

KARAKTERISASI UNJUK KERJA POMPA SISTEM PENDINGIN PRIMER REAKTOR TRIGA 2000

B. Soekodijat

Puslitbang Teknik Nuklir - BATAN

ABSTRAK

KARAKTERISASI UNJUK KERJA POMPA SISTEM PENDINGIN PRIMER REAKTOR TRIGA 2000. Pompa sistem pendingin primer adalah salah satu komponen utama pada sistem pendingin Reaktor TRIGA 2000. Karakteristik unjuk kerja pompa sangat penting diketahui agar pompa dapat dioperasikan dengan baik dan aman. Penelitian dilakukan dengan cara memverifikasi kurva kinerja pompa yang diberikan oleh pabrik. Proses verifikasi dilakukan dengan mengubah-ubah laju alir pompa (dengan cara mengatur besar kecilnya pembukaan katup) dan mencatat besarnya laju alir, *head* dan efisiensi pompa yang diperoleh. Dengan demikian akan diperoleh kurva unjuk kerja pompa tersebut. Hasil yang diperoleh, menunjukkan bahwa unjuk kerja kedua pompa primer cukup memenuhi kebutuhan dari sistem pendingin primer. Diharapkan hasil penelitian ini dapat bermanfaat dan menjadi acuan dalam proses pengoperasian dan perawatan sistem pendingin primer.

Kata kunci : pompa primer, karakterisasi pompa, reaktor TRIGA 2000

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF THE TRIGA 2000 REACTOR PRIMARY COOLING SYSTEM PUMP PERFORMANCE. Primary cooling system pump is one of the main components in the TRIGA 2000 reactor cooling system. The pump performance characteristic is very importance to be known in order the pump can be operated safely. The research is carried out by verifying the pump performance curve given by the manufacture. Verification process is carried out by varying the flow rate (by controlling the valve opening) and for each flow rate, the head and efficiency are recorded. The result shows that the performance of the both primary pumps fulfill the demand of the primary cooling system. The result of this experiment can be expected as the reference in the process of operation and maintenance.

Key words: primary pump, pump characterization, TRIGA 2000 reactor.

PENDAHULUAN

Dalam rangka program peningkatan daya reaktor TRIGA Mark II Bandung menjadi 2 MW (= 2.000 kW, dan disebut Reaktor TRIGA 2000) telah selesai dipasang 2 (dua) buah pompa pada sistem pendingin primer. Kedua pompa ini tidak dioperasikan secara bersamaan, tetapi hanya satu pompa yang dioperasikan, sedang pompa yang kedua adalah sebagai cadangan (redundance). Pompa sistem pendingin primer berfungsi untuk memompakan air dari tangki reaktor ke penukar panas dan kembali lagi ke tangki reaktor. Aliran air ini akan memindahkan energi dalam bentuk panas yang terkandung dalam air tangki reaktor ke sistem pendingin sekunder melalui alat penukar panas. Sistem pendingin primer ini harus mampu memindahkan energi dalam bentuk panas sebesar 2.000 kW secara optimal, efektif, aman dan selamat untuk operasi berkesinambungan. Berdasarkan hasil komisioning non nuklir sistem pendingin reaktor TRIGA 2000 [1], kedua pompa primer ini telah dapat digunakan untuk menunjang pengoperasian reaktor dalam melayani keperluan eksperimen dan iradiasi target.

Untuk menjamin operasi sistem pendingin primer yang stabil dan aman, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui unjuk kerja kedua pompa sistem pendingin primer.

TEORI

Untuk memindahkan panas dari teras reaktor TRIGA 2000 ke sistem pendingin sekunder, telah dipasang sistem pendingin primer [2]. Sistem pendingin primer ini terdiri dari tangki reaktor, penukar panas, sistem pemipaan dan 2 (dua) buah pompa sentrifugal dengan kapasitas sama. Pada saat pengoperasiannya, hanya satu pompa yang dioperasikan, sedang pompa yang kedua adalah sebagai cadangan (redundance).

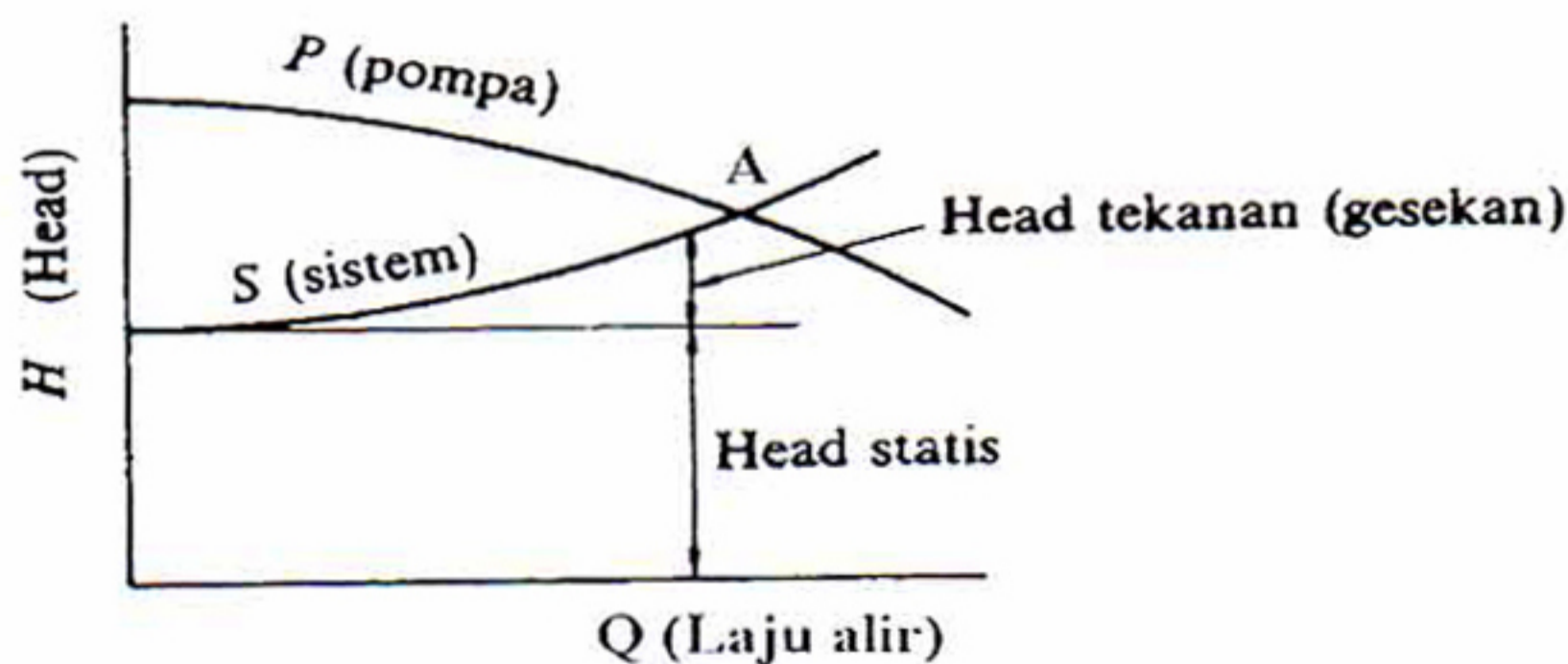
Data kedua pompa sistem pendingin primer adalah :

- Pompa sentrifugal : Merk Peerless Pump Company, Model 8196 MTP, Size 4 X 6 X 10, GPM 950, RPM 1450
- Motor penggerak : Baldor Industrial Motor 3 Phase, 20 HP (\cong 14,9 kW), 220/380/440 V, 54/31/27 A, PF = 0,82 , 1450 RPM, 50 Hz.

