



ANALISA PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP EFISIENSI GENERATOR DI PLTG BORANG DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE MATLAB

Muhammad Noer

Dosen Politeknik Negeri Sriwijaya pada Program Studi Teknik Elektro
e-mail : mnjphiliang@gmail.com

ABSTRAK

Untuk mengetahui nilai efisiensi generator dan rugi daya pada PLTG Borang, dilakukan perhitungan secara manual serta menggunakan software MATLAB, Perhitungan efisiensi generator dan rugi daya dengan menggunakan software MATLAB dilakukan dengan mengumpulkan data-data berupa daya dan arus beban terpakai generator. Berdasarkan hasil perhitungan manual dan dengan menggunakan software MATLAB berbasis GUI, efisiensi tertinggi pada PLTG Borang didapat saat beban puncak sebesar 99,88 %. Sedangkan efisiensi terendah untuk hasil perhitungan manual didapat saat beban tertinggi sebesar 99,87 %. Dan hasil perhitungan rugi daya dengan perhitungan manual lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan software MATLAB, rugi daya terkecil pada saat beban puncak adalah 0,0112 MW dan rugi daya terbesar pada saat beban puncak adalah 0,0136 MW. Efisiensi dan Rugi daya sangat dipengaruhi oleh daya dan arus beban yang terpakai. Semakin tinggi daya dan arus beban maka semakin tinggi efisiensi generator dan semakin kecil rugi daya pada generator.

Kata kunci : Efisiensi, Pembebanan, Efisiensi Generator, Arus beban

ABSTRACT

To determine the efficiency of the generator and the power loss in Borang gas power plant, we have to do the calculations manually and using MATLAB software, calculation of the efficiency of the generator and the power loss by using MATLAB software is done by collecting data in the form of unused power generator and the load current. Based on calculations manually and by using MATLAB software-based GUI, the highest efficiency at the power plant during peak load Borang obtained by 99.88%. While the lowest efficiency for manual calculation results obtained when the load is highest at 99.87%. And calculating results with the manual calculation of power losses are smaller when compared to using MATLAB software, the smallest power losses during peak hours is 0.0112 MW and the largest power losses during peak hours is 0.0136 MW. Efficiency and power loss is strongly influenced by the power and load current are used. The higher the power and the load current, the higher efficiency and the smaller generator power losses in the generator.

Keywords: Efficiency, Load, Power Loss, Power, load current

PENDAHULUAN

Pembangunan di bidang ketenagalistrikan menjadi prioritas utama pemerintah karena tenaga listrik merupakan kebutuhan primer yang harus dipenuhi. Saat ini, tenaga listrik menjadi tenaga penggerak sektor industri di Indonesia membutuhkan listrik baik sebagai energi utama maupun energi pelengkap. Dengan Bergeraknya sektor industri ini, otomatis sektor ekonomi juga ikut bergerak. Oleh sebab itu tenaga listrik menjadi kebutuhan vital untuk meningkatkan pembangunan ekonomi dan

kualitas kehidupan bangsa. Pemerintah selaku pembuat kebijakan ekonomi selalu memberikan prioritas utama pada pembangunan nasional sebagai upaya pemenuhan kebutuhan penyediaan tenaga listrik bagi masyarakat. Dalam usahanya dalam memenuhi tingginya kebutuhan akan tenaga listrik ini, perusahaan tentunya akan menemui berbagai kendala dan kesulitan.

Salah satu peralatan yang menunjang energi listrik pada PLTG adalah generator. Kehandalan generator dalam pengoperasian PLTG sangat berpengaruh pada energi listrik yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa pengaruh pembebanan terhadap efisiensi generator di PLTG Borang menggunakan Matlab.

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam tulisan tentang *Generator Listrik Arus Bolak-Balik*, Abdul wahab menerangkan bahwa generator merupakan sebuah alat yang mampu menghasilkan arus listrik. Generator Arus Bolak-balik sering disebut juga sebagai alternator atau generator AC (alternating current) atau juga generator sinkron. Alat ini sering dimanfaatkan di industri untuk menggerakkan beberapa mesin yang menggunakan arus listrik sebagai sumber penggerak.

