

ANALISIS GANGGUAN PENURUNAN TEKATAN DAN PENENTUAN DEBIT OPTIMUM SISTEM PRIMER RSG-GAS.

Setiyanto*, Utojo**

* Pusat Reaktor Serba Guna - BATAN

**Pusat Perangkat Nuklir dan Rekayasa - BATAN

ABSTRAK

ANALISIS GANGGUAN PENURUNAN TEKATAN DAN PENENTUAN DEBIT OPTIMUM SISTEM PRIMER RSG-GAS. Telah dilakukan analisis terhadap gangguan penurunan tekanan sistem primer RSG-GAS, dengan cara menghitung kesetimbangan tekanan pada 'inlet' pompa primer. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada debit 3200 m³/jam, tekanan neto pada 'inlet' pompa adalah 7,44 m pada kondisi reaktor tidak beroperasi, dan 6,78 m jika reaktor beroperasi pada daya 30 MW. Jika dibandingkan dengan batas minimum NPSH (Nett Positive Section Head) pompa, terlihat bahwa tekanan 'inlet' pompa pada saat reaktor beroperasi pada daya 30 MW, berada di bawah nilai batas yang diijinkan, yaitu 7,5 m. Kondisi tersebut akan membuat sistem pengaman pompa bereaksi untuk mematikan pompa. Berdasarkan kondisi tersebut, analisis dilanjutkan dan diperoleh bahwa debit yang optimum untuk daya reaktor 30 MW adalah 3100 m³/jam.

ABSTRACT

PRESSURE DROP ANALYSIS AND DETERMINATION OF OPTIMAL FLOW RATE OF THE RSG-GAS PRIMARY SYSTEM. The pressure drop analysis of the RSG-GAS primary system has been done by determining of the equilibrium pressure at the pump inlet. This analysis shows that the pressure nett of 3200 m³/h of total flow rate are 7,44 m if the reactor is not operated, and 6,78 m if the reactor power is 30 MW. Referred to the pump characteristic, where the minimum NPSH value is 7,5 m, show that the pressure nett in the reactor power of 30 MW drop to below of the limit value. The futher analysis shows that the optimum flow rate for 30 MW of reactor power is about 3100 m³/h.

PENDAHULUAN

Sistem pendingin adalah sarana utama dalam reaktor nuklir, dimana dengan pendingin tersebut panas dipindahkan dari teras reaktor ke sistem pembuangan panas. Oleh karenanya, maka jenis gangguan apapun mestinya tidak boleh terjadi selama sistem tersebut sedang menjalankan fungsinya.

Dalam suatu instalasi yang memerlukan sistem pembuangan panas yang besar, seperti pada instalasi pendingin reaktor, biasanya diperlukan debit dan daya pompa yang besar pula. Dari sisi lain kendala yang muncul adalah besarnya debit akan menuntut sistem pendukung yang serba

besar, sehingga memerlukan biaya yang besar juga. Untuk menekan biayanya maka sistem pendukungnya (pemipaan) dibuat yang sekecil mungkin, pada hal pipa yang kecil akan berakibat kecepatan alir yang tinggi. Kecepatan alir yang tinggi akan membawa resiko meningkatnya hilang tekanan, sehingga pada kondisi tertentu dapat mengakibatkan kavitasi yang sangat membahayakan pompa.

Fenomena tersebut sedikit banyak juga dirasakan pada sistem pendingin primer RSG-GAS, yaitu adanya fluktuasi tekanan yang terdeteksi oleh sistem kontrol tekanan (CP-01 dan CP-03). Besar kecilnya fluktuasi tersebut ternyata sangat

dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama oleh daya reaktor yang pada kondisi tertentu dapat mengakibatkan sistem kontrol tekanan mengirim signal alarm akibat mendeteksi adanya kavitasi. Hal tersebut bila dibiarkan akan mengganggu kestabilan jalannya operasi reaktor, sehingga perlu segera diatasi.

Untuk mengetahui lebih lanjut, serta sedapat mungkin menemukan penyebab terjadinya fenomena tersebut, perlu dilakukan analisis hilang tekanan pada sistem pemipaan yang terpasang.

