

PERFORMA POMPA SEKUNDER PADA SISTEM PENDINGIN REAKTOR NUKLIR

Secondary Pump Performance in Nuclear Reactor Cooling System

Dwi Permana Anugrah^{1*}, Agus Nuramal¹, Angky Puspawan¹, Sabilul Falah²

1) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu
Jl. W.R. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu.

2) Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan, Badan Riset dan Inovasi Nasional Bandung
Jl. Tamansari No.71, Lb. Siliwangi, Coblong, Bandung, Jawa Barat.

*) Email : dwipermanaanugrah@gmail.com

ABSTRACT

Secondary pump in the reactor nuclear works move fluid in the reactor with take hot from system primary coolant and discard it to environment. For support safety reactor nuclear this need done study to performance pumps secondary being one system cooler reactor. Methodology study consists from studies literature, observation field, and data collection. Pump used as pump secondary to the system cooler Reactor nuclear This is centrifugal water pump with rate Genre volumetric 4500 liters/ minute with capacity adjustable water flow with characteristics heat exchanger. From the results calculation of data taken on three different dayshow mark increased efficiency due to rising mark WP. This matter proves that mark WP on pump system cooler secondary reactor nuclear influence mark efficiency from pump secondary used. For mark efficiency highest there at 11:00 with mark amounting to 18.288%.

Key words: *performance, secondary pump, cooling system, reactor nuclear.*

1. PENDAHULUAN

Operasi reaktor nuklir sebagian besar sangat bergantung pada pasokan bahan bakar dari USA, padahal saat ini pihak dari USA sebagai pemasok bahan bakar standar reaktor nuklir tidak memproduksi lagi bahan bakar reaktor tersebut. Sementara di sisi lain salah satu badan riset di Indonesia telah dapat membuat sendiri bahan bakar tipe pelat yang telah digunakan untuk Reaktor Serba Guna. Ini membuktikan adanya penguasaan teknologi bahan bakar di Indonesia. Agar reaktor nuklir dapat dioperasikan dalam jangka waktu yang lama dan tidak bergantung pada bahan bakar buatan USA, maka ada perencanaan untuk mengkonversi reaktor nuklir bahan bakar tipe silinder buatan ke bahan bakar tipe pelat yang bisa dibuat di Indonesia. Untuk itu telah dibentuk tim yang bertugas untuk mengkaji dan menganalisa kegiatan tersebut dari segi/aspek neutronik, termohidrolik, perisai radiasi, keselamatan, dan instrumentasi [1].

Terdapat beberapa komponen penting pada reaktor nuklir antara lain yaitu tangki reaktor, pompa primer dan pompa sekunder. Pompa sekunder yang berfungsi untuk menggerakkan fluida pada reaktor nuklir dengan mengambil panas yang dibawa oleh sistem pendingin primer lewat penukar panas (*heat exchanger*) dan dibuang ke lingkungan.

Oleh karena itu perlunya untuk mengetahui bagaimana performa pompa sekunder untuk menunjang keselamatan reaktor saat beroperasi. Dengan alasan itulah, penulis mengangkat topik tentang performa pompa sekunder pada sistem pendingin reaktor nuklir.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Kerja Reaktor

Reaktor nuklir pada dasarnya memiliki tiga komponen inti yaitu fuel bundle atau bahan bakar, control rod atau tangkai kontrol dan coolant atau cairan pendingin. Mayoritas reaktor nuklir menggunakan uranium sebagai bahan bakar sebagai pembangkit listrik. Uranium yang berasal dari pabrik pengolahan biasanya berbentuk silinder yang ukurannya setara dengan ruas jari orang dewasa. Satu silinder uranium ini memiliki energi potensial yang setara dengan 800kg batubara atau 560 liter minyak bumi. Silinder-silinder uranium ini nantinya akan disusun menjadi fuel bundle.