Unjuk kerja sebuah pompa dapat digambarkan dalam bentuk kurva-kurva karakteristik yang menunjukkan hubungan antara *head* dan efisiensi pompa terhadap laju alir pompa. Kurva karakteristik ini pada umumnya digambarkan pada putaran yang tetap (tertentu).

Dalam pengoperasiannya, pompa harus dapat memenuhi *head* yang diperlukan oleh sistem pipa sehingga perlu pula diketahui kurva *Head*-laju alir sistem.

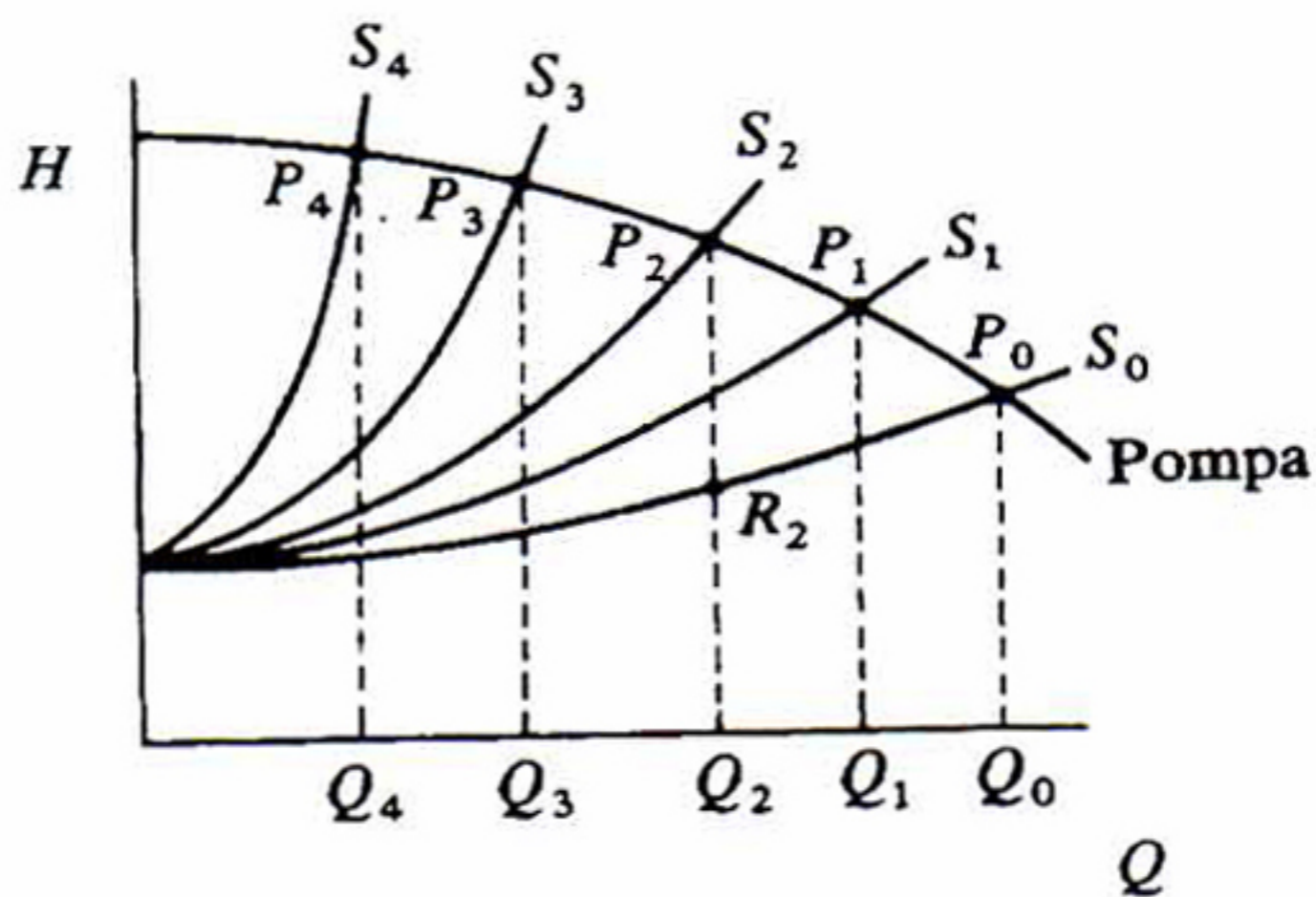
Besarnya *head* sistem, yaitu *head* yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair melalui sistem pipa, adalah sama dengan *head* untuk mengatasi kerugian gesek ditambah *head* statis sistem. *Head* statis ini merupakan *head* potensial dari beda ketinggian permukaan dan beda tekanan statis pada kedua permukaan zat cair di tadah isap dan di tadah ke luar. Jika *head* sistem ini digambarkan dalam diagram *Head* terhadap Laju alir akan diperoleh kurva seperti Gambar 1.



Gambar 1. Diagram *Head* H terhadap Laju alir Q

Titik perpotongan antara kurva *head*-laju alir pompa dan *head*-sistem (titik A) merupakan titik kerja pompa dan sistem. Pada titik ini, *head* yang diperlukan oleh sistem sama dengan *head* yang dapat diberikan oleh pompa pada laju alir yang sama.

Laju alir yang dibutuhkan dalam suatu instalasi pompa tidak selalu tetap. Karena itu laju alir harus dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Salah satu cara pengaturan laju alir pada instalasi pompa yang sudah terpasang adalah dengan cara menghambat aliran yaitu dengan mengubah-ubah pembukaan katup.



