

PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK UNTUK SIMULASI SIKLUS RANKINE (STEAM POWER PLANT SYSTEM) SEBAGAI BAHAN PEMBELAJARAN TERMODINAMIKA TEKNIK

Afdhal Kurniawan Mainil

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu.

Jl. WR Supratman, Kandang Limun, Bengkulu.

Telp. (0736) 344087, 2115-227

Email : afdhal_km@yahoo.com

Abstract

Steam power is one of fluid power system where fluid is evaporated and condensed simultaneously. Rankine cycle is one of cycles that can analyze a steam power plant system in thermodynamic way. Development of technology to perform fast and accurate analysis makes method of analysis manually is becoming obsolete and computing as of the best alternative method is chosen. Matlab programming has been created to analyze the efficiency of the steam power generation systems by using simple Rankine cycle, Rankine cycle with reheater, Rankine cycle with an open feedwater heater and closed feedwater heater. Program data has been simulated with a theoretical calculation. Efficiency is shown by comparison with the computational efficiency of the program obtained from theoretical calculations, where the error occurred in the steam generation system 0.004% for simple Rankine cycle, Rankine cycle with reheater is 0.001%, Rankine cycle with an open feedwater heater is 0.001% and a Rankine cycle with closed feedwater heater has result 0004%. In conclusion, Computing program steam power system can be used for steam power system analysis successfully because it has a very small error.

Keywords: steam generation system, Rankine Cycle, efficiency, simulation program.

PENDAHULUAN

Pembangkit tenaga uap merupakan suatu sistem pembangkit tenaga yang fluidanya diuapkan dan dikondensasikan secara berulang-ulang dalam sebuah siklus tertutup (Haywood,2009). Siklus Rankine merupakan salah satu siklus tertutup yang banyak digunakan pada sistem pembangkit tenaga uap (Wakil,1984), dengan siklus Rankine kita dapat menganalisa dan meningkatkan efisiensi suatu sistem pembangkit tenaga uap secara termodinamika (Nag, 2002).

Sistem pembangkit tenaga uap terdiri dari beberapa perangkat diantaranya yaitu turbin, boiler, kondensor dan pompa (Moran, 2004; Cengel&Boles, 2002; Nag, 2002). Pada setiap perangkat aliran terjadi rugi-rugi aliran yang seringkali terjadi akibat dari gesekan fluida, kerugian panas, dan kebocoran uap. Gesekan fluida

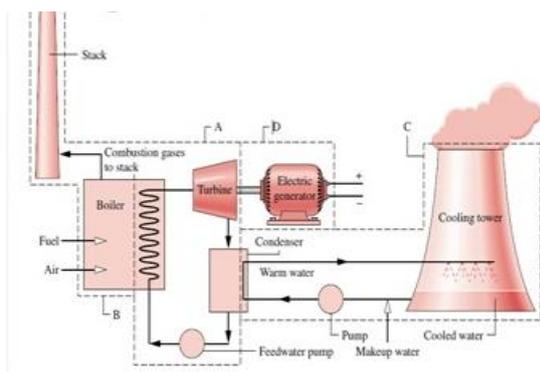
mengakibatkan tekanan pada perangkat aliran seperti boiler, kondensor dan pipa-pipa menurun, akibatnya tekanan uap yang meninggalkan boiler menjadi lebih rendah sehingga untuk mengatasi hal ini kerja pompa akan lebih besar air harus di pompa ke tekanan yang lebih tinggi. Hilangnya panas dari uap ke lingkungan juga merupakan sumber utama terjadinya penurunan efisiensi, untuk mengatasi hal ini perlu diberikan panas yang lebih pada steam dalam boiler namun akan berakibat juga dapat menurunkan efisiensi siklus (Cengel & Boles 2002).