Fuel bundle inilah yang kemudian dimasukkan kedalam reaktor. Setelah reaktor terisi dengan fuel bundle, berikutnya memulai reaksi nuklir dengan menembakkan neutron melalui neutron generator. Setelah ditembakkan, neutron akan menabrak nukleus (inti atom uranium) yang mengakibatkan atom uranium tersebut menjadi tidak stabil. Atom uranium yang tidak stabil kemudian akan terbelah menjadi 2 atom yang lebih ringan. Terbelahnya nukleus atom disebut juga sebagai reaksi fisi. Selain menghasilkan dua atom yang lebih ringan reaksi fisi juga melepaskan 3 neutron bebas, energi panas serta radiasi alpha, gamma, beta. 3 neutron bebas yang dihasilkan dari reaksi awal, akan menabrak atom-atom uranium disekitarnya sehingga akhirnya terjadilah reaksi nuklir berantai atau yang sering disebut nuclear chain reaction.

2.2 Jenis-jenis Reaktor Nuklir

Reaktor nuklir adalah suatu alat untuk mengendalikan reaksi fisi berantai dan sekaligus menjaga kesinambungan reaksi itu. Reaktor nuklir ditetapkan sebagai "alat yang menggunakan materi nuklir sebagai bahan bakarnya". Materi fisi yang digunakan sebagai bahan bakar misalnya uranium, plutonium dan lain-lain. Untuk uranium digunakan uranium alam atau uranium diperkaya. Jadi secara umum reaktor nuklir adalah tempat berlangsungnya reaksi nuklir yang terkendali.

2.2.1 Reaktor Nuklir Berdasarkan Pendingin

Berdasarkan tipe reaksinya, reaktor nuklir dibedakan atas reaktor yang memanfaatkan reaksi fisi dan reaktor yang memanfaatkan reaksi fusi.

a. Reaktor Air Ringan (*Light Water Reactor*)

Light Water Reactor (LWR) adalah reaktor nuklir termal yang menggunakan air ringan (H_2O) sebagai moderator dan sekaligus berfungsi sebagai pendingin [2]. Yang dimaksud air ringan disini adalah H_2O dengan isotop hidrogen H-1. LWR merupakan tipe reaktor yang paling banyak digunakan di dunia. Reaktor tipe LWR yang paling populer selama ini adalah *Pressurized Water Reactor* (PWR) dan *Boiling Water Reactor* (BWR). Untuk reaktor PWR menggunakan *pressurizer* untuk mengatur tekanan pendingin primer agar tetap stabil.

b. Reaktor Air Berat (*Heavy Water Reactor*)

Reaktor tipe ini menggunakan air berat sebagai pendingin. Air berat yang dimaksud adalah D_2O , D adalah deuterium yang merupakan isotop hidrogen dengan nomor masa 2 (H-2). Pendingin air berat terjaga oleh tekanan, memungkinkan untuk dipanaskan sampai suhu yang lebih tinggi tanpa mendidih, seperti halnya PWR. Meskipun air berat secara signifikan lebih mahal daripada air ringan, tetapi pendingin air berat memiliki nilai keekonomisan neutron yang lebih tinggi, hal ini memungkinkan reaktor beroperasi tanpa pengayaan bahan bakar dan umumnya meningkatkan kemampuan reaktor agar secara efisien memanfaatkan siklus bahan bakar di dalamnya.

c. Reaktor Berpendingin Gas (*Gas Cooled Fast Reactor*)

Gas cooled fast reactor (GCFR) umumnya menggunakan pendingin helium, mempunyai spektrum cepat dan menggunakan perputaran bahan bakar tertutup. Seperti halnya reaktor dengan pendingin gas spektrum termal seperti GTMHR dan PBMR, temperatur outlet yang tinggi dari pendingin helium memungkinkan untuk menghasilkan listrik, hidrogen atau proses panas lain dengan efisiensi tinggi. Namun berbeda dengan reaktor termal, GFR tidak menggunakan grafit sebagai moderator. Massa termal dan konduktivitas termal lebih rendah dibandingkan dengan reaktor termal sehingga temperatur teras dapat naik mencapai 16000C/menit. Untuk mengeliminasi temperatur ekstrim maka diperlukan keramik carbide dan nitrit seperti SiC, ZrC, TiC, TiN dan ZrN sebagai material campuran penyusun bahan bakar [3].

d. Reaktor Berpendingin Logam Cair (*Liquid Metal Cooled Reactor*)

