

## ANALISIS TEKANAN ALIRAN PADA SISI HISAP POMPA PRIMER RSG-GAS

Syafrul<sup>1</sup>, Sukmanto Diby<sup>2</sup>

<sup>1</sup>) Pusat Reaktor Serba Guna – BATAN

<sup>2</sup>) Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir – BATAN  
Kawasan Puspipetek Serpong, Email : Syafrul1958@yahoo.co.id

### ABSTRAK

**ANALISA TEKANAN ALIRAN PADA SISI HISAP POMPA PRIMER RSG-GAS.** Kondisi tekanan pada sisi hisap pompa pendingin primer RSG-GAS merupakan parameter penting dalam pengoperasian sistem pendingin. Parameter tekanan ini memiliki karakteristik yang perlu diperhatikan. Teori yang terkait dengan tekanan aliran ini adalah sifat fisik dan termodinamika pendingin yang mencakup hubungan temperatur-tekanan, rugi tekanan aliran, dan sifat termodinamika sistem uap-air. Makalah ini bertujuan menganalisis hubungan antara tekanan dan temperatur pada aliran pendingin sisi hisap pompa primer. Metoda yang digunakan adalah menarik kurva saturasi dari diagram termodinamika air dan mengevaluasi data untuk mendapatkan kondisi operasi normal. Hasilnya menunjukkan bahwa batas tekanan rendah (-)0,15 bar (mengakibatkan kavitasi) bilamana temperatur pendingin dari teras reaktor mencapai 52oC. Untuk itu dengan mempertimbangkan aspek keselamatan reaktor, pengoperasian sistem pendingin yang aman harus menghindari garis kurva saturasi diantaranya dengan cara menurunkan temperatur atau mengurangi rugi tekanan aliran.

Kata kunci: sisi hisap pompa primer, tekanan aliran

### ABSTRACT

**FLOW PRESSURE ANALYSIS IN THE PRIMARY PUMP SUCTION SIDE OF RSG-GAS.** In the operation cooling system of the RSG-GAS, the suction side pressure of primary cooling pump is very important. This pressure parameter characteristic should be considered attention. This analysis is based on physical properties and coolant thermodynamic including the correlation between temperature-pressure, pressure drop and vapor-water system thermodynamics. The purpose of this paper is to predict relation of pressure and temperature in the suction side coolant flow of primary pump. The method uses the saturation curve of water thermodynamic diagrams and evaluation data to obtain normal operating conditions. The result shows that lower pressure limit (-) 0.15 bar (to cause cavitations) when the coolant temperature from the core of 52oC. Therefore by the reactor safety aspect consideration, the cooling system operation safely should be avoided saturation curve i.e. decreasing of temperature or flow pressure drops.

Keywords : suction head of primary pump, flow pressure

### PENDAHULUAN

Dalam rangka mengemban kesinambungan operasiReaktor RSG-GAS, maka salah satunya adalah perlu dilakukan analisis dan evaluasi tentang sistem pendingin yang ada di reaktor RSG-GAS termasuk peninjauan untuk mengetahui kinerja komponen di dalamnya. Kondisi tekanan pada sisi hisap pompa pendingin primer reaktor RSG-GAS merupakan bagian penting dalam pengoperasian

sistem pendingin. Parameter tekanan ini memiliki karakteristik yang perlu diperhatikan.

Aliran air pada sisi hisap pompa pendingin primer reaktor RSG-GAS, melintas melalui kanal pendingin teras, pipa hisap dan *delay chamber*(kamar tunda). Rugi tekanan dapat terjadi disepanjang aliran hisap ini, sehingga menambah turunya tekanan negatif aliran. Kavitasi merupakan kondisi umum yang terjadi pada sisi hisap pompa, hal ini karena kavitasi dapat mengganggu kehandalan pompa.

Oleh karena itu, analisa terhadap karakteristik aliran sisi hisap merupakan langkah yang sangat penting. Hubungan temperatur dan tekanan aliran adalah parameter yang sangat berpengaruh dan dapat dipakai sebagai metoda analisa.