Generator sinkron (altenator) merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (prime mover), sedangkan energi listrik diperoleh dari proses dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya. (wahyukr,h;20)

Prinsip Kerja Generator Sinkron

Prinsip kerja dari generator sinkron dapat dinyatakan sebagai berikut :

- Rotor disuplai dengan arus DC I_f yang kemudian menghasilkan fluks magnet ϕ .
- Rotor digerakkan oleh turbin dengan kecepatan konstan sebesar n_s .
- Garis gaya magnet bergerak menginduksi kumparan pada stator.
- Frekuensi dari tegangan generator tergantung dari kecepatan putaran rotor yang dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$f = \frac{p}{2} \times \frac{n}{60} = \frac{p n}{120} \dots\dots\dots (2.1)$$

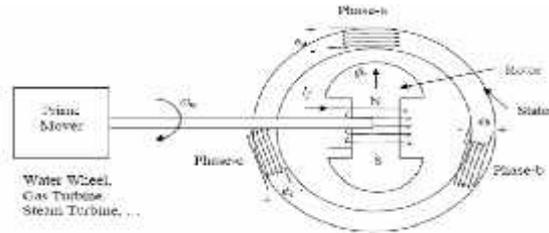
dimana : f = frekuensi (Hz)
 p = jumlah kutub
 n = kecepatan putaran rotor (rpm)

Adapun besar GGL induksi kumparan stator atau GGL induksi armatur per fasa adalah :

$$E_a / ph = 4,44. f. M. \cdot K_d \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

- E_a = Gaya gerak listrik armatur per fasa (volt)
- f = Frekuensi output generator (Hz)
- M = Jumlah kumparan per fasa = $Z/2$
- Z = Jumlah konduktor seluruh slot per fasa
- k_d = Faktor distribusi. Hal ini diperlukan karena kumparan armatur atau alternator tidak terletak di dalam satu slot melainkan terdistribusi dalam beberapa slot per fasa
- = Flux magnet per kutub per fasa



Gambar 2. Prinsip Kerja Generator Sinkron

Efisiensi Generator

Efisiensi generator adalah perbandingan antara daya output dengan daya input. Seperti halnya dengan mesin- mesin listrik lainnya, maupun transformator, maka efisiensi generator sinkron dapat dituliskan seperti Persamaan :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.13)$$

(Yon Rijono, 2004 : 244)

Dimana :

$$P_{in} = P_{out} + \Sigma PR_{ugi} \dots\dots\dots (2.14)$$

P_{out} = daya keluaran

$$P_{in} = \text{daya masukan} \Sigma PR_{ugi} = I^2 \cdot R \dots\dots\dots (2.15)$$

Rugi Rugi Daya Pada Generator

1. Rugi Listrik

Rugi listrik dikenal juga dengan rugi tembaga yang terdiri dari kumparan armatur, kumparan medan. Rugi – rugi tembaga ditemukan pada semua belitan pada mesin, dihitung berdasarkan pada tahanan dc dari lilitan pada suhu 75⁰ C dan tergantung pada tahanan efektif dari lilitan pada fluks dan frekuensi kerjanya. (Kadir Abdul,2010). Rugi kumparan armatur ($P_{ar} = I_a^2 \cdot R_a$) sebesar sekitar 30 sampai 40% dari rugi total pada beban penuh.

Sedangkan rugi kumparan medan shunt ($P_{sh} = I_{sh}^2 \cdot R_{sh}$) bersama–sama dengan kumparan medan seri ($P_{sr} = I_{sr}^2 \cdot R_{sr}$) sebesar sekitar 20 sampai 30% dari rugi beban penuh. Sangat berkaitan dengan rugi I^2R adalah rugi – rugi kontak sikat pada cincin slip dan komutator, rugi ini biasanya diabaikan pada mesin induksi dan mesin serempak, dan pada mesin dc jenis industri tegangan jatuh pada sikat dianggap tetap sebesar 2V keseluruhannya jika dipergunakan sikat arang dan grafit dengan shunt.