Menganalisis sistem pembangkit tenaga uap sangat rumit, akan sangat sulit untuk melakukan analisis secara manual dalam waktu yang singkat dan dengan hasil yang akurat. Banyak pemikiran manusia yang berfikir menciptakan suatu pemodelan untuk mengatasi kendala analisis secara manual

yang membutuhkan waktu lama (Perdana, 2010). Cara komputasi akhirnya lebih banyak dipilih, dimana analisis dapat dilakukan pada setiap perangkat aliran suatu sistem pembangkit tenaga uap dengan cepat dan akurat untuk meningkatkan efisiensi.

Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Sistem pembangkit listrik tenaga uap merupakan suatu pembangkit yang memanfaatkan bahan bakar fosil sehingga menghasilkan keluaran daya dimana sistem pembangkit listrik tenaga uap tersebut dapat dimodelkan secara termodinamik. Pemodelan sistem pembangkit tenaga uap merupakan satu metode pengujian sistem yang bertujuan menghemat waktu dan biaya



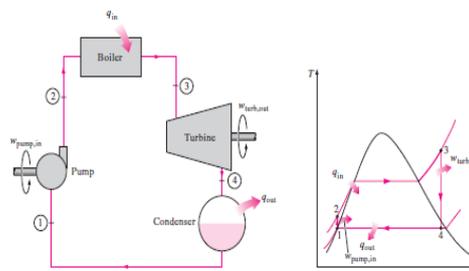
Gambar 1. Komponen-komponen sistem pembangkit listrik tenaga uap sederhana (Moran, 2004)

Proses yang terjadi dalam sistem pembangkit tenaga uap cukup rumit, sehingga perlu dilakukan idealisasi untuk membuat model termodinamika yang mudah dipahami (Moran, 2004). Sebagian besar instalasi pembangkit listrik merupakan variasi dari pembangkit tenaga uap, yang menggunakan air sebagai fluida kerja. Komponen – komponen dasar suatu pembangkit tenaga uap secara skematik ditunjukkan pada gambar 1.

Siklus Rankine Ideal

Siklus merupakan rangkaian dari beberapa proses yang dimulai dari suatu

tingkat keadaan kemudian kembali ke tingkat keadaan semula dan terjadi secara berulang (Moran,2004). Siklus Rankine ideal adalah siklus yang ideal untuk sistem pembangkit tenaga uap, siklus Rankine terdiri dari empat proses internal *reversible* (Nag,2002) yang diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Siklus Rankine Ideal dan Diagram T-S. (Cengel & Boles, 2002)

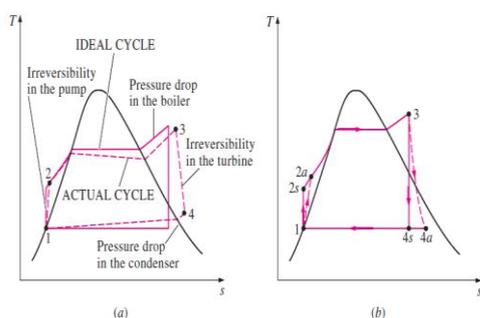
Ada beberapa proses yang terjadi pada setiap tingkat keadaan siklus Rankine ideal (Gambar 2). Air memasuki pompa pada tingkat keadaan 1 dikompresi isentropik dalam pompa menuju ke kondisi 2 dengan tekanan operasi boiler. Air menjadi uap pada tingkat keadaan 3 *boiler* merupakan penukar panas besar dimana panas berasal dari gas pembakaran ditransfer ke air pada tekanan *boiler*.

Uap superheated pada tingkat keadaan 3 memasuki turbin dimana ia memperluas isentropik dan menghasilkan kerja. Pada tingkat keadaan 4 uap atau campuran air dan uap jatuh pada kualitas tinggi memasuki kondensator dan terkondensasi pada tekanan konstan dalam kondensator. Uap meninggalkan kondensator sebagai cair jenuh dan memasuki pompa sebagai penyelesaian siklus.

