

KAJIAN DESAIN KONDENSER PADA SISTEM PENDINGIN PWR

Oleh

Sukmanto Dibyo

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir-BATAN

ABSTRAK

KAJIAN DESAIN KONDENSER PADA SISTEM PENDINGIN PWR. Makalah ini menguraikan berbagai hal yang berkaitan dengan permasalahan prinsip desain kondenser. Alat kondenser merupakan komponen sistem pendingin yang sangat penting. Uap air yang keluar dari turbin, dilewatkan melalui kondenser untuk dikondensasikan menjadi air. Langkah desain suatu kondenser dimulai dari identifikasi problem sampai pada desain mekanik. Kondenser pada umumnya didesain dengan tingkat konservatif tertentu baik dari aspek termal maupun mekanis. Analisis desain juga mengantisipasi adanya degradasi alat karena usia sehingga aspek keselamatan dan kinerjanya terpenuhi. Kajian tentang berbagai hal yang berkaitan dengan desain kondenser telah dibahas. Aspek yang penting adalah terpenuhinya kinerja alat, disamping itu pada pembahasan tersebut juga diuraikan tentang metoda desain dan masalahnya yang harus memperhatikan aspek desain termal, fisik, ekonomi, aspek korosi dan faktor lainnya.

Kata kunci : desain kondenser, PWR

ABSTRACT

ASSESSMENT OF CONDENSER DESIGN IN THE COOLING SYSTEM OF PWR. This paper explains various cases related to the problem of condenser design principle. Condenser equipment is circuit component of cooling that is very important. Steam that goes down from the turbine, flowing to the condenser and the steam is condensate to be water. Step of design is beginning from identification of problem until mechanic design. Usually, the condenser is designed by conservative certain levels, as well as thermal aspect or mechanic. Beside that, the design analysis is also anticipated to the existing of degradation due to aging therefore safety aspect and requirement are accepted. The assessment that related to the condenser design has been discussed. Most important aspect is obtaining of performances. Beside that, the discussion is also described about design method and that complication should consider aspect of thermal design, physics, economic, aspect of corrosion and others factors.

Keywords : condenser design, PWR

PENDAHULUAN

Informasi mengenai jenis reaktor daya terutama yang *proven* telah banyak terdapat diberbagai referensi. PWR (*Pressurized-Water Reactor*) merupakan reaktor daya yang berpendingin air ringan dan terbanyak beroperasi di dunia. Seperti diketahui bahwa BATAN memilih jenis PWR ini sebagai alternatif bilamana PLTN dibangun di Indonesia^[1].

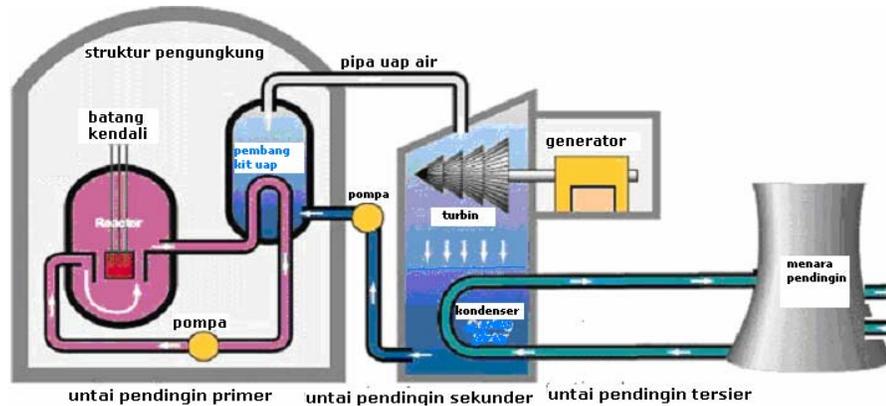
PWR terdiri dari tiga untai aliran pendingin yaitu untai primer, sekunder, dan tersier. Pada untai sekunder, uap air dari pembangkit uap digunakan untuk menggerakkan turbin. Uap air keluaran dari turbin dikondensasikan oleh alat kondenser menjadi air kondensat. Jadi kondenser merupakan alat pendingin yang bertindak sebagai *interface* antara untai sistem pendingin sekunder dan tersier.

