

**TINJAUAN TEKANAN NETTO POSITIF
SISI HISAP YANG TERSEDIA (NPSH_A) TERHADAP OPERASI PARALEL
POMPA JE01 AP01 DAN JE01 AP02 PADA DAYA REAKTOR 15 MW**

Sudiyono, dan Suhadi

ABSTRAK

TINJAUAN TEKANAN NETO POSITIF SISI HISAP YANG TERSEDIA (NPSH_A) TERHADAP OPERASI PARALEL POMPA JE01 AP01 DAN JE01 AP02 PADA DAYA REAKTOR 15 MW. Tinjauan NPSH terhadap operasi paralel pompa JE01 AP01 dan JE01 AP02 pada daya reaktor 15 MW dilakukan untuk mengetahui adanya gangguan kavitasi terhadap pompa pendingin primer pada saat pompa tersebut beroperasi, dilakukan dengan cara mengevaluasi tekanan sisi hisap pompa. Pompa primer didesain dengan tekanan netto sisi masuk pompa yang diperlukan (NPSH_R) adalah 7,5 m. Dengan batasan ini untuk operasi reaktor 15 MW selama 14 hari tekanan sisi masuk pompa memenuhi dan melebihi harga NPSH_R yaitu 8,471 m. Untuk operasi terus-menerus pada daya 15 MW, pompa JE01 AP01 akan mati pada hari ke 21. Tidak terjadi gangguan kavitasi pada pompa JE01 AP01 dan JE01 AP02.

ABSTRACT

REVIEW OF NETTO POSITIVE SUCTION HEAD AVAILABLE (NPSH_A) OF JE01 AP01 AND JE01 AP02 AT REACTOR POWER 15 MW . It has been reviewed to netto positive suction head available (NPSH_A) to detect existence of cavitation disturbance to primary cooling pump in operation inlet pressure of pump. Primary pump is designed by netto positive suction head requirement (NPSH_R) is 7,5 m. By this limit, it fulfill and ourpass the NPSH_R value namely 8,471 m for operating reactor is 15 MW for 14 days. For operating continuously is 15 MW, the primary cooling pump JE01 AP01 will shut down at day 21st. No cavitation disturbance at JE01 AP01 and JE01 AP02.

I. PENDAHULUAN

Pusat Pengembangan Teknologi Reaktor Riset (P2TRR) adalah salah satu lembaga penelitian dan pengembangan di bawah Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang mempunyai tugas utama mengoperasikan reaktor nuklir dengan aman dan selamat.

Keselamatan operasi reaktor nuklir sangat bergantung kepada keandalan sistem dan komponen-komponen pendukungnya, diantara subsistem pendukung utama operasi reaktor adalah sistem pendingin yang berfungsi untuk membuang panas yang terjadi di teras reaktor. Sistem pendingin reaktor terdiri dari sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder yang didesain mampu membuang panas teras reaktor sebesar 33.000 kW¹). Sistem pendingin primer berfungsi untuk mengambil panas yang terjadi di teras reaktor dan memindahkannya ke sistem pendingin sekunder melalui alat penukar panas (*heat exchanger*). Sistem pendingin sekunder mengambil panas dari alat penukar kalor kemudian melepaskannya ke lingkungan melalui 6 buah menara pendingin yang masing-masing mempunyai kemampuan membuang panas sebesar 5.500 kW. Sistem pendingin primer merupakan suatu aliran pemipaan tertutup dengan air bebas mineral sebagai fluida kerjanya, sedangkan sistem pendingin sekunder menggunakan air hasil pengolahan fasilitas setempat, di Pusat Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK).

Operasi pompa pendingin primer pada waktu yang cukup lama menunjukkan adanya gejala penurunan tekanan sisi isap pompa. Sejauh mana penurunan tekanan sisi isap pompa ini mengganggu kinerja pompa akan dibahas disini. Tinjauan unjuk kerja pompa meliputi evaluasi tekanan netto positif sisi hisap yang tersedia ($NPSH_A$: *Net Positive Suction Head Available*) yang merupakan besaran untuk mengamati terjadinya gangguan kavitasi pada pompa.