Siklus Daya Aktual

Siklus daya aktual berbeda dari siklus ideal dikarenakan *irreversibilitis* (Moran,2004) dari berbagai komponen seperti gesekan fluida, kerugian panas, dan kebocoran uap yang diilustrasikan pada Gambar 3. Gesekan fluida mengakibatkan tekanan pada perlatan

seperti boiler, kondensor dan di pipa-pipa menurun, akibatnya tekanan uap yang meninggalkan boiler menjadi lebih rendah sehingga untuk mengatasi hal ini kerja pompa akan lebih besar air harus di pompa ke tekanan yang lebih tinggi dari siklus ideal dan memerlukan pompa dan input kerja yang lebih besar. Hilangnya panas dari uap ke lingkungan juga merupakan sumber utama dari *irreversibilities* (Moran, 2004), untuk mengatasi hal ini perlu diberikan panas yang lebih pada steam dalam boiler namun akan berakibat penurunan efisiensi siklus.



Gambar 3. Diagram Siklus Rankine Aktual (Cengel & Boles, 2002)

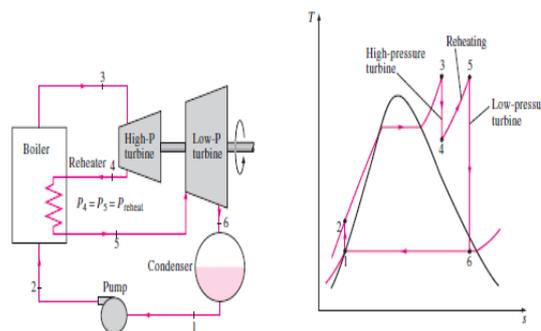
Meningkatkan Efisiensi

Peningkatan efisiensi *thermal* merupakan penghematan besar dari bahan bakar (Arici, 2003) untuk itu perlu dilakukan upaya peningkatan efisiensi siklus pada pembangkit listrik tenaga uap. Ada tiga cara untuk meningkatkan efisiensi untuk mencapai Rankine sederhana yang ideal yaitu menurunkan tekanan kondensor, memberikan panas lebih pada boiler, meningkatkan tekanan boiler.

Reheater Siklus Rankine Ideal

Fluida kerja dapat berekspansi melalui sebuah turbin tekanan tinggi kemudian dipanaskan kembali sehingga dapat meningkatkan efisiensi pembakaran (Rajan, 2004). Tetapi perbedaan temperatur yang besar antara fluida kerja dan gas buang dari pembakaran, menjadikan siklus ini *irreversibel*.

Reheat merupakan modifikasi sistem *superheat* dimana uap tidak langsung berekspansi pada turbin ke tekanan kondensor melainkan uap akan berekspansi pada dua turbin. Uap akan menuju turbin pertama ke tekanan antara steam generator dan tekanan kondensor untuk dipanaskan kembali kemudian uap berekspansi pada turbin tingkat kedua sampai tekanan kondensor seperti diperlihatkan pada Gambar 4. *Reheat* bertujuan untuk meningkatkan kualitas uap pada sisi keluar turbin.



Gambar 4. Siklus Rankine *Reheater* Ideal (Cengel & Boles, 2002)

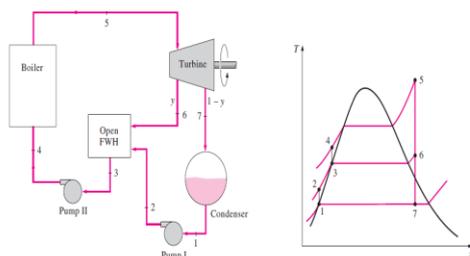
Siklus Rankine Ideal Regenerative

Panas yang dipindahkan ke fluida kerja di boiler relative rendah hal ini akan menurunkan efisiensi siklus. Untuk menaikkan suhu fluida yang meninggalkan pompa sebelum memasuki boiler yaitu dengan air umpan dimana panas bisa ditransfer dari uap pada penukar kalor ke air pengisian menggunakan *regenerasi*. Perangkat dimana air umpan dipanaskan oleh *regenerasi* disebut *regenerator* atau pemanas air umpan (FWH).

