

ANALISA EFISIENSI TURBIN GENERATOR BERDASARKAN KUALITAS DAYA PADA PLTU PABRIK GULA MADUKISMO

Briliana Kurniasari¹, Ir.Wiwik Handajadi, M. Eng², dan Slamet Hani, S.T., M.T³
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri
Institut Sains & Teknologi AKPRIND
Jl. Kalisahak No. 28, Balapan Yogyakarta, Indonesia
brilianakurniasari@yahoo.com¹, wiwikhan2@gmail.com², shan.akprind@gmail.com³

ABSTRACT

The need for electrical energy will continue to increase. So to meet the electricity needs, then built various kinds of power plants. One type of power plant is the Steam Power Center (PLTU) which uses the vapor kinetic energy to drive the turbine.

The performance of this PLTU system is influenced by the efficiency of the generator. To know the efficiency value of a generator at power plant, it is necessary to do research with some data as variable that will be counted. In the data collection conducted survey methods and literature review as a supporter of the research data.

The greater the efficiency of the feeding generator can be said that the generator is in good condition. In 2016 the generator efficiency of PT. Madu Baru PG. PS Madukismo decreased in September by 90.7% as of December by 68.8%. This decrease in efficiency is influenced by several factors such as weakening of generator's working capability, winding losses and losses in core generators, and mechanical losses. Changes in the load on the sugar factory are also influenced by the quality of the bagasse produced.

Keywords: PLTU, generator efficiency, electrical energy.

INTISARI

Kebutuhan energi listrik akan terus meningkat. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan listrik, maka dibangunlah berbagai macam pembangkit listrik. Salah satu jenis pembangkit listrik adalah Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang mempergunakan energi kinetik uap air untuk menggerakkan turbin.

Kinerja dari sistem PLTU ini salah satunya dipengaruhi oleh efisiensi dari generator. Untuk mengetahui nilai efisiensi dari suatu generator pada pembangkit listrik, perlu dilakukan penelitian dengan beberapa data sebagai variable yang akan dihitung. Dalam pengambilan data dilakukan metode survei dan tinjauan pustaka sebagai pendukung terhadap data penelitian tersebut.

Semakin besar efisiensi generator maka dapat dikatakan bahwa generator tersebut dalam kondisi yang baik. Pada tahun 2016 efisiensi generator PT. Madu Baru PG. PS Madukismo mengalami penurunan pada bulan September sebesar 90,7% hingga Desember sebesar 68,8%. Penurunan efisiensi ini dipengaruhi beberapa faktor seperti melemahnya kemampuan kerja generator, rugi-rugi panas pada kumparan (*winding*) dan rugi-rugi pada inti generator (*core*), serta rugi-rugi mekanik. Perubahan beban pada pabrik gula ini juga dipengaruhi oleh kualitas dari ampas tebu yang dihasilkan.

Kata Kunci: PLTU, efisiensi generator, energi listrik.

I. PENDAHULUAN

Pada saat ini di Indonesia kebutuhan akan energi listrik dari tahun ke tahun terus meningkat hal ini dapat dilihat dari semakin banyaknya sektor pembangunan dibidang industri maupun tempat tinggal masyarakat. Sebagian besar industri sangatlah bergantung pada tenaga listrik sebagai sarana untuk kelangsungan proses produksi maupun pengoperasiannya. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan listrik, maka dibangunlah berbagai macam pembangkit listrik di Indonesia. Salah satu jenis pembangkit listrik adalah Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU). Pusat Listrik Tenaga Uap adalah pembangkit tenaga listrik yang mempergunakan energi kinetik uap air untuk menggerakkan turbin.

Pembangkit listrik ini memiliki dua komponen utama, yaitu turbin uap dan generator listrik. Turbin uap berfungsi untuk mengubah tenaga uap menjadi tenaga gerak atau mekanis yang berupa putaran untuk memutar poros generator dan exciter. Sedangkan generator berfungsi sebagai mesin pembangkit tenaga listrik dengan mengkonversi energi mekanis menjadi listrik. Kinerja dari sistem PLTU ini salah satunya dipengaruhi oleh efisiensi dari generator.