II. DASAR TEORI

II.1. Prinsip kerja pompa sentrifugal

Pompa sentrifugal mempunyai sebuah impeler (baling-baling) yang berguna untuk mengalirkan zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi. Daya dari luar diberikan kepada poros untuk memutar impeler di dalam zat cair, maka zat cair yang ada di dalam impeler akan ikut berputar oleh dorongan sudu-sudu yang ikut berputar. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah impeler keluar melalui saluran diantara sudu-sudu. *Head* tekanan zat cair menjadi lebih tinggi, demikian pula *head* kecepatannya bertambah besar karena zat cair mengalami percepatan. Zat cair yang keluar dari impeler ditampung saluran berbentuk *volute* (spiral) di sekeliling impeler dan disalurkan keluar pompa melalui nosel. Di dalam nosel ini sebagian *head* kecepatan aliran diubah menjadi *head* tekanan. Dalam hal ini terlihat bahwa impeler berfungsi memberikan kerja kepada zat cair, sehingga energi yang dikandungnya menjadi bertambah besar. Selisih energi per satuan berat atau head total zat cair antara flens hisap dan flens keluar pompa disebut *head* total pompa.³⁾ Dari uraian di atas jelas bahwa pompa sentrifugal dapat mengubah energi mekanik dalam bentuk kerja poros menjadi energi fluida. Energi inilah yang mengakibatkan pertambahan *head* tekanan, *head* kecepatan dan *head* potensial pada zat cair yang mengalir secara kontinyu.

II.2. Kavitasasi

Salah satu hal yang bisa menyebabkan menurunnya unjuk kerja pompa adalah terjadinya kavitasasi pada pompa. Kavitasasi adalah gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir karena tekanannya berkurang sampai dibawah tekanan uap jenuhnya. Misalnya air pada tekanan atmosfer akan mendidih dan menjadi uap jenuh pada temperatur 100 °C, jika tekanannya direndahkan maka air akan mendidih pada temperatur yang lebih rendah. Jika tekanannya cukup rendah maka pada temperatur kamar pun air dapat mendidih.

Apabila zat cair mendidih maka akan timbul gelembung-gelembung uap zat cair. Hal ini dapat terjadi pada zat cair yang sedang mengalir di dalam pompa maupun di dalam pipa. Tempat-tempat yang bertekanan rendah dan/atau yang berkecepatan

tinggi di dalam aliran sangat rawan terhadap terjadinya kavitasi. Pada pompa, bagian yang mudah mengalami kavitasi adalah sisi hisapnya. Kavitasi akan timbul bila tekanan hisapnya terlalu rendah.

Jika pompa mengalami kavitasi maka akan timbul suara berisik dan getaran. Selain itu unjuk kerja pompa akan menurun secara tiba-tiba, sehingga pompa tidak bisa bekerja dengan baik. Jika pompa dijalankan dalam keadaan kavitasi secara terus menerus dalam jangka lama, maka permukaan dinding saluran di sekitar aliran yang terkena kavitasi akan mengalami kerusakan, permukaan dinding akan menjadi berlubang-lubang atau bopeng. Peristiwa ini disebut erosi kavitasi sebagai akibat dari tumbukan gelembung-gelembung uap yang pecah pada dinding secara terus-menerus. Karena kavitasi sangat merugikan, yaitu mengakibatkan turunnya unjuk kerja, timbulnya suara dan getaran, serta rusaknya pompa, maka gejala ini harus dihindari.

Untuk menghindari terjadinya kavitasi harus diusahakan agar tidak ada satu bagianpun dari aliran di dalam pompa yang mempunyai tekanan statis lebih rendah dari tekanan uap jenuh cairan pada temperatur yang bersangkutan. Dalam hal ini perlu diperhatikan dua macam tekanan yang memegang peranan, yaitu tekanan yang ditentukan kondisi lingkungan dimana pompa dipasang, disebut tekanan positif sisi hisap yang tersedia ($NPSH_A$: *Net Positive Suction Head Available*), dan tekanan yang ditentukan oleh keadaan aliran di dalam pompa disebut tekanan positif sisi hisap yang diperlukan ($NPSH_R$: *Net Positive Suction Head Required*).

Beberapa pertimbangan yang perlu dilakukan dalam desain dan pemilihan pompa sentrifugal adalah: efisiensi pompa tinggi dengan kondisi tekanan positif neto sisi hisap yang diperlukan ($NPSH_R$: *Net Positive Suction Head Required*) kecil, keandalan tinggi, rentang kapasitas operasi cukup lebar dan harga rendah.