Gambar 2. Kurva *head* H - Laju alir Q dari pompa dan sistem

Gambar 2 memperlihatkan kurva *head*-laju alir pompa dan sistem serta titik-titik kerjanya. Jika katup dibuka penuh maka sistem mempunyai kurva karakteristik S_0 . Apabila pembukaan katup semakin diperkecil maka kurva sistem akan berubah dari S_0 menjadi $S_1, S_2, S_3, S_4 \dots$. Titik operasi pompa juga akan berubah dari P_0 menjadi $P_1, P_2, P_3, P_4 \dots$. Dengan demikian laju alir akan berkurang dari Q_0 menjadi $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 \dots$

Pengaturan katup merupakan cara yang paling sederhana karena hanya menggunakan peralatan berupa katup. Namun pada pengaturan ini terjadi kerugian daya yang besar karena tahanan katup. Misalnya jika laju alir yang dibutuhkan adalah Q_2 maka tahanan katup harus dinaikkan hingga titik kerja pompa berubah dari P_0 menjadi

P_2 . Pada keadaan ini terjadi kerugian head sebesar $P_2 R_2$. Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa jika tahanan katup semakin diperbesar (untuk mendapatkan Q yang semakin kecil) maka kerugian *head* juga akan semakin besar.

Dalam eksperimen, biasanya head pompa (H) dihitung dengan mengukur tekanan aliran masuk dan tekanan aliran keluar pompa sebagai berikut :

$$H = \frac{P_k - P_m}{\rho} \text{ [m]} \quad (1)$$

dengan

P_k : Tekanan aliran ke luar pompa [kg/m^2]

P_m : Tekanan aliran masuk pompa [kg/m^2]

ρ : Massa jenis (densitas) air [kg/m^3], yang besarnya tergantung pada tekanan pompa (selisih tekanan aliran masuk dan ke luar), ditentukan menggunakan interpolasi linear pada tabel sifat termofisik air pada saat saturasi (*Thermophysical properties of saturated water*) [5]

Efisiensi pompa (η) adalah perbandingan antara daya pompa (P_p) terhadap daya motor listrik pompa (P_{MP}) :

$$\eta = \frac{P_p}{P_{MP}} \times 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

dengan :

$$P_p = \rho g Q H \text{ [W]} \quad (3)$$

$$P_{MP} = \sqrt{3} V I \cos \varphi \text{ [W]} \quad (4)$$

g : Percepatan gravitasi = $9,807 \text{ m/s}^2$

Q : Laju alir pompa [m^3/s]

V : Tegangan listrik motor pompa [V]

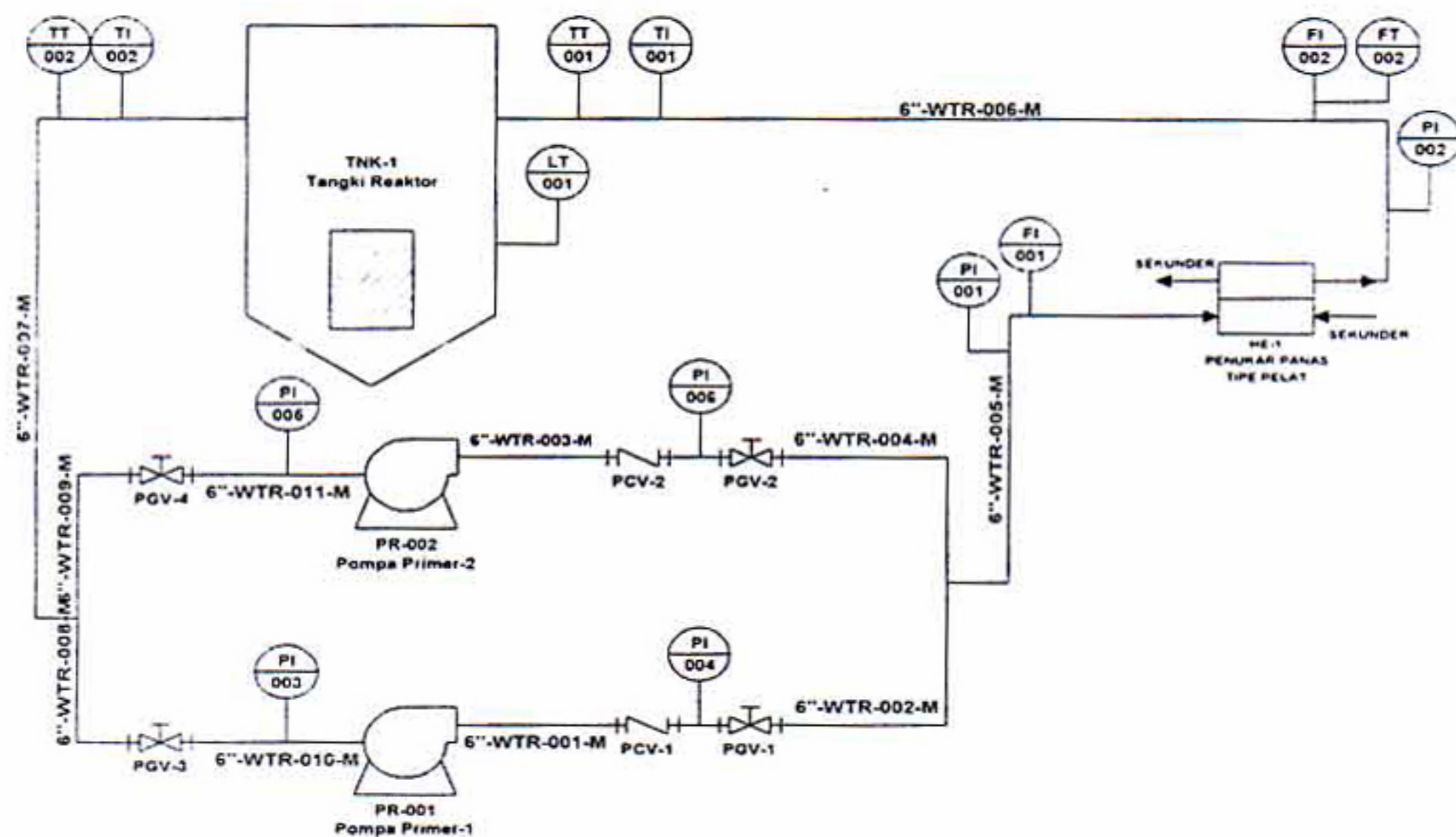
I : Arus listrik motor pompa [A]

$\cos \varphi$: Faktor daya motor pompa

CARA PENELITIAN

Untuk memperoleh karakteristik unjuk kerja pompa dilakukan percobaan operasi pompa primer di mana laju alirnya diubah-ubah (dengan cara mengatur besar kecilnya pembukaan katup), kemudian dicatat besar tekanan masuk (melalui alat ukur PI-003 dan PI-005) dan tekanan keluar pompa (melalui alat ukur PI-004 dan PI-006), besar laju alir (melalui alat ukur Digital Flowmeter FI-002), diukur dan dicatat juga tingkat kebisingan suara pompa (pada jarak sekitar 1,5 m dari pompa), serta arus dan tegangan listrik pada panel listrik kedua pompa sistem pendingin primer tersebut. Gambar 3 menunjukkan diagram pipa & instrumentasi (P & ID) dari sistem pendingin primer.

Menggunakan data percobaan yang diperoleh, dapat dihitung *head* dan efisiensi pompa primer serta dibuat kurva-kurva karakteristik pompa, kemudian ditentukan titik kerja pompa primer.