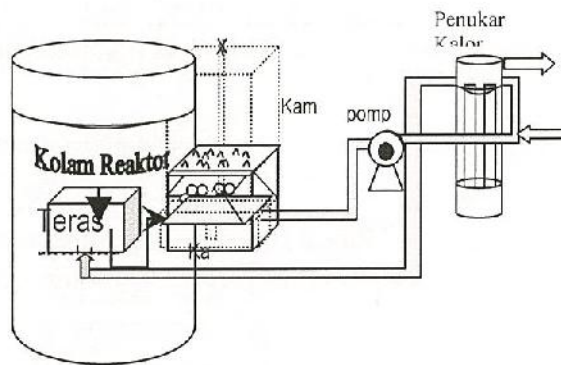
Secara umum, rugi tekanan terutama terjadi di dalam kamar tunda, hal ini karena air pendingin mengalir melintas struktur luas penampang aliran (*cross flow area*) yang tidak seragam, kompleks dan memiliki bentuk-bentuk aliran yang saling berinteraksi. Rugi tekanan berdampak pada rendahnya tekanan sisi hisap pompa primer. Pada saat reaktor operasi daya tinggi sering tercapai batas *set point* -0,15 bar<sup>[1]</sup> (catatan: Indikator tekanan otomatis berada pada *inlet* hisap pompa primer). Tercapai batas ini mengakibatkan pompa pendingin primer trip dan reaktor terpancung (*scram*) oleh sinyal sistem proteksi reaktor.

Oleh karena itu dengan menganalisa berbagai hal yang berkaitan dengan rugi tekanan sisi hisap pompa pendingin primer, diharapkan dapat menjaga kehandalan operasi reaktor serta meningkatkan kemampuan SDM/operator untuk memahami sistem pendingin sebagaimana yang diharapkan.

Berdasarkan uraian yang dikemukakan sebagai latar belakang maka tujuan makalah ini adalah menganalisa hubungan antara tekanan dan temperatur pada aliran pendingin sisi hisap pompa primer dengan pendekatan terhadap parameter terkait seperti sifat fisik dan sifat termodinamika sistem pendingin.

### Deskripsi Pendingin Primer

Sistem pendingin primer berfungsi mengambil panas yang dibangkitkan di teras reaktor dan reflektor dengan menggunakan pompa-pompa sirkulasi. Alat penukar kalor terletak pada sisi keluaran (*discharge*) pompa primer berperan dalam memindahkan energi panas dari sistem pendingin primer ke pendingin sekunder sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1. Kapasitas pendingin primer dan sekunder masing-masing sebesar 3200 m<sup>3</sup>/jam dan 3900 m<sup>3</sup>/jam<sup>[1]</sup>.



Gambar 1. Diagram Sistem Pendingin Primer

Sisi hisap pompa pendingin primer melewati kamar tunda dan menetrasi perisai beton. Kamar tunda yang memiliki volum kubus sekitar 80 m<sup>3</sup> ini merupakan bagian integral dari blok reaktor dengan lokasi di bawah kolam penyimpanan elemen bakar. Plat *throttling* di dalam kamar tunda membagi ruangan menjadi beberapa kompartemen yang berfungsi sebagai penghambat aliran pendingin sehingga isotop radioaktif N-16 dari teras reaktor dapat meluruh. Setelah itu pendingin meninggalkan kamar tunda menuju kamar katup (*valve chamber*) yang berada didekatnya dan selanjutnya melewati pipa baja berdiameter 600 mm mengalir ke arah alat penukar kalor JE01BC01/02 di ruang *primary cell*.