$NPSH_A$ adalah *head* yang dimiliki zat cair pada sisi hisap pompa (ekivalen dengan tekanan mutlak pada sisi hisap pompa), dikurangi dengan tekanan uap jenuh zat cair di tempat tersebut. Besarnya tergantung kondisi luar dimana pompa dipasang. Dalam hal pompa menghisap zat cair dari tempat terbuka maka besarnya $NPSH_A$ dapat ditulis sebagai berikut:³⁾

$$\text{NPSH}_A = h_{\text{sms}} + P_{\text{atm}} - h_{\text{tuj}} \quad (\text{m}) \quad \leftarrow 1 \text{ atm} = 10,34 \text{ m kolom air}$$

$$h_{\text{tuj}} = \frac{P_{\text{uj}}}{\rho g}$$

$$\begin{aligned} \text{Head sisi masuk statis } h_{\text{sms}} &= \frac{P}{\gamma} \\ &= \frac{P}{\rho \cdot g} \end{aligned}$$

$$\text{NPSH}_A = \frac{P}{\rho \cdot g} + 10,34 - \frac{P_{\text{uj}}}{\rho g} \quad (\text{m})$$

dimana P = tekanan masuk pompa (N/m^2)

P_{uj} = Tekanan uap jenuh (N/m^2)

g = gravitasi (m/s^2)

ρ = Rapat masa (kg/m^3)

Sedangkan harga NPSH_R biasanya diperoleh dari pabrik pompa yang bersangkutan. Namun untuk penaksiran secara kasar, NPSH_R dapat dihitung dari konstanta kavitasi σ seperti diuraikan di bawah ini. Jika *head* total pompa pada titik efisiensi maksimum dinyatakan sebagai H_N , dan NPSH_R untuk titik ini H_{svN} , maka σ didefinisikan sebagai:³⁾

$$\sigma = \frac{H_{\text{svN}}}{H_N}$$

Agar pompa dapat bekerja tanpa mengalami kavitasi, maka harus dipenuhi persyaratan NPSH_A lebih besar dari NPSH_R .

Pengamatan terhadap harga tekanan neto positif sisi masuk pompa (NPSH), memberikan gambaran unjuk kerja pompa terhadap gejala kavitasi.

3. DESKRIPSI SISTEM PENDINGIN PRIMER

Sistem pendingin reaktor terdiri dari sistem pendingin primer dan sekunder. Sistem pendingin primer berfungsi untuk memindahkan bahang yang timbul di teras reaktor pada saat operasi. Pengambilan bahang tersebut dilakukan dengan cara mengalirkan air pendingin lewat celah bahan bakar, bahang dipindahkan ke sistem pendingin sekunder melalui sistem penukar bahang dan akhirnya bahang tersebut dibuang ke atmosfer melalui menara pendingin. Sistem pendingin Reaktor GA. Siwabessy (RSG-GAS) didesain mampu memindahkan bahang 30 MW.

Kriteria keselamatan unjuk kerja sistem pendingin primer adalah:

- a) Mampu memindahkan bahang yang timbul di teras, artinya suhu bahan bakar akan selalu berada jauh dibawah titik leleh;
- b) Unjuk kerja mekanik mantap, tidak bergetar atau bervibrasi akibat aliran baik di teras maupun pada pemipaan.

Untuk memenuhi kriteria keselamatan ini, parameter operasi sistem harus ditentukan harga optimalnya dengan batas-batas toleransi keselamatan tertentu, dilengkapi dengan sistem keselamatan tertentu pula.

III.1. Komponen-komponen sistem pendingin primer

III.1.1. Tangki tunda (*delay chamber*)

Tangki tunda berbentuk kotak yang mempunyai volume 81 m³ dengan panjang 5950 mm, lebar 2480 mm dan tinggi 5500 mm. Tangki diperkuat dengan sirip-sirip pada seluruh sisinya dan pada sirip tersebut diikatkan angkur. Angkur-angkur ini ditahan pada beton hingga menutup sisi-sisi tangki kecuali pada sisi arah lebar terdapat lubang masukan air pendingin dengan parameter 700 mm dan pada sisi panjang tegak terdapat lubang keluaran air pendingin dengan diameter 800 mm, dan pada sisi panjang bagian atas terdapat lubang laluan orang (*man-hole*) dengan diameter 1000 mm yang sangat berfungsi pada saat pekerjaan pembuatan, perawatan maupun perbaikan tangki tersebut.

