semu (S) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 62.28073538 MVA pada pukul 10:00 WIB dan daya semu (S) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 60.45866356 MVA pada pukul 24:00 WIB. Sedangkan untuk nilai daya semu (S) rata-rata yang diperoleh pada unit 3 adalah sebesar 61.33163862 MVA. Data-data tersebut menunjukkan bahwa daya semu (S) yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 tidak melebihi dari batas kapasitas daya semu (S) yang sudah ditentukan, yaitu sebesar 68.75 MVA.

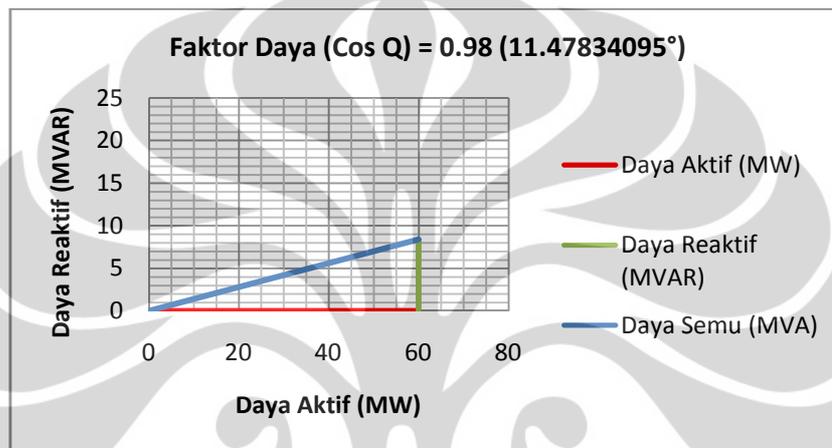
4.3.2 Data Faktor Daya ($\cos \phi$) pada Unit 3

Sama halnya pada unit 1 dan 2, data yang juga digunakan untuk pengolahan data faktor daya ($\cos \phi$) pada unit 3 adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini juga dilakukan untuk melihat efisiensi jaringan pada unit 3 dalam menyalurkan daya listrik yang bisa dimanfaatkan oleh konsumen selama 24 jam. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa ϕ (phi atau sudut antara daya aktif dengan daya semu) dan gambar segitiga daya yang dihasilkan dari hubungan ketiga daya (daya aktif, daya reaktif dan daya semu) untuk masing-masing perubahan waktu selama 24 jam. Hasil pengolahan data yang didapat pada unit 3 ditunjukkan oleh tabel 4.14.

Tabel 4.14. Data faktor daya ($\cos \phi$) pada unit 3

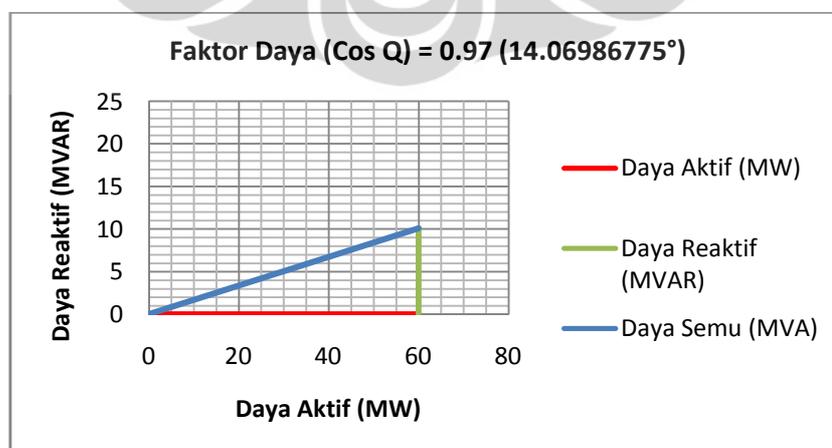
| Data Operasi pada Unit 3 | | | | | | |
|--------------------------|---------------|----------------|------------------|---------------|----------------|------------------|
| No. | Time (Jam) | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | Daya Semu (S) | Cos Q | Sudut (ϕ) |
| | | (MW) | (MVAR) | (MVA) | (Power Factor) | |
| 1 | 00:00 | 59.9 | 11.9 | 61.07061487 | 0.96 | 16.26020471° |
| 2 | 01:00 | 59.9 | 11 | 60.90164201 | 0.97 | 14.06986775° |
| 3 | 02:00 | 59.9 | 9.5 | 60.64866033 | 0.98 | 11.47834095° |
| 4 | 03:00 | 60 | 8.4 | 60.58514669 | 0.98 | 11.47834095° |
| 5 | 04:00 | 59.9 | 8.8 | 60.54295995 | 0.98 | 11.47834095° |
| 6 | 05:00 | 59.9 | 9.1 | 60.5872924 | 0.98 | 11.47834095° |
| 7 | 06:00 | 60 | 10.1 | 60.84414516 | 0.97 | 14.06986775° |
| 8 | 07:00 | 60.2 | 9.6 | 60.96064304 | 0.98 | 11.47834095° |
| 9 | 08:00 | 60 | 13.3 | 61.45640731 | 0.96 | 16.26020471° |
| 10 | 09:00 | 59.9 | 15.6 | 61.89806136 | 0.94 | 19.94844359° |
| 11 | 10:00 | 60 | 16.7 | 62.28073538 | 0.93 | 21.56518502° |
| 12 | 11:00 | 59.6 | 16.9 | 61.94973769 | 0.92 | 23.07391807° |
| 13 | 12:00 | 59.7 | 14.6 | 61.45933615 | 0.95 | 18.19487233° |
| 14 | 13:00 | 59.7 | 14.6 | 61.45933615 | 0.95 | 18.19487233° |
| 15 | 14:00 | 59.6 | 15.4 | 61.55745284 | 0.95 | 18.19487233° |
| 16 | 15:00 | 59.6 | 15.8 | 61.65873823 | 0.94 | 19.94844359° |
| 17 | 16:00 | 59.6 | 14.8 | 61.41009689 | 0.94 | 19.94844359° |
| 18 | 17:00 | 59.8 | 14 | 61.41693578 | 0.95 | 18.19487233° |
| 19 | 18:00 | 59.6 | 16.3 | 61.78875302 | 0.93 | 21.56518502° |
| 20 | 19:00 | 59.8 | 17.3 | 62.25214856 | 0.92 | 23.07391807° |
| 21 | 20:00 | 59.7 | 17.3 | 62.15609383 | 0.92 | 23.07391807° |
| 22 | 21:00 | 59.4 | 16.2 | 61.56947296 | 0.93 | 21.56518502° |
| 23 | 22:00 | 59.8 | 14.1 | 61.43980794 | 0.94 | 19.94844359° |
| 24 | 23:00 | 59.9 | 11.2 | 60.93808333 | 0.97 | 14.06986775° |
| 25 | 24:00 | 59.8 | 8.9 | 60.45866356 | 0.98 | 11.47834095° |
| Rata-rata | | 59.808 | 13.256 | 61.33163862 | 0.952173913 | 17.3236252528° |

Berdasarkan dari tabel 4.14., didapatkan hasil bahwa faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi pada unit 3 lebih bervariasi dibandingkan dengan faktor daya ($\cos \phi$) pada unit 1 (0.99, 0.98, 0.97 dan 0.96) dan 2 (0.99, 0.98 dan 0.97), yaitu 0.98, 0.97, 0.96, 0.95, 0.94, 0.93, dan 0.92. Faktor daya ($\cos \phi$) maksimum yang dihasilkan adalah 0.98. Sedangkan faktor daya ($\cos \phi$) minimum yang dihasilkan adalah 0.92. Perubahan nilai faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi pada unit 3 ditunjukkan oleh gambar-gambar segitiga daya dibawah berikut:



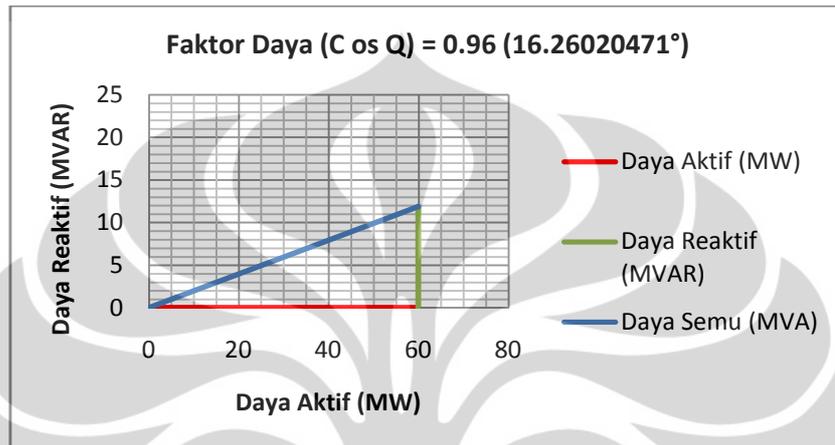
Gambar 4.28. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.98$ pada unit 3

Gambar 4.28., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.98 terbentuk pada pukul 09:00 WIB, 02:00 – 05:00 WIB, 07:00 WIB dan 24:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.98$ adalah sebesar $11.47834095^\circ \approx 11.48^\circ$.



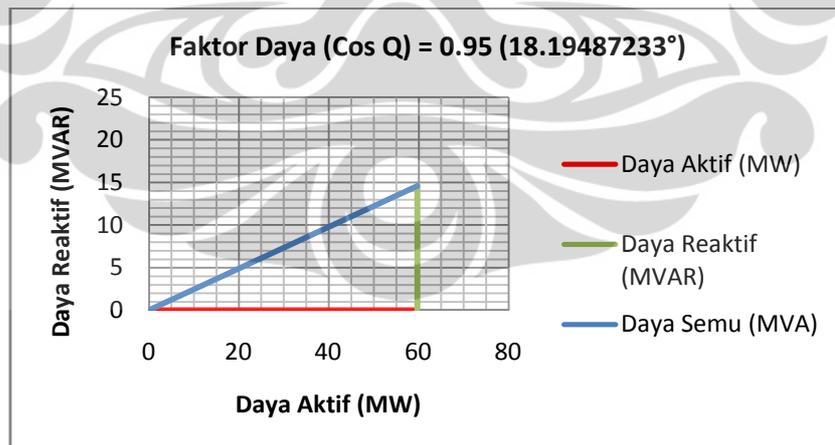
Gambar 4.29. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.97$ pada unit 3

Gambar 4.29., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.97 terbentuk pada pukul 01:00 WIB, 06:00 WIB dan 23:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.97$ adalah sebesar $14.06986775^\circ \approx 14.07^\circ$.



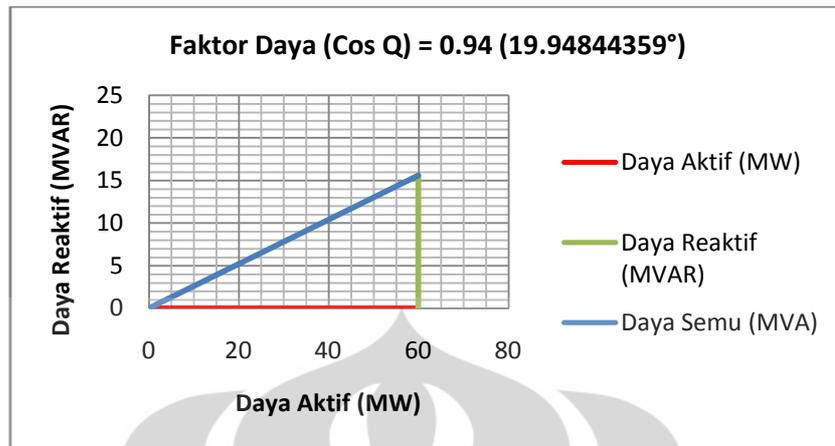
Gambar 4.30. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.96$ pada unit 3

Gambar 4.30., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.96 terbentuk pada pukul 00:00 dan 08:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.96$ adalah sebesar $16.26020471^\circ \approx 16.26^\circ$.



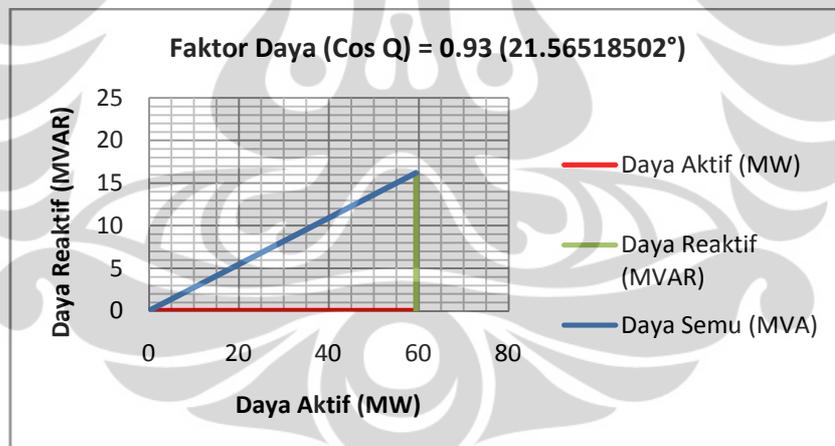
Gambar 4.31. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.95$ pada unit 3

Gambar 4.31., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.95 terbentuk pada pukul 12:00 – 14:00 WIB dan 17:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.95$ adalah sebesar $18.19487233^\circ \approx 18.2^\circ$.



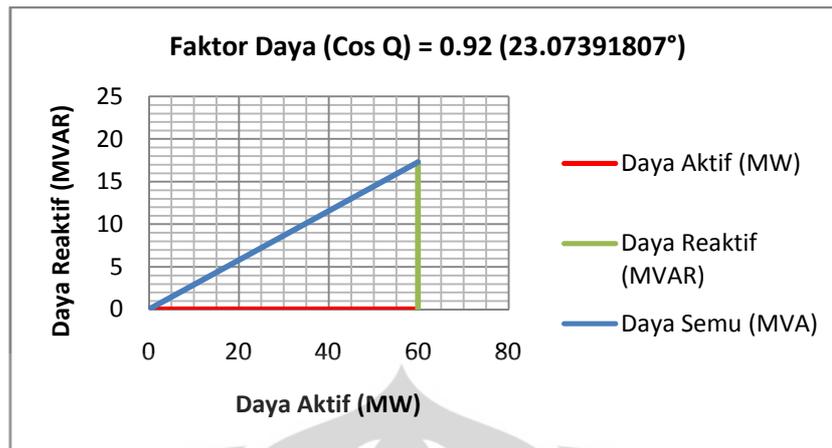
Gambar 4.32. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.94$ pada unit 3

Gambar 4.32., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.94 terbentuk pada pukul 09:00 WIB, 15:00 – 16:00 WIB dan 22:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.94$ adalah sebesar $19.94844359^\circ \approx 19.95^\circ$.



Gambar 4.33. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.93$ pada unit 3

Gambar 4.33., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.93 terbentuk pada pukul 10:00 WIB, 18:00 WIB dan 21:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.93$ adalah sebesar $21.56518502^\circ \approx 21.56^\circ$.



Gambar 4.34. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.92$ pada unit 3

Gambar 4.34., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.92 terbentuk pada pukul 11:00 WIB dan 19:00 – 20:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.92$ adalah sebesar $23.07391807^\circ \approx 23.07^\circ$.

Pada unit 3, nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh adalah sebesar 0.952173913 (17.3236252528°). Nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang dihasilkan pada unit 3 ini adalah nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang paling rendah dibandingkan dengan nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh pada unit 1 (0.979545455 / 11.8760337833°) dan unit 2 (0.9816 / 10.7217287966°). Akan tetapi, nilai faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh pada unit 3 ini masih juga dikatakan aman karena perubahan faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi pada setiap perubahan waktu selama 24 jam dan nilai rata-ratanya masih diatas batas minimum dari faktor daya ($\cos \phi$) yang sudah ditentukan oleh pembangkit listrik, yaitu sebesar 0.8.

4.3.3 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) pada Unit 3

Sama halnya pada unit 1 dan 2, data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada unit 3 adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012. Pada pengolahan data ini, dilakukan dua macam pengolahan data juga, yaitu pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 3.

4.3.3.1 Data Arus Eksitasi terhadap Daya Aktif (P) pada Unit 3

Pada unit 3, pengolahan data ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan arus penggiat (eksitasi) yang diberikan pada generator sebanding dengan perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan selama 24 jam. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa perubahan daya aktif (P) serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 3. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem *sorting* data atau dengan cara mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai perubahan dari daya aktif (P). Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data ini ditunjukkan oleh tabel 4.15.

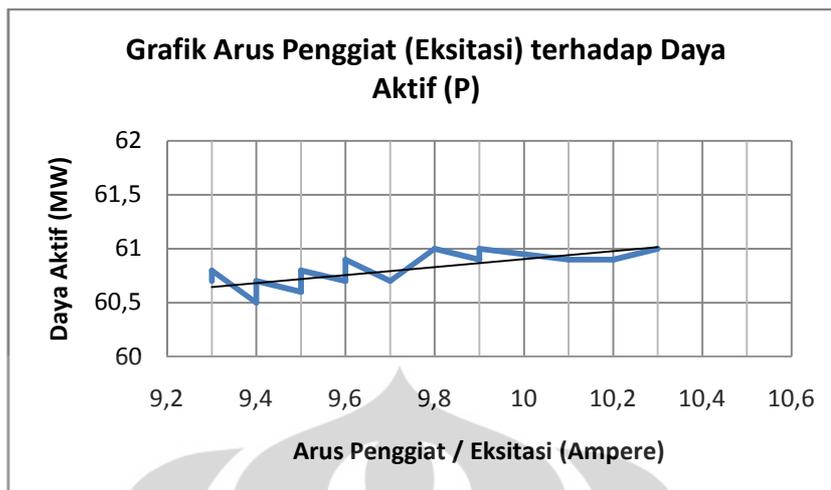
Tabel 4.15. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 3

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Cos Q | Daya Aktif (P) |
|-----|---------------|--------------------------|----------------|----------------|
| | | (Ampere) | (Power Factor) | (MW) |
| 1 | 02:00 | 9.3 | 1.00 | 60.7 |
| 2 | 06:00 | 9.3 | 1.00 | 60.8 |
| 3 | 00:00 | 9.4 | 1.00 | 60.5 |
| 4 | 01:00 | 9.4 | 1.00 | 60.7 |
| 5 | 08:00 | 9.5 | 1.00 | 60.6 |
| 6 | 10:00 | 9.5 | 1.00 | 60.6 |
| 7 | 11:00 | 9.5 | 1.00 | 60.6 |
| 8 | 03:00 | 9.5 | 1.00 | 60.7 |
| 9 | 12:00 | 9.5 | 1.00 | 60.7 |
| 10 | 04:00 | 9.5 | 1.00 | 60.8 |
| 11 | 05:00 | 9.5 | 1.00 | 60.8 |
| 12 | 07:00 | 9.6 | 1.00 | 60.7 |
| 13 | 09:00 | 9.6 | 1.00 | 60.7 |
| 14 | 13:00 | 9.6 | 1.00 | 60.7 |
| 15 | 16:00 | 9.6 | 1.00 | 60.7 |

| | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|--------|
| 16 | 14:00 | 9.6 | 1.00 | 60.9 |
| 17 | 15:00 | 9.6 | 1.00 | 60.9 |
| 18 | 17:00 | 9.7 | 0.99 | 60.7 |
| 19 | 23:00 | 9.8 | 0.99 | 61 |
| 20 | 18:00 | 9.9 | 0.99 | 60.9 |
| 21 | 22:00 | 9.9 | 0.99 | 60.9 |
| 22 | 24:00 | 9.9 | 0.99 | 61 |
| 23 | 20:00 | 10.1 | 0.98 | 60.9 |
| 24 | 19:00 | 10.2 | 0.98 | 60.9 |
| 25 | 21:00 | 10.3 | 0.98 | 61 |
| Rata-rata | | 9.652 | 0.9956 | 60.776 |

Dari tabel 4.15., didapatkan hasil bahwa arus penggiat (eksitasi) maksimum yang dihasilkan adalah 10.3 Ampere pada pukul 21:00 WIB dan arus penggiat (eksitasi) minimum yang dihasilkan adalah 9.3 Ampere pada pukul 02:00 dan 06:00 WIB. Sedangkan arus penggiat (eksitasi) rata-rata yang didapat adalah 9.652 Ampere. Data-data tersebut menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) yang diberikan ke generator pada unit 3 cukup untuk menimbulkan fluks yang besarnya tetap terhadap waktu.

Dari tabel 4.15 juga didapatkan hasil bahwa daya aktif (P) maksimum yang dihasilkan adalah 61 MW pada pukul 21:00 WIB dan 23:00 - 24:00 WIB, sedangkan daya aktif (P) minimum yang dihasilkan adalah 60.5 MW pada pukul 00:00 MW. Daya aktif (P) rata-rata yang didapat adalah 60.776 MW. Gambar 4.35. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan daya aktif (P) yang dihasilkan oleh generator pada unit 3.



Gambar 4.35. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 3

Gambar 4.35., menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator di unit 3 ini juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya aktif (P). Seperti pada unit 1 dan 2, perubahan berupa penurunan daya aktif (P) pun juga terjadi pada unit 3, pada saat arus penggiat (eksitasi)-nya dinaikkan (diurutkan) dari 9.6 Ampere menjadi 9.7 Ampere. Besarnya penurunan daya aktif (P) adalah 0.2 MW dari 60.9 MW menjadi 60.7 MW. Selain itu, penurunan daya aktif (P) juga terjadi sebesar 0.1 MW dari 61 MW menjadi 60.9 MW pada saat arus penggiat (eksitasi)-nya kembali dinaikkan (diurutkan) dari 9.9 Ampere menjadi 10.1 Ampere. Hal ini juga disebabkan oleh penurunan yang terjadi pada faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.01 dari 1.00 menjadi 0.99 dan 0.99 menjadi 0.98. Selain itu, penurunan daya aktif (P) bisa juga disebabkan oleh beban yang berubah-ubah pada jaringan, transduser atau juga bisa disebabkan oleh sistem dari DCS (Distributed Control System)-nya. Namun, besarnya perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan oleh generator pada unit 3 ini cukup untuk menyuplai kebutuhan beban listrik konsumen.

4.3.3.2 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Reaktif (Q) pada Unit 3

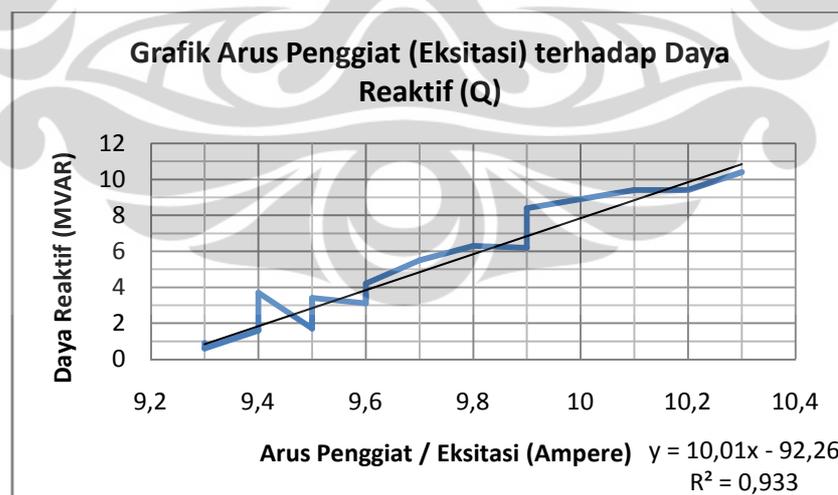
Pada unit 3, pengolahan data ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan arus penggiat (eksitasi) yang diberikan pada generator sebanding dengan perubahan daya reaktif (Q) yang dihasilkan selama 24 jam. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa perubahan daya reaktif (Q) serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 3. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem *sorting* data atau dengan cara mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai perubahan dari daya reaktif (Q). Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data ini ditunjukkan oleh tabel 4.16.

Tabel 4.16. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 3

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Cos Q | Daya Reaktif (Q) |
|-----|---------------|--------------------------|----------------|------------------|
| | | (Ampere) | (Power Factor) | (MVAR) |
| 1 | 06:00 | 9.3 | 1.00 | 0.6 |
| 2 | 02:00 | 9.3 | 1.00 | 0.9 |
| 3 | 01:00 | 9.4 | 1.00 | 1.6 |
| 4 | 00:00 | 9.4 | 1.00 | 3.7 |
| 5 | 04:00 | 9.5 | 1.00 | 1.7 |
| 6 | 05:00 | 9.5 | 1.00 | 2.1 |
| 7 | 03:00 | 9.5 | 1.00 | 2.2 |
| 8 | 08:00 | 9.5 | 1.00 | 2.8 |
| 9 | 12:00 | 9.5 | 1.00 | 3.1 |
| 10 | 10:00 | 9.5 | 1.00 | 3.3 |
| 11 | 11:00 | 9.5 | 1.00 | 3.4 |
| 12 | 14:00 | 9.6 | 1.00 | 3.1 |
| 13 | 07:00 | 9.6 | 1.00 | 3.3 |
| 14 | 09:00 | 9.6 | 1.00 | 3.4 |
| 15 | 13:00 | 9.6 | 1.00 | 3.5 |
| 16 | 15:00 | 9.6 | 1.00 | 3.6 |
| 17 | 16:00 | 9.6 | 1.00 | 4.2 |

| | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|------|
| 18 | 17:00 | 9.7 | 0.99 | 5.5 |
| 19 | 23:00 | 9.8 | 0.99 | 6.3 |
| 20 | 24:00 | 9.9 | 0.99 | 6.2 |
| 21 | 18:00 | 9.9 | 0.99 | 6.9 |
| 22 | 22:00 | 9.9 | 0.99 | 8.4 |
| 23 | 20:00 | 10.1 | 0.98 | 9.4 |
| 24 | 19:00 | 10.2 | 0.98 | 9.4 |
| 25 | 21:00 | 10.3 | 0.98 | 10.4 |
| Rata-rata | | 9.652 | 0.9956 | 4.36 |

Dari tabel 4.16., didapatkan hasil bahwa daya reaktif (Q) maksimum yang dihasilkan adalah 10.4 MVAR pada pukul 21:00 WIB dan daya reaktif (Q) minimum yang dihasilkan adalah 0.6 MVAR pada pukul 06:00 WIB. Sedangkan daya reaktif (Q) rata-rata yang didapat adalah 4.36 MVAR. Data-data tersebut menunjukkan bahwa daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh generator pada unit 3 cukup untuk menyuplai kebutuhan beban induktif di pabrik-pabrik atau industri-industri. Gambar 4.36. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh generator pada unit 3.



Gambar 4.36. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 3

Gambar 4.36., menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator di unit 3 juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya reaktif (Q). Jika arus penggiat (eksitasi) semakin besar, maka daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh pembangkit listrik akan semakin besar pula. Hal ini membuktikan bahwa pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator berbanding lurus dengan daya reaktif (Q) yang dihasilkan pada unit 3. Contohnya adalah pada saat arus penggiat (eksitasi)-nya dinaikkan (diurutkan) dari 9.9 Ampere menjadi 10.1 Ampere terjadi kenaikan daya reaktif (P) sebesar 1.0 MVAR dari 8.4 MW menjadi 9.4 MW. Sebaliknya, faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi ketika kenaikan daya reaktif (Q) mengalami penurunan sebesar 0.01 dari 0.99 menjadi 0.98. Ini juga membuktikan bahwa daya reaktif (Q) yang semakin tinggi akan meningkatkan sudut dari faktor daya ($\cos \phi$) dan sebagai hasilnya faktor daya ($\cos \phi$) akan menjadi lebih rendah.

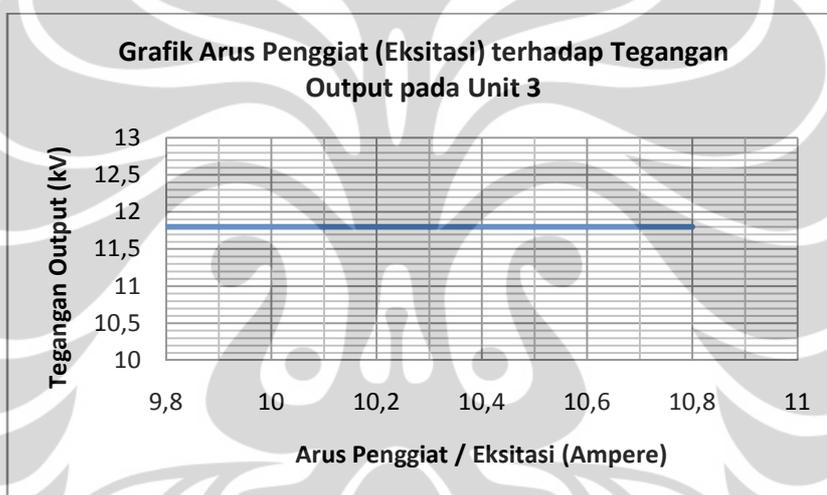
4.3.4 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Tegangan Output Generator pada Unit 3

Sama halnya pada unit 1 dan 2, data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 3 ini adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat kestabilan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 3 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak. Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa tegangan output dan gambar grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 2. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem yang dengan sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data pada unit 1 dan 2, yaitu sistem *sorting* data. Hasil pengolahan data yang didapat ini ditunjukkan oleh tabel 4.17.

Tabel 4.17. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 3

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Tegangan Output |
|-----------|---------------|--------------------------|-----------------|
| | | (Ampere) | (kV) |
| 1 | 03:00 | 9.8 | 11.8 |
| 2 | 07:00 | 9.8 | 11.8 |
| 3 | 24:00 | 9.8 | 11.8 |
| 4 | 02:00 | 9.9 | 11.8 |
| 5 | 04:00 | 9.9 | 11.8 |
| 6 | 05:00 | 9.9 | 11.8 |
| 7 | 06:00 | 10 | 11.8 |
| 8 | 01:00 | 10.1 | 11.8 |
| 9 | 23:00 | 10.1 | 11.8 |
| 10 | 00:00 | 10.2 | 11.8 |
| 11 | 08:00 | 10.3 | 11.8 |
| 12 | 12:00 | 10.4 | 11.8 |
| 13 | 13:00 | 10.4 | 11.8 |
| 14 | 17:00 | 10.4 | 11.8 |
| 15 | 22:00 | 10.4 | 11.8 |
| 16 | 09:00 | 10.5 | 11.8 |
| 17 | 15:00 | 10.5 | 11.8 |
| 18 | 16:00 | 10.5 | 11.8 |
| 19 | 21:00 | 10.5 | 11.8 |
| 20 | 14:00 | 10.6 | 11.8 |
| 21 | 18:00 | 10.6 | 11.8 |
| 22 | 10:00 | 10.7 | 11.8 |
| 23 | 11:00 | 10.7 | 11.8 |
| 24 | 20:00 | 10.7 | 11.8 |
| 25 | 19:00 | 10.8 | 11.8 |
| Rata-rata | | 10.3 | 11.8 |

Dari tabel 4.17., didapatkan hasil bahwa arus penggiat (eksitasi) maksimum yang diberikan ke generator pada unit 3 adalah 10.8 Ampere (19:00 WIB) dan arus penggiat (eksitasi) minimum yang diberikan ke generator pada unit 3 adalah 9.8 Ampere (03:00, 07:00 dan 24:00 WIB). Sedangkan arus penggiat (eksitasi) rata-rata yang diberikan selama 24 jam ke generator pada unit 1 adalah 10.3 Ampere. Data-data tersebut menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) yang diberikan cukup untuk menstabilkan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 3. Gambar 4.37, menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 3.



Gambar 4.37. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 3

Gambar 4.37., menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) menentukan kestabilan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 3. Hal ini disebabkan karena jika tegangan outputnya rendah maka *error signal* akan (-) sehingga *AVR (Automatic Voltage Regulator)* akan memberikan perintah agar menambahkan arus penggiat (eksitasi). Jadi penambahan arus penggiat (eksitasi) berfungsi untuk membuat tegangan output menjadi stabil.

4.3.5 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Temperatur Stator pada Unit 3

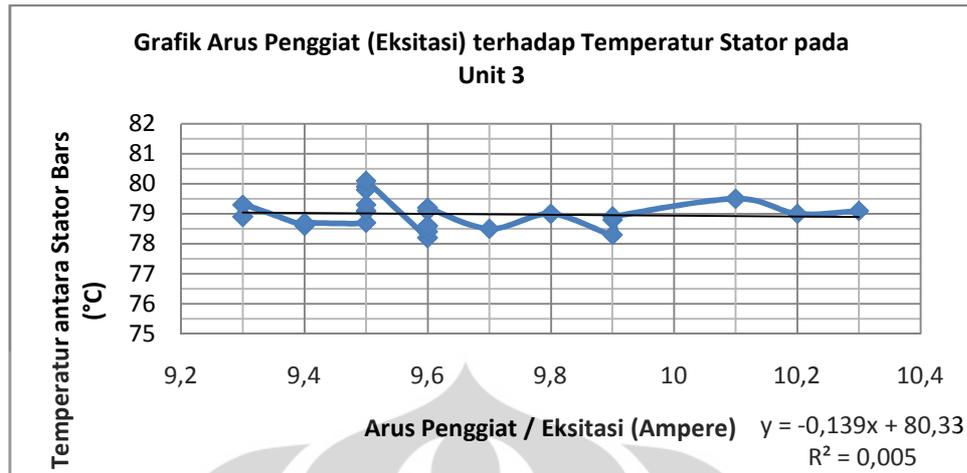
Sama halnya pada unit 1 dan 2, data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 3 adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat hubungan atau korelasi antara perubahan arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator dan untuk mengetahui kehandalan pada unit 3 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa arus penggiat (eksitasi) dan temperatur stator serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 3. Pada unit 3, pengolahan data dilakukan dengan menggunakan sistem *sorting* data yang digunakan pada pengolahan data pada unit 1 dan 2. Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data pada unit 3 ditunjukkan oleh tabel 4.18.

Tabel 4.18. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 3

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Temperatur Stator |
|-----|---------------|--------------------------|--------------------------------------|
| | | (Ampere) | Between Stator Bars T. E : 1 (°C) |
| 1 | 06:00 | 9.3 | 78.9 |
| 2 | 02:00 | 9.3 | 79.3 |
| 3 | 00:00 | 9.4 | 78.6 |
| 4 | 01:00 | 9.4 | 78.7 |
| 5 | 05:00 | 9.5 | 78.7 |
| 6 | 11:00 | 9.5 | 79.1 |
| 7 | 12:00 | 9.5 | 79.1 |
| 8 | 03:00 | 9.5 | 79.3 |
| 9 | 10:00 | 9.5 | 79.8 |
| 10 | 04:00 | 9.5 | 79.9 |
| 11 | 08:00 | 9.5 | 80.1 |
| 12 | 09:00 | 9.6 | 78.2 |
| 13 | 07:00 | 9.6 | 78.4 |
| 14 | 15:00 | 9.6 | 78.6 |

| | | | |
|-----------|-------|-------|--------|
| 15 | 16:00 | 9.6 | 78.6 |
| 16 | 14:00 | 9.6 | 79.1 |
| 17 | 13:00 | 9.6 | 79.2 |
| 18 | 17:00 | 9.7 | 78.5 |
| 19 | 23:00 | 9.8 | 79 |
| 20 | 22:00 | 9.9 | 78.3 |
| 21 | 24:00 | 9.9 | 78.8 |
| 22 | 18:00 | 9.9 | 78.9 |
| 23 | 20:00 | 10.1 | 79.5 |
| 24 | 19:00 | 10.2 | 79 |
| 25 | 21:00 | 10.3 | 79.1 |
| Rata-rata | | 9.652 | 78.988 |

Dari tabel 4.18., didapatkan hasil bahwa temperatur stator maksimum yang dihasilkan adalah 80.1 °C pada pukul 08:00 WIB dan temperatur stator minimum yang dihasilkan adalah 78.2 °C pada pukul 09:00 WIB. Sedangkan temperatur stator rata-rata yang dihasilkan 78.988 °C. Pada unit 3, data-data tersebut menunjukkan bahwa temperatur stator yang dihasilkan diantara stator bars di generator masih dikatakan aman, karena besarnya tidak melampaui dari batas yang sudah ditentukan oleh pembangkit listrik, yaitu 120 °C. Gambar 4.38. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan tegangan stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 3.



Gambar 4.38. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 3

Gambar 4.38., menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) sangat berpengaruh terhadap perubahan temperatur stator. Jika arus penggiat (eksitasi) semakin besar, maka temperatur stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 3 akan semakin besar pula.

Dari gambar 4.38., juga didapat sebuah persamaan linier antara arus penggiat (eksitasi) dengan temperatur pada stator, yaitu:

$$y = -0,139x + 80,33 \quad (4.4)$$

dimana;

y = temperatur stator (°C)

x = arus penggiat / eksitasi (Ampere)

Dari persamaan (4.3) dapat ditentukan besarnya temperatur stator yang dihasilkan apabila pada generator di unit 2 diberikan arus penggiat (eksitasi) sebesar 1 Ampere.

$$y = -0,139(1) + 80,33$$

$$y = -0,139 + 80,33$$

$$y = 79,371 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sama halnya pada unit 1 dan 2, pada unit 3 jika generator diberikan arus penggiat (eksitasi) sebesar 1 Ampere, maka temperatur stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 3 sebesar 79.371 °C.

Dari hasil persamaan yang didapat pada masing-masing unitnya, dapat ditentukan dan diurutkan bahwa unit 3 (79.371 °C) yang memiliki temperatur yang lebih panas dibandingkan dengan unit 2 (76.36 °C) dan unit 1 (72.584 °C).



BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Daya semu (S) yang didapat dari masing-masing unit (unit 1 = 61.39314373 MVA, unit 2 = 61.86293827 MVA, dan unit 3 = 61.33163862 MVA) masih aman dari kapasitas daya semu yang dimiliki oleh dari generator, yaitu $687500 \text{ VA} = 68.75 \text{ MVA}$ (*nameplate*).
2. Ketiga unit pada PLTP Gunung Salak beroperasi pada faktor daya *lagging*.
3. Jika dilihat dari tabel data faktor daya ($\cos \phi$) dari tiap-tiap unit pada PLTP Gunung Salak, dapat disimpulkan bahwa faktor daya ($\cos \phi$) pada unit 2-lah yang paling baik (0.97 – 0.99) bila dibandingkan dengan unit 1 ($\cos \phi = 0.96 - 0.99$) dan unit 3 ($\cos \phi = 0.92 - 0.98$).
4. Untuk unit 1, arus penggiat (arus eksitasi) yang kenaikannya sebesar 1 Ampere pada sisi mendahului (*lagging*) akan mengakibatkan perubahan temperatur pada belitan stator sebesar $72.584 \text{ }^\circ\text{C}$.
5. Pada Unit 2, arus penggiat (arus eksitasi) yang kenaikannya sebesar 1 Ampere pada sisi mendahului (*lagging*) akan mengakibatkan perubahan temperatur pada belitan stator sebesar $76.36 \text{ }^\circ\text{C}$.
6. Sedangkan pada unit 3, arus penggiat (arus eksitasi) yang kenaikannya sebesar 1 Ampere pada sisi mendahului (*lagging*) akan mengakibatkan perubahan temperatur pada belitan stator sebesar $79.371 \text{ }^\circ\text{C}$.
7. Unit yang memiliki temperatur yang paling panas adalah unit 3 ($79.371 \text{ }^\circ\text{C}$) , unit 2 ($76.36 \text{ }^\circ\text{C}$), dan unit 1 ($72.584 \text{ }^\circ\text{C}$).

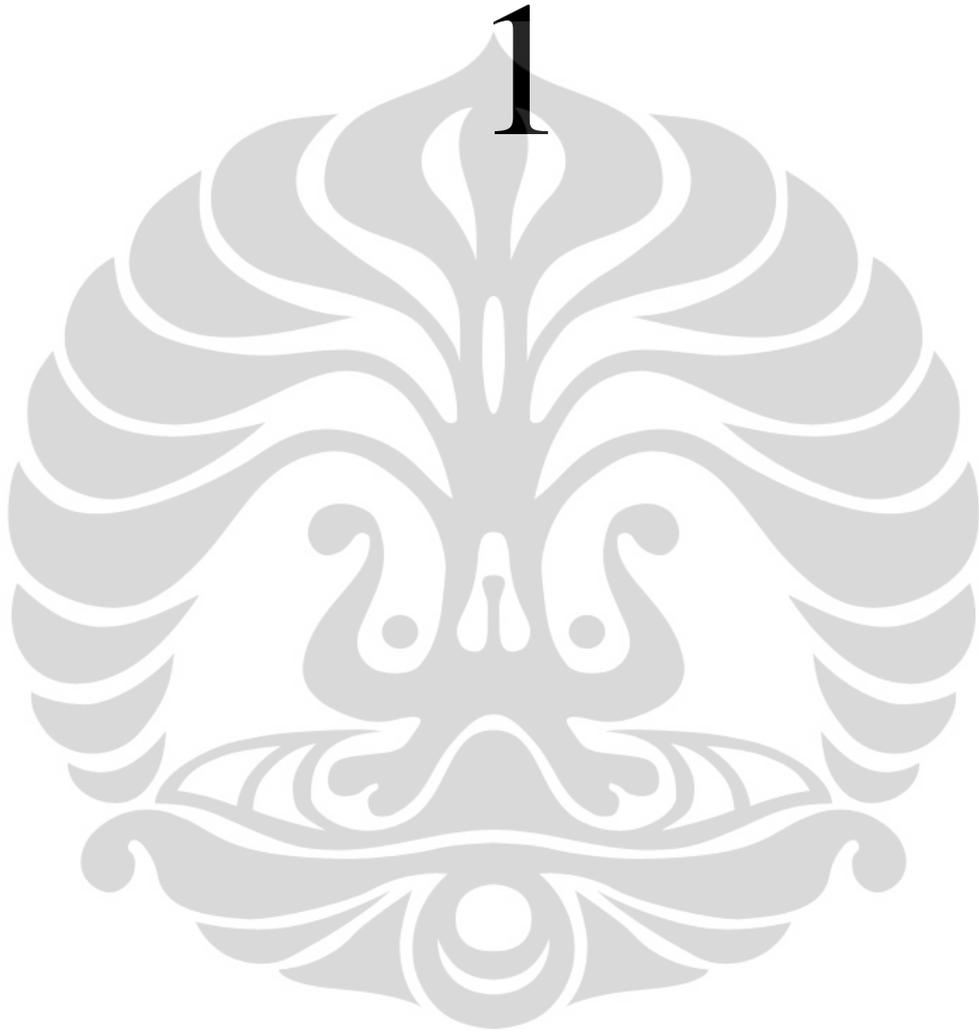
DAFTAR REFERENSI

1. Bab II *Generator Sinkron*. Universitas Sumatera Utara.
2. Bab 13 *Generator Sinkron*.
3. Bandri, Sepannur. *Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron (Aplikasi PLTG Pauh Limo Padang)*. Institut Teknologi Padang.
4. Belly, Alto., & H, Asep Dadan. (2010). *Daya Aktif, Reaktif & Nyata*. Depok: Universitas Indonesia.
5. Fisika Energi: Bab 7. *Energi Panas Bumi*.
6. Hariadi, Eko. (2004). *Kemagnetan dan Induksi Elektromagnetik*.
7. Harnovi. *Daya Listrik Arus Bolak Balik*. Universitas Sriwijaya.
8. Hasbullah. (2009) *Konversi Energi Panas Bumi*. FPTK UPI.
5. http://agungrahmatgunawan.multiply.com/journal/item/47?&show_interstitial=1&u=%2Fjournal%2Fitem
10. <http://bas6273.wordpress.com/2010/08/07/di-mana-gunung-halimun-salak/>
11. <http://dunia-engineer.blogspot.com/2011/10/segitiga-daya.html>
12. <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/12/perbaikan-faktor-daya-menggunakan-kapasitor.html>
13. <http://dunialistrik.fr.yuku.com/topic/21/Daya-Semu-aktif-dan-reaktif#.UqVy89IW3tQ>
14. <http://duniatehnikku.wordpress.com/2011/01/05/981/>
15. http://fte2700.en.ec21.com/Steam_Jet_Ejector_2834364_2834366.html
16. <http://gautamakarisma.wordpress.com/2010/05/28/prepare-for-kp-pltp-kamojang/>
17. <http://simbangando.wordpress.com/2008/03/25/mengenal-daya-aktif-daya-reaktif-dan-faktor-daya/>
18. <http://switchyard-electric.blogspot.com/2011/04/konsep-dasar-gardu-induk.html>

19. <http://www.scribd.com/doc/46034958/PLTP-kamojang>
20. Irawan, Joni. (2009). *Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi*. Bengkulu.
21. Kadir, Abdul. (1995). *Energi* (Edisi Kedua). Depok: Universitas Indonesia (UI-PRESS).
22. Lidiawati, Nia., & Permatasari, Rara. (2009). *Pembangkit Energi Listrik Terbaru “Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)”*. Bengkulu: Universitas Bengkulu.
23. Lisnandar, Rendi. (2009) *Pengetahuan Dasar Unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi*. PT. Indonesia Power.
24. Prasetyo, Gunawan Eko., & Sulasno. *Studi Tentang Indeks Keandalan Pembangkit Tenaga Listrik Wilayah Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta*. Universitas Diponegoro.
25. Rajagukguk, Buhari Tongam. (2009). *Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Arus Jangkar dan Faktor Daya pada Motor Sinkron 3 Fasa*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
26. Radhakrishna. C. *Generator Capability Curve*.
27. Rizqiawan, Arwindra. (2010). *Memahami Faktor Daya*. Konversi ITB.
28. Rofiq, Ainur., & Triandi, Rudy. (2010). *Generator Sinkron*. Depok: Universitas Indonesia.
29. Saptadji, Nenny. *Energi Panas Bumi (Geothermal Energy)*. Bandung: ITB.
30. Setiawan, Agus. (2009). *Disain Pembangkit Listrik Tenaga Pedal sebagai Sumber Energi Alternatif di Daerah Pedesaan*. Depok: Universitas Indonesia.
31. Wirabuana, Cakra., & Permana, Febi Hadi. (2010). *Synchronous Motor*. Depok: Universitas Indonesia.
32. Yudi, Kusmursaf. *Memahami Tagihan Biaya Listrik*. PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Barat & Banten: Area Pelayanan dan Jaringan Bekasi.

LAMPIRAN

1



DATA OPERASI GENERATOR

01 JANUARI 2012



GENERATOR

| JAM | Beban | | | Frequansy | Tegangan | | | STATOR TEMPERATUR | | | | | | | | | | | | | | INLET TEMP. | | | | Outlet Temp | | TEMPER BANJIR | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|------|-------|-----------|----------|------|------|---------------------|-------------------|------------------------|----------------------|----------|------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------|---------|---------|---------|-------------|----------|---------------|----------|----------|----------|--------------|--------------|------|------|------|------|------|------|--|
| | Mw | Mvar | Cos Q | | R | S | T | BEETWEN STATOR BARS | | | | | | | | | | | | | | UDARA DINGIN | | | | Udara Panas | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Hz | KV | Amp | Amp | Amp | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | | | | | | | |
| | | | | | | | | | Rotor Temperature | Vibrasi sisi Generator | Vibrasi sisi Exciter | Tegangan | Arus | T.E : 10 | T.E : 11 | T.E : 12 | T.E : 1 | T.E : 2 | T.E : 3 | T.E : 4 | T.E : 5 | T.E : 6 | T.E : 7 | T.E : 8 | T.E : 9 | T.E : 15 | T.E : 16 | T.E : 17 | T.E : 18 | T.E : 13 | T.E : 14 | T.E : 21 - A | T.E : 21 - B | | | | | | | |
| 00.00 | 605 | 3.7 | 1.00 | 50.4 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 12 | 93.8 | 9.4 | 65 | 81.2 | 65.4 | 78.6 | 91.9 | 87.2 | 76.2 | 81.4 | 78.5 | 79.6 | 79.4 | 79.4 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 01.00 | 602 | 1.6 | 1.00 | 49.98 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.5 | 9.4 | 60.9 | 81.2 | 65.4 | 78.7 | 90.4 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 02.00 | 609 | 0.9 | 1.00 | 50.15 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 12 | 93.2 | 9.5 | 61.9 | 81.1 | 65.4 | 78.3 | 90.2 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 03.00 | 609 | 0.2 | 1.00 | 49.81 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.0 | 9.5 | 60.6 | 81.2 | 65.4 | 79.3 | 90.9 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 04.00 | 607 | 1.2 | 1.00 | 49.84 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.5 | 9.5 | 60.1 | 81.1 | 65.4 | 79.4 | 89.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 05.00 | 607 | 2.1 | 1.00 | 50.05 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.2 | 9.5 | 60.5 | 81.1 | 65.4 | 79.9 | 91.3 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 06.00 | 607 | 0.6 | 1.00 | 50.10 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.2 | 9.3 | 60.6 | 81.1 | 65.4 | 78.9 | 91.3 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 07.00 | 609 | 3.3 | 1.00 | 49.84 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.0 | 9.6 | 60.3 | 81.1 | 65.4 | 78.9 | 90.4 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 08.00 | 605 | 2.8 | 1.00 | 49.88 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.0 | 9.5 | 60.9 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 09.00 | 607 | 3.4 | 1.00 | 49.88 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.1 | 9.6 | 60.9 | 81.1 | 65.4 | 80.2 | 90.2 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 10.00 | 606 | 3.3 | 1.00 | 49.88 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.0 | 9.5 | 61.1 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 11.00 | 606 | 3.4 | 1.00 | 50.07 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.0 | 9.5 | 61.3 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 12.00 | 607 | 3.1 | 1.00 | 50.05 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.1 | 9.5 | 61.1 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 13.00 | 607 | 3.5 | 1.00 | 50.01 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.1 | 9.6 | 61.1 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 14.00 | 609 | 3.1 | 1.00 | 49.99 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 12 | 93.6 | 9.6 | 61 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 15.00 | 609 | 3.6 | 1.00 | 50.05 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.6 | 9.6 | 60.8 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 16.00 | 607 | 4.2 | 1.00 | 49.94 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.6 | 9.6 | 60.8 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 17.00 | 607 | 5.5 | 1.00 | 49.98 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.5 | 9.7 | 60.7 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 18.00 | 609 | 6.9 | 0.99 | 50.02 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.6 | 9.9 | 60.8 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 19.00 | 609 | 9.4 | 0.94 | 50.02 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.4 | 10.2 | 60.4 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 20.00 | 609 | 9.4 | 0.94 | 49.94 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.7 | 10.1 | 60.3 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 21.00 | 61.0 | 12.4 | 0.98 | 49.92 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.7 | 10.3 | 60.3 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 22.00 | 609 | 8.4 | 0.99 | 50.13 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 25 | 11 | 94.1 | 9.0 | 60.3 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 23.00 | 61.4 | 6.3 | 0.99 | 50.00 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.8 | 9.8 | 60.3 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| 24.00 | 61.6 | 6.7 | 0.99 | 49.84 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3020 | | 24 | 11 | 93.8 | 9.9 | 60.1 | 81.1 | 65.4 | 80.1 | 90.1 | 81.1 | 78.1 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 78.1 | 78.1 | 78.1 | 81.4 | 81.4 | 78.1 | 80.1 | 80.2 | 79.4 | 79.5 | 91.4 | 39.1 | 78.4 | 83.9 | 81.4 | 76.3 | |
| Max | 62 | 30 | 1 | 53 | 13 | 3541 | | | 120 | 28 | 71 | 158 | | 120 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Min | 7 | -10 | 0.8 | 48 | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

No Formulir : 40240003
Revisi : 0
Disahkan : 1 Maret 2009

| JAM | REGU | PELAKSANA | SPS OPERASI |
|---------------|-------|------------|-------------|
| 07.00 - 15.00 | DINAS | DINAS | |
| 15.00 - 22.00 | B | Sinarani S | Hanning MH |
| 22.00 - 07.00 | C | | |

GENERATOR

UNIT : 1 (SAT)
TANGGAL : 11 MARET 2009

| JAM | Beban | Daya Buta | Cos Q | Frekuensi | Tegangan | ARUS | | | Rotor Temperature | Vibrasi sisi Generato | Vibrasi sisi Exciter | Tegangan | EXCITER | | STATOR TEMPERATUR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|-----------|-------|-----------|----------|---------------|------|------|-------------------|-----------------------|----------------------|----------|---------|-----------|-------------------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|---------------|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|
| | | | | | | R | S | T | | | | | Arus | T. E : 10 | T. E : 11 | T. E : 12 | T. E : 1 | T. E : 2 | T. E : 3 | T. E : 4 | T. E : 5 | T. E : 6 | T. E : 7 | T. E : 8 | T. E : 9 | T. E : 15 | T. E : 16 | T. E : 17 | T. E : 18 | T. E : 13 | T. E : 14 | T. E : 21 - A | T. E : 21 - B | | | | | | | | | | | | |
| Mw | MVar | | | Hz | kV | Amp | Amp | Amp | °C | µm | µm | V | Amp | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | | | | | |
| 00.00 | 60.9 | 5.2 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 4 | 99.2 | 9.8 | 92.5 | 92.9 | 94.4 | 77.1 | 85.9 | 81.6 | 99.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01.00 | 60.9 | 5.3 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 5 | 99.0 | 9.7 | 92.5 | 92.9 | 94.4 | 76.1 | 85.4 | 81.4 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 02.00 | 60.9 | 5.3 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 5 | 99.5 | 9.5 | 92.4 | 92.8 | 94.1 | 76.8 | 85.5 | 81.5 | 98.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 03.00 | 60.6 | 5.5 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 5 | 99.9 | 9.7 | 92.4 | 92.8 | 94.2 | 76.3 | 85.2 | 81.3 | 98.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 04.00 | 60.1 | 5.4 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 4 | 99.8 | 9.7 | 92.4 | 92.8 | 94.2 | 76.0 | 85.3 | 81.3 | 98.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 05.00 | 60.7 | 5.0 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 5 | 99.8 | 9.6 | 92.4 | 92.8 | 94.1 | 76.7 | 85.2 | 81.4 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 06.00 | 60.7 | 5.2 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 5 | 99.5 | 9.6 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.0 | 85.2 | 81.4 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 07.00 | 60.7 | 5.2 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 4 | 99.5 | 9.9 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.0 | 85.2 | 81.4 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 08.00 | 60.4 | 4.8 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 4 | 99.5 | 9.8 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.8 | 85.4 | 81.4 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09.00 | 60.5 | 4.7 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 4 | 99.5 | 9.8 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.2 | 85.5 | 81.4 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10.00 | 60.4 | 4.5 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 5 | 99.5 | 9.8 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.9 | 85.9 | 81.8 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11.00 | 60.5 | 5.0 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 5 | 99.5 | 9.8 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.8 | 86 | 81.8 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12.00 | 60.7 | 4.6 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 4 | 99.5 | 9.8 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.2 | 85.8 | 81.7 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13.00 | 60.6 | 4.6 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 4 | 99.5 | 9.9 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.1 | 85.8 | 81.6 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14.00 | 60.7 | 4.9 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 5 | 99.5 | 9.9 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.0 | 85.4 | 81.4 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15.00 | 60.7 | 4.9 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 4 | 99.5 | 9.9 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.4 | 85.4 | 81.4 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16.00 | 60.6 | 5.3 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 4 | 99.5 | 9.9 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.9 | 85.6 | 81.4 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17.00 | 60.6 | 5.0 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 5 | 99.5 | 9.9 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.9 | 85.7 | 81.5 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18.00 | 60.7 | 5.1 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 5 | 99.5 | 9.9 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.1 | 86.0 | 81.6 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19.00 | 60.6 | 4.9 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 5 | 99.5 | 9.9 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.4 | 86.5 | 81.9 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20.00 | 60.7 | 4.9 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 5 | 99.5 | 9.9 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.4 | 86.7 | 81.9 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21.00 | 61.0 | 4.9 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 4 | 99.5 | 9.9 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.4 | 86.7 | 81.9 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22.00 | 60.9 | 4.8 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 4 | 99.5 | 9.9 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.3 | 86.5 | 81.8 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23.00 | 60.9 | 4.8 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 4 | 99.5 | 9.9 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.3 | 86.5 | 81.8 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24.00 | 60.9 | 4.8 | 1.00 | 50.00 | 11.0 | 2930 | 2900 | 2930 | | 6 | 4 | 99.5 | 9.9 | 92.3 | 92.7 | 94.1 | 76.3 | 86.5 | 81.8 | 98.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Max | 62 | 30 | 1 | 53 | 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Min | 7 | -10 | 0.8 | 48 | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No Formulir : 40240001 | | | | | | JAM | | | | | | REGU | | | | | | PELAKSANA | | | | | | SPS OPERASI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Revisi : 0 | | | | | | DINAS | | | | | | DINAS | | | | | | PARAF | | | | | | NAMA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Disahkan : 1 Maret 2009 | | | | | | 07.00 - 15.00 | | | | | | A | | | | | | R | | | | | | NAMA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 15.00 - 22.00 | | | | | | B | | | | | | S | | | | | | NAMA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 22.00 - 07.00 | | | | | | C | | | | | | K | | | | | | NAMA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

DATA OPERASI GENERATOR

21 APRIL 2012



GENERATOR

UNIT : 1 (SA)
 TANGGAL : 21 APR 2012

| | Mw | Mvar | Cos Q | Hz | KV | ARUS | | | Rotor Temperature | Vibrasi sisi Generator | Vibrasi sisi Exciter | EXCITER | | STATOR TEMPERATUR | | | | | | | | | | | | INLET TEMP. | | TEMPERA BANTAL | | | |
|-------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------------------|------------------------|----------------------|----------|------|-------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | | R Amp | S Amp | T Amp | | | | Tegangan | Arus | T. E : 10 | T. E : 11 | T. E : 12 | T. E : 1 | T. E : 2 | T. E : 3 | T. E : 4 | T. E : 5 | T. E : 6 | T. E : 7 | T. E : 8 | T. E : 9 | T. E : 15 | T. E : 16 | T. E : 17 | T. E : 18 | T. E : 13 | T. E : 14 |
| 0.00 | 60.1 | 10.4 | 0.99 | 49.48 | 11.2 | 3020 | 2502 | 2030 | | 6 | 4 | 24.7 | 10.4 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 80.1 | 84.1 | 84.3 | 71.8 | 53.5 | 64.2 | 37.1 | 55.8 | 38.4 | 34.5 | 52.2 | 65.7 | 60.2 | 57.5 |
| 1.00 | 60.3 | 10.1 | 0.99 | 49.96 | 11.7 | 3040 | 2500 | 2030 | | 5 | 4 | 24.6 | 10.2 | 54.5 | 54.6 | 57.4 | 79.6 | 83.7 | 84 | 71.9 | 53.5 | 64.3 | 37.5 | 59.6 | 38.2 | 34.3 | 52.2 | 62.4 | 60.1 | 57.9 | |
| 2.00 | 60.2 | 9.0 | 0.99 | 49.81 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 6 | 5 | 24.4 | 10.2 | 54.3 | 54.5 | 57.1 | 79.3 | 88.3 | 83.7 | 71.1 | 53.5 | 64.0 | 37.4 | 39.5 | 38.1 | 34.2 | 52.2 | 63.3 | 60.1 | 58.9 | |
| 3.00 | 60.4 | 7.6 | 0.99 | 50.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 6 | 4 | 23.9 | 10.0 | 54.2 | 54.4 | 57.1 | 79.2 | 88.0 | 83.6 | 71.0 | 53.5 | 63.9 | 37.4 | 39.5 | 38.1 | 34.3 | 52.2 | 63.2 | 60.2 | 57.9 | |
| 4.00 | 60.3 | 8.1 | 0.99 | 49.71 | 11.8 | 2980 | 2900 | 3000 | | 5 | 4 | 24.1 | 10.1 | 54.1 | 54.3 | 57.0 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.8 | 53.5 | 63.7 | 37.3 | 39.3 | 37.9 | 35.9 | 52.2 | 62.9 | 60.1 | 57.9 | |
| 5.00 | 60.1 | 8.1 | 0.99 | 50.00 | 11.5 | 2980 | 2900 | 3000 | | 5 | 4 | 24.1 | 10.1 | 54 | 54.2 | 57.1 | 78.9 | 87.8 | 83.3 | 70.7 | 53.6 | 63.6 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 6.00 | 60.3 | 4.7 | 0.99 | 49.46 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 4 | 24.5 | 10.2 | 54.2 | 54.4 | 57.1 | 78.9 | 87.8 | 83.3 | 70.7 | 53.6 | 63.6 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 7.00 | 60.1 | 7.0 | 0.99 | 49.26 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 8.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 9.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 10.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 11.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 12.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 13.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 14.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 15.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 16.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 17.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 18.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 19.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 20.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 21.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 22.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 23.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 24.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 25.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 26.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 27.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 28.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 29.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 30.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 31.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 32.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 33.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 34.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 35.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 36.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 37.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | 10.2 | 54.4 | 54.6 | 57.4 | 78.9 | 87.8 | 83.4 | 70.7 | 53.6 | 63.7 | 37.1 | 39.1 | 37.8 | 34 | 52.1 | 60.1 | 60.1 | 57.9 | |
| 38.00 | 60.0 | 7.2 | 0.99 | 49.21 | 11.8 | 2980 | 2900 | 2980 | | 5 | 3 | 24.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