Analisis dilakukan dengan cara menentukan tekanan neto pada 'inlet' pompa, yaitu beda tekanan antara total 'head' dan total hilang tekanan sampai dengan 'inlet' pompa, kemudian dibandingkan dengan karakteristik pompa yang dinyatakan oleh Nett Positive Section Head (NPSH).

TEORI

Akibat gesekan antar molekul yang sedang mengalir, demikian juga gesekan antara fluida dengan dinding/media yang dilewati, maka untuk setiap jejaknya fluida akan kehilangan sebagian energinya. Kehilangan energi tersebut terlihat dengan adanya gejala penurunan tekanan sebagai fungsi jarak maupun geometri yang dilewati, dimana variasi penurunan hilang tekanan tersebut secara teoritis dapat dinyatakan dalam persamaan dasar: ^{11, 12, 13, 14}

$$\Delta h = k \cdot v^2 / 2g \quad (1)$$

dimana k adalah koefisien friksi dari sistem yang dilewati, yaitu:

$k = f \cdot l/d$, untuk pipa lurus dengan panjang l dan diameter d . (2)

$k = (1-s_1/s_2)^2$, jika terjadi ekspansi penampang alir (3)

$k = 0,5 (1-s_1/s_2)$, jika terjadi kontraksi penampang alir (4)

$k = c \cdot f$, untuk 'elbow', sambungan, pencabangan dan lain-lain (5)

$k = 3,2\{tg(a)\}^{5,4}$, dengan $tg(a)=(r_1-r_2)/r$ untuk perubahan penampang alir (6)

dengan v , kecepatan fluida

g , percepatan gravitasi

f , koefisien friksi, sebagai fungsi bilangan Reynold (Re) diambil dari diagram Moody.

s_1, s_2 , penampang aliran pada perubahan penampang alir

c , konstanta yang berhubungan dengan rugi-rugi pada 'elbow', sambungan dan lain-lain.

r_1, r_2 , jari-jari penampang alir

Selain jenis penurunan tekanan parsial tersebut, dalam sistem masih terdapat jenis penurunan tekanan lain yang mempengaruhi kesetimbangan tekanan, seperti: tekanan dinamik fluida (H_{dyn}), perubahan tekanan uap air (H_{uap}) serta penurunan tekanan karena beda elevasi (H_{el}), (lihat pers. 7).

Karakteristik pompa:

Dalam suatu aliran dimana gerakan fluida (cair) diakibatkan oleh hisapan pompa, perlu diperhatikan bahwa untuk menghindari kerusakan pompa (impeler) dipersyaratkan bahwa di dalam aliran tidak boleh terjadi pembentukan gelembung-gelembung udara (kavitasi). Kriteria tersebut dapat terpenuhi jika tekanan bersih pada 'inlet' pompa H_{net} lebih besar dari harga NPSH pompa yang digunakan. NPSH adalah besaran yang merupakan karakteristik pompa, sedangkan tekanan bersih H_{net} adalah selisih antara tekanan yang tersedia dengan total hilang tekanan di dalam sistem yang bersangkutan. Hubungan antara total tekanan yang tersedia dengan total hilang tekanan pada posisi tertentu dinyatakan dalam kesetimbangan tekanan:

Total tekanan tersedia = Total hilang tekan + Tekanan neto.

$$H_{udara} + H_{level} = H_{total} + H_{dyn} + H_{el} + H_{uap} + H_{net} \quad (7)$$

dimana:

H_{udara} = tekanan udara

H_{level} = tekanan hidrostatik air relatif

terhadap level (0,0)

ΔH_{total} = total hilang tekanan parsial

dalam sistem = $\sum \Delta h$

H_{dyn} = tekanan dinamik air = $v^2/2g$

H_{level} = ketinggian relatif posisi tertentu (pompa/kontrol) dari level (0,0)