Efisiensi adalah ukuran tingkat penggunaan sumber daya dalam suatu proses. Semakin besar efisiensi generatornya maka keandalan sistem juga semakin baik. Oleh karena itu perlu dilakukannya analisa terhadap efisiensi generator apakah generator masih dalam kondisi yang baik atau tidak.

Arus listrik mengalir saat generator terhubung ke beban. Besarnya arus listrik yang mengalir tergantung pada besarnya hambatan ke beban. Pengoperasian generator dituntut suatu kestabilan agar dapat bekerja secara optimal. Perubahan beban menyebabkan ketidakstabilan generator yang dapat mempengaruhi efisiensi generator (Dian Winny A, 2015).

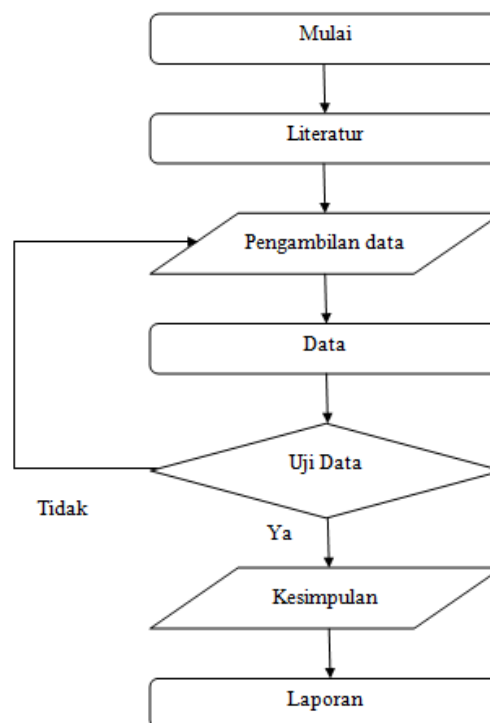
Efisiensi dari generator akan mempengaruhi kinerja dari sistem PLTU. Semakin besar efisiensi generatornya maka

keandalan sistem juga semakin baik. Efisiensi generator merupakan perbandingan antara daya keluaran atau daya yang dibangkitkan generator dengan daya masukan generator. Daya masukan generator sama dengan daya yang dihasilkan oleh turbin karena turbin dengan generator dikopel dan bekerja bersama (Dwi Cahyadi dan Hermawan, 2015).

II. METODOLOGI

Untuk mengetahui nilai efisiensi dari suatu generator pada pembangkit listrik, perlu dilakukan penelitian dengan beberapa data sebagai variable yang akan dihitung. Dalam pengambilan data dilakukan metode survei dan tinjauan pustaka sebagai pendukung terhadap data penelitian tersebut. sehingga diharapkan dapat memberikan gambaran yang sesuai dan tepat dengan kondisi yang sebenarnya.

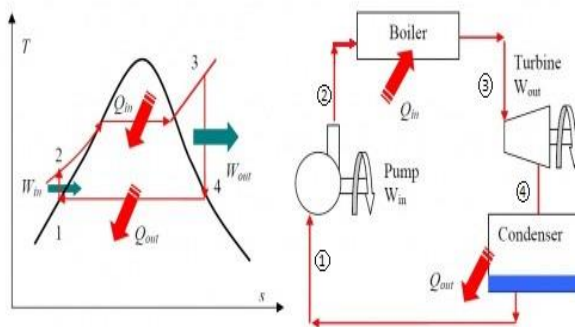
Diagram alir merupakan diagram atau bagan-bagan yang menggambarkan bagaimana jalannya suatu program yang dimulai dari awal hingga akhir. Proses penelitian dilakukan dengan beberapa tahap yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Siklus Rankine PLTU

Siklus merupakan sebuah rangkaian proses yang mana dimulai dari suatu tingkat kondisi yang akan kembali ke tingkat kondisi semula dan selalu berulang terus-menerus. Siklus Rankine adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja. Siklus Rankine merupakan siklus ideal untuk siklus tenaga uap. Siklus Rankine sederhana terdiri dari empat komponen utama yaitu pompa, boiler, turbin dan kondensor.