2. Rugi Besi

Rugi besi disebut juga rugi magnetik yang terdiri dari histerisis dan rugi arus pusar atau arus eddy yang timbul dari perubahan kerapatan fluks pada besi mesin dengan hanya lilitan peneral utama yang diberi tenaga pada generator sinkron rugi ini dialami oleh besi armatur, meskipun pembentukan pulsa fluks yang berasal dari mulut celah akan menyebabkan rugi pada besi medan juga, terutama pada sepatu kutub atau permukaan besi medan. (muslis, Supari,2008) .

Rugi ini biasanya data diambil untuk suatu kurva rugi – rugi besi sebagai fungsi dari tegangan armatur disekitar tegangan ukuran. Maka rugi besi dalam keadaan terbebani ditentukan sebagai harga pada suatu tegangan yang besarnya sama dengan tegangan ukuran yang merupakan perbedaan dari

jatuhnya tahanan ohm armatur pada saat terbebani. Rugi histerisis (Ph) dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan empiris yang besarnya adalah :

$$P_h = \eta_h \cdot B_{max} \cdot f \cdot v \text{ (watt)} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

η_h = koefisien steinmetz histerisis. Perhatikan tabel 2.1 tentang nilai η_h dari bermacam – macam bahan baja .

B = kerapatan flux (Wb/m²)

v = volume inti (m³)

f = frekuensi (Hz)

Tabel 1 Nilai Koefisien Steinmetz Histerisis

Bahan	η_h (joule / m ³)
Sheet steel	502
Silicon steel	191
Hard Cast steel	7040
Cast steel	750 – 3000
Cast iron	2700 – 4000

Dari persamaan, besar koefisien steinmetz histerisis, kerapatan flux dan volume inti adalah konstan sehingga nilai rugi histerisis adalah merupakan fungsi dari frekuensi atau ditulis ;

$$P_h = F(f) \dots\dots\dots ()$$

Jadi makin besar frekuensi sinyal tegangan output makin besar rugi histerisis yang diperoleh.

Adapun rugi arus pusar atau rugi arus eddy tergantung kuadrat dari kerapatan fluks, frekuensi dan ketebalan dari lapisan pada keadaan mesin normal besarnya adalah:

$$P_e = k \cdot B_{max} \cdot f^2 \cdot t^2 \cdot V \dots\dots\dots ()$$

Dimana : k = konstanta arus pusar yang tergantung pada ketebalan laminasi masing-masing lempengan dan volume inti armatur. Oleh karena nilai k dan b adalah konstan, maka besar kecilnya rugi arus pusar adalah tergantung pada nilai frekuensi kuadrat atau ditulis :

$$P_e = F(f)^2 \dots\dots\dots ()$$

Besar rugi besi adalah sekitar 20 sampai 30% dari rugi total pada beban penuh.

3. Rugi Mekanik

Rugi mekanik terdiri dari :

- a. Rugi gesek yang terjadi pada pergesekan sikat dan sumbu. Rugi ini dapat diukur dengan menentukan masukan pada mesin yang bekerja pada kecepatan yang semestinya tetapi tidak diberi beban dan tidak diteral.
- b. Rugi angin (windage loss) atau disebut juga rugi buta (stray loss) akibat adanya celah udara antara bagian rotor dan bagian stator. Besar rugi mekanik sekitar 10 sampai 20% dari rugi total pada beban penuh.