Open Feedwater Heater

Sebuah *open feedwater heater* (OFWH) (Cengel & Boles 2002), pada dasarnya adalah sebuah ruang pencampuran, dimana uap diekstraksi dari turbin bercampur dengan air yang keluar dari pompa. Idealnya, campuran pemanas sebagai cairan jenuh pada tekanan pemanas. Skema dari pembangkit listrik tenaga uap dengan membuka salah satu

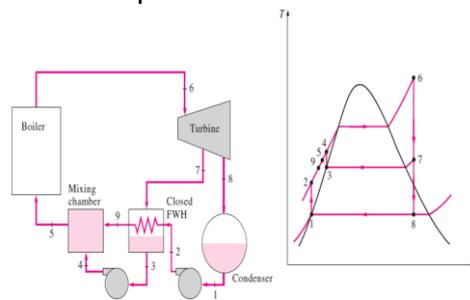
feedwater heater dan diagram Ts dari siklus ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Siklus Rankine Ideal Menggunakan Open Feed Water Heater (Cengel & Boles, 2002)

Close Feedwater Heater

Tipe lain dari pemanas air umpan yang sering digunakan dalam pembangkit listrik tenaga uap *Close Feedwater Heater* (CFWH) (Cengel & Boles 2002), dimana panas yang ditransfer dari uap diekstrak ke air umpan tanpa pencampuran. Dua aliran sekarang terdapat pada tekanan yang berbeda, karena mereka tidak bergabung. Skema dari uap pembangkit listrik dengan satu pemanas air umpan tertutup dan diagram T-S dari siklus diperlihatkan pada Gambar 6.

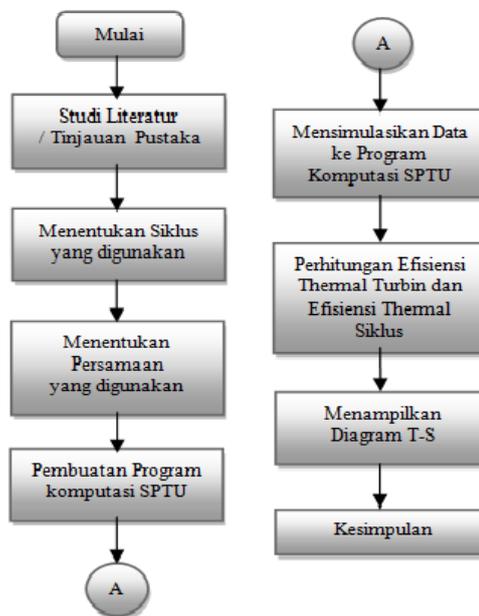


Gambar 6. Siklus Rankine Ideal Menggunakan close Feed Water Heater (Cengel & Boles, 2002)

METODE PENELITIAN

Proses analisis suatu sistem pembangkit tenaga uap dengan komputasi dilakukan dengan pengambilan data seperti temperatur fluida, temperatur uap, tekanan fluida dan tekanan uap yang bekerja pada setiap kondisi aliran perangkat pada suatu sistem pembangkit tenaga uap. Data-data tersebut dijadikan masukan dalam pemrograman komputasi

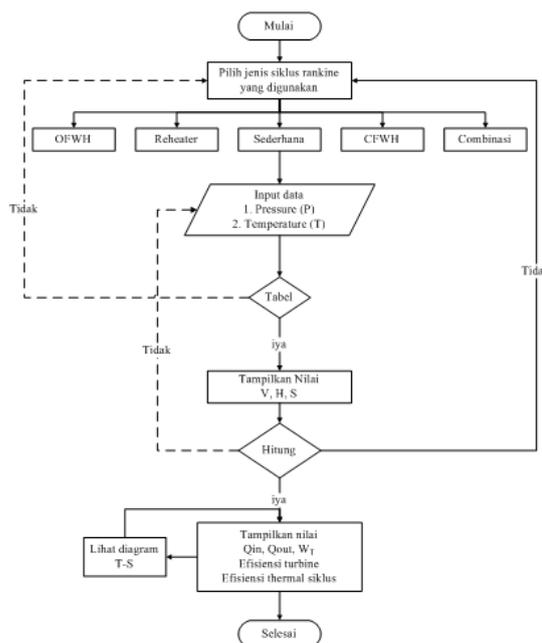
dimana hasil perhitungan komputasi akan diperlihatkan dalam diagram T-S. Skema prosedur penelitian dapat dilihat pada gambar 7.