Gambar 2 Siklus Rankine

Terdapat 4 proses dalam siklus Rankine, yaitu:

- 1-2 Proses kompresi isentropik di dalam pompa
- 2-3 Proses penambahan kalor dengan tekanan konstan di boiler
- 3-4 Proses ekspansi isentropik pada turbin
- 4-1 Proses pelepasan kalor dengan tekanan konstan pada kondensor

PLTU menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup yang merupakan penggunaan fluida yang sama secara berulang-ulang. Berikut ini merupakan tahapan sirkulasinya secara singkat, yaitu:

1. Pertama air disisikan ke boiler hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam boiler air ini dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
2. Kedua, uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.
3. Ketiga, generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi

listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal *output* generator

4. Keempat, uap bekas keluar turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi boiler.

Turbin Uap

Fungsi utama dari turbin uap yaitu sebagai alat pengkonversi energi panas menjadi energi mekanik yang berupa putaran pada poros turbin yang nantinya digunakan untuk memutar poros generator dan exciter. Generator membutuhkan putaran sebesar 1500 rpm dengan penggerak turbin uap. Uap yang dibutuhkan rata-rata sebanyak 14 ton/jam. Pada PT. Madu Baru PG. PS Madukismo menggubakan turbin uap jenis *back pressure turbine* yang mana uap yang telah keluar dari turbin akan dimanfaatkan kembali sebagai air pengisi ketel dengan cara uap bekas yang keluar dari turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi ketel. Spesifikasi turbin uap yang digunakan PT. Madu Baru PG. PS Madukismo Yogyakarta, yaitu:

- Merk *Turbinfabrik Dresden*
- Buatan dari Jerman pada tahun 1955
- Tipe turbin *Impuls* atau aksi
- Tipe sudut *De laval-voelly*
- Tipe *nozzle Konvergen*
- Jumlah *nozzle* 25 buah
- Sudut *nozzle* 20°
- Jumlah pemakaian uap 16 ton/jam
- Pengatur putaran *governor hydraulic*
- Jumlah motor 4 buah
- Daya 1280 KW
- Kecepatan operasi 6000/1500 rpm
- Tekanan uap maksimal 15 kg/cm²
- Temperatur uap 320 °C
- Tekanan minyak turbin maksimal 2,5 kg/cm²
- Temperatur minyak turbin maksimal 45 °C

Generator Sinkron

Generator sinkron merupakan mesin pengkonversi energi dari energi mekanik menjadi energi listrik yang kemudian dapat menghasilkan tegangan bolak-balik. Generator sebagai pembangkit listrik pada PT. Madu Baru PG. PS Madukismo Yogyakarta mempunyai spesifikasi, yaitu:

- Merk *Sachsenwesh*
- Buatan dari Jerman
- *Synchron generator type SEE 1216-4*
- Tegangan output 6300 Volt
- Daya output 1280 KW atau 1600KVA, $\text{Cos } \phi = 0,8$
- Rotor kumparan bintang dengan putaran 1500 rpm
- Beban generator maksimal 1,2 MW

Efisiensi Generator

Secara umum efisiensi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara *output* terhadap *input* dalam suatu proses. Efisiensi merupakan salah satu persamaan yang penting dalam termodinamika untuk mengetahui seberapa baik konversi energi yang terjadi. Daya masukan untuk generator berupa daya mekanik atau sama dengan gaya yang dihasilkan oleh turbin, karena turbin dengan generator dikopel dan bekerja bersama dan menghasilkan daya keluaran berupa daya listrik. Untuk menghitung efisiensi dari generator menggunakan persamaan:

$$\eta_{gen} = \frac{\text{Beban}}{P_{Turbin}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \eta_{gen} &= \text{Efisiensi generator (\%)} \\ \text{Beban} &= \text{Daya beban generator (kW)} \\ P_{Turbin} &= \text{Daya turbin (MW)} \end{aligned}$$