### Hubungan P-T

Di dalam sistem termodinamika fluida maka terdapat hubungan terkait antara nilai tekanan uap saturasi dengan temperatur yang diberikan, berikut ini contoh formula yang lazim disajikan dalam tabel uap yang berlaku sampai 100°C<sup>[2]</sup>,

$$\text{Log } P = A + B \log z + Cz + D/z \quad (1)$$

dengan,

$$z = t + 273,16$$

$$A = 28,59051$$

$$B = -8,2$$

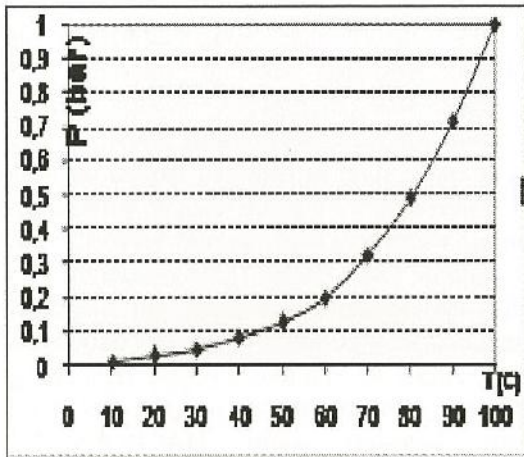
$$C = 2,4804 \times 10^{-8}$$

$$D = -3142,31$$

$$T = \text{temperatur (Celcius)}$$

$$P = \text{tekanan (Bar)}$$

Untuk melihat hubungan P-T saturasi maka formula pada Persamaan (1) dapat pula ditampilkan dalam bentuk yang lebih mudah difahami sebagai grafik P-T seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva P-T Saturasi Air

Rugi Tekanan

Rugi tekanan ( $\Delta P$ ) merupakan suatu parameter yang mengakibatkan penurunan tekanan pada suatu sistem aliran pendingin. Terjadinya  $\Delta P$  dari suatu aliran fluida yang mengalir secara universal (baik di sepanjang saluran lurus, kontraksi, ekspansi maupun belokan) terutama disebabkan oleh beberapa bentuk hilangnya energi kinetik karena friksi dan perubahan luas penampang aliran yang dilalui. Kadaan ini dapat dituliskan dalam persamaan umum yang dikutip dari Persamaan 2<sup>[3]</sup>.

$$\Delta P = \left( 4f + \frac{L}{D} \sum K_i \right) \frac{\rho V^2}{2g_c} \quad (2)$$

dengan,

- f = faktor friksi
- L = panjang saluran
- D = diameter
- $\sum K_i$  = jumlah koefisien friksi
- V = laju (linier) aliran pendingin
- $g_c$  = konversi percepatan gravitasi
- $\rho$  = densitas.

Kavitasi

Kavitasi pada fluida cair terjadi ketika terbentuk gelembung (*bubbles*) dan terjebak didalam sistem pompa di sekitar *propeller*. Aliran yang dihisap oleh pompa, mengakibatkan kondisi fluida berada pada tekanan rendah (*under-pressure*). Apabila temperatur bertambah, maka mulailah menguap, seperti halnya pada kasus pendidihan. Namun dalam sistem yang sensitif, gelembung dari penguapan ini tidak dapat mengalir atau terjebak sehingga dapat menyebabkan kerusakan fisik pada bagian dari pompa atau *propeller*.

Parameter temperatur dan tekanan sangat berpengaruh dan dapat menimbulkan kavitasi dalam sistem apapun. Oleh karena itu, dalam pengoperasian sistem pompa, keberadaan kavitasi harus dihindari. Penguapan yang menimbulkan kavitasi, secara terus-menerus dapat menyebabkan suara keras karena gelembung yang terbentuk mengakibatkan fluida bergerak lebih cepat dari kecepatan suara.

Kavitasi pada sisi-hisap (*Suction Cavitation*) terjadi ketika NPSH (*Net Positive Suction Head*) yang digunakan pada pompa, lebih kecil dari pada NPSH yang diperlukan (NPSH pompa < NPSH yang diperlukan).

