

**HASIL PERHITUNGAN EFISIENSI TERMAL PLTGU  
DAN PELUANGNYA  
SEBAGAI PENYUMBANG PEMANASAN UDARA  
(STUDI PADA PLTGU PRIOK DENGAN POLA OPERASI 2-2-1  
MENGUNAKAN METODE NEWTON-RAPHSON)**

**I Made Astra, Iwan Sugihartono, dan Lanny Chaterine**  
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Jakarta

***Abstrak***

*Perhitungan efisiensi termal dari PLTGU Priok dengan pola operasi 2-2-1 telah dihitung menggunakan metode Newton-Raphson. Hasil simulasi tersebut telah dibandingkan dengan data eksperimen yang diolah secara konvensional. Hasil simulasi perhitungan Newton-Raphson menunjukkan nilai efisiensi optimum sebesar 42,644% untuk daya output sebesar 311,5 MW. Hal ini menunjukkan bahwa simulasi perhitungan Newton-Raphson dan perhitungan data eksperimen memiliki selisih yang kecil, yakni sebesar 0,023%. Sedangkan pada uji efisiensi yang kedua efisiensi optimum 42,623% tercapai ketika daya output total sebesar 310,7 MW. Hasil simulasi perhitungan Newton Raphson menunjukkan nilai efisiensi optimum sebesar 42,644% untuk daya output sebesar 310,7 MW. Hal ini menunjukkan bahwa simulasi perhitungan Newton-Raphson dan perhitungan data eksperimen memiliki selisih yang kecil, yakni sebesar 0,021%.*

*Dua perhitungan tersebut menunjukkan efisiensi relatif rendah, menunjukkan ada energi yang berubah menjadi energi lain. Diantaranya energi panas yang lepas ke udara. Energi ini bersama polutan lainnya yang mengandung CO<sub>x</sub> akan ikut berperan meningkatkan gas rumah kaca, ikut menyumbang konten pemanasan udara.*

Kata kunci : Efisiensi termal, PLTGU Priok, Newton-Raphson

***Abstract***

*The thermal efficiency of PLTGU Priok with a 2-2-1 operations has been calculated using Newton-raphson method. The simulation results have been compared to experimental data which are processed conventionally. The simulation shows that for the power output of 311.5 MW, the value of optimum efficiency was 42,644%. There is slight difference between the two calculation methods, i.e. 0,023%. In the second experiment, the value of optimum efficiency is 42.623% for total power output of 310.7 MV. Newton-Raphson simulation shows that the value of optimum efficiency is 42,644% for the power output of 310,7 MW. The result of calculations, both using Newton-Raphson and conventional data processing have a slight difference, i.e 0,021%.*

*The low efficiency showed by the two calculation methods indicates that there is energy transformation, for instance in heat energy relesing. This energy, along with other pollutants containing CO<sub>x</sub>, has a role in increasing concentrations of greenhouse gases in the atmosphere and thus contributes to global warming.*

*Key words: Thermal efficiency, PLTGU Priok, Newton-Raphson*

---

Naskah masuk : 21 April 2010

Naskah diterima : 28 Juni 2010

---

## I. PENDAHULUAN

Pembangkit termal adalah suatu sistem pembangkitan yang beroperasi dengan mengubah Energi Kimia menjadi Energi Panas. Energi Kimia berupa bahan bakar yang diubah menjadi Energi Panas melalui proses pembakaran, kemudian dikonversikan menjadi Energi Mekanik untuk menggerakkan generator yang kemudian menghasilkan listrik. Efisiensi termal Pembangkit Tenaga Listrik adalah energi listrik yang dihasilkan dibagi jumlah bahan bakar yang dipergunakan.

Era globalisasi masalah kelistrikan banyak diperbincangkan. Terjadinya pemadaman listrik secara bergilir, naiknya harga berlangganan listrik, dan usaha untuk mencari sumber listrik baru menjadi pusat perhatian banyak pihak. Untuk membahas masalah pengelolaan kelistrikan, maka ditinjau kembali struktur umum pengelolaan kelistrikan. Dalam sistem kelistrikan terdapat tiga fungsi umum atau subsistem, yaitu subsistem pembangkitan, transmisi, dan distribusi.