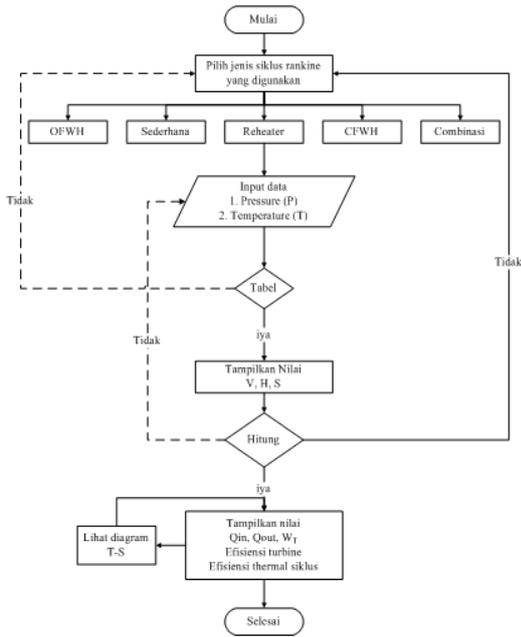
Gambar 7. Skema Prosedur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

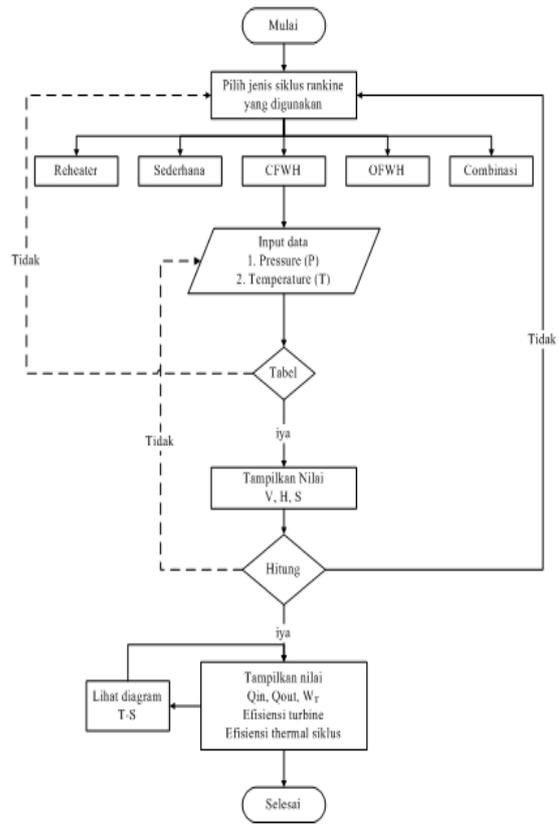
Diagram alir program komputasi sistem pembangkit tenaga uap