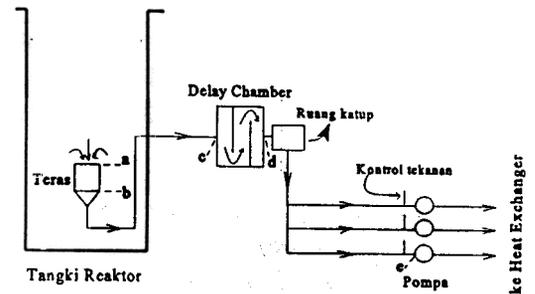
H_{uap} = tekanan uap air

H_{net} = tekanan neto

Jika salah satu faktor ruas kanan dalam persamaan 7 bervariasi (misal karena perubahan suhu, debit dll), maka harga hilang tekanan ΔH_{total} juga akan berubah, sedemikian sehingga mengakibatkan harga H_{net} juga berubah. Yang harus diperhatikan adalah menjaga agar perubahan tersebut tidak menyebabkan H_{net} menjadi lebih kecil dari NPSH, atau melengkapi sistem kontrol yang akan mengirim sinyal jika kondisi tersebut terlampaui.

Penurunan tekanan pada sistem primer RSG-GAS.

Sistem pendingin primer RSG-GAS dimulai dari tangki reaktor, kemudian teras, kamar tunda ('delay chamber'), 'heat exchanger' sampai akhirnya kembali ke tangki reaktor melalui ring distributor. Namun demikian dalam hal perhitungan hilang tekanan, karena posisi sensor tekanan (yang juga merupakan bagian dari sistem pengaman pompa) berada pada 'inlet' pompa, maka hilang tekanan yang mempengaruhi tekanan yang terdeteksi, hanya hilang tekanan sebelum posisi sensor tersebut, sehingga hilang tekanan setelah pompa tidak perlu diperhitungkan. Gambar 1. menunjukkan bagian sistem primer dari teras reaktor sampai posisi pompanya.



Gambar 1. Skema aliran primer dari teras sampai pompa.

Berdasarkan gambar di atas, total penurunan tekanan ΔH_{total} dari 'inlet' teras (a) sampai 'inlet' pompa (e) dapat dihitung berdasarkan kombinasi persamaan 1 sampai persamaan 6 dengan pembagian geometri sebagai berikut:

Hilang tekanan pada bagian teras reaktor ΔH_c (a-b)

bagian dari ujung bawah teras sampai dengan 'inlet delay chamber' ΔH_{c-dc} (b-c)

bagian khusus 'delay chamber' $\Delta H_{dc}(c-d)$

bagian dari 'outlet delay chamber' sampai dengan 'inlet' pompa $\Delta H_{dc-p}(d-e)$.

Dimana total penurunan/kehilangan tekanan dari teras sampai pompa adalah:

$$\Delta H_{total} = \Delta H_c + \Delta H_{c-dc} + \Delta H_{dc} + \Delta H_{dc-p} \quad (8)$$

Selanjutnya evaluasi dilanjutkan dengan menentukan besar hilang tekanan ΔH_{total} , tekanan neto H_{net} dan kemudian dibandingkan terhadap NPSH pompa untuk debit 3200 m³/jam. Berdasarkan hasil yang diperoleh, evaluasi dilanjutkan untuk mengoptimasi debit yang ideal ditinjau dari teknologi sistem.

DATA DAN PERHITUNGAN

Karakteristik fluida (air) pendingin primer dalam keadaan operasi normal berdasarkan data operasi (look book operasi RSG-GAS), adalah sebagai berikut:

Debit primer (m ³ /jam)	Suhu primer (°C) (daya 30MW)	Berat jenis air (kg/m ³)	Pompa P1 dan P3 operasi
3,200.00	41 - 47	988	

Data geometri, dimensi serta jenis-jenis komponen yang terpasang, diuraikan sesuai dengan pembagian daerah perhitungan seperti telah diuraikan sebelumnya, yaitu:

a. Hilang tekanan di dalam teras.

Hilang tekanan di dalam teras, yaitu perbedaan tekanan antara permukaan atas ('inlet') dengan bagian bawah teras telah diukur langsung, dan diperoleh sebesar 0,6 bar¹⁵, atau $H_c = 6,0$ m air.