Reaktor Berpendingin Logam Cair merupakan tipe reaktor cepat, digunakan logam cair untuk menjaga agar neutron tetap berada pada spektrum neutron cepat. Meskipun pada saat ini ada reaktor berpendingin logam cair yang digunakan sebagai pembangkit listrik, sebagian besar contoh merupakan prototipe yang telah dibangun di seluruh dunia sebagai reaktor eksperimental. Contoh dari reaktor tipe ini antara lain adalah *Sodium Cooled Fast Reactor* (SCFR) dan *Lead Cooled Fast Reactor* (LCFR).

e. Reaktor Garam Cair (*Molten Salt Reactor*)

Molten Salt Reactor (MSR) merupakan reaktor fisi nuklir dimana pendingin primer, atau bahkan bahan bakar itu sendiri merupakan campuran garam cair. MSR dijalankan pada suhu yang lebih tinggi dari reaktor berpendingin air untuk efisiensi termodinamika yang lebih tinggi, namun tekanan uap rendah. Proyek penelitian MSR sudah dilakukan sejak tahun 60-an, Namun, untuk keperluan produksi listrik secara massal, desain MSR memiliki beberapa keuntungan, terutama berkaitan dengan dua isu utama yakni aspek keselamatan dan aspek ekonomi [4].

2.2.2 Reaktor Nuklir Berdasarkan Penggunaannya

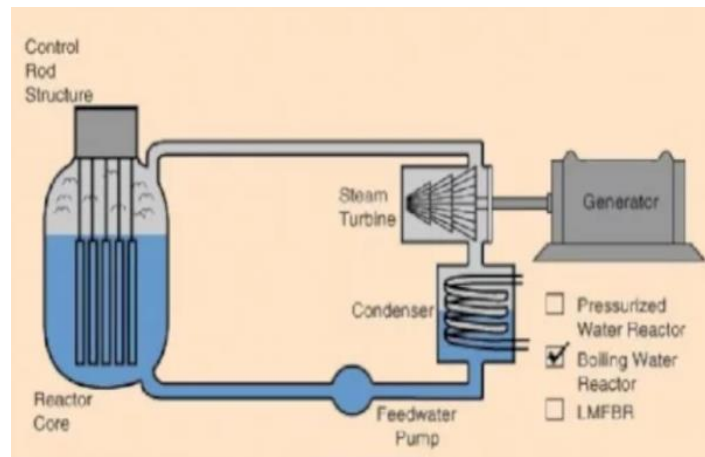
Berdasarkan penggunaannya, reaktor nuklir dibedakan menjadi :

a. Reaktor Riset

Sesuai dengan namanya, reaktor ini dipergunakan untuk kepentingan riset/penelitian. Selain itu, reaktor riset juga dipergunakan untuk memproduksi isotop-isotop radioaktif yang nantinya digunakan pada bidang kedokteran, material, pertanian, dan lain-lain. Reaktor riset ini diusahakan agar daya yang dihasilkan sekecil mungkin. Indonesia sendiri memiliki 3 buah reaktor riset.

b. Reaktor Daya

Reaktor daya merupakan reaktor nuklir yang digunakan untuk kepentingan komersial. Reaktor ini memanfaatkan energi hasil dari reaksi fisi untuk menguapkan air sehingga uap tersebut dapat memutar turbin, dan turbin akan memutar generator listrik. Skema reaktor daya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Transfer Energi Reaktor Nuklir Tipe BWR

2.3 Efisiensi Pompa

Pompa merupakan mesin yang bekerja dengan menggunakan energi luar. Energi listrik di ubah menjadi putaran poros pompa dimana impeler terpasang padanya. Perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya selalu tidak sempurna dan ketidaksempurnaan perubahan ini yang disebut dengan efisiensi. Unjuk kerja pompa biasanya dinyatakan oleh parameter :

Daya air (*water horse power, WP*) adalah energi yang secara efektif diterima pompa persatuan waktu yang dapat dinyatakan oleh : [5].

$$WP = Q \times \Delta P \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- WP = *Water power* / daya air (Watt)
- Q = Debit / laju air (m^3/s)
- ΔP = Perubahan tekanan (kg/m^2)

Daya mesin (output) atau daya efektif pompa adalah daya dihasilkan dari putaran rotor turbin [5].