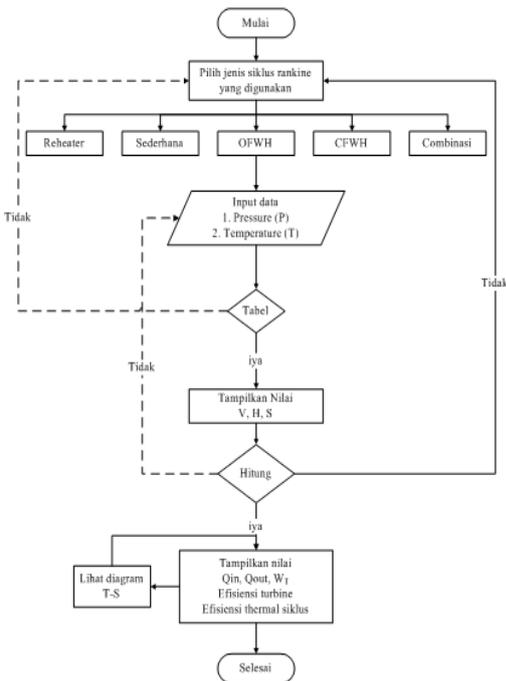
Gambar 8. Diagram alir pemrograman sistem pembangkit tenaga uap sederhana



Gambar 9. Diagram alir pemrograman sistem pembangkit tenaga uap dengan *reheater*



Gambar 11. Diagram alir pemrograman sistem pembangkit tenaga uap dengan *close feedwater heater*



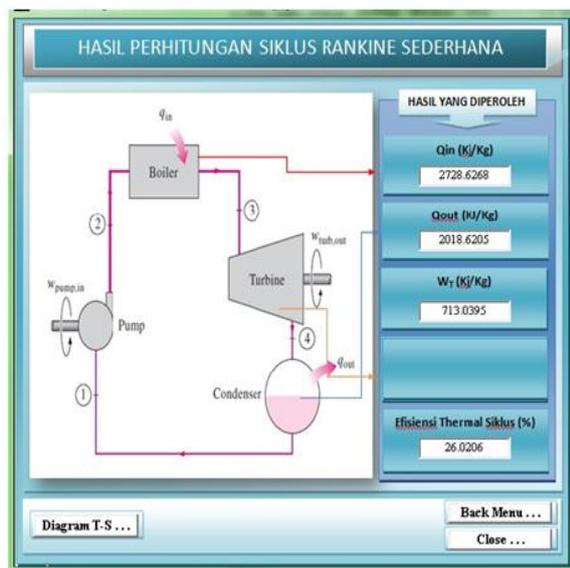
Gambar 10. Diagram alir pemrograman sistem pembangkit tenaga uap dengan *open feedwater heater*

Tampilan program komputasi sistem pembangkit tenaga uap dengan siklus Rankine sederhana

Program komputasi sistem pembangkit tenaga uap diawali dengan pemasukan data pada program. Pada Gambar 12 diperlihatkan tampilan input data dan pada Gambar 13 adalah hasil perhitungan program komputasi sistem pembangkit tenaga uap dengan siklus rankine sederhana.

Gambar 12. Tampilan input data program siklus Rankine sederhana

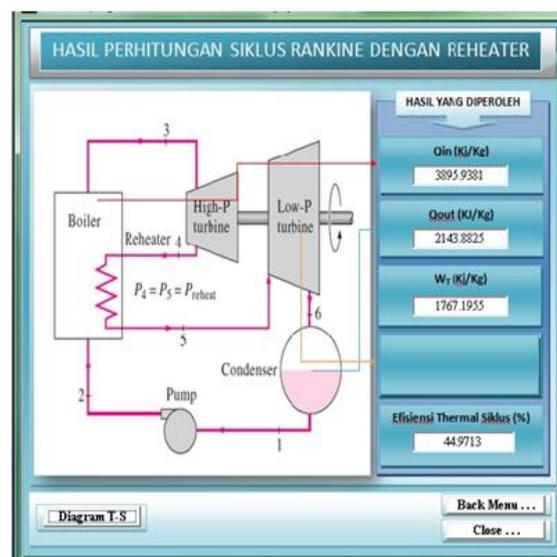
Gambar 14. Tampilan input data program siklus Rankine sederhana dengan reheater



Gambar 13. Tampilan hasil program siklus Rankine sederhana

Tampilan program komputasi sistem pembangkit tenaga uap dengan reheater

Pada Gambar 14 memperlihatkan tampilan masukan data pada program sistem pembangkit tenaga uap dengan reheater. Tampilan hasil program system pembangkit tenaga uap dengan reheater diperlihatkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Tampilan hasil program siklus Rankine dengan reheater

Tampilan program komputasi sistem pembangkit tenaga uap dengan open feedwater heater.