Pemahaman tentang prinsip desain kondenser pada tulisan ini merupakan upaya penguasaan terhadap bagian dari sistem komponen pada PLTN. Oleh karena itu dari kajian ini

diharapkan dapat dikemukakan hal-hal yang berkaitan dengan struktur prosedur desain termasuk aspek korosi. Diharapkan pula bahwa ini merupakan langkah awal untuk penelusuran berbagai aspek yang perlu dibahas pada kondenser dalam rangka pemahaman analisis desain yang lebih detail termasuk masalah konstruksinya.

PWR

PWR memiliki tiga untai pendingin untuk melakukan perpindahan kalor. Pada untai pendingin primer, aliran bertekanan dengan temperatur 315°C dan bersifat radioaktif ini dipompa dari reaktor menuju pembangkit uap dan selanjutnya dikembalikan ke reaktor. Di dalam pembangkit uap, air melalui sisi *tube* untuk menguapkan aliran pendingin pada untai sekunder. Uap air pada untai pendingin sekunder digunakan untuk memutar turbin sebagai penggerak generator listrik. Uap air pada untai pendingin sekunder ini kehilangan



Gambar 1. Diagram Untai Aliran Pendingin pada PWR

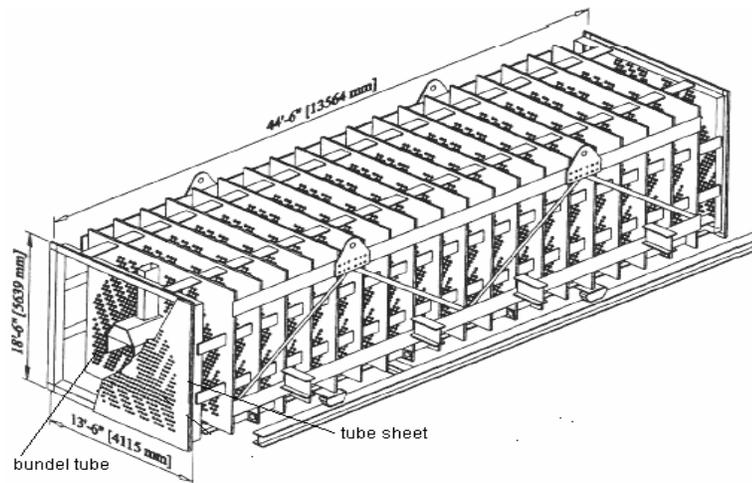
energi kalor yang selanjutnya didinginkan untuk dikembalikan sebagai umpan air ke pembangkit uap. Untuk pendinginan ini digunakan kondenser yang diletakkan di bawah turbin. Pendinginan ini menggunakan untai tersier yang mengalirkan air dari menara pendingin, air laut atau air sungai. Gambar 1 menunjukkan diagram untai aliran pendingin pada instalasi PWR ^[2].

KONDENSER

Kondenser merupakan komponen untai pendingin yang sangat penting dan sebagai alat penukar kalor yang memiliki ribuan *tube* yang mana air pendingin mengalir dari untai tertier. Uap air terkondensasi ketika melalui bundel *tube* dan kontak dengan permukaan *tube* tersebut. Kondenser terdiri dari bagian *shell* yang merupakan sisi luar dan rangkaian *tube* pada bagian dalam. Material *Shell* biasanya terbuat dari pelat baja karbon.

Kondenser berfungsi untuk memaksimalkan efisiensi turbin uap, oleh karena itu tekanan dan temperatur pada keluaran uap air diusahakan serendah mungkin. Untuk itu, uap air yang keluar dari turbin yang telah bertekanan rendah perlu dilewatkan kondenser yang akan didinginkan menjadi air. Kondensat ini kemudian menjadi umpan sebagai air yang dipompakan kembali ke pembangkit uap. Selain prinsip kerja tersebut, hal yang juga sangat penting adalah penggunaan konstruksi/bahan material pada *tube*, *water box*/sisi *shell* dan komponen yang berinteraksi dengan uap air dan kondensat.