Sesuai dengan nama dan fungsinya di dalam tangki tunda itu terdapat plat-plat yang disusun sedemikian rupa sehingga diharapkan plat-plat itu mampu menunda aliran air pendingin yang lewat didalamnya dengan waktu penundaan itu maka Isotop N-16 (T

$t_{1/2} = 7$ detik) akan meluruh aktivitasnya hingga seperseratus (0,01) kali. Tangki tunda ini juga dilengkapi dengan saluran dan katup-katup untuk pembuangan udara yang letaknya di atas permukaan kolam penyimpanan bahan bakar.

III.1.2. Pompa sirkulasi

Sistem pendingin primer dilengkapi dengan tiga (3) buah pompa sirkulasi, dimana 2 pompa dalam keadaan beroperasi dan satu pompa dalam keadaan *stand-by*. Pompa-pompa itu bersama motor lainnya ditempatkan di lantai primer sel pada level – 0,0 m. Primer sel yang berlevel antara – 0,0 m sampai + 13 m didalamnya terdapat satu *plat-form* yang mempunyai level + 8,0 m, berfungsi untuk mengoperasikan katup-katup manual dalam rangka *venting, draining* (pengurasan), *filling* (pengisian/ penambahan) dan lain-lain terhadap perlengkapan-perlengkapan yang ada dalam primer sel. Disamping saluran atau katup-katup untuk *venting, draining, filling*, pompa-pompa juga dilengkapi dengan corong-corong untuk penambahan minyak pelumas jika suatu saat diperlukan.

Antara pompa-pompa dengan motor penggerak dipasangkan *fly-wheel* (roda gila). Roda ini berfungsi untuk mengatasi pendinginan pada saat terjadinya gangguan listrik yang setiap saat dapat terjadi. Apa bila listrik padam maka dengan gaya sisa yang dimiliki oleh roda gila tersebut, pompa masih bekerja atau berputar selama 90 detik dan pendinginan selanjutnya oleh sistem pendingin kolam yang dijalankan secara manual dengan suplai tenaga listrik dari diesel generator cadangan yang ada. Kemudian untuk mengamati putaran pompa, pada motor penggeraknya telah dipasangkan alat ukur putaran untuk perlindungan motor terhadap beban lebih, karena dalam hal ini motor penggerak itu adalah motor listrik maka di dalam belitan motor itu dipasangkan elemen thermis, motor listrik yang digunakan adalah motor listrik asynchron 3 phase dengan pengoperasian sistem starter otomatis.

Bahan-bahan untuk konstruksi pompa terutama yang selalu berhubungan langsung dengan air pendingin dibuat dari bahan *stainless steel* sehingga menjadi lebih tahan terhadap korosi maupun tegangan (pemuaihan atau penyusutan).

III.1.3. Pesawat penukar kalor (*Heat Exchanger*)

Pesawat ini tersusun atas tabung tegak diameter 1300 mm, panjang 9000 mm dengan di dalamnya terdapat ikatan pipa-pipa sebanyak 1632 digabung menjadi 2 bagian yang masing-masing untuk aliran naik dan turun. Air pendingin sekunder yang mengalir melalui dalam pipa-pipa dan air pendingin primer mengalir melalui *shel-shel*. Arah aliran primer dan sekunder adalah berlawanan. Di dalam tabung tegak tersebut juga dipasang kisi-kisi sebagai rangka pipa-pipa (ikatan pipa-pipa) yang ada di dalamnya, sehingga getaran yang terjadi akibat ada aliran air pendingin dapat teredam dengan baik.

Pesawat penukar bahang ini dilengkapi juga dengan saluran dan katup-katup untuk pembuangan udara (*venting*) dan pengurasan (*draining*), baik pada bagian primer maupun bagian sekunder. Tabung tegak pipa-pipa yang ada di dalamnya dibuat dari bahan *stainless steel*.

