

## Optimasi Rancangan Siklus Uap Dengan Simulasi Bahasa Pemrograman Delphi 7

Prabowo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri ITS,  
Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111  
E-mail: [prabowo@me.its.ac.id](mailto:prabowo@me.its.ac.id)

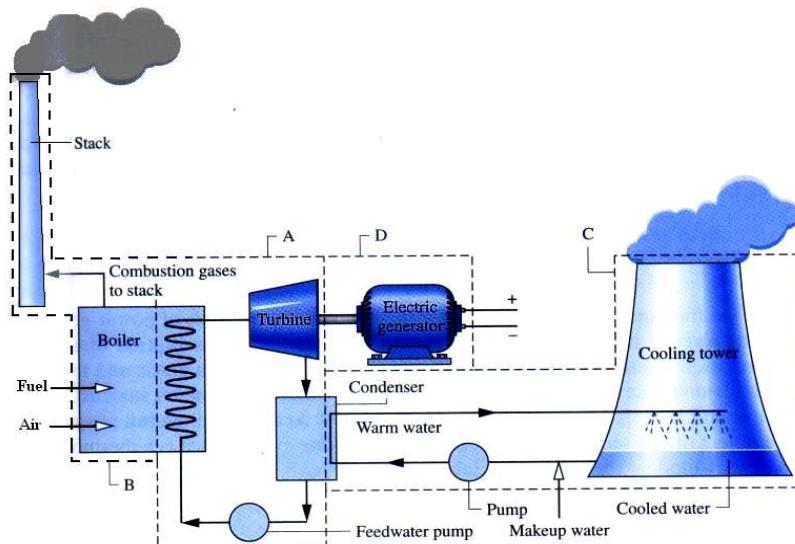
### Abstrak

Optimasi rancangan siklus uap dengan beberapa komponen penyusun seperti Boiler, Turbin, Reheat, Kondensor, Pompa, Closed maupun Open Feed Water Heater (FWH) dilakukan dengan menggunakan bahasa Delphi 7. Pada siklus uap dengan reheat, kualitas uap yang rendah dan rasio tekanan melalui turbin yang sangat tinggi sebagaimana terjadi pada siklus uap sederhana dapat diatasi dengan adanya reheater dan penggunaan turbin bertingkat. Siklus uap dengan reheat dengan tekanan kondensor yang tetap didapatkan efisiensi thermal yang tertinggi pada rasio tekanan reheater dengan boiler 20%-25%. Pada siklus uap regeneratif open FWH dengan tekanan kondensor yang tetap, menunjukkan puncak efisiensi thermal berada pada temperatur jenuh open FWH yang mendekati temperatur jenuh rata-rata boiler dan kondensor.

**Kata kunci :** Termodinamika, Siklus Rankine, Simulasi, Drag and Drop, Delphi 7.

### Pendahuluan

Memahami siklus Rankine dengan baik merupakan langkah awal untuk lebih memahami sistem Pembangkit Tenaga Uap dan dapat dengan mudah melakukan analisa dan pengembangan sistem Pembangkit Tenaga Uap, karena siklus Rankine merupakan dasar dari sistem tersebut. Dalam perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin, siklus Rankine termasuk di dalam pembahasan mata kuliah termodinamika. Dengan materi yang begitu padat dan waktu yang terbatas, sangat memungkinkan pembahasan dan penganalisaan siklus Rankine dengan berbagai kombinasi tidak maksimal. Sehingga untuk dapat memahami dengan baik memerlukan waktu ekstra.



Gambar 1. Aplikasi Siklus Rankine dalam PLTU sederhana

Sebuah alat bantu pengajaran tentunya akan membuat proses pemahaman mengenai pembahasan materi ini menjadi lebih baik. Alat bantu ini sedapat mungkin memberikan informasi yang lengkap dan jelas, juga mudah dalam penggunaannya. Pemilihan penggunaan perangkat lunak sebagai alat bantu pengajaran menjadi pilihan yang tepat karena perangkat lunak dapat menghindari kesalahan-kesalahan dan menghemat waktu untuk menyelesaikan perhitungan yang panjang, pengelolaan *database*, dan proses iterasi yang berulang-ulang. Perangkat-perangkat lunak tersebut juga sedapat mungkin dibuat dengan tampilan (*interface*) yang mudah dipahami oleh pemakai dan dapat memberikan informasi yang jelas dan lengkap. Sebagai contoh, Gambar 1 adalah suatu sistem pembangkit listrik tenaga uap terdiri dari komponen-komponen yang saling berhubungan, pemilihan dan penyusunan komponen-komponen tersebut metoda *drag and drop* sesuai dengan keinginan perancang, pemasukan data-data tiap komponen dan proses menghubungkannya secara langsung oleh pemakai menjadi menarik untuk dilakukan, karena pemakai akan dapat merancang sendiri sistem siklus uap dan dapat melihat hasil rancangannya.