- pipa (l=6,2 m; d=0,7 m),
- 'elbow' 90° (3 buah) dan
- kontraksi/penyempitan aliran di bawah teras (1 buah), dengan dimensi $r_1=0,46$ m; $r_2=0,35$ m dan jarak antara $r_1 - r_2 = 0,5$ m

Berdasarkan data tersebut, total hilang tekanan diperoleh:

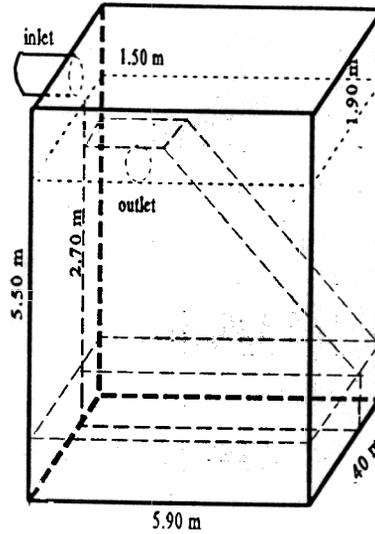
Kecepatan fluida (m/s)	Bilangan Reynold	koefisien friksi (f)	Hilang tekanan (m air) ^{12, 13}			
			pipa	elbow	kontraksi	total
231	$2,91 \times 10^6$	0.015	0,036	0,367	0,031	0,434

b. Hilang tekanan antara teras sampai 'inlet delay chamber'^{11, 12, 16}

Data teknis komponen yang terpasang pada jalur tersebut antara lain:

c. Hilang tekanan dalam 'delay chamber'.¹⁷

'Delay chamber' adalah suatu ruangan berukuran $p \times l \times t = 5,87$ m x 2,4 m x 5,5 m yang berfungsi untuk menunda aliran pendingin. Ruangan tersebut dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu: bagian 1 (atas) merupakan ruangan yang menerima aliran masuk primer, bagian 2 (tengah) dan bagian 3 (belakang) yang berhubungan dengan 'outlet', (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Bentuk dan dimensi Delay Chamber

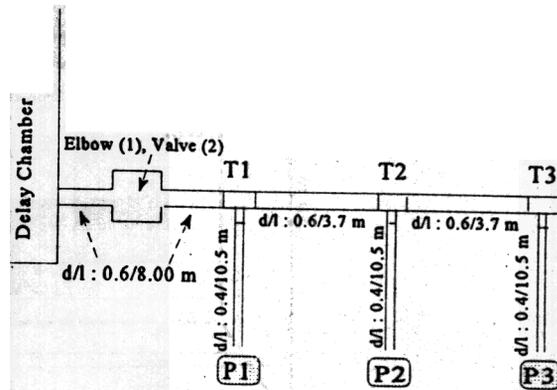
Antara bagian 1 dan bagian 2 disekat dengan saringan yang terdiri atas 1040 lubang dengan diameter a' 2,0 cm, dan 136 lubang dengan diameter a' 3,0 cm. Sedangkan antara bagian 2 dan bagian 3 disekat dengan saringan dari 1216 lubang dengan diameter a' 2,0 cm dan 206 lubang dengan diameter a' 3,0 cm.

d. Hilang tekanan antara 'delay chamber'-pompa.^{111, 121, 131, 141, 161}

Setelah keluar dari 'delay chamber', aliran dibagi menjadi 3 jalur sama besar dengan menggunakan pipa diameter 0,4 m, namun dalam pelaksanaan operasinya hanya 2 jalur yang digunakan. Diagram pencabangan dapat dilihat pada gambar berikut:

Dengan data tersebut, total hilang tekanan dalam 'delay chamber' diperoleh:

Bagian	Kecepatan alir (m/s)	Koefisien gesek k (total)	Hilang tekanan (m air)
Inlet D.C	2,31	0,84	0,23
Saringan 1	2,10	1,43	0,32
Saringan 2	1,68	1,39	0,20
Ruangan 2	0,38	1,44	0,04
Ruangan 3	1,56	1,05	0,014
Outlet D.C	3,14	1,46	0,734
Total hilang tekanan dalam delay chamber $H_{\Delta c} =$			1,54



Gambar 3. Diagram pencabangan aliran antara Delay Chamber - Po

Perhitungan hilang tekanan dihitung dengan asumsi bahwa pompa yang beroperasi adalah P1 dan P3.