Gambar 3. Diagram Pipa & Instrumentasi (P&ID) Sistem Pendingin Primer Reaktor TRIGA 2000 Bandung

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menggunakan data hasil percobaan dan perhitungan yang ditunjukkan dalam Tabel 1 (Pompa primer timur, Pompa Primer-1 :PR-001) dan Tabel 2 (Pompa primer barat, Pompa Primer-2 : PR-002), dibuat kurva hubungan antara laju alir terhadap bukaan katup buang pompa, kurva hubungan antara laju alir terhadap *head* pompa dan efisiensi pompa, serta kurva hubungan antara laju alir terhadap tingkat kebisingan suara pompa untuk masing-masing pompa primer, seperti ditunjukkan dalam Gambar 4, 5, 6 (Pompa primer timur: PR-001) dan 7, 8 dan 9 (Pompa primer barat: PR-002).

Berdasarkan Tabel 1 dan 2 serta Gambar 4, 5, 6, 7, 8 dan 9 diperoleh :

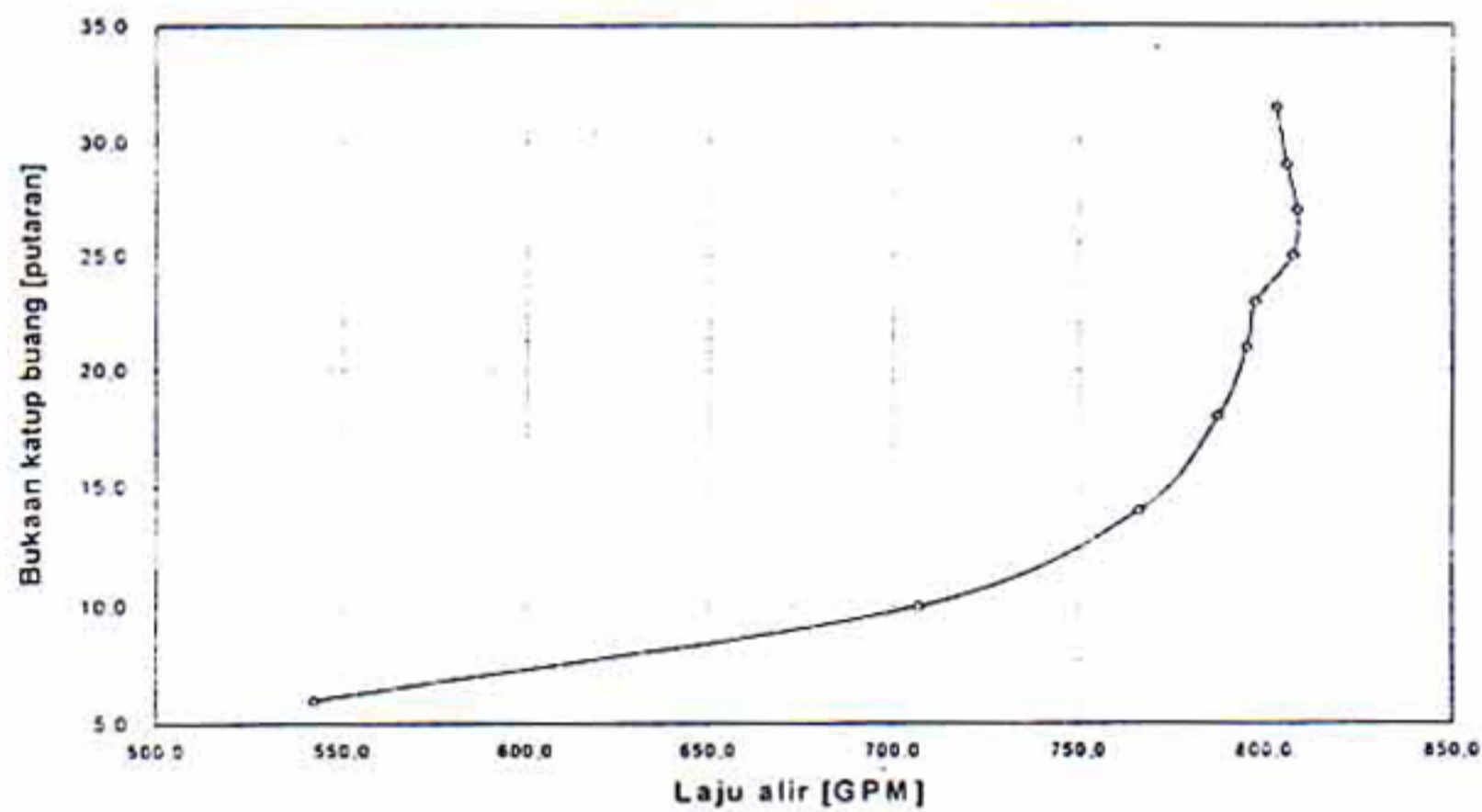
1. Pompa Primer Timur (PR-001) : Lihat Tabel 1 serta Gambar 4, 5, dan 6.
 - a. Laju alir maksimum sebesar 800 GPM (angka penunjukan pada Digital Flowmeter FI-002 tidak menunjuk satu harga tetap, tetapi berosilasi sekitar 790 s/d 810 GPM) diperoleh untuk bukaan katup buang 21 putaran, sedang head pompa 11,76 m dan efisiensi pompa 45,62 % serta tingkat kebisingan suara pompa 68 dB.
 - b. Merujuk hasil perhitungan teoritis sistem pendingin primer ^[1], laju alir air pendingin yang dibutuhkan oleh sistem pendingin primer adalah $0,0482 \text{ m}^3/\text{s} = 763.97 \text{ GPM} (\approx 770 \text{ GPM})$, sedangkan head yang dibutuhkan oleh sistem pendingin primer adalah $10,5 \text{ m}^{[6]}$, dan harga batas tingkat kebisingan suara pompa yang diperbolehkan adalah 85 db.
 - c. Menggunakan data percobaan dan berbagai persyaratan yang harus dipenuhi (butir 1a dan 1b) dapat dicari titik kerja optimum operasi dari pompa primer timur (PR-001) sebagai berikut :

Pada bukaan katup buang 18 putaran menghasilkan :