METODE PENELITIAN

Tabel 2. Data Generator Gas Unit LM2000 PLTG Borang

Protection	IP 54
Type	Frame : 650 L2X PEP-AFT
Output	22.500 kVA
Rated Speed	3000 rpm
Frequency	50 Hz
Voltage	11.500 V
Excitation Voltage	226 V
Insulation Class	Armature F Field F
Temp. Rise of Armature	119 °C
Standard	IEC 60034
Serial No.	1A5316RJ1
Cooling	IC3A1
Rating	Cont.
Number of Phases	3
Poles	2
Power Factor	85 %
Armature Amperes	1130 A
Field Amperes	364 A
Inlet Air Temp.	15 °C
Temp. Rise of Field	115 °C
Z	10 %
R	10 %



Gambar 3.1 Generator Gas Unit LM2000 PLTG Borang



Gambar 4 Exciter Generator Gas Unit LM2000 PLTG Borang

Tabel 3 Data *Exciter* Generator Gas Unit LM2000 PLTG Borang

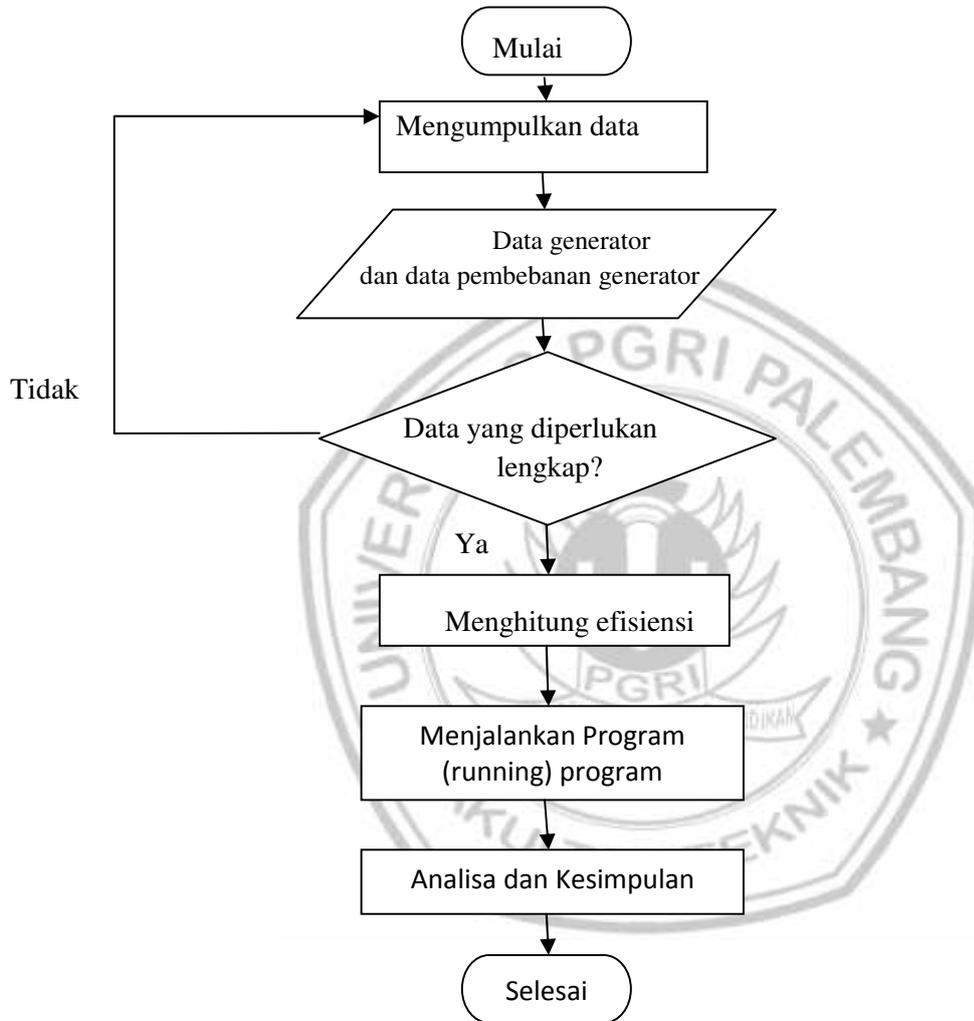
Protection	IP 54
Type	EP – A4
Output	150 kVA
Rated Speed	3000 rpm
Frequency	100 Hz
Voltage	240 V
Field Voltage	81 V
Insulation Class	Armature F Field F
Standard	IEC 60034
Cooling	IC3A1
Rating	Cont.
Phase	3
Poles	4
Power Factor	90 %
Current	361 A
Coolant Temp.	15° C
Date	2003