Berdasarkan data dan pengamatan yang berkaitan dengan turbin dan generator yang terdapat di PT. Madu Baru PG. PS Madukismo Yogyakarta. Dengan menggunakan metode asumsi untuk mempermudah penyelesaian permasalahan adalah sebagai berikut:

1. Nilai tekanan dan temperatur pada tubin uap serta beban generator merupakan rata-rata dalam satu bulan selama proses produksi gula.
2. Nilai laju aliran massa uap pada turbin memiliki rata-rata 13.500 kg/h.
3. Turbin uap memiliki nilai efisiensi rata-rata sebesar 65%.

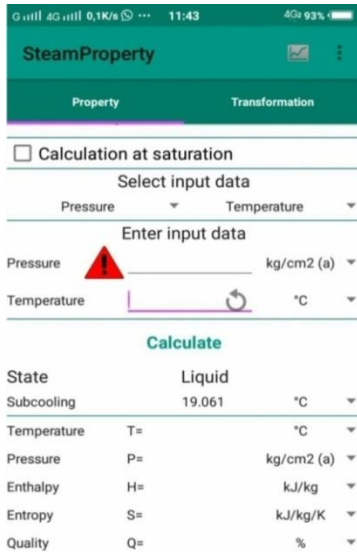
Untuk melihat perubahan yang terjadi pada efisiensi generator data yang diambil adalah data yang terjadi pada saat musim giling tahun 2016 sampai 2017, yaitu pada bulan Mei sampai Desember 2016 dan bulan Mei sampai Juni 2017. Data tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Data Operasi pada Turbin Uap

| No | Bulan | Tekanan (kg/cm ²) | | Temperatur (°C) | |
|----|----------------|-------------------------------|-----------|-----------------|-----------|
| | | Uap Baru | Uap Bekas | Uap Baru | Uap Bekas |
| 1 | Mei 2016 | 13,57 | 0,48 | 338,73 | 178,2 |
| 2 | Juni 2016 | 13,59 | 0,5 | 355,93 | 186,47 |
| 3 | Juli 2016 | 13,95 | 0,58 | 341 | 178,13 |
| 4 | Agustus 2016 | 14,34 | 0,65 | 351,6 | 182 |
| 5 | September 2016 | 13,56 | 0,48 | 350,33 | 180,73 |
| 6 | Oktober 2016 | 12,65 | 0,43 | 350,13 | 180 |
| 7 | Nopember 2016 | 11,71 | 0,42 | 348,8 | 178,33 |
| 8 | Desember 2016 | 11,33 | 0,44 | 347,73 | 177,33 |
| 9 | Mei 2017 | 15,27 | 0,48 | 329 | 175 |
| 10 | Juni 2017 | 15,51 | 0,54 | 343,67 | 177,33 |

Untuk mengetahui sifat-sifat uap dapat menggunakan aplikasi yang disebut *Steam Property*. *Steam Property* merupakan sebuah aplikasi pada *smartphone* yang menyediakan data yang akurat dari daftar lengkap termodinamika dan fisik untuk air dan uap, seperti nilai *enthalpy* dan entropi. *Enthalpy* merupakan suatu istilah dalam termodinamika yang digunakan untuk menyatakan jumlah energi dari suatu sistem termodinamika. Aplikasi *Steam Property* ini dapat di *instal* pada *handphone* android yang terdapat pada

playstore. Gambar 3 merupakan tampilan aplikasi *Steam Property*:



Gambar 3 Tampilan Aplikasi *Stem Property*

Dengan menggunakan aplikasi *Stem Property*, sehingga didapat nilai entalpi seperti pada Tabel 2