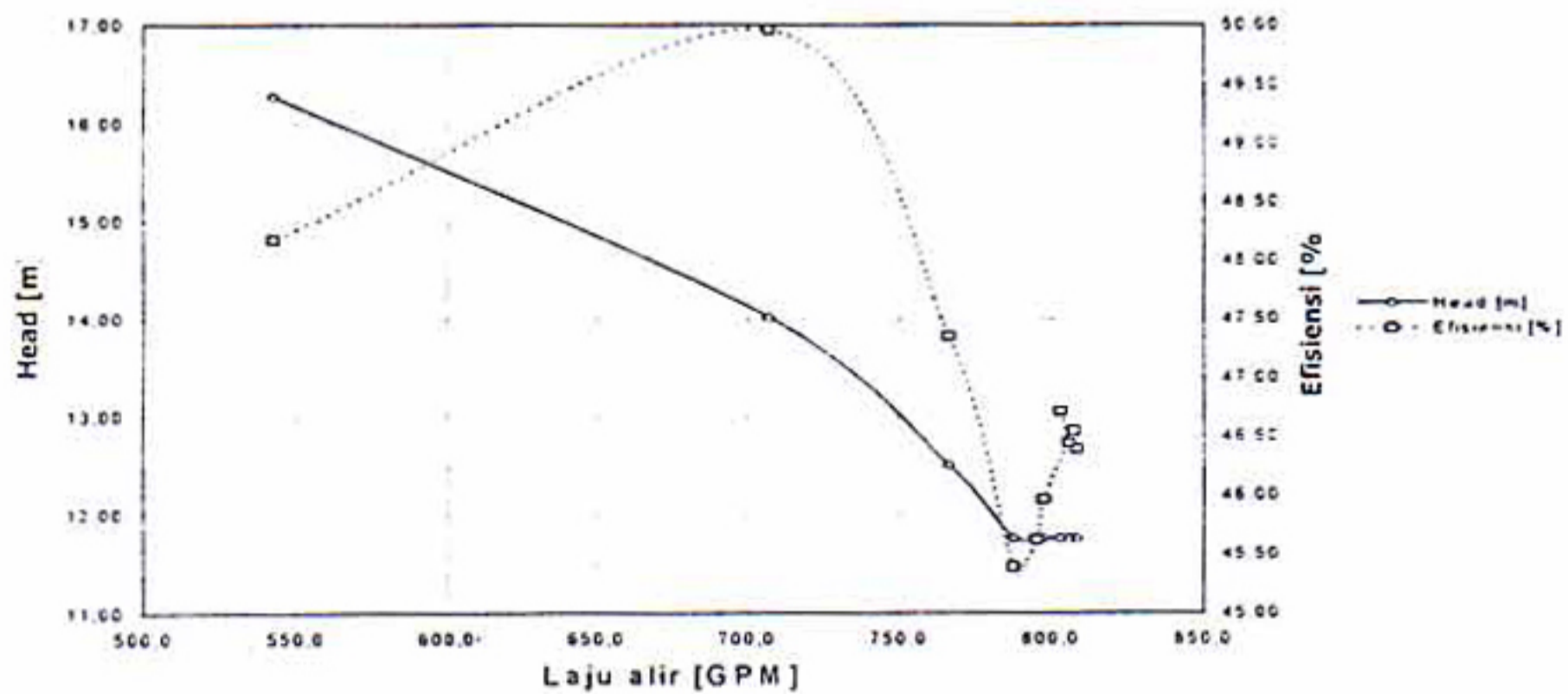
- dari Gambar 4 diperoleh laju alir sekitar 780 GPM ($> 770 \text{ GPM}$),

- dari Gambar 5 (untuk laju alir 780 GPM) diperoleh head pompa 11,8 m ($> 10,5$ m) dan efisiensi pompa 45,4 %,
- dari Gambar 6 (untuk laju alir 780 GPM) diperoleh tingkat kebisingan suara pompa sekitar 68 dB (< 85 dB).

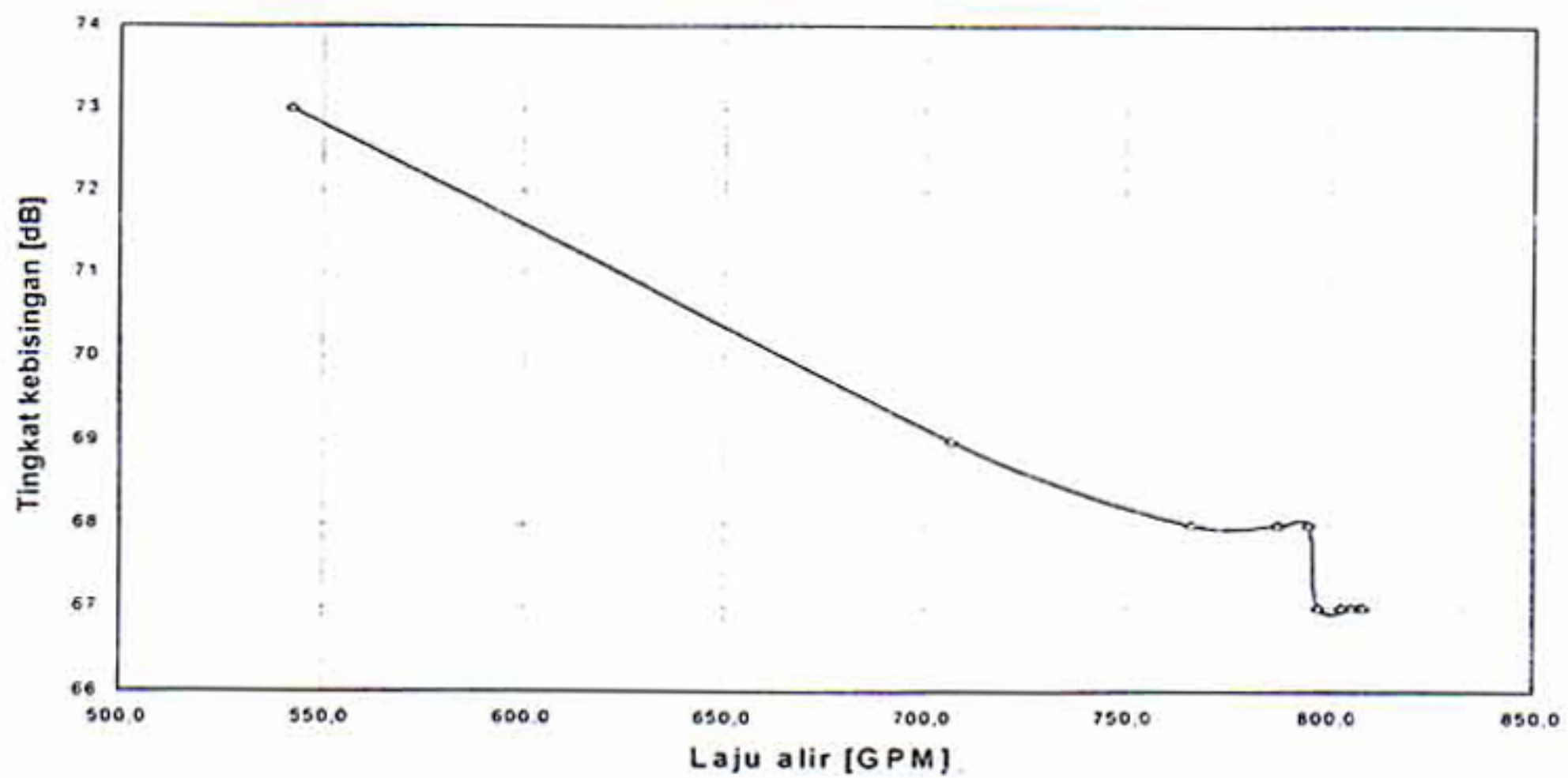
Jadi titik kerja optimum operasi pompa primer timur (PR-001) adalah pada bukaan katup buang 18 putaran sehingga diperoleh laju alir sekitar 780 GPM, head pompa 11,8 m dan efisiensi sekitar 45,4 % serta tingkat kebisingan suara pompa 68 dB.