GENERATOR

UNIT : 2
TANGGAL : 2

| JAM | BEBAN | | | Hz | KV | ARUS | | | Rotor Temperature °C | Vibrasi sisi Generato µm | Vibrasi sisi Exciter µm | EXCITER | | STATOR TEMPERATUR | | | | | | | | | INLET TEMP. | | | Outlet Temp | | | | | | | | |
|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------|------|-------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|----|--|
| | Mw | MVar | Cos Q | | | R | S | T | | | | Amp | Arus | T. E : 10 | T. E : 11 | T. E : 12 | T. E : 1 | T. E : 2 | T. E : 3 | T. E : 4 | T. E : 5 | T. E : 6 | T. E : 7 | T. E : 8 | T. E : 9 | T. E : 15 | T. E : 16 | T. E : 17 | T. E : 18 | T. E : 13 | T. E : 14 | Udara Panas | TF | |
| 00.00 | 60.5 | 11.9 | 0.94 | 49.48 | 11.8 | 3090 | 3090 | 3120 | 7 | 4 | 4 | 26.8 | 10.4 | 58.4 | 58.3 | 57.0 | 78.0 | 91.4 | 78.2 | 78.2 | 91.4 | 72.4 | 71.4 | 20 | 36.4 | 36.3 | 36.4 | 34.1 | 62.0 | 62.1 | 61.6 | 61.8 | | |
| 01.00 | 60.5 | 10.5 | 0.99 | 49.24 | 11.8 | 3090 | 3090 | 3120 | 7 | 4 | 4 | 26.4 | 10.3 | 58.2 | 58.2 | 58.7 | 78.9 | 90.7 | 78.2 | 78.2 | 90.6 | 76.9 | 76.9 | 20 | 36.5 | 36 | 36.6 | 33.9 | 61.6 | 61.8 | 61.3 | 61.6 | | |
| 02.00 | 60.5 | 9.2 | 0.94 | 49.91 | 11.8 | 3090 | 3090 | 3060 | 7 | 4 | 4 | 26.3 | 10.2 | 58.0 | 58.0 | 58.6 | 78.2 | 90.3 | 78.5 | 77.3 | 90.2 | 76.2 | 76.7 | 20 | 36.4 | 35.8 | 36.4 | 33.8 | 61.3 | 61.6 | 61.5 | 61.6 | | |
| 03.00 | 60.7 | 8.1 | 1.00 | 50.23 | 11.8 | 3000 | 3000 | 3060 | 7 | 4 | 4 | 26.0 | 10.1 | 58.0 | 54.4 | 58.5 | 78.0 | 90.1 | 78.4 | 77.2 | 89.9 | 76.6 | 76.6 | 20 | 36.4 | 35.9 | 36.6 | 33.9 | 61.2 | 61.5 | 61.2 | 61.5 | | |
| 04.00 | 60.7 | 8.0 | 0.99 | 49.72 | 11.8 | 3000 | 3000 | 3040 | 7 | 4 | 4 | 26.1 | 10.2 | 57.8 | 54.85 | 58.5 | 77.8 | 89.8 | 78.2 | 76.4 | 81.6 | 75.9 | 76.3 | 20 | 36.1 | 35.5 | 36.2 | 33.6 | 61.0 | 61.3 | 61.0 | 61.3 | | |
| 05.00 | 60.6 | 8.2 | 0.94 | 50.00 | 11.8 | 3000 | 3000 | 3040 | 7 | 4 | 4 | 26.1 | 10.1 | 58 | 54.9 | 58.2 | 77.8 | 90 | 78.1 | 78.1 | 90.4 | 76 | 76 | 20 | 36.1 | 35.5 | 36.2 | 33.6 | 61.0 | 61.1 | 61.0 | 61.1 | | |
| 06.00 | 60.6 | 10.3 | 0.94 | 49.47 | 11.8 | 3090 | 3090 | 3050 | 7 | 3 | 3 | 26.3 | 10.4 | 57.6 | 54.5 | 58.2 | 77.8 | 89.7 | 78.1 | 78.1 | 90.4 | 76.3 | 76.3 | 20 | 36.2 | 36.2 | 36.2 | 33.7 | 60.9 | 61.2 | 60.9 | 61.2 | | |
| 07.00 | 60.8 | 8.4 | 0.94 | 49.4 | 11.8 | 3090 | 3090 | 3060 | 7 | 3 | 3 | 26.5 | 10.1 | 57.6 | 54.5 | 58.1 | 77.1 | 89.6 | 78.0 | 76.4 | 81.6 | 76.4 | 76.4 | 20 | 36 | 36.1 | 36.1 | 33.6 | 60.8 | 61.1 | 60.8 | 61.1 | | |
| 08.00 | 60.4 | 11.1 | 0.91 | 49.52 | 11.8 | 3090 | 3090 | 3060 | 7 | 4 | 4 | 26.1 | 9.1 | 57.9 | 54.9 | 58.1 | 78.4 | 90.4 | 78.4 | 78.4 | 90.4 | 76.4 | 76.4 | 20 | 36.4 | 36.4 | 36.4 | 33.7 | 60.4 | 61.0 | 60.4 | 61.0 | | |
| 09.00 | 60.3 | 15.4 | 0.97 | 49.92 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3090 | 7 | 3 | 3 | 26.2 | 10.9 | 58.5 | 55.4 | 58.2 | 79.6 | 92.9 | 80.1 | 78.9 | 92.1 | 77.6 | 78.1 | 20 | 37 | 36.1 | 37.0 | 34.5 | 62.7 | 62.4 | 62.7 | 62.4 | | |
| 10.00 | 60.2 | 14.8 | 0.98 | 49.8 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3090 | 7 | 3 | 3 | 26.1 | 10.9 | 58.8 | 55.7 | 58.5 | 80.2 | 92.4 | 80.5 | 79 | 92.6 | 78.5 | 78.5 | 20 | 37.2 | 36.8 | 37.2 | 34.6 | 62.8 | 62.9 | 62.8 | 62.9 | | |
| 11.00 | 60.2 | 14.1 | 0.97 | 49.9 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3090 | 7 | 3 | 3 | 26.1 | 10.9 | 58.8 | 55.7 | 58.5 | 80.2 | 92.4 | 80.5 | 79 | 92.6 | 78.5 | 78.5 | 20 | 37.2 | 36.8 | 37.2 | 34.6 | 62.8 | 62.9 | 62.8 | 62.9 | | |
| 12.00 | 60.2 | 14.1 | 0.97 | 49.9 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3090 | 7 | 3 | 3 | 26.1 | 10.9 | 58.8 | 55.7 | 58.5 | 80.2 | 92.4 | 80.5 | 79 | 92.6 | 78.5 | 78.5 | 20 | 37.2 | 36.8 | 37.2 | 34.6 | 62.8 | 62.9 | 62.8 | 62.9 | | |
| 13.00 | 60.2 | 14.1 | 0.97 | 49.9 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3090 | 7 | 3 | 3 | 26.1 | 10.9 | 58.8 | 55.7 | 58.5 | 80.2 | 92.4 | 80.5 | 79 | 92.6 | 78.5 | 78.5 | 20 | 37.2 | 36.8 | 37.2 | 34.6 | 62.8 | 62.9 | 62.8 | 62.9 | | |
| 14.00 | 60.2 | 14.1 | 0.97 | 49.9 | 11.8 | 3020 | 3020 | 3090 | 7 | 3 | 3 | 26.1 | 10.9 | 58.8 | 55.7 | 58.5 | 80.2 | 92.4 | 80.5 | 79 | 92.6 | 78.5 | 78.5 | 20 | 37.2 | 36.8 | 37.2 | 34.6 | 62.8 | 62.9 | 62.8 | 62.9 | | |
| 15.00 | 60.3 | 15.4 | 0.98 | 50.12 | 11.8 | 300 | 300 | 3090 | 7 | 3 | 3 | 27.1 | 10.9 | 59.2 | 56.1 | 59.4 | 80.0 | 92.8 | 80.5 | 79.1 | 92.6 | 78.1 | 78.5 | 20 | 37.4 | 36.9 | 37.5 | 34.8 | 62.1 | 62.1 | 62.1 | 62.1 | | |
| 16.00 | 60.2 | 14.3 | 0.98 | 50.06 | 11.8 | 3000 | 3000 | 3090 | 7 | 3 | 3 | 26.5 | 10.9 | 58.9 | 55.9 | 59.5 | 79.6 | 92.5 | 80.1 | 78.3 | 92.7 | 78.6 | 78.2 | 20 | 37 | 36.7 | 37.3 | 34.7 | 62.6 | 62.8 | 62.6 | 62.8 | | |
| 17.00 | 60.2 | 13.8 | 0.98 | 49.98 | 11.8 | 3000 | 3000 | 3090 | 7 | 3 | 3 | 26.4 | 10.4 | 58.9 | 55.9 | 59.1 | 79.3 | 92.0 | 79.8 | 78.8 | 92.0 | 78.3 | 77.8 | 20 | 36.3 | 36.3 | 36.3 | 34.5 | 62.2 | 62.2 | 62.2 | 62.5 | | |
| 18.00 | 60.5 | 16.3 | 0.94 | 49.4 | 11.8 | 3090 | 3090 | 3090 | 7 | 4 | 4 | 26.2 | 11 | 58.5 | 55.7 | 59.1 | 79.4 | 92.4 | 80.1 | 78.4 | 92.4 | 78.4 | 78.4 | 20 | 36.4 | 36.4 | 36.4 | 34.5 | 62.2 | 62.2 | 62.2 | 62.5 | | |
| 19.00 | 60.4 | 16.9 | 0.94 | 49.5 | 11.8 | 3090 | 3090 | 3090 | 7 | 4 | 4 | 26.3 | 11 | 58.6 | 55.7 | 59.1 | 79.4 | 92.4 | 80.1 | 78.4 | 92.4 | 78.4 | 78.4 | 20 | 36.4 | 36.4 | 36.4 | 34.5 | 62.2 | 62.2 | 62.2 | 62.5 | | |
| 20.00 | 60.2 | 17.0 | 0.93 | 49.3 | 11.8 | 3090 | 3090 | 3090 | 7 | 4 | 4 | 26.4 | 11 | 58.7 | 55.7 | 59.1 | 79.4 | 92.4 | 80.1 | 78.4 | 92.4 | 78.4 | 78.4 | 20 | 36.4 | 36.4 | 36.4 | 34.5 | 62.2 | 62.2 | 62.2 | 62.5 | | |
| 21.00 | 60.2 | 16.2 | 0.93 | 49.07 | 11.7 | 3010 | 3010 | 3080 | 7 | 4 | 4 | 26 | 10.9 | 58.8 | 55.7 | 59.4 | 79.6 | 92.0 | 80.1 | 78.3 | 92.0 | 78.3 | 78.3 | 20 | 36.4 | 36.4 | 36.4 | 34.5 | 62.5 | 62.7 | 62.5 | 62.7 | | |
| 22.00 | 60.5 | 13.9 | 0.98 | 49.12 | 11.7 | 3090 | 3090 | 3090 | 7 | 4 | 4 | 26.1 | 10.9 | 58.9 | 55.6 | 59.3 | 79.6 | 92.2 | 80.1 | 78.3 | 92.2 | 78.4 | 78.4 | 20 | 36.4 | 36.4 | 36.4 | 34.5 | 62.6 | 62.6 | 62.6 | 62.9 | | |
| 23.00 | 60.6 | 16.6 | 0.94 | 49.96 | 11.8 | 3090 | 3090 | 3060 | 7 | 4 | 4 | 26.8 | 10.4 | 58.4 | 55.4 | 59.4 | 79.4 | 92.0 | 80.1 | 78.4 | 92.0 | 78.4 | 78.4 | 20 | 36.4 | 36.4 | 36.4 | 34.5 | 62.9 | 62.2 | 62.9 | 62.2 | | |
| 24.00 | 60.5 | 15.8 | 0.94 | 49.03 | 11.8 | 3090 | 3090 | 3090 | 7 | 4 | 4 | 26.9 | 10.1 | 58.4 | 55.4 | 59.4 | 79.5 | 92.0 | 80.1 | 78.4 | 92.0 | 78.4 | 78.4 | 20 | 36.4 | 36.4 | 36.4 | 34.5 | 62.9 | 62.0 | 62.9 | 62.0 | | |
| Max | 62 | 30 | 1 | 53 | 13 | 3541 | | | 120 | | | 71 | 158 | | 120 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Min | 7 | -10 | 0.8 | 48 | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

No Formulir : 40240002
Revisi : 0
Tanggal : 1 Maret 2009

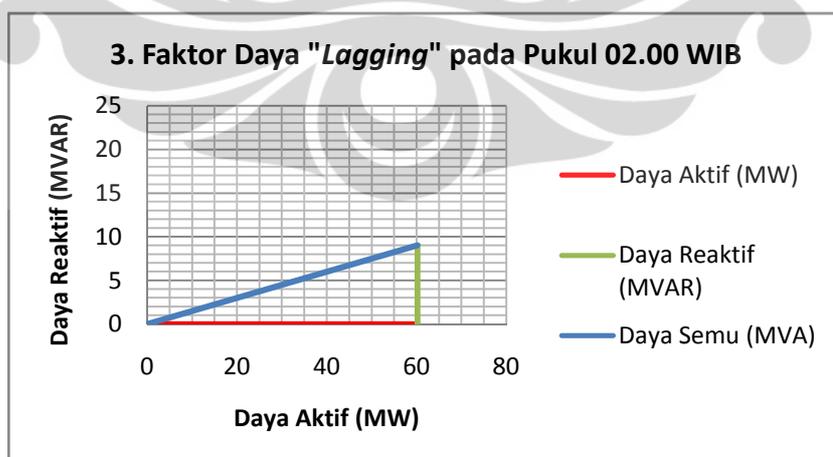
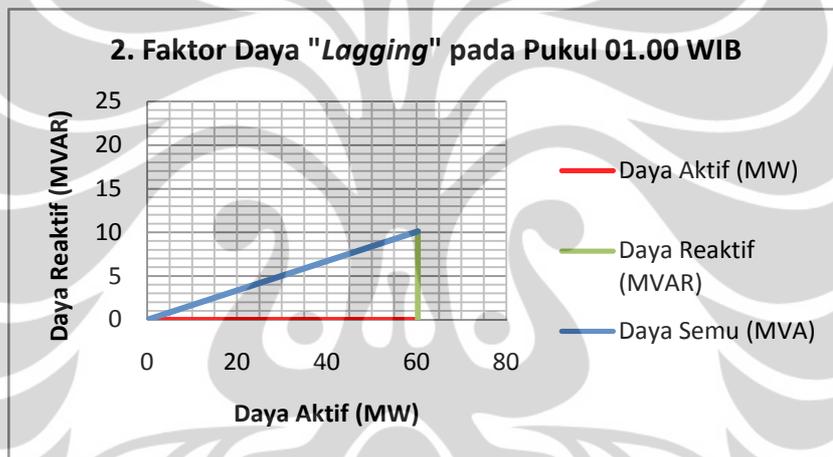
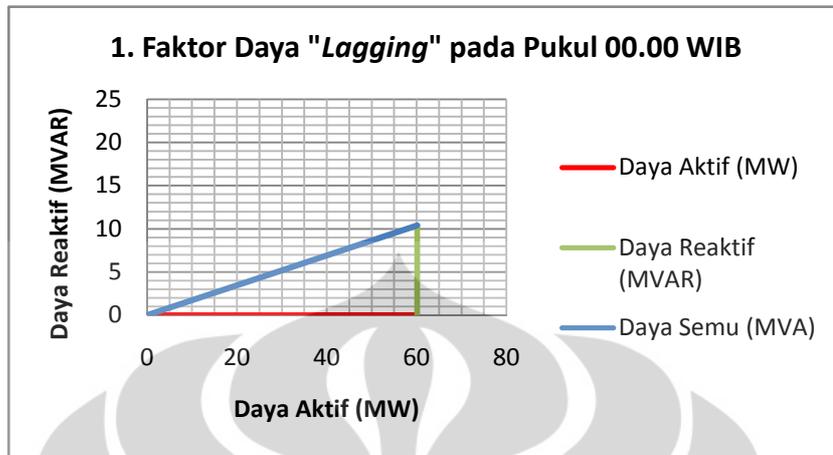
| | | | |
|---------------|-------|-----------|----------|
| JAM | REGU | PELAKSANA | SPS OPE |
| DINAS | DINAS | NAMA | NAMA |
| 15.00 - 22.00 | B | Sumus | Humay |
| | | CECE-S | manan mh |

LAMPIRAN

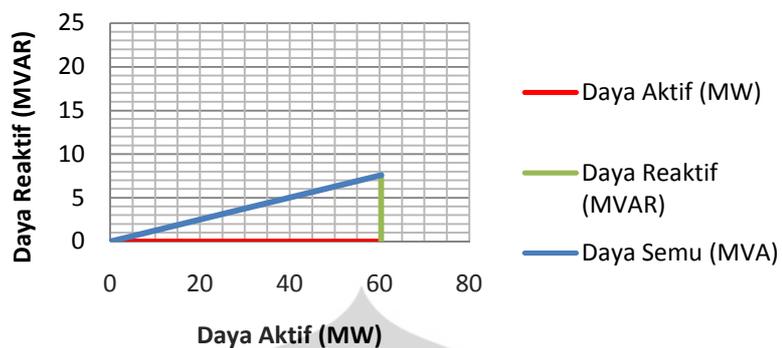
2



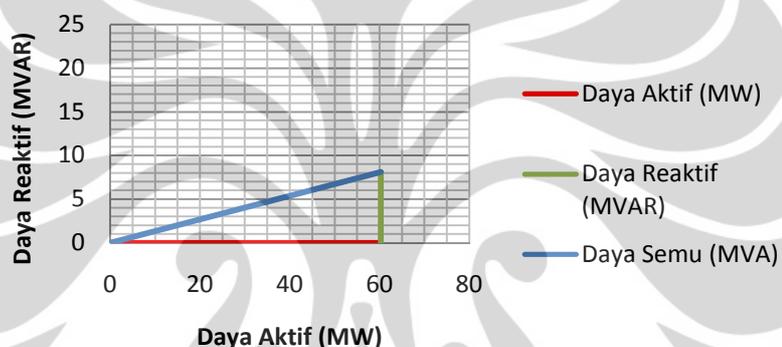
1) Segitiga Daya pada Unit 1



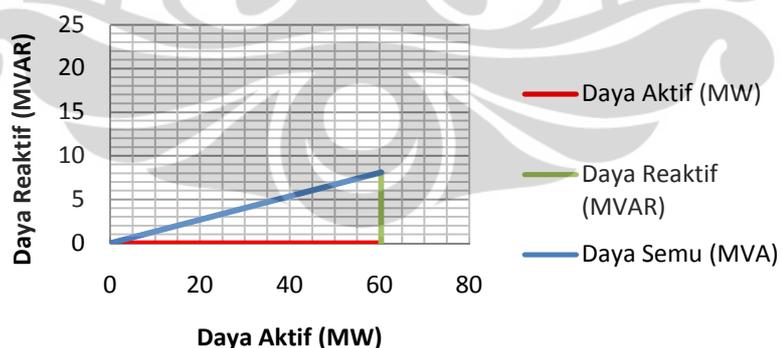
4. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 02.00 WIB



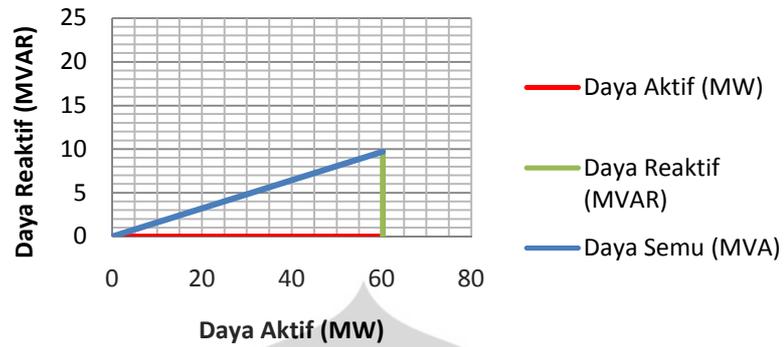
5. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 04.00 WIB



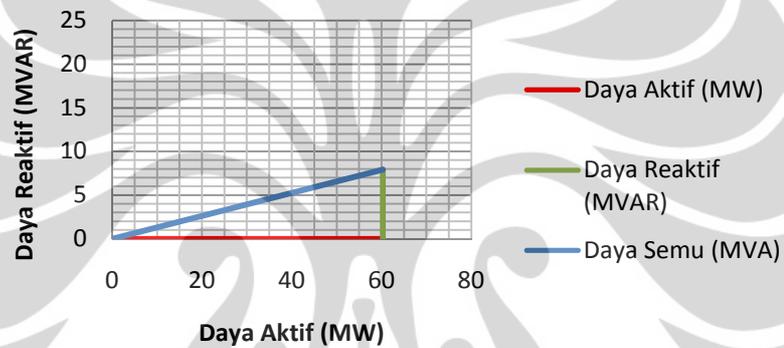
6. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 05.00 WIB



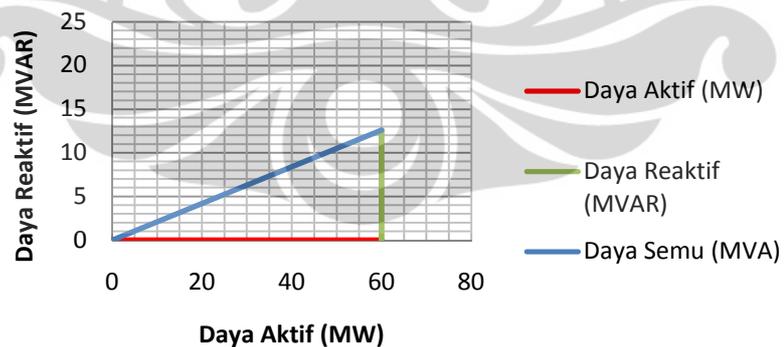
7. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 06.00 WIB



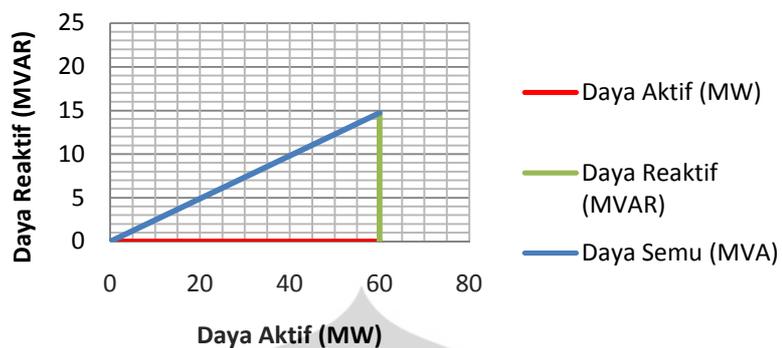
8. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 07.00 WIB



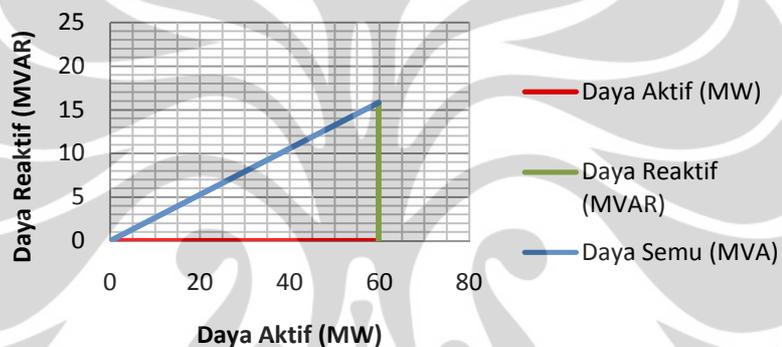
9. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 08.00 WIB



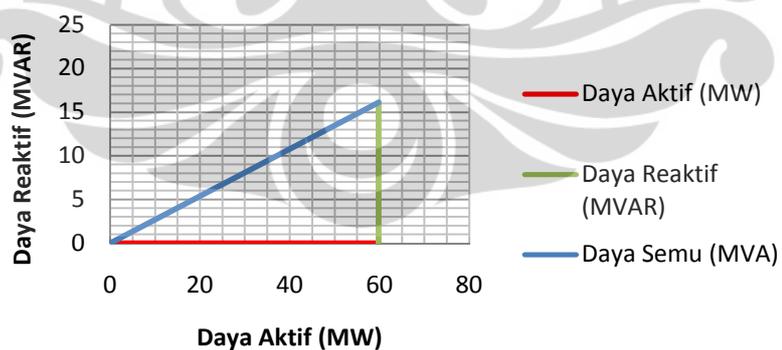
10. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 09.00 WIB



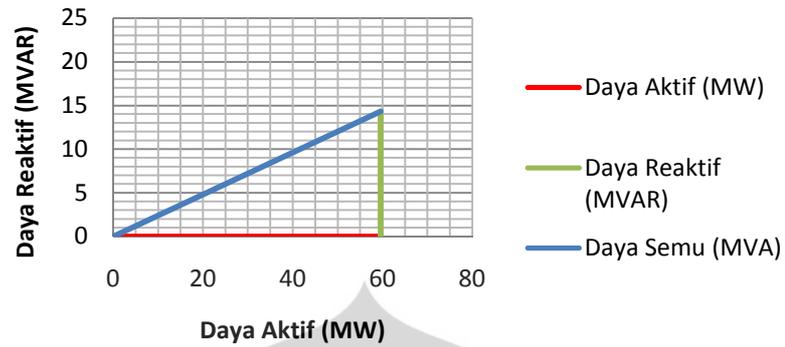
11. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 10.00 WIB



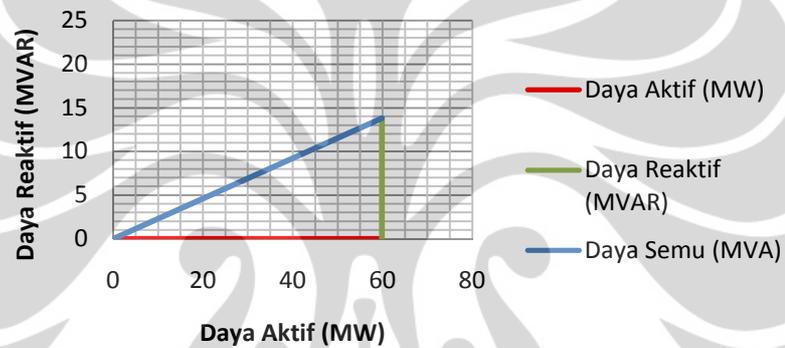
12. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 11.00 WIB



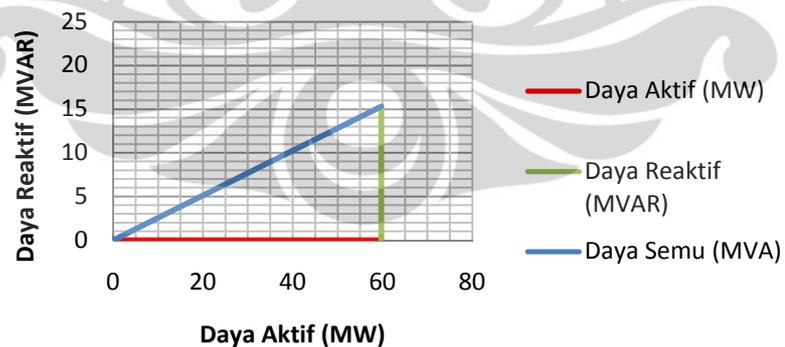
13. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 12.00 WIB



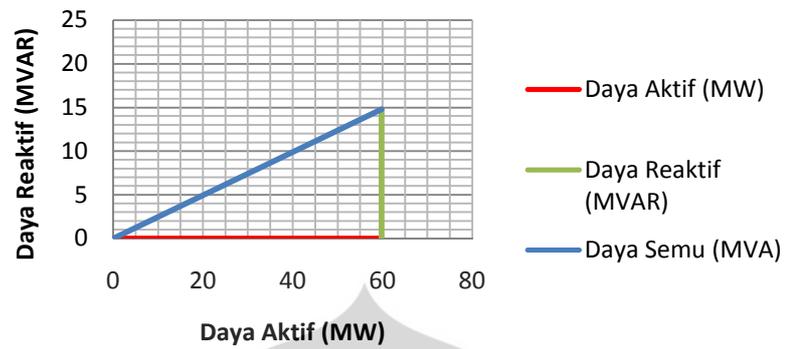
14. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 13.00 WIB



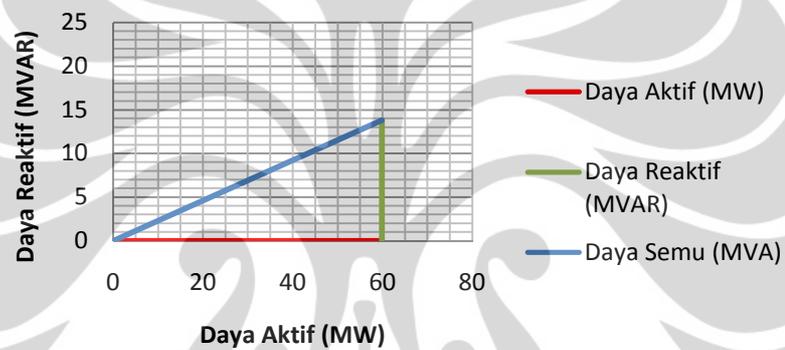
15. Daya Faktor "Lagging" pada Pukul 14.00 WIB



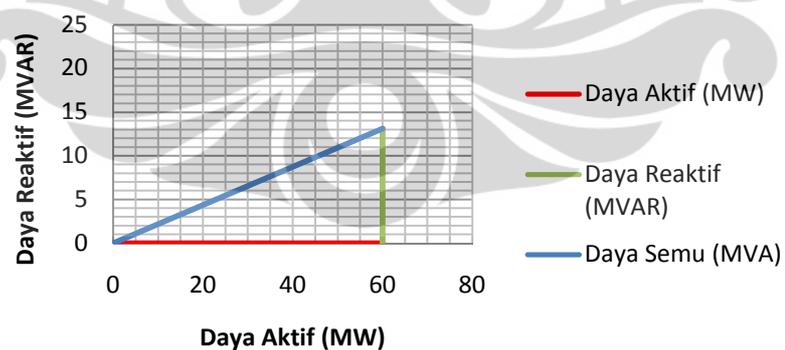
16. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 15.00 WIB



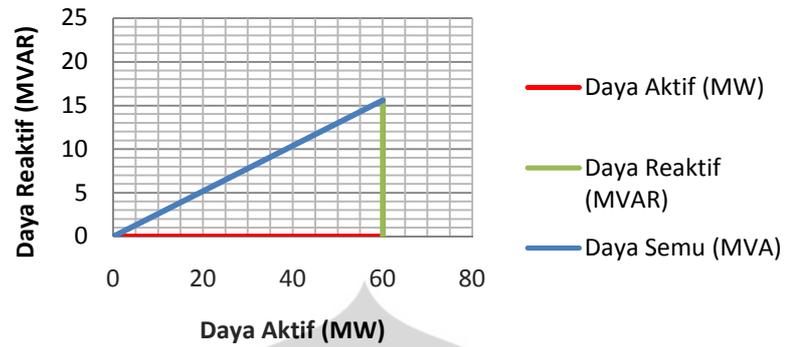
17. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 16.00 WIB



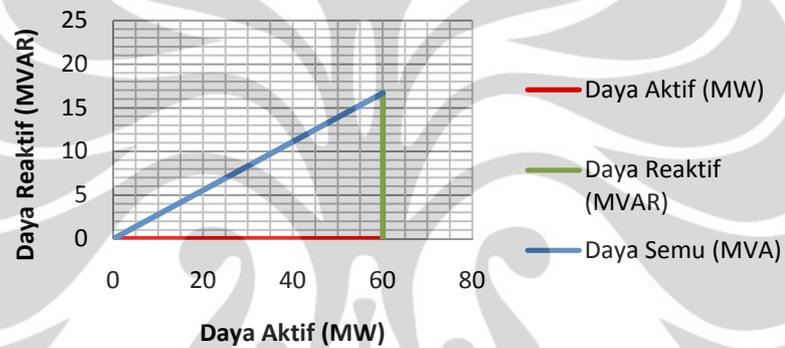
18. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 17.00 WIB



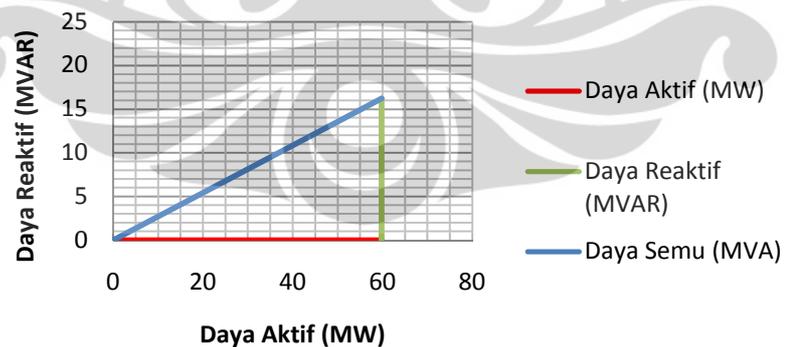
19. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 18.00 WIB



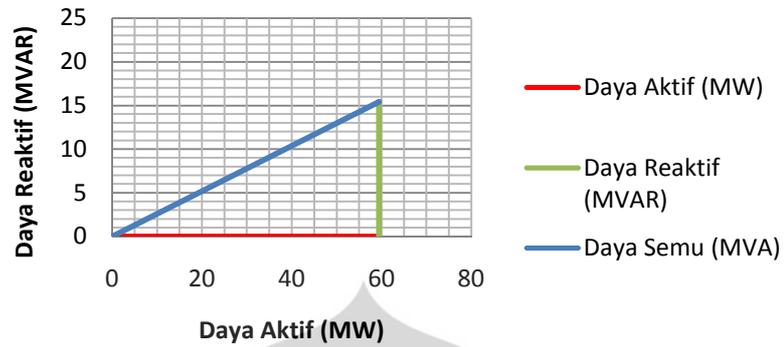
20. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 19.00 WIB



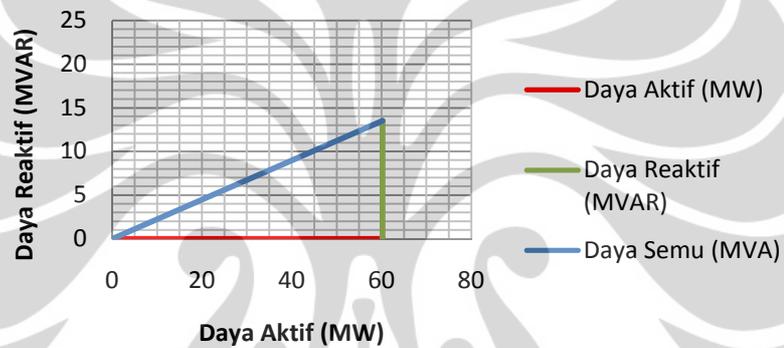
21. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 20.00 WIB



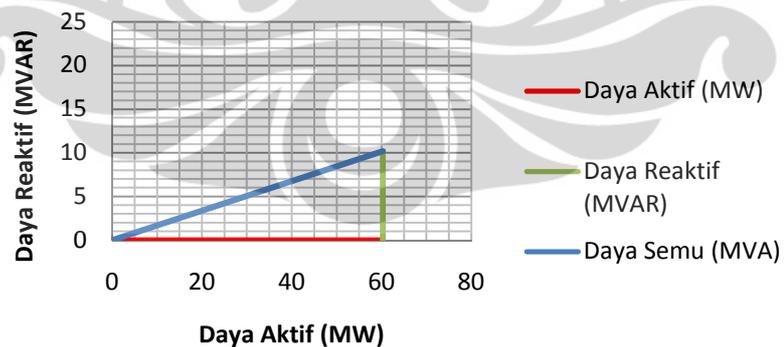
22. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 21.00 WIB

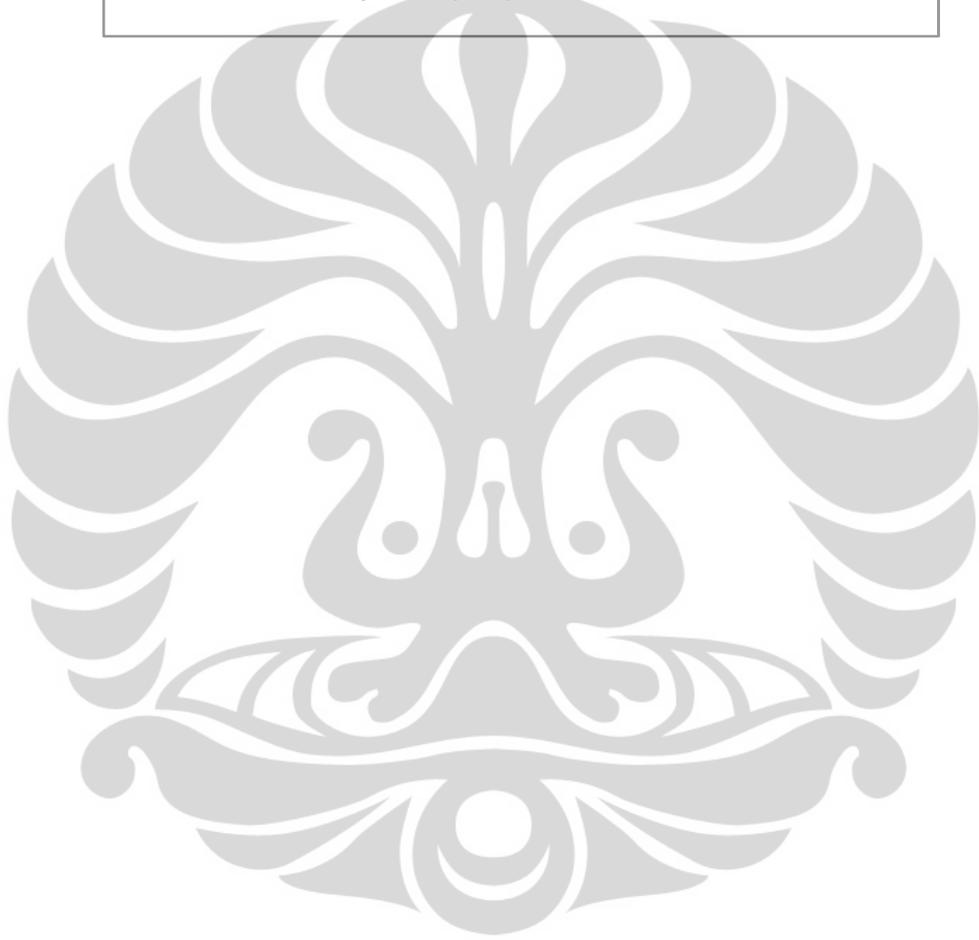
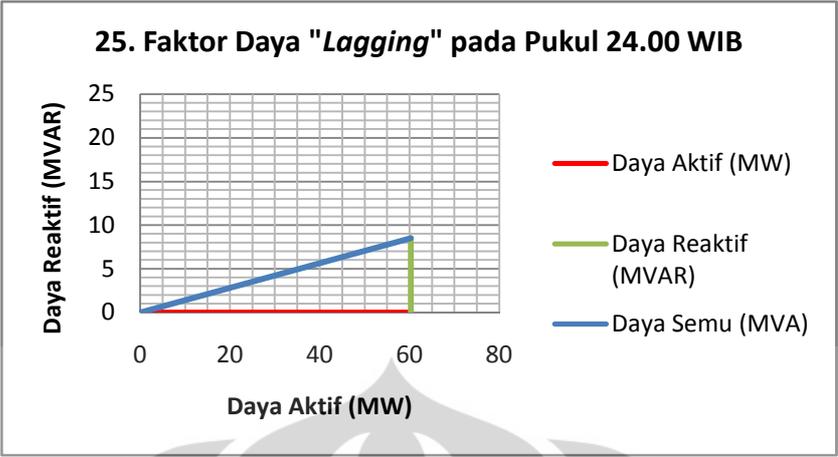


23. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 22.00 WIB

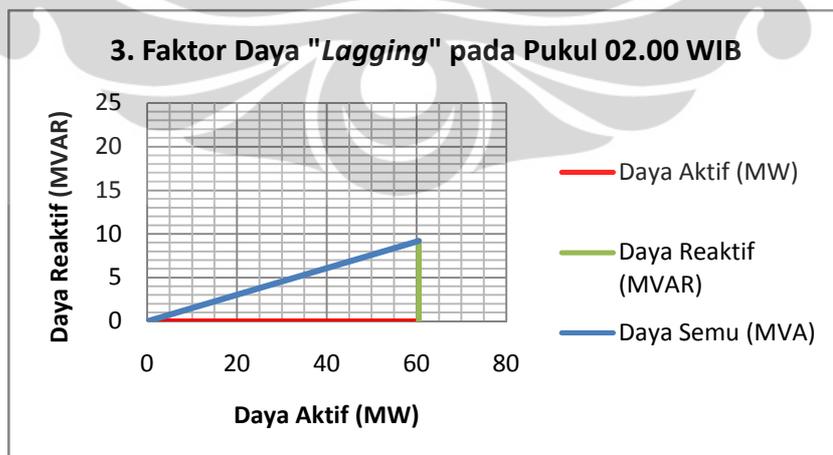
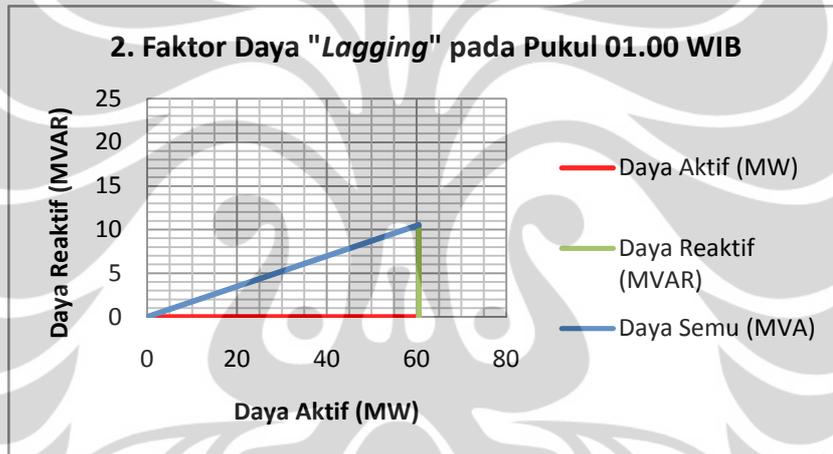
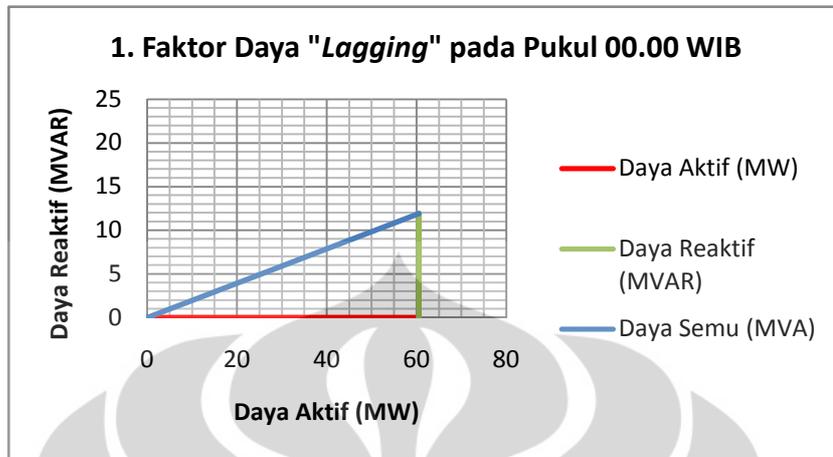


24. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 23.00 WIB

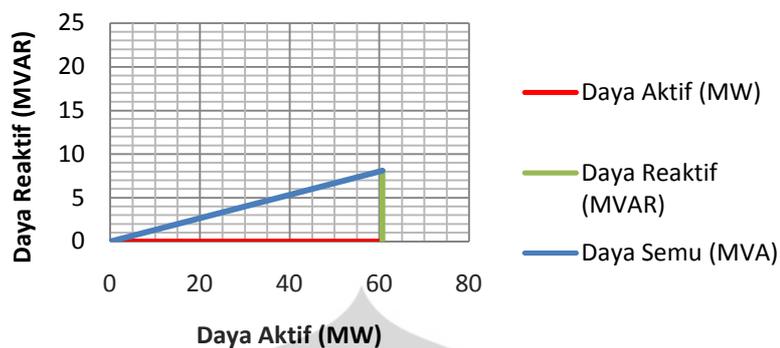




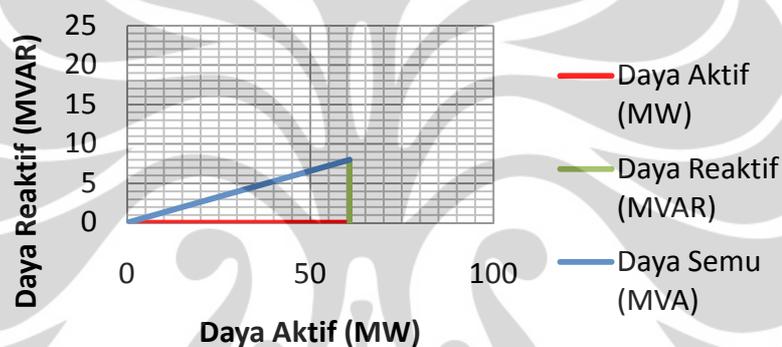
2) Segitiga Daya pada Unit 2



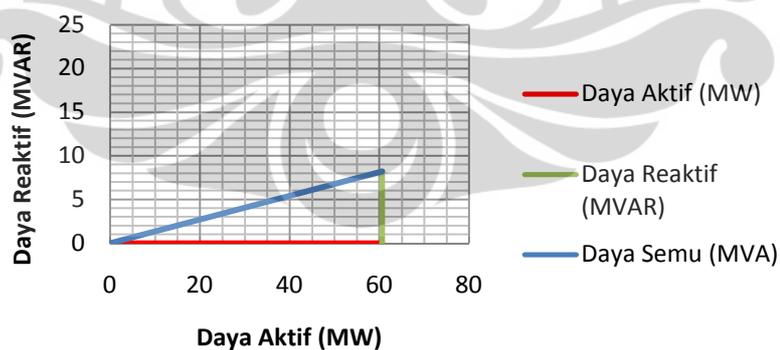
4. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 03.00 WIB



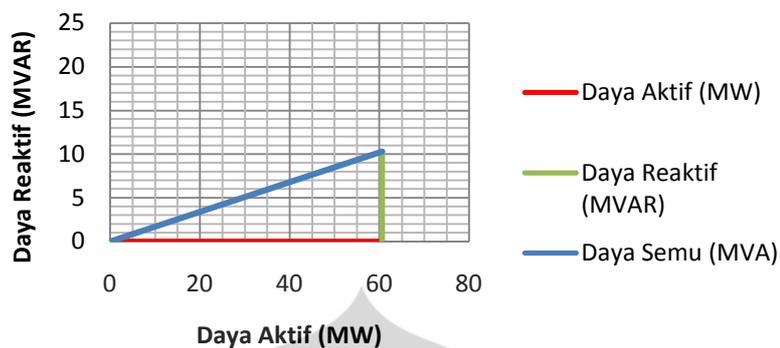
5. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 04.00 WIB



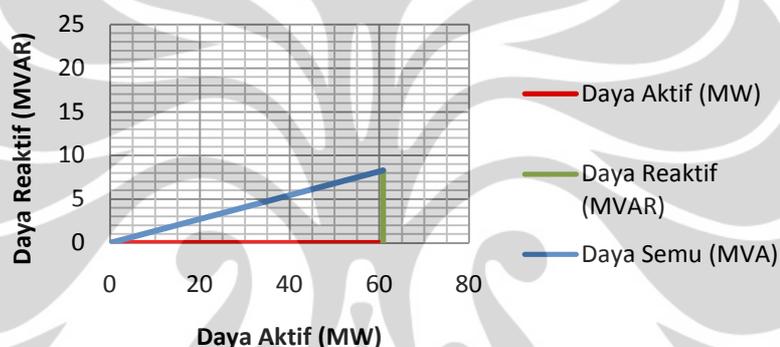
6. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 05.00 WIB



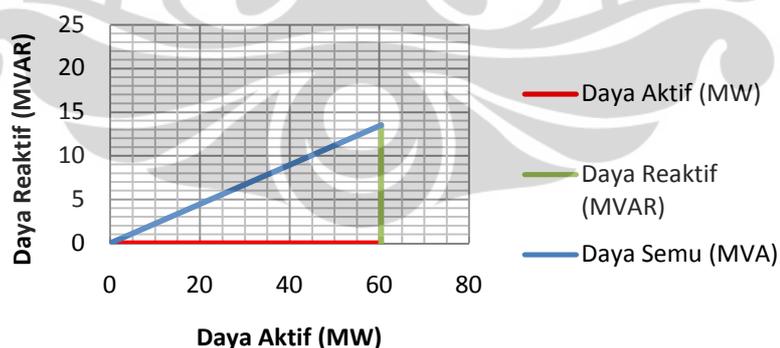
7. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 06.00 WIB



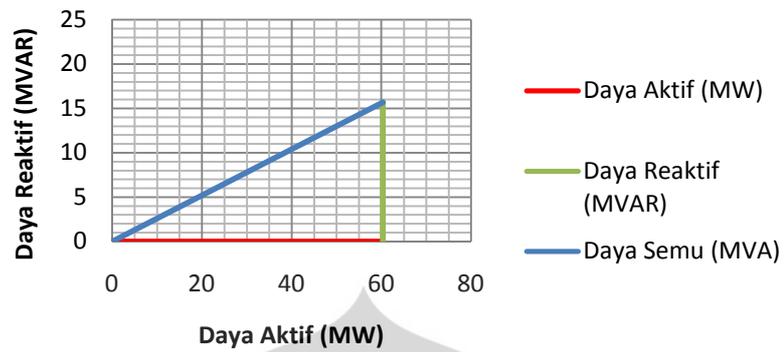
8. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 07.00 WIB



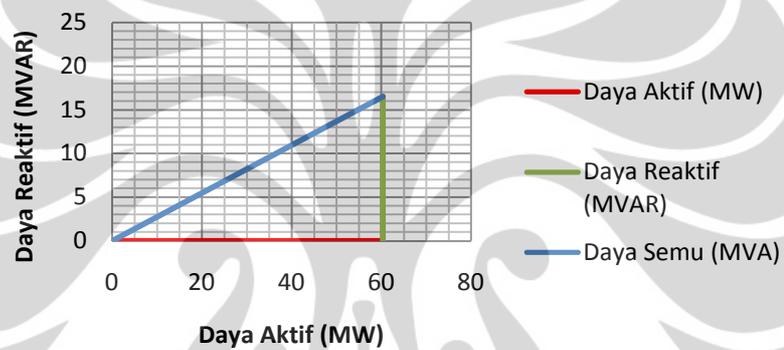
9. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 08.00 WIB



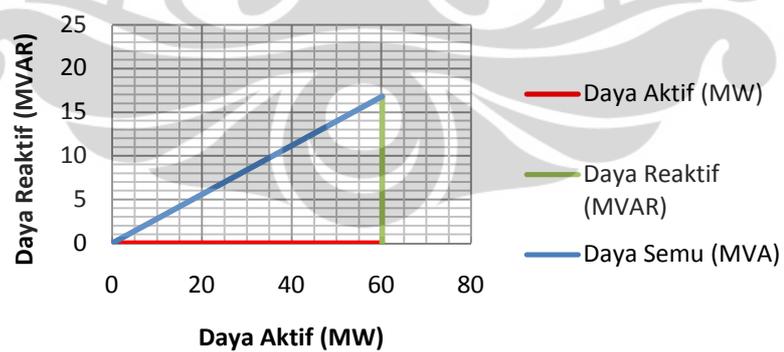
10. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 09.00 WIB



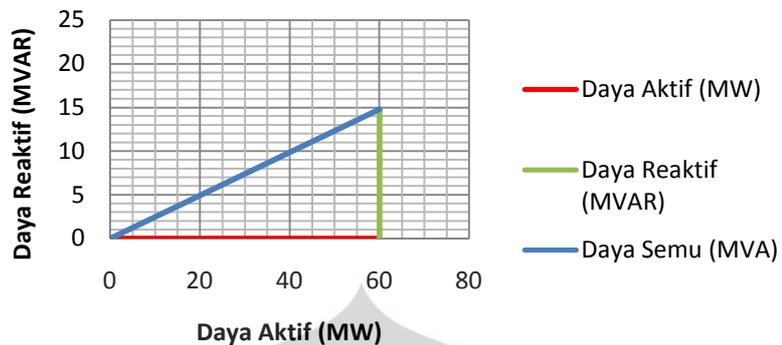
11. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 10.00 WIB



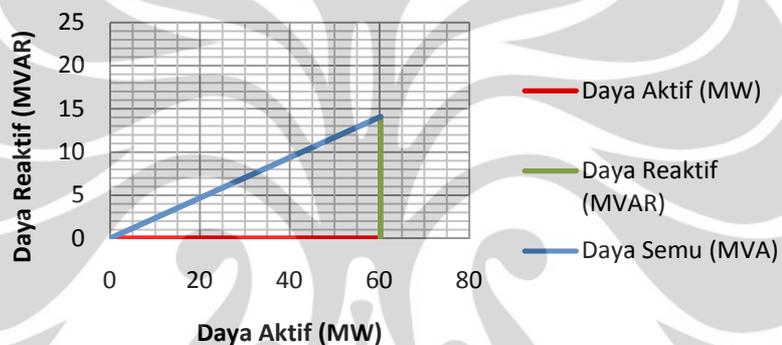
12. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 11.00 WIB



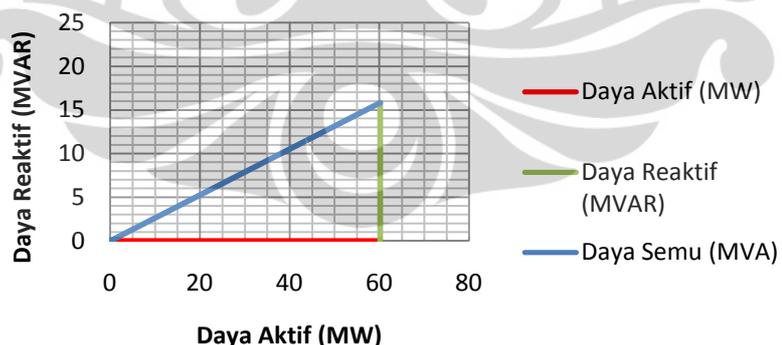
13. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 12.00 WIB



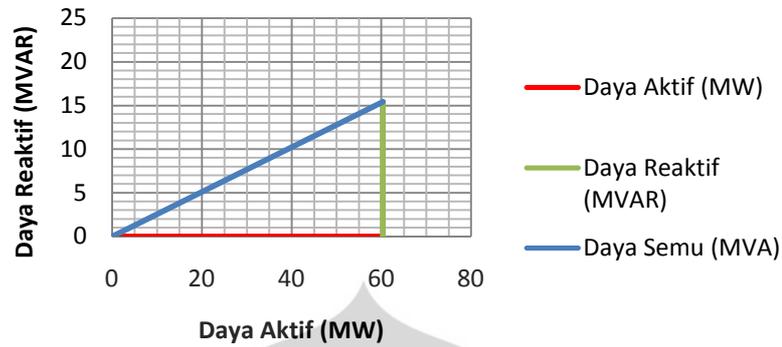
14. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 13.00 WIB



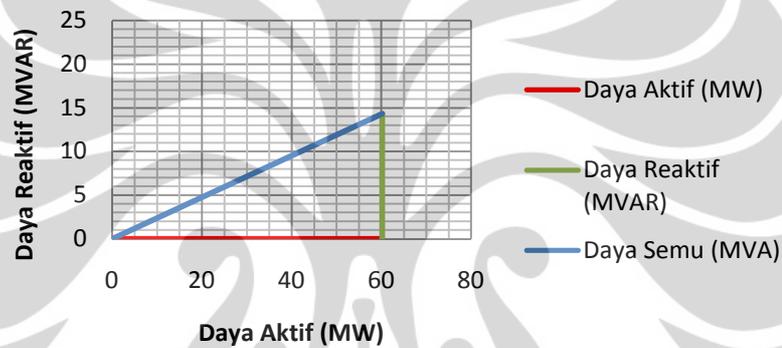
15. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 14.00 WIB



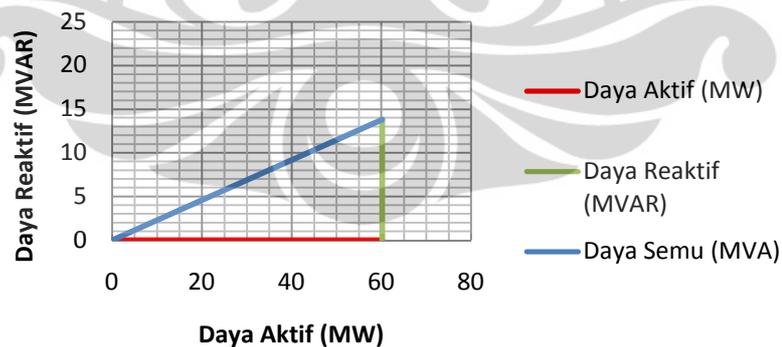
16. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 15.00 WIB



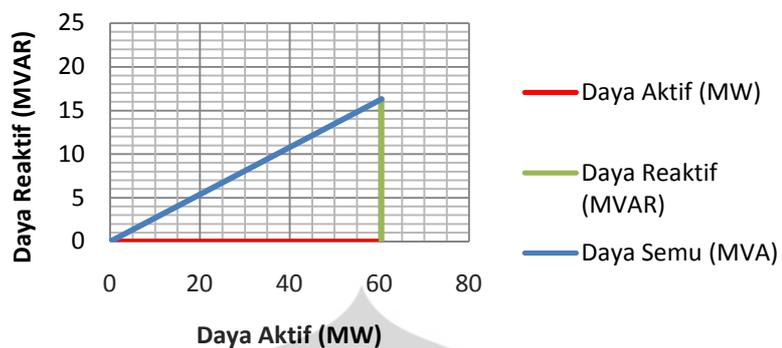
17. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 16.00 WIB



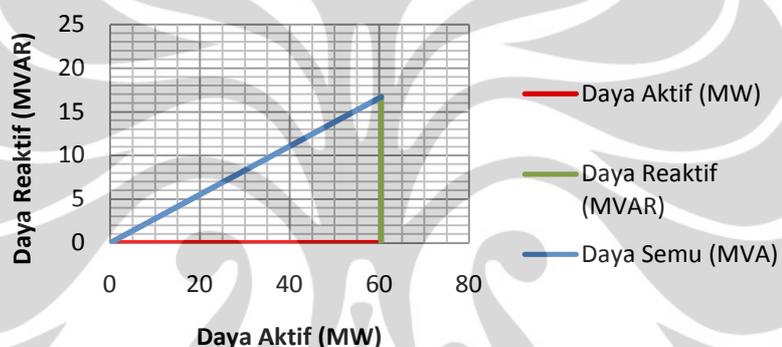
18. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 17.00 WIB