Gambar 5 *Auto Voltage Regulator* di PLTG Borang

Flowchart Perhitungan Efisiensi Generator

Adapun tahap-tahap dalam perhitungan efisiensi generator dengan software matlab adalah sebagai berikut :



Gambar 6. Flowchart Perhitungan Efisiensi Generator

HASIL DAN ANALISA

Pembebanan Generator dan Eksitasi Generator

Berdasarkan Data Pembebanan rata-rata arus dan tegangan pada table dibawah ini, dari tanggal 16-18 Maret 2016 maka dapat terlihat daya keluaran generator dari beban yang terpakai, yang kemudian dapat menghitung rugi daya pada generator dan efisiensi generator.

Tabel 4. Perhitungan Rugi daya dan efisiensi generator pada Tanggal 16 Maret 2016

Jam	Manual	MATLAB
-----	--------	--------

	Loss (MW)	Efisiensi (%)	Loss (MW)	Efisiensi (%)
11.00	0,0112	99,88	0,01145	99,88
12.00	0,0113	99,88	0,01160	99,88
13.00	0,0117	99,88	0,01199	99,88
14.00	0,0119	99,88	0,01219	99,88
15.00	0,0116	99,88	0,01185	99,88
16.00	0,0122	99,88	0,01243	99,88
17.00	0,0119	99,88	0,01219	99,88
18.00	0,0114	99,88	0,01170	99,88
19.00	0,0111	99,88	0,01136	99,88
20.00	0,0121	99,88	0,01233	99,88
21.00	0,0114	99,88	0,0117	99,88
22.00	0,0115	99,88	0,01179	99,88
23.00	0,0110	99,88	0,01122	99,88
00.00	0,0117	99,88	0,01194	99,88
01.00	0,0109	99,88	0,01117	99,88
02.00	0,0117	99,88	0,011194	99,88
03.00	0,0118	99,88	0,01204	99,88
04.00	0,0117	99,88	0,01119	99,88
05.00	0,0118	99,88	0,01204	99,88
06.00	0,0116	99,88	0,01189	99,88
07.00	0,0115	99,88	0,01175	99,88
08.00	0,0119	99,88	0,01213	99,88
09.00	0,0115	99,88	0,01175	99,88
10.00	0,0122	99,99	0,01243	99,88

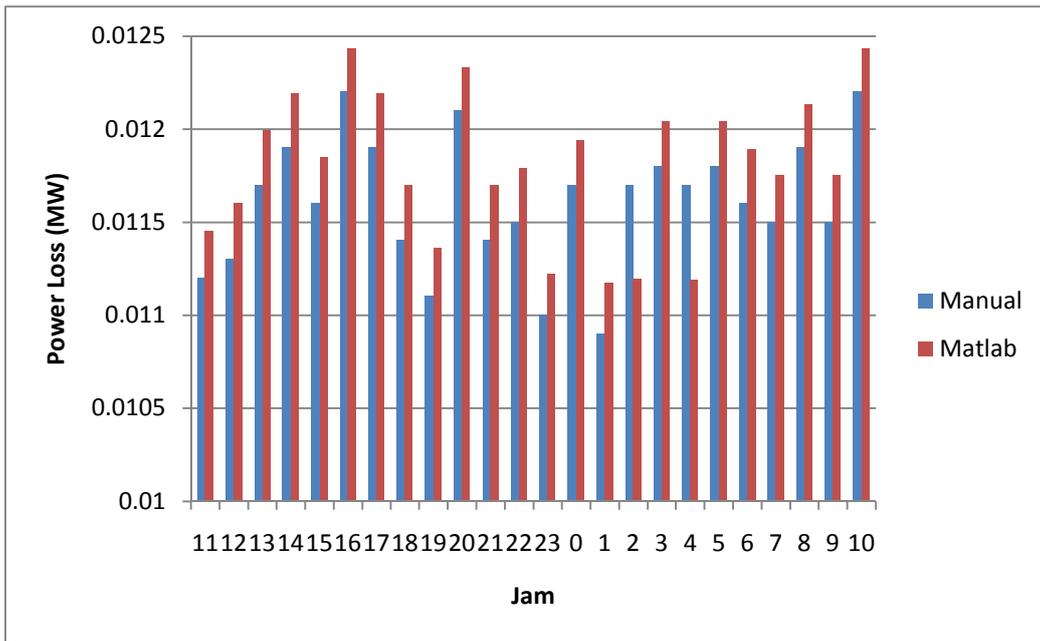
Tabel 5. Perhitungan Rugi daya dan efisiensi generator pada Tanggal 17 Maret 2016