Gejala-gejala adanya kavitasi di dalam sistem pompa dapat ditandai oleh beberapa indikasi,

1. Suara pompa sangat keras seolah mengalirkan fluida yang mengandung benda padat.
2. Adanya pembacaan *High Vacuum* pada pipa hisap (*suction line*).
3. Tekanan aliran keluar sangat rendah (*Low discharge pressure*).

Di dalam sistem aliran pendingin yang menggunakan pompa untuk sirkulasinya, ada beberapa kemungkinan yang dapat menyebabkan terjadinya kavitasi, seperti berikut ini:

1. Aliran yang melalui pipa hisap tersumbat
2. Pipa pada *Suction line* lintasannya terlalu panjang atau melalui lintasan yang berkelok.
3. Diameter pipa pada *Suction line* terlalu kecil.
4. Elevasi pipa hisap terlalu tinggi.
5. Katup yang ada disepanjang *Suction Line* terbuka sebagian (*partially open*)

Ada beberapa cara mengatasi gejala kavitasi secara teori yang tidak diinginkan sebagai solusi yang mungkin salah satunya dapat dilakukan seperti berikut ini:

1. Memindahkan kotoran dan membersihkan bagian dalam pipa sisi hisap (*suction line*)
2. Memindahkan pompa lebih dekat dengan *source tank*.
3. Menambah diameter pipa hisap (*suction line*)
4. Kebutuhan untuk menurunkan *suction lift*
5. Instalasi *running* pompa yang lebih rendah yang dapat mengurangi NPSH yang diperlukan.
6. Menaikkan tekanan *discharge*.
7. Membuka katup jalur hisap sebesar-besarnya (*Fully open Suction line valve*)

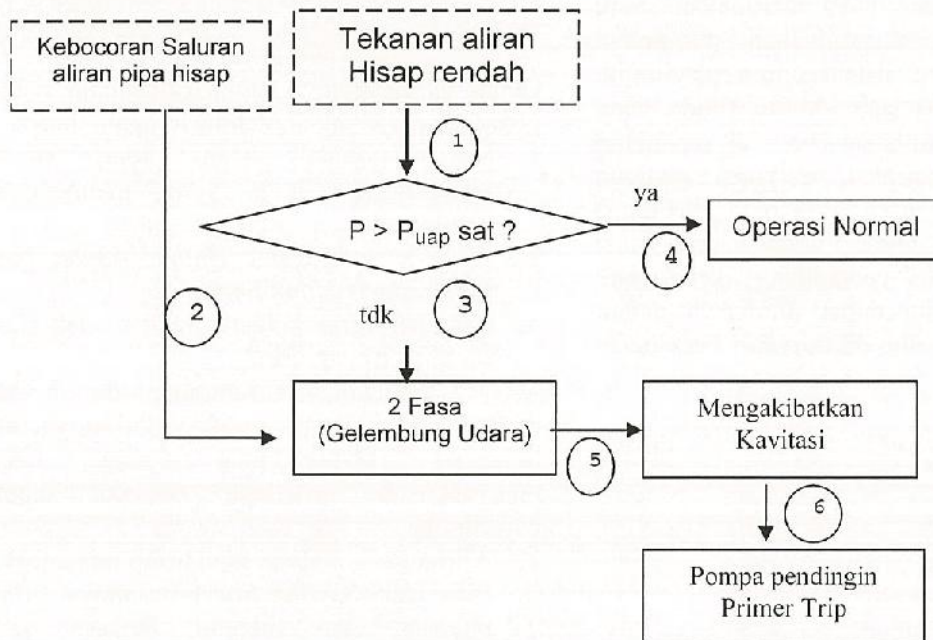
### METODA

Metoda analisis yang digunakan, adalah penelusuran hubungan parameter tekanan dan temperatur (P-T) pada sisi aliran hisap pendingin primer. Kondisi awal yang layak terjadi sebagai penyebab kavitasi di pompa pendingin diantaranya adalah kebocoran

saluran/ dinding pipa hisap, dan tekanan yang rendah. Secara skematika alur langkah diagram analisis diilustrasikan pada Gambar 3.