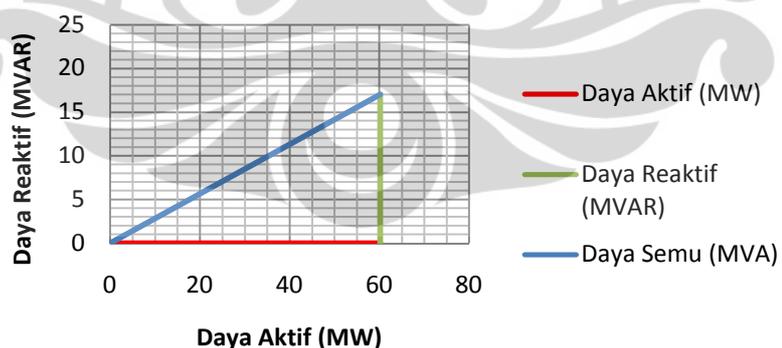
19. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 18.00 WIB



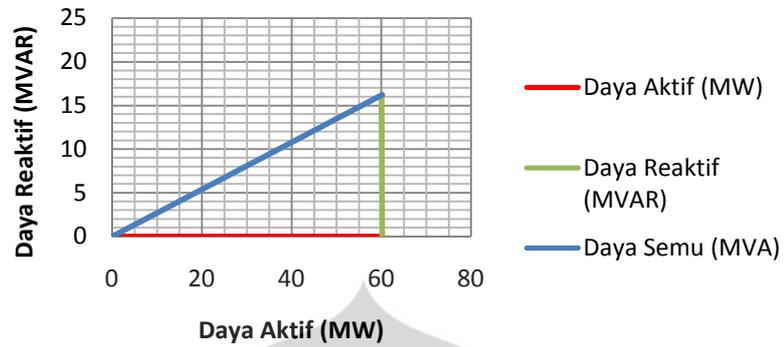
20. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 19.00 WIB



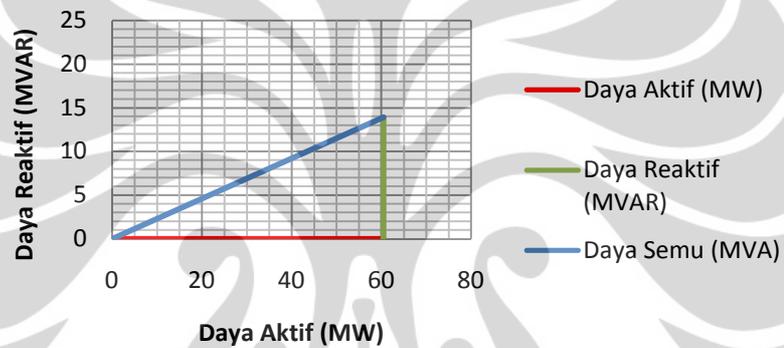
21. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 20.00 WIB



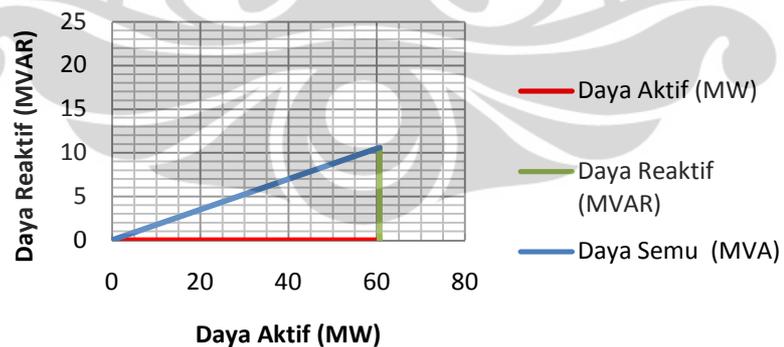
22. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 21.00 WIB

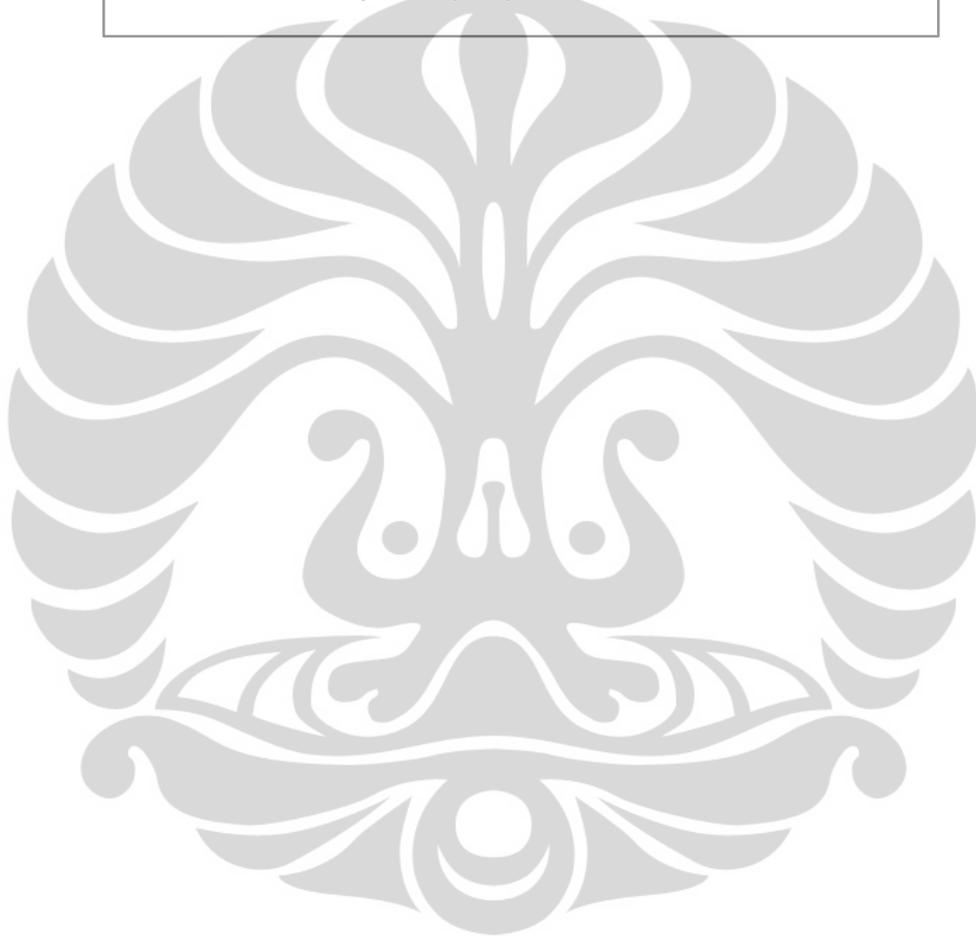
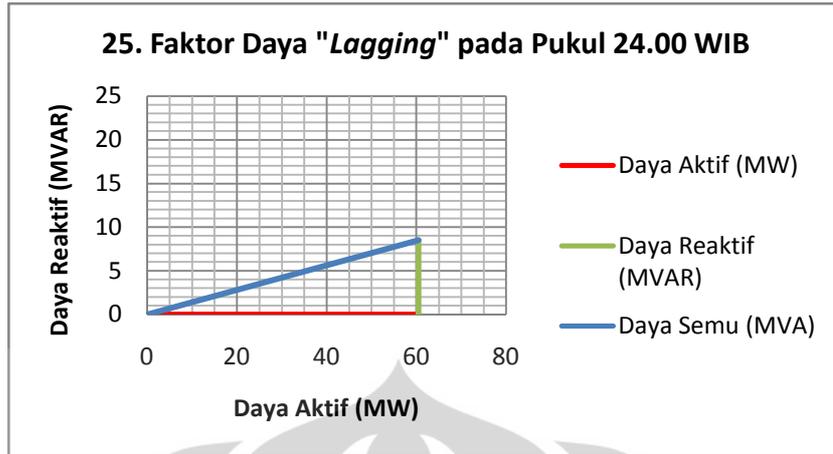


23. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 22.00 WIB

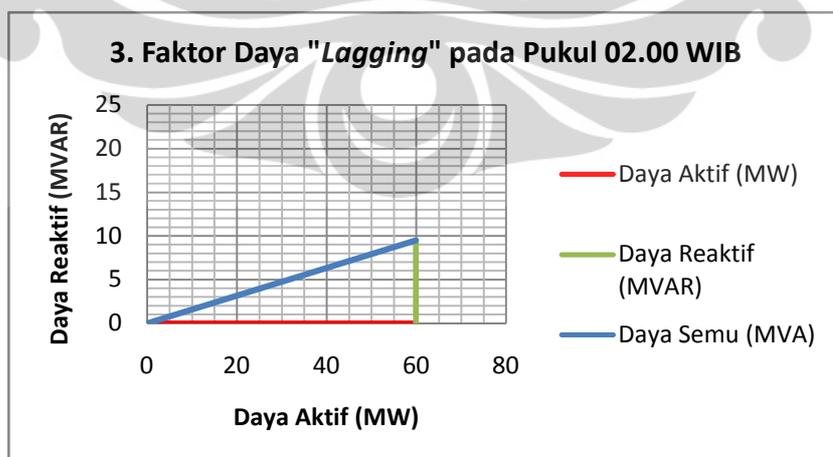
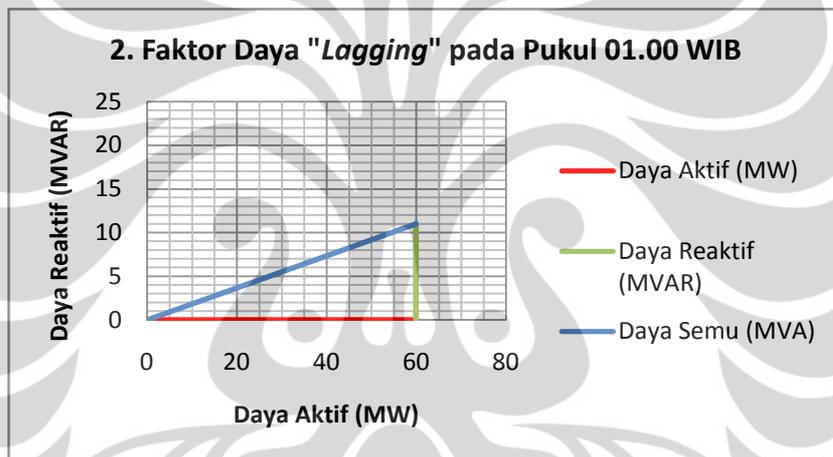
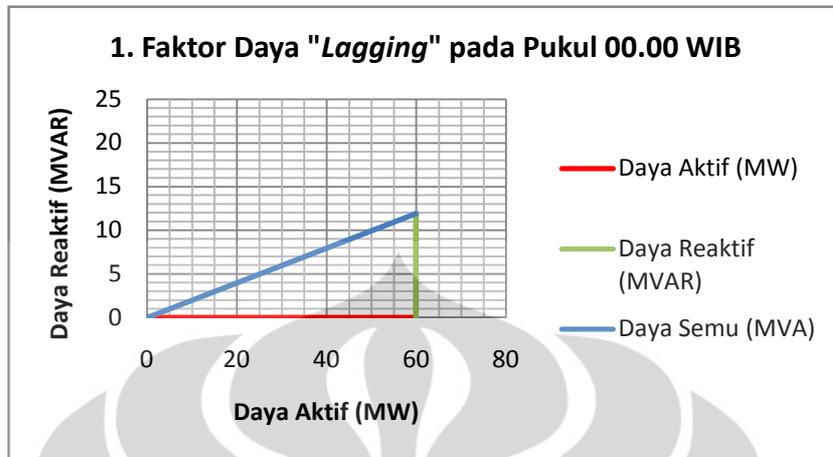


24. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 23.00 WIB

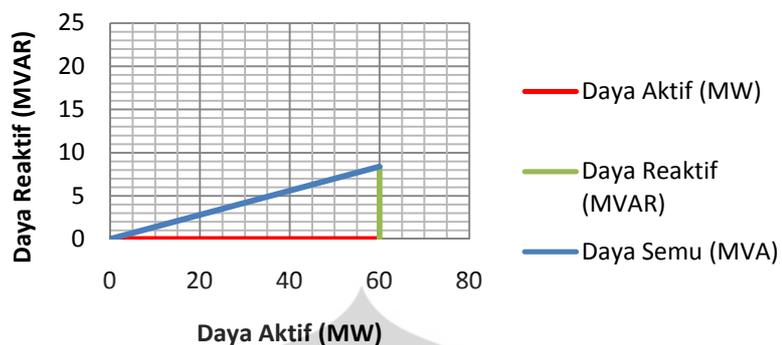




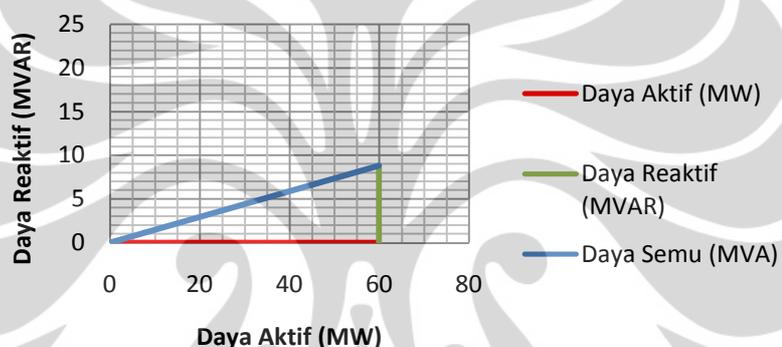
3) Segitiga Daya pada Unit 3



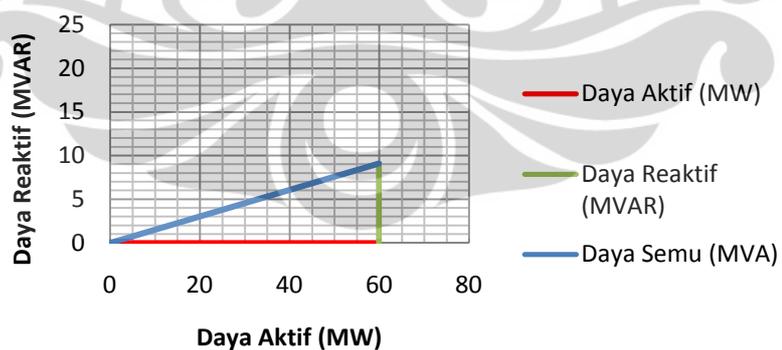
4. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 03.00 WIB



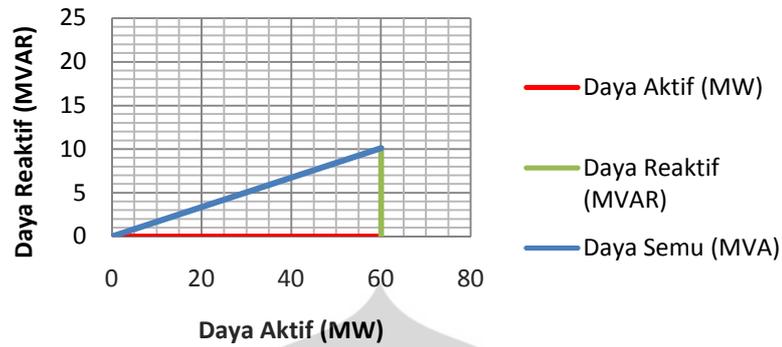
5. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 04.00 WIB



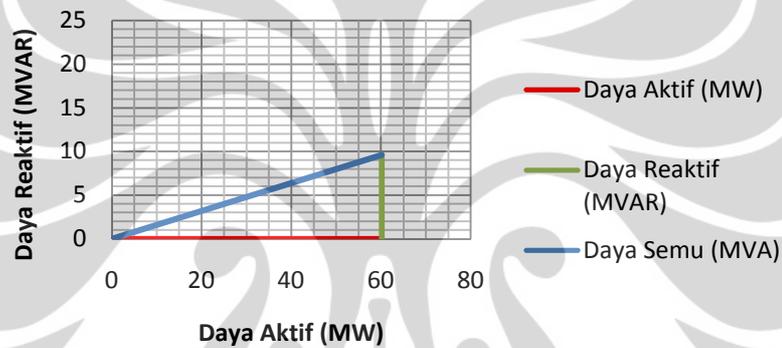
6. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 05.00 WIB



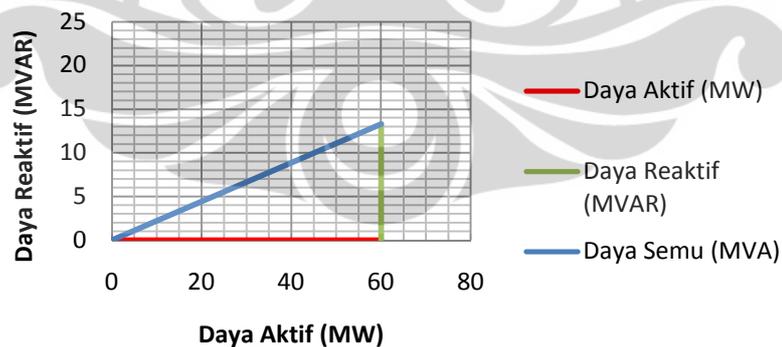
7. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 06.00 WIB



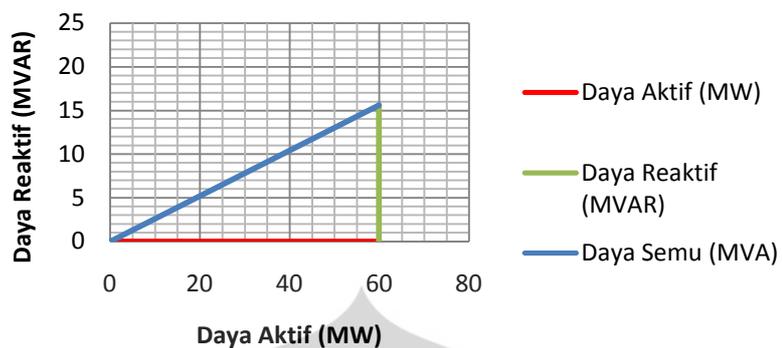
8. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 07.00 WIB



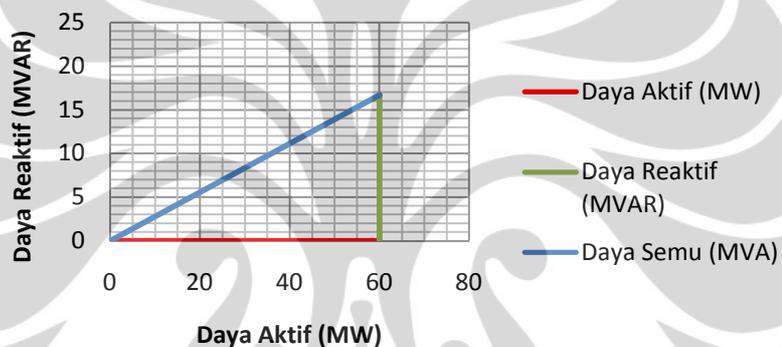
9. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 08.00 WIB



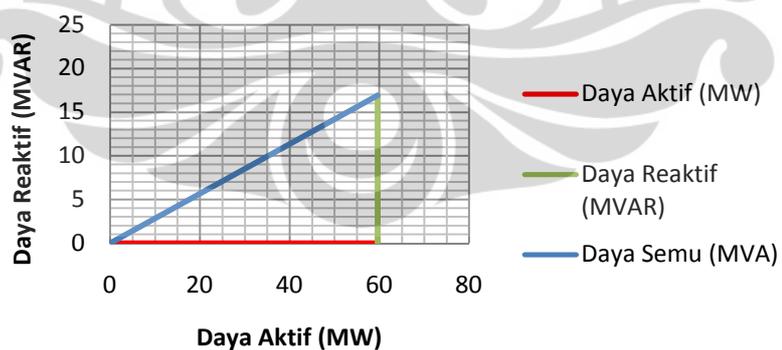
10. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 09.00 WIB



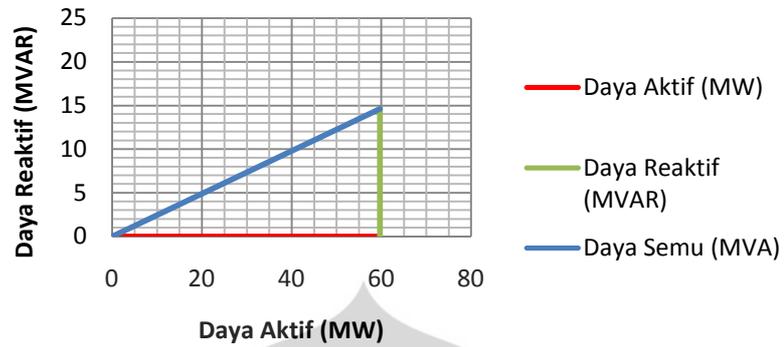
11. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 10.00 WIB



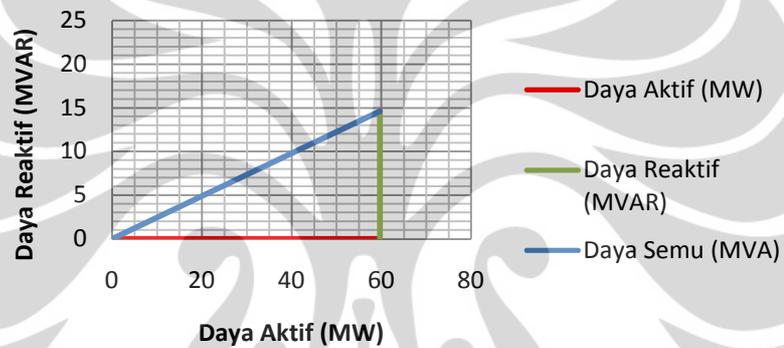
12. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 11.00 WIB



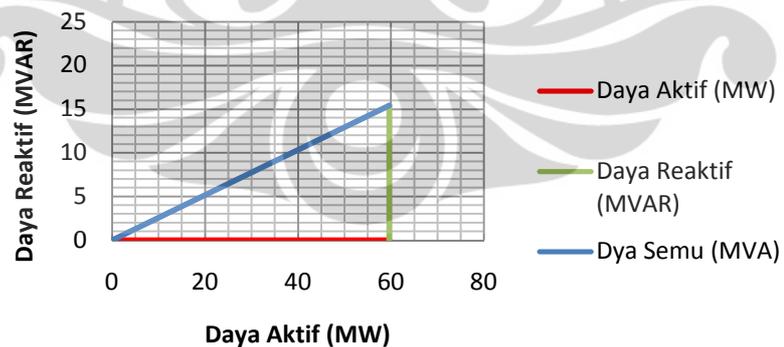
13. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 12.00 WIB



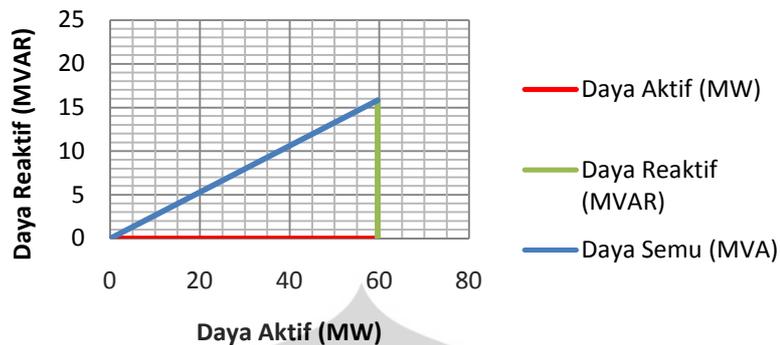
14. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 13.00 WIB



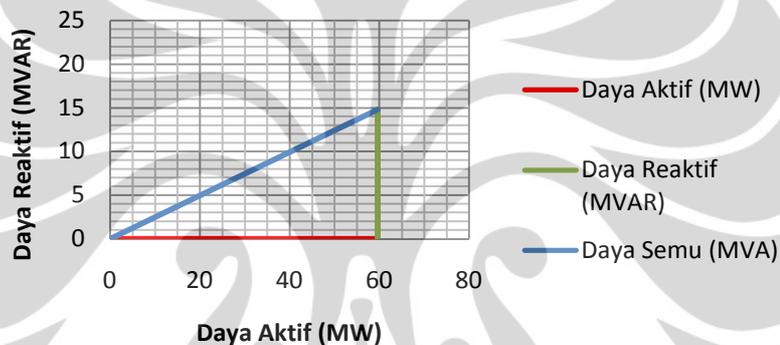
15. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 14.00 WIB



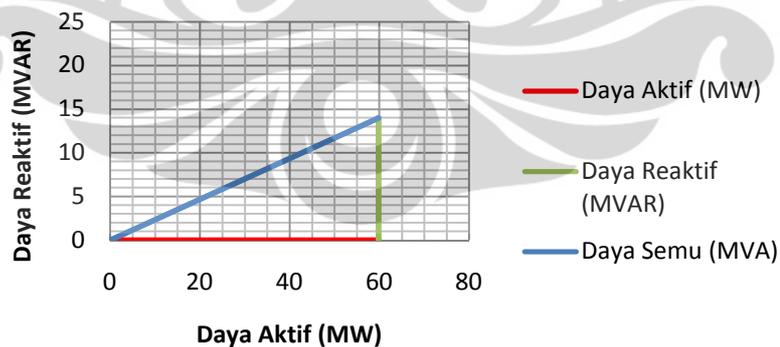
16. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 15.00 WIB



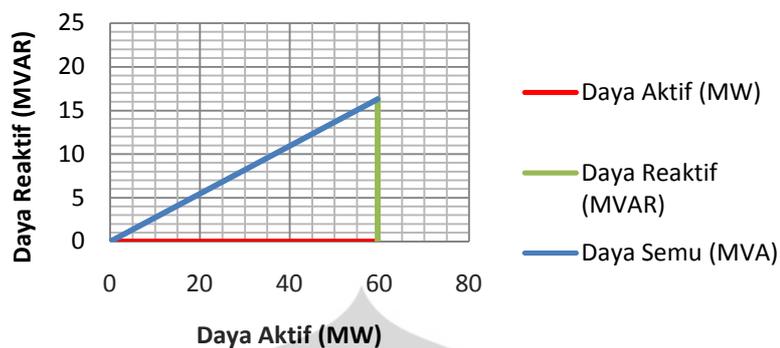
17. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 16.00 WIB



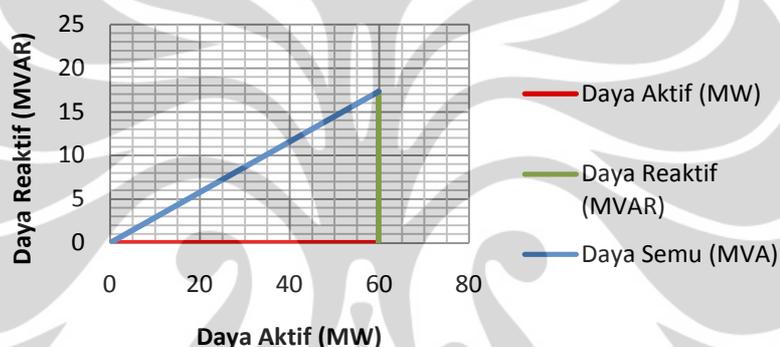
18. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 17.00 WIB



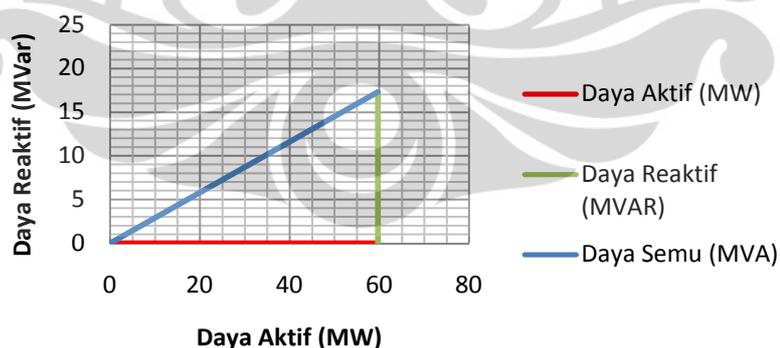
19. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 18.00 WIB



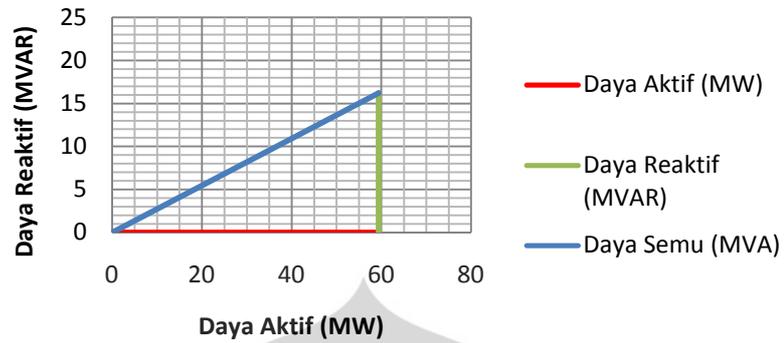
20. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 19.00 WIB



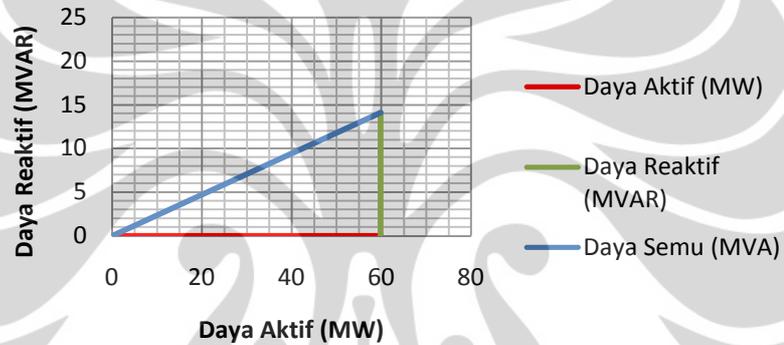
21. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 20.00 WIB



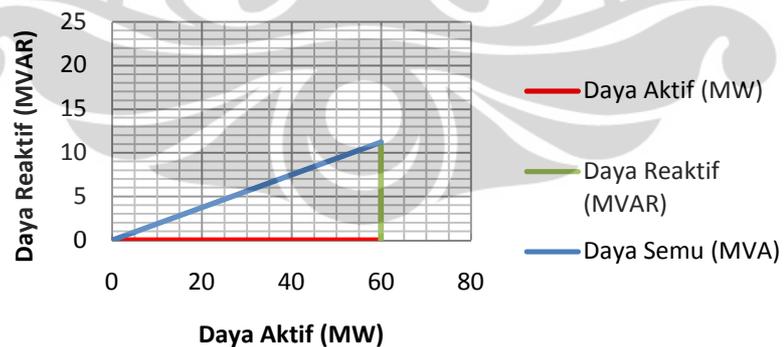
22. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 21.00 WIB

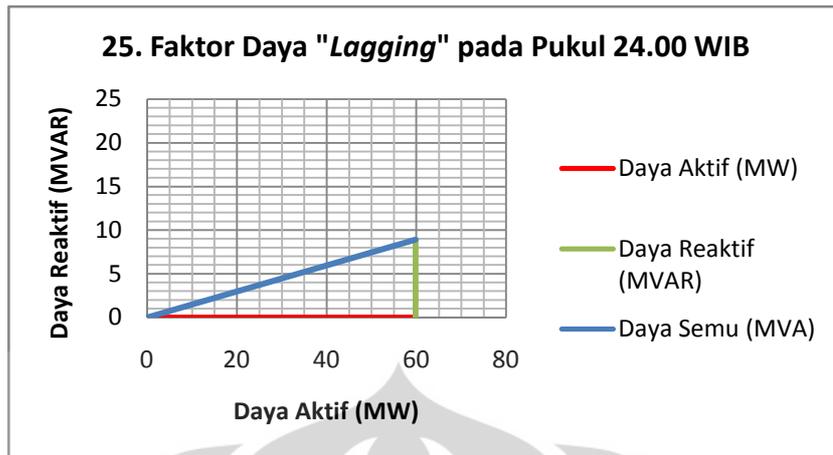


23. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 22.00 WIB



24. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 23.00 WIB





BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang dari permasalahan yang diambil, perumusan masalah, tujuan dari penelitian, manfaat dari penelitian, batasan masalah yang diambil oleh penulis, metode penelitian, dan sistematika penulisan laporan skripsi.

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok yang sangat penting dalam kehidupan manusia saat ini. Hal tersebut dikarenakan sebagian besar energi yang dibutuhkan untuk hampir semua aktifitas manusia khususnya masyarakat modern disuplai dalam bentuk energi listrik. Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan meningkatnya jumlah populasi penduduk di Indonesia serta bertambahnya kebutuhan hidup sehari-hari, maka mengakibatkan permintaan akan energi listrik pun juga meningkat. Akan tetapi dengan sumber daya yang ada, pihak penyedia energi listrik, yaitu PLN, belum mampu memenuhi kebutuhan listrik masyarakat secara keseluruhan. Ketersediaan sumber daya energi fosil seperti minyak bumi, gas dan batubara termasuk energi yang tak terbarukan semakin lama semakin berkurang akibat penggunaan energi yang berlebihan.

Selain ketersediaan sumber daya energi fosil, proses produksi listrik juga merupakan salah satu rangkaian penting dalam melayani kebutuhan energi listrik, dimulai dari pembangkit listrik sampai dengan *end user* yaitu konsumen sebagai pengguna listrik.

Energi listrik yang diproduksi untuk konsumen (masyarakat) dihasilkan oleh generator sinkron banyak fasa (*polyphase*) yang ada di pusat pembangkit tenaga listrik. Generator sinkron yang dipergunakan ini adalah generator sinkron 3 fasa yang mempunyai rating daya sampai ribuan Mega-Volt-Ampere (MVA). Daya yang dihasilkan ini dipengaruhi oleh besarnya arus eksitasi dan tegangan output pada generator sinkron 3 fasa. Sistem eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator listrik atau sebagai pembangkit medan magnet, sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan

besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasinya. Sistem ini merupakan sistem yang vital pada proses pembangkitan listrik, karena dalam pengoperasian generator di pembangkit, perubahan dan akselerasi pembebanan sangat dipengaruhi oleh perubahan input penggerak dan besarnya pemberian arus eksitasi. Selain itu, besarnya pemberian arus eksitasi pada generator juga berdampak pada kenaikan suhu atau temperatur baik pada sisi stator dan rotor. Kenaikan suhu atau temperatur ini merupakan salah satu indikasi (indikator) penuaan dari generator pada pembangkit listrik itu sendiri.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perumusan masalah ini akan ditekankan pada suatu analisa monitoring arus eksitasi pada operasi pembangkit listrik yang bertujuan untuk melihat kondisi (*lifetime*) dari pembangkit listrik itu sendiri.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menganalisa dan mengkaji arus eksitasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) untuk melihat dimana letak operasi kerjanya (*leading* atau *lagging*), dan
2. Menganalisa hubungan atau korelasi antara perubahan arus eksitasi terhadap perubahan suhu atau temperatur pada sisi stator atau rotor.
- 3.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini antara lain:

1. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini diharapkan bisa dikembangkan di penelitian berikutnya seperti penyempurnaan di bagian analisa arus eksitasi pada operasi generator saat kondisi *leading* di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).
2. Penelitian ini diharapkan bisa digunakan sebagai bahan acuan atau landasan dalam penganalisaan arus eksitasi untuk Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) lainnya.

1.5 Batasan Masalah

Pembahasan penelitian ini dibatasi pada spesifikasi data operasi dari generator di unit 1 sampai 3 pada PT. Indonesia Power UBP Kamojang Unit PLTP Gunung Salak.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahap antara lain sebagai berikut:

1. Tinjauan Pustaka

Untuk memperoleh teori-teori dasar serta teori penunjang yang dibutuhkan dalam pembuatan prototipe dan penulisan skripsi ini, penulis melakukan pencarian dari berbagai sumber baik dari buku-buku, literatur, laporan riset, maupun makalah-makalah yang diberikan oleh dosen pembimbing dan didapat dari perpustakaan, dan internet.

2. Pengambilan Data

Data yang diambil adalah data dari operasi generator pada unit 1 sampai 3 pada PT. Indonesia Power UBP Kamojang Unit PLTP Gunung Salak.

3. Pengolahan dan Analisa Data

Pengolahan dan analisa data dilakukan secara manual.

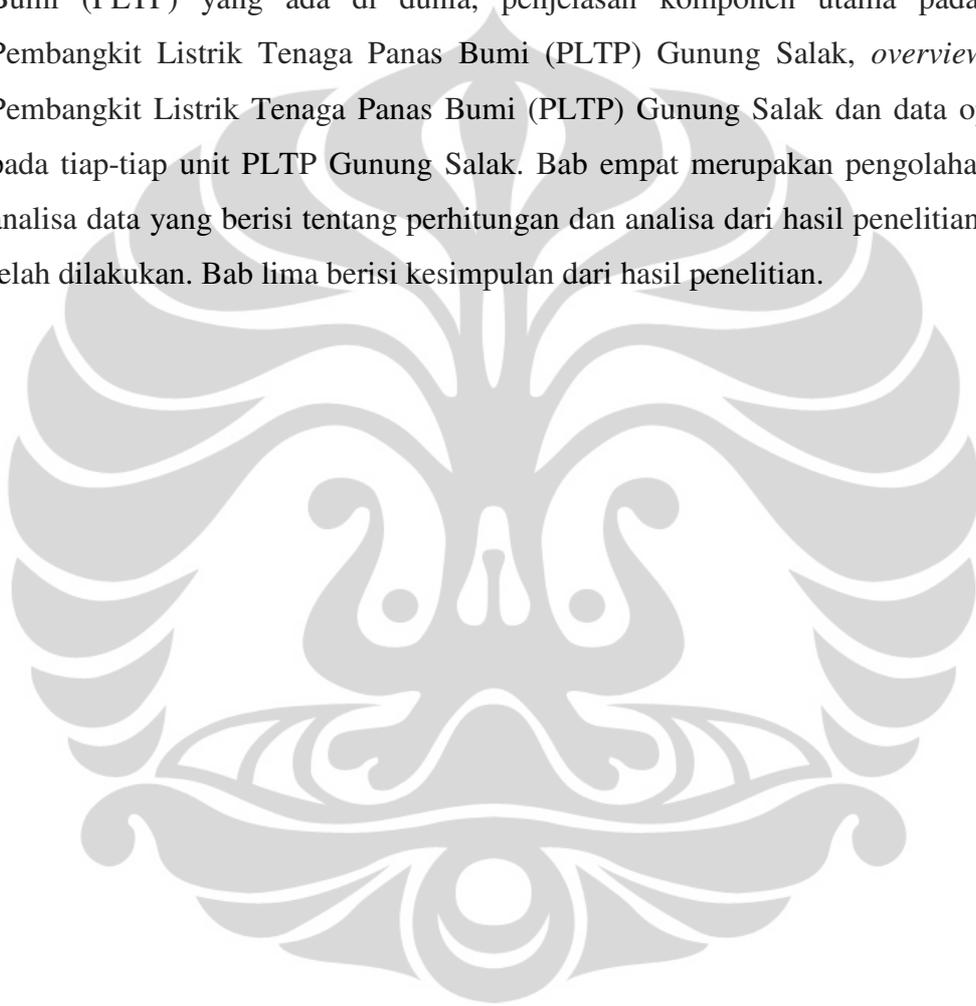
4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat berdasarkan dari hasil perhitungan atau pengolahan data dan analisa data dalam bentuk laporan.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini disusun dalam lima bab. Bab satu merupakan pendahuluan yang berisi tentang latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian, serta sistematika penulisan yang digunakan. Bab dua merupakan tinjauan pustaka yang berisi tentang teori pendukung yang berkaitan dengan penelitian. Teori yang digunakan pada bab ini adalah teori tentang prinsip-

prinsip yang digunakan pada pembangkit energi listrik (induksi elektromagnet, gaya gerak listrik, dan fluks magnetik), komponen utama pada generator sinkron, prinsip kerja generator sinkron beserta dengan cara pengontrolannya, sistem eksitasi (*excitation system*) pada generator dan tipe-tipe daya yang dihasilkan oleh generator. Bab tiga berisi tentang Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) secara umum, jenis-jenis sistem atau teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang ada di dunia, penjelasan komponen utama pada unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak, *overview* unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak dan data operasi pada tiap-tiap unit PLTP Gunung Salak. Bab empat merupakan pengolahan dan analisa data yang berisi tentang perhitungan dan analisa dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Bab lima berisi kesimpulan dari hasil penelitian.



BAB 2

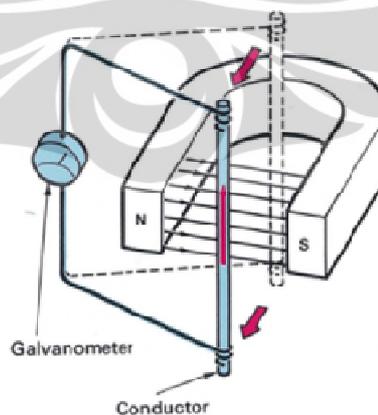
TEORI DASAR

Teori dasar yang melandasi penelitian laporan skripsi ini adalah teori dasar tentang prinsip-prinsip yang digunakan pada pembangkit energi listrik (induksi elektromagnet, gaya gerak listrik dan fluks magnetik), prinsip kerja generator sinkron beserta dengan cara pengontrolannya, sistem eksitasi (*excitation system*) pada generator dan tipe-tipe daya yang dihasilkan oleh generator.

2.1 Prinsip Pembangkit Energi Listrik

2.1.1 Induksi Elektromagnet

Induksi elektromagnet terjadi apabila sebuah penghantar bergerak melintasi garis-garis gaya magnet, maka pada penghantar tersebut akan mengalir arus listrik, apabila dipasang sebuah galvanometer dan penghantar digerakkan maju-mundur diantara kutub utara dan kutub selatan magnet, maka jarum galvanometer akan bergerak. Fenomena ini menyimpulkan bahwa arah gerakan jarum galvanometer akan bervariasi mengikuti arah gerakan penghantar atau magnet dan besarnya gerakan jarum galvanometer akan semakin besar sebanding dengan kecepatan gerakan penghantar. Penghantar dilewatkan melalui garis gaya magnet, maka dalam penghantar akan terbangkit gaya gerak listrik.



Gambar 2.1. Induksi elektromagnet

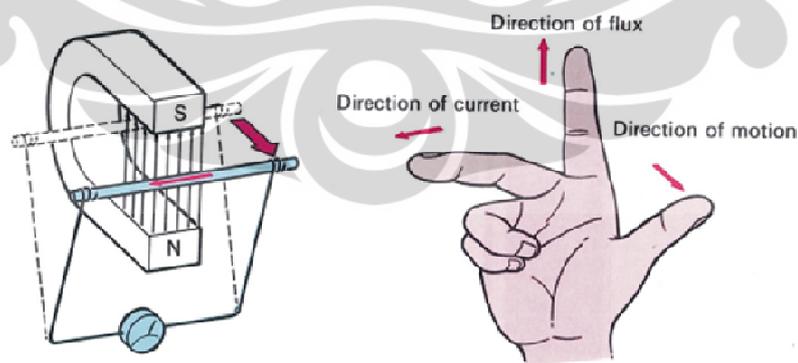
Peristiwa dihasilkannya arus listrik akibat adanya perubahan medan magnetik disebut dengan induksi elektromagnet, sedangkan arus yang dihasilkan dari induksi elektromagnetik dinamakan arus induksi. Penemuan ini dikenal dengan “*Hukum Faraday*”.

Bunyi dari Hukum Faraday:

1. *Jika sebuah penghantar memotong garis-garis gaya dari suatu medan magnetik (flux) yang konstan, maka pada penghantar tersebut akan timbul tegangan induksi.*
2. *Perubahan flux medan magnetik didalam suatu rangkaian bahan penghantar, akan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian tersebut.*

2.1.2 Gaya Gerak Listrik

Arah gaya gerak listrik yang terbangkit di dalam penghantar diantara medan magnet bervariasi mengikuti perubahan arah garis gaya magnet dan gerakan penghantar. Arah garis gaya magnet dapat dipahami dengan menggunakan hukum tangan kanan Fleming (*Fleming's Right-Hand Rule*), dalam kaidah ini digunakan ibu jari, jari telunjuk dan jari tengah tangan kanan dibuka dengan sudut yang tepat satu sama lain. Jari telunjuk akan menunjukkan arah gerakan penghantar dan jari tengah menunjukkan arah gaya gerak listrik.



Gambar 2.2. *Fleming's right-hand rule*

Besarnya gaya gerak listrik yang dibangkitkan pada saat penghantar memotong garis gaya magnet diantara medan magnet sebanding dengan banyaknya garis gaya magnet yang dipotong pada suatu satuan waktu dan gaya gerak listrik dalam satuan volt. Secara matematis dapat dituliskan:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.1)$$

Jika penghantar tersebut merupakan sebuah kumparan dengan N lilitan, maka besar ggl induksi yang terjadi adalah:

$$e = - N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.2)$$

dimana:

N = jumlah lilitan,

$\frac{d\Phi}{dt}$ = laju perubahan fluks magnetik (wb/s)

(-) = tanda negatif berarti sesuai dengan Hukum Lenz, yaitu "*ggl induksi selalu membangkitkan arus yang medan magnetiknya berlawanan dengan sumber perubahan fluks magnetik*".

2.1.3 Fluks Magnetik (Φ)

Fluks Magnetik (Φ) adalah kerapatan garis-garis gaya dalam medan magnet, artinya fluks magnetik yang berada pada permukaan yang lebih luas kerapatannya rendah dan kuat medan magnetik lebih lemah, sedangkan pada permukaan yang lebih sempit kerapatan fluks magnet akan kuat dan kuat medan magnetik lebih tinggi.

Satuan internasional dari besaran fluks magnetik diukur dalam Weber, disingkat Wb dan didefinisikan dengan "*suatu medan magnet serba sama mempunyai fluks magnetik sebesar 1 weber bila sebatang penghantar memotong garis-garis gaya magnetik selama satu detik akan menimbulkan gaya gerak listrik (ggl) sebesar satu volt*".

Persamaan fluks magnetik (Φ) adalah:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \theta \quad (2.3)$$

dimana:

Φ = fluks magnetik (Weber)

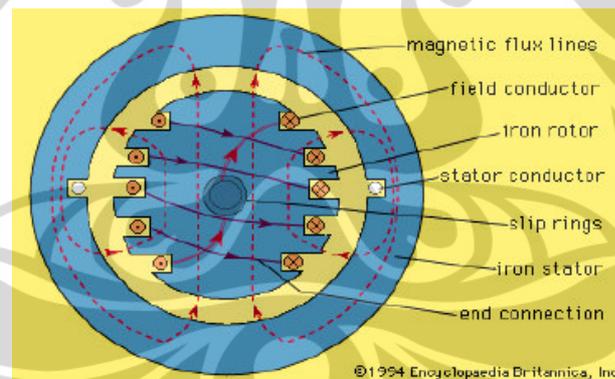
B = medan magnetik (Tesla)

A = luas penampang (m^2)

θ = sudut antara arah medan magnetik (B) dengan arah normal bidang (n)

2.2 Generator Sinkron

Generator sinkron merupakan sumber utama energi yang paling banyak dipakai di pembangkit-pembangkit (*power plant*) maupun di dunia industri dan pertambangan. Mesin ini merupakan konverter energi terbesar di dunia, yang prinsip kerjanya mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.



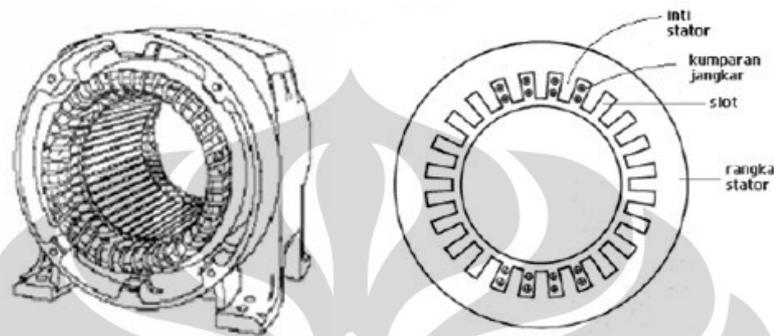
Gambar 2.3. Penampang melintang generator sinkron

Secara umum, konstruksi dari sebuah motor sinkron terdiri dari :

1. Stator adalah bagian dari motor yang diam,
2. Rotor adalah bagian dari motor yang berputar, dan
3. Celah udara adalah ruang antara stator dan rotor.

2.2.1 Stator

Stator merupakan bagian yang diam dan mempunyai alur atau slot memanjang yang didalamnya terdapat belitan yang disebut dengan belitan atau kumparan jangkar (*Armature Winding*).



Gambar 2.4. Penampang stator

Secara umum stator terdiri dari rangka stator (*stator frame*), inti stator (*stator core*), belitan atau kumparan stator (*stator winding*) dan slot.

2.2.1.1 Rangka Stator (*Stator Frame*)

Rangka stator berfungsi sebagai tempat melekatnya kumparan jangkar. Pada rangka stator terdapat lubang pendingin dimana udara dan gas pendingin disirkulasikan. Rangka stator biasanya dibuat dari besi campuran baja atau plat baja giling yang dibentuk sedemikian rupa sehingga diperoleh rangka yang sesuai dengan kebutuhan.

2.2.1.2 Inti Stator (*Stator Core*)

Inti stator melekat pada rangka stator dimana inti ini terbuat dari laminasi-laminasi besi khusus atau campuran baja. Hal ini dilakukan untuk memperkecil rugi arus *Eddy*. Tiap laminasi diberi isolasi dan diantaranya dibentuk celah sebagai tempat aliran udara.

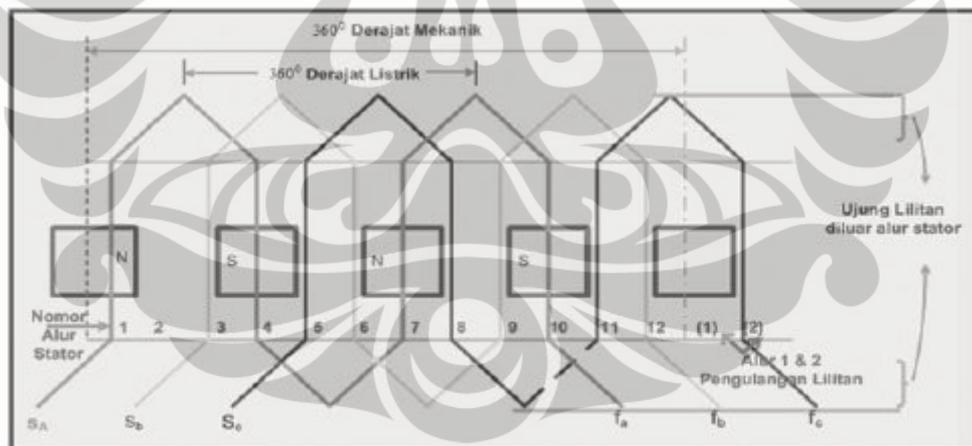
2.2.1.3 Belitan Stator (*Stator Winding*)

Belitan jangkar (stator) yang umum digunakan oleh mesin sinkron tiga fasa, ada dua tipe yaitu:

- **Belitan satu lapis (*Single Layer Winding*)**

Gambar 2.5. memperlihatkan belitan satu lapis karena hanya ada satu sisi lilitan di dalam masing - masing alur. Bila kumparan tiga fasa dimulai pada S_a , S_b , dan S_c dan berakhir di F_a , F_b , dan F_c bisa disatukan dalam dua cara, yaitu hubungan bintang dan segitiga. Antar kumparan fasa dipisahkan sebesar 120 derajat listrik atau 60 derajat mekanik, satu siklus ggl penuh akan dihasilkan bila rotor dengan 4 kutub berputar 180 derajat mekanis. Satu siklus ggl penuh menunjukkan 360 derajat listrik, adapun hubungan antara sudut rotor mekanis α_{mek} dan sudut listrik α_{lis} , adalah:

$$\alpha_{lis} = \frac{P}{2} \alpha_{mek} \quad (2.4)$$



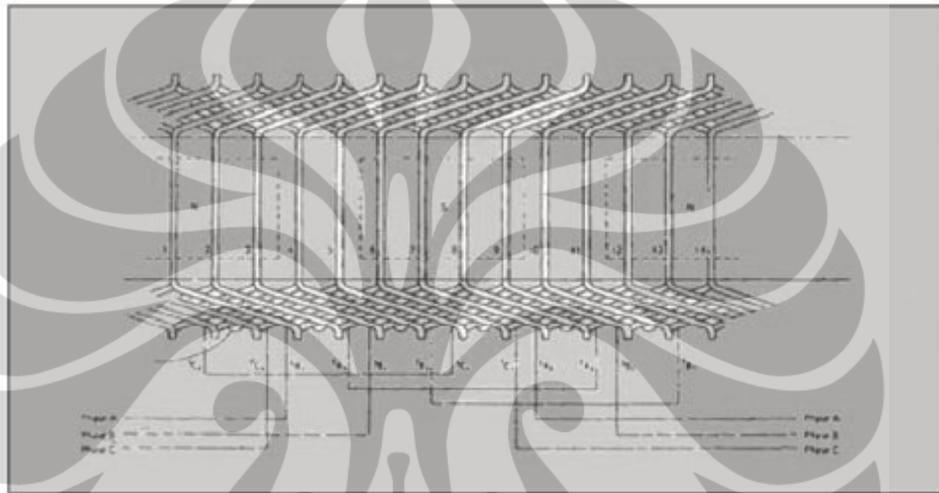
Gambar 2.5. Belitan satu lapis generator sinkron tiga fasa

- **Belitan berlapis ganda (*Double Layer Winding*)**

Kumparan jangkar yang diperlihatkan pada hanya mempunyai satu lilitan per kutub per fasa, akibatnya masing-masing kumparan hanya dua lilitan secara seri. Bila alur-alur tidak terlalu lebar, masing-masing penghantar yang berada dalam alur akan membangkitkan tegangan yang sama. Masing masing tegangan

phasa akan sama untuk menghasilkan tegangan per penghantar dan jumlah total dari penghantar per phasa.

Dalam kenyataannya cara seperti ini tidak menghasilkan cara yang efektif dalam penggunaan inti stator, karena variasi kerapatan fluks dalam inti dan juga melokalisir pengaruh panas dalam daerah alur dan menimbulkan harmonik. Untuk mengatasi masalah ini, generator praktisnya mempunyai kumparan terdistribusi dalam beberapa alur per kutub per phasa.



Gambar 2.6. Belitan berlapis ganda generator sinkron tiga fasa

Gambar 2.6. memperlihatkan bagian dari sebuah kumparan jangkar yang secara umum banyak digunakan. Pada masing masing alur ada dua sisi lilitan dan masing-masing lilitan memiliki lebih dari satu putaran. Bagian dari lilitan yang tidak terletak ke dalam alur biasanya disebut *winding overhang*, sehingga tidak ada tegangan dalam *winding overhang*.

2.2.1.4 Slot

Slot adalah tempat konduktor berada yang letaknya pada bagian dalam sepanjang keliling stator. Bentuk slot ada 3 jenis yaitu slot terbuka, slot setengah terbuka, dan slot tertutup.

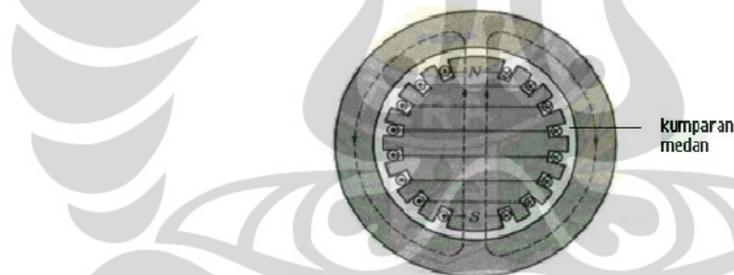
2.2.2 Rotor

Rotor berfungsi sebagai tempat belitan medan (eksitasi) yang membentuk kemagnetan listrik kutub utara selatan (*magnetic field*) pada inti rotor. Belitan medan tersebut dihubungkan dengan sumber eksitasi DC.

Berdasarkan bentuknya ada 2 jenis rotor pada generator sinkron yaitu kutub silinder dan kutub menonjol.

2.2.2.1 Rotor Kutub Silinder (*Non-Salient Pole Rotor*)

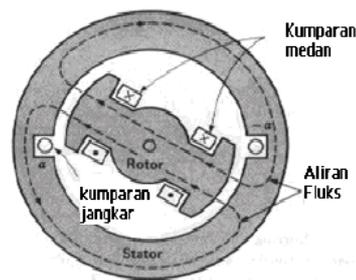
Rotor tipe ini dibuat dari plat baja berbentuk silinder yang mempunyai sejumlah slot sebagai tempat kumparan. Karena adanya slot-slot dan kumparan medan yang terletak pada rotor mengakibatkan jumlah kutub sedikit. Selain itu motor ini memiliki putaran yang tinggi pada frekuensi yang konstan. Tipe rotor biasanya berdiameter kecil dan sumbunya sangat panjang. Konstruksinya memberikan keseimbangan mekanis yang lebih baik karena rugi-rugi anginnya lebih kecil dibandingkan rotor kutub menonjol.



Gambar 2.7. Penampang rotor kutub silinder (*non-salient pole rotor*)

2.2.2.2 Rotor Kutub Menonjol (*Salient Pole Rotor*)

Rotor tipe ini mempunyai kutub yang jumlahnya banyak dan putarannya rendah. Kutub menonjol ditandai dengan rotor berdiameter besar dan panjang sumbunya pendek. Kumparan dibelitkan pada tangkai kutub, dimana kutub-kutub diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus *Eddy*.



Gambar 2.8. Penampang rotor kutub menonjol (*salient pole rotor*)

2.3 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Jika kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak di antara kutub magnet utara dan selatan diputar oleh *prime mover*, maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet atau fluks yang bersifat bolak-balik atau fluks putar. Fluks putar ini akan memotong-motong kumparan stator sehingga pada ujung-ujung kumparan stator timbul gaya gerak listrik karena pengaruh induksi dari fluks putar tersebut. Gaya gerak listrik (ggl) yang timbul pada kumparan stator juga bersifat bolak-balik, atau berputar dengan kecepatan sinkron terhadap kecepatan putar rotor.

Frekuensi listrik yang dihasilkan generator sinkron adalah sinkron dengan kecepatan putar generator. Rotor generator sinkron terdiri atas rangkaian elektromagnet dengan suplai arus DC. Medan magnet rotor bergerak pada arah putaran rotor. Hubungan antara kecepatan putar medan magnet pada mesin dengan frekuensi elektrik pada stator adalah:

$$f = \frac{n}{60} \times \frac{p}{2} \quad (2.5)$$

$$f = \frac{nP}{60} \quad (2.6)$$

dimana:

f = frekuensi listrik (Hz)

n = kecepatan putar rotor (rpm)

p = jumlah kutub magnet

$P = \frac{p}{2}$ = jumlah pasang kutub

Oleh karena rotor berputar pada kecepatan yang sama dengan medan magnet, persamaan diatas juga menunjukkan hubungan antara kecepatan putar rotor dengan frekuensi listrik yang dihasilkan. Agar daya listrik dibangkitkan tetap pada frekuensi 50Hz atau 60 Hz, maka generator harus berputar pada kecepatan tetap dengan jumlah kutub mesin yang telah ditentukan. Sebagai contoh untuk membangkitkan 60 Hz pada mesin dua kutub, rotor harus berputar dengan kecepatan 3600 rpm. Untuk membangkitkan daya 50 Hz pada mesin empat kutub, rotor harus berputar pada 1500 rpm.