Tabel 2 Nilai Entalpi

| No | Bulan | Entalpi | |
|----|----------------|---------|--------|
| | | h1 | h2 |
| 1 | Mei 2016 | 3127,2 | 2835,3 |
| 2 | Juni 2016 | 3164,2 | 2851,4 |
| 3 | Juli 2016 | 3131,3 | 2834,7 |
| 4 | Agustus 2016 | 3153,4 | 2841,9 |
| 5 | September 2016 | 3152,2 | 2840,3 |
| 6 | Oktober 2016 | 3153,6 | 2839,1 |
| 7 | Nopember 2016 | 3152,7 | 2835,9 |
| 8 | Desember 2016 | 3151,1 | 2833,9 |
| 9 | Mei 2017 | 3127 | 2829,1 |
| 10 | Juni 2017 | 3133,8 | 2833,3 |

Data rata-rata yang dibangkitkan generator pada PLTU PT. Madu Baru PG. PS Madukismo Yogyakarta dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Data Rata-rata yang Dibangkitkan Generator

| No | Bulan | Beban Generator (MW) |
|----|----------------|----------------------|
| 1 | Mei 2016 | 0,64 |
| 2 | Juni 2016 | 0,6 |
| 3 | Juli 2016 | 0,66 |
| 4 | Agustus 2016 | 0,71 |
| 5 | September 2016 | 0,69 |
| 6 | Oktober 2016 | 0,6 |
| 7 | Nopember 2016 | 0,56 |
| 8 | Desember 2016 | 0,53 |
| 9 | Mei 2017 | 0,67 |
| 10 | Juni 2017 | 0,68 |

Untuk menentukan kerja turbin dengan menggunakan temperatur dan tekanan uap yang masuk dan keluar pada turbin serta dengan diketahuinya nilai entalpi uap masuk dan uap keluar turbin, yang dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$W_T = m (h_1 - h_2) \quad (2)$$

Dimana:

m = Laju aliran massa *steam* turbin (kg/h)

h_1 = Entalpi *steam inlet* turbin (kJ/kg)

h_2 = Entalpi *steam exhaust* turbin (kJ/kg)

Sedangkan untuk mencari daya yang dihasilkan oleh turbin dengan cara mengalikan energi yang dihasilkan oleh turbin dengan efisiensi dari turbin, yang dapat dinyatakan dengan persamaan

$$P_{turbin} = W_T \times \eta_{turbin} \quad (3)$$

Dimana:

W_T = Kerja turbin (MW)

$$\eta_{\text{turbin}} = \text{Efisiensi turbin (\%)}$$

Untuk mengetahui daya masukan generator maka dapat diketahui dari daya keluaran turbin uap. Daya yang dihasilkan oleh turbin uap dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2 dan 3. Untuk menghitung kerja dari turbin uap maka diperlukan data seperti laju aliran massa turbin uap dan entalpi. Sebagai contoh perhitungannya akan menggunakan sampel data pada bulan pertama dilakukannya proses penggilingan tahun 2016:

$$P_1 = 13,56 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_1 = 338,73 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_2 = 0,48 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_2 = 178,20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 3127,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 2835,3 \text{ kJ/kg}$$

$$W_T = m \cdot (h_1 - h_2)$$

$$= 13500 \text{ kg/h} \cdot (3127,2 \text{ kJ/kg} - 2833,8 \text{ kJ/kg})$$

$$= 13500 \text{ kg/h} \cdot 291,9 \text{ kJ/kg}$$

$$= 3940650 \text{ kJ/h}$$

$$= 1,1 \text{ MW}$$

Menghitung daya pada turbin uap

$$P_T = W_T \cdot \eta_{\text{turbin}}$$

$$= 1,1 \cdot 65\%$$

$$= 0,72 \text{ MW}$$

Setelah daya turbin uap diketahui maka dapat dihitung nilai efisiensi pada generator, dengan beban yang dibangkitkan 0,64 MW

$$\eta_{\text{generator}} = \frac{\text{Beban}}{P_{\text{Turbin}}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,64}{0,72} \times 100\%$$

$$= 88,9\%$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada data yang lain, maka didapatkan nilai daya pada turbin dan beban yang