Saat ini belum tersedianya grafik yang dapat menunjukkan hasil perhitungan. Padahal grafik dapat memberikan banyak informasi dalam suatu sistem siklus uap. Disamping itu, belum adanya simulasi hasil perhitungan yang dapat menunjukkan perubahan properties secara langsung pada grafik. Dengan adanya simulasi tersebut diharapkan akan sangat membantu pemakai program untuk lebih mudah memahami tentang siklus uap. Untuk itu perlunya dikembangkan suatu *software* (perangkat lunak) yang di dalamnya terdapat simulasi perhitungan properties pada berbagai tingkat keadaan, visualisasi model sistem dan model proses, dengan harapan menolong mahasiswa untuk lebih cepat memahami dan menguasai sistem Pembangkit Tenaga Uap. Hal ini dapat meningkatkan efektifitas dalam belajar.

## Metodologi

## Form

Inti dari setiap aplikasi Delphi adalah *form*. *Form* dapat dianggap sebagai sebuah *window*. Defaultnya, Delphi memberikan sebuah *form* pada setiap *project* dan menampilkan sebuah *form* kosong pada saat kita memulai Delphi. *Form* seperti ditunjukkan dalam Gambar 2 dipakai untuk menempatkan komponen, *control* dan lain-lain. *Form* mempunyai *property*. Dengan *property* tersebut kita dapat mengubah tampilan *form* dengan mengubah warna, ukuran, lokasi dan lain-lain.

## IDE (Integrated Development Environment)

IDE adalah sebuah lingkungan dimana semua *tools* yang diperlukan untuk desain, menjalankan dan menguji sebuah aplikasi disajikan dan terhubung dengan baik sehingga memudahkan pengembangan program. IDE terdiri dari *Main Window*, *Component Palette*, *ToolBar*, *Form Designer*, *Code Editor* dan *Code Explorer*. Integrasi ini memberi kemudahan dalam mengembangkan aplikasi yang kompleks. Simulasi siklus uap yang dapat dibuat ada 4 model sistem yaitu Siklus uap sederhana, Reheat, Regeneratif Open dan Closed feed water heater.

## **Persamaan Dasar Thermodinamika**

Gambar 3 adalah siklus uap sederhana dimana analisa kesetimbangan energi pada Turbin, Kondensor, Pompa dan Boiler adalah sebagai berikut:

$$0 = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_t + \dot{m} \left\{ h_1 - h_2 + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \right\}$$

$$\frac{\dot{W}_t}{\dot{m}} = h_1 - h_2 \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

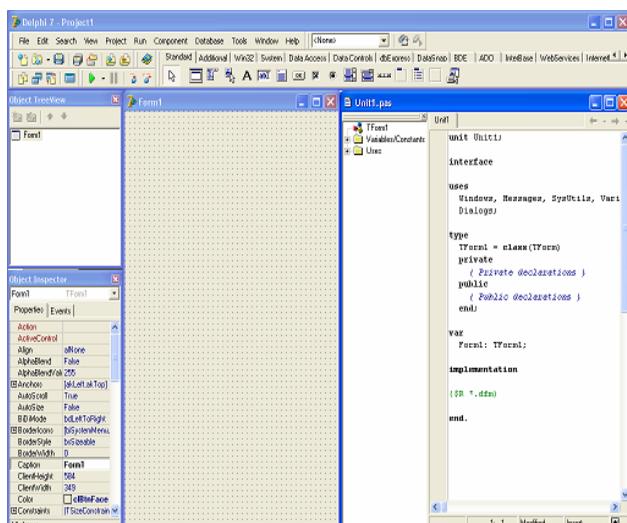
$$\frac{\dot{W}_p}{\dot{m}} = h_4 - h_3 \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

$$\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} = h_1 - h_4 \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