Gambar 4. Kurva hubungan antara laju alir terhadap bukaan katup buang pompa primer timur (PR-001)



Gambar 5. Kurva hubungan antara laju alir terhadap head dan efisiensi pompa primer timur (PR-001)



Gambar 6. Kurva hubungan antara laju alir terhadap tingkat kebisingan pompa primer timur (PR-001)

Tabel 1. Hasil percobaan Pompa Primer Timur (PR-001)

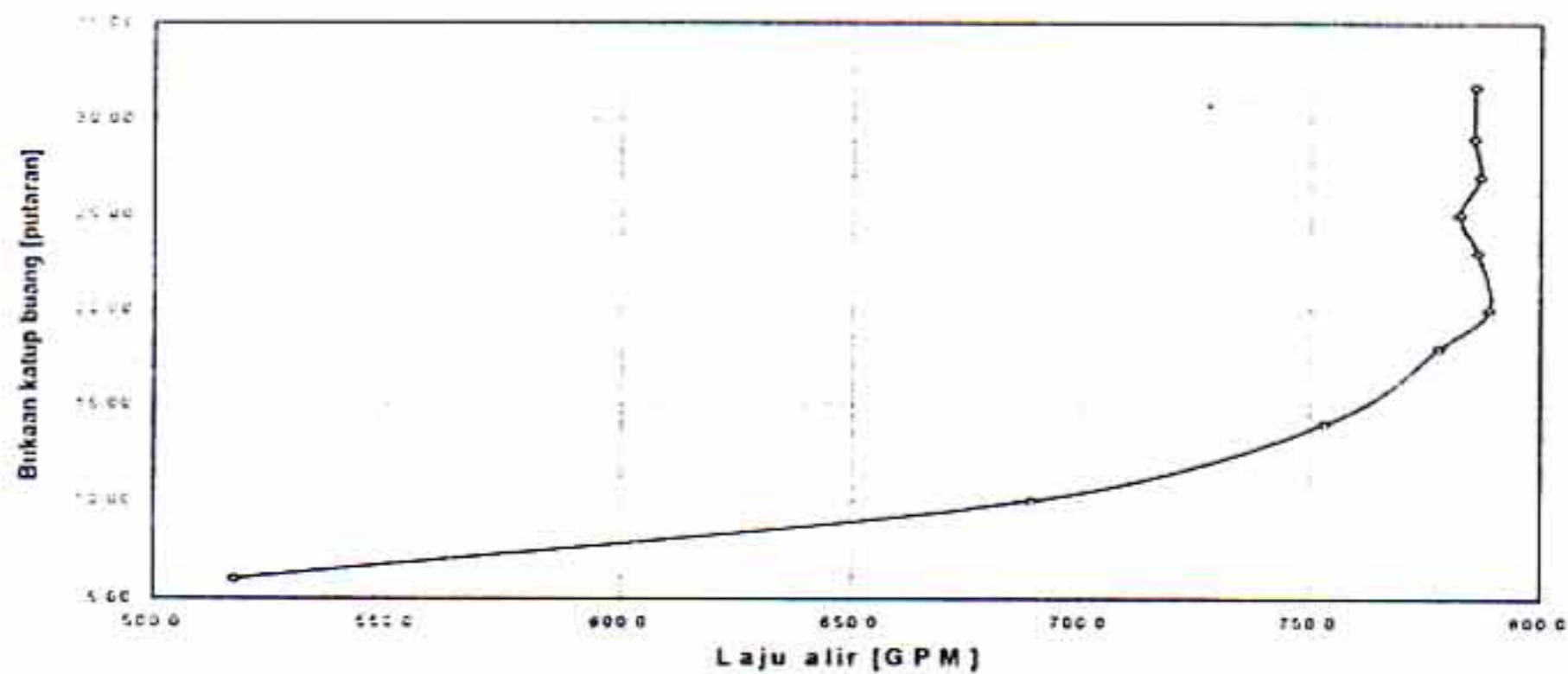
No	Bukaan Katup Buang [putaran]	Kebisingan Pompa [dB]	Laju Alir [GPM]	Tekanan Aliran		Head Pompa [m]	Daya Pompa [kW]	Arus Listrik Motor [A]	Tegangan Listrik Motor [V]	Daya Motor Listrik [kW]	Efisiensi [%]
				Masuk [psi]	Keluar [psi]						
1	6	73	542,3	12,0	34,0	16,28	5,19	19,8	383	10,77	48,18
2	10	69	707,0	10,0	29,0	14,02	5,84	21,5	383	11,70	49,96
3	14	68	766,3	9,0	26,0	12,51	5,67	22,0	383	11,97	47,35
4	18	68	787,6	9,0	25,0	11,76	5,48	22,2	383	12,08	45,39
5	21	68	795,2	9,0	25,0	11,76	5,53	22,3	383	12,13	45,62
6	23	67	797,5	9,0	25,0	11,76	5,55	22,2	383	12,08	45,96
7	25	67	807,5	9,0	25,0	11,76	5,62	22,2	383	12,08	46,54
8	27	67	808,6	9,0	25,0	11,76	5,63	22,3	383	12,13	46,39
9	29	67	805,8	9,0	25,0	11,76	5,61	22,2	383	12,08	46,44
10	31,5 (Katup buang terbuka penuh)	67	803,2	9,0	25,0	11,76	5,59	22,0	383	11,97	46,71

Pada saat Pompa Primer belum dioperasikan dan Pompa sekunder sudah dioperasikan, pada jarak 1,5 m sebelah timur pompa primer, tingkat kebisingan suara pompa terukur sebesar 63 db.