Jam	Manual		MATLAB	
	Loss (MW)	Efisiensi (%)	Loss (MW)	Efisiensi (%)
11.00	0,0116	99,88	0,01185	99,87
12.00	0,0118	99,88	0,01209	99,87
13.00	0,0122	99,87	0,01249	99,87
14.00	0,0116	99,88	0,01185	99,87
15.00	0,0126	99,87	0,01294	99,87
16.00	0,0125	99,87	0,01278	99,87
17.00	0,0126	99,87	0,01288	99,87
18.00	0,0121	99,87	0,01233	99,87
19.00	0,0133	99,87	0,01360	99,87
20.00	0,0136	99,87	0,01387	99,87
21.00	0,0124	99,87	0,01268	99,87
22.00	0,0119	99,88	0,01219	99,87
23.00	0,0119	99,88	0,01219	99,87
00.00	0,0119	99,88	0,01213	99,88

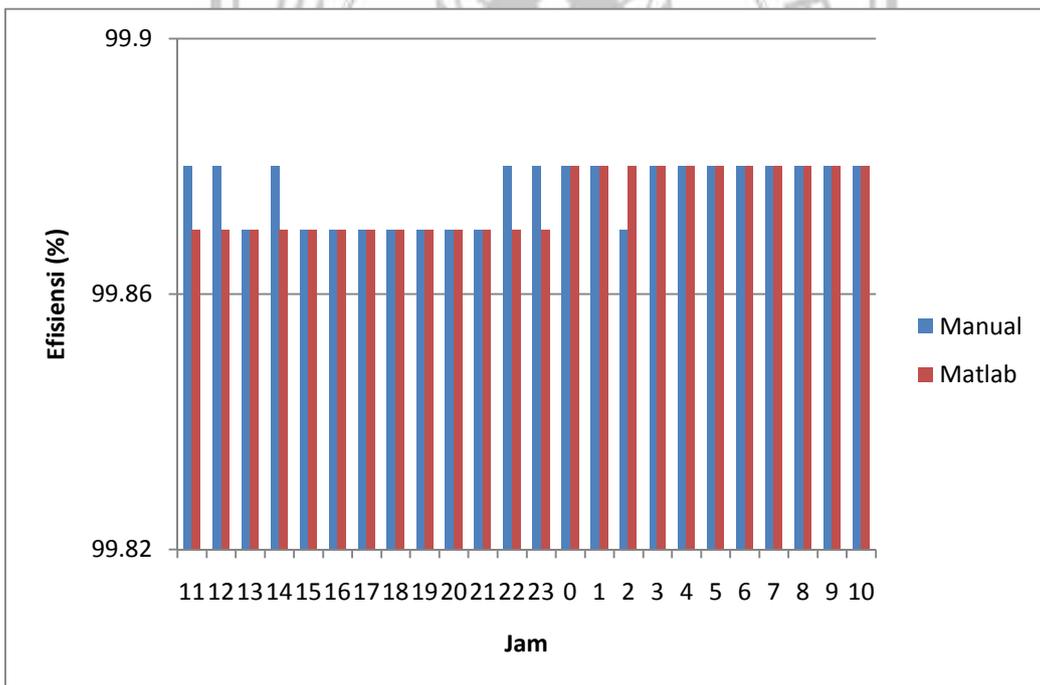
01.00	0,0112	99,88	0,01145	99,88
02.00	0,0114	98,87	0,01170	99,88
03.00	0,0111	99,88	0,01136	99,88
04.00	0,0117	99,88	0,01199	99,88
05.00	0,0117	99,88	0,01194	99,88
06.00	0,0113	99,88	0,01155	99,88
07.00	0,0116	99,88	0,01189	99,88
08.00	0,0121	99,88	0,01239	99,88
09.00	0,0116	99,88	0,01185	99,88
10.00	0,0117	99,88	0,01194	99,88