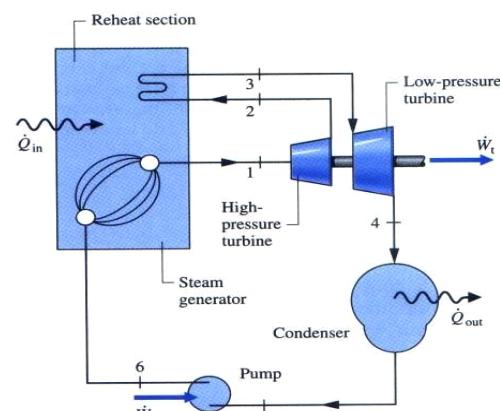
## Efisiensi Thermal ( $\eta$ ) Siklus Uap sederhana dan Back Work Ratio (BWR)

$$\eta = \frac{\dot{W}_t / \dot{m} - \dot{W}_p / \dot{m}}{\dot{Q}_{in} / \dot{m}} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

$$BWR = \frac{\dot{W}_p / \dot{m}}{\dot{W}_c / \dot{m}} \quad \dots \quad (6)$$



Gambar 2. Form Delphi



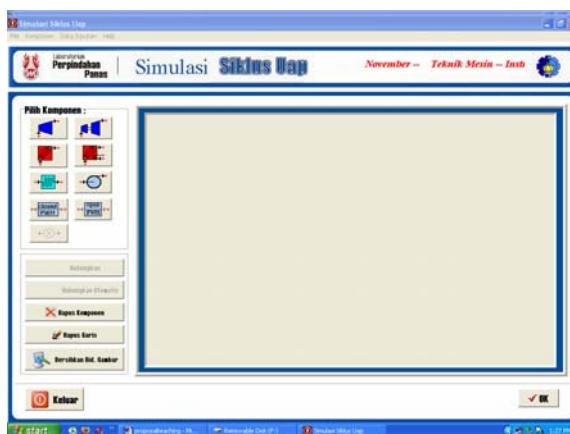
Gambar 3. Siklus Uap Reheat

## Hasil dan Pembahasan

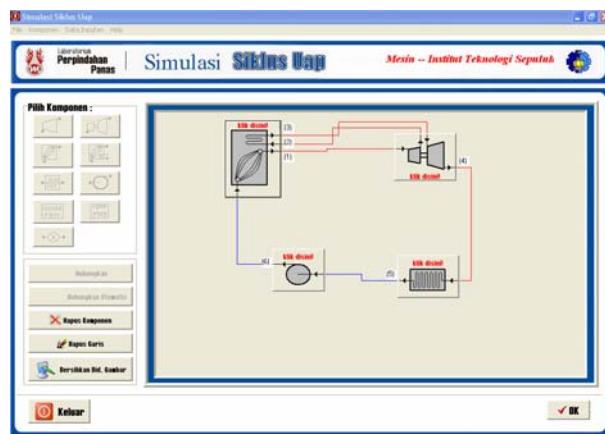
## Interaktif Icon

Program simulasi siklus uap ini memiliki *Windows-based Graphical User Interface (GUI)* sehingga sangat *user-friendly*, oleh karena itu sangat mudah bagi pemakai program untuk menggunakan program ini karena lingkungan kerjanya sama dengan lingkungan kerja windows. Pemakai program pun tidak perlu memiliki pengetahuan yang dalam mengenai perangkat lunak untuk menggunakan program ini. Gambar 4 merupakan tampilan awal dari Simulasi Siklus Rankine. User dapat membuat sistem yang diinginkan dalam 4 macam model yaitu Siklus Uap sederhana, Reheat, Regeneratif Open atau Closed Feed Water Heater. Dengan cara memilih icon-icon sistem yang tersedia dan menyusun icon tersebut serta menghubungkannya sehingga terbentuk suatu sistem siklus uap yang dikehendaki seperti Gambar 5 untuk contoh Siklus Uap dengan reheat.