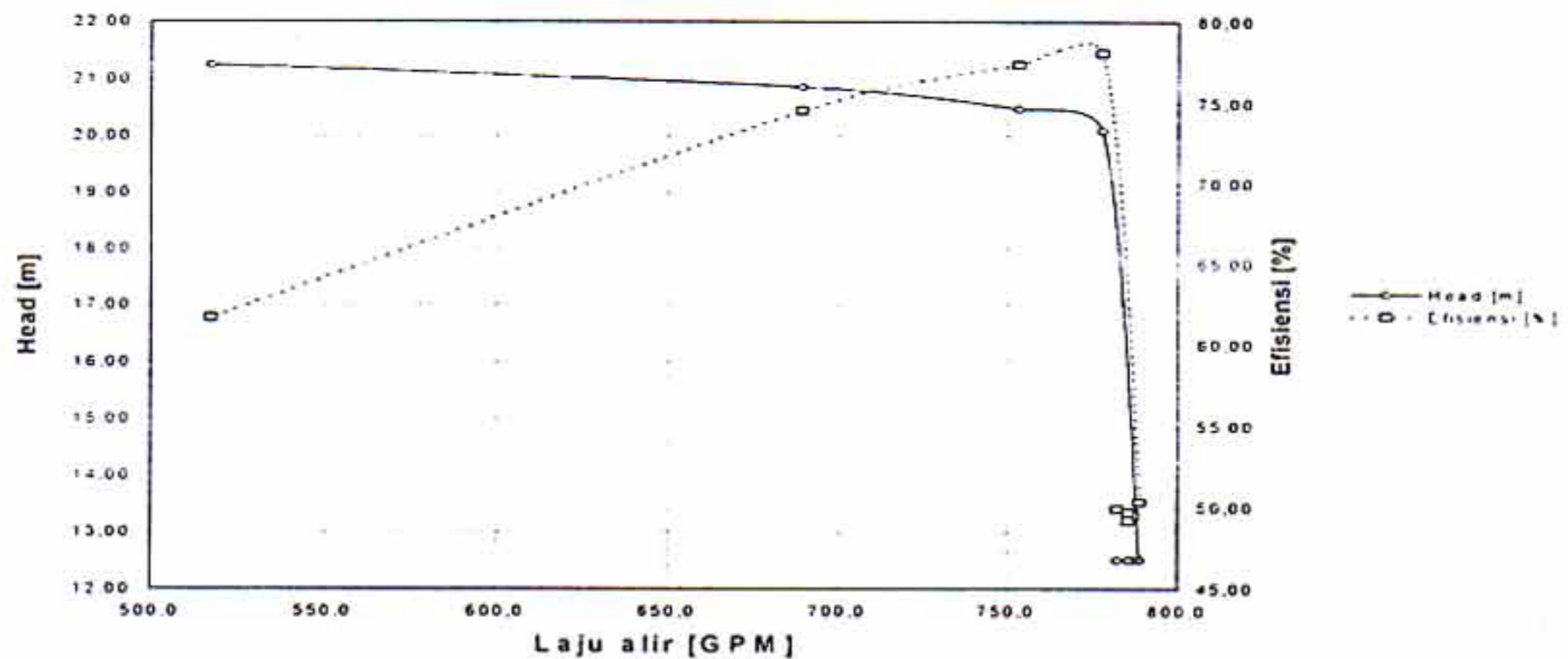
2. Pompa Primer Barat (PR-002) : Lihat Tabel 2 serta Gambar 7, 8 dan 9.
 - a. Laju alir maksimum sebesar 789 GPM (angka penunjukan pada Digital Flowmeter FI-002 tidak menunjuk satu harga tetap, tetapi berosilasi sekitar 780 s/d 790 GPM) diperoleh untuk bukaan katup buang 20 putaran, sedang head pompa = 12,5 m dan efisiensi pompa 49 %.
 - b. Merujuk hasil perancangan sistem pendingin primer [1] seperti tercantum dalam butir 1b di atas (pompa primer timur), laju alir air pendingin yang dibutuhkan oleh sistem pendingin primer adalah 770 GPM, sedangkan head yang dibutuhkan oleh sistem pendingin primer adalah 10,5 m^[6], dan harga batas tingkat kebisingan suara pompa yang diperbolehkan adalah ≤ 85 db.
 - c. Menggunakan data percobaan dan berbagai persyaratan yang harus dipenuhi (butir 2a dan 2b) dapat dicari titik kerja optimum operasi dari pompa primer barat (PR-002) sebagai berikut :
 - 1) Pada bukaan katup buang 20 putaran menghasilkan :
 - dari Gambar 7 diperoleh laju alir 789 GPM (> 770 GPM),
 - dari Gambar 8 (untuk laju alir 789 GPM) diperoleh head pompa 12,5 m ($> 10,5$ m) dan efisiensi pompa 50,3 %,
 - dari Gambar 9 (untuk laju alir 789 GPM) diperoleh tingkat kebisingan suara pompa sekitar 68 dB (< 85 dB).
 - 2) Pada bukaan katup buang 23 putaran menghasilkan :
 - dari Gambar 7 diperoleh laju alir 786 GPM (> 770 GPM),
 - dari Gambar 8 (untuk laju alir 786 GPM) diperoleh head pompa tetap 12,5 m ($> 10,5$ m) tetapi efisiensi pompa turun menjadi 49,5 %,

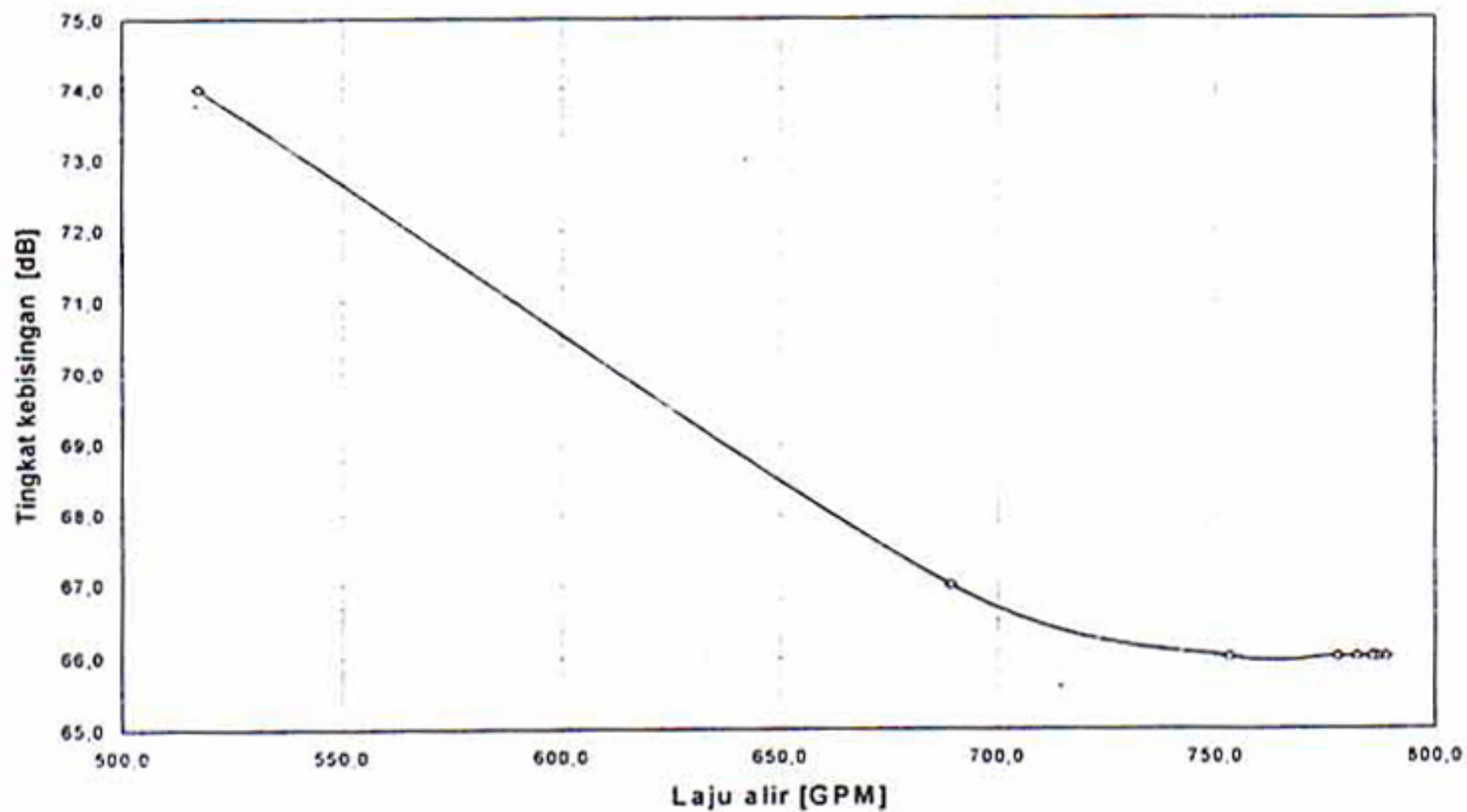
dari Gambar 9 (untuk laju alir 786 GPM) diperoleh tingkat kebisingan suara pompa tetap 66 dB (< 85 dB).