$$BP = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- BP = *Brake power* / daya poros (Watt)
- V = Voltase (volt)
- I = Ampere (A)
- $\cos \phi = 0,99$

Efisiensi pompa, dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya air dengan daya pada poros [5].

$$\eta_{pump} = \frac{Wp}{Bp} 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

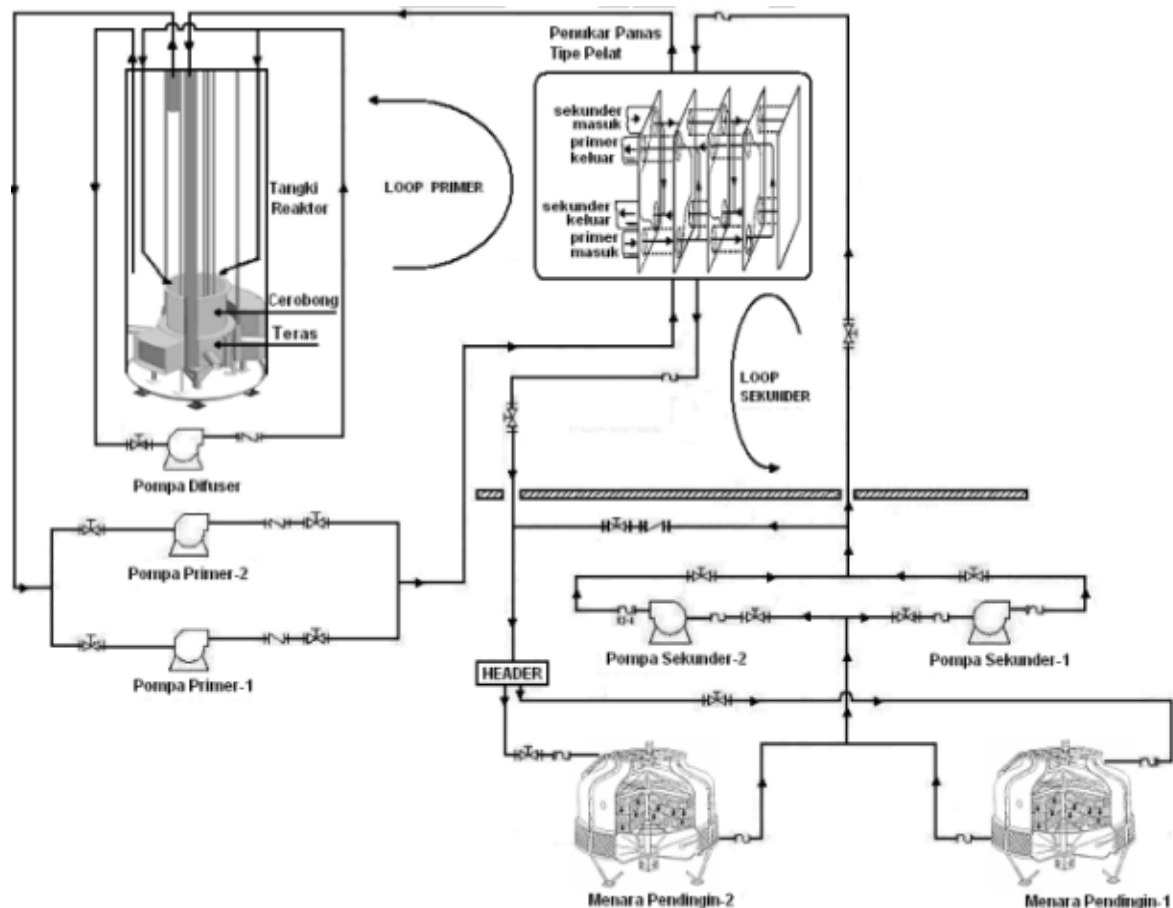
- BP = *Brake Power*/daya poros (Watt)
- WP = *Water Power*/daya air (Watt)
- η_{pump} = Efisiensi (%)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sistem Pendingin Reaktor Nuklir