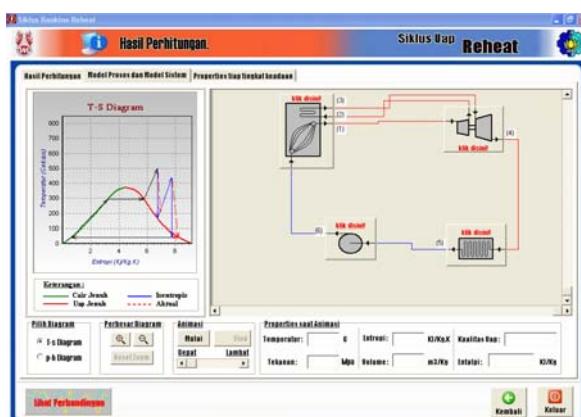
Setelah rancangan siklus uap selesai, data-data input untuk setiap icon/komponen dalam hal ini tekanan atau temperatur boiler, kondensor, serta tekanan atau temperatur, efisiensi insentropis untuk pompa dan turbin diinputkan langsung pada setiap icon yang ada seperti pada Gambar 5. Selanjutnya klik tombol *Lanjutkan* untuk melihat hasil perhitungan, atau tombol *Kembali* untuk mengubah rancangan model sistem siklus uap. Untuk melihat model proses, model sistem dan simulasi pilih *tabsheet* model proses dan model sistem maka akan muncul Gambar 6 Diagram T-s dan Model Sistem. Untuk mengetahui property dari setiap tingkat keadaan dari siklus uap maka pilih *tabsheet* properties tiap tingkat keadaan maka akan muncul Gambar 7.