Tabel 6. Perhitungan Rugi daya dan efisiensi generator pada Tanggal 18 Maret 2016

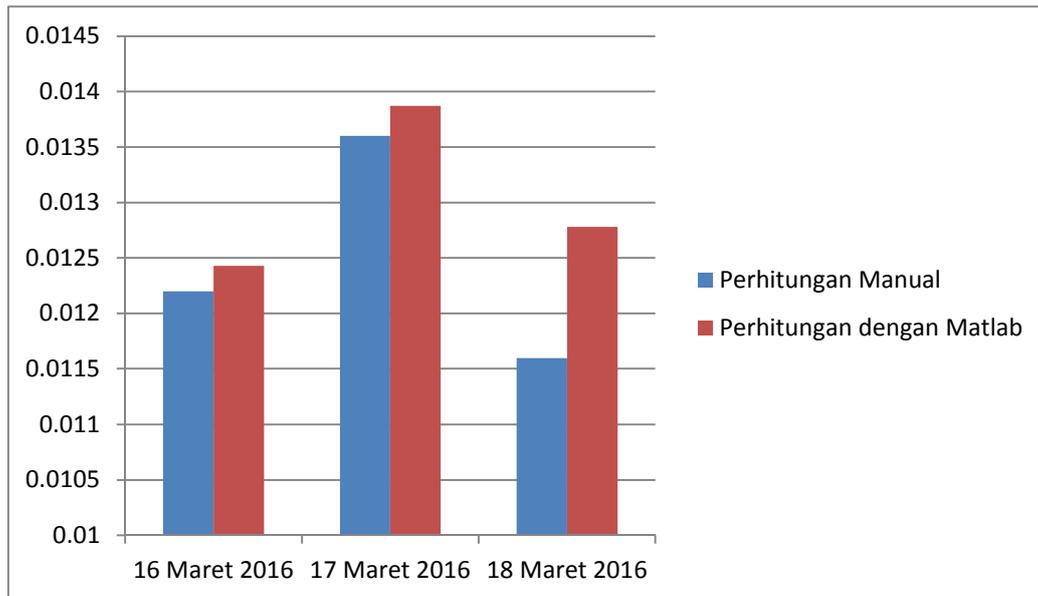
Jam	Manual		MATLAB	
	Loss (MW)	Efisiensi (%)	Loss (MW)	Efisiensi (%)
11.00	0,0116	99,87	0,01278	99,87
12.00	0,0118	99,88	0,01209	99,88
13.00	0,0122	99,88	0,01223	99,88
14.00	0,0116	99,87	0,01223	99,88
15.00	0,0126	99,88	0,01189	99,88
16.00	0,0125	99,87	0,01239	99,88
17.00	0,0126	99,88	0,0117	99,88
18.00	0,0121	99,87	0,01254	99,88
19.00	0,0133	99,87	0,01258	99,88
20.00	0,0136	99,88	0,01204	99,88
21.00	0,0124	99,88	0,01126	99,88
22.00	0,0119	99,88	0,01233	99,88
23.00	0,0119	99,88	0,01155	99,88
00.00	0,0119	99,88	0,01199	99,88
01.00	0,0112	99,88	0,01151	99,88
02.00	0,0114	98,88	0,01223	99,88
03.00	0,0111	99,88	0,01199	99,88
04.00	0,0117	99,88	0,01199	99,88
05.00	0,0117	99,88	0,01243	99,88
06.00	0,0113	99,88	0,01141	99,88
07.00	0,0116	99,88	0,01219	99,88
08.00	0,0121	99,88	0,01194	99,88
09.00	0,0116	99,88	0,01223	99,88
10.00	0,0117	99,88	0,01194	99,88