2.3.1 Generator Sinkron Tanpa Beban

Dengan memutar generator sinkron diputar pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan (I_f), maka tegangan (E_o) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator. Bentuk hubungannya diperlihatkan pada persamaan berikut.

$$E_o = c. n. \Phi \quad (2.7)$$

dimana :

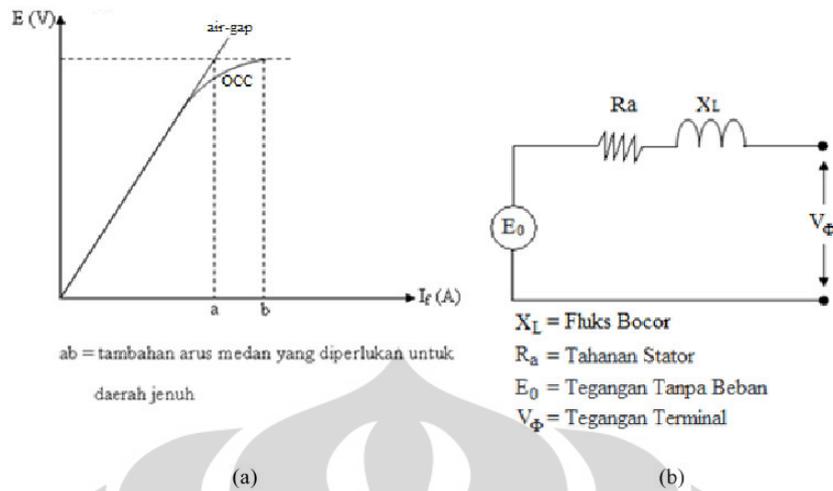
c = konstanta mesin

n = putaran sinkron

Φ = fluks yang dihasilkan oleh I_f

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, karenanya tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan (I_f). Apabila arus medan (I_f) diubah-ubah harganya, akan diperoleh harga E_o seperti yang terlihat pada kurva sebagai berikut.

Bila besarnya arus medan dinaikkan, maka tegangan output juga akan naik sampai titik saturasi (jenuh) seperti diperlihatkan pada gambar 2.9. berikut:



Gambar 2.9. (a). Kurva karakteristik generator sinkron tanpa beban
 (b). Rangkaian ekivalen generator sinkron tanpa beban

Persamaan umum generator adalah :

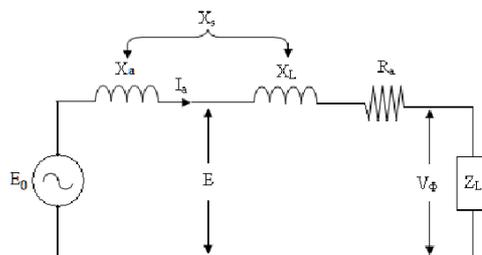
$$E_0 = V_\phi + I_a (R_a + jX_s) \tag{2.8}$$

2.3.2 Generator Sinkron Berbeban

Bila generator diberi beban yang berubah-ubah maka besarnya tegangan terminal V_t akan berubah-ubah pula. Hal ini disebabkan adanya :

1. Jatuh tegangan karena resistansi jangkar (R_a)
2. Jatuh tegangan karena reaktansi bocor jangkar (X_L)
3. Jatuh tegangan karena reaksi jangkar

Gambar rangkaian dan karakteristik generator sinkron berbeban diperlihatkan pada gambar 2.10. berikut ini.



Gambar 2.10. Rangkaian generator sinkron berbeban

Persamaan tegangan pada generator berbeban adalah:

$$E_a = V_\phi + I_a R_a + j I_a X_s \quad (2.9)$$

$$X_s = X_L + X_a \quad (2.10)$$

dimana:

E_a = tegangan induksi pada jangkar per fasa (Volt)

V_ϕ = tegangan terminal output per fasa (Volt)

R_a = resistansi jangkar per fasa (ohm)

X_s = reaktansi sinkron per fasa (ohm)

X_L = reaktansi bocor per fasa (ohm)

X_a = reaktansi reaksi jangkar per fasa (ohm)

2.3.2.1 Resistansi Jangkar

Resistansi jangkar per fasa R_a yang dialiri oleh arus jangkar I_a menyebabkan terjadinya tegangan jatuh per fasa $I_a R_a$ yang sefasa dengan arus jangkar I_a . Akan tetapi, pada praktiknya jatuh tegangan ini diabaikan karena sangat kecil.

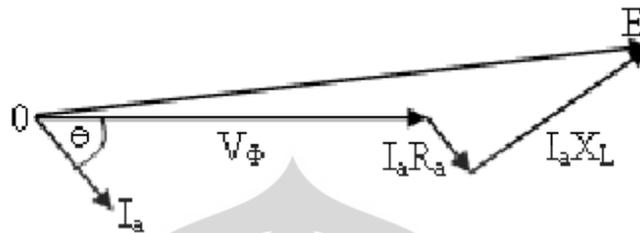
2.3.2.2 Reaktansi Bocor Jangkar

Saat arus mengalir melalui penghantar jangkar, sebagian fluks yang terjadi tidak memotong *air-gap*, melainkan mengambil jalur yang lain dan menghubungkan sisi-sisi kumparan. Fluks-fluks tersebut dinamakan fluks bocor (*leakage fluxes*). Fluks bocor tersebut bergerak dengan arus jangkar dan memberikan induktansi diri (*self-inductance*) belitan yang disebut dengan reaktansi bocor jangkar (X_L). Oleh karena itu, fluks bocor ini akan menimbulkan jatuh tegangan akibat reaktansi bocor (X_L) yang sama dengan $I_a X_L$. Dimana, jatuh tegangan ini juga dapat mengurangi tegangan terminal (V_ϕ). Jadi, akan diperoleh persamaan :

$$E = V_\phi + I_a (R_a + jX_L) \quad (2.11)$$

$$V_\phi = E - I_a (R_a + jX_L) \quad (2.12)$$

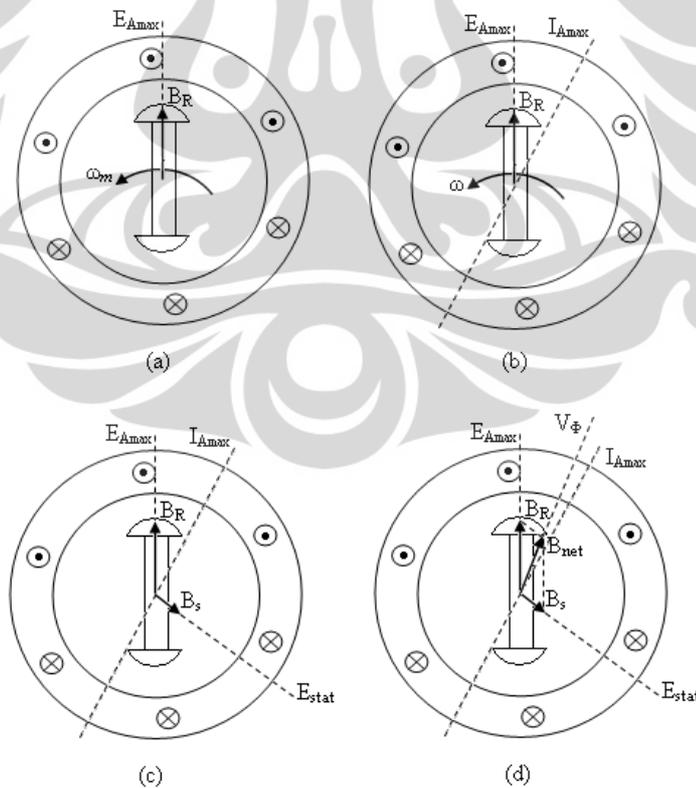
Gambar 2.11. berikut akan memperlihatkan diagram fasor dari pengaruh reaktansi bocor jangkar (X_L) terhadap tegangan terminal (V_ϕ).



Gambar 2.11. Diagram fasor pengaruh X_L terhadap V_ϕ (beban induktif)

2.3.2.3 Reaksi Jangkar

Seperti pada generator dc, reaksi jangkar adalah pengaruh dari fluksi jangkar pada fluksi medan utama. Dalam kasus alternator, faktor daya dari beban memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap reaksi jangkar. Gambar 2.12. berikut akan memperlihatkan model reaksi jangkar pada generator sinkron.



Gambar 2.12. Model reaksi jangkar generator sinkron

Dimana :

- Gambar 2.12. (a). menunjukkan suatu medan magnet yang berputar menghasilkan tegangan induksi E_A tidak timbul arus jangkar karena tidak ada beban yang terhubung dan $E_A = V_\phi$
- Gambar 2.12. (b). memperlihatkan ketika beban induktif (*lagging*) dihubungkan pada terminal jangkar, arus jangkar (I_A) mengalir.
- Gambar 2.12. (c). arus jangkar menghasilkan medan magnet B_s yang kemudian menghasilkan tegangan E_{stat} pada belitan stator.
- Gambar 2.12. (d). medan magnet stator B_s menambah B_R menjadi B_{net} . Tegangan E_{stat} menambah E_A menghasilkan V_ϕ pada terminal outputnya.

2.4 Pengontrolan Generator

AVR (Automatic Voltage Generator) fungsinya untuk menjaga tegangan yang dihasilkan generator tetap konstan. Tegangan yang diatur adalah ketika tegangan pada beban nol sampai tegangan pada beban penuh dimana untuk menjaga eksitasi dan putarannya tetap. Pengaturan dilakukan dengan cara membandingkan tegangan dari generator dan tegangan dari sistem.

Voltage regulator memvariasikan tahanan pada *field winding circuit* untuk mempertahankan agar *terminal voltage* konstan secara otomatis. Bila beban dihubungkan dengan generator, maka akan terjadi penurunan tegangan. Hasilnya, tegangan *output* generator akan jatuh.

Field output terminal merupakan *connection point* untuk *exciter field*. *Regulator power stage* harus dapat memasok tegangan yang cukup ke *field*. *Power stage* harus mempunyai *current rating* yang cukup untuk *field resistance* pada *exciter*.

AVR (Automatic Voltage Generator) terdiri dari 3 bagian utama, yaitu:

1. Komponen untuk memonitor tegangan *output* dari generator.
2. Komponen untuk menentukan tegangan *set point*.
3. Komponen untuk membandingkan tegangan *output* generator dan *set point* sehingga menghasilkan *error signal*.

Tiga keadaan *AVR (Automatic Voltage Generator)*, yaitu:

1. Jika tegangan *output* tinggi maka *error signal* akan (+) sehingga *AVR* akan memberikan perintah untuk mengurangi arus eksitasi.
2. Jika tegangan cocok dengan harga *set point* (0) maka *AVR* tidak akan memberikan perintah apapun.
3. Jika tegangan *output* rendah maka *error signal* akan (-) sehingga *AVR* akan memberikan perintah agar menambahkan arus eksitasi.

2.5 Sistem Eksitasi (*Excitation System*) pada Generator

Sistem eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator listrik atau sebagai pembangkit medan magnet, sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasinya.

Sistem ini merupakan sistem yang vital pada proses pembangkitan listrik dan pada perkembangannya, sistem eksitasi pada generator listrik ini dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu:

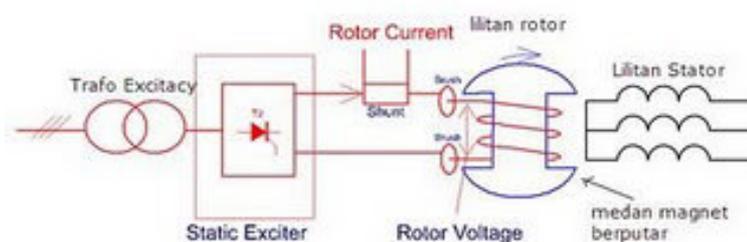
- Sistem Eksitasi dengan menggunakan sikat (*brush excitation*) dan
- Sistem Eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*).

2.5.1 Sistem Eksitasi dengan Sikat (*Brush Excitation*)

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 yang berasal dari generator AC atau menggunakan *PMG (Permanent Magnet Generator)*, medan magnetnya adalah magnet *permanent*. Dalam lemari penyearah, tegangan listrik arus bolak balik 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, demikian juga penyaluran arus yang berasal dari *pilot exciter* ke *main exciter*.



Gambar 2.13. Sistem eksitasi dengan sikat (*brush excitation*)

2.5.1.1 Prinsip Kerja pada Sistem Eksitasi dengan Sikat (*Brush Excitation*)

Generator penguat yang pertama, adalah generator arus searah hubungan *shunt* yang menghasilkan arus penguat bagi generator penguat kedua. Generator penguat (*exciter*) untuk generator sinkron merupakan generator utama yang diambil dayanya.

Pengaturan tegangan pada generator utama dilakukan dengan mengatur besarnya arus eksitasi (arus penguatan) dengan cara mengatur potensiometer atau tahanan asut. Potensiometer atau tahanan asut mengatur arus penguat generator pertama dan generator penguat kedua menghasilkan arus penguat generator utama. Dengan cara ini arus penguat yang diatur tidak terlalu besar nilainya (dibandingkan dengan arus generator penguat kedua) sehingga kerugian daya pada potensiometer tidak terlalu besar. *PMT* arus penguat generator utama dilengkapi tahanan yang menampung energi medan magnet generator utama karena jika dilakukan pemutusan arus penguat generator utama harus dibuang ke dalam tahanan.

Sekarang ini sudah banyak generator arus bolak-balik yang dilengkapi dengan penyearah. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan arus searah yang dapat digunakan bagi penguatan generator utama, sehingga penyaluran arus searah bagi penguatan generator utama oleh generator penguat kedua tidak memerlukan cincin geser karena penyearah ikut berputar bersama poros generator. Cincin geser digunakan untuk menyalurkan arus dari generator penguat pertama ke medan penguat generator penguat kedua. Nilai arus penguatan kecil sehingga penggunaan cincin geser tidak menimbulkan masalah.

Pengaturan besarnya arus penguatan generator utama dilakukan dengan pengatur tegangan otomatis supaya nilai tegangan klem generator konstan.

Pengaturan tegangan otomatis pada awalnya berdasarkan prinsip mekanis, tetapi sekarang sudah menjadi elektronik.

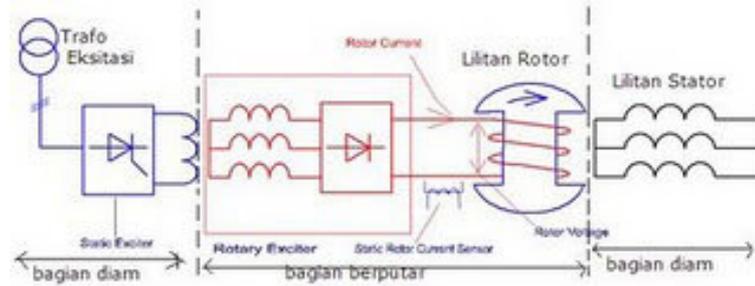
Perkembangan sistem eksitasi pada generator sinkron dengan sistem eksitasi tanpa sikat lebih banyak digunakan pada pembangkit-pembangkit listrik di Indonesia, karena jika menggunakan sikat dapat menimbulkan loncatan api pada putaran tinggi. Untuk menghilangkan sikat maka digunakan diode berputar yang dipasang pada jangkar. Berikut penjelasan beserta gambar (gambar 2.14.) sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat.

2.5.2 Sistem Eksitasi tanpa Sikat (*Brushless Excitation*)

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*).

Keuntungan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (*brushless excitation*), antara lain adalah:

- Energi yang diperlukan untuk eksitasi diperoleh dari poros utama (*main shaft*), sehingga keandalannya tinggi.
- Biaya perawatan berkurang karena pada sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*) tidak terdapat sikat, komutator dan *slip ring*.
- Pada sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*) tidak terjadi kerusakan isolasi karena melekatnya debu karbon pada *farnish* akibat sikat arang.
- Mengurangi kerusakan (*trouble*) akibat udara buruk (*bad atmosfere*) sebab semua peralatan ditempatkan pada ruang tertutup.
- Selama operasi tidak diperlukan pengganti sikat, sehingga meningkatkan keandalan operasi yang dapat berlangsung terus pada waktu yang lama.
- Pemutus medan generator (*generator field breaker*), *field generator* dan *bus exciter* atau kabel tidak diperlukan lagi.
- Biaya pondasi berkurang, sebab saluran udara dan *bus exciter* atau kabel tidak memerlukan pondasi.



Gambar 2.14. Sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*)

Keterangan gambar:

- ME : *Main Exciter*
- MG : *Main Generator*
- PE : *Pilot Exciter*
- AVR : *Automatic Voltage Regulator*
- V : Tegangan Generator
- AC : *Alternating Current* (arus bolak balik)
- DC : *Direct Current* (arus searah)

2.5.2.1 Prinsip Kerja pada Sistem Eksitasi tanpa Sikat (*Brushless Excitation*)

Generator penguat pertama disebut *pilot exciter* dan generator penguat kedua disebut *main exciter* (penguat utama). *Main exciter* adalah generator arus bolak-balik dengan kutub pada statornya. Rotor menghasilkan arus bolak-balik yang kemudian disearahkan dengan diode yang berputar pada poros *main exciter* (satu poros dengan generator utama). Arus searah yang dihasilkan oleh diode berputar menjadi arus penguat generator utama. *Pilot exciter* pada generator arus bolak-balik dengan rotor berupa kutub magnet permanen yang berputar menginduksi pada lilitan stator. Tegangan bolak-balik disearahkan oleh penyearah diode dan menghasilkan arus searah yang dialirkan ke kutub-kutub magnet yang ada pada stator *main exciter*. Besar arus searah yang mengalir ke kutub *main exciter* diatur oleh pengatur tegangan otomatis (*Automatic Voltage Regulator* atau *AVR*).

Besarnya arus tersebut berpengaruh pada besarnya arus yang dihasilkan *main exciter*, maka besarnya arus *main exciter* juga mempengaruhi besarnya tegangan yang dihasilkan oleh generator utama.

Pada sistem eksitasi tanpa sikat, permasalahan timbul jika terjadi hubung singkat atau gangguan hubung tanah di rotor. Selain itu permasalahan lainnya yang timbul adalah jika ada sekering lebur dari diode berputar yang putus, hal ini harus dapat dideteksi. Gangguan pada rotor yang berputar dapat menimbulkan distorsi medan magnet pada generator utama dan dapat menimbulkan vibrasi (getaran) berlebihan pada unit pembangkit.

2.6 Daya Aktif (P), Reaktif (Q) dan Semu (S)

2.6.1 Pengertian Daya

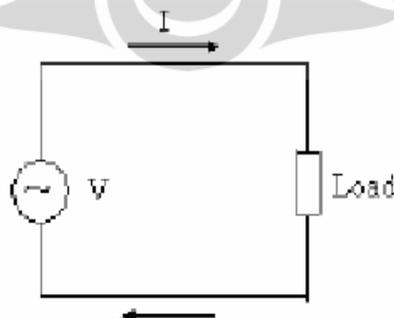
Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau *Horsepower* (HP), *Horsepower* merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP setara 746 Watt atau *lbf/second*. Sedangkan Watt merupakan unit daya listrik dimana 1 Watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 Ampere dan tegangan 1 Volt.

Daya dinyatakan dalam P, Tegangan dinyatakan dalam V dan Arus dinyatakan dalam I, sehingga besarnya daya dinyatakan:

$$P = V \times I \quad (2.13)$$

$$P = \text{Volt} \times \text{Ampere} \times \text{Cos } \phi$$

$$P = \text{Watt}$$



Gambar 2.15. Arah aliran arus listrik

2.6.2 Daya Aktif

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Misalnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain - lain.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.14)$$

$$P = 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja.

2.6.3 Daya Reaktif

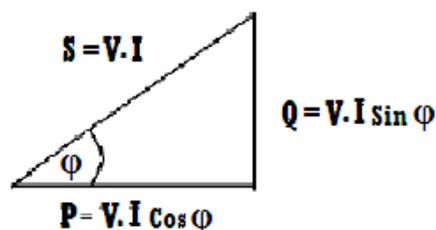
Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain -lain. Satuan daya reaktif adalah VAR.

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.15)$$

$$Q = 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi$$

2.6.4 Daya Semu

Daya semu (*Apparent Power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Satuan daya nyata adalah VA (Volt Amprere).



Gambar 2.16. Penjumlahan trigonometri daya aktif (P), reaktif (Q) dan semu (S)

$$S = P + jQ, \text{ mempunyai nilai atau besar dan sudut} \quad (2.16)$$

$$S = S \angle \varphi \quad (2.17)$$

$$S = \sqrt{P^2 + \sqrt{Q^2}} \angle \varphi \quad (2.18)$$

Dari gambar 2.14. terlihat bahwa:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ (Persamaan 2.13)}$$

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ (Persamaan 2.14)}$$

maka:

$$S_{1\varphi} = V \cdot I \cdot \cos \varphi + j V \cdot I \cdot \sin \varphi$$

$$S_{1\varphi} = V \cdot I \cdot (\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

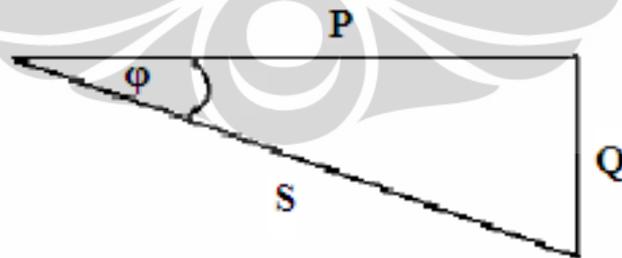
$$S_{1\varphi} = V \cdot I \cdot e^{j\varphi}$$

$$S_{1\varphi} = V \cdot I \angle \varphi$$

$$S_{1\varphi} = V \cdot I^* \quad (2.19)$$

2.6.5. Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe-tipe daya yang berbeda (*Apparent Power*, *Active Power* dan *Reactive Power*) berdasarkan prinsip trigonometri.



Gambar 2.17. Diagram faktor daya ($\cos \varphi$)

Pada gambar 2.17 berlaku hubungan :

$$S = \sqrt{P^2 + \sqrt{Q^2} \angle \varphi}$$

$$P = S / \text{Cos } \varphi \quad (2.20)$$

$$Q = S / \text{Sin } \varphi \quad (2.21)$$

2.6.6 Faktor Daya

Faktor daya ($\text{Cos } \varphi$) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya nyata (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\text{cos } \varphi$.

$$\begin{aligned} \text{Faktor Daya} &= \text{Daya Aktif (P)} / \text{Daya Semu (S)} \\ &= \text{kW} / \text{kVA} \\ &= V \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi / V \cdot I \\ &= \text{Cos } \varphi \end{aligned} \quad (2.22)$$

Faktor daya mempunyai nilai range antara 0 –1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen. Faktor daya yang bagus apabila bernilai mendekati satu.

$$\text{Tan } \varphi = \text{Daya Reaktif (Q)} / \text{Daya Aktif (P)} = \text{kVAR} / \text{kW} \quad (2.23)$$

karena komponen daya aktif umumnya konstan (komponen kVA dan kVAR berubah sesuai dengan faktor daya), maka dapat ditulis seperti berikut:

$$\text{Daya Reaktif (Q)} = \text{Daya Aktif (P)} \times \text{Tan } \varphi \quad (2.24)$$

sebuah contoh, rating kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya sebagai berikut:

$$\text{Daya Reaktif pada } pf \text{ awal} = \text{Daya Aktif (P)} \times \text{Tan } \varphi_1 \quad (2.25)$$

$$\text{Daya Reaktif pada } pf \text{ diperbaiki} = \text{Daya Aktif (P)} \times \text{Tan } \varphi_2 \quad (2.26)$$

sehingga rating kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya adalah:

$$\text{Daya Reaktif (kVAR)} = \text{Daya Aktif (kW)} \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (2.27)$$

Beberapa keuntungan meningkatkan faktor daya:

- Tagihan listrik akan menjadi kecil (PLN akan memberikan denda jika pf lebih kecil dari 0,85),
- Kapasitas distribusi sistem tenaga listrik akan meningkat,
- Mengurangi rugi – rugi daya pada sistem dan
- Adanya peningkatan tegangan karena daya meningkat.

Jika pf lebih kecil dari 0,85 maka kapasitas daya aktif (kW) yang digunakan akan berkurang. Kapasitas itu akan terus menurun seiring dengan menurunnya pf sistem kelistrikan. Akibat menurunnya pf maka akan timbul beberapa persoalan diantaranya:

- Membesarnya penggunaan daya listrik kWh karena rugi – rugi,
- Membesarnya penggunaan daya listrik kVAR dan
- Mutu listrik menjadi rendah karena jatuh tegangan (*voltage drops*).

Beberapa strategi untuk koreksi faktor daya adalah:

- Meminimalkan operasi dari beban motor yang ringan atau tidak bekerja,
- Menghindari operasi dari peralatan listrik diatas tegangan rata – ratanya,
- Mengganti motor – motor yang sudah tua dengan energi efisien motor. Meskipun dengan energi efisien motor, bagaimanapun faktor daya dipengaruhi oleh beban yang variasi. Motor ini harus dioperasikan sesuai dengan kapasitas rata –ratanya untuk memperoleh faktor daya tinggi dan
- Memasang kapasitor pada jaringan AC untuk menurunkan medan dari daya reaktif.

Selain itu, pemasangan kapasitor dapat menghindari:

- Trafo kelebihan beban (*overload*), sehingga memberikan tambahan daya yang tersedia,
- *Voltage drops* pada *line ends* dan
- Kenaikan arus atau suhu pada kabel, sehingga mengurangi rugi – rugi.

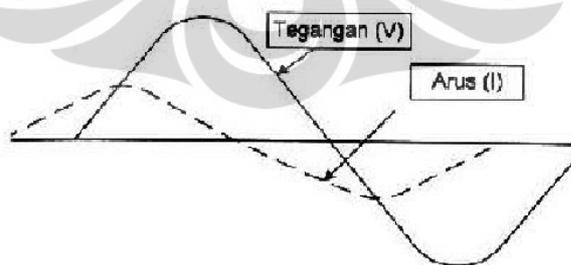
Untuk pemasangan *Capasitor Bank* diperlukan:

- Kapasitor, dengan jenis yang cocok dengan kondisi jaringan,
- Regulator, dengan pengaturan daya tumpuk kapasitor (*Capasitor Bank*) otomatis,
- Kontaktor, untuk *switching* kapasitor dan
- Pemutus tenaga, untuk proteksi tumpuk kapasitor.

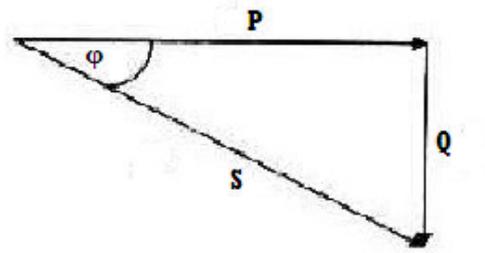
Faktor daya terdiri dari dua sifat yaitu faktor daya “*leading*” dan faktor daya “*lagging*”. Faktor daya ini memiliki karakteristik seperti berikut:

2.6.6.1 Faktor Daya “*Leading*”

Apabila arus mendahului tegangan, maka faktor daya ini dikatakan “*leading*”. Faktor daya *leading* ini terjadi apabila bebannya kapasitif, seperti *capacitor*, *synchronocus generators*, *synchronocus motors* dan *synchronocus condensor*.



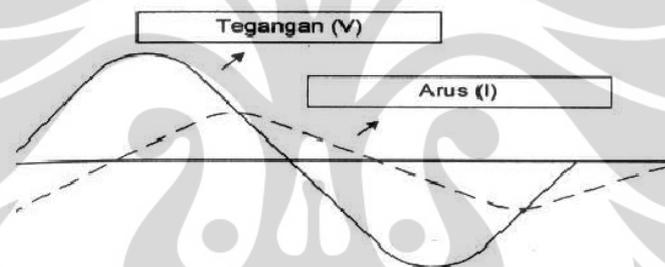
Gambar 2.18. Faktor daya *leading*



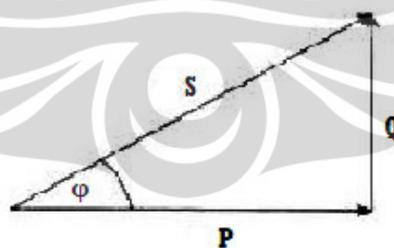
Gambar 2.19. Segitiga daya untuk beban kapasitif

2.6.6.2 Faktor Daya “Lagging”

Apabila tegangan mendahului arus, maka faktor daya ini dikatakan “lagging”. Faktor daya lagging ini terjadi apabila bebannya induktif, seperti motor induksi, AC dan transformator.



Gambar 2.20. Faktor daya lagging



Gambar 2.21. Segitiga daya untuk beban induktif

BAB III

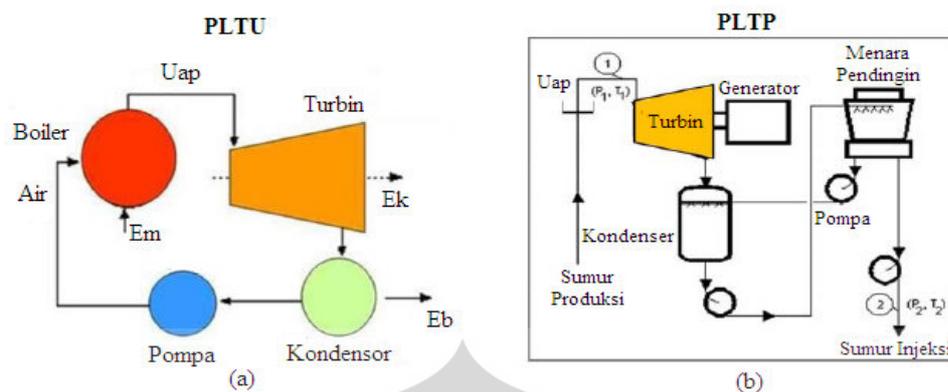
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI (PLTP) DAN DATA OPERASI UNIT PLTP GUNUNG SALAK

Pada bab ini membahas mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) secara umum, jenis-jenis sistem atau teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang ada di dunia, penjelasan komponen utama pada unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak, *overview* unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak, proses kerja pembangkitan PLTP dan data operasi pada tiap-tiap unit PLTP Gunung Salak.

3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Fluida panas bumi yang telah dikeluarkan ke permukaan bumi mengandung energi panas yang akan dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Hal ini dimungkinkan oleh suatu sistem konversi energi fluida panas bumi (*geothermal power cycle*) yang mengubah energi panas dari fluida menjadi energi listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) pada prinsipnya sama seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), hanya pada PLTU uap dibuat di permukaan menggunakan boiler, sedangkan pada PLTP uap berasal dari *reservoir* panas bumi. Apabila fluida di kepala sumur berupa fasa uap, maka uap tersebut dapat dialirkan langsung ke turbin, dan kemudian turbin akan mengubah energi panas bumi menjadi energi gerak yang akan memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik. Apabila fluida panas bumi keluar dari kepala sumur sebagai campuran fluida dua fasa (fasa uap dan fasa cair) maka terlebih dahulu dilakukan proses pemisahan pada fluida. Hal ini dimungkinkan dengan melewatkan fluida ke dalam separator, sehingga fasa uap akan terpisahkan dari fasa cairnya. Fraksi uap yang dihasilkan dari separator inilah yang kemudian dialirkan ke turbin.



Gambar 3.1 (a). Skema Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan
(b). Skema Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

3.2 Jenis-jenis Sistem atau Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

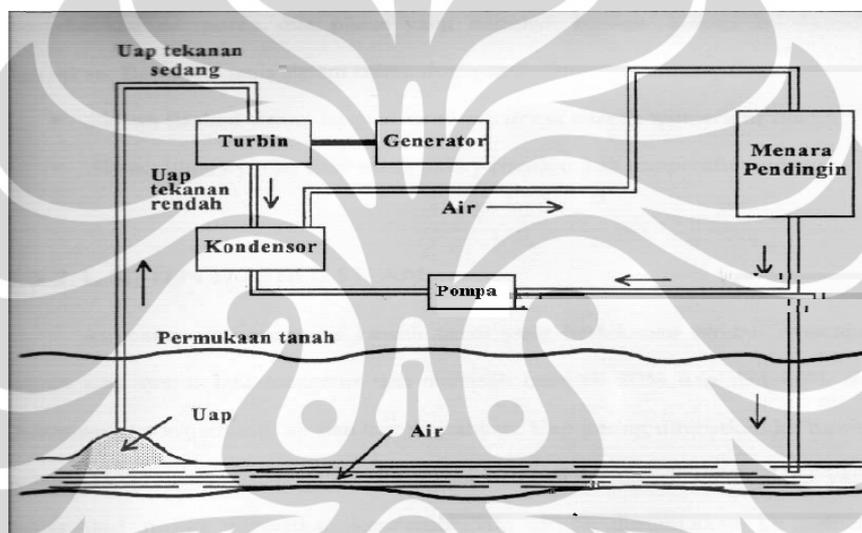
Banyak sistem pembangkitan listrik dari fluida panas bumi yang telah diterapkan di lapangan. Tetapi secara umum ada tiga macam sistem atau teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang biasa digunakan yaitu *dry steam*, *flash steam*, dan *binary cycle*. Selain ketiga macam teknologi yang telah disebutkan, terdapat pula satu metode yang dapat juga dijadikan sebagai sistem atau teknologi pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), yaitu metode dengan menggunakan batuan panas. Untuk lebih jelasnya akan dibahas secara lengkap dibawah ini.

3.2.1 Sistem Uap Kering (*Dry Steam System*)

Prinsip atau cara kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) sistem *dry steam* adalah dengan mengambil sumber uap panas dari bawah permukaan. Sistem ini dipakai jika fluida yang dikeluarkan melalui sumur produksi berupa fasa uap. Uap tersebut akan langsung dimanfaatkan untuk memutar turbin dan kemudian turbin akan mengubah energi panas bumi menjadi energi gerak yang akan memutar generator untuk menghasilkan energi listrik.

Berikut adalah syarat-syarat yang harus dimiliki pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) dengan sistem *dry steam*, yaitu:

1. Mempunyai suhu yang relatif tinggi ($> 230\text{ }^{\circ}\text{C}$),
2. Memiliki tekanan uap yang cukup besar ($> 3,5\text{ atm}$),
3. Memiliki volume uap yang cukup banyak (10 ton/jam atau setara 1000 kW),
4. Letaknya tidak terlalu dalam dari permukaan bumi (maksimum 2500 meter), dan
5. Fluidanya tidak bersifat korosif.



Gambar 3.2 Skema PLTP dengan sistem uap kering (*dry steam system*)

3.2.2 Sistem Uap Basah (*Flash Steam System*)

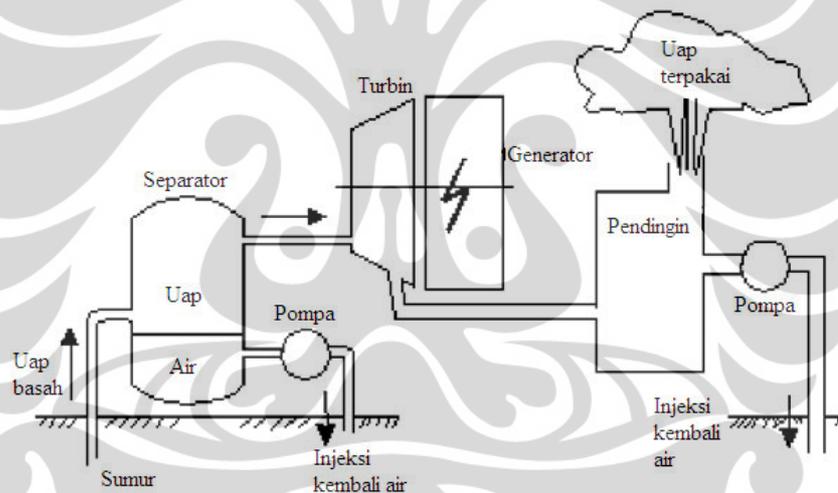
Keadaan yang ideal, mudah dan menguntungkan untuk memanfaatkan sumber daya panas bumi adalah bila energi yang keluar dari perut bumi itu langsung berbentuk uap kering. Jenis uap yang demikian jarang ditemukan. Biasanya uap itu akan berupa uap basah, yang mengandung sejumlah air, dimana uap basah tersebut harus dipisahkan terlebih dahulu sebelum uap tersebut dapat dipakai dalam turbin.

Yang terbanyak didapat adalah air panas bertekanan, yang setelah mencapai permukaan, akan mencetus dan memisah menjadi kira-kira 20% uap dan 80% air. Dalam separator atau pemisah, air dan uap dipisahkan. Air

diinjeksikan kembali ke dalam tanah, untuk menjaga sebanyak mungkin keseimbangan jumlah air yang tersedia dalam tanah. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.

Mula-mula uap diambil dari separator dan dibawa ke turbin, setelah uap yang dipakai diteruskan ke pendingin. Air yang terjadi pada pendingin kembali dipompa ke dalam tanah, sedangkan sisa uap dibuang di udara. Sering juga terjadi, bahwa air yang didapat dalam pengusahaan panas bumi mengandung berbagai mineral yang berharga, sehingga menguntungkan untuk mengeluarkannya dari air itu.

Kiranya jelas, bahwa jika yang didapat bukannya uap basah melainkan uap kering, separator tidak diperlukan lagi dan uap dapat langsung dibawa ke turbin. Untuk menjaga kelangsungan hidup turbin, pada umumnya uap masih dibersihkan terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam turbin.



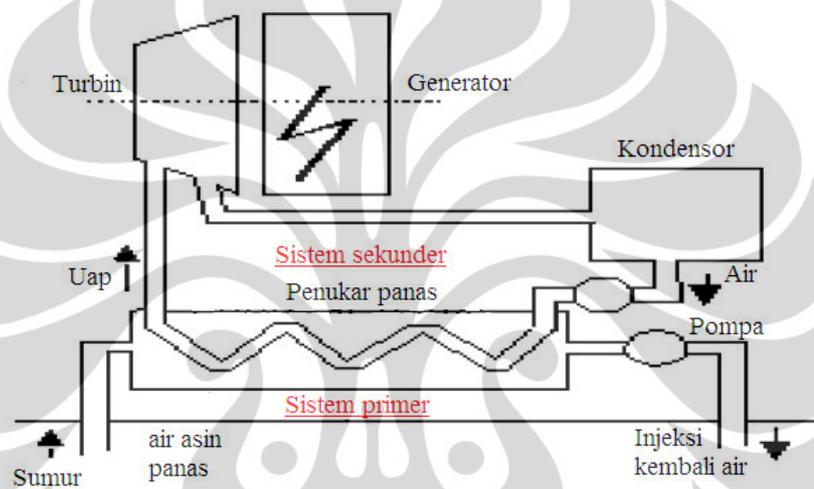
Gambar 3.3. Skema PLTP dengan sistem uap basah (*flash steam system*)

3.2.3 Sistem Air Panas (*Binary Cycle System*)

Dari perut bumi sering didapatkan air panas, atau lebih tepat air asin panas (*brine*) yang suhunya tidak seberapa tinggi, dan mengandung banyak mineral. Persoalannya adalah jika air ini dicetus (*flushed*) secara biasa bila mencapai permukaan bumi, maka campuran mineral, yang ikut arus naik ke atas, akan menempel pada dinding pipa-pipa, sehingga lambat laun garis tengah pipa akan mengecil, bahkan dapat membuntu. Untuk mencegah air panas itu mencetus,

dipergunakan apa yang namanya sistem biner (*binary system*) yang terlihat pada Gambar 3.4.

Air panas dibawa ke suatu penukar panas (*heat exchanger*) untuk kemudian diinjeksi kembali ke dalam tanah. Siklus pertama ini dinamakan sistem primer. Melalui penukar panas energi yang terkandung dalam air panas dipindahkan ke sirkuit kedua, yang diisi dengan air. Air dalam rangkaian kedua ini setelah meninggalkan penukar panas akan menjadi uap, yang kemudian dimasukkan ke dalam turbin. Rangkaian kedua ini dinamakan sistem sekunder.



Gambar 3.4 Skema PLTP dengan sistem air panas (*binary cycle system*)

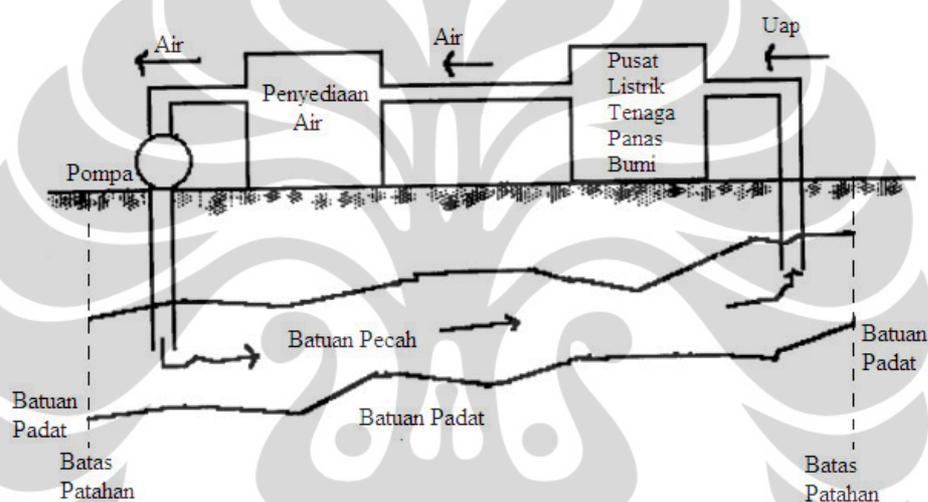
Jika tekanan air panas dari bumi kurang tinggi, perlu dipakai suatu pompa yang mempunyai konstruksi khusus, karena harus tahan air asin yang sangat korosif. Medium pada sistem sekunder dapat pula dipakai suatu bahan yang mempunyai titik mendidih yang rendah, seperti Amonia (NH_3) atau Gas Propan (C_3H_6), bilamana suhu air panas tidak begitu tinggi.

3.2.4 Metode dengan Batuan Panas

Telah dikemukakan bahwa terdapat jauh lebih banyak energi panas bumi dalam bentuk air panas daripada sebagai uap kering. Dalam kaitan ini dapat dikatakan juga bahwa lebih banyak lagi terdapat energi panas bumi dalam bentuk batu panas yang kering. Panas ini tidak “datang” ke atas, melainkan harus

“diambil sendiri”. Hal ini dapat dilakukan dengan memasukkan ke dalam tanah air dingin biasa ke dalam batuan-batuan panas itu. Air dingin itu diberi kesempatan melewati batu-batu yang panas. Air itu disedot kembali ke tempat lain sebagai uap atau sebagai air panas.

Hal ini dilukiskan secara skematis dalam Gambar 3.5, yang dilandaskan pada pemikiran berikut. Dibor suatu lubang atau sumur yang mencapai taraf batu padat yang panas itu. Kemudian batu padat itu diledakkan dengan suatu alat nuklir. Dengan demikian sebagian batu padat itu menjadi pecah dan akan terdiri atas batu bata yang berlubang.



Gambar 3.5. Skema PLTP dengan batuan panas

Kemudian dibor lagi satu sumur sampai taraf batu pecah. Lalu air dipompa dengan tekanan tinggi ke dalam batu-batu pecah yang panas. Karena dalam keadaan pecah, batu-batu ini memungkinkan air mengalir didalamnya kemudian menjadi panas. Pada ujung lainnya air panas ini, yang kini telah menjadi uap, diambil kembali untuk dipakai pada pusat listrik tenaga panas bumi. Diperkirakan, bahwa luas wilayah ini akan mempunyai ukuran panjang dan lebar sekitar 500 meter. Perlu dikemukakan, bahwa pemanasan lapisan batu pecah bukan saja dilakukan oleh batu panas, melainkan juga oleh energi sisa dari ledakan nuklir yang dipakai untuk membuat pecah lapisan batu.

Cara untuk mendapatkan panas bumi dengan metode ini hingga kini masih merupakan gagasan dan belum ada suatu proyek pelaksanaan.

3.3 Komponen Utama pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak

Suatu PLTP memiliki peralatan-peralatan yang tidak banyak berbeda dengan suatu PLTU bahkan lebih sederhana karena tidak ada bagian pembangkitan uap. Komponen atau peralatan utama yang digunakan pada sistem PLTP khususnya di PLTP Gunung Salak terdiri dari :

3.3.1 Separator

Uap yang keluar dari sumur produksi, kemudian dialirkan ke *separator*. Pada prinsipnya fungsi dari *separator* adalah memisahkan air panas (*brine*) dari uap, sehingga diperoleh uap kering yang akan dialirkan ke PLTP. Proses pemisahan air panas dan uap dilakukan berdasarkan gaya sentrifugal, konstruksi *inlet* yang dibuat tangensial menyebabkan aliran membentuk gerakan putar dan apabila berlangsung secara kontinu akan menyebabkan gaya sentrifugal. Karena adanya pengaruh gaya sentrifugal air panas (*brine*) akan terdorong ke dinding pipa dan dengan adanya gravitasi cairan akan cenderung ke bawah kemudian keluar melalui *outlet* bagian bawah, sedangkan uap yang lebih ringan akan terdesak ke bagian pusat *cyclone* dan naik ke atas mengisi bagian tengah pipa kemudian mengalir dalam pipa uap menuju *scrubber*. Air yang terpisah dialirkan ke dalam *water drum*, kemudian air dari *water drum* dialirkan melalui pipa *brine* ke sumur reinjeksi.



Gambar 3.6. Separator

3.3.2. Scrubber

Scrubber mempunyai konstruksi yang sama dengan *separator* tetapi mempunyai ukuran diameter yang lebih kecil. *Scrubber* berfungsi memisahkan uap dan air panas yang mengandung partikel, hal ini dimungkinkan apabila uap yang masuk kedalam *scrubber* masih mempunyai kandungan air sehingga uap yang dihasilkan berupa uap kering yang dialirkan untuk memutar turbin. Tingkat kebasahan uap maksimal yang dapat masuk ke turbin adalah 1%, kebasahan yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya vibrasi, erosi dan pembentukan kerak pada turbin.

Scrubber umumnya diletakkan sedekat mungkin dengan PLTP untuk menghindari terjadinya kondensasi uap dalam pipa distribusi.



Gambar 3.7. *Scrubber*

3.3.3 Demister

Alat ini berbentuk tabung silinder yang didalamnya terdapat kisi-kisi baja yang berfungsi untuk mengeliminasi butir-butir air yang terbawa oleh uap dari sumur-sumur panas bumi. Di bagian bawahnya terdapat kerucut yang berfungsi untuk menangkap air dan partikel-partikel padat lainnya yang lolos dari separator, sehingga uap yang akan dikirim ke turbin merupakan uap yang benar-benar uap yang kering dan bersih. Karena jika uap yang masuk ke turbin tidak kering dan kotor, akan menyebabkan terjadinya vibrasi, erosi dan pembentukan kerak pada

turbin. Uap masuk dari atas demister langsung menabrak kerucut, karena perbedaan tekanan dan berat jenis maka butiran air kondensat dan partikel-partikel padat yang terkandung di dalam uap akan jatuh. Uap bersih akan masuk ke saluran keluar yang sebelumnya melewati saringan terlebih dahulu dan untuk selanjutnya diteruskan ke turbin.

Demister ini dipasang pada jalur uap utama setelah alat pemisah akhir (*final separator*) yang ditempatkan pada bangunan rangka besi yang sangat kokoh dan terletak di luar gedung pembangkit.



Gambar 3.8. Demister

3.3.4 Turbin

Hampir di semua pusat pembangkit tenaga listrik memiliki turbin sebagai penghasil gerakan mekanik yang akan diubah menjadi energi listrik melalui generator. Pada sistem PLTP Gunung Salak mempergunakan turbin jenis silinder tunggal dua aliran (*single cylinder double flow*) yang merupakan kombinasi dari turbin aksi (impuls) dan reaksi. Yang membedakan antara turbin aksi dan reaksi adalah pada proses ekspansi dari uapnya. Pada turbin aksi, proses ekspansi (penurunan tekanan) dari fluida kerja hanya terjadi di dalam baris sudu tetapnya saja, sedangkan pada turbin reaksi, proses dari fluida kerja terjadi baik di dalam baris sudu tetap maupun sudu beratnya.

Turbin tersebut dapat menghasilkan daya listrik sebesar 60 MW per-unit aliran ganda dengan putaran 3000 rpm. Turbin ini dirancang dengan memperhatikan efisiensi, dan performanya disesuaikan dengan kondisi dan kualitas uap panas bumi.



Gambar 3.9. Turbin (*double-flow condensing turbine*)

3.3.5 Generator

Generator adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik putaran poros turbin menjadi energi listrik. PLTP Gunung Salak mempergunakan generator jenis hubung langsung dan didinginkan dengan air, memiliki 2 kutub, 3 *phase*, 50 Hz dengan putaran 3000 rpm.

Sistem penguatan yang digunakan adalah *rotating brushless type AC* dengan *rectifier*, sedangkan tegangannya diatur dengan *Automatic Voltage Regulator (AVR)*. Kemampuan generator maksimum untuk semua unit (unit 1 sampai unit 3) adalah 60 MW.

Generator akan menghasilkan energi listrik bolak balik sebesar 11,8 kV ketika turbin yang berputar dengan putaran 3000 rpm mengkopel terhadap generator. Perputaran pada generator tersebut akan menghasilkan perpotongan gaya gerak magnet yang menghasilkan energi listrik



Gambar 3.10. Generator

3.3.6 Trafo Utama (*Main Transformer*)

Trafo utama yang digunakan adalah tipe ONAN dengan tegangan 11,8 kV pada sisi primer dan 150 kV pada sisi sekunder. Tegangan output generator 11,8 kV ini kemudian dinaikkan (*step up* trafo) menjadi 150 KV dan dihubungkan secara paralel dengan sistem Jawa-Bali. Kapasitas dari trafo utama adalah 70.000 kVA.

Gambar 3.11. Trafo utama (*main transformer*) dengan tipe ONAN

3.3.7 Gardu Induk GIS (*Gas Insulated Substation* atau *Gas Insulated Switchgear*)

Gardu induk pasangan dalam adalah gardu induk yang hampir semua komponennya (*switchgear*, busbar, isolator, komponen kontrol, komponen kendali, *cubicle*, dan lain-lain) dipasang di dalam gedung, kecuali transformator daya yang pada umumnya dipasang di luar gedung.

GIS merupakan bentuk pengembangan gardu induk, yang pada umumnya dibangun di daerah perkotaan atau padat pemukiman yang sulit untuk mendapatkan lahan.

Beberapa keunggulan GIS dibanding GI konvensional :

1. Hanya membutuhkan lahan seluas ± 3.000 meter persegi atau $\pm 6\%$ dari luas lahan GI konvensional.
2. Mampu menghasilkan kapasitas daya (*power capacity*) sebesar 3 x 60 MVA bahkan bisa ditingkatkan sampai dengan 3 x 100 MVA.
3. Jumlah penyulang keluaran (*output feeder*) sebanyak 24 penyulang (*feeder*) dengan tegangan kerja masing-masing 20 kV.
4. Bisa dipasang di tengah kota yang padat pemukiman.
5. Keunggulan dari segi estetika dan arsitektural, karena bangunan bisa didesain sesuai kondisi sekitarnya.



Gambar 3.12. Gardu Induk GIS

3.3.8 Condensor

Condensor adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengkondensasikan uap bekas dari turbin dengan kondisi tekanan yang hampa. Uap bekas dari turbin masuk dari sisi atas *condensor*, kemudian mengalami kondensasi sebagai akibat penyerapan panas oleh air pendingin yang diinjeksikan melalui *spray nozzle*. Uap bekas yang tidak terkondensasi dikeluarkan dari *condensor* oleh *ejector*. *Ejector* ini juga berfungsi untuk mempertahankan kehampaan *condensor* pada saat operasi normal dan membuat hampa *condensor* sewaktu *start* awal. Air kondensat dipompakan oleh dua buah pompa pendingin utama (*Main Cooling Water Pump* atau *MCWP*) ke menara pendingin (*cooling tower*) untuk didinginkan ulang sebelum disirkulasikan kembali ke *condensor*.



Gambar 3.13. *Condensor*

3.3.9 Ejector

Berfungsi untuk menghisap gas yang tidak terkondensasi yang terdapat di dalam *condensor* untuk dikeluarkan melalui *inter* atau *after condensor*, *fan stack cooling tower* ke udara luar dengan maksud untuk mempertahankan *vacuum condensor*.



Gambar 3.14. *Steam Jet Ejector*

3.3.10 *Inter dan After Condensor*

Inter condensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap yang tidak terkondensasi di dalam *condensor* yang dihisap oleh *ejector* tingkat 1 dan mengkondensasikan uap yang berasal dari *ejector* tingkat 1.

After Condensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap yang tidak terkondensasi di dalam *inter condensor* yang dihisap oleh *ejector* tingkat 2 dan mengkondensasikan uap yang berasal dari *ejector* tingkat 2.



Gambar 3.15. *Inter dan after condenser*

3.3.11 Main Cooling Water Pump (MCWP)

Main cooling water pump (MCWP) adalah pompa pendingin utama yang berfungsi untuk memompakan air kondensat dari *condensor* ke *cooling tower* untuk kemudian didinginkan di *cooling tower*, yang kemudian akan digunakan kembali di *condensor*.



Gambar 3.16. *Main Cooling Water Pump (MCWP)*

3.3.12 Cooling Tower (Menara Pendingin)

Air yang dipompakan dari *condensor* didistribusikan ke dalam bak (*hot water basin*) yang terdapat di bagian atas *cooling tower*. Bak tersebut juga dilengkapi dengan *noozle* yang berfungsi untuk memancarkan air sehingga menjadi butiran-butiran halus dan didinginkan dengan cara kontak langsung dengan udara pendingin. Setelah terjadi proses pendinginan, air akan turun karena gaya gravitasi untuk seterusnya menuju bak penampung air (*cool water basin*) yang terdapat di bagian bawah dari *cooling tower* dan seterusnya dialirkan ke *condensor* yang sebelumnya melewati 4 buah *screen* untuk menyaring kotoran-kotoran yang terdapat dalam air.

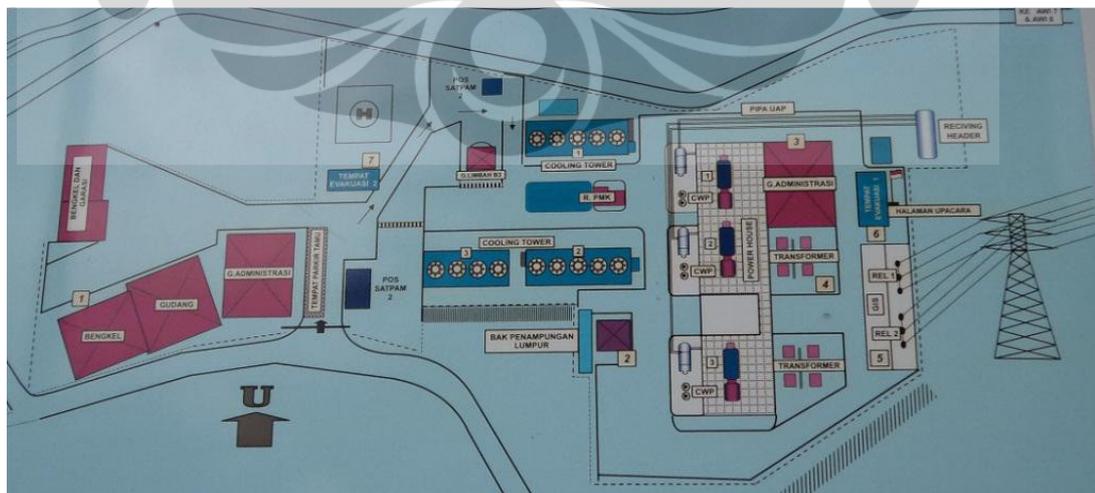
Aliran udara yang melewati tiap ruang pendingin dihisap ke atas dengan kipas hisap paksa tipe aksial. Setiap kipas digerakkan oleh motor listrik induksi dengan perantaraan gigi reduksi (*reduction gear*).



Gambar 3.17. Menara pendingin (*cooling tower*)

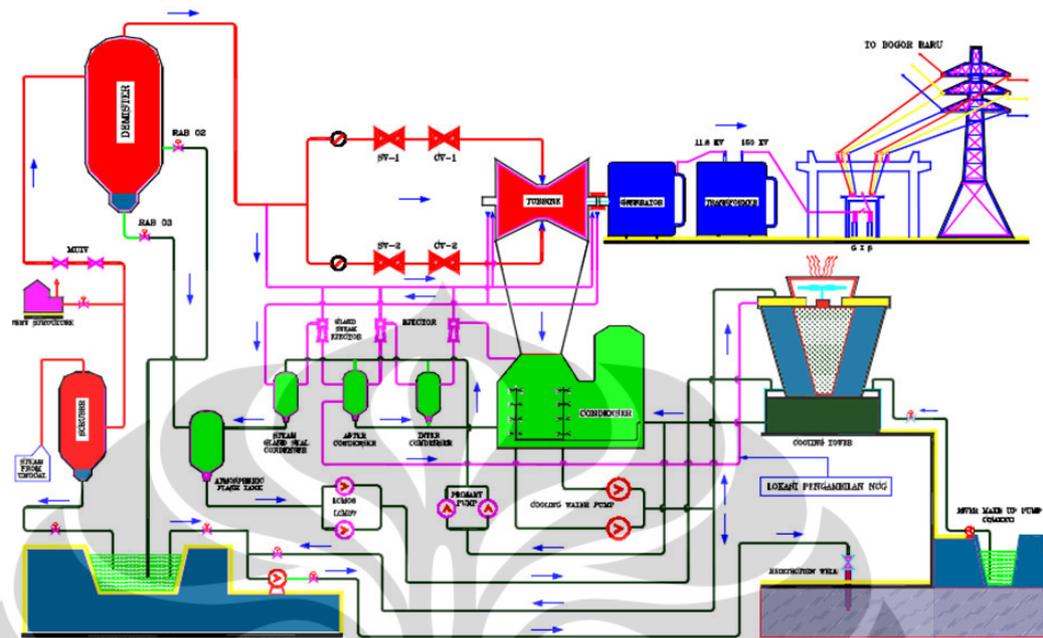
3.4 Overview Unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak

Unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PTLP) Gunung Salak PT. Indonesia Power berada di Taman Nasional Gunung Halimun Salak berlokasi di perbatasan kabupaten Sukabumi dan kabupaten Bogor, Indonesia yang diberikan kekayaan kandungan alam yang beraneka ragam yang salah satunya kandungan panas bumi memiliki fasilitas pembangkit listrik ini di area taman nasional Gunung Salak, Jawa Barat. Pembangkit ini memiliki tiga unit bisnis pembangkit yang berkapasitas total 180 MW. Unit 1 dan unit 2 dibuat pada tahun 1993 dan unit 3 pada tahun 1995.



Gambar 3.18. Layout unit PLTP Gunung Salak

3.5 Proses Kerja Pembangkitan Unit PLTP Gunung Salak



Gambar 3.19. Flow diagram PLTP Gunung Salak

Uap yang berasal dari instalasi milik PT. Chevron Pacific Indonesia di alirkan ke instalasi pembangkit PLTP Indonesia Power yang pertama yaitu *MUIV* (*Main Unit Isolation Valve*) yang berfungsi sebagai gerbang masuk uap ke instalasi PLTP Indonesia Power, kemudian mengalir ke demister untuk dipisahkan antara uap dan zat-zat padat, silika, dan air. Dari demister uap yang telah terpisahkan dengan air dan zat-zat padat dialirkan ke turbin melalui 2 jalur yang di tiap jalurnya terpasang *steam strainer* yang berfungsi untuk menyaring uap yang masuk ke turbin agar lebih bersih. Uap juga ada yang dialirkan ke peralatan uap bantu yaitu *ejector* dan *turbin steam seal system*.

Setelah uap keluar dari *steam strainer*, uap masuk ke *stop valve* dan *control valve* untuk di atur laju aliran uapnya. Setelah melalui *stop valve* dan *control valve*, uap masuk ke turbin dan kemudian memutar turbin. Turbin diatur putarannya sampai 3000 rpm dan putaran turbin tersebut di-*couple* dengan generator dimana generator mendapatkan arus DC melalui eksitasi yang disalurkan ke belitan rotor generator sebagai kutub-kutub magnet generator. Akibat dari perputaran rotor yang terjadi adalah medan magnet putar akan

menginduksi belitan stator sehingga timbul ggl induksi pada terminal output generator yang menghasilkan tegangan sebesar 11,8 kV. Tegangan 11,8 kV tersebut kemudian dinaikkan menjadi tegangan 150 kV oleh transformator *step up*. PLTP Gunung Salak terdiri atas tiga unit dengan kapasitas masing-masing 60 MW. Daya listrik dari tiga unit ini ditransmisikan ke dalam jaringan transmisi 150 kV Bogor Baru untuk interkoneksi dengan sistem Jawa Madura Bali. Sebagian dari daya yang dibangkitkan, digunakan juga untuk pemakaian sendiri.