dibangkitkan generator ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Data Perhitungan Daya Turbin dan Pengukuran Daya pada Generator

| No | Bulan | Beban Generator (MW) | Daya Turbin (MW) |
|----|----------------|----------------------|------------------|
| 1 | Mei 2016 | 0,64 | 0,72 |
| 2 | Juni 2016 | 0,6 | 0,72 |
| 3 | Juli 2016 | 0,66 | 0,78 |
| 4 | Agustus 2016 | 0,71 | 0,78 |
| 5 | September 2016 | 0,69 | 0,76 |
| 6 | Oktober 2016 | 0,6 | 0,77 |
| 7 | Nopember 2016 | 0,56 | 0,77 |
| 8 | Desember 2016 | 0,53 | 0,77 |
| 9 | Mei 2017 | 0,67 | 0,73 |
| 10 | Juni 2017 | 0,68 | 0,74 |

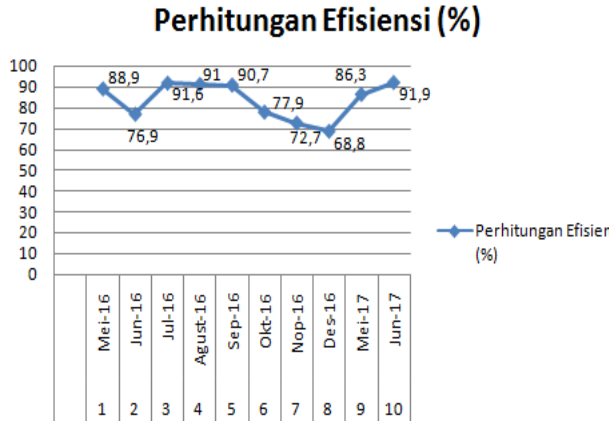
Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada data yang lain, maka didapatkan nilai efisiensi yang dihasilkan generator yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Data Perbandingan Efisiensi Generator

| No | Bulan | Perhitungan Efisiensi (%) |
|----|----------------|---------------------------|
| 1 | Mei 2016 | 88,9 |
| 2 | Juni 2016 | 76,9 |
| 3 | Juli 2016 | 91,6 |
| 4 | Agustus 2016 | 91 |
| 5 | September 2016 | 90,7 |
| 6 | Oktober 2016 | 77,9 |
| 7 | Nopember 2016 | 72,7 |
| 8 | Desember 2016 | 68,8 |
| 9 | Mei 2017 | 86,3 |
| 10 | Juni 2017 | 91,9 |

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari Tabel 5 maka dapat diketahui grafik perbandingan efisiensi generator yang terjadi selama proses penggilingan pada tahun 2016 dan tahun 2017:



Gambar 4 Grafik Perbandingan Efisiensi Generator

Berdasarkan diagram pada Gambar 4 terlihat nilai efisiensi generator pada PLTU PT. Madu Baru PG. PS Madukismo Yogyakarta mengalami perubahan yang fluktuatif. Selama musim giling tahun 2016 dan 2017 didapatkan nilai efisiensi terendah pada bulan Desember 2016 sebesar 68,8% dan nilai efisiensi tertinggi pada bulan Juni 2017 sebesar 91,9%. Dari hasil analisa dapat diperoleh bahwa semakin besar nilai dari daya masukan generator atau daya yang dihasilkan turbin maka efisiensi dari generator juga semakin besar.