Tiap-tiap subsistem ini memiliki karakteristik dan fungsi yang berbeda tetapi saling berhubungan. Subsistem pembangkitan memiliki fungsi memproduksi atau membangkitkan listrik. Listrik dihasilkan dari berbagai macam cara, menggunakan gas disebut PLTG, menggunakan uap air disebut PLTU, gabungan dari PLTG dan PLTU disebut PLTGU dan lain-lain. Subsistem pembangkitan biasanya terletak di tempat-tempat listrik itu dihasilkan. Listrik yang dihasilkan langsung dialirkan ke tempat dimana listrik itu akan dipakai. Maka listrik itu harus terus dialirkan dari subsistem pembangkitan ke tempat listrik itu akan dipakai. Di sinilah peran subsistem transmisi. Subsistem ini berfungsi mengalirkan listrik ke tempat-tempat di mana listrik akan digunakan. Lagi pula tempat pembangkitan listrik biasanya jauh sehingga diperlukan cara agar listrik bias dialirkan ke tempat lain. Maka, kita sering melihat kabel-kabel listrik membentuk saluran listrik tegangan tinggi yang

membentang dari satu tempat ke tempat lain, itulah yang digolongkan sebagai subsistem transmisi.

Sebelum listrik sampai ke pemakai, saluran listrik tegangan tinggi yang dialirkan dari subsistem pembangkit perlu dibagi ke beberapa pemakai. Subsistem yang menjalankan fungsi ini disebut subsistem distribusi. Pada tahap ini listrik dibagi-bagi dengan tegangan tertentu ke sejumlah pemakai, baik pemakai rumah tangga maupun pemakai industri. Kita sering melihat gardu-gardu listrik yang tersebar di beberapa tempat, di sinilah listrik itu didistribusikan. Pada gardu-gardu ini terdapat trafo yang berfungsi menaikkan atau menurunkan tegangan ke tegangan yang sesuai. Kita juga sering mendengar pemadaman listrik di suatu daerah dihubungkan dengan kejadian di suatu gardu, karena memang di gardu inilah pusat penyaluran listrik di 3 daerah tersebut. Proses penghitungan biaya listrik yang dipakai oleh pemakai, kerugian akibat pencurian listrik, dan segala macam masalah yang berkaitan langsung dengan pemakai listrik termasuk ke dalam subsistem distribusi.

Pengelolaan sistem kelistrikan di Indonesia yang meliputi tiga fungsi sebagaimana dijelaskan di atas dilakukan oleh operator tunggal sekaligus sebuah badan usaha milik negara (BUMN), yaitu PT. Indonesia Power (Persero)/PLN. Di sini dibahas bagaimana listrik yang dibangkitkan di PLTGU Priok yang jauh dari pusat kota dialirkan dan digunakan oleh orang-orang di pusat kota. Dalam paper ini akan dipelajari mekanisme produksi dan penyaluran listrik di PLTGU Priok untuk mengetahui penghitungan nilai efisiensi termal PLTGU Priok, pola operasi 2-2-1 dengan menggunakan program MATLAB 7.0.

Ketiga subsistem ini mempunyai peluang yang sama dalam peran pemanasan global, namun yang kelihatan paling besar perannya ada pada pembangkit serta dampak ikutan yang kejadiannya mengikuti perubahan cuaca, terutama perubahan temperature dan tekanan udara, yang

menurut penelitian keduanya sangat berpengaruh terhadap frekuensi kebakaran menjadi besar termasuk kebakaran akibat hubungan pendek jaringan listrik.