Uap bekas yang keluar dari turbin langsung masuk ke dalam *condensor* untuk didinginkan dan dikondensasikan supaya terjadi perubahan bentuk dari uap menjadi air dengan bantuan air pendingin dari *basin cooling tower*. Air yang tertampung di *condensor* dialirkan ke *cooling tower* dengan menggunakan *circulating water pump*. Uap yang tidak terkondensasi di *condensor* akan dihisap oleh *ejector* tingkat 1 kemudian disalurkan ke *inter condensor* dan air dari hasil kondensasi di *inter condensor* di alirkan ke *condensor*, sedangkan uap yang tidak terkondensasi di *inter condensor* dihisap oleh *ejector* tingkat 2 untuk di kondensasi di *after condensor*. Air hasil kondensasi di dalam *after condensor* dialirkan ke *condensor*. Uap yang tidak dapat dikondensasikan di *after condensor* (NCG) dikeluarkan ke udara lepas melalui *fan stack cooling tower*.

Komponen *plate heat exchangers* (sistem *secondary*) bertugas untuk memompakan air pendingin untuk mendinginkan peralatan *lube oil cooler*, generator, *coolers*, dan *E.H.C coolers*.

3.6 Data Operasi Unit Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak

Data operasi generator yang akan diolah adalah data untuk mencari nilai daya semu (S), segitiga daya (daerah atau operasi kerja dari generator), hubungan antara perubahan arus eksitasi terhadap daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), kestabilan dari tegangan output generator, dan hubungan antara perubahan arus eksitasi terhadap perubahan temperature pada stator. Berikut adalah tabel data operasi untuk tiap-tiap unit di PLTP Gunung Salak PT. Indonesia Power.

3.6.1 Data Operasi Generator di Unit 1 PLTP Gunung Salak

Tabel 3.1. Data operasi generator di unit 1

| Time | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | <i>Power Factor</i> | Tegangan Output | Arus Eksitasi | Temperatur Stator |
|-------|----------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------|-------------------|
| | (MW) | (MVAR) | (cos ϕ) | (kV) | (Ampere) | ($^{\circ}$ C) |
| 00:00 | 60.1 | 10.4 | 0.98 | 11.7 | 9.8 | 77.1 |
| 01:00 | 60.3 | 10.1 | 0.99 | 11.7 | 9.7 | 76.8 |
| 02:00 | 60.2 | 9 | 0.99 | 11.8 | 9.5 | 76.8 |
| 03:00 | 60.4 | 7.6 | 0.99 | 11.8 | 9.7 | 76.8 |
| 04:00 | 60.3 | 8.1 | 0.99 | 11.8 | 9.7 | 76.7 |
| 05:00 | 60.4 | 8.1 | 0.99 | 11.8 | 9.7 | 76.8 |
| 06:00 | 60.3 | 9.7 | 0.99 | 11.8 | 9.6 | 76.7 |
| 07:00 | 60.3 | 7.9 | 0.99 | 11.8 | 9.9 | 76.8 |
| 08:00 | 60 | 12.6 | 0.98 | 11.8 | 9.8 | 76.8 |
| 09:00 | 60 | 14.7 | 0.97 | 11.8 | 9.8 | 77.2 |
| 10:00 | 59.8 | 15.8 | 0.97 | 11.8 | 9.8 | 77.3 |
| 11:00 | 59.8 | 16.1 | 0.96 | 11.8 | 9.8 | 77.3 |
| 12:00 | 59.6 | 14.3 | 0.97 | 11.8 | 9.8 | 77.2 |
| 13:00 | 59.9 | 13.8 | 0.97 | 11.8 | 9.9 | 77.1 |
| 14:00 | 59.7 | 15.3 | 0.97 | 11.8 | 9.9 | 76.9 |
| 15:00 | 59.8 | 14.8 | 0.97 | 11.8 | 9.9 | 76.9 |
| 16:00 | 59.9 | 13.8 | 0.97 | 11.8 | 10 | 76.9 |
| 17:00 | 60 | 13.1 | 0.98 | 11.8 | 10 | 77 |
| 18:00 | 60.1 | 15.6 | 0.97 | 11.8 | 10.2 | 77.1 |
| 19:00 | 60.1 | 16.7 | 0.96 | 11.8 | 10.5 | 77.4 |
| 20:00 | 59.8 | 16.2 | 0.96 | 11.8 | 10.5 | 77.4 |
| 21:00 | 59.4 | 15.4 | 0.97 | 11.7 | 10.7 | 77.4 |
| 22:00 | 60.2 | 13.5 | 0.97 | 11.7 | 10.3 | 77.3 |
| 23:00 | 60.3 | 10.2 | 0.99 | 11.8 | 10.2 | 76.9 |
| 24:00 | 60.3 | 8.5 | 0.99 | 11.8 | 10.2 | 76.8 |

Dari tabel 3.1. data operasi generator pada unit 1 terdiri dari data daya aktif (P) dan reaktif (Q), data *power factor* (cos ϕ), data tegangan output generator, data arus penggiat (eksitasi), dan data temperatur stator.

3.6.2 Data Operasi Generator di Unit 2 PLTP Gunung Salak

Tabel 3.2. Data operasi generator di unit 2

| Time | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | <i>Power Factor</i> | Tegangan Output | Arus Eksitasi | Temperatur Stator |
|-------|----------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------|------------------------|
| | (MW) | (MVAR) | (cos ϕ) | (kV) | (Ampere) | ($^{\circ}\text{C}$) |
| 00:00 | 60.5 | 11.9 | 0.99 | 11.8 | 9.7 | 77.4 |
| 01:00 | 60.5 | 10.5 | 0.99 | 11.8 | 9.6 | 77.3 |
| 02:00 | 60.5 | 9.2 | 0.99 | 11.8 | 9.4 | 77.4 |
| 03:00 | 60.7 | 8.1 | 0.99 | 11.8 | 9.6 | 77.3 |
| 04:00 | 60.7 | 8 | 0.99 | 11.8 | 9.5 | 77.3 |
| 05:00 | 60.6 | 8.2 | 0.99 | 11.8 | 9.5 | 77.2 |
| 06:00 | 60.6 | 10.3 | 0.99 | 11.8 | 9.4 | 77.1 |
| 07:00 | 60.8 | 8.3 | 0.99 | 11.8 | 9.7 | 77.1 |
| 08:00 | 60.4 | 13.5 | 0.99 | 11.8 | 9.7 | 77.2 |
| 09:00 | 60.3 | 15.7 | 0.98 | 11.8 | 9.7 | 77.5 |
| 10:00 | 60.3 | 16.5 | 0.97 | 11.8 | 9.6 | 77.7 |
| 11:00 | 60.2 | 16.8 | 0.97 | 11.8 | 9.6 | 77.8 |
| 12:00 | 60 | 14.8 | 0.98 | 11.8 | 9.6 | 77.7 |
| 13:00 | 60.2 | 14.1 | 0.98 | 11.8 | 9.7 | 77.7 |
| 14:00 | 60.2 | 15.8 | 0.97 | 11.8 | 9.7 | 77.6 |
| 15:00 | 60.3 | 15.4 | 0.98 | 11.8 | 9.8 | 77.4 |
| 16:00 | 60.2 | 14.3 | 0.98 | 11.8 | 9.9 | 77.4 |
| 17:00 | 60.2 | 13.8 | 0.98 | 11.8 | 9.9 | 77.5 |
| 18:00 | 60.5 | 16.3 | 0.97 | 11.8 | 10.1 | 77.4 |
| 19:00 | 60.4 | 16.7 | 0.97 | 11.8 | 10.4 | 77.5 |
| 20:00 | 60.2 | 17 | 0.97 | 11.8 | 10.4 | 77.6 |
| 21:00 | 60.2 | 16.2 | 0.97 | 11.7 | 10.5 | 77.6 |
| 22:00 | 60.5 | 13.9 | 0.98 | 11.7 | 10.2 | 77.6 |
| 23:00 | 60.6 | 10.6 | 0.99 | 11.8 | 10.1 | 77.2 |
| 24:00 | 60.5 | 8.5 | 0.99 | 11.8 | 10.1 | 77.1 |

Dari tabel 3.2. data operasi generator pada unit 2 terdiri dari data daya aktif (P) dan reaktif (Q), data *power factor* (cos ϕ), data tegangan output generator, data arus penggiat (eksitasi), dan data temperatur stator.

3.6.3 Data Operasi Generator di Unit 3 PLTP Gunung Salak

Tabel 3.3. Data operasi generator di unit 3

| Time | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | <i>Power Factor</i> | Tegangan Output | Arus Eksitasi | Temperatur Stator |
|-------|----------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------|-------------------|
| | (MW) | (MVAR) | (cos ϕ) | (kV) | (Ampere) | ($^{\circ}$ C) |
| 00:00 | 59.9 | 11.9 | 0.96 | 11.8 | 9.4 | 78.6 |
| 01:00 | 59.9 | 11 | 0.97 | 11.8 | 9.4 | 78.7 |
| 02:00 | 59.9 | 9.5 | 0.98 | 11.8 | 9.3 | 79.3 |
| 03:00 | 60 | 8.4 | 0.98 | 11.8 | 9.5 | 79.3 |
| 04:00 | 59.9 | 8.8 | 0.98 | 11.8 | 9.5 | 79.9 |
| 05:00 | 59.9 | 9.1 | 0.98 | 11.8 | 9.5 | 78.7 |
| 06:00 | 60 | 10.1 | 0.97 | 11.8 | 9.3 | 78.9 |
| 07:00 | 60.2 | 9.6 | 0.98 | 11.8 | 9.6 | 78.4 |
| 08:00 | 60 | 13.3 | 0.96 | 11.8 | 9.5 | 80.1 |
| 09:00 | 59.9 | 15.6 | 0.94 | 11.8 | 9.6 | 78.2 |
| 10:00 | 60 | 16.7 | 0.93 | 11.8 | 9.5 | 79.8 |
| 11:00 | 59.6 | 16.9 | 0.92 | 11.8 | 9.5 | 79.1 |
| 12:00 | 59.7 | 14.6 | 0.95 | 11.8 | 9.5 | 79.1 |
| 13:00 | 59.7 | 14.6 | 0.95 | 11.8 | 9.6 | 79.2 |
| 14:00 | 59.6 | 15.4 | 0.95 | 11.8 | 9.6 | 79.1 |
| 15:00 | 59.6 | 15.8 | 0.94 | 11.8 | 9.6 | 78.6 |
| 16:00 | 59.6 | 14.8 | 0.94 | 11.8 | 9.6 | 78.6 |
| 17:00 | 59.8 | 14 | 0.95 | 11.8 | 9.7 | 78.5 |
| 18:00 | 59.6 | 16.3 | 0.93 | 11.8 | 9.9 | 78.9 |
| 19:00 | 59.8 | 17.3 | 0.92 | 11.8 | 10.2 | 79 |
| 20:00 | 59.7 | 17.3 | 0.92 | 11.8 | 10.1 | 79.5 |
| 21:00 | 59.4 | 16.2 | 0.93 | 11.8 | 10.3 | 79.1 |
| 22:00 | 59.8 | 14.1 | 0.94 | 11.8 | 9.9 | 78.3 |
| 23:00 | 59.9 | 11.2 | 0.97 | 11.8 | 9.8 | 79 |
| 24:00 | 59.8 | 8.9 | 0.98 | 11.8 | 9.9 | 78.8 |

Dari tabel 3.3. data operasi generator pada unit 3 terdiri dari data daya aktif (P) dan reaktif (Q), data *power factor* (cos ϕ), data tegangan output generator, data arus penggiat (eksitasi), dan data temperatur stator.

BAB 4

PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA

Bab 4 skripsi ini membahas tentang hasil pengolahan data operasi generator yang telah dilakukan serta analisa hasil pengolahan data tersebut. Pengolahan data operasi generator yang dilakukan terdiri dari 3 bagian, yaitu pengolahan data operasi generator pada unit 1, unit 2 dan unit 3 yang terdapat di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak. Berikut penjelasan hasil pengolahan dan analisa data operasi generator untuk masing-masing unitnya.

4.1 Pengolahan dan Analisa Data Operasi Generator pada Unit 1

Data operasi generator yang digunakan untuk pengolahan data pada unit 1 adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012 dan 21 April 2012. Pengolahan data operasi generator pada unit 1 ini terdiri dari 5 bagian, yaitu data daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap waktu, data faktor daya ($\cos \phi$), data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output dari generator dan data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator. Berikut ini adalah penjelasan untuk masing-masing pengolahan data di atas.

4.1.1 Data Daya Aktif (P), Daya Reaktif (Q) dan Daya Semu (S) terhadap Waktu pada Unit 1

Data yang digunakan untuk pengolahan data daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya Semu (S) pada unit 1 adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat besarnya nilai perubahan daya semu (S) dari masing-masing perubahan waktu yang terjadi pada unit 1 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak. Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa daya semu (S) yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 saat terjadi perubahan waktu selama 24 jam.

Daya semu (S) yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 (berlaku juga untuk unit 2 dan 3) dapat dihitung dengan persamaan (4.1).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \angle \varphi \quad (4.1)$$

dimana:

- S = Daya Semu (MVA)
 P = Daya Aktif (MW)
 Q = Daya Reaktif (MVAR)
 $\angle \varphi$ = Faktor Daya

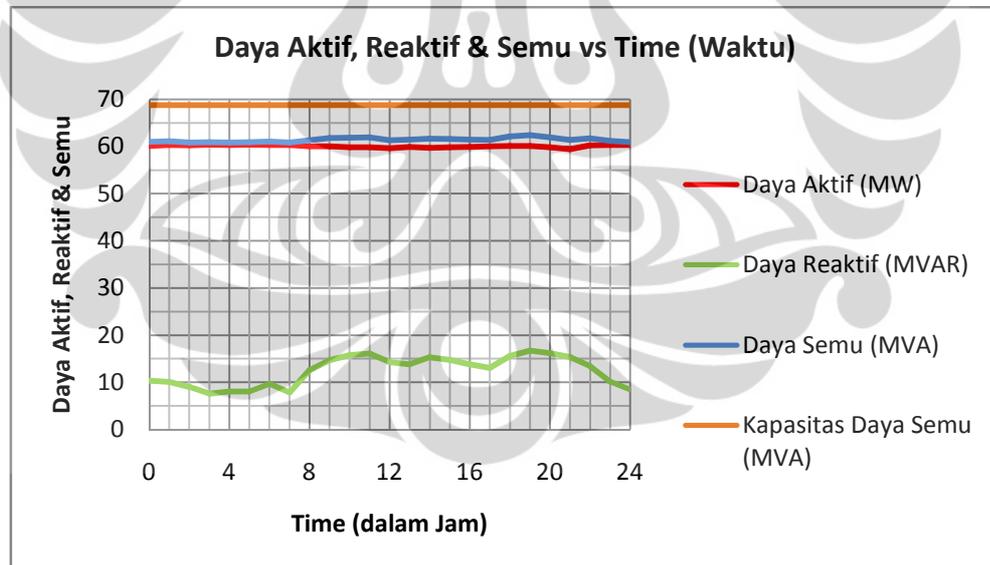
Menurut perhitungan diatas, daya semu (S) yang dapat dihasilkan oleh generator untuk masing-masing perubahan waktu pada unit 1 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1. Hasil perhitungan daya semu (S) yang dihasilkan oleh daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada unit 1

| No. | Time (Jam) | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | Daya Semu (S) |
|-----|---------------|----------------|------------------|---------------|
| | | (MW) | (MVAR) | (MVA) |
| 1 | 00:00 | 60.1 | 10.4 | 60.99319634 |
| 2 | 01:00 | 60.3 | 10.1 | 61.14000327 |
| 3 | 02:00 | 60.2 | 9 | 60.86903975 |
| 4 | 03:00 | 60.4 | 7.6 | 60.87626795 |
| 5 | 04:00 | 60.3 | 8.1 | 60.84159761 |
| 6 | 05:00 | 60.4 | 8.1 | 60.94070889 |
| 7 | 06:00 | 60.3 | 9.7 | 61.07519955 |
| 8 | 07:00 | 60.3 | 7.9 | 60.81529413 |
| 9 | 08:00 | 60 | 12.6 | 61.30872695 |
| 10 | 09:00 | 60 | 14.7 | 61.77445093 |
| 11 | 10:00 | 59.8 | 15.8 | 61.85208161 |
| 12 | 11:00 | 59.8 | 16.1 | 61.92939528 |
| 13 | 12:00 | 59.6 | 14.3 | 61.29151654 |
| 14 | 13:00 | 59.9 | 13.8 | 61.46909793 |
| 15 | 14:00 | 59.7 | 15.3 | 61.62937611 |

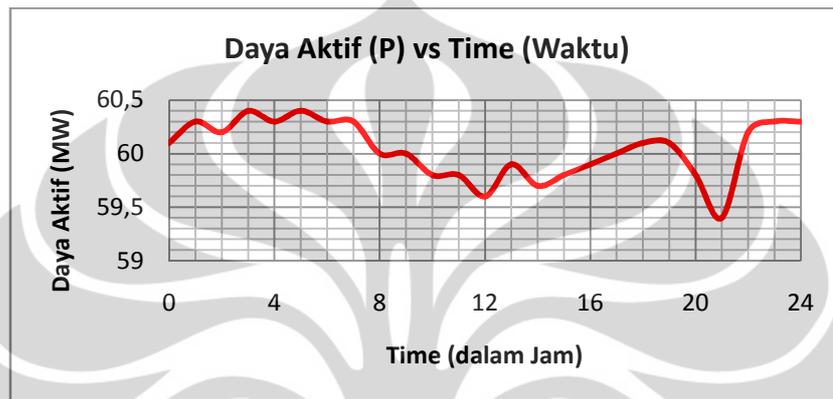
| | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|-------------|
| 16 | 15:00 | 59.8 | 14.8 | 61.60422063 |
| 17 | 16:00 | 59.9 | 13.8 | 61.46909793 |
| 18 | 17:00 | 60 | 13.1 | 61.41343501 |
| 19 | 18:00 | 60.1 | 15.6 | 62.09162584 |
| 20 | 19:00 | 60.1 | 16.7 | 62.37707912 |
| 21 | 20:00 | 59.8 | 16.2 | 61.95546788 |
| 22 | 21:00 | 59.4 | 15.4 | 61.363833 |
| 23 | 22:00 | 60.2 | 13.5 | 61.69513757 |
| 24 | 23:00 | 60.3 | 10.2 | 61.15660226 |
| 25 | 24:00 | 60.3 | 8.5 | 60.89614109 |
| Rata-rata | | 60.04 | 12.452 | 61.39314373 |

Dari tabel 4.1., dibuat grafik hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap perubahan waktu yang dihasilkan oleh generator pada unit 1.



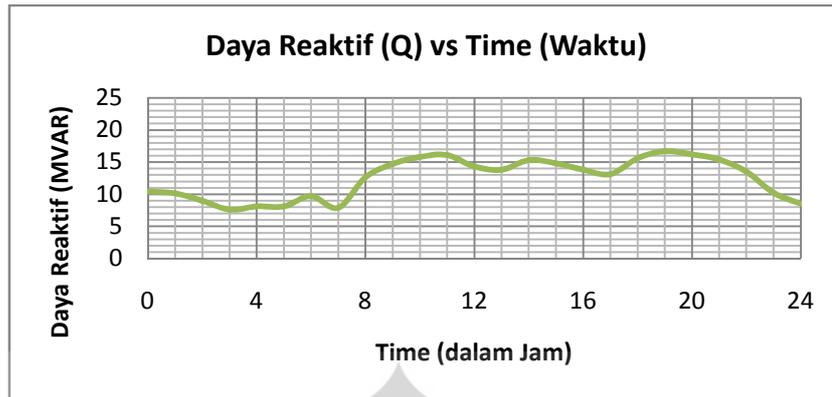
Gambar 4.1. Grafik hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap waktu pada unit 1

Gambar 4.1., menunjukkan bahwa perubahan waktu (selama 24 jam) sangat berpengaruh terhadap daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) yang dihasilkan oleh operasi generator pada unit 1. Untuk melihat perubahan grafik secara jelasnya dari masing-masing daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap perubahan waktu pada unit 1 dapat dilihat pada grafik-grafik di bawah ini.



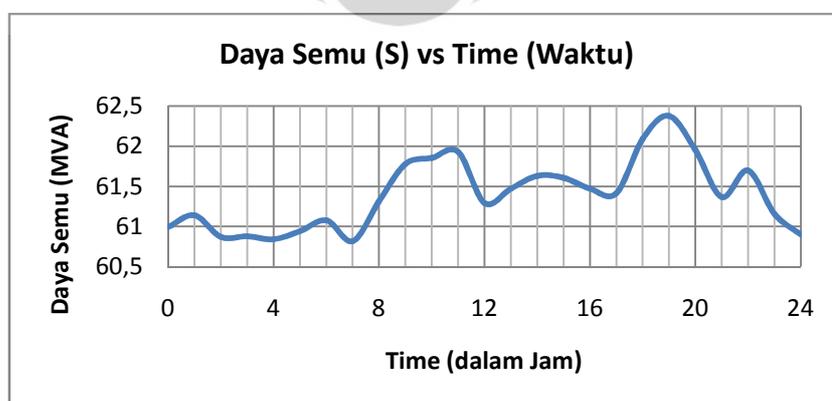
Gambar 4.2. Grafik hubungan antara daya aktif (P) terhadap waktu pada unit 1

Dari gambar 4.2., terlihat bahwa perubahan waktu sangat berpengaruh terhadap perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 1. Daya aktif (P) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 60.4 MW pada pukul 03:00 WIB dan 05:00 WIB. Sedangkan daya aktif (P) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 59.4 MW pada pukul 21:00 WIB. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada pukul 03:00 WIB dan 05:00 WIB ini merupakan waktu terjadinya beban tertinggi (beban puncak harian) yang terjadi selama 24 jam. Sedangkan pemakaian daya aktif (P) yang terjadi pada pukul 21:00 WIB merupakan waktu pemakaian daya listrik yang paling terendah selama 24 jam. Nilai daya aktif (P) rata-rata yang diperoleh pada unit 1 adalah sebesar 60.04 MW.



Gambar 4.3. Grafik hubungan antara daya reaktif (Q) terhadap waktu pada unit 1

Dari gambar 4.3., terlihat bahwa perubahan waktu juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya reaktif (Q) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 1. Daya reaktif (Q) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 16.7 MVAR pada pukul 19:00 WIB. Ini menunjukkan bahwa nilai daya reaktif (Q) maksimum yang terjadi pada pukul 19:00 WIB ini merupakan beban induktif (beban yang mengkonsumsi atau pemakaian daya reaktif) tertinggi yang terjadi selama 24 jam. Sedangkan daya reaktif (Q) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 7.6 MVAR pada pukul 03:00 WIB. Pemakaian daya reaktif (Q) pada pukul 03:00 WIB ini merupakan pemakaian daya reaktif (Q) yang paling terendah selama 24 jam. Biasanya pemakaian daya reaktif (Q) ini terdapat di pabrik-pabrik atau industri-industri yang memiliki beban tertentu seperti motor listrik yang memerlukan daya reaktif (Q) untuk membuat medan magnet (sebagai energi pembangkitan fluks magnetik). Nilai daya reaktif (Q) rata-rata yang diperoleh pada unit 1 adalah sebesar 12.452 MVAR.



Gambar 4.4. Grafik hubungan antara daya semu (S) terhadap waktu pada unit 1

Dari gambar 4.4., terlihat bahwa perubahan waktu juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya semu (S) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 1. Daya semu (S) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 62.37707912 MVA pada pukul 19:00 WIB dan Daya semu (S) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 60.81529413 MVA pada pukul 07:00 WIB. Sedangkan untuk nilai daya semu (S) rata-rata yang diperoleh pada unit 1 adalah sebesar 61.39314373 MVA. Data-data tersebut menunjukkan bahwa daya semu (S) yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 tidak melebihi dari batas kapasitas daya semu (S) yang sudah ditentukan, yaitu sebesar 68.75 MVA.

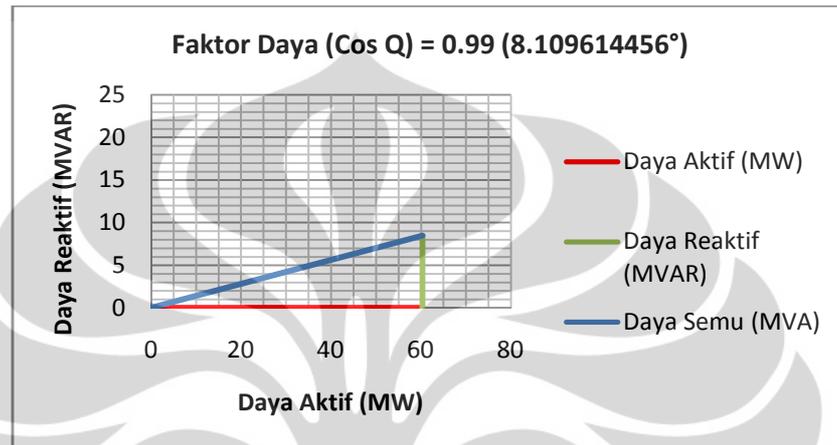
4.1.2 Data Faktor Daya (Cos ϕ) pada Unit 1

Data yang digunakan untuk pengolahan data faktor daya (cos ϕ) pada unit 1 adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat efisiensi jaringan yang digunakan dalam menyalurkan daya listrik yang bisa dimanfaatkan oleh konsumen selama 24 jam. Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa ϕ (phi atau sudut antara daya aktif dengan daya semu) dan gambar segitiga daya yang dihasilkan dari hubungan ketiga daya (daya aktif, daya reaktif dan daya semu) untuk masing-masing perubahan waktu selama 24 jam. Faktor daya (cos ϕ) dibatasi dari 0 hingga 1, semakin tinggi faktor daya (mendekati 1) yang dihasilkan pada pembangkit listrik maka akan semakin banyak pula daya semu (S) yang diberikan sumber yang bisa dimanfaatkan oleh konsumen. Sebaliknya, apabila semakin rendah faktor daya (mendekati 0) maka semakin sedikit daya listrik yang bisa dimanfaatkan dari sejumlah daya semu yang sama. Hasil pengolahan data yang didapat pada unit 1 ditunjukkan oleh tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil pengolahan faktor daya ($\cos \phi$) pada unit 1

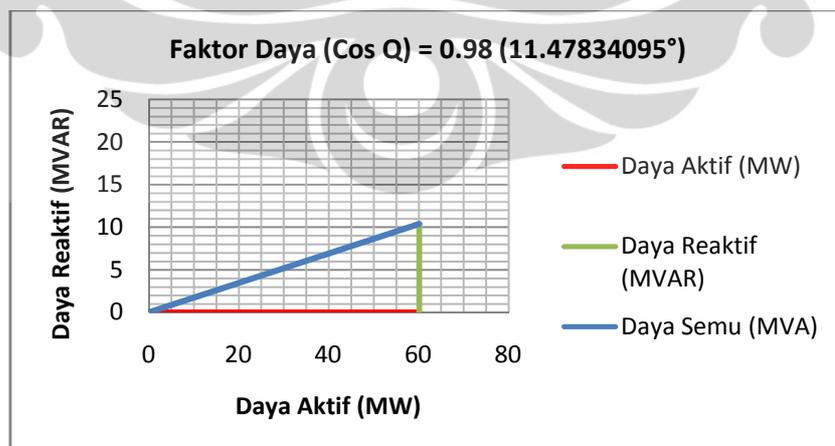
| Data Operasi pada Unit 1 | | | | | | |
|--------------------------|---------------|----------------|------------------|---------------|----------------|------------------|
| No. | Time (Jam) | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | Daya Semu (S) | Cos Q | Sudut (ϕ) |
| | | (MW) | (MVAR) | (MVA) | (Power Factor) | |
| 1 | 00:00 | 60.1 | 10.4 | 60.99319634 | 0.98 | 11.47834095° |
| 2 | 01:00 | 60.3 | 10.1 | 61.14000327 | 0.99 | 8.109614456° |
| 3 | 02:00 | 60.2 | 9 | 60.86903975 | 0.99 | 8.109614456° |
| 4 | 03:00 | 60.4 | 7.6 | 60.87626795 | 0.99 | 8.109614456° |
| 5 | 04:00 | 60.3 | 8.1 | 60.84159761 | 0.99 | 8.109614456° |
| 6 | 05:00 | 60.4 | 8.1 | 60.94070889 | 0.99 | 8.109614456° |
| 7 | 06:00 | 60.3 | 9.7 | 61.07519955 | 0.99 | 8.109614456° |
| 8 | 07:00 | 60.3 | 7.9 | 60.81529413 | 0.99 | 8.109614456° |
| 9 | 08:00 | 60 | 12.6 | 61.30872695 | 0.98 | 11.47834095° |
| 10 | 09:00 | 60 | 14.7 | 61.77445093 | 0.97 | 14.06986775° |
| 11 | 10:00 | 59.8 | 15.8 | 61.85208161 | 0.97 | 14.06986775° |
| 12 | 11:00 | 59.8 | 16.1 | 61.92939528 | 0.96 | 16.26020471° |
| 13 | 12:00 | 59.6 | 14.3 | 61.29151654 | 0.97 | 14.06986775° |
| 14 | 13:00 | 59.9 | 13.8 | 61.46909793 | 0.97 | 14.06986775° |
| 15 | 14:00 | 59.7 | 15.3 | 61.62937611 | 0.97 | 14.06986775° |
| 16 | 15:00 | 59.8 | 14.8 | 61.60422063 | 0.97 | 14.06986775° |
| 17 | 16:00 | 59.9 | 13.8 | 61.46909793 | 0.97 | 14.06986775° |
| 18 | 17:00 | 60 | 13.1 | 61.41343501 | 0.98 | 11.47834095° |
| 19 | 18:00 | 60.1 | 15.6 | 62.09162584 | 0.97 | 14.06986775° |
| 20 | 19:00 | 60.1 | 16.7 | 62.37707912 | 0.96 | 16.26020471° |
| 21 | 20:00 | 59.8 | 16.2 | 61.95546788 | 0.96 | 16.26020471° |
| 22 | 21:00 | 59.4 | 15.4 | 61.363833 | 0.97 | 14.06986775° |
| 23 | 22:00 | 60.2 | 13.5 | 61.69513757 | 0.97 | 14.06986775° |
| 24 | 23:00 | 60.3 | 10.2 | 61.15660226 | 0.99 | 8.109614456° |
| 25 | 24:00 | 60.3 | 8.5 | 60.89614109 | 0.99 | 8.109614456° |
| Rata-rata | | 60.04 | 12.452 | 61.39314373 | 0.979545455 | 11.8760337833° |

Dari tabel 4.2., didapatkan hasil bahwa faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi pada unit 1 adalah 0.99, 0.98, 0.97 dan 0.96. Faktor daya ($\cos \phi$) maksimum yang dihasilkan adalah 0.99. Sedangkan faktor daya ($\cos \phi$) minimum yang dihasilkan adalah 0.96. Perubahan nilai faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi pada unit 1 ditunjukkan oleh gambar-gambar segitiga daya dibawah berikut:



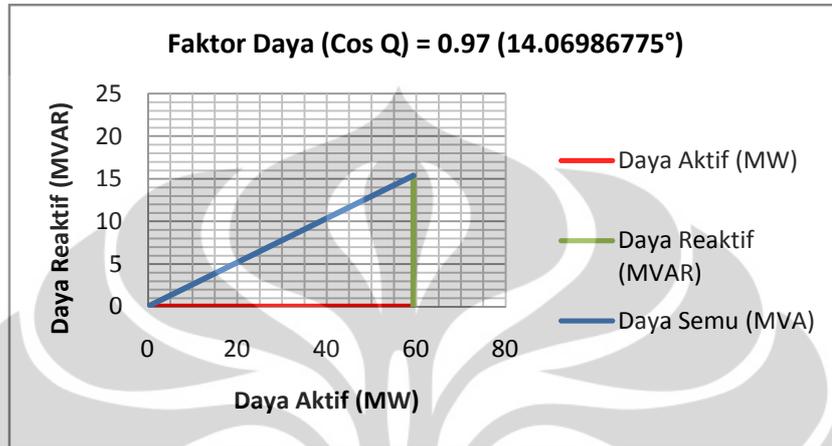
Gambar 4.5. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.99$ pada unit 1

Gambar 4.5., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.99 terbentuk pada pukul 01:00 – 07:00 WIB dan 23:00 – 24:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.99$ adalah sebesar $8.109614456^\circ \approx 8.11^\circ$.



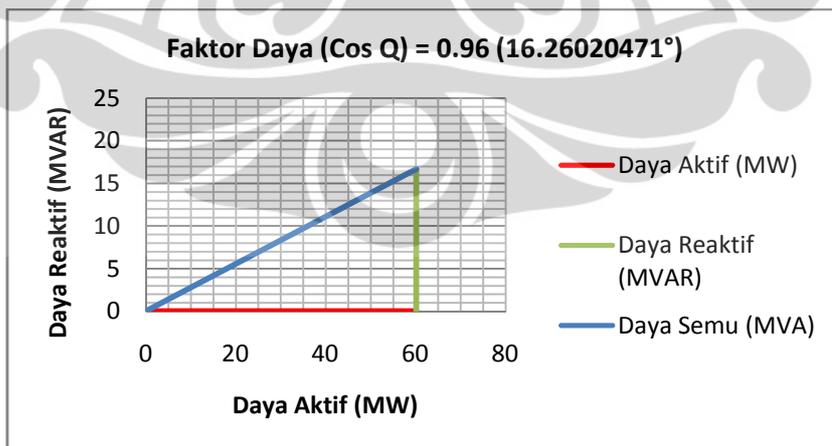
Gambar 4.6. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.98$ pada unit 1

Gambar 4.6., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \varphi$) sebesar 0.98 terbentuk pada pukul 00:00 WIB, 08:00 WIB dan 17:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \varphi = 0.98$ adalah sebesar $11.47834095^\circ \approx 11.48^\circ$.



Gambar 4.7. Segitiga daya dengan $\cos \varphi = 0.97$ pada unit 1

Gambar 4.7., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \varphi$) sebesar 0.97 terbentuk pada pukul 09:00 – 10:00 WIB, 12:00 – 16:00 WIB, 18:00 WIB dan 21:00 – 22:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \varphi = 0.97$ adalah sebesar $14.06986775^\circ \approx 14.07^\circ$.



Gambar 4.8. Segitiga daya dengan $\cos \varphi = 0.96$ pada unit 1

Gambar 4.8., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.96 terbentuk pada pukul 11:00 WIB dan 19:00 – 20:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.96$ adalah sebesar $16.26020471^\circ \approx 16.26^\circ$.

Pada unit 1, semakin besar daya reaktif (Q)-nya akan meningkatkan sudut antara daya aktif (P) dan daya semu (S). Nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh adalah 0.979545455 (11.8760337833°). Nilai faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh pada unit 1 ini dikatakan aman karena perubahan faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi pada setiap perubahan waktu selama 24 jam dan nilai rata-ratanya masih diatas batas minimum dari faktor daya ($\cos \phi$) yang sudah ditentukan oleh pembangkit listrik, yaitu sebesar 0.8. Jika terdapat nilai faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh lebih rendah dari nilai faktor daya ($\cos \phi$) yang telah ditentukan, yaitu sebesar 0.8, maka faktor daya ($\cos \phi$) yang rendah ini dapat merugikan, karena akan mengakibatkan arus beban menjadi lebih tinggi. Arus beban yang tinggi ini akan menyebabkan kenaikan rugi-rugi daya listrik pada saluran distribusi yang harus ditanggung oleh PLN (Perusahaan Listrik Negara). Sehingga diperlukan perbaikan faktor daya ($\cos \phi$) yang dapat dilakukan dengan menggunakan kapasitor.

4.1.3 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) pada Unit 1

Data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada unit 1 adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012. Pada pengolahan data ini, dilakukan dua macam pengolahan data, yaitu pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 1.

4.1.3.1 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) pada Unit 1

Pengolahan data ini dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan arus penggiat (eksitasi) yang diberikan pada generator di unit 1 sebanding dengan perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan selama 24 jam. Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa perubahan daya aktif (P) serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 1. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem *sorting* data atau dengan cara mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai perubahan dari daya aktif (P). Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data ini ditunjukkan oleh tabel 4.3.

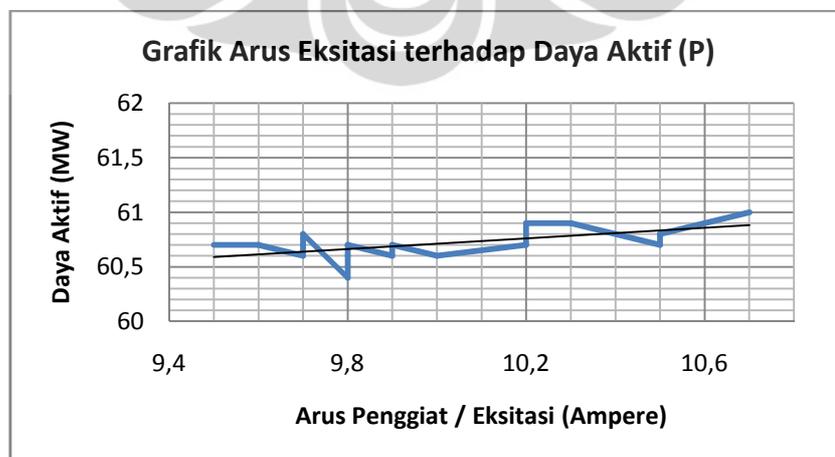
Tabel 4.3. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 1

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Cos Q | Daya Aktif (P) |
|-----|---------------|--------------------------|----------------|----------------|
| | | (Ampere) | (Power Factor) | (MW) |
| 1 | 02:00 | 9.5 | 1.00 | 60.7 |
| 2 | 06:00 | 9.6 | 1.00 | 60.7 |
| 3 | 03:00 | 9.7 | 1.00 | 60.6 |
| 4 | 01:00 | 9.7 | 1.00 | 60.7 |
| 5 | 04:00 | 9.7 | 1.00 | 60.8 |
| 6 | 05:00 | 9.7 | 1.00 | 60.8 |
| 7 | 10:00 | 9.8 | 1.00 | 60.4 |
| 8 | 09:00 | 9.8 | 1.00 | 60.5 |
| 9 | 11:00 | 9.8 | 1.00 | 60.5 |
| 10 | 08:00 | 9.8 | 1.00 | 60.6 |
| 11 | 00:00 | 9.8 | 1.00 | 60.7 |
| 12 | 12:00 | 9.8 | 1.00 | 60.7 |
| 13 | 13:00 | 9.9 | 1.00 | 60.6 |
| 14 | 07:00 | 9.9 | 1.00 | 60.7 |
| 15 | 14:00 | 9.9 | 1.00 | 60.7 |
| 16 | 15:00 | 9.9 | 1.00 | 60.7 |
| 17 | 16:00 | 10 | 1.00 | 60.6 |
| 18 | 17:00 | 10 | 0.99 | 60.6 |

| | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|------|
| 19 | 18:00 | 10.2 | 0.99 | 60.7 |
| 20 | 23:00 | 10.2 | 0.99 | 60.9 |
| 21 | 24:00 | 10.2 | 0.99 | 60.9 |
| 22 | 22:00 | 10.3 | 0.99 | 60.9 |
| 23 | 20:00 | 10.5 | 0.98 | 60.7 |
| 24 | 19:00 | 10.5 | 0.98 | 60.8 |
| 25 | 21:00 | 10.7 | 0.98 | 61 |
| Rata-rata | | 9.956 | 0.9956 | 60.7 |

Dari tabel 4.3., didapatkan hasil bahwa arus penggiat (eksitasi) maksimum yang dihasilkan adalah 10.7 Ampere pada pukul 21:00 WIB dan arus penggiat (eksitasi) minimum yang dihasilkan adalah 9.5 Ampere pada pukul 02:00 WIB. Sedangkan arus penggiat (eksitasi) rata-rata yang didapat adalah 9.956 Ampere. Data-data tersebut menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) yang diberikan ke generator pada unit 1 cukup untuk menimbulkan fluks yang besarnya tetap terhadap waktu.

Dari tabel 4.3., juga didapatkan hasil bahwa daya aktif (P) maksimum yang dihasilkan adalah 61 MW pada pukul 21:00 WIB dan daya aktif (P) minimum yang dihasilkan adalah 60.4 MW pada pukul 10:00 WIB. Sedangkan daya aktif (P) rata-rata yang didapat adalah 60.7 MW. Gambar 4.9. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan daya aktif (P) yang dihasilkan oleh generator pada unit 1.



Gambar 4.9. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 1

Gambar 4.9., menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator di unit 1 sangat berpengaruh terhadap perubahan daya aktif (P). Jika arus penggiat (eksitasi) semakin besar, maka daya aktif (P) yang dihasilkan oleh pembangkit listrik akan semakin besar pula. Akan tetapi, pada saat arus penggiat (eksitasi)-nya dinaikkan (diurutkan) dari 10.3 Ampere menjadi 10.5 Ampere terjadi penurunan daya aktif (P) sebesar 0.2 MW dari 60.9 MW menjadi 60.7 MW. Hal ini disebabkan oleh penurunan yang terjadi pada faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.01 dari 0.99 menjadi 0.98. Selain itu, penurunan daya aktif (P) bisa juga disebabkan oleh beban yang berubah-ubah pada jaringan, transduser atau juga bisa disebabkan oleh sistem dari DCS (Distributed Control System)-nya. Namun, besarnya perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 ini cukup untuk menyuplai kebutuhan beban listrik konsumen.

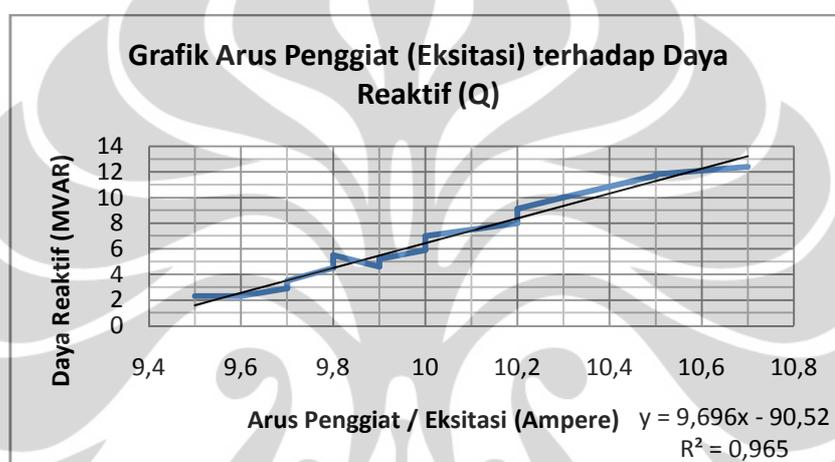
4.1.3.2 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Reaktif (Q) pada Unit 1

Pengolahan data ini dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan arus penggiat (eksitasi) yang diberikan pada generator di unit 1 sebanding dengan perubahan daya reaktif (Q) yang dihasilkan selama 24 jam. Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa perubahan daya reaktif (Q) serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 1. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem *sorting* data atau dengan cara mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai perubahan dari daya aktif (P). Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data ini ditunjukkan oleh tabel 4.4.

Tabel 4.4. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 1

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Cos Q | Daya Reaktif (Q) |
|-----------|---------------|--------------------------|----------------|------------------|
| | | (Ampere) | (Power Factor) | (MVAR) |
| 1 | 02:00 | 9.5 | 1.00 | 2.3 |
| 2 | 06:00 | 9.6 | 1.00 | 2.3 |
| 3 | 04:00 | 9.7 | 1.00 | 2.9 |
| 4 | 05:00 | 9.7 | 1.00 | 3 |
| 5 | 01:00 | 9.7 | 1.00 | 3.3 |
| 6 | 03:00 | 9.7 | 1.00 | 3.5 |
| 7 | 08:00 | 9.8 | 1.00 | 4.5 |
| 8 | 12:00 | 9.8 | 1.00 | 4.6 |
| 9 | 09:00 | 9.8 | 1.00 | 4.7 |
| 10 | 11:00 | 9.8 | 1.00 | 5 |
| 11 | 00:00 | 9.8 | 1.00 | 5.2 |
| 12 | 10:00 | 9.8 | 1.00 | 5.5 |
| 13 | 13:00 | 9.9 | 1.00 | 4.6 |
| 14 | 14:00 | 9.9 | 1.00 | 4.9 |
| 15 | 15:00 | 9.9 | 1.00 | 4.9 |
| 16 | 07:00 | 9.9 | 1.00 | 5.2 |
| 17 | 16:00 | 10 | 1.00 | 5.9 |
| 18 | 17:00 | 10 | 0.99 | 7 |
| 19 | 23:00 | 10.2 | 0.99 | 8 |
| 20 | 24:00 | 10.2 | 0.99 | 8.1 |
| 21 | 18:00 | 10.2 | 0.99 | 9.1 |
| 22 | 22:00 | 10.3 | 0.99 | 10 |
| 23 | 20:00 | 10.5 | 0.98 | 11.7 |
| 24 | 19:00 | 10.5 | 0.98 | 11.8 |
| 25 | 21:00 | 10.7 | 0.98 | 12.4 |
| Rata-rata | | 9.956 | 0.9956 | 6.016 |

Dari tabel 4.4., didapatkan hasil bahwa daya reaktif (Q) maksimum yang dihasilkan adalah 12.4 MVAR pada pukul 21:00 WIB dan daya reaktif (Q) minimum yang dihasilkan adalah 2.3 MVAR pada pukul 02:00 WIB. Sedangkan daya reaktif (Q) rata-rata yang didapat adalah 6.016 MVAR. Data-data tersebut menunjukkan bahwa daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 cukup untuk menyuplai kebutuhan beban induktif di pabrik-pabrik atau industri-industri. Gambar 4.10. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh generator pada unit 1.



Gambar 4.10. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 1

Gambar 4.10., menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator di unit 1 juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya reaktif (Q). Jika arus penggiat (eksitasi) semakin besar, maka daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh pembangkit listrik akan semakin besar pula. Hal ini membuktikan bahwa pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator berbanding lurus dengan daya reaktif (Q) yang dihasilkan pada unit 1. Contohnya adalah pada saat arus penggiat (eksitasi)-nya dinaikkan (diurutkan) dari 10.3 Ampere menjadi 10.5 Ampere terjadi kenaikan daya reaktif (P) sebesar 1.7 MVAR dari 10 MW menjadi 11.7 MW. Sebaliknya, faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi ketika kenaikan daya reaktif (Q) mengalami penurunan sebesar 0.01 dari 0.99 menjadi 0.98. Ini membuktikan bahwa daya reaktif (Q) yang semakin tinggi akan meningkatkan sudut dari faktor daya ($\cos \phi$) dan sebagai hasilnya faktor daya ($\cos \phi$) akan menjadi lebih rendah.

4.1.4 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Tegangan Output Generator pada Unit 1

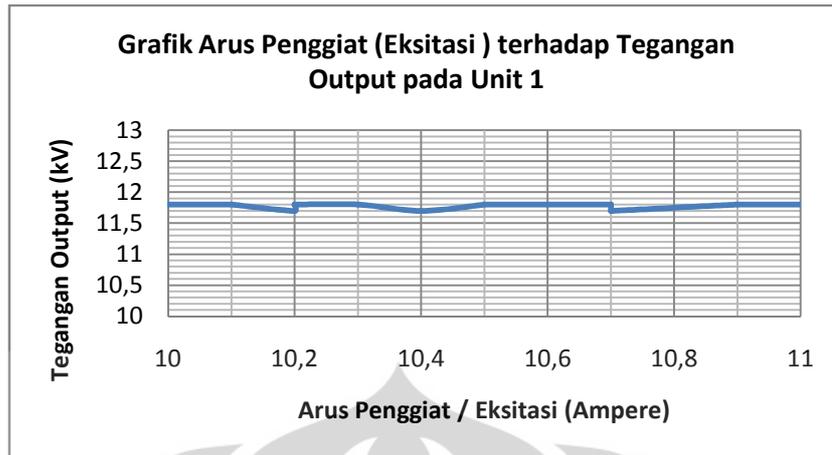
Data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 1 adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat kestabilan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak. Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa tegangan output dan gambar grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 1. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem *sorting* data, yaitu dengan cara mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai kestabilan atau perubahan dari tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 1. Hasil pengolahan data yang didapat ini ditunjukkan oleh tabel 4.5.

Tabel 4.5. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 1

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Tegangan Output |
|-----|------------|--------------------------|-----------------|
| | | (Ampere) | (kV) |
| 1 | 03:00 | 10 | 11.8 |
| 2 | 07:00 | 10 | 11.8 |
| 3 | 04:00 | 10.1 | 11.8 |
| 4 | 05:00 | 10.1 | 11.8 |
| 5 | 24:00 | 10.1 | 11.8 |
| 6 | 01:00 | 10.2 | 11.8 |
| 7 | 02:00 | 10.2 | 11.8 |
| 8 | 06:00 | 10.2 | 11.7 |
| 9 | 23:00 | 10.3 | 11.8 |
| 10 | 00:00 | 10.4 | 11.7 |
| 11 | 08:00 | 10.5 | 11.8 |
| 12 | 09:00 | 10.5 | 11.8 |
| 13 | 17:00 | 10.5 | 11.8 |

| | | | |
|-----------|-------|--------|--------|
| 14 | 12:00 | 10.6 | 11.8 |
| 15 | 13:00 | 10.6 | 11.8 |
| 16 | 16:00 | 10.6 | 11.8 |
| 17 | 21:00 | 10.7 | 11.7 |
| 18 | 22:00 | 10.7 | 11.7 |
| 19 | 14:00 | 10.7 | 11.8 |
| 20 | 15:00 | 10.7 | 11.8 |
| 21 | 18:00 | 10.9 | 11.8 |
| 22 | 11:00 | 10.9 | 11.8 |
| 23 | 10:00 | 10.9 | 11.8 |
| 24 | 20:00 | 10.9 | 11.8 |
| 25 | 19:00 | 11 | 11.8 |
| Rata-rata | | 10.492 | 11.784 |

Dari tabel 4.5., didapatkan hasil bahwa arus penggiat (eksitasi) maksimum yang diberikan ke generator pada unit 1 adalah 11 Ampere (19:00 WIB) dan arus penggiat (eksitasi) minimum yang diberikan ke generator pada unit 1 adalah 10 Ampere (03:00 dan 07:00 WIB). Sedangkan arus penggiat (eksitasi) rata-rata yang diberikan selama 24 jam ke generator pada unit 1 adalah 10.492 Ampere. Data-data tersebut menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) yang diberikan cukup untuk menstabilkan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 1. Gambar 4.11, menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 1.



Gambar 4.11. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 1

Gambar 4.11., seharusnya menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) menentukan kestabilan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 1. Akan tetapi, terjadi penurunan nilai tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 yaitu sebesar 0.1 kV dari 11.8 kV menjadi 11.7 kV (pada pukul 05:00 – 06:00 WIB dan 20:00 – 21:00 WIB). Penurunan tegangan output ini dianggap tidak bermasalah karena masih diatas batas minimal dari tegangan output yang telah ditentukan yaitu, sebesar 11 kV.

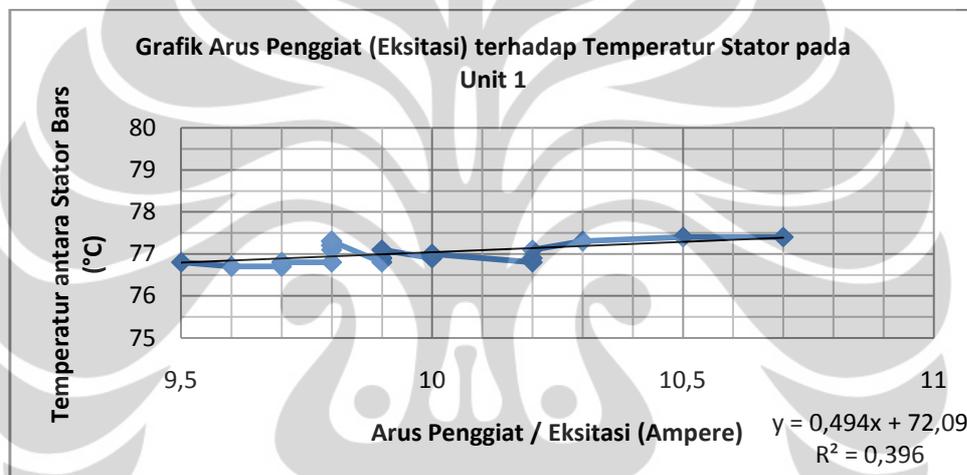
4.1.5 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Temperatur Stator pada Unit 1

Data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 1 adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat hubungan atau korelasi antara perubahan arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator dan untuk mengetahui kehandalan pada unit 1 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa arus penggiat (eksitasi) dan temperatur stator serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 1. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan sistem *sorting* data, yaitu dengan mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai perubahan dari temperatur stator. Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data pada unit 1 ditunjukkan oleh tabel 4.6.

Tabel 4.6. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 1

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Temperatur Stator |
|-----------|---------------|--------------------------|--------------------------------------|
| | | (Ampere) | Between Stator Bars T. E : 1 (°C) |
| 1 | 02:00 | 9.5 | 76.8 |
| 2 | 06:00 | 9.6 | 76.7 |
| 3 | 04:00 | 9.7 | 76.7 |
| 4 | 01:00 | 9.7 | 76.8 |
| 5 | 03:00 | 9.7 | 76.8 |
| 6 | 05:00 | 9.7 | 76.8 |
| 7 | 08:00 | 9.8 | 76.8 |
| 8 | 00:00 | 9.8 | 77.1 |
| 9 | 09:00 | 9.8 | 77.2 |
| 10 | 12:00 | 9.8 | 77.2 |
| 11 | 10:00 | 9.8 | 77.3 |
| 12 | 11:00 | 9.8 | 77.3 |
| 13 | 07:00 | 9.9 | 76.8 |
| 14 | 14:00 | 9.9 | 76.9 |
| 15 | 15:00 | 9.9 | 76.9 |
| 16 | 13:00 | 9.9 | 77.1 |
| 17 | 16:00 | 10 | 76.9 |
| 18 | 17:00 | 10 | 77 |
| 19 | 24:00 | 10.2 | 76.8 |
| 20 | 23:00 | 10.2 | 76.9 |
| 21 | 18:00 | 10.2 | 77.1 |
| 22 | 22:00 | 10.3 | 77.3 |
| 23 | 19:00 | 10.5 | 77.4 |
| 24 | 20:00 | 10.5 | 77.4 |
| 25 | 21:00 | 10.7 | 77.4 |
| Rata-rata | | 9.956 | 77.016 |

Dari tabel 4.6., didapatkan hasil bahwa temperatur stator maksimum yang dihasilkan adalah 77.4 °C pada pukul 19:00 – 21:00 WIB dan temperatur stator minimum yang dihasilkan adalah 76.7 °C pada pukul 04:00 dan 06:00 WIB. Sedangkan temperatur stator rata-rata yang dihasilkan 77.016 °C. Data-data tersebut menunjukkan bahwa temperatur stator yang dihasilkan diantara stator bars di generator pada unit 1 masih dikatakan aman, karena besarnya tidak melampaui dari batas yang sudah ditentukan oleh pembangkit listrik, yaitu 120 °C. Gambar 4.12. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan tegangan stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 1.



Gambar 4.12. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 1

Gambar 4.12., menunjukkan bahwa menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) sangat berpengaruh terhadap perubahan temperatur stator. Jika arus penggiat (eksitasi) semakin besar, maka temperatur stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 akan semakin besar pula.

Dari gambar 4.12., juga didapat sebuah persamaan linier antara arus penggiat (eksitasi) dengan temperatur pada stator, yaitu:

$$y = 0.494x + 72.09 \quad (4.2)$$

dimana;

y = temperatur stator ($^{\circ}\text{C}$)

x = Arus penggiat / eksitasi (Ampere)

Dari persamaan (4.2) dapat ditentukan besarnya temperature stator yang dihasilkan apabila pada generator di unit 1 diberikan arus penggiat (eksitasi) sebesar 1 Ampere.

$$y = 0.494(1) + 72.09$$

$$y = 0.494 + 72.09$$

$$y = 72.584 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Pada unit 1, jika generator diberikan arus penggiat (eksitasi) sebesar 1 Ampere, maka temperatur stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 1 sebesar 72.584 $^{\circ}\text{C}$.

4.2 Pengolahan dan Analisa Data Operasi Generator pada Unit 2

Data operasi generator yang digunakan untuk pengolahan data pada unit 2 sama dengan data yang digunakan pada unit 1 dan 3, yaitu data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012 dan 21 April 2012. Pengolahan data operasi generator pada unit 2 ini terdiri dari 5 bagian, yaitu data daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap waktu, data faktor daya ($\cos \phi$), data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output dari generator dan data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator. Berikut ini adalah penjelasan untuk masing-masing pengolahan data di atas.