Gambar 16 memperlihatkan tampilan masukan data pada program system pembangkit tenaga uap dengan reheater dan pada Gambar 17 adalah tampilan hasil program sistem pembangkit tenaga uap dengan *open feedwater heater*.



Gambar 16. Tampilan input data program siklus Rankine sederhana dengan *open feedwater heater*



Gambar 17. Tampilan hasil program siklus Rankine dengan *open feedwater heater*

Program komputasi sistem pembangkit tenaga uap ini disimulasikan dengan data yang telah dilakukan perhitungan secara teoritik dan diperoleh efisiensi thermal siklus untuk sistem pembangkit tenaga uap dengan siklus Rankine sederhana, siklus Rankine dengan *reheater*, siklus Rankine dengan *open feedwater heater* dan siklus Rankine dengan *close feedwater heater*.

Setelah simulasi dilakukan, efisiensi *thermal* siklus yang ditunjukkan oleh program dibandingkan dengan efisiensi yang diperoleh secara teoritik. Adapun error yang terjadi pada system pembangkit tenaga uap dengan siklus Rankine sederhana 0.004%, siklus Rankine dengan *reheater* 0.001%, siklus Rankine dengan *open feedwater heater* 0.001%, dan siklus Rankine dengan *close feedwater heater* 0.004%.

Error yang terjadi disebabkan adanya pembulatan angka dibelakang koma pada perhitungan teoritik sedikit berbeda dengan hasil pemrograman yang tidak dilakukan pembulatan. Program dapat dikatakan berhasil dan memiliki hasil yang valid dan akurat karena *error* yang terjadi sangat kecil sehingga program ini juga bisa digunakan dengan data lapangan.

KESIMPULAN

Telah tersusun sebuah program komputasi yang dapat menganalisis efisiensi sistem pembangkit tenaga uap yang menggunakan siklus Rankine sederhana, siklus Rankine dengan *reheater*, siklus Rankine dengan *open feedwater heater* dan siklus Rankine dengan *close feedwater heater* dengan *error* yang sangat kecil dan memiliki hasil yang valid dan akurat dengan siklus Rankine sederhana 0.004%, siklus Rankine dengan *reheater* 0.001%, siklus Rankine dengan *open feedwater heater* 0.001%, dan siklus Rankine dengan *close feedwater heater* 0.004%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Jhoni Fridinata, S.T. atas bantuan saran dan diskusi mengenai bahasa Pemrograman Matlab.

DAFTAR PUSTAKA

- Arici, Oner 2003. *Design and Simulation Thermal Systems.*, McGraw-Hill.
- Cengel, Yunus, A., & Boles, Michael A. 2002. *Thermodynamics an Engineering Approach*, 2nd Edition, McGraw-Hill, Inc. United States of America : McGraw-Hill, Inc.
- Haywood, R.W.. 2009. Analisis Siklus Siklus Teknik, Edisi 4.
- Moran, J. 2004. *Termodinamika Teknik Edisi 4*. Jakarta : Erlangga.
- Nag, PK. 2002. *Power Plant Engineering second edition*. Singapore : McGraw-Hill Hingher Education.
- Perdana, Adam Priyo. 2010. *Simulasi Sistem Tenaga Uap Dengan Bahasa Pemograman Delphi 7 sebagai Alat Bantu Proses Belajar Mengajar* . ITS.
- Rajan,G.G. McGraw-Hill. 2004. *Optimizing Energy Efficiencies in Industry*; McGraw-Hil
- Wakil El, M. 1984. *Power Plant Technology*. Singapore : McGraw-Hill Book Company.