## II. TINJAUAN TEORI

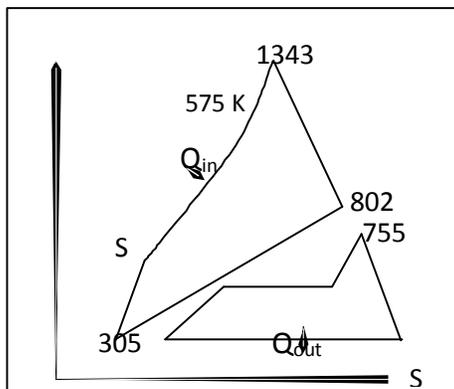
### 2.1. Teori PLTGU Priok

#### 2.1.1. Peralatan Utama Unit PLTGU Priok

Komponen-komponen utama suatu sistem PLTGU Priok minimal terdiri dari 1 buah PLTG, 1 buah HRSG dan 1 buah turbin uap. Sedangkan PLTGU Priok terdiri dari dua blok PLTGU, yang setiap bloknya terdiri dari 3 buah PLTG, 3 buah HRSG dan 1 buah turbin uap dengan peralatan bantuannya. Komponen utama turbin gas diantaranya adalah kompresor, ruang bakar, dan turbin, sedangkan komponen utama dari PLTU adalah HRSG (penukar kalor, drum, dan damper/flap), pompa kondensat, pompa air pengisi, feed water tank, pompa pendingin utama, turbin, kondensorperalatan bantu dan lain-lain.

#### 2.1.2 Siklus PLTGU Priok

Memperhatikan suhu-tinggi pada siklus Rankine adalah 755 K dan suhu rendahnya adalah 315 K, sedangkan pada siklus Brayton suhu-tinggi 1343 K dan suhu rendahnya (suhu gas buang) : 802 K, maka dari sini suhu tinggi siklus Rankine masih dibawah temperatur rendah siklus Brayton, yang dijadikan konsep PLTGU Priok, menggabungkan kedua siklus tersebut. Siklus Gabungan PLTGU Priok pada gambar dibawah ini :



Keterangan :

T : Suhu (K)

S : Entropi (kJ/kgK)

### 2.1.3 Efisiensi PLTGU Priok

Efisiensi termal PLTGU Priok sangat dipengaruhi oleh pola pembebanannya, yang dikenal dengan istilah “ Part Load Operation”, yaitu pola operasi 3-3-1, 2-2-1, dan 1-1-1. Metode part load operation sangat berguna terutama untuk pendekatan menentukan pada target pembebanan yang optimum. Dalam penelitian ini digunakan Efisiensi termal PLTGU Priok pola operasi 2-2-1, dinyatakan rumus efisiensi sebagai berikut :

$$\eta_{PLTGU} = \frac{MW(GT) + MW(ST)}{Q_f(GT)} \quad (1)$$

Keterangan :

$\eta_{PLTGU}$  = efisiensi PLTGU Priok (%)

MW(GT) = Daya Turbin Gas (MW)

MW(ST) = Daya Turbin Uap (MW)

$Q_f$  = Bahan Bakar Turbin Gas (kscm/h)

## III. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan metode komputasi Newton Raphson untuk menentukan optimasi efisiensi termal PLTGU Priok dengan pola operasi 2-2-1 menggunakan program MATLAB 7.0. Metode komputasi Newton Raphson:

$$X_{k+1} = X_k - \frac{f^1(X_k)}{f''(X_k)} \quad (2)$$

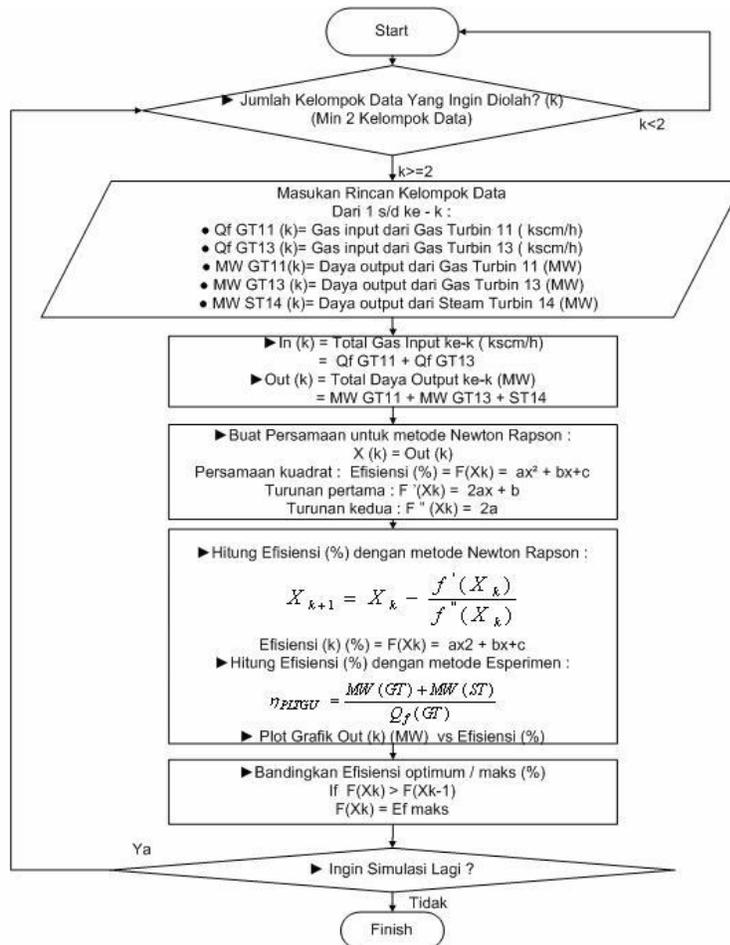
dengan k menunjukkan iterasi ke k. Jadi iterasi akan dilanjutkan sampai jumlah tertentu yang kita kehendaki atau sampai suatu *stopping criteria* tertentu yang kita tetapkan sudah tercapai.