### PEMBAHASAN

Analisa dimulai dari penelusuran dan identifikasi data alat indikator tekanan pada sistem aliran hisap pendingin primer yang tersedia<sup>[1]</sup>. Pada sisi hisap pompa primer terdapat indikator tekanan otomatis yang berfungsi sebagai proteksi pompa terhadap gangguan kavitasi. Selain jalur sepanjang teras, kamar tunda juga merupakan bagian dari jalur sisi hisap yang dilengkapi dengan pipa saluran *venting* dengan katup JAA03AA01/02 yang berujung di balai operasi reaktor di lantai 13 m. Indikator tekanan aliran yang lain adalah alat ukur tekanan (JE01CP811) seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Alat ukur ini berfungsi sebagai indikator tekanan dalam rangka memantau katup sirkulasi alam (JAC01AA01/02). Selanjutnya indikator temperatur JE01CT01 juga cukup representatif untuk mengetahui temperatur pendingin keluar teras reaktor



Gambar 3. Analisa Skematik Tekanan Aliran Hisap

Pembahasan yang penting untuk mengetahui karakteristik tekanan sisi hisap pompa adalah parameter NPSH yang mana dapat berdampak pada kavitasi. Secara umum ada beberapa hal yang berkaitan dengan

Kavitasi yang terbentuk yaitu karena dekomposisi komponen gas di dalam air pendingin atau tercapainya tekanan saturasi. Dalam hal kavitasi pada sisi hisap pompa maka tekanan absolut minimum pada sisi hisap

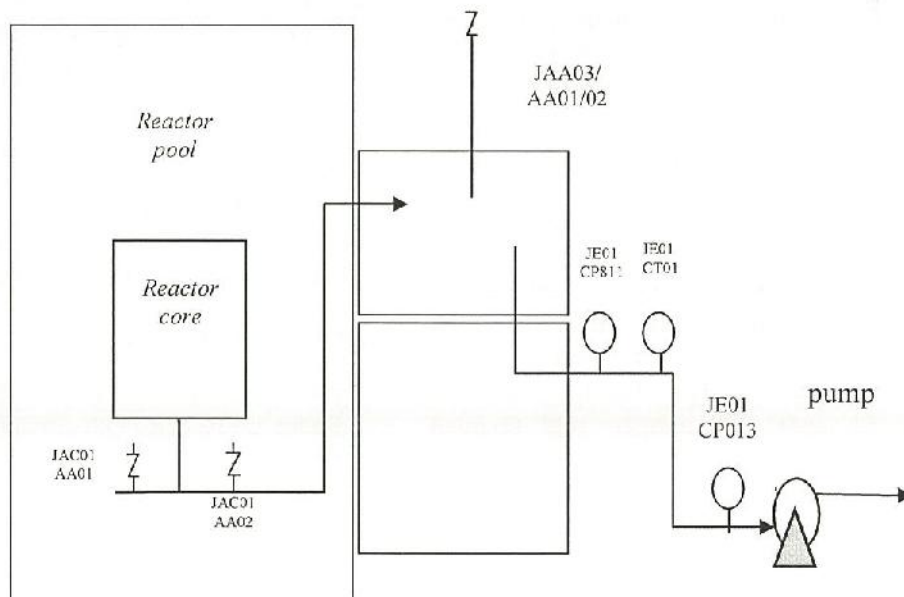
pompa adalah sama dengan tekanan uap air pendingin. Ini berarti bahwa apabila temperatur pendingin naik maka tekanan hisap akan mencapai tekanan saturasinya, akibatnya timbul gelembung kavitasi yang pada batas tertentu dapat menyebabkan kerusakan pompa<sup>[4]</sup>.