Perawatan pesawat penukar bahang antara lain pembersihan permukaan dalam dari pipa-pipa dalam pesawat tersebut, karena di dalam pipa-pipa itu senantiasa bersinggungan dengan air pendingin sekunder yang secara langsung berhubungan dengan udara dan endapan-endapan lebih besar, karena itulah setiap periode tertentu pencucian/pembersihan tersebut dilakukan. Dan hal ini dilaksanakan bersamaan dengan operasi sistem pendingin sekunder. Pekerjaan ini dilaksanakan dengan memompakan benda-benda berbentuk bola yang elastis ke dalam pesawat penukar bahang tersebut melalui suatu sistem yang telah tersedia pada sistem pendingin sekunder. Sedangkan air pendingin primer yang mengalir lewat *shell-shell* dalam tabung *Heat Exchanger* merupakan air yang telah dimurnikan oleh sistem purifikasi air kolam reaktor, sehingga dijamin pada *shel-shel* tersebut terbebas dari endapan ataupun kotoran-kotoran lainnya.

Tabel 1. Spesifikasi teknik pompa pendingin primer Reaktor Serba Guna
G.A. Siwabessy JE01 AP01, JE01 AP02 dan JE01 AP03

No.	Deskripsi	Satuan	Harga/keterangan
1	Tipe pompa	-	Sentrifugal, 1 tingkat
2	Fabrikasi	-	KSB

3	Diameter impeler	mm	90
4	Diameter pipa sisi masuk	mm	400
5	Diameter pipa sisi keluar	mm	400
6	Kapasitas aliran	m ³ /jam	1570
7	Head Total	m	25
8	NPSH _A	m	9
9	NPSH _R	m	7,5
10	Tipe motor	-	induksi
11	Daya motor	kWatt	160
12	Kecepatan putaran motor	rpm	1450
13	Tegangan	volt	380
14	Fase	-	3
15	Frekuensi	Hz	50
16	Faktor daya	-	0,846
17	Efisiensi motor	%	0,94305
18	Efisiensi pompa	%	84
19	Fluida kerja	-	Air bebas mineral
20	Temperatur operasi	°C	50
21	Temperatur desain	°C	60
22	Tekanan operasi	bar	6
23	Tekanan desain	bar	10
24	Massa jenis fluida kerja	kg/m ³	988

IV. TATA CARA PERCOBAAN

Pendingin primer, pada operasi normal menggunakan 2 pompa dan 1 pompa pada posisi *stand-by*. Oleh karena itu perhitungan NPSH_A harus dilakukan pada kondisi operasi normal tersebut. Pengamatan NPSH_A dilakukan dengan mengukur tekanan sisi hisap pompa primer yang sedang beroperasi untuk mendinginkan teras reaktor pada daya 15 MW. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur terpasang yang telah ada yaitu JE01 CP01 untuk mengukur tekanan sisi masuk pompa JE01 AP01 dan JE01 CP05 untuk mengukur tekanan sisi masuk pompa JE01 AP02.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk keperluan operasi rutin, pada tanggal 20 Oktober 2003 pompa primer JE01 AP01 dan JE01 AP02 dioperasikan.

Suhu masuk pompa = 42 °C. Pada suhu 42 °C dari tabel didapat massa jenis air = 991,47 kg/m³

Dan tekanan uap jenuh air = 8198 N/m²

$NPSH_A = h_{sms} + P_{atm} - h_{tuj}$ (m)

$$h_{tuj} = \frac{P_{uj}}{\rho g} = \frac{8198(N/m^2)}{(991,47 kg/m^3) \times 9,81(m/s^2)} = 0,84 \text{ m}$$

Head sisi masuk statis $h_{sms} = \frac{P}{\gamma}$

$$= \frac{P}{\rho \cdot g}$$

$$= \frac{10^5 p(N/m^2)}{991,47(kg/m^3) \cdot 9,81(m/s^2)}$$

$$= 10,2813 p$$

h_{sms} absolut = 10,2813.p + 10,34 (m) $\leftarrow atm = 10,34 \text{ m kolom air}$

$NPSH_A = 10,2813. p + 10,34 - 0,84$ (m)

= 10,2813.p + 9,50 (m)

dimana p = tekanan masuk pompa (bar)

Data perhitungan $NPSH_A$ untuk pompa JE01 AP01 dan JE01 AP02 ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 . Data $NPSH_A$ terhadap operasi paralel pompa JE01 AP01 dan JE01 AP02 pada daya reaktor 15 MW