- Hilang tekanan antara 'delay chamber' - pencabangan pipa T1

Hilang tekanan pada bagian tersebut terjadi pada pipa, 'elbow', 'valve' (2 buah) dan pencabangan T1, berikut hasil perhitungannya

Kecepatan alir (m/s)	Bilangan Reynold	Koefisien gesekan					Hilang tekanan (m air)
		f	$k_{\text{pipa}}=f \cdot l/d$	$k_{\text{eb}}=30f$	$k_{\text{cab}}=60f$	$k_{\text{val}}=25f$	
3,1438	$3,5 \times 10^6$	0,015	0,20	0,45	0,90	0,375	1,159

- Hilang tekanan antara pencabangan T1-T3

Hilang tekanan pada bagian tersebut terjadi pada pipa dan belokan T3. Berikut hasil perhitungannya dengan asumsi debit = setengah debit total dan belokan pada T3 dianggap 90 °

Kecepatan alir (m/s)	Bilangan Reynold	Koefisien gesekan			Hilang tekanan (m air)
		f	$k_{\text{pipa}} = f \cdot L/d$	$k_{\text{cabang}} = 65 \cdot f$	
1,5719	$1,8 \times 10^6$	0,016	0,206	1,04	0,16

- Hilang tekanan antara T1- P1 atau T3 - P3.

Kedua pencabangan tersebut dibuat simetri, baik dari segi dimensi maupun 'lay-out'-nya, sehingga hilangnya dapat dihitung pada salah satu pencabangan saja. Bagian yang menyebabkan hilangnya tekanan pada cabang tersebut antara lain: pipa (10,5 m), 'elbow' 90° (2 buah), 'valve butterfly' (1 buah) 'reducer' (1 buah) dan 'orifice' (1 buah). Berikut perhitungan hilangnya tekanan pada bagian tersebut:

persamaan 7 untuk kondisi tersebut adalah:

$$H_{\text{udara}} = \text{tekanan udara} = 1 \text{ bar} = 10 \text{ air.}$$

$$H_{\text{level}} = \text{ketinggian air tangki} = 12,5 \text{ m air}$$

$$H_{\text{dyn}} = \text{tekanan dinamik air} = \sqrt{2}g = 1,83 \text{ m air}$$

$$H_{\text{el}} = \text{ketinggian pompa dari level (0,0)} = 0,8 \text{ m air}$$

Tekanan uap air (H_{uap}) bervariasi sebagai fungsi suhu, yaitu berharga = 0,32 m air pada suhu 25 °C

Kecepatan alir (m/s)	Bilangan Reynold	Koefisien gesekan						Hilang tekanan
		f	k_{pipa}	k_{elbow}	k_{valve}	k_{reducer}	k_{orifice}	
3,54	$2,7 \times 10^6$	0,02	0,441	0,768	0,4	0,32	2,46	3,297

Total hilangnya tekanan antara 'delay chamber' sampai pompa diperoleh :

$$\Delta H_{\text{dc-p}} = 4,616 \text{ m air.}$$

Total tekanan yang hilang antara 'outlet' teras sampai dengan 'inlet' pompa diperoleh dengan menjumlahkan semua hilangnya tekanan yang tercakup dalam batas tersebut, yaitu semua hilangnya tekanan yang diuraikan di atas, dan diperoleh sebesar:

$$\Delta H_{\text{total}} = \Delta H_c + \Delta H_{c-dc} + \Delta H_{dc} + \Delta H_{dc-p} = 12,68 \text{ m air.}$$

Tekanan Neto pada 'inlet' pompa.

Dalam keadaan aliran primer beroperasi normal, maka data tekanan yang terkait dalam

, dan = 1,25 m air pada suhu 50 °C. (lihat lampiran 1).

Berdasarkan kondisi tersebut, maka tekanan neto H_{net} pada inlet pompa juga bervariasi sebagai fungsi suhu, yaitu:

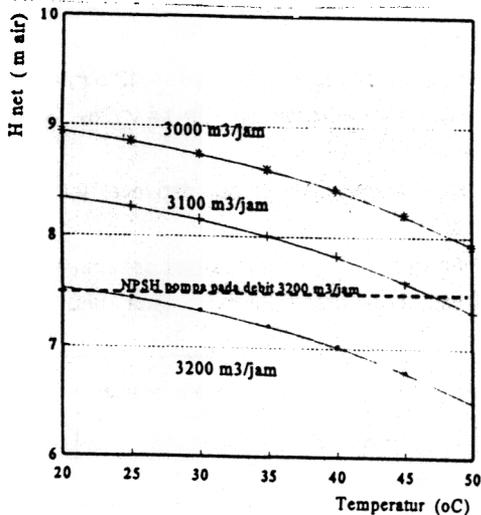
a. $H_{\text{net}} = 7,44$ meter air pada suhu 25 °C

b. $H_{\text{net}} = 6,78$ meter air pada suhu 45 °C

Optimasi Debit Primer.