4.2.1 Data Daya Aktif (P), Daya Reaktif (Q) dan Daya Semu (S) terhadap Waktu pada Unit 2

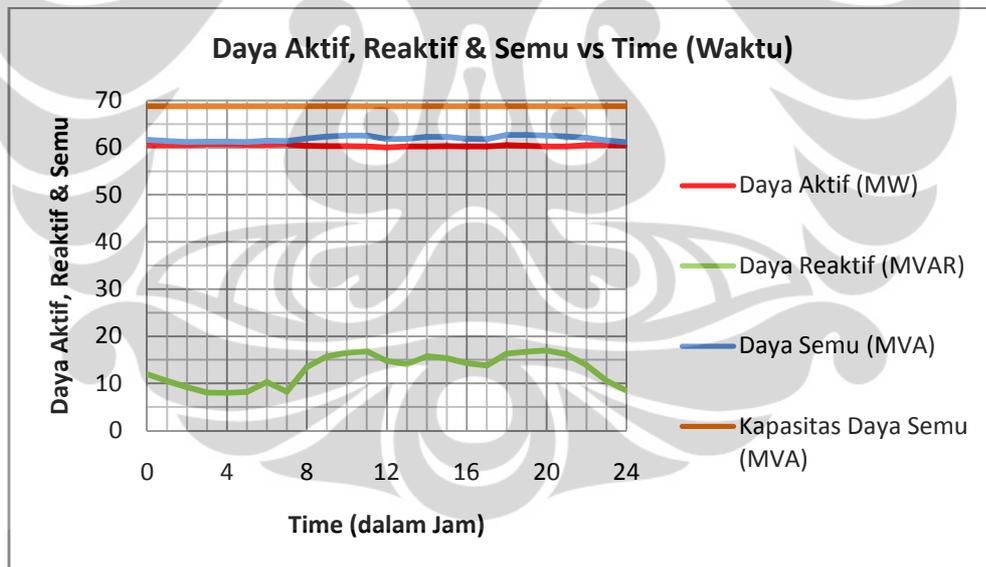
Pada unit 2, data yang juga digunakan untuk pengolahan data daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya Semu (S) adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini juga dilakukan untuk melihat besarnya nilai perubahan daya semu (S) dari masing-masing perubahan waktu yang terjadi pada unit 2 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa daya semu (S) yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 saat terjadi perubahan waktu selama 24 jam. Hasil pengolahan data pada unit 2 yang didapat dari perhitungan dengan menggunakan persamaan 4.1 ditunjukkan oleh tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil perhitungan daya semu (S) yang dihasilkan oleh daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada unit 2

| No. | Time (Jam) | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | Daya Semu (S) |
|-----|---------------|----------------|------------------|---------------|
| | | (MW) | (MVAR) | (MVA) |
| 1 | 00:00 | 60.5 | 11.9 | 61.65922478 |
| 2 | 01:00 | 60.5 | 10.5 | 61.40439724 |
| 3 | 02:00 | 60.5 | 9.2 | 61.19550637 |
| 4 | 03:00 | 60.7 | 8.1 | 61.23806006 |
| 5 | 04:00 | 60.7 | 8 | 61.22491323 |
| 6 | 05:00 | 60.6 | 8.2 | 61.15226897 |
| 7 | 06:00 | 60.6 | 10.3 | 61.46909793 |
| 8 | 07:00 | 60.8 | 8.3 | 61.36391448 |
| 9 | 08:00 | 60.4 | 13.5 | 61.89030619 |
| 10 | 09:00 | 60.3 | 15.7 | 62.31035227 |
| 11 | 10:00 | 60.3 | 16.5 | 62.51671776 |
| 12 | 11:00 | 60.2 | 16.8 | 62.50024 |
| 13 | 12:00 | 60 | 14.8 | 61.79838186 |
| 14 | 13:00 | 60.2 | 14.1 | 61.82920022 |
| 15 | 14:00 | 60.2 | 15.8 | 62.23889459 |
| 16 | 15:00 | 60.3 | 15.4 | 62.23544006 |

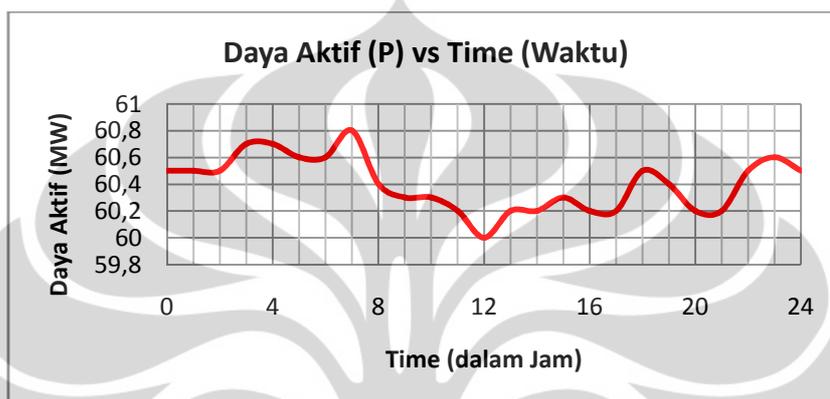
| | | | | |
|-----------|-------|--------|--------|-------------|
| 17 | 16:00 | 60.2 | 14.3 | 61.87511616 |
| 18 | 17:00 | 60.2 | 13.8 | 61.76147667 |
| 19 | 18:00 | 60.5 | 16.3 | 62.657322 |
| 20 | 19:00 | 60.4 | 16.7 | 62.66617908 |
| 21 | 20:00 | 60.2 | 17 | 62.55429642 |
| 22 | 21:00 | 60.2 | 16.2 | 62.34163938 |
| 23 | 22:00 | 60.5 | 13.9 | 62.07624344 |
| 24 | 23:00 | 60.6 | 10.6 | 61.52007802 |
| 25 | 24:00 | 60.5 | 8.5 | 61.09418958 |
| Rata-rata | | 60.404 | 12.976 | 61.86293827 |

Dari tabel 4.7., dibuat grafik hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap perubahan waktu yang dihasilkan oleh generator pada unit 2.



Gambar 4.13. Grafik hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap waktu pada unit 2

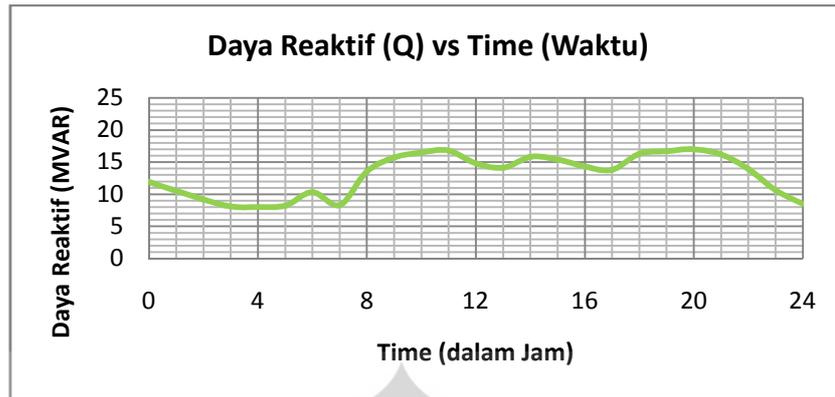
Gambar 4.13. menunjukkan bahwa perubahan waktu (selama 24 jam) pada unit 2 juga sangat berpengaruh terhadap daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) yang dihasilkan oleh operasi generator. Untuk melihat perubahan grafik secara jelasnya dari masing-masing daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap perubahan waktu pada unit 2 dapat dilihat pada grafik-grafik di bawah ini.



Gambar 4.14. Grafik hubungan antara daya aktif (P) terhadap waktu pada unit 2

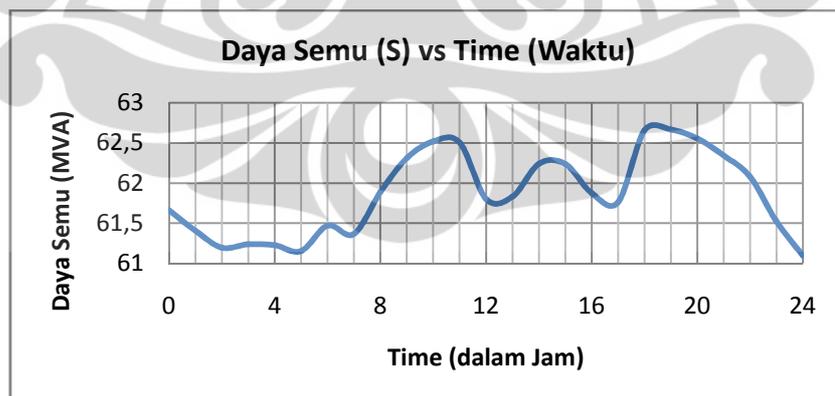
Dari gambar 4.14., terlihat bahwa perubahan waktu sangat berpengaruh terhadap perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 2. Daya aktif (P) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 60.8 MW pada pukul 07:00 WIB. Nilai daya aktif (P) maksimum yang terjadi pada pukul 07:00 WIB ini merupakan nilai daya listrik tertinggi yang dibutuhkan oleh beban (beban puncak harian) yang terjadi selama 24 jam. Sedangkan daya aktif (P) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 60 MW pada pukul 12:00 WIB. Pemakaian daya listrik pada pukul 12:00 WIB ini merupakan pemakaian daya listrik yang paling terendah selama 24 jam.

Pada unit 2, nilai daya aktif (P) rata-rata yang diperoleh adalah sebesar 60.404 MW. Nilai rata-rata daya aktif (P) yang dihasilkan pada unit 2 ini adalah nilai rata-rata daya aktif (P) yang paling besar dibandingkan dengan nilai rata-rata daya aktif (P) yang diperoleh pada unit 1 (60.04 MW) dan unit 3 (59.808 MW).



Gambar 4.15. Grafik hubungan antara daya reaktif (Q) terhadap waktu pada unit 2

Dari gambar 4.15., terlihat bahwa perubahan waktu juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya reaktif (Q) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 2. Daya reaktif (Q) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 16.8 MVAR pada pukul 11:00 WIB. Ini menunjukkan bahwa nilai daya reaktif (Q) maksimum yang terjadi pada pukul 11:00 WIB merupakan beban induktif yang paling tertinggi yang terjadi selama 24 jam. Sedangkan daya reaktif (Q) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 8 MVAR pada pukul 04:00 WIB. Pemakaian daya reaktif (Q) pada pukul 04:00 WIB ini merupakan pemakaian daya reaktif (Q) yang paling terendah selama 24 jam. Pada unit 2, nilai daya reaktif (Q) rata-rata yang diperoleh adalah sebesar 12.976 MVAR.



Gambar 4.16. Grafik hubungan antara daya semu (S) terhadap waktu pada unit 2

Dari gambar 4.16., terlihat bahwa perubahan waktu juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya semu (S) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 2. Daya semu (S) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 62.66617908 MVA pada pukul 19:00 WIB dan daya semu (S) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 61.09418958 MVA pada pukul 24:00 WIB. Sedangkan untuk nilai daya semu (S) rata-rata yang diperoleh pada unit 2 adalah sebesar 61.86293827 MVA. Nilai rata-rata daya semu (S) yang dihasilkan pada unit 2 ini adalah nilai rata-rata daya semu (S) yang paling besar dibandingkan dengan nilai rata-rata daya semu (S) yang diperoleh pada unit 1 (61.39314373 MVA) dan unit 3 (61.33163862 MVA). Data-data tersebut menunjukkan bahwa daya semu (S) yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 tidak melebihi dari batas kapasitas daya semu (S) yang sudah ditentukan, yaitu sebesar 68.75 MVA.

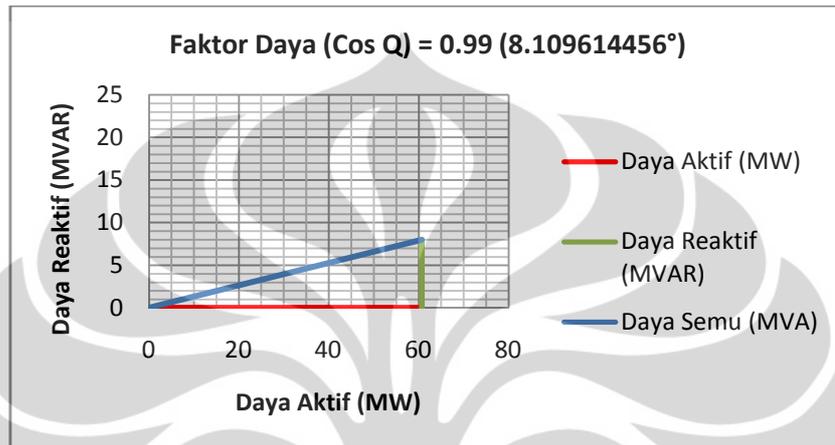
4.2.2 Data Faktor Daya (Cos ϕ) pada Unit 2

Pada unit 2, data yang juga digunakan untuk pengolahan data faktor daya (cos ϕ) adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini juga dilakukan untuk melihat efisiensi jaringan pada unit 2 dalam menyalurkan daya listrik yang bisa dimanfaatkan oleh konsumen selama 24 jam. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa ϕ (phi atau sudut antara daya aktif dengan daya semu) dan gambar segitiga daya yang dihasilkan dari hubungan ketiga daya (daya aktif, daya reaktif dan daya semu) untuk masing-masing perubahan waktu selama 24 jam. Hasil pengolahan data yang didapat pada unit 2 ditunjukkan oleh tabel 4.8.

Tabel 4.8. Data faktor daya ($\cos \phi$) pada unit 2

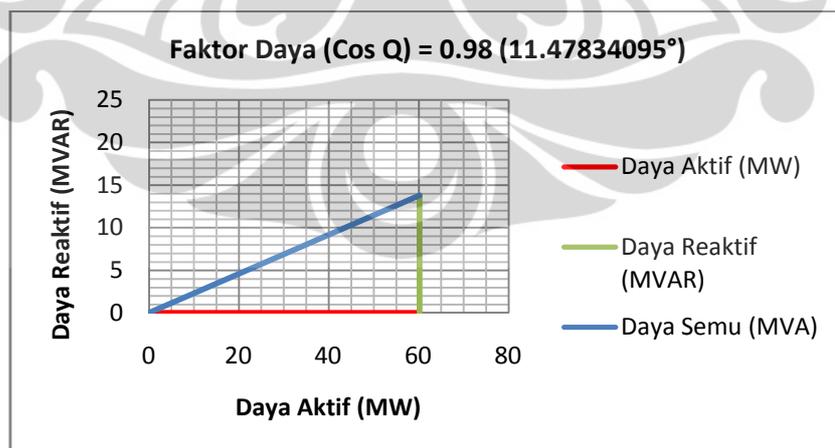
| Data Operasi pada Unit 2 | | | | | | |
|--------------------------|---------------|----------------|------------------|---------------|----------------|------------------|
| No. | Time (Jam) | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | Daya Semu (S) | Cos Q | Sudut (ϕ) |
| | | (MW) | (MVAR) | (MVA) | (Power Factor) | |
| 1 | 00:00 | 60.5 | 11.9 | 61.65922478 | 0.99 | 8.109614456° |
| 2 | 01:00 | 60.5 | 10.5 | 61.40439724 | 0.99 | 8.109614456° |
| 3 | 02:00 | 60.5 | 9.2 | 61.19550637 | 0.99 | 8.109614456° |
| 4 | 03:00 | 60.7 | 8.1 | 61.23806006 | 0.99 | 8.109614456° |
| 5 | 04:00 | 60.7 | 8 | 61.22491323 | 0.99 | 8.109614456° |
| 6 | 05:00 | 60.6 | 8.2 | 61.15226897 | 0.99 | 8.109614456° |
| 7 | 06:00 | 60.6 | 10.3 | 61.46909793 | 0.99 | 8.109614456° |
| 8 | 07:00 | 60.8 | 8.3 | 61.36391448 | 0.99 | 8.109614456° |
| 9 | 08:00 | 60.4 | 13.5 | 61.89030619 | 0.99 | 8.109614456° |
| 10 | 09:00 | 60.3 | 15.7 | 62.31035227 | 0.98 | 11.47834095° |
| 11 | 10:00 | 60.3 | 16.5 | 62.51671776 | 0.97 | 14.06986775° |
| 12 | 11:00 | 60.2 | 16.8 | 62.50024 | 0.97 | 14.06986775° |
| 13 | 12:00 | 60 | 14.8 | 61.79838186 | 0.98 | 11.47834095° |
| 14 | 13:00 | 60.2 | 14.1 | 61.82920022 | 0.98 | 11.47834095° |
| 15 | 14:00 | 60.2 | 15.8 | 62.23889459 | 0.97 | 14.06986775° |
| 16 | 15:00 | 60.3 | 15.4 | 62.23544006 | 0.98 | 11.47834095° |
| 17 | 16:00 | 60.2 | 14.3 | 61.87511616 | 0.98 | 11.47834095° |
| 18 | 17:00 | 60.2 | 13.8 | 61.76147667 | 0.98 | 11.47834095° |
| 19 | 18:00 | 60.5 | 16.3 | 62.657322 | 0.97 | 14.06986775° |
| 20 | 19:00 | 60.4 | 16.7 | 62.66617908 | 0.97 | 14.06986775° |
| 21 | 20:00 | 60.2 | 17 | 62.55429642 | 0.97 | 14.06986775° |
| 22 | 21:00 | 60.2 | 16.2 | 62.34163938 | 0.97 | 14.06986775° |
| 23 | 22:00 | 60.5 | 13.9 | 62.07624344 | 0.98 | 11.47834095° |
| 24 | 23:00 | 60.6 | 10.6 | 61.52007802 | 0.99 | 8.109614456° |
| 25 | 24:00 | 60.5 | 8.5 | 61.09418958 | 0.99 | 8.109614456° |
| Rata-rata | | 60.404 | 12.976 | 61,86293827 | 0.9816 | 10.7217287966° |

Berdasarkan dari tabel 4.8., didapatkan hasil bahwa faktor daya ($\cos \varphi$) yang terjadi pada unit 2 adalah 0.99, 0.98 dan 0.97. Faktor daya ($\cos \varphi$) maksimum yang dihasilkan adalah 0.99. Sedangkan faktor daya ($\cos \varphi$) minimum yang dihasilkan adalah 0.97. Perubahan nilai faktor daya ($\cos \varphi$) yang terjadi pada unit 2 ditunjukkan oleh gambar-gambar segitiga daya dibawah berikut:



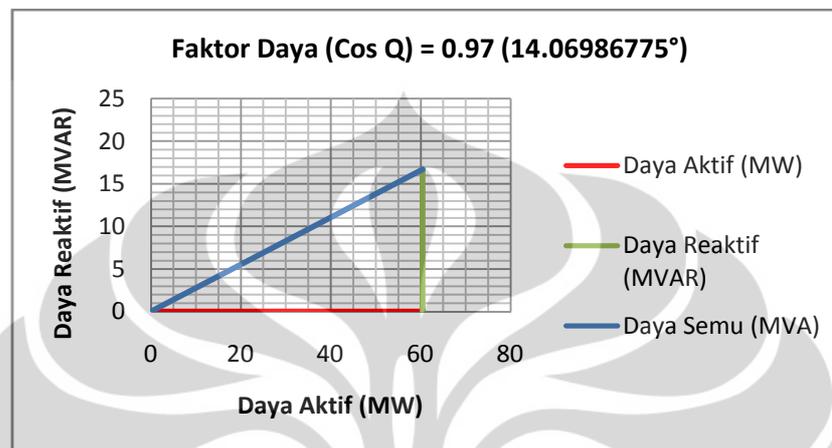
Gambar 4.17. Segitiga daya dengan $\cos \varphi = 0.99$ pada unit 2

Gambar 4.17. menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \varphi$) sebesar 0.99 terbentuk pada pukul 00:00 – 08:00 WIB dan 23:00 – 24:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \varphi = 0.99$ adalah sebesar $8.109614456^\circ \approx 8.11^\circ$.



Gambar 4.18. Segitiga daya dengan $\cos \varphi = 0.98$ pada unit 2

Gambar 4.18. menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.98 terbentuk pada pukul 09:00 WIB, 12:00 – 13:00 WIB 15:00 – 17:00 WIB dan 22:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.98$ adalah sebesar $11.47834095^\circ \approx 11.48^\circ$.



Gambar 4.19. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.97$ pada unit 2

Gambar 4.19. menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.97 terbentuk pada pukul 10:00 – 11:00 WIB, 14:00 WIB dan 18:00 – 21:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.97$ adalah sebesar $14.06986775^\circ \approx 14.07^\circ$.

Pada unit 2, nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh adalah 0.9816 (10.7217287966°). Nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang dihasilkan pada unit 2 ini adalah nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang paling tinggi (paling bagus) dibandingkan dengan nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh pada unit 1 ($0.979545455 / 11.8760337833^\circ$) dan unit 3 ($0.952173913 / 17.3236252528^\circ$). Nilai faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh pada unit 2 ini dikatakan aman karena perubahan faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi pada setiap perubahan waktu selama 24 jam dan nilai rata-ratanya masih diatas batas minimum dari faktor daya ($\cos \phi$) yang sudah ditentukan oleh pembangkit listrik, yaitu sebesar 0.8.

4.2.3 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) pada Unit 2

Data yang juga digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada unit 2 adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012. Pada pengolahan data ini, dilakukan dua macam pengolahan data juga, yaitu pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 2.

4.2.3.1 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) pada Unit 2

Pada unit 2, pengolahan data ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan arus penggiat (eksitasi) yang diberikan pada generator sebanding dengan perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan selama 24 jam. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa perubahan daya aktif (P) serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 2. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem *sorting* data atau dengan cara mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai perubahan dari daya aktif (P). Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data ini ditunjukkan oleh tabel 4.9.

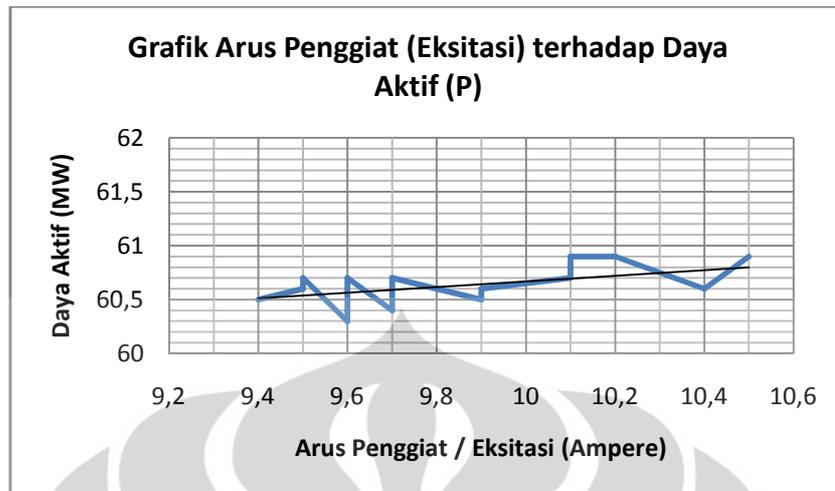
Tabel 4.9. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 2

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Cos Q | Daya Aktif (P) |
|-----|---------------|--------------------------|----------------|----------------|
| | | (Ampere) | (Power Factor) | (MW) |
| 1 | 02:00 | 9.4 | 1.00 | 60.5 |
| 2 | 06:00 | 9.4 | 1.00 | 60.5 |
| 3 | 05:00 | 9.5 | 1.00 | 60.6 |
| 4 | 04:00 | 9.5 | 1.00 | 60.7 |
| 5 | 10:00 | 9.6 | 1.00 | 60.3 |
| 6 | 11:00 | 9.6 | 1.00 | 60.4 |
| 7 | 03:00 | 9.6 | 1.00 | 60.6 |
| 8 | 12:00 | 9.6 | 1.00 | 60.6 |

| | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|-------|
| 9 | 01:00 | 9.6 | 1.00 | 60.7 |
| 10 | 08:00 | 9.7 | 1.00 | 60.4 |
| 11 | 13:00 | 9.7 | 1.00 | 60.5 |
| 12 | 00:00 | 9.7 | 1.00 | 60.6 |
| 13 | 09:00 | 9.7 | 1.00 | 60.6 |
| 14 | 07:00 | 9.7 | 1.00 | 60.7 |
| 15 | 14:00 | 9.7 | 1.00 | 60.7 |
| 16 | 15:00 | 9.8 | 1.00 | 60.6 |
| 17 | 16:00 | 9.9 | 1.00 | 60.5 |
| 18 | 17:00 | 9.9 | 1.00 | 60.6 |
| 19 | 18:00 | 10.1 | 1.00 | 60.7 |
| 20 | 23:00 | 10.1 | 1.00 | 60.8 |
| 21 | 24:00 | 10.1 | 1.00 | 60.9 |
| 22 | 22:00 | 10.2 | 0.99 | 60.9 |
| 23 | 19:00 | 10.4 | 0.99 | 60.6 |
| 24 | 20:00 | 10.4 | 0.99 | 60.6 |
| 25 | 21:00 | 10.5 | 0.99 | 60.9 |
| Rata-rata | | 9.816 | 0.9984 | 60.62 |

Dari tabel 4.9., didapatkan hasil bahwa arus penggiat (eksitasi) maksimum yang dihasilkan adalah 10.5 Ampere pada pukul 21:00 WIB dan arus penggiat (eksitasi) minimum yang dihasilkan adalah 9.4 Ampere pada pukul 02:00 dan 06:00 WIB. Sedangkan arus penggiat (eksitasi) rata-rata yang didapat adalah 9.816 Ampere. Data-data tersebut menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) yang diberikan ke generator pada unit 2 cukup untuk menimbulkan fluks yang besarnya tetap terhadap waktu.

Dari tabel 4.9., juga didapatkan hasil bahwa daya aktif (P) maksimum yang dihasilkan adalah 60.9 MW pada pukul 21:00 – 22:00 WIB dan 24:00 WIB, sedangkan daya aktif (P) minimum yang dihasilkan adalah 60.3 MW pada pukul 10:00 MW. Daya aktif (P) rata-rata yang didapat adalah 60.62 MW. Gambar 4.20. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan daya aktif (P) yang dihasilkan oleh generator pada unit 2.



Gambar 4.20. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 2

Gambar 4.20., menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator di unit 2 ini juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya aktif (P). Akan tetapi terjadi hal yang sama seperti pada unit 1, pada saat arus penggiat (eksitasi)-nya dinaikkan (diurutkan) dari 10.2 Ampere menjadi 10.4 Ampere terjadi penurunan daya aktif (P) sebesar 0.3 MW dari 60.9 MW menjadi 60.6 MW. Hal ini juga disebabkan oleh penurunan yang terjadi pada faktor daya ($\cos \varphi$) sebesar 0.01 dari 1.00 menjadi 0.99. Selain itu, penurunan daya aktif (P) bisa juga disebabkan oleh beban yang berubah-ubah pada jaringan, transduser atau juga bisa disebabkan oleh sistem dari DCS (Distributed Control System)-nya. Namun, besarnya perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 ini cukup untuk menyuplai kebutuhan beban listrik konsumen.

4.2.3.2 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Reaktif (Q) pada Unit 2

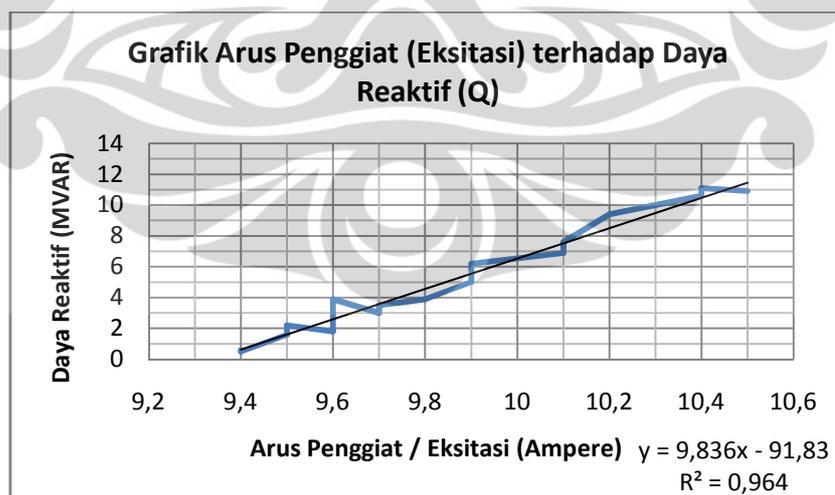
Pada unit 2, pengolahan data ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan arus penggiat (eksitasi) yang diberikan pada generator sebanding dengan perubahan daya reaktif (Q) yang dihasilkan selama 24 jam. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa perubahan daya reaktif (Q) serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 2. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem *sorting* data atau dengan cara mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai perubahan dari daya aktif (P). Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data ini ditunjukkan oleh tabel 4.10.

Tabel 4.10. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 2

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Cos Q | Daya Reaktif (Q) |
|-----|---------------|--------------------------|----------------|------------------|
| | | (Ampere) | (Power Factor) | (MVAR) |
| 1 | 06:00 | 9.4 | 1.00 | 0.5 |
| 2 | 02:00 | 9.4 | 1.00 | 0.6 |
| 3 | 04:00 | 9.5 | 1.00 | 1.6 |
| 4 | 05:00 | 9.5 | 1.00 | 2.2 |
| 5 | 01:00 | 9.6 | 1.00 | 1.8 |
| 6 | 03:00 | 9.6 | 1.00 | 1.9 |
| 7 | 12:00 | 9.6 | 1.00 | 3 |
| 8 | 10:00 | 9.6 | 1.00 | 3.8 |
| 9 | 11:00 | 9.6 | 1.00 | 3.9 |
| 10 | 08:00 | 9.7 | 1.00 | 3 |
| 11 | 13:00 | 9.7 | 1.00 | 3.2 |
| 12 | 09:00 | 9.7 | 1.00 | 3.3 |
| 13 | 14:00 | 9.7 | 1.00 | 3.3 |
| 14 | 00:00 | 9.7 | 1.00 | 3.5 |
| 15 | 07:00 | 9.7 | 1.00 | 3.5 |
| 16 | 15:00 | 9.8 | 1.00 | 3.9 |
| 17 | 16:00 | 9.9 | 1.00 | 5 |

| | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|------|
| 18 | 17:00 | 9.9 | 1.00 | 6.2 |
| 19 | 23:00 | 10.1 | 1.00 | 6.9 |
| 20 | 24:00 | 10.1 | 1.00 | 7.3 |
| 21 | 18:00 | 10.1 | 1.00 | 7.6 |
| 22 | 22:00 | 10.2 | 0.99 | 9.4 |
| 23 | 19:00 | 10.4 | 0.99 | 10.6 |
| 24 | 20:00 | 10.4 | 0.99 | 11.1 |
| 25 | 21:00 | 10.5 | 0.99 | 10.9 |
| Rata-rata | | 9.816 | 0.9984 | 4.72 |

Dari tabel 4.10., didapatkan hasil bahwa daya reaktif (Q) maksimum yang dihasilkan adalah 11.1 MVAR pada pukul 20:00 WIB dan daya reaktif (Q) minimum yang dihasilkan adalah 0.5 MVAR pada pukul 06:00 WIB. Sedangkan daya reaktif (Q) rata-rata yang didapat adalah 4.72 MVAR. Data-data tersebut menunjukkan bahwa daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 cukup untuk menyuplai kebutuhan beban induktif di pabrik-pabrik atau industri-industri. Gambar 4.21. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh generator pada unit 2.



Gambar 4.21. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 2

Gambar 4.21., juga menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator di unit 2 sangat berpengaruh terhadap perubahan daya reaktif (Q). Jika arus penggiat (eksitasi) semakin besar, maka daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh pembangkit listrik akan semakin besar pula. Hal ini membuktikan bahwa pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator berbanding lurus dengan daya reaktif (Q) yang dihasilkan pada unit 2. Contohnya adalah pada saat arus penggiat (eksitasi)-nya dinaikkan (diurutkan) dari 10.1 Ampere menjadi 10.2 Ampere terjadi kenaikan daya reaktif (P) sebesar 1.8 MVAR dari 7.6 MW menjadi 9.4 MW. Sebaliknya, faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi ketika kenaikan daya reaktif (Q) mengalami penurunan sebesar 0.01 dari 1.00 menjadi 0.99. Ini juga membuktikan bahwa daya reaktif (Q) yang semakin tinggi akan meningkatkan sudut dari faktor daya ($\cos \phi$) dan sebagai hasilnya faktor daya ($\cos \phi$) akan menjadi lebih rendah.

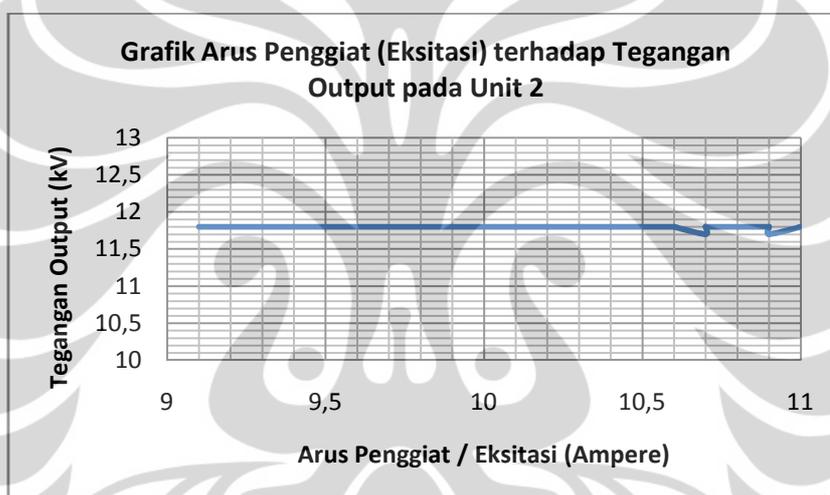
4.2.4 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Tegangan Output Generator pada Unit 2

Pada unit 2, data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat kestabilan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak. Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa tegangan output dan gambar grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 2. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem yang dengan sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data pada unit 1, yaitu sistem *sorting* data. Hasil pengolahan data yang didapat ini ditunjukkan oleh tabel 4.11.

Tabel 4.11. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 2

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Tegangan Output |
|-----------|---------------|--------------------------|-----------------|
| | | (Ampere) | (kV) |
| 1 | 08:00 | 9.1 | 11.8 |
| 2 | 09:00 | 9.1 | 11.8 |
| 3 | 03:00 | 10.1 | 11.8 |
| 4 | 07:00 | 10.1 | 11.8 |
| 5 | 24:00 | 10.1 | 11.8 |
| 6 | 02:00 | 10.2 | 11.8 |
| 7 | 04:00 | 10.2 | 11.8 |
| 8 | 01:00 | 10.3 | 11.8 |
| 9 | 05:00 | 10.3 | 11.8 |
| 10 | 00:00 | 10.4 | 11.8 |
| 11 | 06:00 | 10.4 | 11.8 |
| 12 | 23:00 | 10.4 | 11.8 |
| 13 | 12:00 | 10.6 | 11.8 |
| 14 | 13:00 | 10.6 | 11.8 |
| 15 | 17:00 | 10.6 | 11.8 |
| 16 | 22:00 | 10.7 | 11.7 |
| 17 | 15:00 | 10.7 | 11.8 |
| 18 | 16:00 | 10.7 | 11.8 |
| 19 | 14:00 | 10.8 | 11.8 |
| 20 | 10:00 | 10.9 | 11.8 |
| 21 | 11:00 | 10.9 | 11.8 |
| 22 | 21:00 | 10.9 | 11.7 |
| 23 | 18:00 | 11 | 11.8 |
| 24 | 19:00 | 11 | 11.8 |
| 25 | 20:00 | 11 | 11.8 |
| Rata-rata | | 10.444 | 11.792 |

Dari tabel 4.11., didapatkan hasil bahwa arus penggiat (eksitasi) maksimum yang diberikan ke generator pada unit 2 adalah 11 Ampere (18:00 - 20:00 WIB) dan arus penggiat (eksitasi) minimum yang diberikan ke generator pada unit 2 adalah 9.1 Ampere (08:00 dan 09:00 WIB). Sedangkan arus penggiat (eksitasi) rata-rata yang diberikan selama 24 jam ke generator pada unit 1 adalah 10.444 Ampere. Data-data tersebut menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) yang diberikan cukup untuk menstabilkan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 2. Gambar 4.22, menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 2.



Gambar 4.22. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 2

Gambar 4.22., seharusnya menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) menentukan kestabilan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 2. Akan tetapi, terjadi penurunan nilai tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 yaitu sebesar 0.1 kV dari 11.8 kV menjadi 11.7 kV (pada pukul 20:00 – 22:00 WIB). Sama halnya pada unit 1, penurunan tegangan output pada unit 2 ini juga dianggap tidak bermasalah karena masih diatas batas minimal dari tegangan output yang telah ditentukan yaitu, sebesar 11 kV.

4.2.5 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Temperatur Stator pada Unit 2

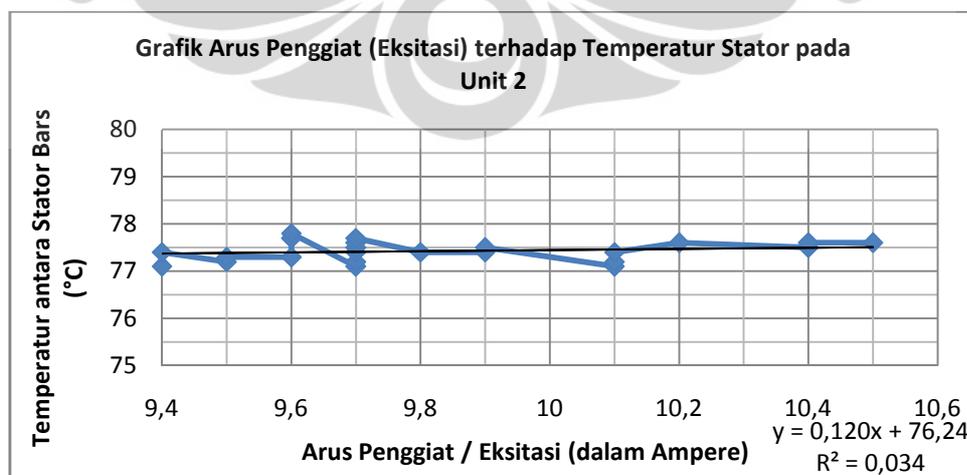
Pada unit 2, data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat hubungan atau korelasi antara perubahan arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator dan untuk mengetahui kehandalan pada unit 2 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa arus penggiat (eksitasi) dan temperatur stator serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 2. Pada unit 2, pengolahan data dilakukan dengan menggunakan sistem *sorting* data yang digunakan pada pengolahan data pada unit 1. Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data pada unit 2 ditunjukkan oleh tabel 4.12.

Tabel 4.12. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 2

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) (Ampere) | Temperatur Stator |
|-----|---------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | | Between Stator Bars T. E : 1 (°C) |
| 1 | 06:00 | 9.4 | 77.1 |
| 2 | 02:00 | 9.4 | 77.4 |
| 3 | 05:00 | 9.5 | 77.2 |
| 4 | 04:00 | 9.5 | 77.3 |
| 5 | 01:00 | 9.6 | 77.3 |
| 6 | 03:00 | 9.6 | 77.3 |
| 7 | 10:00 | 9.6 | 77.7 |
| 8 | 12:00 | 9.6 | 77.7 |
| 9 | 11:00 | 9.6 | 77.8 |
| 10 | 07:00 | 9.7 | 77.1 |
| 11 | 08:00 | 9.7 | 77.2 |
| 12 | 00:00 | 9.7 | 77.4 |
| 13 | 09:00 | 9.7 | 77.5 |
| 14 | 14:00 | 9.7 | 77.6 |
| 15 | 13:00 | 9.7 | 77.7 |

| | | | |
|-----------|-------|-------|--------|
| 16 | 15:00 | 9.8 | 77.4 |
| 17 | 16:00 | 9.9 | 77.4 |
| 18 | 17:00 | 9.9 | 77.5 |
| 19 | 24:00 | 10.1 | 77.1 |
| 20 | 23:00 | 10.1 | 77.2 |
| 21 | 18:00 | 10.1 | 77.4 |
| 22 | 22:00 | 10.2 | 77.6 |
| 23 | 19:00 | 10.4 | 77.5 |
| 24 | 20:00 | 10.4 | 77.6 |
| 25 | 21:00 | 10.5 | 77.6 |
| Rata-rata | | 9.816 | 77.424 |

Dari tabel 4.12., didapatkan hasil bahwa temperatur stator maksimum yang dihasilkan adalah 77.6 °C pada pukul 20:00 – 22:00 WIB dan temperatur stator minimum yang dihasilkan adalah 77.1 °C pada pukul 06:00 – 07:00 WIB dan 24:00 WIB. Sedangkan temperatur stator rata-rata yang dihasilkan 77.424 °C. Pada unit 2, data-data tersebut menunjukkan bahwa temperatur stator yang dihasilkan diantara stator bars di generator masih dikatakan aman, karena besarnya tidak melampaui dari batas yang sudah ditentukan oleh pembangkit listrik, yaitu 120 °C. Gambar 4.23. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan tegangan stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 2.



Gambar 4.23. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 2

Gambar 4.23., menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) sangat berpengaruh terhadap perubahan temperatur stator. Jika arus penggiat (eksitasi) semakin besar, maka temperatur stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 akan semakin besar pula.

Dari gambar 4.23., juga didapat sebuah persamaan linier antara arus penggiat (eksitasi) dengan temperatur pada stator, yaitu:

$$y = 0.120x + 76.24 \quad (4.3)$$

dimana;

y = temperatur stator (°C)

x = arus penggiat / eksitasi (Ampere)

Dari persamaan (4.3) dapat ditentukan besarnya temperatur stator yang dihasilkan apabila pada generator di unit 2 diberikan arus penggiat (eksitasi) sebesar 1 Ampere.

$$y = 0.120(1) + 76.24$$

$$y = 0.120 + 76.24$$

$$y = 76.36 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pada unit 2, jika generator diberikan arus penggiat (eksitasi) sebesar 1 Ampere, maka temperatur stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 sebesar 76.36 °C.

4.3 Pengolahan dan Analisa Data Operasi Generator pada Unit 3

Sama halnya dengan data operasi generator pada unit 1 dan 2, data operasi generator yang digunakan untuk pengolahan data pada unit 3 adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012 dan 21 April 2012. Pengolahan data operasi generator pada unit 3 ini terdiri dari 5 bagian, yaitu data daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap waktu, data faktor daya ($\cos \phi$), data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), data arus

penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output dari generator dan data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator. Berikut ini adalah penjelasan untuk masing-masing pengolahan data di atas.

4.3.1 Data Daya Aktif (P), Daya Reaktif (Q) dan Daya Semu (S) terhadap Waktu pada Unit 3

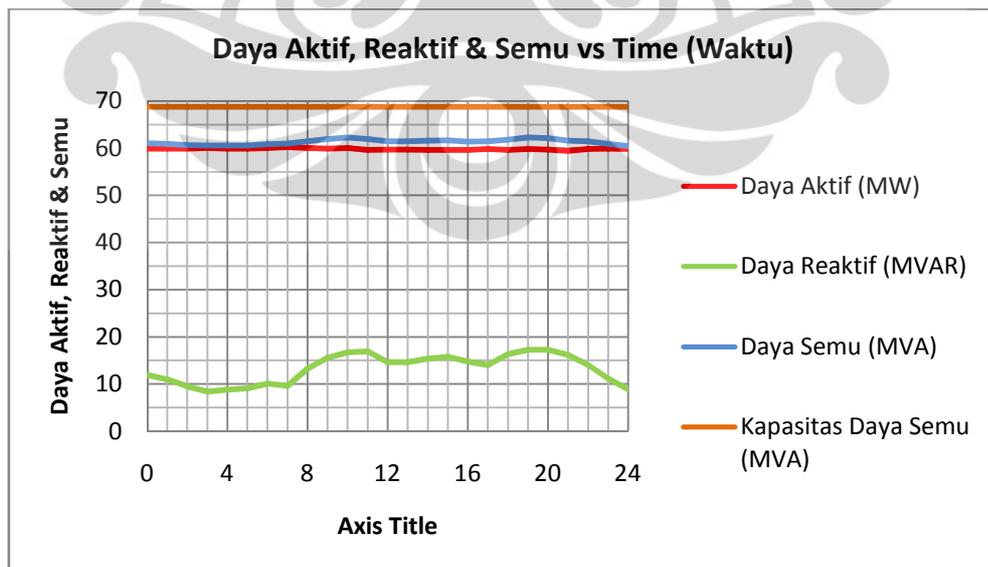
Sama halnya pada unit 1 dan 2, data yang juga digunakan untuk pengolahan data daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya Semu (S) pada unit 3 adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini juga dilakukan untuk melihat besarnya nilai perubahan daya semu (S) dari masing-masing perubahan waktu yang terjadi pada unit 3 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa daya semu (S) yang dihasilkan oleh generator pada unit 3 saat terjadi perubahan waktu selama 24 jam. Hasil pengolahan data pada unit 3 yang didapat dari perhitungan dengan menggunakan persamaan 4.1 ditunjukkan oleh tabel 4.13.

Tabel 4.13. Hasil perhitungan daya semu (S) yang dihasilkan oleh daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada unit 3

| No. | Time (Jam) | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | Daya Semu (S) |
|-----|---------------|----------------|------------------|---------------|
| | | (MW) | (MVAR) | (MVA) |
| 1 | 00:00 | 59.9 | 11.9 | 61.07061487 |
| 2 | 01:00 | 59.9 | 11 | 60.90164201 |
| 3 | 02:00 | 59.9 | 9.5 | 60.64866033 |
| 4 | 03:00 | 60 | 8.4 | 60.58514669 |
| 5 | 04:00 | 59.9 | 8.8 | 60.54295995 |
| 6 | 05:00 | 59.9 | 9.1 | 60.5872924 |
| 7 | 06:00 | 60 | 10.1 | 60.84414516 |
| 8 | 07:00 | 60.2 | 9.6 | 60.96064304 |
| 9 | 08:00 | 60 | 13.3 | 61.45640731 |
| 10 | 09:00 | 59.9 | 15.6 | 61.89806136 |
| 11 | 10:00 | 60 | 16.7 | 62.28073538 |

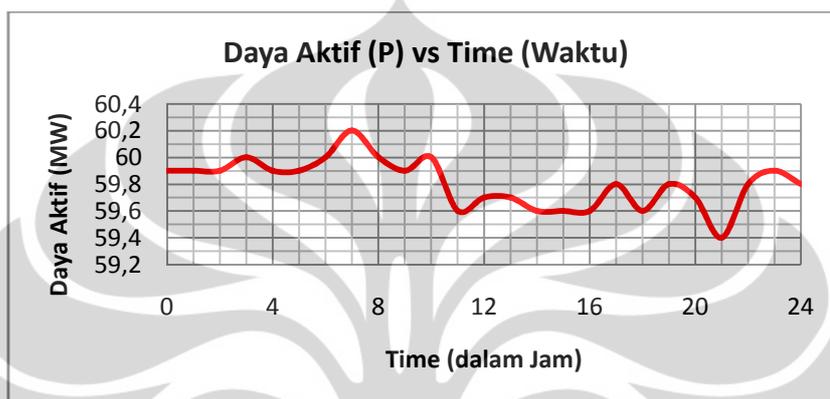
| | | | | |
|-----------|-------|--------|--------|-------------|
| 12 | 11:00 | 59.6 | 16.9 | 61.94973769 |
| 13 | 12:00 | 59.7 | 14.6 | 61.45933615 |
| 14 | 13:00 | 59.7 | 14.6 | 61.45933615 |
| 15 | 14:00 | 59.6 | 15.4 | 61.55745284 |
| 16 | 15:00 | 59.6 | 15.8 | 61.65873823 |
| 17 | 16:00 | 59.6 | 14.8 | 61.41009689 |
| 18 | 17:00 | 59.8 | 14 | 61.41693578 |
| 19 | 18:00 | 59.6 | 16.3 | 61.78875302 |
| 20 | 19:00 | 59.8 | 17.3 | 62.25214856 |
| 21 | 20:00 | 59.7 | 17.3 | 62.15609383 |
| 22 | 21:00 | 59.4 | 16.2 | 61.56947296 |
| 23 | 22:00 | 59.8 | 14.1 | 61.43980794 |
| 24 | 23:00 | 59.9 | 11.2 | 60.93808333 |
| 25 | 24:00 | 59.8 | 8.9 | 60.45866356 |
| Rata-rata | | 59.808 | 13.256 | 61.33163862 |

Dari tabel 4.13., dibuat grafik hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap perubahan waktu yang dihasilkan oleh generator pada unit 3.



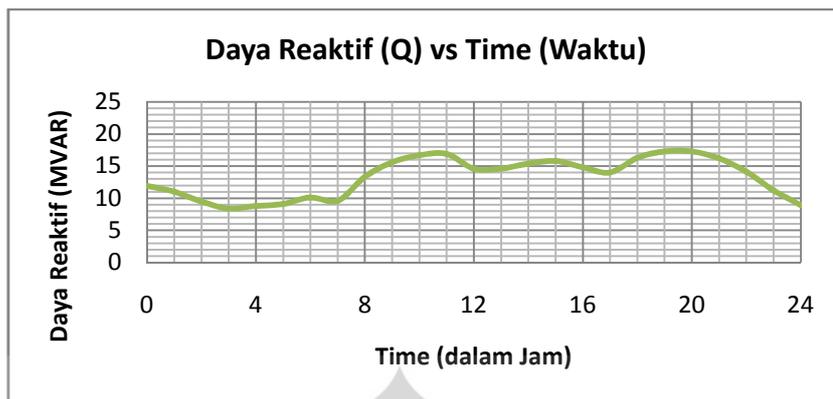
Gambar 4.24. Grafik hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap waktu pada unit 3

Sama hal pada unit 3, pada gambar 4.24. menunjukkan bahwa perubahan waktu (selama 24 jam) juga sangat berpengaruh terhadap daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) yang dihasilkan oleh operasi generator. Untuk melihat perubahan grafik secara jelasnya dari masing-masing daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) terhadap perubahan waktu pada unit 3 dapat dilihat pada grafik-grafik di bawah ini.



Gambar 4.25. Grafik hubungan antara daya aktif (P) terhadap waktu pada unit 3

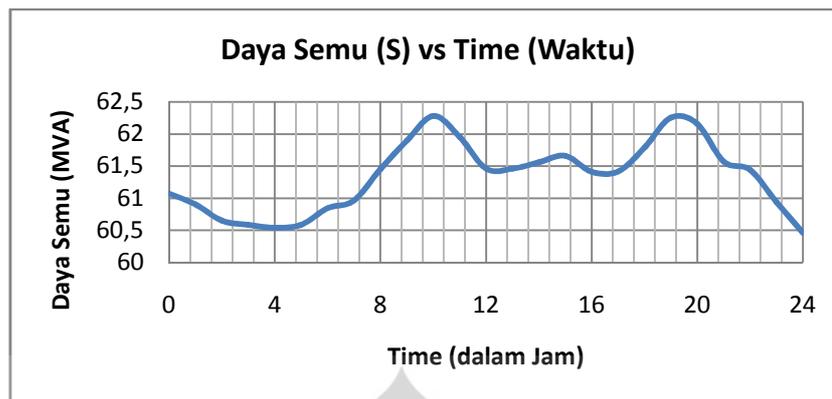
Dari gambar 4.25., terlihat bahwa perubahan waktu juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 3. Daya aktif (P) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 60.2 MW pada pukul 07:00 WIB. Ini menunjukkan bahwa daya aktif (P) maksimum yang terjadi pada pukul 07:00 WIB ini merupakan nilai daya listrik tertinggi yang dibutuhkan oleh beban (beban puncak harian) yang terjadi selama 24 jam. Sedangkan daya aktif (P) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 59.4 MW pada pukul 21:00 WIB. Ini menunjukkan bahwa pemakaian daya listrik pada pukul 21:00 WIB di unit 3 ini adalah pemakaian yang paling terendah selama 24 jam. Pada unit 3, nilai daya aktif (P) rata-rata yang diperoleh adalah sebesar 59.808 MW.



Gambar 4.26. Grafik hubungan antara daya reaktif (Q) terhadap waktu pada unit 3

Dari gambar 4.26., terlihat bahwa perubahan waktu juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya reaktif (Q) yang dihasilkan pada operasi generator di unit 3. Nilai daya reaktif (Q) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 17.3 MVAR pada pukul 19:00 WIB. Ini menunjukkan bahwa nilai daya reaktif (Q) maksimum yang terjadi pada pukul 19:00 WIB merupakan beban induktif yang paling tertinggi yang terjadi selama 24 jam. Sedangkan daya reaktif (Q) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 8.4 MVAR pada pukul 03:00 WIB. Pemakaian daya reaktif (Q) pada pukul 03:00 WIB ini merupakan pemakaian daya reaktif (Q) yang paling terendah selama 24 jam.

Pada unit 3, nilai daya reaktif (Q) rata-rata yang diperoleh adalah sebesar 13.256 MVAR. Nilai rata-rata daya reaktif (Q) yang dihasilkan pada unit 3 ini adalah nilai rata-rata daya reaktif (Q) yang paling besar dibandingkan dengan nilai rata-rata daya reaktif (Q) yang diperoleh pada unit 1 (12.452 MVAR) dan unit 2 (12.976 MVAR). Sebenarnya daya reaktif (Q) ini tidak memiliki dampak apapun dalam kerja suatu beban listrik, dengan kata lain daya reaktif (Q) ini tidak terlampau berguna bagi konsumen listrik rumah tangga. Akan tetapi, untuk konsumen industri PLN dikenakan biaya tambahan berupa biaya beban reaktif tadi.



Gambar 4.27. Grafik hubungan antara daya semu (S) terhadap waktu pada unit 3

Dari gambar 4.27., terlihat bahwa perubahan waktu pada unit 3 juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya semu (S) yang dihasilkan pada operasi generator. Daya semu (S) maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 62.28073538 MVA pada pukul 10:00 WIB dan daya semu (S) minimum yang dihasilkan adalah sebesar 60.45866356 MVA pada pukul 24:00 WIB. Sedangkan untuk nilai daya semu (S) rata-rata yang diperoleh pada unit 3 adalah sebesar 61.33163862 MVA. Data-data tersebut menunjukkan bahwa daya semu (S) yang dihasilkan oleh generator pada unit 2 tidak melebihi dari batas kapasitas daya semu (S) yang sudah ditentukan, yaitu sebesar 68.75 MVA.

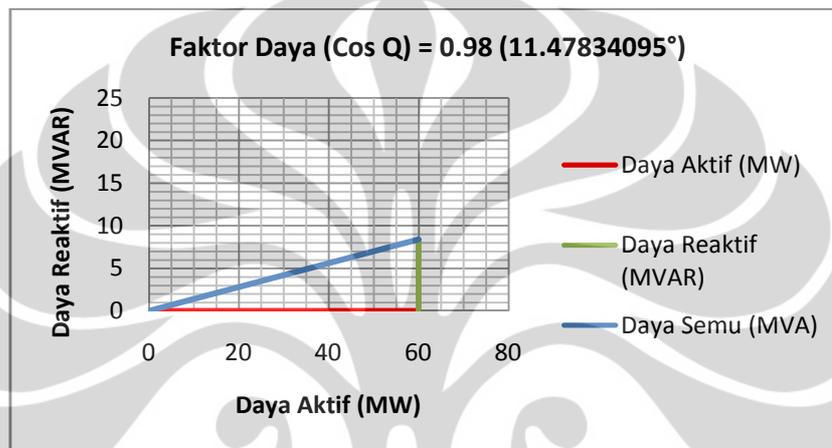
4.3.2 Data Faktor Daya ($\cos \phi$) pada Unit 3

Sama halnya pada unit 1 dan 2, data yang juga digunakan untuk pengolahan data faktor daya ($\cos \phi$) pada unit 3 adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini juga dilakukan untuk melihat efisiensi jaringan pada unit 3 dalam menyalurkan daya listrik yang bisa dimanfaatkan oleh konsumen selama 24 jam. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa ϕ (phi atau sudut antara daya aktif dengan daya semu) dan gambar segitiga daya yang dihasilkan dari hubungan ketiga daya (daya aktif, daya reaktif dan daya semu) untuk masing-masing perubahan waktu selama 24 jam. Hasil pengolahan data yang didapat pada unit 3 ditunjukkan oleh tabel 4.14.

Tabel 4.14. Data faktor daya ($\cos \phi$) pada unit 3

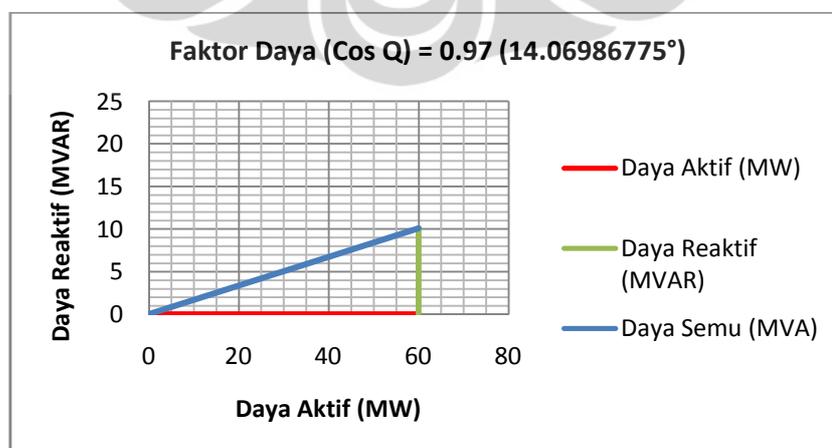
| Data Operasi pada Unit 3 | | | | | | |
|--------------------------|---------------|----------------|------------------|---------------|----------------|------------------|
| No. | Time (Jam) | Daya Aktif (P) | Daya Reaktif (Q) | Daya Semu (S) | Cos Q | Sudut (ϕ) |
| | | (MW) | (MVAR) | (MVA) | (Power Factor) | |
| 1 | 00:00 | 59.9 | 11.9 | 61.07061487 | 0.96 | 16.26020471° |
| 2 | 01:00 | 59.9 | 11 | 60.90164201 | 0.97 | 14.06986775° |
| 3 | 02:00 | 59.9 | 9.5 | 60.64866033 | 0.98 | 11.47834095° |
| 4 | 03:00 | 60 | 8.4 | 60.58514669 | 0.98 | 11.47834095° |
| 5 | 04:00 | 59.9 | 8.8 | 60.54295995 | 0.98 | 11.47834095° |
| 6 | 05:00 | 59.9 | 9.1 | 60.5872924 | 0.98 | 11.47834095° |
| 7 | 06:00 | 60 | 10.1 | 60.84414516 | 0.97 | 14.06986775° |
| 8 | 07:00 | 60.2 | 9.6 | 60.96064304 | 0.98 | 11.47834095° |
| 9 | 08:00 | 60 | 13.3 | 61.45640731 | 0.96 | 16.26020471° |
| 10 | 09:00 | 59.9 | 15.6 | 61.89806136 | 0.94 | 19.94844359° |
| 11 | 10:00 | 60 | 16.7 | 62.28073538 | 0.93 | 21.56518502° |
| 12 | 11:00 | 59.6 | 16.9 | 61.94973769 | 0.92 | 23.07391807° |
| 13 | 12:00 | 59.7 | 14.6 | 61.45933615 | 0.95 | 18.19487233° |
| 14 | 13:00 | 59.7 | 14.6 | 61.45933615 | 0.95 | 18.19487233° |
| 15 | 14:00 | 59.6 | 15.4 | 61.55745284 | 0.95 | 18.19487233° |
| 16 | 15:00 | 59.6 | 15.8 | 61.65873823 | 0.94 | 19.94844359° |
| 17 | 16:00 | 59.6 | 14.8 | 61.41009689 | 0.94 | 19.94844359° |
| 18 | 17:00 | 59.8 | 14 | 61.41693578 | 0.95 | 18.19487233° |
| 19 | 18:00 | 59.6 | 16.3 | 61.78875302 | 0.93 | 21.56518502° |
| 20 | 19:00 | 59.8 | 17.3 | 62.25214856 | 0.92 | 23.07391807° |
| 21 | 20:00 | 59.7 | 17.3 | 62.15609383 | 0.92 | 23.07391807° |
| 22 | 21:00 | 59.4 | 16.2 | 61.56947296 | 0.93 | 21.56518502° |
| 23 | 22:00 | 59.8 | 14.1 | 61.43980794 | 0.94 | 19.94844359° |
| 24 | 23:00 | 59.9 | 11.2 | 60.93808333 | 0.97 | 14.06986775° |
| 25 | 24:00 | 59.8 | 8.9 | 60.45866356 | 0.98 | 11.47834095° |
| Rata-rata | | 59.808 | 13.256 | 61.33163862 | 0.952173913 | 17.3236252528° |

Berdasarkan dari tabel 4.14., didapatkan hasil bahwa faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi pada unit 3 lebih bervariasi dibandingkan dengan faktor daya ($\cos \phi$) pada unit 1 (0.99, 0.98, 0.97 dan 0.96) dan 2 (0.99, 0.98 dan 0.97), yaitu 0.98, 0.97, 0.96, 0.95, 0.94, 0.93, dan 0.92. Faktor daya ($\cos \phi$) maksimum yang dihasilkan adalah 0.98. Sedangkan faktor daya ($\cos \phi$) minimum yang dihasilkan adalah 0.92. Perubahan nilai faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi pada unit 3 ditunjukkan oleh gambar-gambar segitiga daya dibawah berikut:



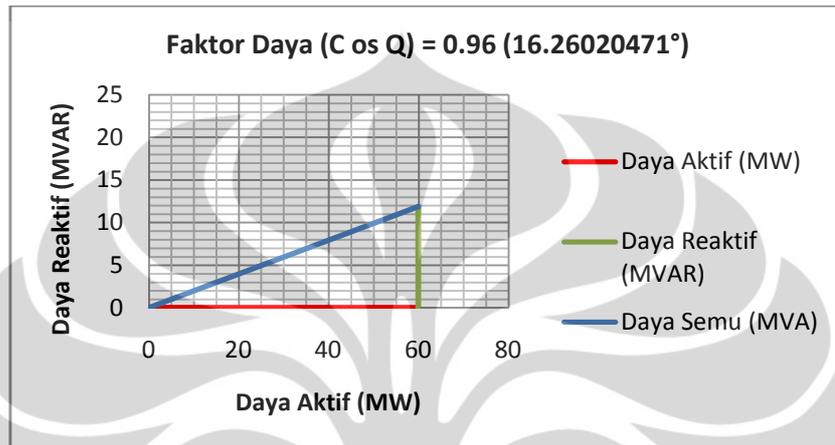
Gambar 4.28. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.98$ pada unit 3

Gambar 4.28., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.98 terbentuk pada pukul 09:00 WIB, 02:00 – 05:00 WIB, 07:00 WIB dan 24:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.98$ adalah sebesar $11.47834095^\circ \approx 11.48^\circ$.