Adapun metode simulasi menggunakan program MATLAB mengikuti beberapa langkah, sebagai berikut, langkah pertama ialah melakukan

input data berupa jumlah kelompok data eksperimen atau jumlah banyaknya pengambilan kelompok data eksperimen yang diperoleh di PLTGU sebagai variabel  $k$ , dengan nilai minimum 2. Selanjutnya dilakukan input rincian dari tiap-tiap kelompok data tersebut, yang berupa data Gas input turbin 11 (kscm/h), Gas input turbin 13 (kscm/h), Daya output Turbin Gas 11 (MW), Daya output Gas turbin 13 (MW), Daya output Turbin Uap 14 (MW). Dan dilakukan iterasi atau pengulangan input kelompok data sebanyak variabel  $k$  kali. Selanjutnya pada tiap kelompok data dilakukan penjumlahan Gas input turbin 11 (kscm/h) dan Gas input turbin 13 (kscm/h) sebagai variabel In ( $k$ ), dan diikuti penjumlahan Daya output Turbin Gas 11 (MW), Daya output Turbin Gas 13 (MW), dan Daya output Turbin Uap 14 (MW), sebagai variabel Out ( $k$ ). Seluruh data eksperimen yang telah teratur siap untuk diolah.

Langkah berikutnya ialah berupa pengolahan data eksperimen menjadi Efisiensi (%) tiap kelompok data eksperimen dengan rumus variable Out ( $k$ ) dibagi variabel In ( $k$ ) dikali seratus persen. Akhirnya diplot menjadi kurva Efisiensi (%) vs Out( $k$ ) (MW) sebagai hasil eksperimen. Langkah selanjutnya ialah berupa pengolahan data menjadi Efisiensi (%)

dengan menggunakan kalkulasi Newton Raphson. Untuk kalkulasi Newton Raphson diperlukan penyusunan persamaan kuadrat dari Efisiensi (%) sebagai variabel  $F(X_k)$  terhadap Out ( $k$ ) sebagai variabel  $x$  yang diperoleh dari data eksperimen, yakni diperoleh persamaan  $F(X_k) = ax^2 + bx + c$ . Selanjutnya dilakukan penghitungan turunan pertama :  $F'(X_k) = 2ax + b$ , dan turunan kedua :  $F''(X_k) = 2a$ . Kalkulasi Newton Raphson siap dipergunakan dengan menggunakan persamaan (2) dengan  $X_k$  awal merupakan  $X_1$  atau data awal variabel Out (1), dan akan diperoleh  $X_{k+1}$  atau  $X_2$  yang merupakan data daya output atau variabel Out (2), serta dilakukan berulang kali, dimana  $X_3$  menjadi  $X_{k+1}$  dan  $X_2$  menjadi  $X_k$ , dan seterusnya diulang sampai  $k$  kali atau sampai diperoleh daya output terakhir atau sampai Out ( $k$ ), selanjutnya untuk tiap data daya output atau  $X_k$  dimasukkan kedalam rumus Efisiensi (%) :  $F(X_k) = ax^2 + bx + c$ , dan diperoleh nilai Efisiensi (%) secara simulasi dengan kalkulasi Newton Raphson. Akhirnya diplot menjadi kurva Efisiensi (%) vs Out( $k$ ) (Watt) sebagai hasil simulasi dengan kalkulasi Newton Raphson yang disatukan dalam satu grafik dengan kurva efisiensi (%) vs Out( $k$ ) (MW) sebagai hasil eksperimen, sehingga dapat dibandingkan.