Apabila dibuat skematika alur dan posisi alat ukurnya maka dapat diringkas pada Gambar 3. Pada Gambar tersebut menunjukkan alur diagram di mana tekanan negatif pada aliran sisi hisap pendingin primer ditampilkan pada jalur no.1 ke no.3 dan ke no.5, sedangkan jalur no.2 merupakan kondisi perumpamaan apabila terjadi gelembung udara di dalam aliran. Kedua hal tersebut dapat terjadi secara bersamaan maupun independen, meskipun dampak terhadap tekanan aliran adalah berbeda namun gelembung kavitasi terjadi pada kedua kasus. Penurunan tekanan aliran yang menyebabkan tekanan negatif pada prinsipnya secara teoritis dapat dihitung dari Persamaan (2), akan tetapi penentuan diameter dan kecepatan linier aliran disepanjang lintasan aliran pendingin pada persamaan (2) tersebut adalah cukup rumit.

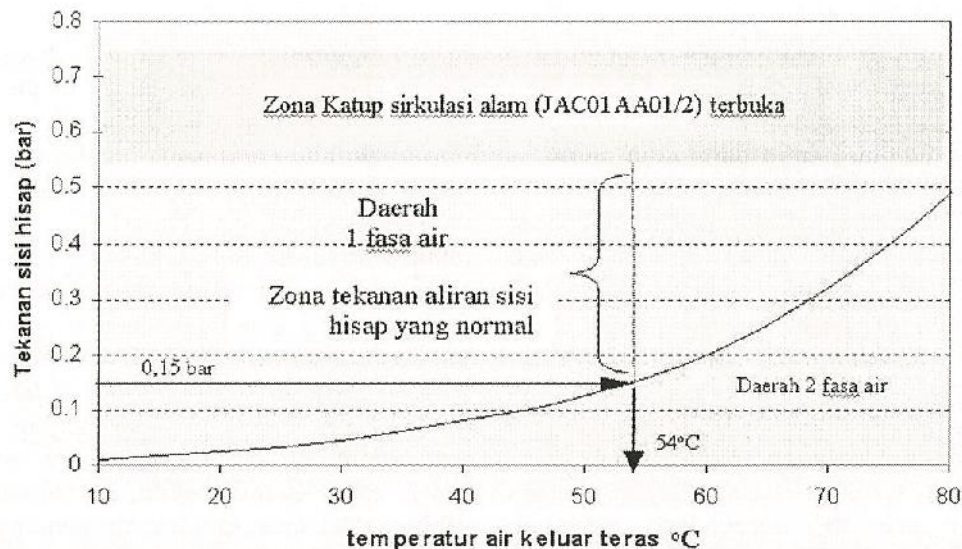
Alur 4 merupakan kondisi yang dikehendaki dalam operasi normal, sedangkan apabila indikator tekanan JE01CP01/3 melampaui batas *set point* -0,15 bar dapat mengakibatkan reaktor *scram*<sup>[5]</sup>, hal ini karena

pompa primer trip. Sebagai informasi bahwa batas temperatur saturasi air berdasarkan *Steam Tables* (tabel uap) adalah 54°C. Selanjutnya apabila batas ini terlampaui (alur 3) maka ada kondisi tekanan sisi hisap pompa yang dapat terjadi, yaitu tekanan aliran mendekati kurva uap saturasi. Oleh karena itu maka dipastikan bahwa kavitasi dapat terjadi pada tekanan aliran yang rendah. Dalam hal ini perlu konfirmasi dari data catatan operasi untuk indikator tekanan JE01CP811. Sementara itu tekanan saturasi yang lebih besar dari tekanan aliran juga memungkinkan terjadi apabila temperatur air pendingin primer bertambah besar atau tekanan turun, sedemikian rupa sehingga tekanan saturasi air pendingin ( $P_{sat}$ ) lebih besar daripada tekanan operasinya (kurva Gambar 2). Dari kondisi ini kavitasi dapat terjadi pada pompa pendingin primer.