No.	Tanggal	Waktu	JE01 AP 01			JE 01 AP 02		
			Kapasitas (m ³ /h)	Tekanan masuk pompa (bar)	$NPSH_A$	Kapasitas (m ³ /h)	Tekanan masuk pompa (bar)	$NPSH_A$
1.	30-10-2003	13.00	1600	0	9,50	1650	0,10	10,528
2.	31-10-2003	13.00	1600	0	9,50	1650	0,075	10,271
3.	01-11-2003	13.00	1600	-0,02	9,294	1650	0,075	10,271
4.	02-11-2003	13.00	1550	-0,02	9,294	1650	0,07	10,219
5.	03-11-2003	13.00	1550	-0,03	9,191	1650	0,07	10,219
6.	04-11-2003	13.00	1550	-0,04	9,088	1650	0,065	10,168
7.	05-11-2003	13.00	1550	-0,04	9,088	1650	0,065	10,168

8.	06-11-2003	13.00	1550	-0,05	8,985	1650	0,065	10,168
9.	07-11-2003	13.00	1550	-0,06	8,883	1650	0,065	10,168
10.	08-11-2003	13.00	1550	-0,07	8,780	1650	0,06	10,116
11.	09-11-2003	13.00	1550	-0,08	8,677	1650	0,06	10,116
12.	10-11-2003	13.00	1550	-0,08	8,677	1650	0,05	10,014
13.	11-11-2003	13.00	1550	-0,09	8,574	1650	0,05	10,014
14.	12-11-2003	13.00	1550	-0,10	8,471	1650	0,05	10,014

Persyaratan dalam desain pompa untuk harga tekanan neto sisi masuk yang diperlukan ($NPSH_R$) adalah 7,5 m. Dengan harga batas ini untuk operasi reaktor 15 MW selama 14 hari, batas tekanan sisi masuk pompa yang tersedia ($NPSH_A$) memenuhi dan melebihi harga $NPSH_R$ pompa primer yaitu 8,471 m. Disamping itu untuk keselamatan operasi pompa diberi batas pengamanan harga tekanan masuk pompa minimum sebesar -0,15 bar atau setara dengan $NPSH_A = 7,957$ m, dan pompa akan mati jika harga batas tersebut tercapai.

Dari data operasi pompa (Tabel 2.) harga $NPSH_A$ pompa JE01 AP01 pada awal operasi 9,5 m, dan turun terus sehingga pada hari ke 14 mencapai harga $NPSH_A = 8,471$ m. mengalami penurunan rata-rata sebesar 0,0735 m/hari. Berdasarkan hitungan ini dan dengan asumsi bahwa penurunan harga $NPSH_A$ linier terhadap waktu operasi, maka pompa JE01 AP01 akan mati pada operasi hari ke $(9,5-7,957) : 0,0735 = 21$, sedang untuk pompa JE01 AP02 pada awal operasi 10,528 m, dan turun terus sehingga pada hari ke 14 mencapai harga $NPSH_A = 10,014$ m angka ini masih jauh dari harga batas yang ditetapkan.

6. KESIMPULAN

- 1) Pompa tidak mengalami gangguan kavitasi hal ini ditunjukkan dengan hasil perhitungan harga $NPSH_A$ yang lebih besar dari harga $NPSH_R$.
- 2) Untuk operasi terus menerus pada daya 15 MW pompa JE01 AP01 akan mati pada hari ke 21.

7. DAFTAR PUSTAKA

- 1) ANONIM, *Analysis Safety Report Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy*, BATAN, Revisi 8, Jakarta 1999,
- 2) ANONIM, *Buku Induk Operasi Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy*, BATAN, Jakarta 2001,
- 3) SULARSO, TAHARA H., *Pompa dan Kompresor*, Pradnya Paramita, Jakarta 1985,
- 4) AUSTIN H. CHURCH, ZULKIFLI HARAHAHAP, *Pompa dan Blower Sentrifugal*, Erlangga, Jakarta 1990,
- 5) DICKEY D.S. HARG R.E. MC., *American Institute of Chemical Engineers Centrifugal Pump*, New York 1984,
- 6) B. BANDRIYANA, *Evaluasi karakteristik pompa primer RSG-GAS*, BATAN, Maret 2000.