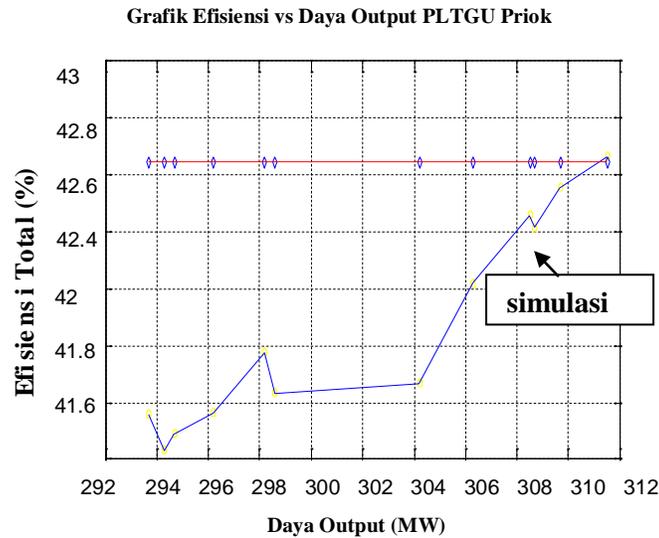


Gambar 2. Diagram alir Simulasi Metode Newton Rapson dengan Matlab7.0

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian dari data pengamatan I (Efisiensi 1) yang ditunjukkan oleh gambar 3, terlihat bahwa efisiensi optimum 42,665% tercapai ketika daya output total sebesar 311,5 MW. Hasil simulasi perhitungan Newton Raphson menunjukkan nilai efisiensi optimum sebesar 42,644% untuk daya output sebesar 311,5 MW. Hal ini menunjukkan bahwa

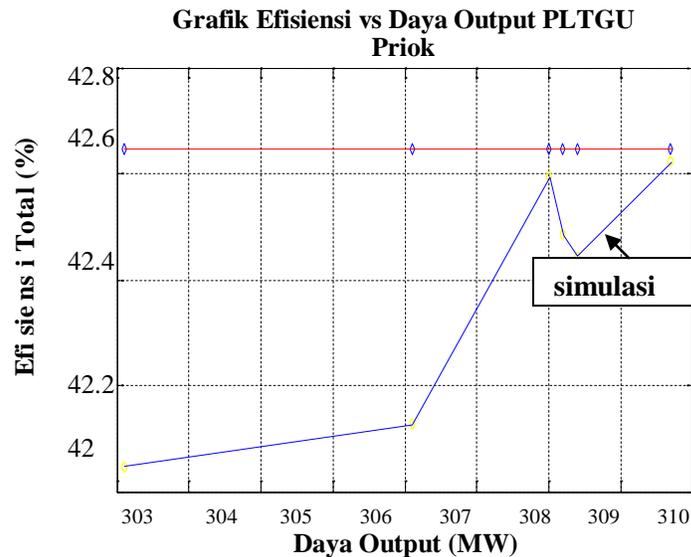
simulasi perhitungan Newton-Raphson dan perhitungan data eksperimen memiliki selisih yang kecil, yakni sebesar 0,023%. Maka perhitungan simulasi efisiensi dengan komputasi Newton-Raphson dapat dijadikan perbandingan yang cukup akurat terhadap komputasi eksperimen. Terlihat juga pada grafik hasil simulasi bahwa titik puncak atau nilai optimum terlihat hampir berhimpit.