Hasil di atas menunjukkan bahwa dengan debit 3200 m³/jam, jika reaktor dioperasikan pada daya 30 MW maka kemungkinan terjadinya kavitas sangat besar, sehingga analisis perlu diperluas untuk memperoleh harga debit optimum, yaitu debit yang tidak menyebabkan kavitas. Karena indikator timbulnya kavitas dapat terlihat

dari tekanan neto pada inlet pompa (H_{net}), sedangkan tekanan tersebut merupakan fungsi debit, maka debit optimum yang dipilih adalah debit maksimum yang memberikan tekanan H_{net} tidak lebih kecil dari NPSH pompa. Untuk analisis tersebut dipilih debit 3100 m³/jam dan 3000 m³/jam sebagai data perhitungan, dan berdasarkan data tersebut diperoleh harga tekanan neto pada inlet pompa sebagai berikut; (lihat Gambar 5.)



Gambar 5. Variasi tekanan neto (H_{net}) pada inlet pompa sebagai fungsi debit dan temperatur

ANALISIS HASIL

Berdasarkan hasil yang diperoleh, terlihat bahwa dengan debit total 3200 m³/jam, tekanan neto pada 'inlet' pompa primer H_{net} bervariasi dari 7,44 meter pada suhu 25 °C sampai dengan 6,78 meter pada 45 °C. Karena kedua suhu tersebut berkaitan dengan suhu primer pada kondisi reaktor tidak beroperasi dan kondisi beroperasi pada daya nominal, maka dapat diartikan bahwa penurunan tekanan tersebut berkaitan dengan kondisi operasi (daya) reaktornya, yaitu tekanan akan semakin turun jika daya reaktor naik. Berdasarkan persamaan kesetimbangan tekanan (pers. 7) penurunan tekanan tersebut merupakan akibat dari

naiknya tekanan uap air sebagai fungsi suhu primer yang bervariasi dari 27 °C sampai sekitar 45 °C jika reaktor beroperasi.

Dibandingkan dengan karakteristik pompa yang digunakan, tekanan neto H_{net} untuk debit 3200 m³/jam telah berada pada batas tekanan minimum yang diijinkan (NPSH) yaitu 7,4 meter sejak reaktor belum beroperasi, sedangkan dalam kondisi operasi pada daya 30 MW (atau ekuivalen dengan suhu primer 45 °C), nilai H_{net} telah berada jauh di bawah batas (6,78 meter), yang mana kondisi tersebut mengakibatkan sistem pengaman pompa segera mematikan/mengamankan pompa. Hal tersebut sesuai dengan kondisi yang selama ini ditemukan.

Karena rendahnya tekanan neto tersebut telah terjadi sejak reaktor belum beroperasi, maka hal tersebut merupakan akibat dari hilang tekanan ΔH_{total} pada sistem yang terlalu besar, sementara berdasarkan persamaan 1 sampai 6, hilang tekanan tersebut hanya merupakan fungsi debitnya. Dari analisis tersebut dapat dikatakan bahwa penyebab rendahnya tekanan neto pada inlet pompa adalah debit yang terlalu besar (dibanding dengan harga disain). Pernyataan ini dibuktikan oleh perhitungan lanjutan yang memvariasi debit untuk memperoleh tekanan neto yang tetap lebih besar dari NPSH.

Gambar 5. menunjukkan variasi tekanan neto untuk tiga debit yang dipilih, yang mana jika debit diturunkan sampai 3100 m³/jam saja, maka tekanan neto H_{net} telah terhindar dari batas NPSH.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisis yang dibuat di atas, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Dengan debit total 3200 m³/jam, tekanan neto H_{net} pada 'inlet' pompa pada keadaan reaktor belum beroperasi, telah berada pada kondisi batas kavitasi, sehingga kenaikan suhu primer karena reaktor beroperasi akan menyebabkan timbulnya

kavitasi, yang segera memicu sistem pengaman pompa untuk bertindak mematikan pompa.