Selain itu perubahan beban dapat menyebabkan ketidakstabilan generator hal inilah yang dapat menyebabkan efisiensi pada generator dapat mengalami perubahan yang fluktuatif saat beroperasi. Perubahan beban pada pabrik gula ini dipengaruhi oleh kualitas dari ampas tebu yang dihasilkan. Seperti pada tahun 2016 ampas tebu yang dihasilkan sangatlah melimpah tetapi hal ini tidak diiringi dengan kualitas ampas tebu yang buruk akibat musim hujan. Ampas tebu yang basah akan menghasilkan pembakaran yang kurang maksimal, oleh karena itu ampas tebu harus dijaga agar tetap kering.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan manual, nilai efisiensi yang diambil dari nilai temperatur uap, tekanan uap, dan beban yang dibangkitkan generator selama musim giling pada tahun 2016 sampai 2017, yaitu pada bulan Mei sampai Desember 2016 dan bulan Mei sampai Juni 2017. Dengan nilai rata-rata diambil setiap bulannya, sehingga didapat nilai efisiensi terendah pada bulan Desember sebesar 68,8% dan nilai efisiensi tertinggi pada bulan Juni 2017 sebesar 91,9%.
2. Pada tahun 2016 yaitu bulan September sampai Desember mengalami penurunan terus menerus dimulai pada bulan September dengan nilai efisiensi 90,7% hingga bulan Desember dengan nilai efisiensi 68,8%.
3. Dari hasil yang telah didapat apabila nilai efisiensi generator mengalami penurunan, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhinya seperti kemampuan menurunnya kinerja dari generator maupun meningkatnya rugi-rugi yang ada pada generator tersebut seperti rugi-rugi mekanik. Selain itu pada tahun 2016 efisiensi generator terus mengalami penurunan hal ini juga dipengaruhi oleh kualitas ampas tebu yang dihasilkan. Ampas tebu yang dihasilkan tahun 2016 sangat melimpah tetapi memiliki kualitas yang cukup buruk karena ampas tebu basah, hal ini dipengaruhi oleh musim penghujan yang terjadi pada saat itu.

V. Ucapan Terimakasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Jurusan Teknik Elektro IST AKPRIND Yogyakarta, Bapak Ir. Wiwik Handajadi, M.Eng dan Bapak Slamet Hani, S.T., M.T selaku dosen pembimbing, Orang tua yang selalu memberikan doa, support dan selalu mendampingi, serta Bapak

Taufik Ramdhan dan seluruh karyawan di PT. Madu Baru PG. PS Madukismo Yogyakarta yang telah memberi masukan dan bantuan saat melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2004. "Profil PT. Madu Baru PG/PS Madukismo". Yogyakarta.
- Apni, Dian W. 2015. *Analisis Pengaruh Beban Terhadap generator Sinkron Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pangkalan Susu*. Medan: Tugas Akhir. Politeknik Negeri Medan.
- Cahyadi, D., & Hermawan. 2015. Analisa Perhitungan Efisiensi Turbine Generator QFSN-300-2-20B Unit 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU Rembang . *Teknik Elektro*.
- Cahyo, B. N. 2011. *Analisis Governor Sebagai Pengatur Beban Generator Pada PLTA Waduk Gajah Mungkur Wonogiri*. Yogyakarta: Skripsi. IST AKPRIND.
- Handoyo, J. 2014. *Mesin Penggerak Utama Turbin Uap* . Yogyakarta: Deepublish.
- Harris, Anam, S., & Mahmudsyah, S. 2013. Studi Pemanfaatan Limbah Padat Dari Perkebunan Kelapa Sawit Pada PLTU 6 MW Di Bangka Belitung. *Teknik Elektro*, 2, No. 1.
- Irawan, H. 2010. Sistem Penguatan Dengan Sikat (Brush Excitation System) Pada Generator Unit 1 PLTU Cilacap. *Teknik Elektro*.
- Marsudi, D. 2011. *Pembangkit Energi Listrik* . Jakarta: Erlangga.
- Potter, M., & Somerton, C. 2011. *Termodinamika Teknik*. Jakarta : Erlangga.
- Purwati, A. 2015. *Ampas Tebu Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pada Listrik Tenaga Uap (PLTU)*. Yogyakarta: Skripsi. IST AKPRIND.
- Rijono, Y. 2004. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta: ANDI.
- Saputra, Edwin. 2016. *Studi Sistem Sinkronisasi Generator Secara Otomatis Di PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju*. Palembang: Laporan Akhir. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Yusuf Nasution, S. 2011. Pembuatan Simulator Turbin Uap Berbasis Logika Fuzzy. *Pusat Inovasi*.