Jadi turbin uap itu sendiri pada prinsipnya berfungsi untuk melakukan konversi kalor pada uap air menjadi tenaga mekanik. Gambar 2. menunjukkan rangkaian bundel *tube* pada kondenser reaktor PWR Arkansas Nuclear One, Unit 1 (ANO-1). ^[3]



Gambar 2. Bundel Tube Kondenser pada PWR ANO-1

STRUKTUR DESAIN

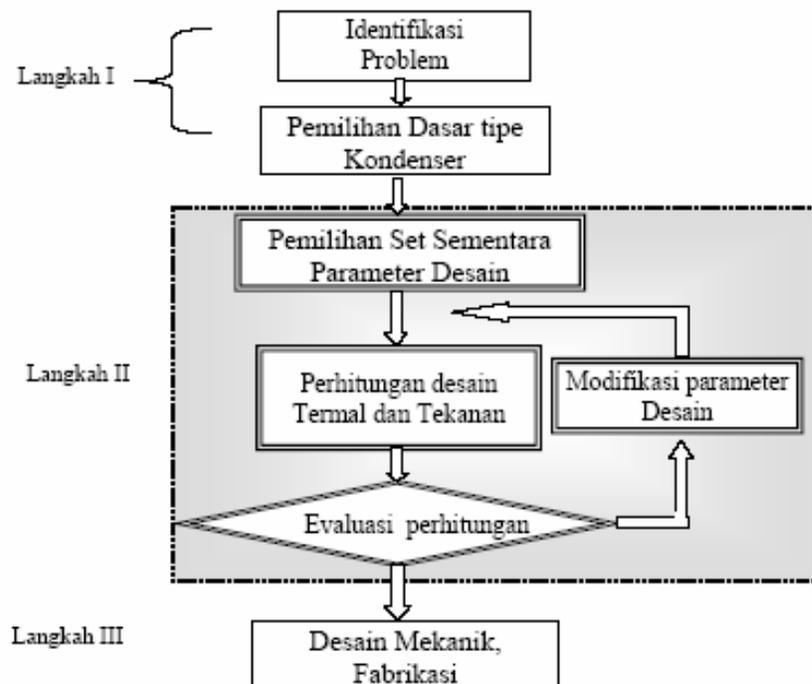
Dalam desain kondenser, kondisi proses senantiasa diperhatikan yaitu mencakup aspek termal, fisis, ekonomi dan faktor lain sehingga diputuskan untuk menentukan produk desainnya. Penentuan permukaan kontak sangat penting dimana di bagian ini terjadi kondensasi pada dinding *tube*. Gambar 3 menunjukkan struktur dasar dan prosedur desain pada kondenser, yang mana langkah desain ini dapat dikategorikan menjadi tiga langkah. Di dalam garis putus pada gambar tersebut, terdapat alur proses perhitungan yang lazim dikerjakan dengan menggunakan metoda komputasi. Prosedur desain ini dikemukakan oleh BELL [4]. Setelah proses

perhitungan desain selesai maka langkah tambahan harus menemukan beberapa kondisi yaitu ; kondenser dapat dioperasikan pada rentang yang direncanakan, hasil desain harus sesuai dengan fisik tertentu seperti ukuran, bahan material dan batasan kondisi operasi. Spesifikasi desain kondenser pada prinsipnya mengikuti lembar format standar TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturer Association*). Tabel 1 menyajikan contoh spesifikasi kondenser pada instalasi *Arkansas Nuclear One-1* (ANO-1) setelah dilakukan *up-rating* kinerja dari kondisi yang semula menggunakan *tube* dari logam Admiralty (*alloy tembaga*) menjadi *tube* Titanium.