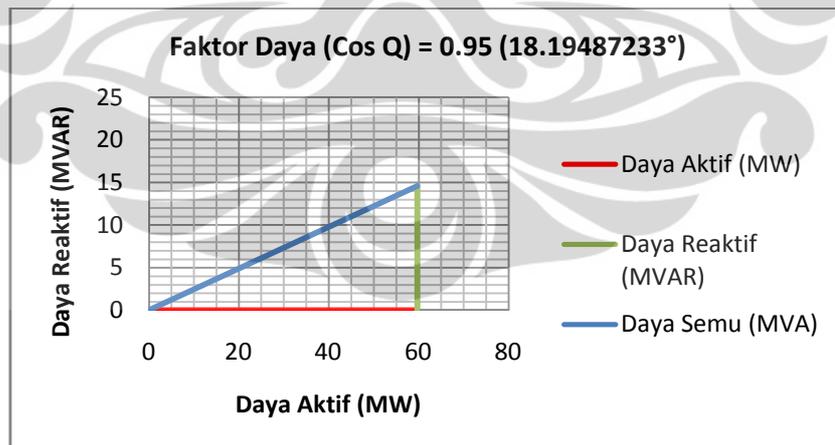
Gambar 4.29. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.97$ pada unit 3

Gambar 4.29., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.97 terbentuk pada pukul 01:00 WIB, 06:00 WIB dan 23:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.97$ adalah sebesar $14.06986775^\circ \approx 14.07^\circ$.



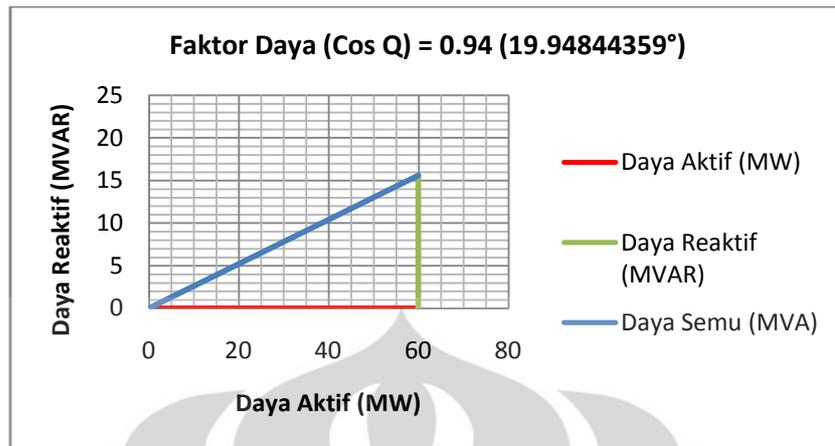
Gambar 4.30. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.96$ pada unit 3

Gambar 4.30., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.96 terbentuk pada pukul 00:00 dan 08:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.96$ adalah sebesar $16.26020471^\circ \approx 16.26^\circ$.



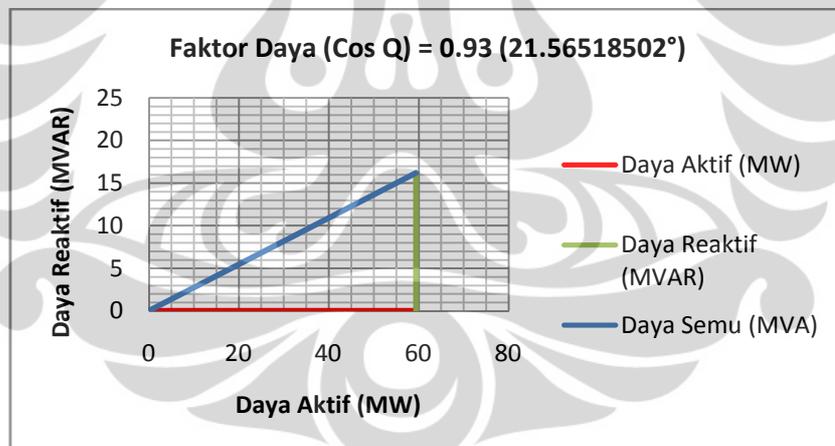
Gambar 4.31. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.95$ pada unit 3

Gambar 4.31., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.95 terbentuk pada pukul 12:00 – 14:00 WIB dan 17:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.95$ adalah sebesar $18.19487233^\circ \approx 18.2^\circ$.



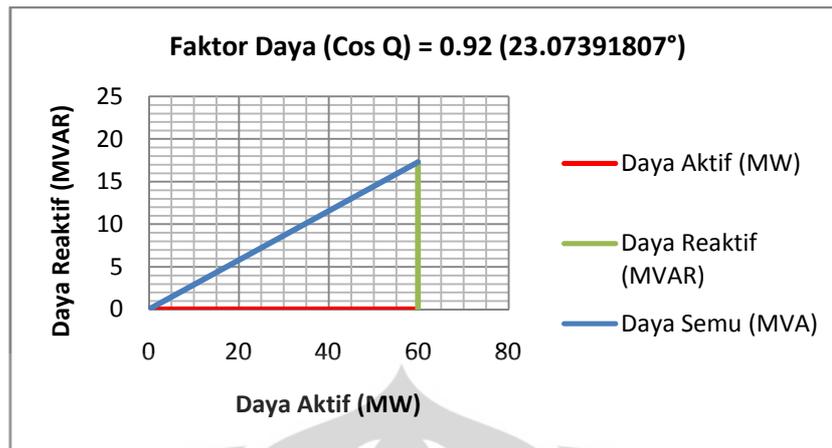
Gambar 4.32. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.94$ pada unit 3

Gambar 4.32., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.94 terbentuk pada pukul 09:00 WIB, 15:00 – 16:00 WIB dan 22:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.94$ adalah sebesar $19.94844359^\circ \approx 19.95^\circ$.



Gambar 4.33. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.93$ pada unit 3

Gambar 4.33., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.93 terbentuk pada pukul 10:00 WIB, 18:00 WIB dan 21:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.93$ adalah sebesar $21.56518502^\circ \approx 21.56^\circ$.



Gambar 4.34. Segitiga daya dengan $\cos \phi = 0.92$ pada unit 3

Gambar 4.34., menunjukkan bahwa segitiga daya dengan faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.92 terbentuk pada pukul 11:00 WIB dan 19:00 – 20:00 WIB. Sudut yang dibentuk dengan besar $\cos \phi = 0.92$ adalah sebesar $23.07391807^\circ \approx 23.07^\circ$.

Pada unit 3, nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh adalah sebesar 0.952173913 (17.3236252528°). Nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang dihasilkan pada unit 3 ini adalah nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang paling rendah dibandingkan dengan nilai rata-rata faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh pada unit 1 (0.979545455 / 11.8760337833°) dan unit 2 (0.9816 / 10.7217287966°). Akan tetapi, nilai faktor daya ($\cos \phi$) yang diperoleh pada unit 3 ini masih juga dikatakan aman karena perubahan faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi pada setiap perubahan waktu selama 24 jam dan nilai rata-ratanya masih diatas batas minimum dari faktor daya ($\cos \phi$) yang sudah ditentukan oleh pembangkit listrik, yaitu sebesar 0.8.

4.3.3 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) pada Unit 3

Sama halnya pada unit 1 dan 2, data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada unit 3 adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012. Pada pengolahan data ini, dilakukan dua macam pengolahan data juga, yaitu pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) dan pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 3.

4.3.3.1 Data Arus Eksitasi terhadap Daya Aktif (P) pada Unit 3

Pada unit 3, pengolahan data ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan arus penggiat (eksitasi) yang diberikan pada generator sebanding dengan perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan selama 24 jam. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa perubahan daya aktif (P) serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 3. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem *sorting* data atau dengan cara mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai perubahan dari daya aktif (P). Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data ini ditunjukkan oleh tabel 4.15.

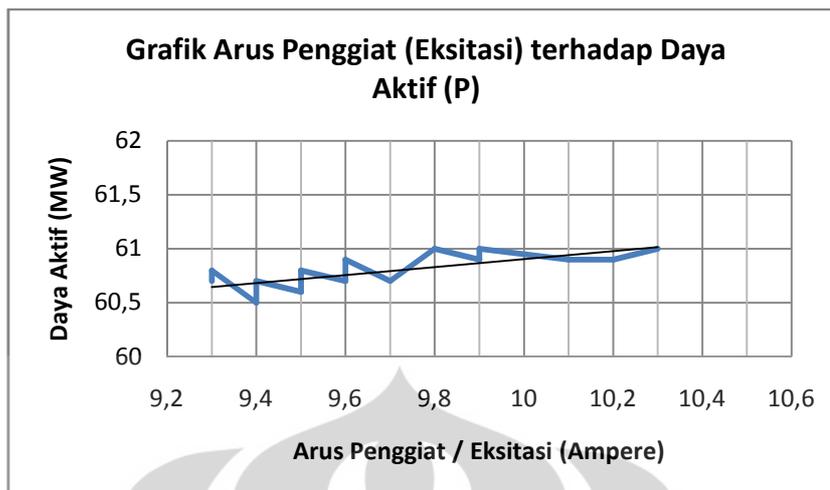
Tabel 4.15. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 3

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Cos Q | Daya Aktif (P) |
|-----|---------------|--------------------------|----------------|----------------|
| | | (Ampere) | (Power Factor) | (MW) |
| 1 | 02:00 | 9.3 | 1.00 | 60.7 |
| 2 | 06:00 | 9.3 | 1.00 | 60.8 |
| 3 | 00:00 | 9.4 | 1.00 | 60.5 |
| 4 | 01:00 | 9.4 | 1.00 | 60.7 |
| 5 | 08:00 | 9.5 | 1.00 | 60.6 |
| 6 | 10:00 | 9.5 | 1.00 | 60.6 |
| 7 | 11:00 | 9.5 | 1.00 | 60.6 |
| 8 | 03:00 | 9.5 | 1.00 | 60.7 |
| 9 | 12:00 | 9.5 | 1.00 | 60.7 |
| 10 | 04:00 | 9.5 | 1.00 | 60.8 |
| 11 | 05:00 | 9.5 | 1.00 | 60.8 |
| 12 | 07:00 | 9.6 | 1.00 | 60.7 |
| 13 | 09:00 | 9.6 | 1.00 | 60.7 |
| 14 | 13:00 | 9.6 | 1.00 | 60.7 |
| 15 | 16:00 | 9.6 | 1.00 | 60.7 |

| | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|--------|
| 16 | 14:00 | 9.6 | 1.00 | 60.9 |
| 17 | 15:00 | 9.6 | 1.00 | 60.9 |
| 18 | 17:00 | 9.7 | 0.99 | 60.7 |
| 19 | 23:00 | 9.8 | 0.99 | 61 |
| 20 | 18:00 | 9.9 | 0.99 | 60.9 |
| 21 | 22:00 | 9.9 | 0.99 | 60.9 |
| 22 | 24:00 | 9.9 | 0.99 | 61 |
| 23 | 20:00 | 10.1 | 0.98 | 60.9 |
| 24 | 19:00 | 10.2 | 0.98 | 60.9 |
| 25 | 21:00 | 10.3 | 0.98 | 61 |
| Rata-rata | | 9.652 | 0.9956 | 60.776 |

Dari tabel 4.15., didapatkan hasil bahwa arus penggiat (eksitasi) maksimum yang dihasilkan adalah 10.3 Ampere pada pukul 21:00 WIB dan arus penggiat (eksitasi) minimum yang dihasilkan adalah 9.3 Ampere pada pukul 02:00 dan 06:00 WIB. Sedangkan arus penggiat (eksitasi) rata-rata yang didapat adalah 9.652 Ampere. Data-data tersebut menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) yang diberikan ke generator pada unit 3 cukup untuk menimbulkan fluks yang besarnya tetap terhadap waktu.

Dari tabel 4.15 juga didapatkan hasil bahwa daya aktif (P) maksimum yang dihasilkan adalah 61 MW pada pukul 21:00 WIB dan 23:00 - 24:00 WIB, sedangkan daya aktif (P) minimum yang dihasilkan adalah 60.5 MW pada pukul 00:00 MW. Daya aktif (P) rata-rata yang didapat adalah 60.776 MW. Gambar 4.35. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan daya aktif (P) yang dihasilkan oleh generator pada unit 3.



Gambar 4.35. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya aktif (P) pada unit 3

Gambar 4.35., menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator di unit 3 ini juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya aktif (P). Seperti pada unit 1 dan 2, perubahan berupa penurunan daya aktif (P) pun juga terjadi pada unit 3, pada saat arus penggiat (eksitasi)-nya dinaikkan (diurutkan) dari 9.6 Ampere menjadi 9.7 Ampere. Besarnya penurunan daya aktif (P) adalah 0.2 MW dari 60.9 MW menjadi 60.7 MW. Selain itu, penurunan daya aktif (P) juga terjadi sebesar 0.1 MW dari 61 MW menjadi 60.9 MW pada saat arus penggiat (eksitasi)-nya kembali dinaikkan (diurutkan) dari 9.9 Ampere menjadi 10.1 Ampere. Hal ini juga disebabkan oleh penurunan yang terjadi pada faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 0.01 dari 1.00 menjadi 0.99 dan 0.99 menjadi 0.98. Selain itu, penurunan daya aktif (P) bisa juga disebabkan oleh beban yang berubah-ubah pada jaringan, transduser atau juga bisa disebabkan oleh sistem dari DCS (Distributed Control System)-nya. Namun, besarnya perubahan daya aktif (P) yang dihasilkan oleh generator pada unit 3 ini cukup untuk menyuplai kebutuhan beban listrik konsumen.

4.3.3.2 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Daya Reaktif (Q) pada Unit 3

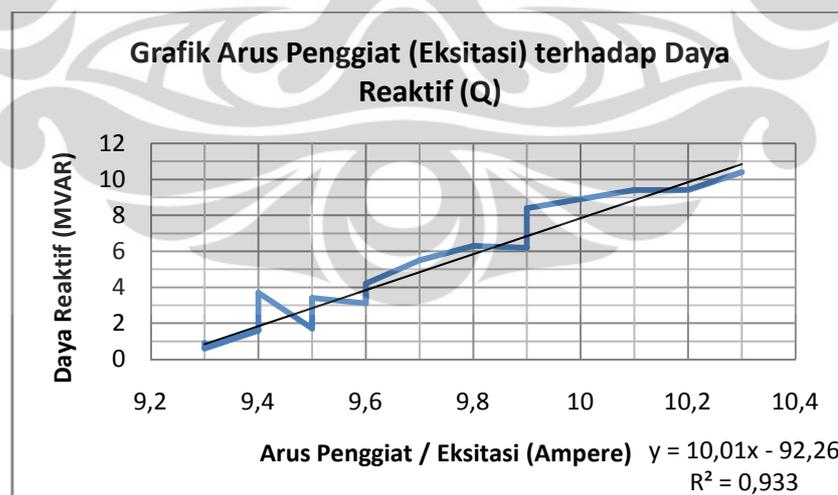
Pada unit 3, pengolahan data ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan arus penggiat (eksitasi) yang diberikan pada generator sebanding dengan perubahan daya reaktif (Q) yang dihasilkan selama 24 jam. Dari pengolahan data ini juga, diperoleh data berupa perubahan daya reaktif (Q) serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 3. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem *sorting* data atau dengan cara mengurutkan nilai arus penggiat (eksitasi) dari yang terkecil sampai yang terbesar sehingga akan terlihat nilai perubahan dari daya reaktif (Q). Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data ini ditunjukkan oleh tabel 4.16.

Tabel 4.16. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 3

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Cos Q | Daya Reaktif (Q) |
|-----|---------------|--------------------------|----------------|------------------|
| | | (Ampere) | (Power Factor) | (MVAR) |
| 1 | 06:00 | 9.3 | 1.00 | 0.6 |
| 2 | 02:00 | 9.3 | 1.00 | 0.9 |
| 3 | 01:00 | 9.4 | 1.00 | 1.6 |
| 4 | 00:00 | 9.4 | 1.00 | 3.7 |
| 5 | 04:00 | 9.5 | 1.00 | 1.7 |
| 6 | 05:00 | 9.5 | 1.00 | 2.1 |
| 7 | 03:00 | 9.5 | 1.00 | 2.2 |
| 8 | 08:00 | 9.5 | 1.00 | 2.8 |
| 9 | 12:00 | 9.5 | 1.00 | 3.1 |
| 10 | 10:00 | 9.5 | 1.00 | 3.3 |
| 11 | 11:00 | 9.5 | 1.00 | 3.4 |
| 12 | 14:00 | 9.6 | 1.00 | 3.1 |
| 13 | 07:00 | 9.6 | 1.00 | 3.3 |
| 14 | 09:00 | 9.6 | 1.00 | 3.4 |
| 15 | 13:00 | 9.6 | 1.00 | 3.5 |
| 16 | 15:00 | 9.6 | 1.00 | 3.6 |
| 17 | 16:00 | 9.6 | 1.00 | 4.2 |

| | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|------|
| 18 | 17:00 | 9.7 | 0.99 | 5.5 |
| 19 | 23:00 | 9.8 | 0.99 | 6.3 |
| 20 | 24:00 | 9.9 | 0.99 | 6.2 |
| 21 | 18:00 | 9.9 | 0.99 | 6.9 |
| 22 | 22:00 | 9.9 | 0.99 | 8.4 |
| 23 | 20:00 | 10.1 | 0.98 | 9.4 |
| 24 | 19:00 | 10.2 | 0.98 | 9.4 |
| 25 | 21:00 | 10.3 | 0.98 | 10.4 |
| Rata-rata | | 9.652 | 0.9956 | 4.36 |

Dari tabel 4.16., didapatkan hasil bahwa daya reaktif (Q) maksimum yang dihasilkan adalah 10.4 MVAR pada pukul 21:00 WIB dan daya reaktif (Q) minimum yang dihasilkan adalah 0.6 MVAR pada pukul 06:00 WIB. Sedangkan daya reaktif (Q) rata-rata yang didapat adalah 4.36 MVAR. Data-data tersebut menunjukkan bahwa daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh generator pada unit 3 cukup untuk menyuplai kebutuhan beban induktif di pabrik-pabrik atau industri-industri. Gambar 4.36. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh generator pada unit 3.



Gambar 4.36. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap daya reaktif (Q) pada unit 3

Gambar 4.36., menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator di unit 3 juga sangat berpengaruh terhadap perubahan daya reaktif (Q). Jika arus penggiat (eksitasi) semakin besar, maka daya reaktif (Q) yang dihasilkan oleh pembangkit listrik akan semakin besar pula. Hal ini membuktikan bahwa pemberian arus penggiat (eksitasi) ke generator berbanding lurus dengan daya reaktif (Q) yang dihasilkan pada unit 3. Contohnya adalah pada saat arus penggiat (eksitasi)-nya dinaikkan (diurutkan) dari 9.9 Ampere menjadi 10.1 Ampere terjadi kenaikan daya reaktif (P) sebesar 1.0 MVAR dari 8.4 MW menjadi 9.4 MW. Sebaliknya, faktor daya ($\cos \phi$) yang terjadi ketika kenaikan daya reaktif (Q) mengalami penurunan sebesar 0.01 dari 0.99 menjadi 0.98. Ini juga membuktikan bahwa daya reaktif (Q) yang semakin tinggi akan meningkatkan sudut dari faktor daya ($\cos \phi$) dan sebagai hasilnya faktor daya ($\cos \phi$) akan menjadi lebih rendah.

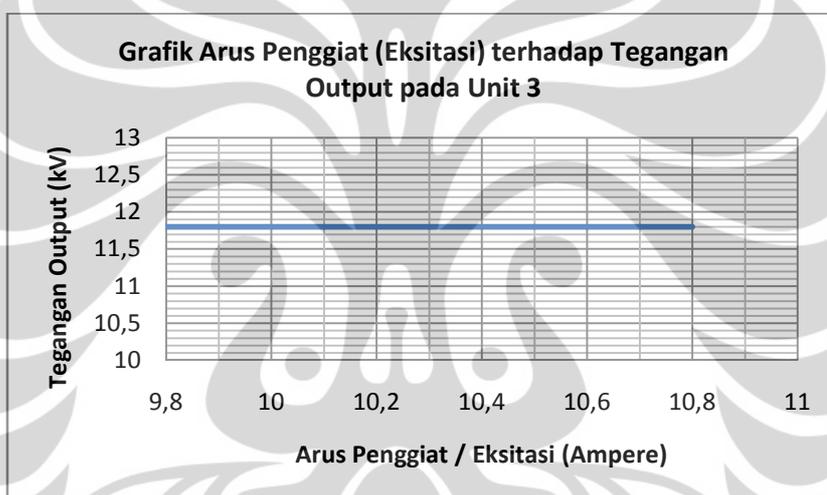
4.3.4 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Tegangan Output Generator pada Unit 3

Sama halnya pada unit 1 dan 2, data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 3 ini adalah data operasi generator pada tanggal 21 April 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat kestabilan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 3 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak. Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa tegangan output dan gambar grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 2. Sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah sistem yang dengan sistem pengolahan data yang digunakan pada pengolahan data pada unit 1 dan 2, yaitu sistem *sorting* data. Hasil pengolahan data yang didapat ini ditunjukkan oleh tabel 4.17.

Tabel 4.17. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 3

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Tegangan Output |
|-----------|---------------|--------------------------|-----------------|
| | | (Ampere) | (kV) |
| 1 | 03:00 | 9.8 | 11.8 |
| 2 | 07:00 | 9.8 | 11.8 |
| 3 | 24:00 | 9.8 | 11.8 |
| 4 | 02:00 | 9.9 | 11.8 |
| 5 | 04:00 | 9.9 | 11.8 |
| 6 | 05:00 | 9.9 | 11.8 |
| 7 | 06:00 | 10 | 11.8 |
| 8 | 01:00 | 10.1 | 11.8 |
| 9 | 23:00 | 10.1 | 11.8 |
| 10 | 00:00 | 10.2 | 11.8 |
| 11 | 08:00 | 10.3 | 11.8 |
| 12 | 12:00 | 10.4 | 11.8 |
| 13 | 13:00 | 10.4 | 11.8 |
| 14 | 17:00 | 10.4 | 11.8 |
| 15 | 22:00 | 10.4 | 11.8 |
| 16 | 09:00 | 10.5 | 11.8 |
| 17 | 15:00 | 10.5 | 11.8 |
| 18 | 16:00 | 10.5 | 11.8 |
| 19 | 21:00 | 10.5 | 11.8 |
| 20 | 14:00 | 10.6 | 11.8 |
| 21 | 18:00 | 10.6 | 11.8 |
| 22 | 10:00 | 10.7 | 11.8 |
| 23 | 11:00 | 10.7 | 11.8 |
| 24 | 20:00 | 10.7 | 11.8 |
| 25 | 19:00 | 10.8 | 11.8 |
| Rata-rata | | 10.3 | 11.8 |

Dari tabel 4.17., didapatkan hasil bahwa arus penggiat (eksitasi) maksimum yang diberikan ke generator pada unit 3 adalah 10.8 Ampere (19:00 WIB) dan arus penggiat (eksitasi) minimum yang diberikan ke generator pada unit 3 adalah 9.8 Ampere (03:00, 07:00 dan 24:00 WIB). Sedangkan arus penggiat (eksitasi) rata-rata yang diberikan selama 24 jam ke generator pada unit 1 adalah 10.3 Ampere. Data-data tersebut menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) yang diberikan cukup untuk menstabilkan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 3. Gambar 4.37, menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 3.



Gambar 4.37. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap tegangan output generator pada unit 3

Gambar 4.37., menunjukkan bahwa arus penggiat (eksitasi) menentukan kestabilan tegangan output yang dihasilkan oleh generator pada unit 3. Hal ini disebabkan karena jika tegangan outputnya rendah maka *error signal* akan (-) sehingga *AVR (Automatic Voltage Regulator)* akan memberikan perintah agar menambahkan arus penggiat (eksitasi). Jadi penambahan arus penggiat (eksitasi) berfungsi untuk membuat tegangan output menjadi stabil.

4.3.5 Data Arus Penggiat (Eksitasi) terhadap Temperatur Stator pada Unit 3

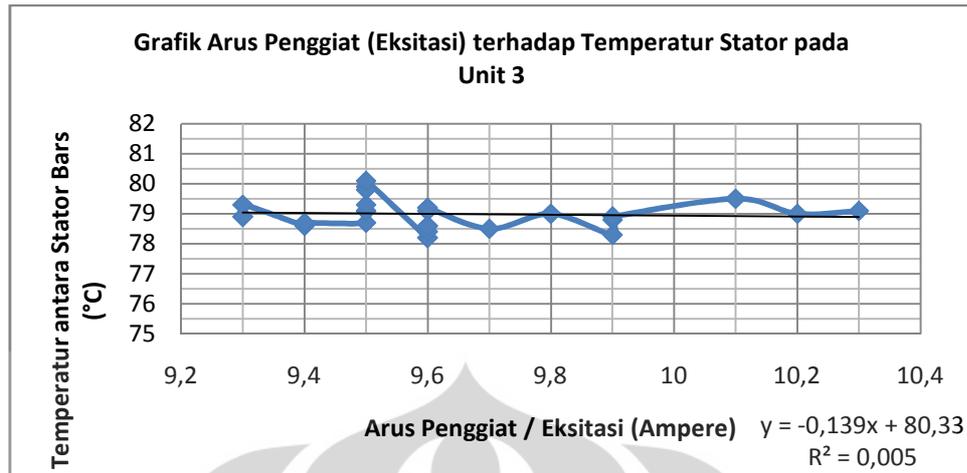
Sama halnya pada unit 1 dan 2, data yang digunakan untuk pengolahan data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 3 adalah data operasi generator pada tanggal 01 Januari 2012. Pengolahan data ini dilakukan untuk melihat hubungan atau korelasi antara perubahan arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator dan untuk mengetahui kehandalan pada unit 3 di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Dari pengolahan data ini, diperoleh data berupa arus penggiat (eksitasi) dan temperatur stator serta bentuk grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 3. Pada unit 3, pengolahan data dilakukan dengan menggunakan sistem *sorting* data yang digunakan pada pengolahan data pada unit 1 dan 2. Hasil pengolahan data yang didapat dari sistem *sorting* data pada unit 3 ditunjukkan oleh tabel 4.18.

Tabel 4.18. Data arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 3

| No. | Time (Jam) | Arus Penggiat (Eksitasi) | Temperatur Stator |
|-----|---------------|--------------------------|--------------------------------------|
| | | (Ampere) | Between Stator Bars T. E : 1 (°C) |
| 1 | 06:00 | 9.3 | 78.9 |
| 2 | 02:00 | 9.3 | 79.3 |
| 3 | 00:00 | 9.4 | 78.6 |
| 4 | 01:00 | 9.4 | 78.7 |
| 5 | 05:00 | 9.5 | 78.7 |
| 6 | 11:00 | 9.5 | 79.1 |
| 7 | 12:00 | 9.5 | 79.1 |
| 8 | 03:00 | 9.5 | 79.3 |
| 9 | 10:00 | 9.5 | 79.8 |
| 10 | 04:00 | 9.5 | 79.9 |
| 11 | 08:00 | 9.5 | 80.1 |
| 12 | 09:00 | 9.6 | 78.2 |
| 13 | 07:00 | 9.6 | 78.4 |
| 14 | 15:00 | 9.6 | 78.6 |

| | | | |
|-----------|-------|-------|--------|
| 15 | 16:00 | 9.6 | 78.6 |
| 16 | 14:00 | 9.6 | 79.1 |
| 17 | 13:00 | 9.6 | 79.2 |
| 18 | 17:00 | 9.7 | 78.5 |
| 19 | 23:00 | 9.8 | 79 |
| 20 | 22:00 | 9.9 | 78.3 |
| 21 | 24:00 | 9.9 | 78.8 |
| 22 | 18:00 | 9.9 | 78.9 |
| 23 | 20:00 | 10.1 | 79.5 |
| 24 | 19:00 | 10.2 | 79 |
| 25 | 21:00 | 10.3 | 79.1 |
| Rata-rata | | 9.652 | 78.988 |

Dari tabel 4.18., didapatkan hasil bahwa temperatur stator maksimum yang dihasilkan adalah 80.1 °C pada pukul 08:00 WIB dan temperatur stator minimum yang dihasilkan adalah 78.2 °C pada pukul 09:00 WIB. Sedangkan temperatur stator rata-rata yang dihasilkan 78.988 °C. Pada unit 3, data-data tersebut menunjukkan bahwa temperatur stator yang dihasilkan diantara stator bars di generator masih dikatakan aman, karena besarnya tidak melampaui dari batas yang sudah ditentukan oleh pembangkit listrik, yaitu 120 °C. Gambar 4.38. menunjukkan grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) dengan tegangan stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 3.



Gambar 4.38. Grafik hubungan antara arus penggiat (eksitasi) terhadap temperatur stator pada unit 3

Gambar 4.38., menunjukkan bahwa besarnya pemberian arus penggiat (eksitasi) sangat berpengaruh terhadap perubahan temperatur stator. Jika arus penggiat (eksitasi) semakin besar, maka temperatur stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 3 akan semakin besar pula.

Dari gambar 4.38., juga didapat sebuah persamaan linier antara arus penggiat (eksitasi) dengan temperatur pada stator, yaitu:

$$y = -0,139x + 80,33 \quad (4.4)$$

dimana;

y = temperatur stator (°C)

x = arus penggiat / eksitasi (Ampere)

Dari persamaan (4.3) dapat ditentukan besarnya temperatur stator yang dihasilkan apabila pada generator di unit 2 diberikan arus penggiat (eksitasi) sebesar 1 Ampere.

$$y = -0,139(1) + 80,33$$

$$y = -0,139 + 80,33$$

$$y = 79,371 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sama halnya pada unit 1 dan 2, pada unit 3 jika generator diberikan arus penggiat (eksitasi) sebesar 1 Ampere, maka temperatur stator yang dihasilkan oleh generator pada unit 3 sebesar 79.371 °C.

Dari hasil persamaan yang didapat pada masing-masing unitnya, dapat ditentukan dan diurutkan bahwa unit 3 (79.371 °C) yang memiliki temperatur yang lebih panas dibandingkan dengan unit 2 (76.36 °C) dan unit 1 (72.584 °C).



BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Daya semu (S) yang didapat dari masing-masing unit (unit 1 = 61.39314373 MVA, unit 2 = 61.86293827 MVA, dan unit 3 = 61.33163862 MVA) masih aman dari kapasitas daya semu yang dimiliki oleh dari generator, yaitu $687500 \text{ VA} = 68.75 \text{ MVA}$ (*nameplate*).
2. Ketiga unit pada PLTP Gunung Salak beroperasi pada faktor daya *lagging*.
3. Jika dilihat dari tabel data faktor daya ($\cos \phi$) dari tiap-tiap unit pada PLTP Gunung Salak, dapat disimpulkan bahwa faktor daya ($\cos \phi$) pada unit 2-lah yang paling baik (0.97 – 0.99) bila dibandingkan dengan unit 1 ($\cos \phi = 0.96 - 0.99$) dan unit 3 ($\cos \phi = 0.92 - 0.98$).
4. Untuk unit 1, arus penggiat (arus eksitasi) yang kenaikannya sebesar 1 Ampere pada sisi mendahului (*lagging*) akan mengakibatkan perubahan temperatur pada belitan stator sebesar $72.584 \text{ }^\circ\text{C}$.
5. Pada Unit 2, arus penggiat (arus eksitasi) yang kenaikannya sebesar 1 Ampere pada sisi mendahului (*lagging*) akan mengakibatkan perubahan temperatur pada belitan stator sebesar $76.36 \text{ }^\circ\text{C}$.
6. Sedangkan pada unit 3, arus penggiat (arus eksitasi) yang kenaikannya sebesar 1 Ampere pada sisi mendahului (*lagging*) akan mengakibatkan perubahan temperatur pada belitan stator sebesar $79.371 \text{ }^\circ\text{C}$.
7. Unit yang memiliki temperatur yang paling panas adalah unit 3 ($79.371 \text{ }^\circ\text{C}$), unit 2 ($76.36 \text{ }^\circ\text{C}$), dan unit 1 ($72.584 \text{ }^\circ\text{C}$).

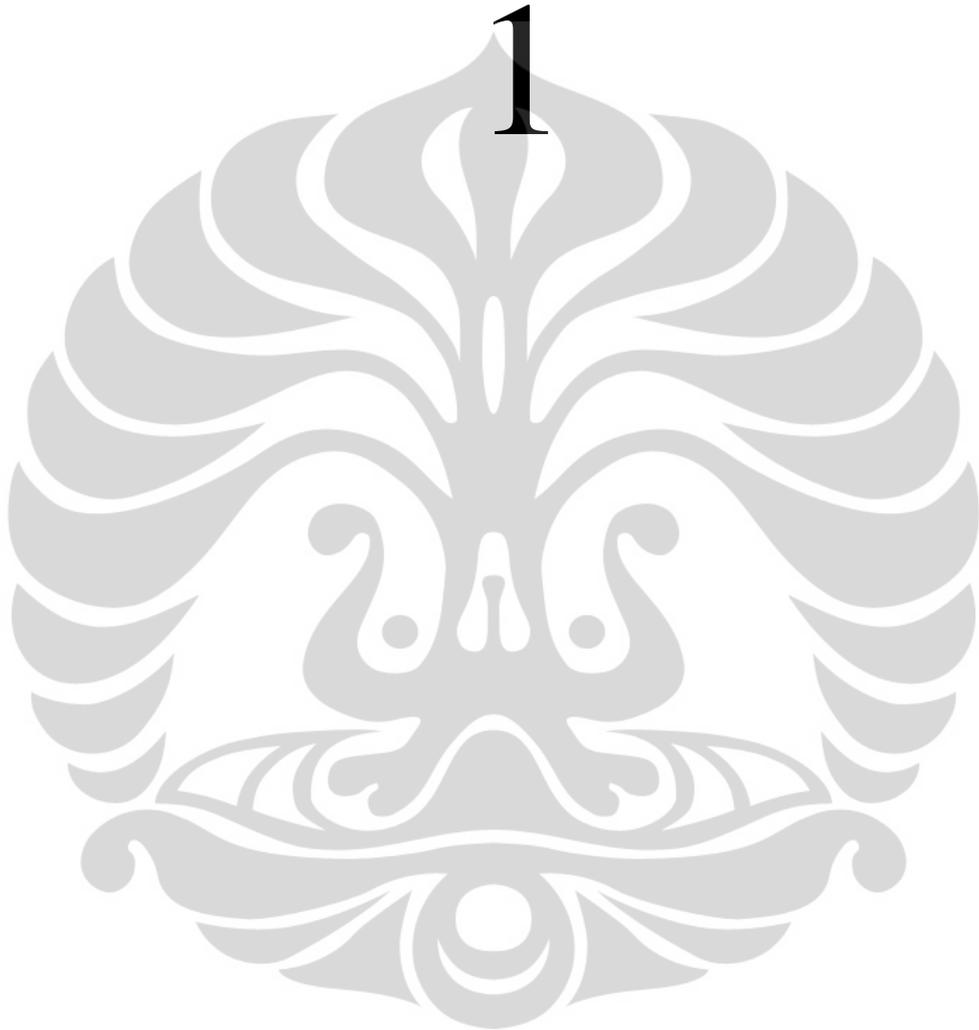
DAFTAR REFERENSI

1. Bab II *Generator Sinkron*. Universitas Sumatera Utara.
2. Bab 13 *Generator Sinkron*.
3. Bandri, Sepannur. *Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron (Aplikasi PLTG Pauh Limo Padang)*. Institut Teknologi Padang.
4. Belly, Alto., & H, Asep Dadan. (2010). *Daya Aktif, Reaktif & Nyata*. Depok: Universitas Indonesia.
5. Fisika Energi: Bab 7. *Energi Panas Bumi*.
6. Hariadi, Eko. (2004). *Kemagnetan dan Induksi Elektromagnetik*.
7. Harnovi. *Daya Listrik Arus Bolak Balik*. Universitas Sriwijaya.
8. Hasbullah. (2009) *Konversi Energi Panas Bumi*. FPTK UPI.
5. http://agungrahmatgunawan.multiply.com/journal/item/47?&show_interstitial=1&u=%2Fjournal%2Fitem
10. <http://bas6273.wordpress.com/2010/08/07/di-mana-gunung-halimun-salak/>
11. <http://dunia-engineer.blogspot.com/2011/10/segitiga-daya.html>
12. <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/12/perbaikan-faktor-daya-menggunakan-kapasitor.html>
13. <http://dunialistrik.fr.yuku.com/topic/21/Daya-Semu-aktif-dan-reaktif#.UqVy89IW3tQ>
14. <http://duniatehnikku.wordpress.com/2011/01/05/981/>
15. http://fte2700.en.ec21.com/Steam_Jet_Ejector_2834364_2834366.html
16. <http://gautamakarisma.wordpress.com/2010/05/28/prepare-for-kp-pltp-kamojang/>
17. <http://simbangando.wordpress.com/2008/03/25/mengenal-daya-aktif-daya-reaktif-dan-faktor-daya/>
18. <http://switchyard-electric.blogspot.com/2011/04/konsep-dasar-gardu-induk.html>

19. <http://www.scribd.com/doc/46034958/PLTP-kamojang>
20. Irawan, Joni. (2009). *Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi*. Bengkulu.
21. Kadir, Abdul. (1995). *Energi* (Edisi Kedua). Depok: Universitas Indonesia (UI-PRESS).
22. Lidiawati, Nia., & Permatasari, Rara. (2009). *Pembangkit Energi Listrik Terbarukan "Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)"*. Bengkulu: Universitas Bengkulu.
23. Lisnandar, Rendi. (2009) *Pengetahuan Dasar Unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi*. PT. Indonesia Power.
24. Prasetyo, Gunawan Eko., & Sulasno. *Studi Tentang Indeks Keandalan Pembangkit Tenaga Listrik Wilayah Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta*. Universitas Diponegoro.
25. Rajagukguk, Buhari Tongam. (2009). *Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Arus Jangkar dan Faktor Daya pada Motor Sinkron 3 Fasa*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
26. Radhakrishna. C. *Generator Capability Curve*.
27. Rizqiawan, Arwindra. (2010). *Memahami Faktor Daya*. Konversi ITB.
28. Rofiq, Ainur., & Triandi, Rudy. (2010). *Generator Sinkron*. Depok: Universitas Indonesia.
29. Saptadji, Nenny. *Energi Panas Bumi (Geothermal Energy)*. Bandung: ITB.
30. Setiawan, Agus. (2009). *Disain Pembangkit Listrik Tenaga Pedal sebagai Sumber Energi Alternatif di Daerah Pedesaan*. Depok: Universitas Indonesia.
31. Wirabuana, Cakra., & Permana, Febi Hadi. (2010). *Synchronous Motor*. Depok: Universitas Indonesia.
32. Yudi, Kusmursaf. *Memahami Tagihan Biaya Listrik*. PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Barat & Banten: Area Pelayanan dan Jaringan Bekasi.

LAMPIRAN

1



DATA OPERASI GENERATOR

01 JANUARI 2012



GENERATOR

| JAM | Beban | | | Frequansy | Tegangan | | | STATOR TEMPERATUR | | | | | | | | | | | | | | INLET TEMP. | | | | Outlet Temp | | TEMPER BANTU | | | | | | | | |
|-------|-------|------|-------|-----------|----------|-------|-----|-------------------|----|------|------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|------|------|------|--------------|------|--------------|------|-------------|----|----|----|----|--|--|
| | Mw | Mvar | Cos Q | | R | S | T | STATOR CORE | | | | | | | | | | | | | | BEETWEN STATOR BARS | | | | UDARA DINGIN | | | | Udara Panas | | | | | | |
| | | | | Amp | Amp | Amp | °C | µm | µm | V | Amp | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | | |
| 00.00 | 60.5 | 3.7 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 12 | 93.8 | 9.4 | 6.5 | 81.2 | 6.1 | 78.6 | 91.9 | 87.2 | 76.2 | 81.4 | 78.3 | 79.6 | 71.4 | 39.5 | 41.4 | 39.1 | 78.4 | 63.9 | 61.4 | 76.3 | | | | | | | |
| 01.00 | 60.2 | 1.6 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.5 | 9.4 | 6.9 | 81.2 | 6.4 | 78.1 | 91.4 | 87.1 | 76.1 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.3 | 39.1 | 78.5 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 02.00 | 60.2 | 0.9 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 12 | 93.2 | 9.5 | 6.9 | 81.2 | 6.4 | 78.3 | 91.3 | 87.1 | 76.2 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.3 | 39.1 | 78.6 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 03.00 | 60.2 | 0.2 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.0 | 9.5 | 6.0 | 81.2 | 6.5 | 79.3 | 91.3 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.4 | 39.1 | 78.8 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 04.00 | 60.2 | 1.2 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.1 | 9.5 | 6.1 | 81.2 | 6.5 | 79.4 | 91.4 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.4 | 39.1 | 78.9 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 05.00 | 60.2 | 2.1 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.2 | 9.5 | 6.0 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.4 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 06.00 | 60.2 | 0.6 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.2 | 9.3 | 6.0 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.4 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 07.00 | 60.2 | 3.3 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.2 | 9.6 | 6.0 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.4 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 08.00 | 60.5 | 2.8 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.0 | 9.5 | 6.0 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 09.00 | 60.7 | 3.4 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.1 | 9.6 | 6.0 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 10.00 | 60.6 | 3.3 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.0 | 9.5 | 6.1 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 11.00 | 60.6 | 3.4 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.1 | 9.5 | 6.1 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 12.00 | 60.7 | 3.1 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.1 | 9.5 | 6.1 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 13.00 | 60.8 | 3.5 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.1 | 9.5 | 6.1 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 14.00 | 60.9 | 3.1 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 12 | 93.6 | 9.6 | 6.1 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 15.00 | 60.9 | 3.6 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.6 | 9.6 | 6.0 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 16.00 | 60.7 | 4.2 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.6 | 9.6 | 6.0 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 17.00 | 60.7 | 5.5 | 1.00 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.5 | 9.7 | 6.0 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 18.00 | 60.9 | 6.9 | 0.99 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.6 | 9.9 | 6.0 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 19.00 | 60.9 | 9.4 | 0.94 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.6 | 10.2 | 6.0 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 20.00 | 60.9 | 9.4 | 0.94 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.7 | 10.1 | 6.0 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 21.00 | 61.0 | 12.4 | 0.98 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.7 | 10.3 | 6.0 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 22.00 | 60.9 | 8.4 | 0.99 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.4 | 9.9 | 6.0 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 23.00 | 61.1 | 6.3 | 0.99 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.8 | 9.8 | 6.0 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| 24.00 | 61.6 | 6.7 | 0.99 | 30.20 | 30.20 | 30.20 | 28 | 28 | 11 | 93.8 | 9.9 | 6.1 | 81.2 | 6.5 | 79.5 | 91.5 | 87.1 | 76.4 | 81.4 | 78.1 | 78.1 | 71.4 | 39.5 | 41.5 | 39.1 | 79.0 | 63.9 | 61.4 | 76.1 | | | | | | | |
| Max | 62 | 30 | 1 | 53 | 13 | 3541 | 120 | 28 | 71 | 158 | 120 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Min | 7 | -10 | 0.8 | 48 | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

No Formulir : 40240003
 Revisi : 0
 Disahkan : 1 Maret 2009

| | | | |
|---------------|-------|------------|-------------|
| JAM | REGU | PELAKSANA | SPS OPERASI |
| DINAS | DINAS | NAMA | NAMA |
| 07.00 - 15.00 | A | Bulandian | Hanning |
| 15.00 - 22.00 | B | Sinarani S | MH |
| 22.00 - 07.00 | C | Ba. H | Ariz |

DATA OPERASI GENERATOR

21 APRIL 2012

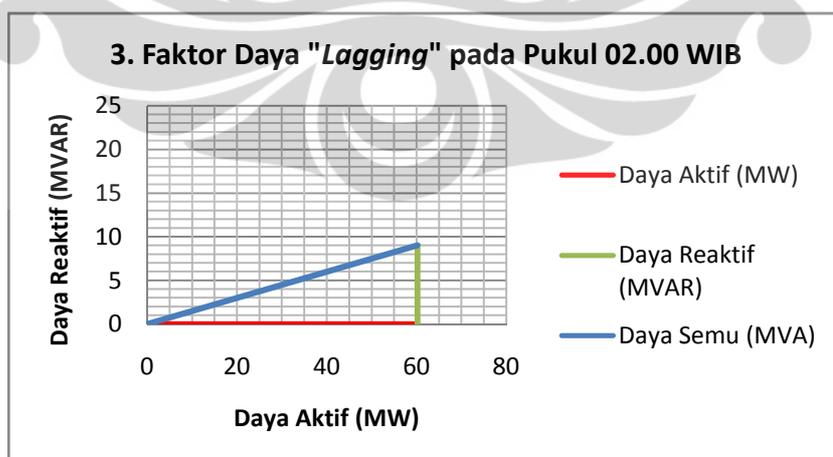
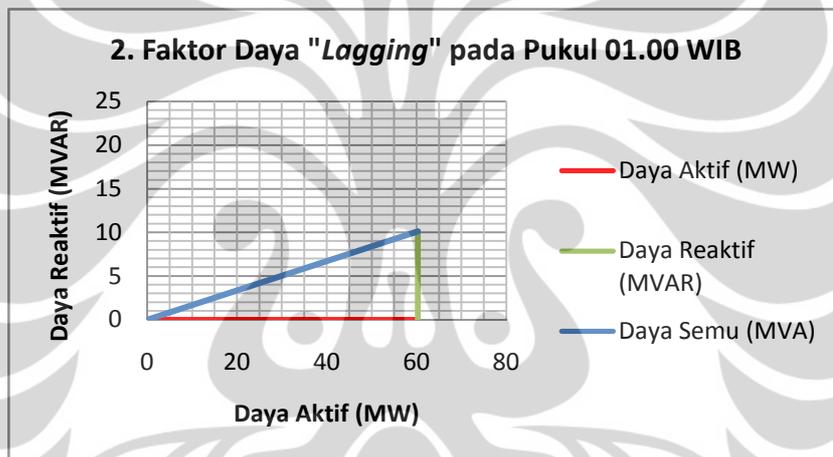
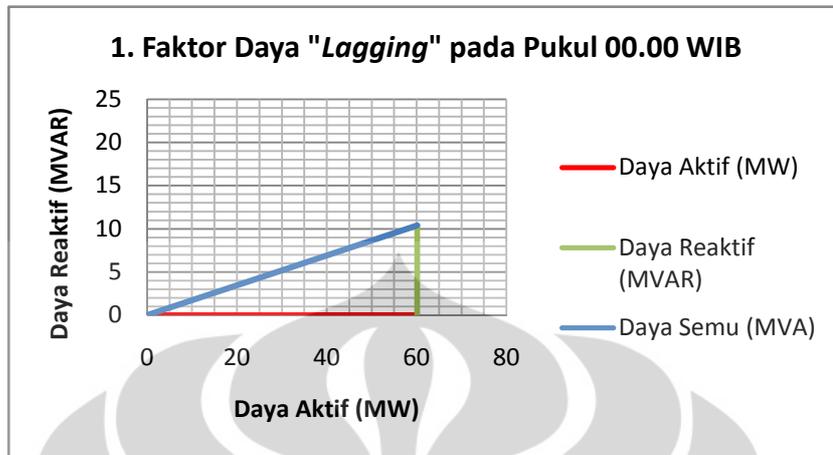


LAMPIRAN

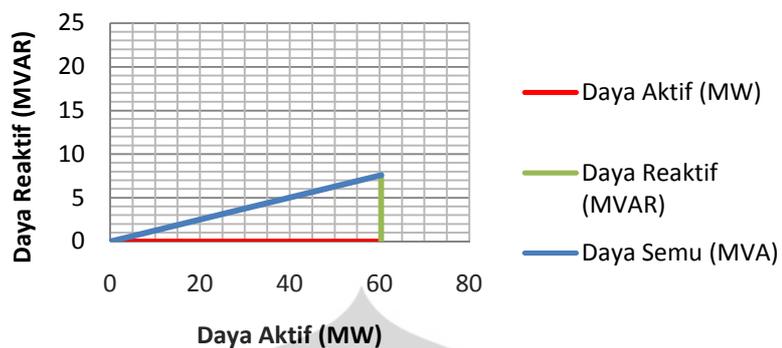
2



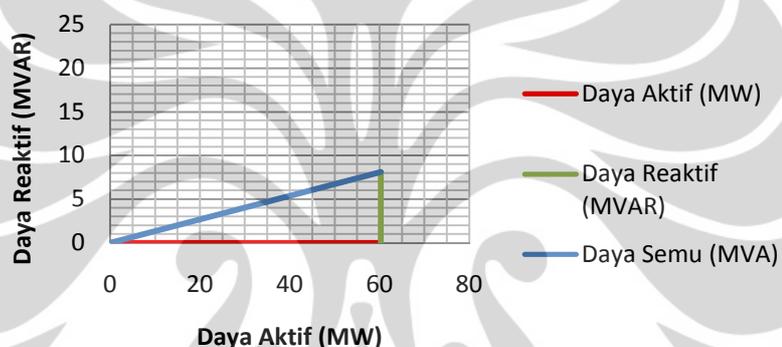
1) Segitiga Daya pada Unit 1



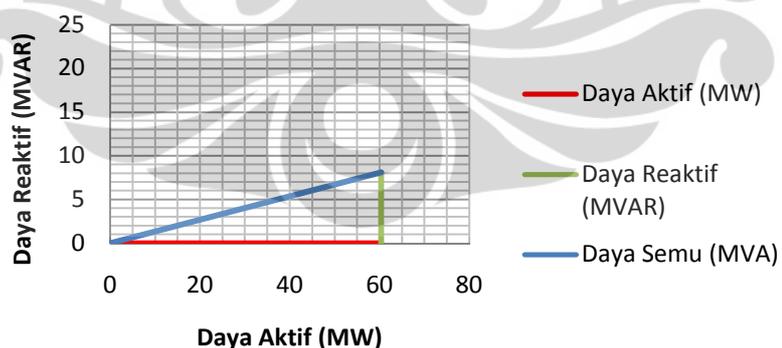
4. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 02.00 WIB



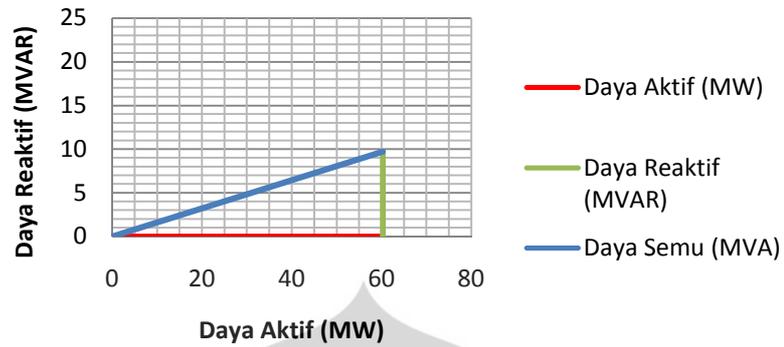
5. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 04.00 WIB



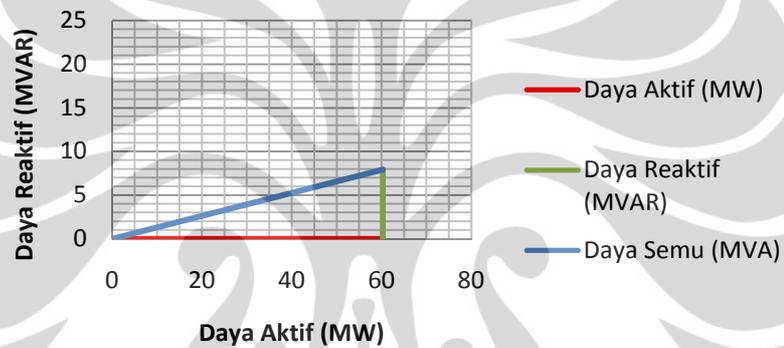
6. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 05.00 WIB



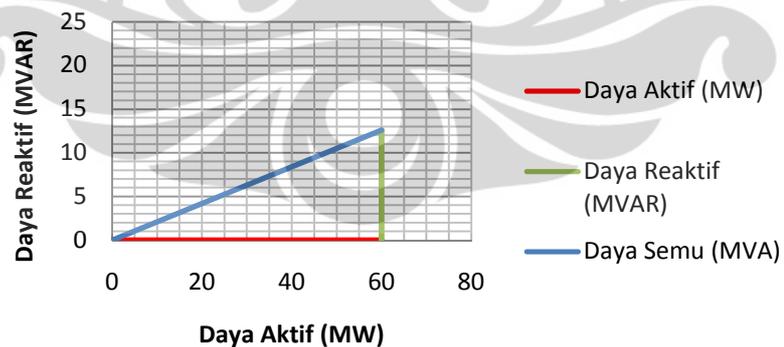
7. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 06.00 WIB



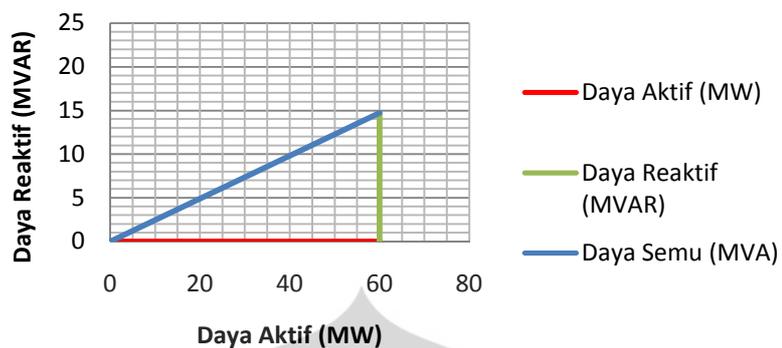
8. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 07.00 WIB



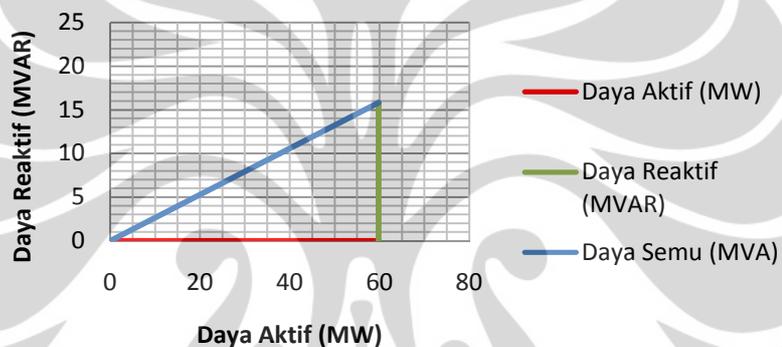
9. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 08.00 WIB



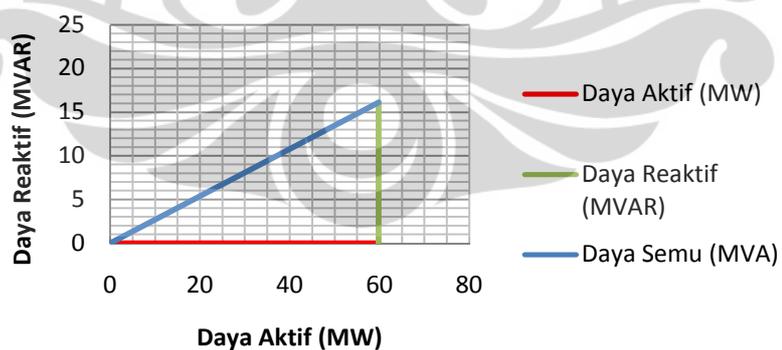
10. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 09.00 WIB



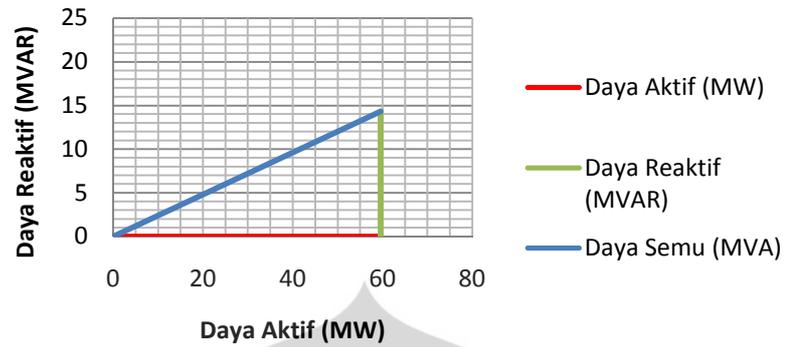
11. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 10.00 WIB



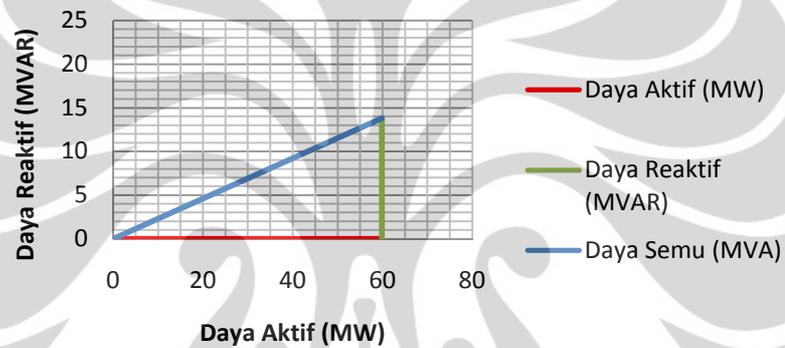
12. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 11.00 WIB



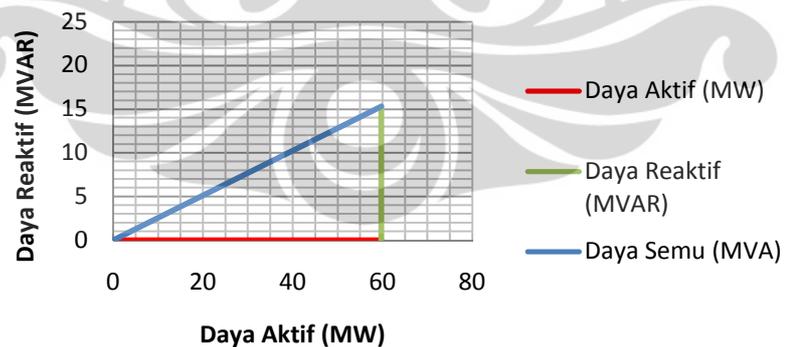
13. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 12.00 WIB



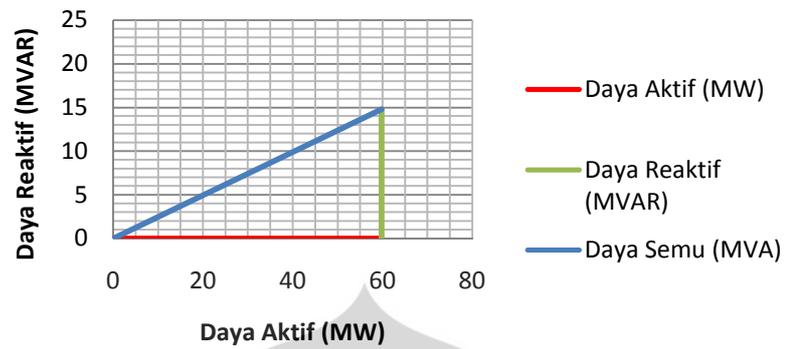
14. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 13.00 WIB



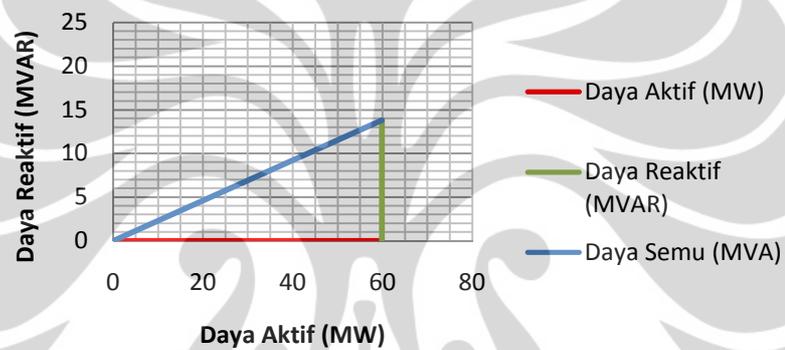
15. Daya Faktor "Lagging" pada Pukul 14.00 WIB