Sebagian besar dari sistem pendingin reaktor nuklir ini berupa air. Air yang digunakan ini tidak hanya berfungsi untuk mendinginkan reaktor tapi juga berfungsi sebagai moderator yang mana untuk memperlambat atau mengurangi kecepatan neutron cepat sehingga mengubahnya menjadi neutron *thermal* yang dapat mendukung reaksi nuklir berantai. Selain sebagai moderator, fungsi air di dalam tangki reaktor

nuklir Bandung adalah sebagai perisai (*shielding*) dan sebagai pendingin. Kemudian, reflektor yang berfungsi untuk mengembaikan neutron ke dalam teras reaktor, terletak di dalam tangki reaktor, yang senantiasa terisi oleh air sebagai pendingin, sehingga pada reaktor nuklir tidak ada sistem pendingin untuk moderator dan reflektor, karena fungsi air tersebut di atas. Diagram sistem pendingin reaktor nuklir dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Sistem Pendingin Reaktor TRIGA 2000 Bandung

3.2 Pompa Sekunder

Pompa sekunder yang digunakan adalah pompa air sentrifugal yang memiliki laju aliran volumetrik sebesar 1200 gpm atau sebesar 75 liter/s atau 4500 liter/menit, seperti terlihat pad gambar 3.



Gambar 3. Motor Penggerak Pompa Sekunder

Kapasitas aliran sekunder sebesar 4500 liter/menit ini disesuaikan dengan karakteristik penukar panas yang dipasang oleh *General Atomics*. Pompa ini harus mempunyai tekanan kerja yang lebih besar (*head* yang lebih besar) sehingga kapasitasnya juga menjadi lebih besar untuk instalasi pemipaan yang sama. Dalam perancangan dipilih pompa dengan total *head* sebesar 37 m, daya sebesar 75 kW, tekanan kerja maksimum 3 bar, temperatur kerja maksimum 80°C, dan menggunakan bahan baja karbon. Spesifikasi motor penggerak pompa sekunder dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Spesifikasi Motor Pergerak Pompa Sekunder

3-PH INDUCTION MOTOR				
4 POLE 50 Hz 1480 RPM 60 Hz 1776 RPM	CT-B040075FMB3		F 2805	CL F IP 55
	SER.NO. KA18091950			BRG. 3616-3616
	$\Delta 380-415$ V		1660-720 V	100 HP
	138,1-126,5 A		77,73-71,45 A	75 Kw
	$\Delta 440-480$ V		-	Cos ϕ : 0,99
	119,27-109,3 A		-	EFF : 93,8 %
				2019051001

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Operasi

Data operasi pompa sekunder pada tanggal 27-29 Juni 2022 dapat dilihat pada Tabel 2, 3, dan 4.

Tabel 2. Data Operasi pada tanggal 27 Juli 2022

Jam	Tegangan (V)			Arus (A)			Laju Air (m ³ /s)	ΔP (kg/m ²)
	R-S	S-T	R-T	R	S	T		
9:00	389	389	384	103	116	99	0,07051	18.354,89
10:00	391	389	384	104	114	98	0,07115	18.354,89
11:00	389	388	385	104	114	98	0,71083	18.354,89
12:00	388	388	384	104	116	100	0,07058	18.354,89
13:00	388	390	385	103	115	99	0,07060	18.354,89
14:00	389	390	386	105	114	99	0,07111	18.354,89

Tabel 3. Data Operasi pada tanggal 28 Juli 2022

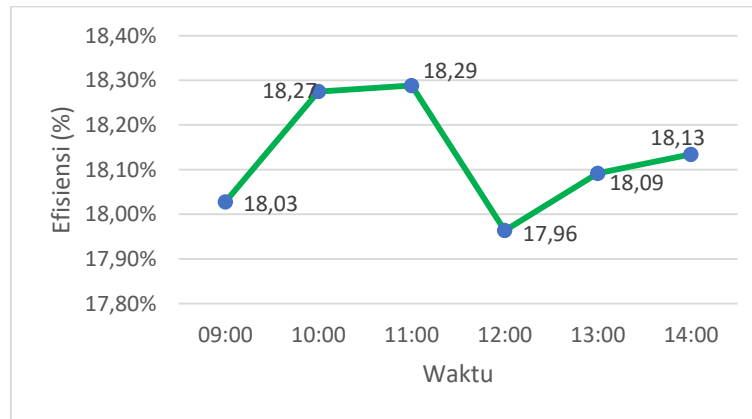
Jam	Tegangan (V)			Arus (A)			Laju Air (m ³ /s)	ΔP (kg/m ²)
	R-S	S-T	R-T	R	S	T		
15:00	391	390	382	103	115	98	0,07110	18.354,89
16:00	389	390	384	104	116	99	0,07088	18.354,89
17:00	381	390	383	105	116	99	0,07032	18.354,89
18:00	385	388	380	105	115	98	0,07050	18.354,89
19:00	389	388	385	105	116	99	0,07025	18.354,89
20:00	391	388	382	105	114	98	0,07013	18.354,89