Gambar 6. Grafik Perbandingan Perhitungan *Power Loss* secara Manual dan Perhitungan Menggunakan Matlab pada 16 Maret 2016



Gambar 7. Grafik Perbandingan Perhitungan Efisiensi secara Manual dan Perhitungan Menggunakan Matlab pada 17 Maret 2016



Gambar 8. Grafik Perbandingan Perhitungan *Power Loss* secara Manual dan Perhitungan Menggunakan Matlab pada kondisi beban puncak periode 16 – 18 Maret 2016

Analisa

Berdasarkan data pembebanan generator unit LM2000 PLTG Borang, dapat dilihat dari tabel 4.1 sampai dengan 4.3 ini memiliki karakteristik nilai perbandingan yang hampir sama antara besar nilai efisiensi.

Efisiensi yang didapat dari hasil perhitungan berdasarkan perbandingan daya keluaran terhadap daya masukkan dari tanggal 16 Maret 2016 sampai 18 Maret 2016 disini terlihat bahwa rata-rata efisiensi perhari pada generator tersebut berkisar antara 99.87% sampai 99.88 %. Jika semakin besar daya keluarannya atau daya yang terpakai maka tingkat efisiensi generator akan semakin tinggi karena efisiensi generator sangat dipengaruhi oleh beban beban yang terpakai yang sesuai dengan kemampuan dan kapasitas generator.

Nilai hasil perhitungan rugi daya dan efisiensi dengan menggunakan matlab rata-rata lebih besar dibandingkan dengan perhitungan secara manual, hal ini dikarenakan jika menghitung menggunakan matlab maka hasil akan lebih akurat. Contohnya, jika menghitung secara manual maka kita mungkin akan membulatkan angka hanya menjadi 2 desimal, sedangkan di program matlab tetap menggunakan angka asli tanpa pembulatan. Bisa dilihat pada gambar 4.13 dan 4.14.

Nilai efisiensi bervariasi tergantung dari nilai arus beban dan daya beban yang terpakai. Nilai arus beban dan daya beban juga mempengaruhi rugi daya, semakin kecil nilai dari rugi daya maka semakin meningkat nilai efisiensi.

KESIMPULAN

1. Nilai efisiensi generator ini sangat dipengaruhi oleh beban yang terpakai, pada PLTG Borang besarnya beban yang terpakai adalah fluktuatif, dan nilai beban puncak berkisar antara 10,2 - 10,6 MW pada *range* waktu 16.00-20.00 WIB.
2. Nilai efisiensi generator juga dipengaruhi oleh rugi daya beban yang terpakai, pada PLTG Borang besarnya rugi daya berkisar 0,0112 MW- 0,0136 MW. Perhitungan rugi daya dengan menggunakan *Software* MATLAB menghasilkan nilai yang lebih besar dibanding hasil perhitungan manual.

3. Pada periode 16 – 18 Maret 2016, nilai rata rata efisiensi generator di PLTG Borang adalah 99,88 %. Dimana perbandingan perhitungan manual dan menggunakan *Software* MATLAB hanya berbeda 0,01 %.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abdul Wahab, Generator Listrik Bolak-Balik,
<https://wahabxxxx.files.wordpress.com/2011/04/generator-ac.pdf>
2. Berahim, Hamzah ; Pengantar Teknik Listrik, Andi Offset, Yogyakarta, 1994
3. Kadir, Abdul; Pembangkit Tenaga Listrik, UI Press, Jakarta, Edisi Revisi, 2010
4. Muslis, Supari, Teknik Pembangkit Tenaga Listrik, Jakarta : Departemen Pendidikan Nasional. 2008
5. Wahyu, Teori Generator Sinkron, hal 20
<http://wahyukr.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/.../5+TEORI+GENERATOR+SINKRON.p...>