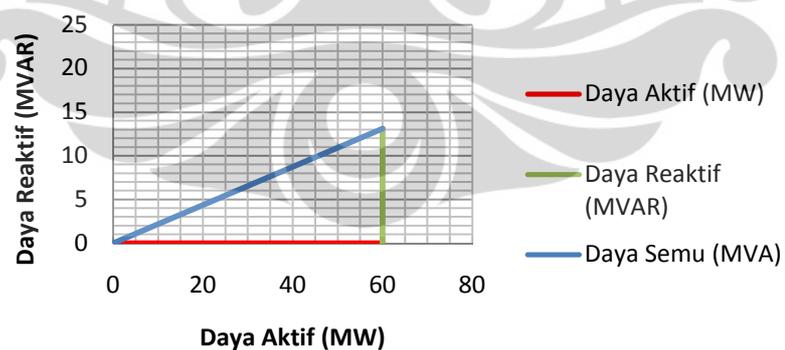
16. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 15.00 WIB



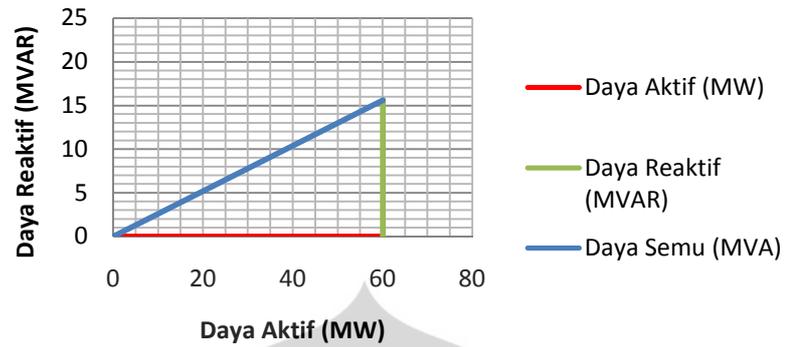
17. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 16.00 WIB



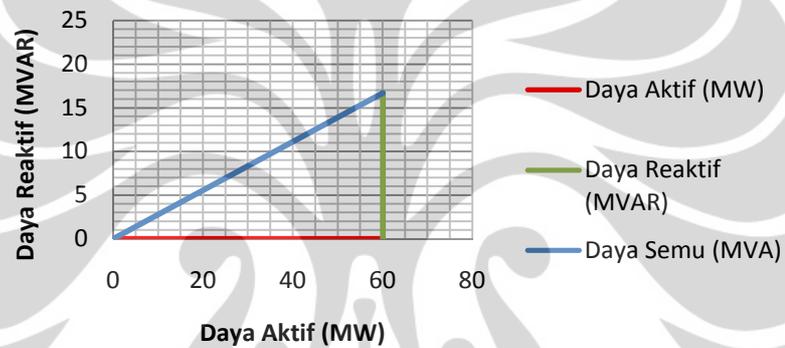
18. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 17.00 WIB



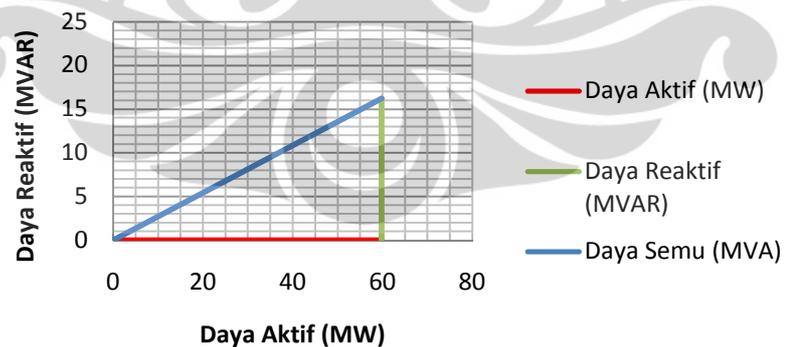
19. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 18.00 WIB



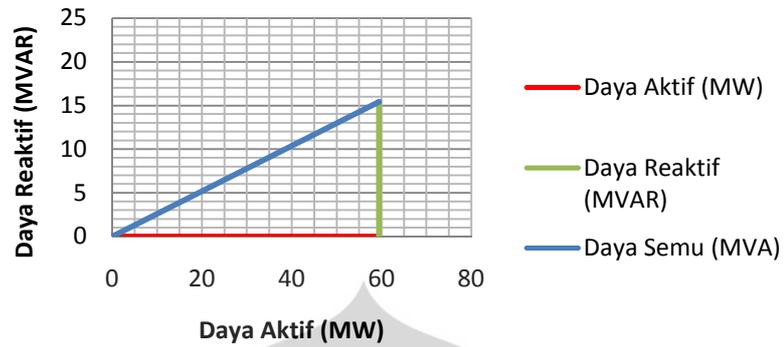
20. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 19.00 WIB



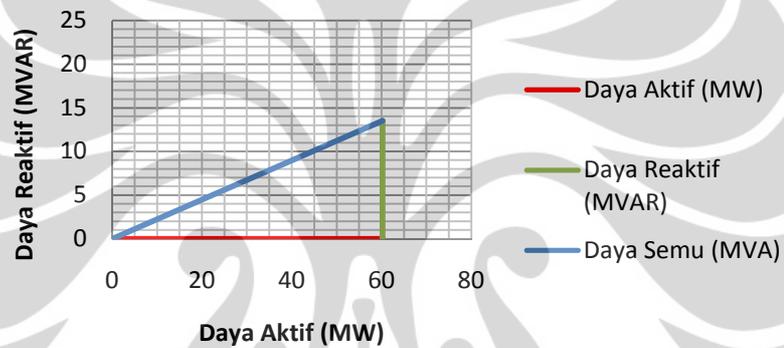
21. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 20.00 WIB



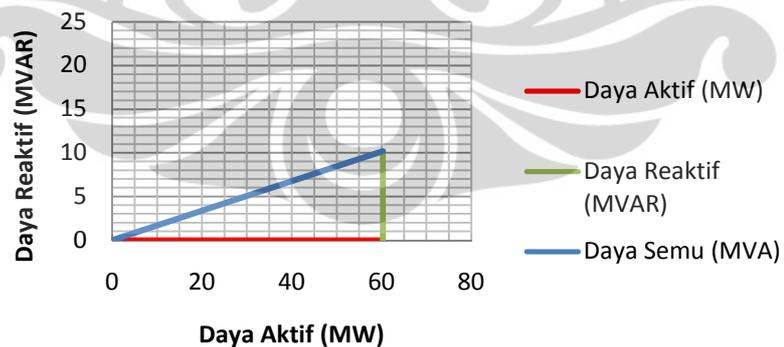
22. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 21.00 WIB

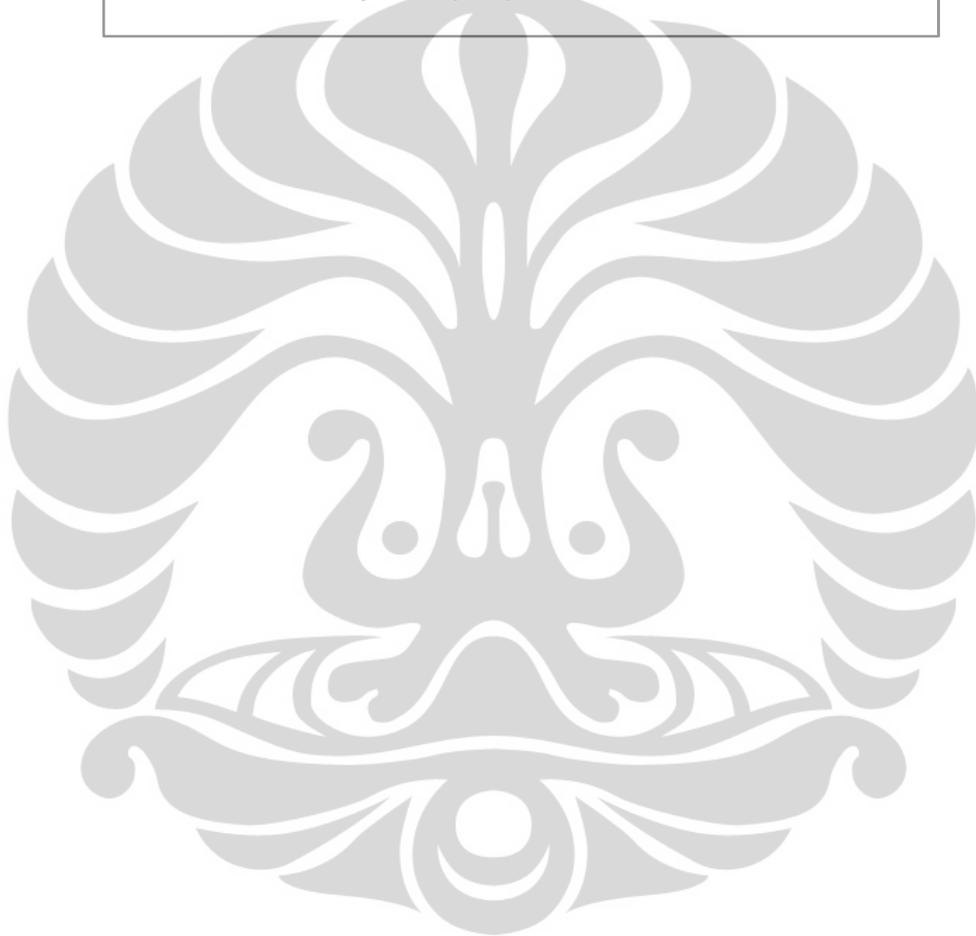
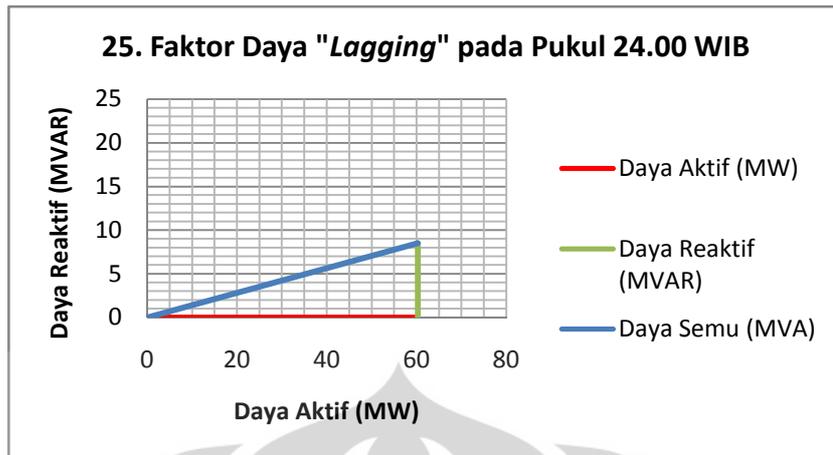


23. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 22.00 WIB

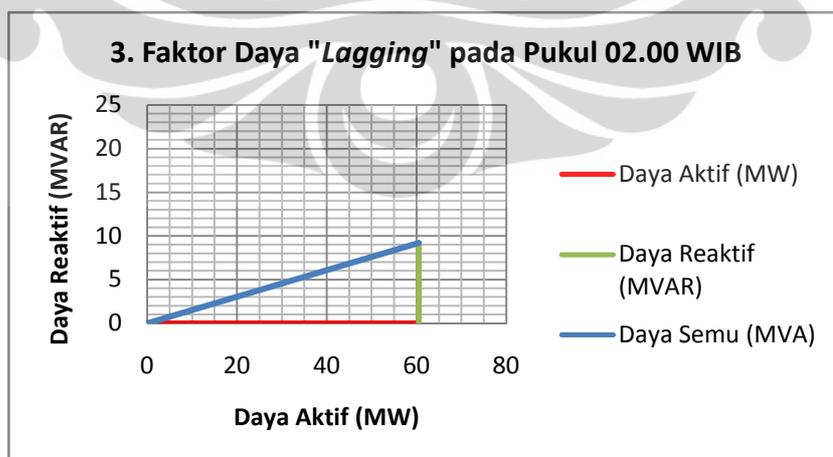
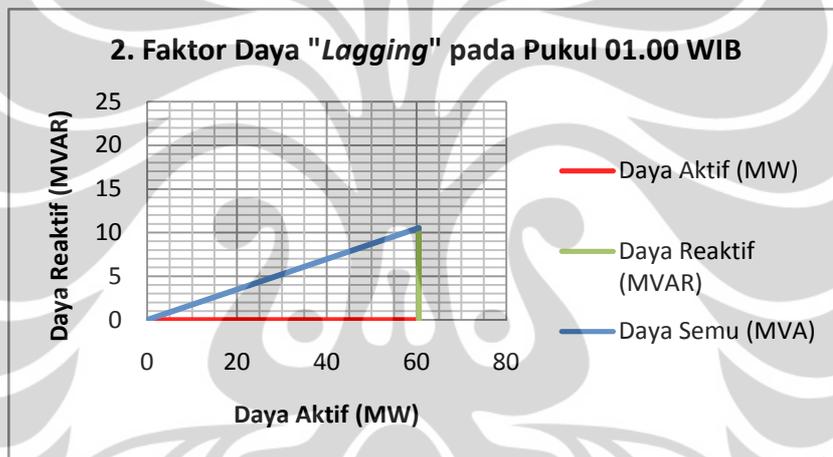
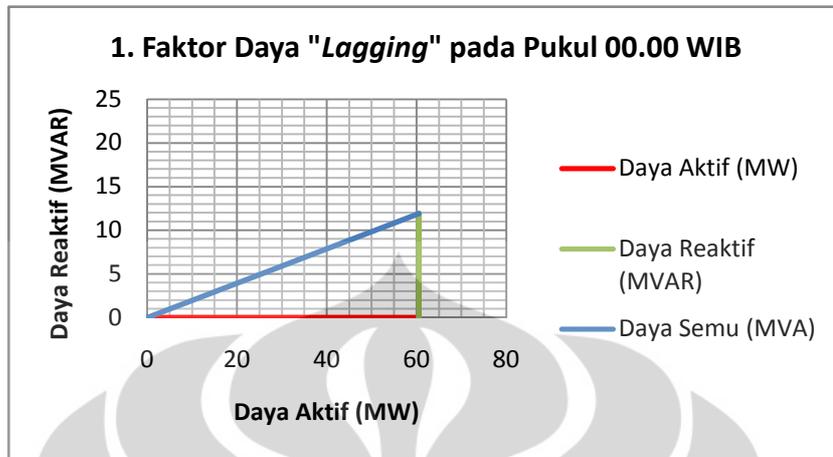


24. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 23.00 WIB

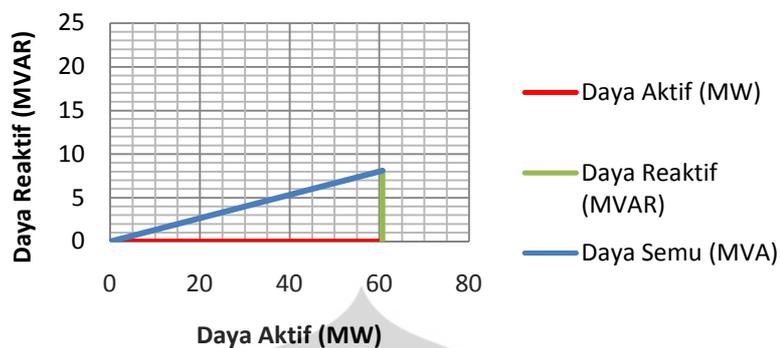




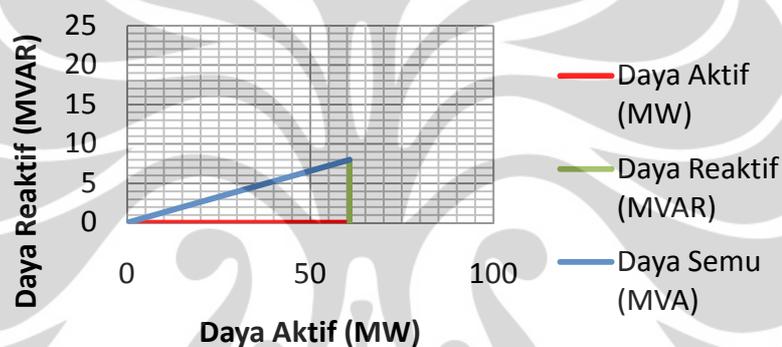
2) Segitiga Daya pada Unit 2



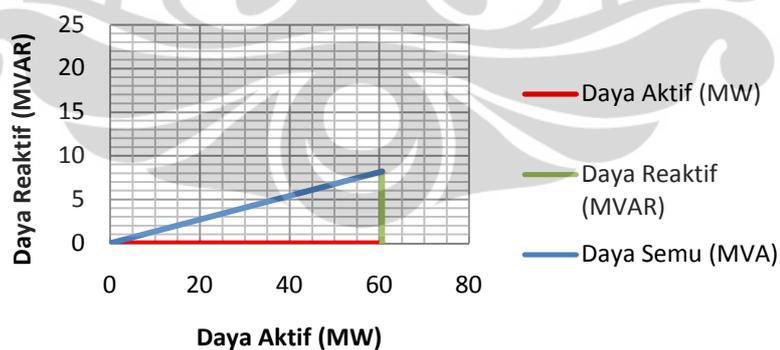
4. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 03.00 WIB



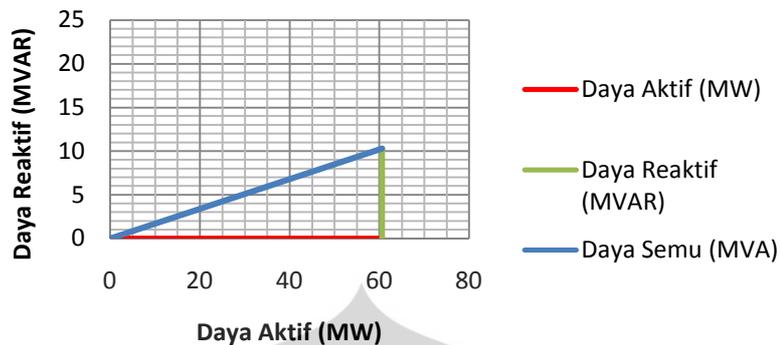
5. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 04.00 WIB



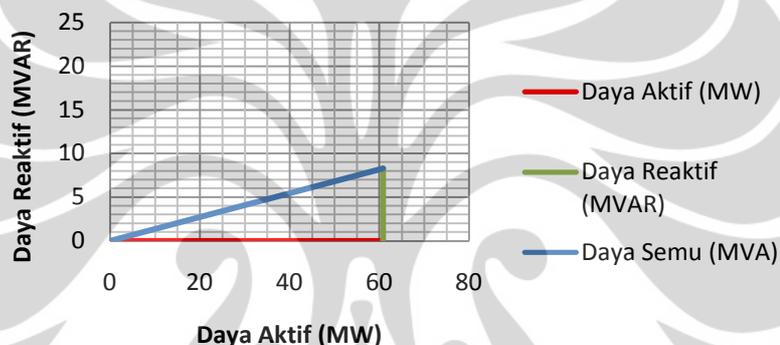
6. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 05.00 WIB



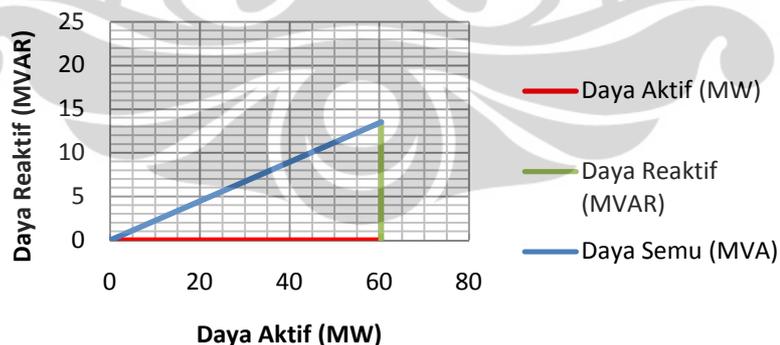
7. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 06.00 WIB



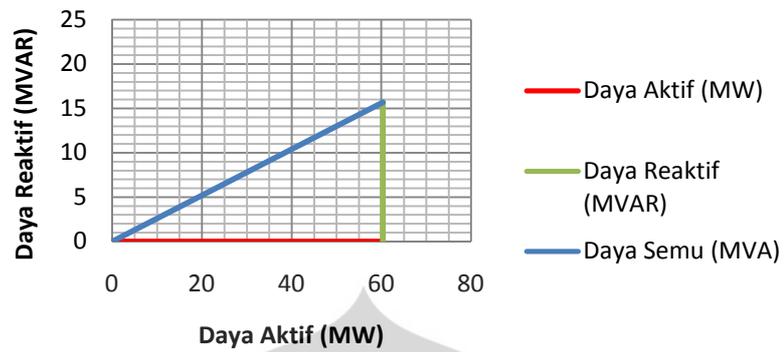
8. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 07.00 WIB



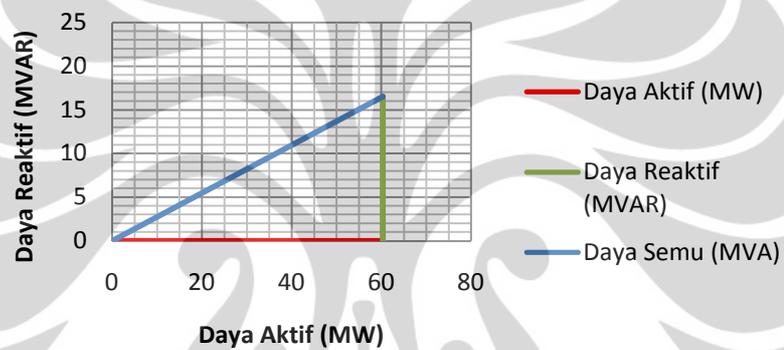
9. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 08.00 WIB



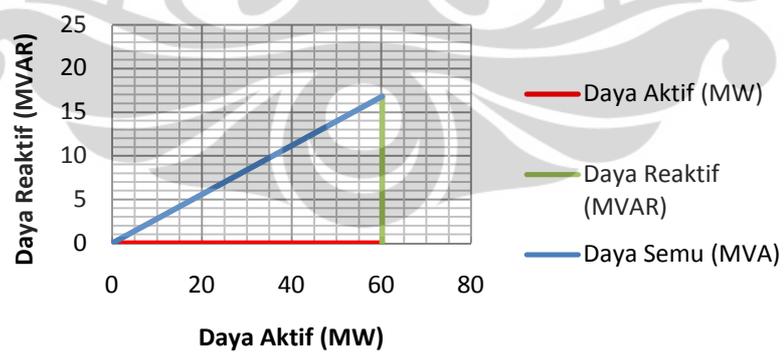
10. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 09.00 WIB



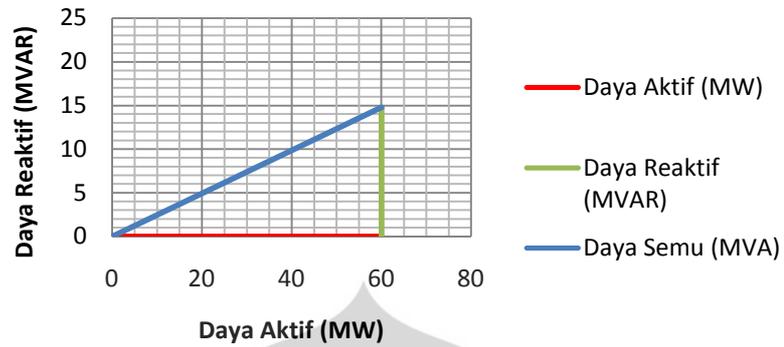
11. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 10.00 WIB



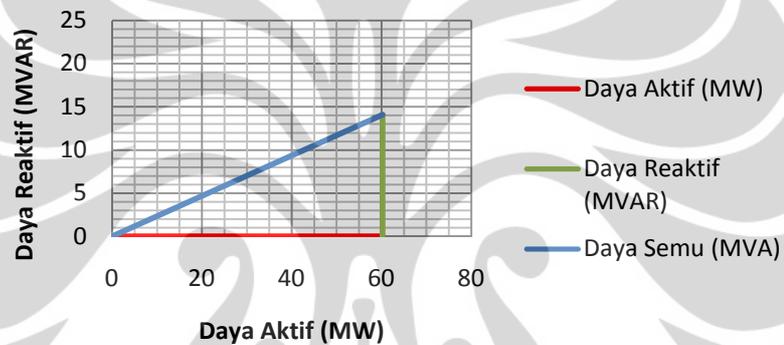
12. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 11.00 WIB



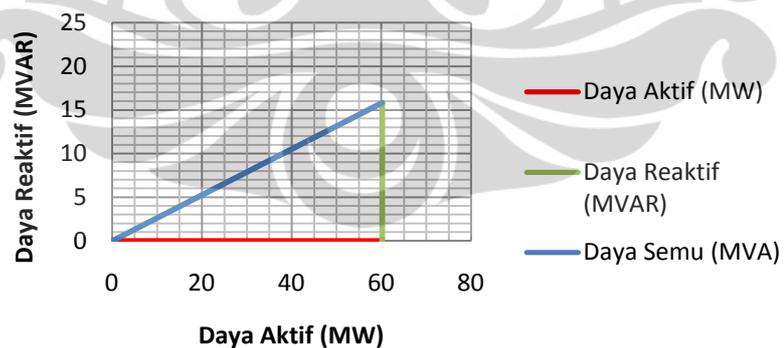
13. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 12.00 WIB



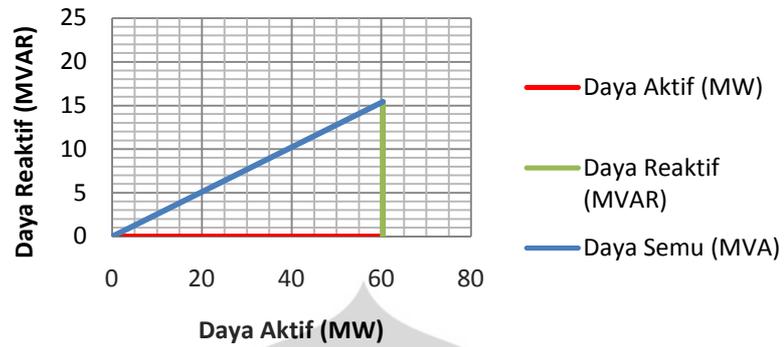
14. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 13.00 WIB



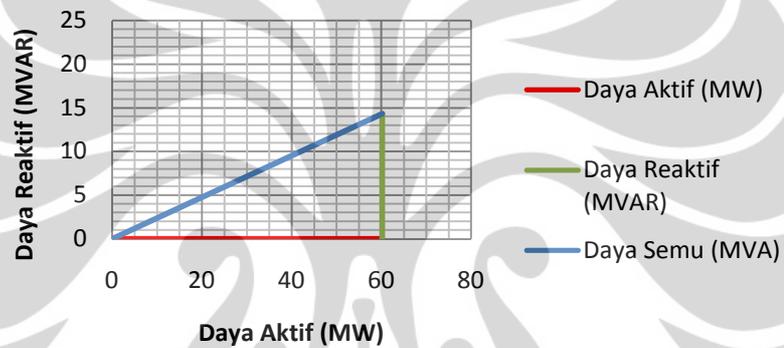
15. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 14.00 WIB



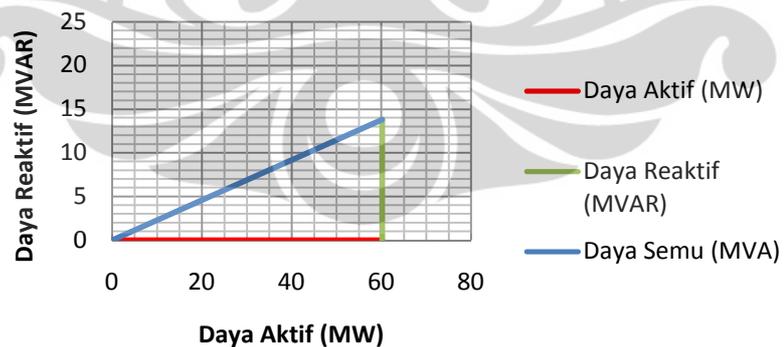
16. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 15.00 WIB



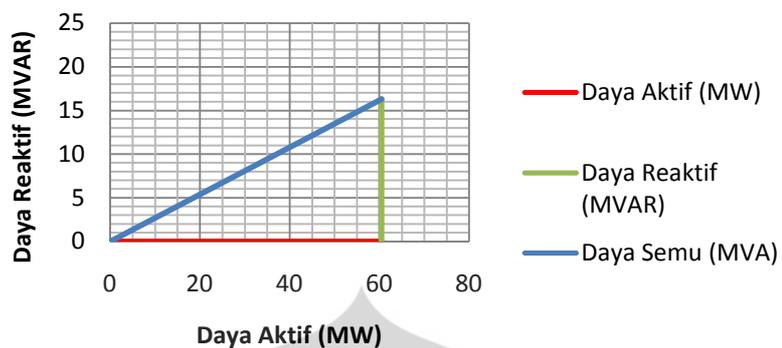
17. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 16.00 WIB



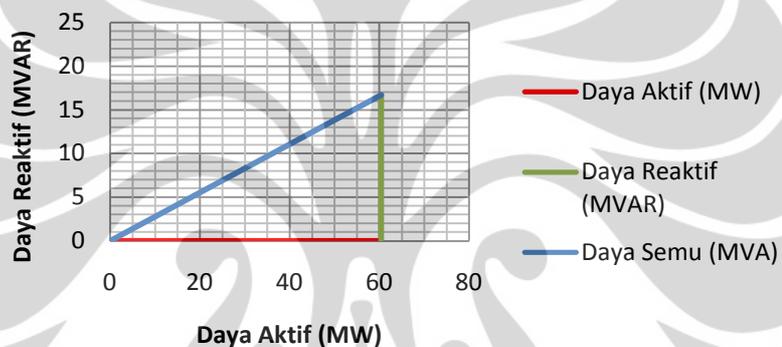
18. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 17.00 WIB



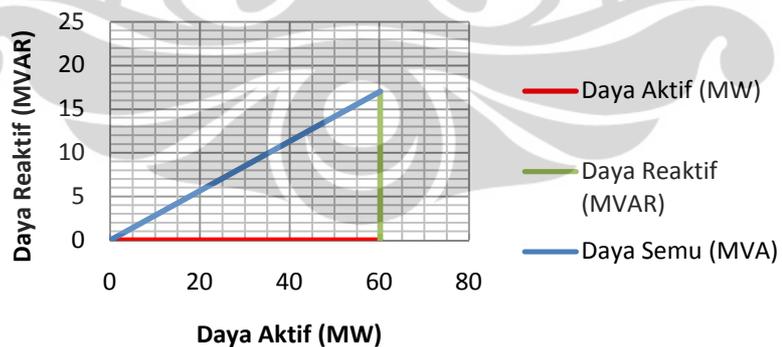
19. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 18.00 WIB



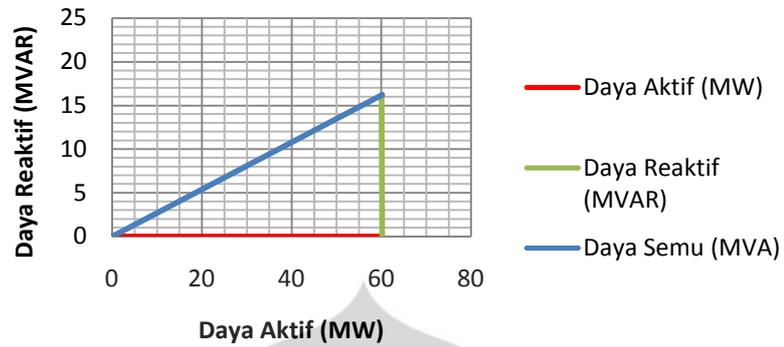
20. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 19.00 WIB



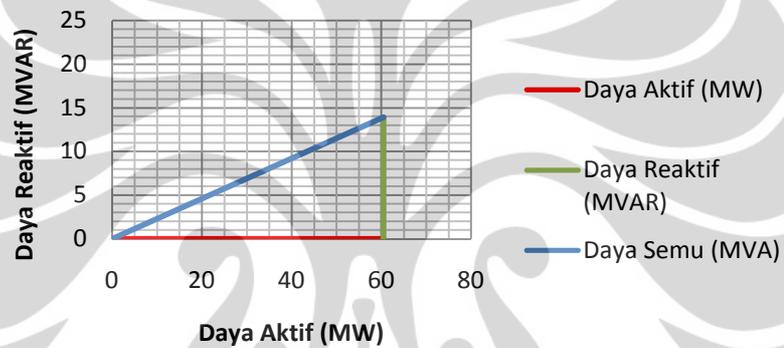
21. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 20.00 WIB



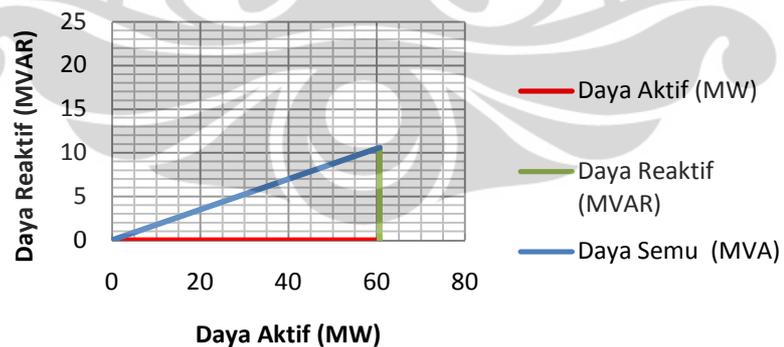
22. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 21.00 WIB

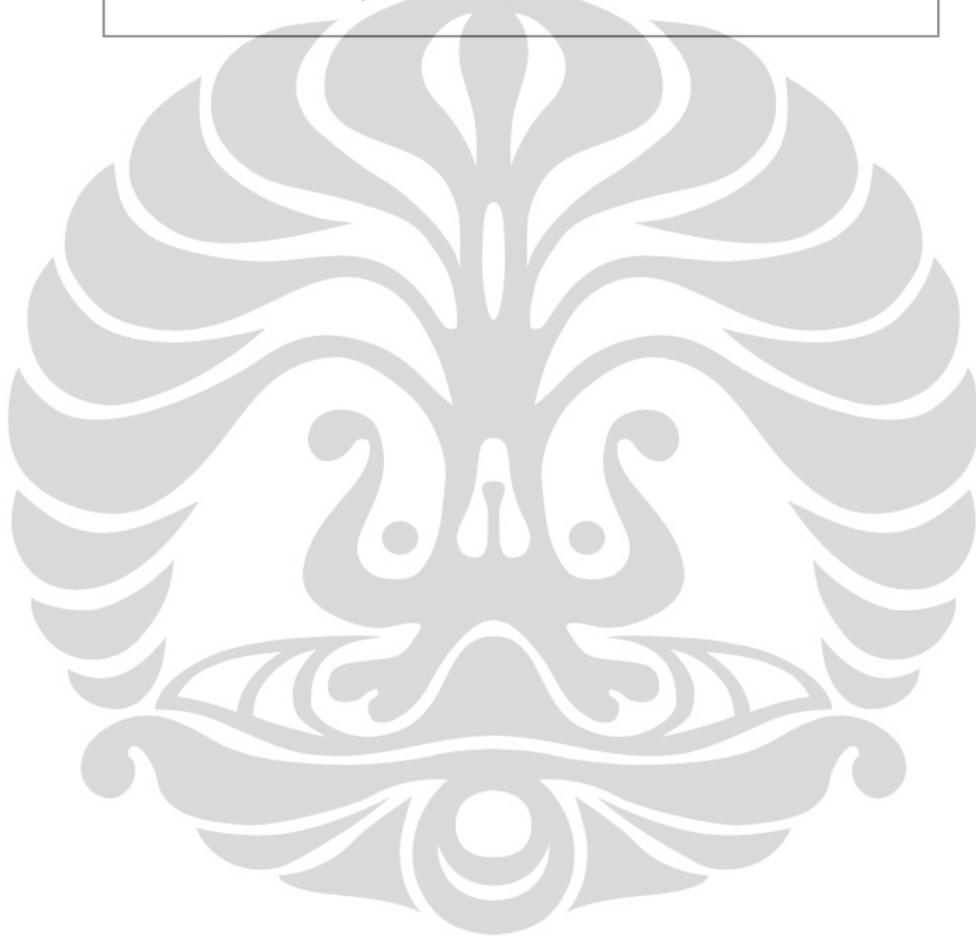
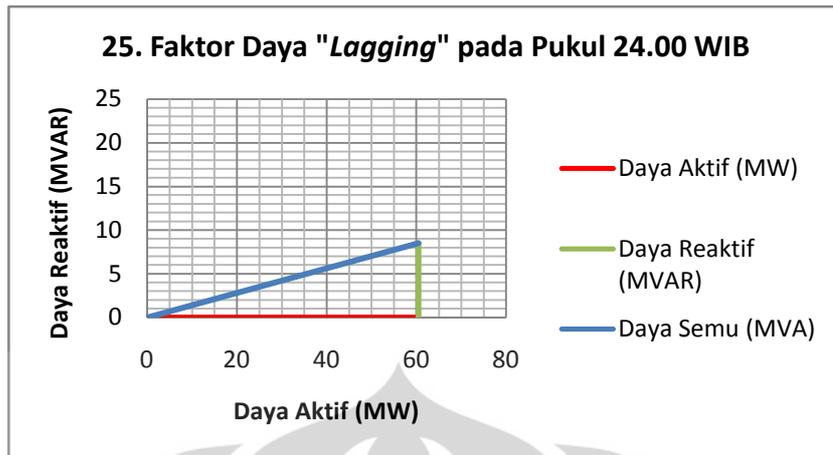


23. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 22.00 WIB

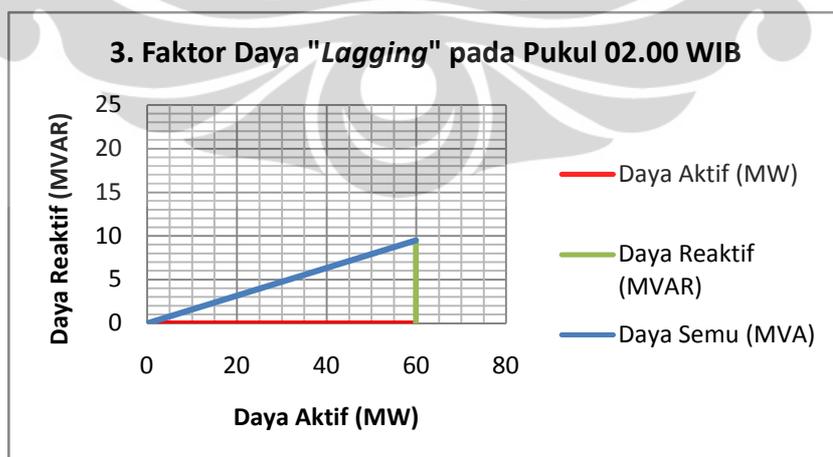
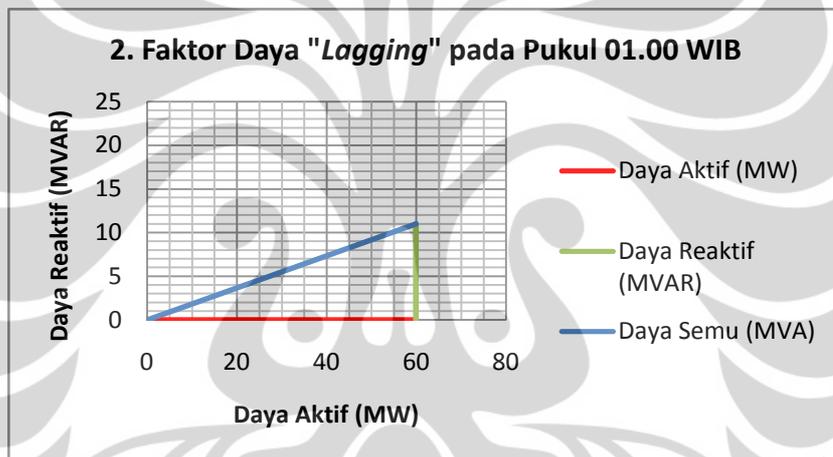
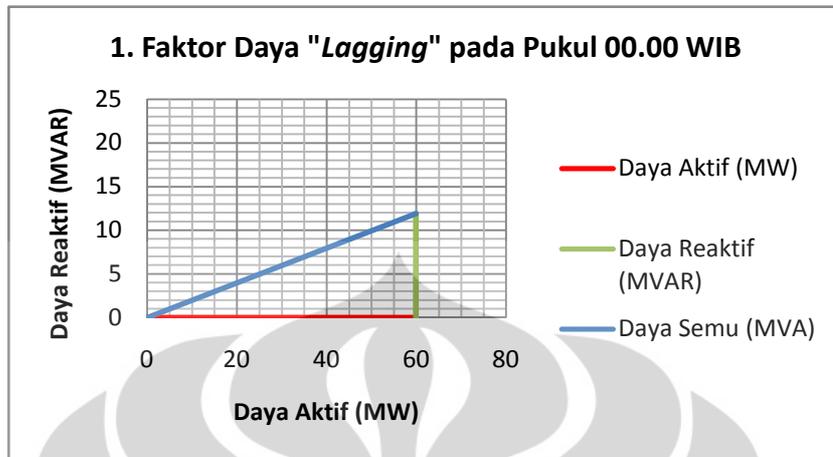


24. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 23.00 WIB

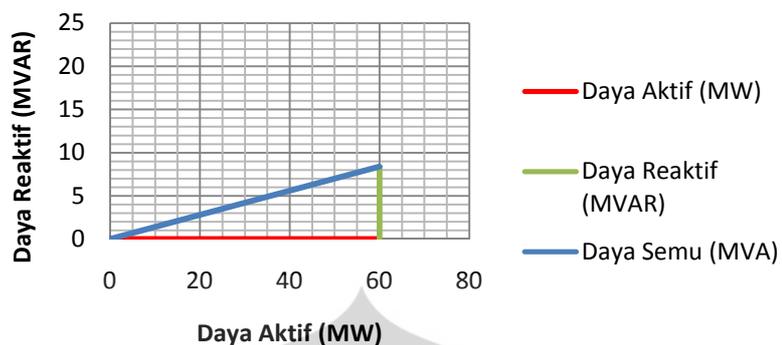




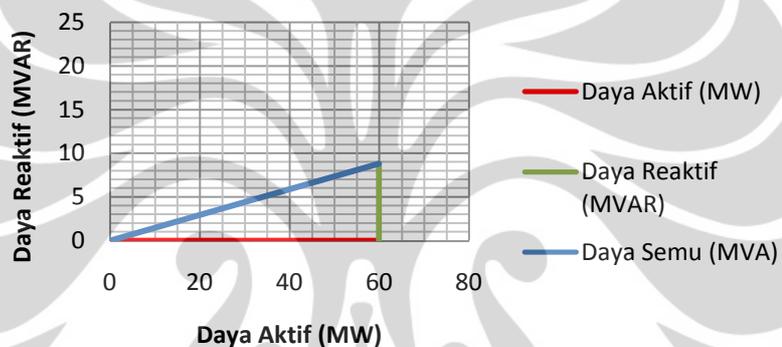
3) Segitiga Daya pada Unit 3



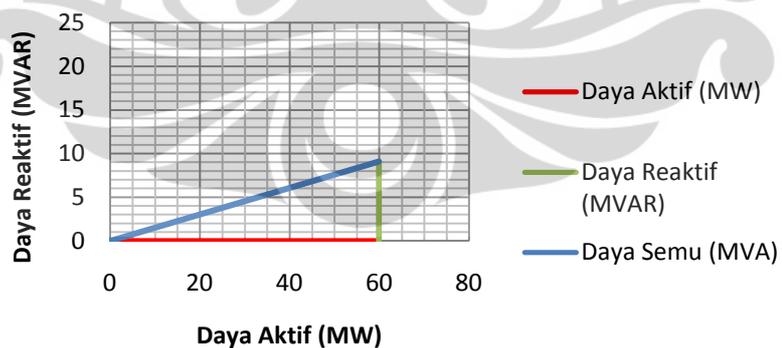
4. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 03.00 WIB



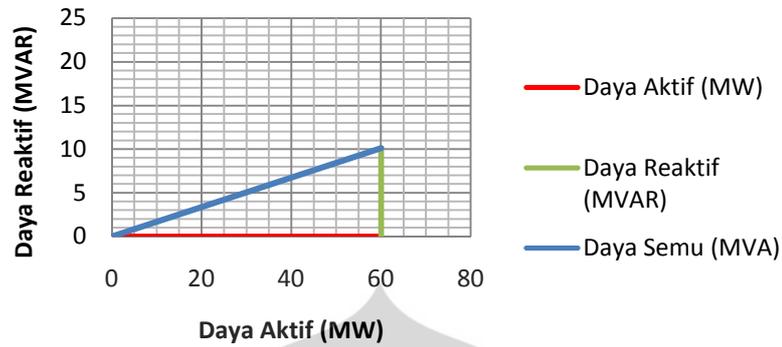
5. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 04.00 WIB



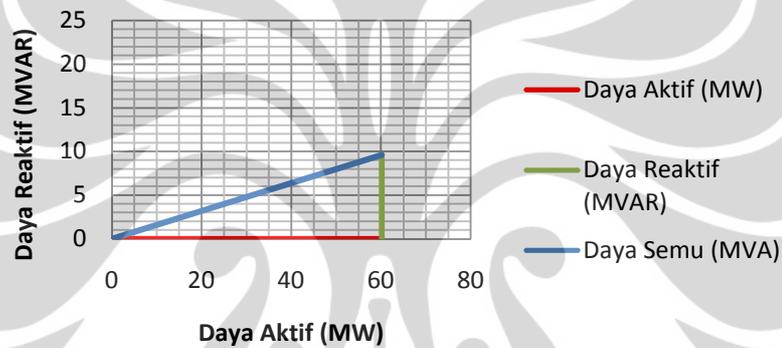
6. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 05.00 WIB



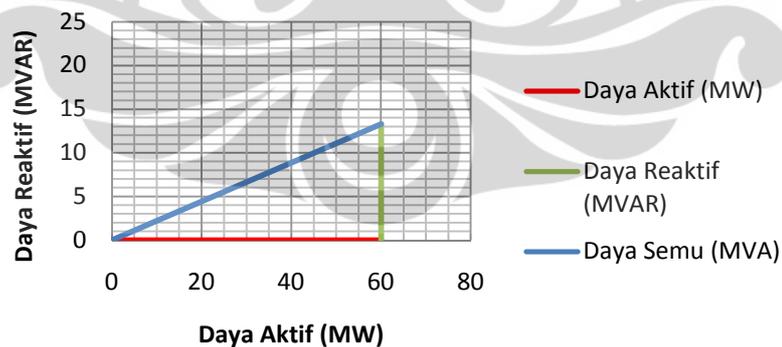
7. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 06.00 WIB



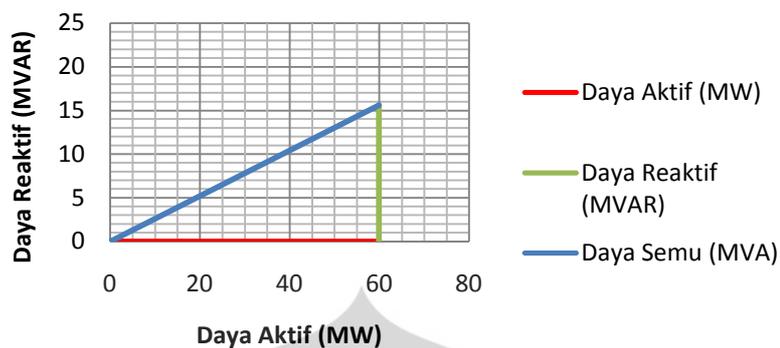
8. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 07.00 WIB



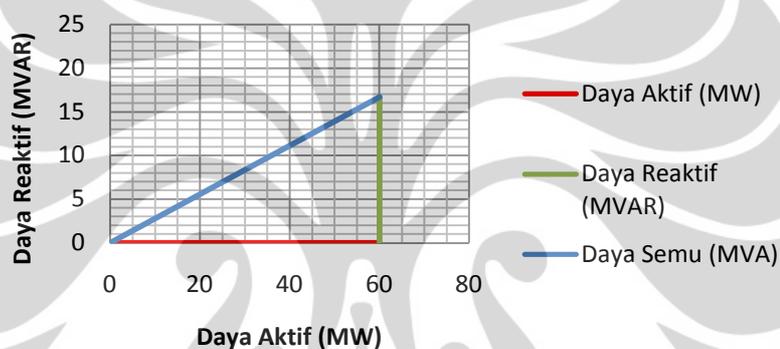
9. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 08.00 WIB



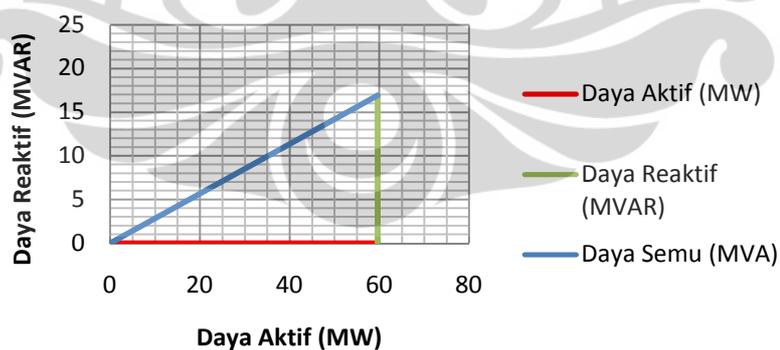
10. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 09.00 WIB



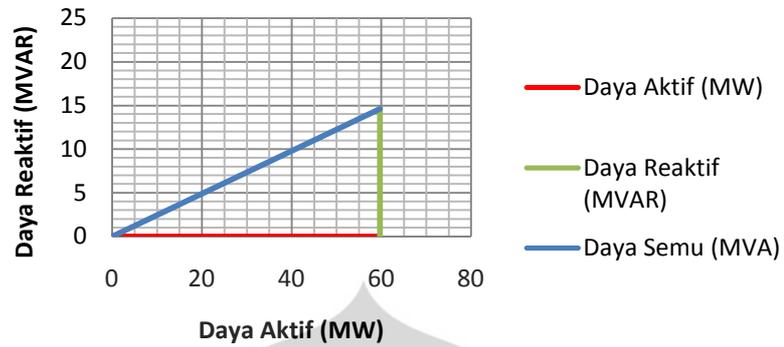
11. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 10.00 WIB



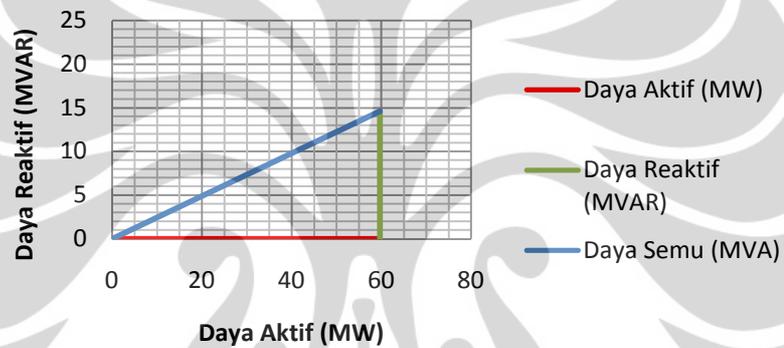
12. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 11.00 WIB



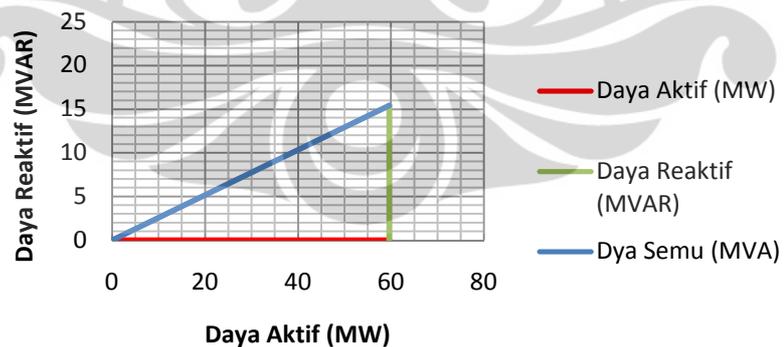
13. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 12.00 WIB



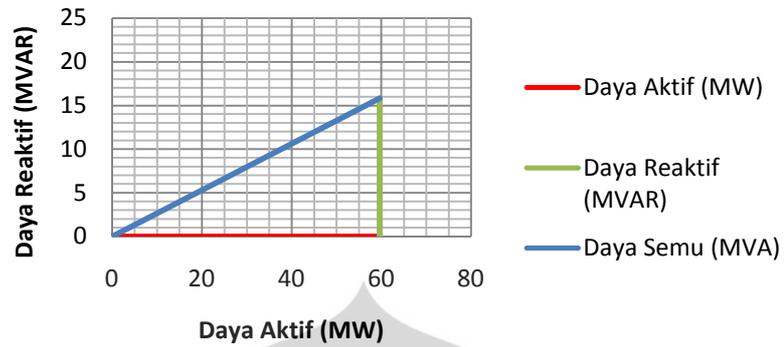
14. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 13.00 WIB



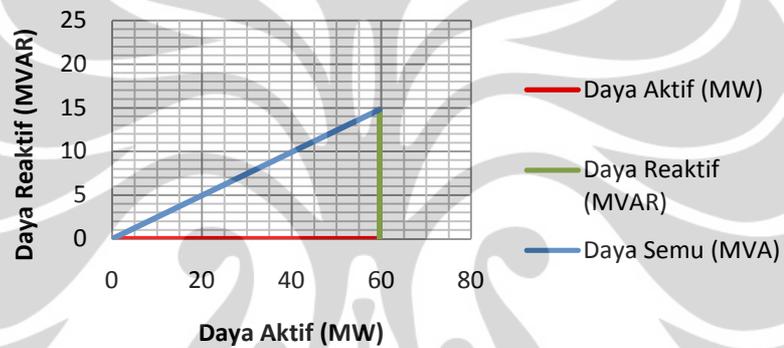
15. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 14.00 WIB



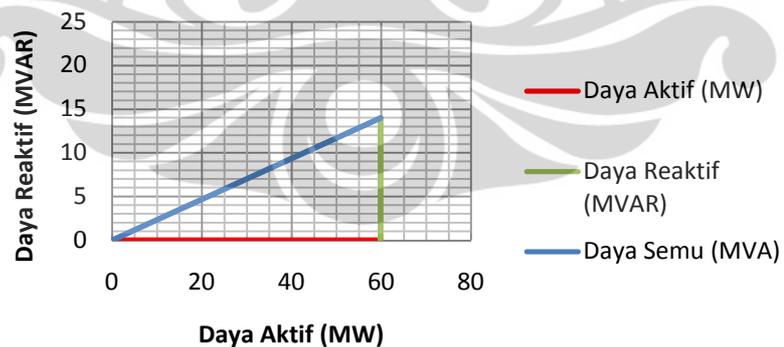
16. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 15.00 WIB



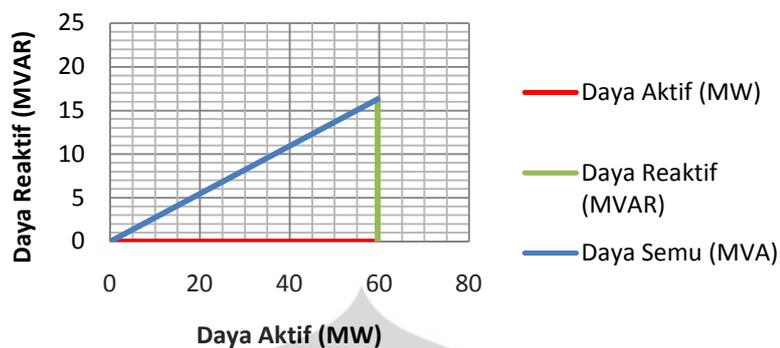
17. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 16.00 WIB



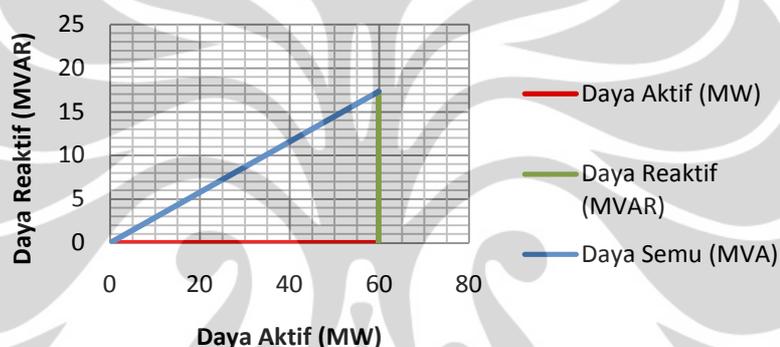
18. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 17.00 WIB



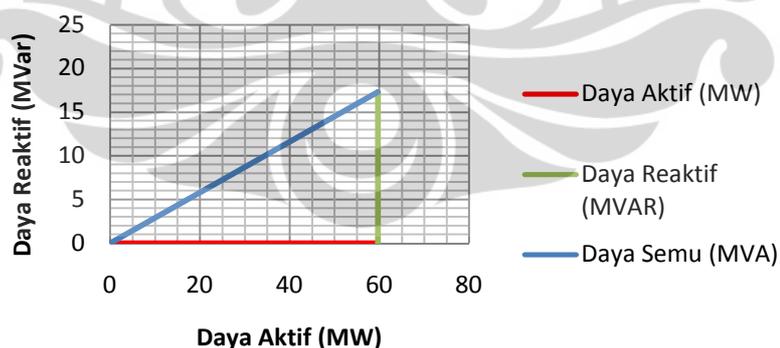
19. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 18.00 WIB



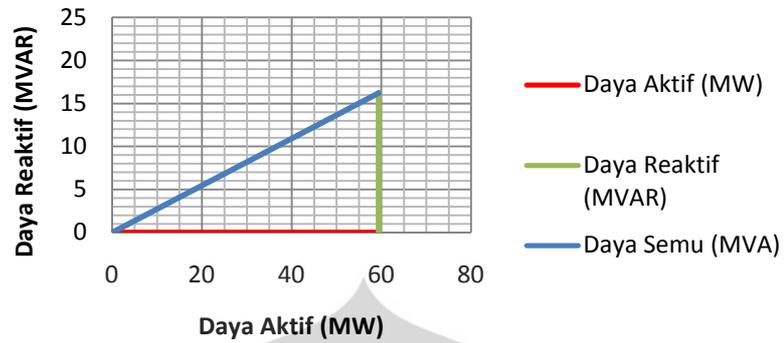
20. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 19.00 WIB



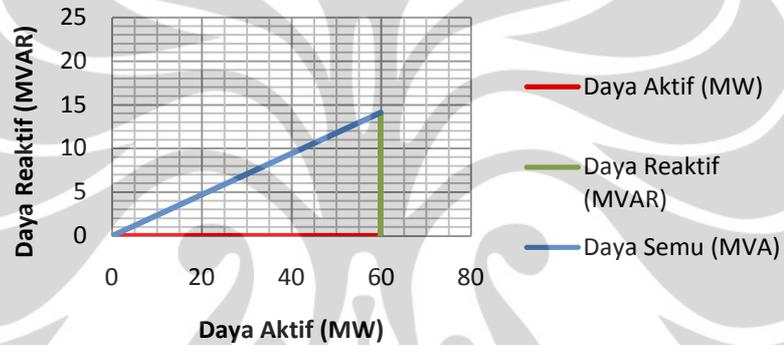
21. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 20.00 WIB



22. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 21.00 WIB



23. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 22.00 WIB



24. Faktor Daya "Lagging" pada Pukul 23.00 WIB