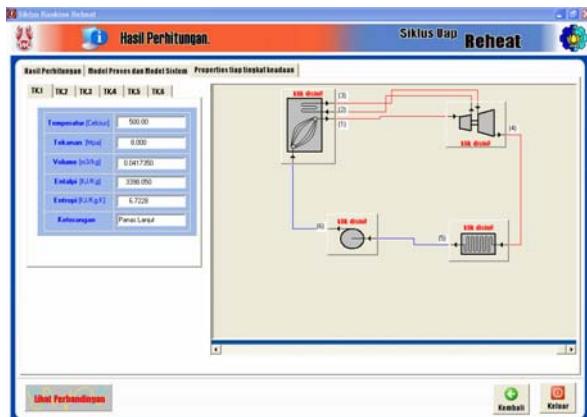
Gambar 4. Tampilan Awal



Gambar 5. Siklus Uap dengan Reheat



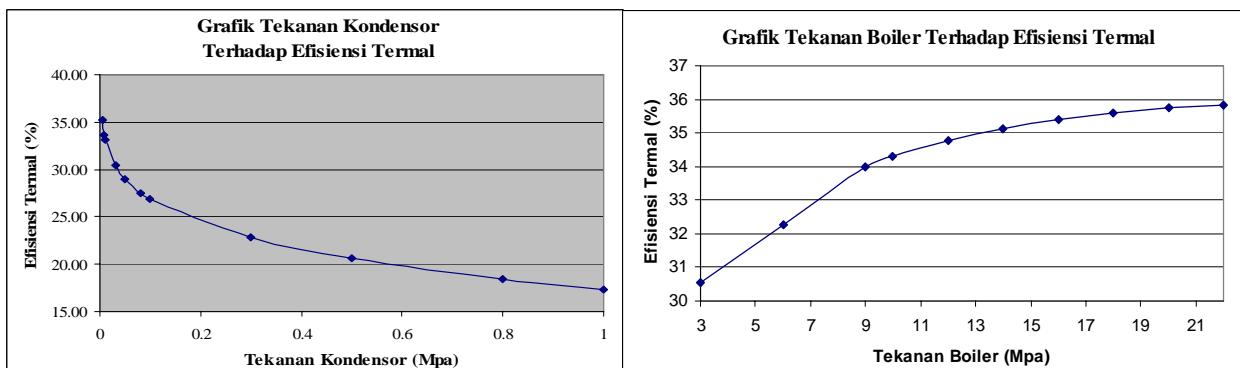
Gambar 6. Diagram T-s dan Model Proses



Gambar 7. Properites Tiap Tingkat Keadaan

### Efisiensi thermal

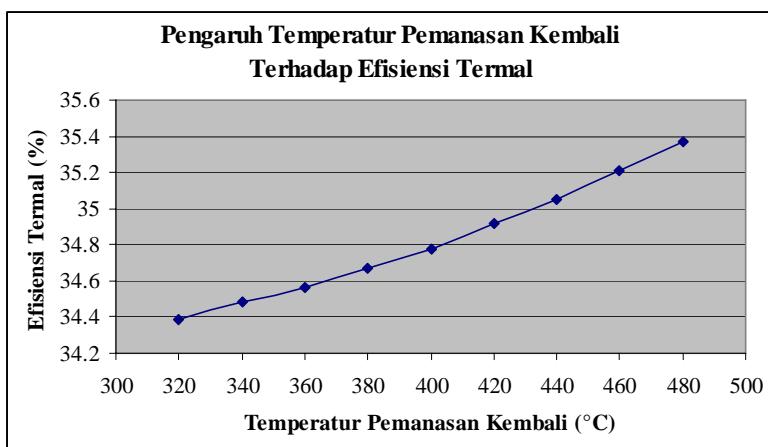
Gambar 8 terlihat makin rendah tekanan kondensor, efisiensi termal akan meningkat. Hal ini terjadi karena dengan makin rendahnya tekanan kondensor maka makin rendah temperatur panas rata-rata yang dibuang. Penurunan tekanan kondensor juga menyebabkan kerja turbin semakin meningkat. Penurunan tekanan kondensor dibatasi oleh beberapa hal, yaitu : Penurunan tekanan diikuti dengan penurunan temperatur, karena itu temperatur kerja kondensor harus masih memungkinkan terjadinya perpindahan panas dari kondensor ke air pendingin. Fluida pendingin kondensor dalam suatu pembangkit tenaga uap biasanya menggunakan fluida pendingin alami dari udara, air sungai, air danau, atau air laut.



Gambar 8. Pengaruh Tekanan Kondensor Terhadap Efisiensi Termal pada p boiler 8 MPa.

Gambar 9. Pengaruh Tekanan Boiler Terhadap Efisiensi Termal pada p kondensor 0.008Mpa

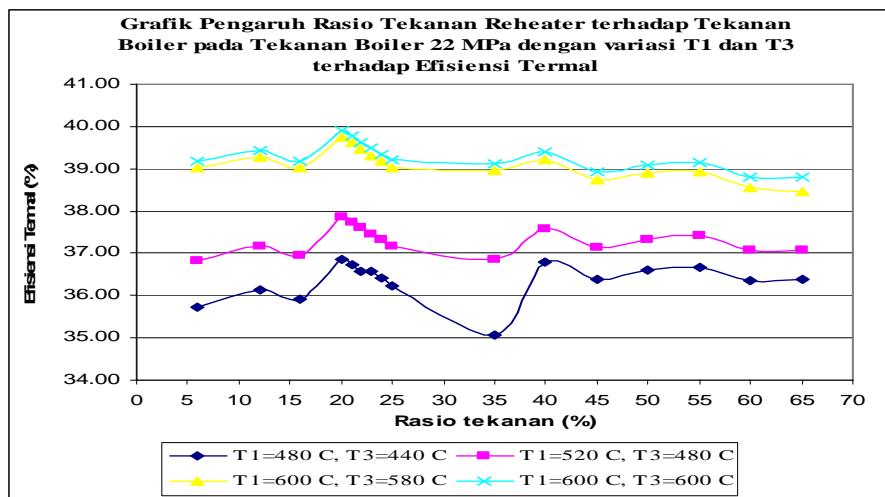
Gambar 9 terlihat makin tinggi tekanan boiler, efisiensi termal akan meningkat. Hal ini terjadi karena dengan makin tingginya tekanan boiler maka makin tinggi temperatur rata-rata panas yang ditambahkan. Dalam kondisi aktual harus dipertimbangkan bahwa dengan menaikkan tekanan turbin maka akan menurunkan kualitas uap pada campuran keluaran turbin. Menurunnya kualitas uap ini dapat menurunkan efisiensi turbin dan merusak *blade* turbin.