Tabel 1. Spesifikasi *Up-rating* Kinerja Kondenser ANO-1 [3]

<i>British Unit</i>	Data yang ada	Data <i>Up-rating</i>
Total Beban Kalor (BTU/hr)	5,71.10 ⁹	6,150.10 ⁹
Jumlah Bundel / <i>shell</i>	2	2
Jumlah <i>water box</i> / <i>shell</i>	2	2
Jumlah <i>tube</i>	19.608	24.974
Luas permukaan (ft ²)	254.000	287.825
Bahan <i>Tube</i>	Admiralty*	Titanium
Diameter <i>Tube</i> (inc) / BWG	1,125/18	1,00/24
Laju alir sirkulasi pendingin (gpm)	764.000	782.200
Kecepatan pendingin (ft/sec)	7,52	7,00

* Logam *alloy* tembaga



Gambar 3. Diagram Struktur Proses Desain

MULLER telah menguraikan beberapa karakteristik dan kebutuhan yang harus dipertimbangkan berdasarkan faktor keuntungan dan kerugian selama penentuan hasil desain^[5].

1. Proses kondensasi.
2. Kondisi pendingin
3. Tekanan kondensasi
4. Sifat Korosi pendingin
5. Rentang temperatur;
6. Ekspansi material dan aspek keselamatan.
7. Pengendalian kondensat

PEMBAHASAN

Uraian yang telah dikemukakan di atas tidaklah dapat menjangkau semua permasalahan desain kondenser secara rinci, akan tetapi prinsip dasar dan sistematika prosedur analisis pada hakekatnya tidak terlalu rumit. Proses analisis berlangsung di dalam suatu kegiatan pokok desain berdasarkan parameter yang digunakan. Di dalam perhitungan desain, dengan metoda komputasi dapat dikerjakan secara sederhana dibantu program komputer. Sementara itu, dikatakan bahwa problem desain di luar kegiatan analisis termal sebetulnya sangatlah kompleks^[6].

Alat kondenser maupun penukar kalor pada umumnya didesain dengan tingkat konservatif tertentu baik dari aspek termal atau mekanis. Dari sudut pandang termal, analisis konservatif biasanya dipertimbangkan dalam rangka mengantisipasi adanya degradasi usia alat. Analisis juga mempertimbangkan aspek keselamatan dan terpenuhinya kinerja alat. Akurasi hasil analisis termal sangat dipengaruhi oleh penggunaan persamaan-persamaan empiris. Kemudian apabila ditinjau secara desain mekanis, maka hal ini hanya difokuskan pada pertimbangan faktor keselamatan mekanik semata.

Problem yang terjadi pada saat *start-up* dan *shut-down* adalah karena adanya tegangan panas dan tekanan berlebihan atau adanya *hammer hydraulic*. Sementara itu pengalaman dalam pengoperasian alat kondenser membuktikan bahwa

kasus korosi telah mengakibatkan banyak *trouble* (gangguan) sebagaimana terjadi pada kondenser reaktor PWR *Arkansas Nuclear One*, UNIT 1 (ANO-1). Korosi terutama sering terjadi pada sistem pendingin tersier yang menggunakan air laut sebagai media pendingin untuk pembuangan kalor (*heat sink*).

KESIMPULAN

Kajian tentang berbagai hal yang berkaitan dengan desain kondenser telah dibahas. Pada pembahasan tersebut, hal yang penting adalah terpenuhinya kinerja alat, disamping itu juga metoda desain dan masalahnya yang juga harus memperhatikan aspek desain termal, fisik, ekonomi, aspek korosi dan faktor lainnya. Pada prinsipnya, desain kondenser juga memasukkan faktor tingkat konservatif tertentu baik dari aspek termal atau mekanis.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ant,"Reaktor Nuklir, Batan akan Pakai Tipe PWR", www.sinarharapan.co.id/berita/0707/09/kesra01.html
2. AMERICAN NUCLEAR SOCIETY,"ELECTRICITY, Type of Plant Pressurized Water Reactor", www.aboutnuclear.org
3. DOUGLAS E – ARMOND D," Modular Condenser Replacement At ANO- 1 Solve Operating Problems And Improves Performance', Arkansas Nuclear One 1448 S.R. 333.
4. BELL KJ," Preliminary Design of Heat Exchangers ",p559, Mc Graw Hill Washington, 1981.
5. MULLER.A.C," Selection of Condenser", Heat Exchanger Design Handbook, Hemisphere Pub. Corp, 1983.
6. GEORGE BREBER,"Condenser Design With Pure Vapor and Mixture of Vapors", HTRI Alhambra California USA.