Gambar 3. Grafik Daya Output vs Efisiensi 1 menggunakan program Matlab 7.0

Sedangkan pada gambar 4 yang merupakan hasil penelitian dari data pengamatan II (Efisiensi 2), terlihat bahwa efisiensi optimum 42,623% tercapai ketika daya output total sebesar 310,7 MW. Hasil simulasi perhitungan Newton-Raphson menunjukkan nilai efisiensi optimum sebesar 42,644% untuk daya output sebesar 310,7 MW. Hal ini menunjukkan bahwa simulasi perhitungan Newton-Raphson dan

perhitungan data eksperimen memiliki selisih yang kecil, yakni sebesar 0,021%. Terlihat juga pada grafik hasil simulasi bahwa titik puncak atau nilai optimum terlihat hampir berhimpit. Maka juga terlihat bahwa perhitungan simulasi dengan metode komputasi Newton-Raphson dapat dijadikan pembandingan yang cukup akurat terhadap komputasi eksperimen efisiensi mesin diantaranya generator turbin.



Gambar 4. Grafik Daya Output vs Efisiensi 2 menggunakan program Matlab 7.0

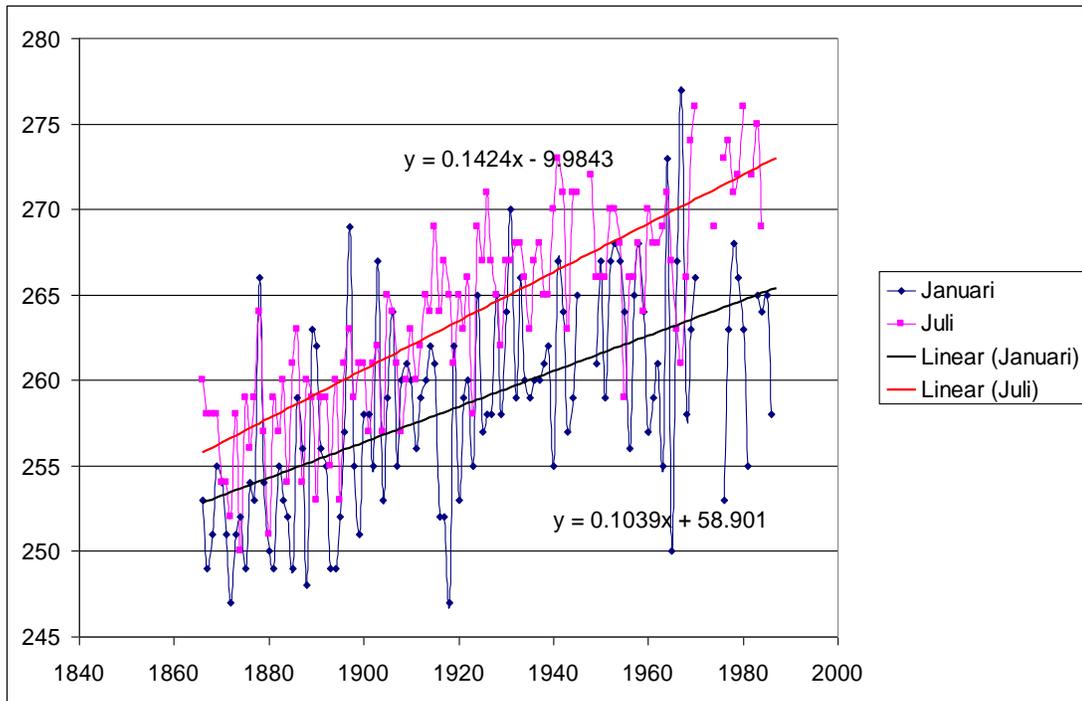
#### 4.1. IMPLIKASI EFISIENSI TERHADAP ATMOSFER

Sebagai sebuah sistem perubah energi PLTGU dengan efisiensi di bawah 50 %, menunjukkan bahwa tidak semua energi Gas dan Uap yang dirubah menjadi listrik. Gas dan uap dalam prosesnya sangat mudah lepas ke udara sehingga akan menyebabkan peningkatan kadar polutan di udara terutama polutan GRK (gas rumah kaca), disamping mentransfer panas langsung secara konvektif, radiasi maupun konduksi. Mengingat operasional PLTGU yang hampir nonstop, maka akumulasi pemanasan dan konsentrasi GRK semakin meningkat semakin hari. Untuk PLTGU yang demikian banyak jumlahnya sudah tentu merupakan penyumbang pemanasan udara, yang selanjutnya ikut dalam penyebab pemanasan global. Besar peran pemanasan akibat

PLTGU ini perlu di teliti lebih lanjut sehingga secara kuantitatif dapat diketahui.