Selanjutnya secara umum, kondisi operasi yang berkaitan dengan tekanan aliran pada sisi hisap diilustrasikan di Gambar 5. Pada Gambar ini ditampilkan kondisi 2 fasa aliran sisi hisap pompa dengan menggunakan zona berdasarkan kurva saturasi. Tampak bahwa semakin tinggi temperatur (kekanan arah garis absis) maka semakin melampaui kondisi daerah 2 fasa air pendingin.



Gambar 4. Diagram Posisi Alat Indikator



Gambar 5. Grafik Tekanan vs. Temperatur Sisi Hisap Pompa

Garis kurva saturasi ini dapat dihindari melalui pengurangan rugi tekanan dari aliran masuk teras sampai aliran menuju pompa primer hingga tekanan minimum 0,18 bar dan maksimum 0,58 bar atau menurunkan temperatur air primer sehingga kondisi yang ideal di mana kondisi satu fasa air pendingin dapat dicapai. Catatan di sini bahwa indikator tekanan JE01CP811 di atas 0,6 bar dapat menyebabkan terbukanya katup sirkulasi alam [1,6].

Hubungan parameter  $\Delta P$  dengan laju aliran pendingin ditunjukkan pada Persamaan (2), berdasarkan persamaan ini rugi tekanan dapat dikurangi dengan menurunkan laju aliran pendingin primer. Hal ini merupakan suatu cara yang dapat dilakukan akan tetapi dengan mempertimbangkan aspek keselamatan termohidrolika teras maupun aspek keselamatan sistem lainnya. Jadi semakin tinggi daya operasi reaktor, maka semakin tinggi pula temperatur air pendingin, artinya pada tekanan operasi yang sama maka naiknya temperatur dapat mempercepat tercapainya kondisi 2 fasa (Gambar 5). Jadi pengurangan rugi tekanan aliran di sisi hisap pompa pendingin primer dapat dilakukan dengan cara mengoperasikan pendingin primer pada tingkat temperatur dan tekanan yang disarankan Gambar 5.

Kinerja alat penukar kalor JE01BC01/02 maupun kinerja menara pendingin (*blower*) pada sistem pendingin sekunder sangat berperan terhadap parameter operasi sistem pendingin primer primer. Oleh karena itu pengoperasian menara pendingin

semaksimal mungkin ketika reaktor beroperasi pada daya tinggi merupakan keharusan.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan uraian yang dikemukakan pada bab pembahasan maka kurva saturasi dapat dihindari dengan mengurangi rugi tekanan sampai tekanan aliran sisi hisap sampai 0,58 bar atau menurunkan temperatur air pendingin primer sehingga kondisi ideal 1 fasa air dapat dicapai. Temperatur tinggi disebabkan oleh daya reaktor yang tinggi. Tercapainya batas *set point* sistem proteksi terhadap kavitasi pada sisi hisap pompa karena  $\Delta P$  yang besar. Penurunan  $\Delta P$  dengan merubah geometri sepanjang sisi hisap adalah tidak mungkin. Dengan mempertimbangkan aspek termohidrolika teras maupun keselamatan sistem lainnya,  $\Delta P$  dapat dikurangi melalui pengurangan laju alir pendingin primer.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. BATAN, SAR, Rev.9, Multi Purpose Research Reactor GA Siwabessy, Chapt. 5, Chapt. 116, September, (1989).
2. Bain, M.A., Steam Tables Physical Properties of Water and Steam, Dept.Of Scientific And Industrial Research, London, (1963).
3. Birth, S., Lightfoot, "Transport Phenomena", Departement of Chemical Eng. Univ. of Wisconsin, John Wiley & Sons, Inc.N.Y. (1960).

4. Perry, R.H., Chemical Engineer's Handbook, Ed.6, Section 3, Mc.Graw Hill Book Co, NY, (1984).
5. INTERATOM, Operating Manual, Sheet 06.
6. Sukmanto D, "Kajian Fenomena Aliran dalam Kamar Tunda RSG-GAS", Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir-TRI DASA MEGA, Vol.2,No.1,PeNuarl, (2000).