Jadi titik kerja optimum operasi dari pompa primer barat (PR-002) adalah pada bukaan katup buang 20 putaran sehingga diperoleh laju alir sekitar 789 GPM, head pompa 12,5 m dan efisiensi sekitar 50,3 %, serta tingkat kebisingan suara pompa barat 66 dB.



Gambar 7. Kurva hubungan antara laju alir terhadap bukaan





Gambar 9. Kurva hubungan antara laju alir terhadap tingkat tingkat kebisingan pompa primer barat (PR-002)

3. Sebetulnya tingkat kebisingan suara pompa yang terdengar pada jarak 1,5 m sebelah timur pompa primer adalah lebih banyak disebabkan dari tingkat kebisingan suara pompa sekunder. Pada saat pompa primer belum dioperasikan dan pompa sekunder sudah dioperasikan, maka di tempat tersebut tingkat kebisingan suara pompa terukur sebesar 63 db. Berarti bahwa pada bukaan katup buang 6 putaran, tingkat kebisingan suara pompa primer timur adalah $73 - 63 = 10$ dB (dari Tabel 1) dan tingkat kebisingan suara pompa primer barat adalah $74 - 63 = 11$ dB (dari Tabel 2). Meskipun demikian, pada saat operasi reaktor TRIGA 2000 pompa primer dan pompa sekunder harus dioperasikan bersama-sama (masing-masing satu pompa saja yang dioperasikan), maka yang diperhatikan adalah tingkat kebisingan suara pompa pada saat itu.

Tabel 2. Hasil percobaan Pompa Primer Barat (PS-002)

No	Bukaan Katup Buang [putaran]	Kebisingan Pompa [dB]	Laju Alir [GPM]	Tekanan Aliran		Head Pompa [m]	Daya Pompa [kW]	Arus Listrik Motor [A]	Tegangan Listrik Motor [V]	Daya Motor Listrik [kW]	Efisiensi [%]
				Masuk [psi]	Keluar [psi]						
1	6	74	517,4	11,0	39,5	21,25	6,41	19,1	383	10,39	
2	10	67	689,3	9,5	37,5	20,86	8,40	20,7	383	11,26	
3	14	66	753,3	8,5	36,0	20,48	9,01	21,4	383	11,64	
4	18	66	777,9	8,0	35,0	20,10	9,14	21,5	383	11,70	
5	20	66	788,9	8,0	25,0	12,51	5,83	21,3	383	11,59	
6	23	66	786,4	8,0	25,0	12,51	5,82	21,6	383	11,75	
7	25	66	782,4	8,0	25,0	12,51	5,79	21,3	383	11,59	
8	27	66	786,9	8,0	25,0	12,51	5,82	21,6	383	11,75	
9	29	66	785,7	8,0	25,0	12,51	5,81	21,7	383	11,80	
10	31,75 (Katup buang terbuka penuh)	66	785,8	8,0	25,0	12,51	5,81	21,5	383	11,70	

Pada saat Pompa Primer belum dioperasikan dan Pompa sekunder sudah dioperasikan, pada jarak 1,5 m sebelah timur pompa primer, tingkat kebisingan suara pompa terukur sebesar 63 db.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis kedua pompa sistem pendingin primer di atas, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Unjuk kerja kedua pompa primer dapat memenuhi kebutuhan sistem pendingin primer (laju alir > 770 GPM dan head > 10,5 m).
2. Titik kerja operasi yang optimal untuk kedua pompa sistem pendingin primer adalah sebagai berikut :
 - a. Pompa primer timur (PR-001) : Katup buang dibuka sekitar 18 putaran (dari kedudukan tertutup penuh) sehingga diperoleh laju alir 780 GPM, head pompa 11,8 m dan efisiensi pompa 45,4 % serta tingkat kebisingan suara

- pompa 68 dB.
- b. Pompa primer barat (PR-002) : Katup buang dibuka sekitar 20 putaran (dari kedudukan tertutup penuh) sehingga diperoleh laju alir 789 GPM, head pompa 12,5 m dan efisiensi pompa 50,3 % serta tingkat kebisingan suara pompa barat 66 dB.
3. Diharapkan titik kerja operasi yang optimal ini dipakai sebagai acuan dalam pengoperasian kedua pompa sistem pendingin primer pada saat operasi reaktor.
 4. Karakterisasi unjuk kerja kedua pompa primer ini disarankan untuk diuji kembali satu tahun sekali dan juga alat-alat ukur perlu dikalibrasi ulang. Akan lebih baik jika diusahakan penyediaan 4 (empat) buah alat ukur tekanan (*pressure gauge*, SS) pada masukan dan keluaran masing-masing pompa primer, karena alat ukur tekanan yang dipakai untuk eksperimen ini (PI-003, PI-005, PI-004 dan PI-006 pada Gambar 3) dipinjam dari alat ukur tekanan yang dipasang pada PI-001 dan PI-002).

PERNYATAAN TERIMA KASIH

Atas terlaksananya penelitian ini, kami ucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Rekan-rekan Sub Bidang Fisika dan Teknologi Reaktor,
2. Rekan-rekan Sub Bidang Operasi dan Penggunaan Reaktor,
3. Rekan-rekan Kelompok Mekanik/Elektromekanik dan Kelompok Las dan Gelas, Bidang ITAR,
4. Sdr. Drs. Suhulman (Staf Sub Bidang Proteksi Radiasi dan Keselamatan Kerja).