- Jika ditelaah lebih rinci, maka dapat dikatakan bahwa penyebab utama terjadinya

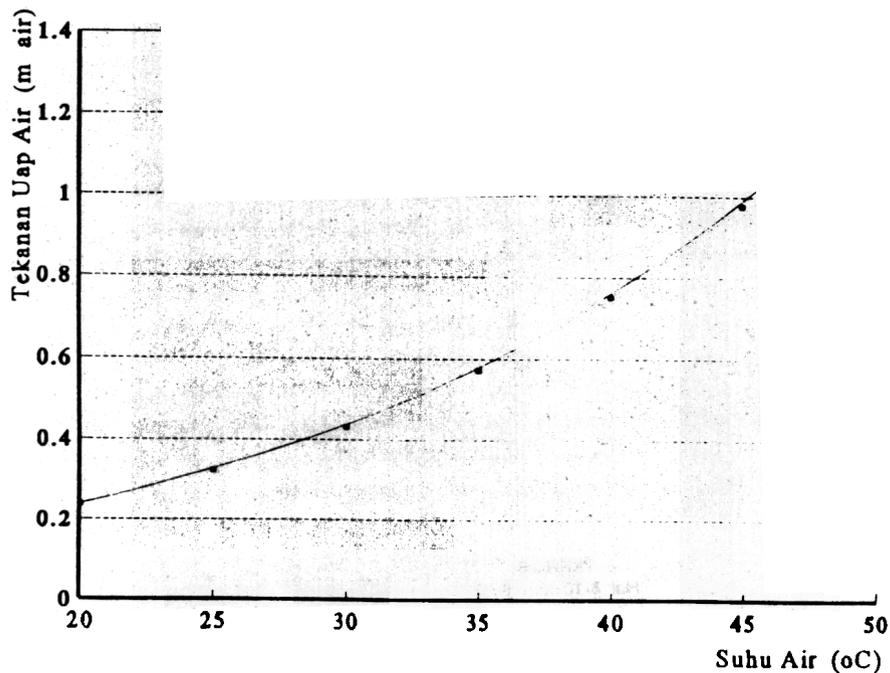
kondisi tersebut adalah debit $3200 \text{ m}^3/\text{jam}$ terlalu besar.

- Berdasarkan hasil analisis (Gambar 5.) terlihat bahwa debit yang ideal untuk sistem primer RSG-GAS adalah sekitar $3100 \text{ m}^3/\text{jam}$.

DAFTAR PUSTAKA

1. CRANE.CO, "Flow of Fluids", New York - 1985
"Application and Instalation Guide", Cat Marine Engine Edition - 1973
3. NEKRASOV, "Hydraulics" Peace Publishers-Mascow.
4. I.E IDELCIK, "Momento des pertes de charge" Eyrolles Editeur - Paris - 1979
5. Komunikasi pribadi dengan Kelompok Termohidrolika, Bidang Fisika Reaktor- PRSG.
6. "SAR - RSG GAS", Revisi 7. Badan Tenaga Atom Nasional.
7. " Delay chamber and Internal, Perforated plates delay chamber", Interatom's Drawings, Ident no: 13633421.8; 1376775.8; 1357282.6 and 1357283; 1984.
8. KEENEN, "Gas Table", p.106 - 111.

Lampiran 1. Variasi Tekanan Uap Air sebagai fungsi suhu [8]



DISKUSI

1 Pertanyaan :Dedi Sunaryadi

- a. Berapa debit optimum untuk daya reaktor 22,5 MW ?
- b. Apa penyebab terjadinya tekanan inlet yang di bawah nilai batas ?

Jawaban :

- a. Belum dilakukan optimasi untuk 22,5 MW. Tetapi sementara dapat dinyatakan untuk flowrate di bawah $3100 \text{ m}^3/\text{jam}$, berapaun akan aman.
- b. Penyebab tekanan inlet di bawah nilai batas adalah :
 - debit yang cukup besar sehingga friksi juga besar.
 - Kenaikan suhu, yang menyebabkan kenaikan uap.