Dalam upaya peran pemerintah Indonesia untuk menurunkan tingkat pemanasan global, dan konsentrasi GRK di atmosfer rupanya PLTGU perlu menuju ke arah operasional yang lebih efisien dalam menyumbang proses pemanasan atmosfer. Perlu upaya pemanfaatan optimal efisiensi yang lebih tinggi, serta bahan bakar yang ramah terhadap lingkungan terutama pensuplai GRK ke udara,

Perubahan temperatur udara Jakarta hasil pengamatan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, ditunjukkan oleh gambar 5, menunjukkan terjadi peningkatan temperatur udara (1,04 – 1,4) ° Celsius dalam 100 tahun untuk pengamatan bulan Januari dan bulan Juli mewakili bulan pada musim hujan dan musim kemarau, sebagai berikut.



Gambar 5. Trend perubahan temperatur Udara, hasil pengamatan BMKG (Sumber : presentasi Dr Dodo Gunawan dkk)

## V. KESIMPULAN

Kesimpulan dalam paper ini adalah hasil simulasi penghitungan efisiensi maksimum atau optimal PLTGU Priok hasil eksperimen menggunakan simulasi penghitungan efisiensi dengan metode komputasi Newton Raphson memiliki selisih sekitar 0,023 dan 0.021 % dengan hasil perhitungan eksperimen. Dengan kata lain, metode komputasi dapat digunakan untuk menguji penghitungan nilai efisiensi suatu mesin.

Metode Komputasi ini pada bidang meteorologi dan klimatologi dapat digunakan untuk mencari solusi persamaan-persamaan dalam bentuk polinomial, mengingat proses fisika awan, fisika atmosfer dll sangat banyak yang merupakan persamaan polinomial.

Hasil perhitungan efisiensi dalam PLTGU dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mencari seberapa besar peran PLTGU dalam pemansan global, dan dicari pemecahannya sebagai upaya dalam mitigasi dan adaptasi perubahan iklim.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

Cengel, Yunus A and Michael A. Boles, Michael. 2001. *Thermodynamics An Engineering Approach*. Mc Graw Hill Inc. New York : 881 hlm.

Kulshrestha S.K. 1983. *A Textbook of Applied Thermodynamics, Steam and Thermal Engineering*. Jodhpur : 513 hlm.

Weedy, B.M. 1979. *Electric Power Systems*. John Wiley & Sons Ltd, (London : 406 hlm), 1-2.

Elgerd-O.I. 1982. *Electric Systems Theory : An Introduction*, 2d.ed. Mc Graw Hill Book Company, (New York : 578 hlm), 3-4.

Santosa, Budi, *Matlab untuk Statistika & Teknik Optimasi*, (Yogyakarta: Graha Ilmu,2008), 1-2.

Pudja Putu, Budi Suhardi, *Fenomena Perubahan Iklim di Indonesia*, (Jakarta, BMKG, 2009)

Dodo Gunawan, Kadarsah, Asteria, *Observation Data Analysis and Climate Change*, Research - paper presentation (Denpasar, Geoss, 2010).

<http://mesinunimus.files.wordpress.com/2008/02/analisa-efisiensi-performahrg.pdf>.m 23 Oktober 2008, pk 11.28.

<http://www.pdf-search-engine.com/thermodynamic-pdf.html>. 31 Juli 2008, pk 18.51.

<http://www.pdf-search-engine.com/gas-turbine-pdf.html>. 23 Oktober 2008, pk 11.32.

[http://digilib.petra.ac.id/image/bg\\_3small.jpg](http://digilib.petra.ac.id/image/bg_3small.jpg). 7 Desember 2009, pk 23.33.

ABB. 1993. *Gas Turbine Operation Manual*. ABB.

ABB. 1993. *Combined Cycle Operation Manual*. ABB.

PT. PLN ( Persero ). 1994. *Komisioning PLTGU Priok*. PT PLN ( Persero ) Jasa Teknik Kelistrikan.

<http://www.ncad.net/Advo/CinerNo/ger3567h.pdf>.html. 15 Februari 2010, pk 17.56.