Gambar 10. Pengaruh Temperatur Pemanasan Kembali Terhadap Efisiensi Thermal

Gambar 10 menunjukkan pengaruh temperatur pemanasan kembali terhadap efisiensi thermal. Pada tekanan kondensor yang rendah, kenaikan temperatur pemanasan kembali selalu menyebabkan kenaikan efisiensi. Selain itu kenaikan temperatur masuk turbin juga menaikkan tingkat kekeringan uap yang melewati turbin. Kenaikan temperatur pemanasan kembali ini harus mempertimbangkan ketahanan material turbin.

Dalam menentukan tekanan reheat, rasio tekanan diperbesar (ratio tekanan = tekanan reheat / tekanan boiler) dapat menyebabkan kenaikan atau penurunan efisiensi seperti terlihat pada Gambar 11. Hasil simulasi pada siklus uap reheat menunjukkan untuk tekanan kondensor tetap (0,008 MPa), temperatur masuk turbin tetap ( $T_1 = 480^\circ\text{C}$ ) dan temperatur pemanasan kembali tetap ( $T_3 = 440^\circ\text{C}$ ), puncak efisiensi termal berada pada rasio tekanan reheat dengan tekanan boiler 20 % sampai 25 %. Namun hasil simulasi dengan variasi  $T_1$  dan  $T_3$ , puncak efisiensi termal berada pada rasio tekanan reheat dengan tekanan boiler 20 % sampai 25 % hanya untuk tekanan boiler berturut-turut 8 MPa, 14 MPa, 18 MPa dan 22 MPa.



Gambar 10 Pengaruh Rasio Tekanan Reheater dengan Tekanan Boiler Terhadap Efisiensi Termal pada tekanan boiler 22 Mpa dengan variasi temperatur masuk turbin dan temperatur pemanasan kembali.

### Kesimpulan

Hasil dari Simulasi siklus Rankine dengan bahasa pemrograman Delphi 7 ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada siklus uap sederhana, makin tinggi tekanan boiler atau makin rendah tekanan kondensor akan menyebabkan kenaikan efisiensi termal. Namun kenaikan tekanan boiler atau penurunan tekanan kondensor akan menurunkan kualitas uap pada campuran keluaran turbin. Menurunnya kualitas uap ini dapat menurunkan efisiensi turbin dan merusak sudu turbin.
2. Pada siklus uap reheat, kualitas uap yang rendah dan rasio tekanan melalui turbin yang sangat tinggi sebagaimana terjadi pada siklus uap sederhana dapat diatasi dengan adanya *reheater* dan penggunaan turbin bertingkat. Hasil simulasi pada siklus uap reheat menunjukkan untuk tekanan kondensor tetap ( $p$  kondensor = 0,008 Mpa), temperatur masuk turbin tetap ( $T_{turbin} = 480^\circ\text{C}$ ) dan temperatur pemanasan kembali tetap ( $T_{reheat} = 440^\circ\text{C}$ ), puncak efisiensi termal berada pada rasio tekanan reheater dengan tekanan boiler 20 % sampai 25 %. Namun hasil simulasi dengan variasi  $T_1$  dan  $T_3$ , puncak efisiensi termal berada pada rasio tekanan reheater dengan tekanan boiler 20 % sampai 25 % untuk tekanan boiler berturut-turut 8 MPa, 14 MPa, 18 Mpa dan 22 Mpa.
3. Pada siklus uap dengan regeneratif Open FWH, dengan tekanan kondensor yang tetap menunjukkan puncak efisiensi thermal berada pada rasio tekanan boiler dengan tekanan open FWH yang mendekati temperatur jenuh rerata boiler dan kondensor.

### Daftar Pustaka

- Cengel A., Yunus, 1998, **Thermodynamics And Engineering Approach**, 3<sup>rd</sup> Ed., McGraw-Hill, USA.
- Don Taylor, Mischel J., Penman J., Terence G., 1996, **Kick Ass Delphi Programming**, The Coriolis Group Inc., Arizona.
- J. Moran, Michael and N Shapiro, Howard, 1993, **Fundamental of Engineering Thermodynamics**, 2<sup>nd</sup> Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Kiameh, Philip, 2003, **Power Generation Handbook**, McGraw-Hill, Inc., USA.
- Prabowo, KIKUCHI, Y, 2005, **Simulasi Siklus Rankine Dengan Bahasa Pemrograman Delphi 7**, vol TR pp 40-47, Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi Di Bidang Industri,

Yogyakarta.