Tabel 4. Data Operasi pada tanggal 29 Juli 2022

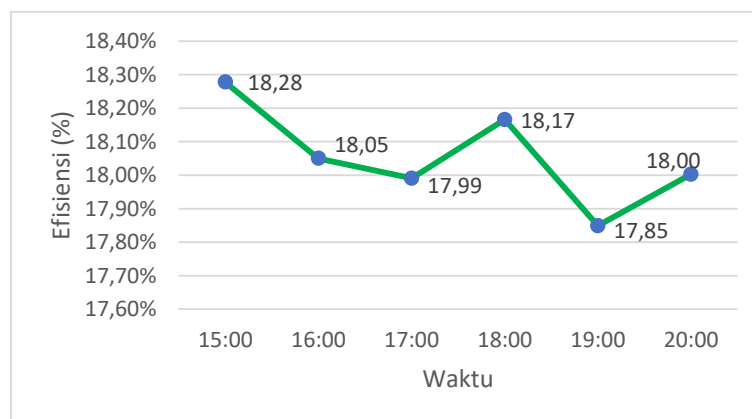
Jam	Tegangan (V)			Arus (A)			Laju Air (m ³ /s)	ΔP (kg/m ²)
	R-S	S-T	R-T	R	S	T		
23:00	390	390	385	104	115	98	0,07012	18.354,89
0:00	391	391	382	103	114	100	0,07057	18.354,89
1:00	390	387	387	104	116	98	0,07038	18.354,89
2:00	390	387	387	105	115	99	0,07050	18.354,89
3:00	391	388	388	105	116	99	0,07125	18.354,89
4:00	390	389	387	105	113	100	0,07143	18.354,89

4.2 Perhitungan

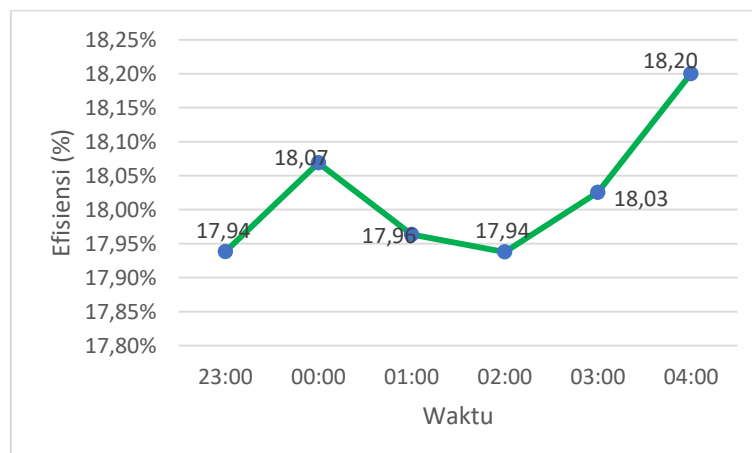
Dari data operasi pompa sekunder pada sistem pendingin reaktor nuklir yang telah diperoleh, nilai laju air dan nilai perubahan tekanan dihitung dengan menggunakan persamaan 1 untuk mendapatkan nilai *WP*. Sementara nilai voltase dan nilai arus dihitung dengan persamaan 2 untuk mendapatkan nilai *BP*. Kemudian ndari nilai *WP* dan nilai *BP* yang didapatkan dari hasil perhitungan sebelumnya akan dimasukkan ke persamaan 3 untuk mendapatkan nilai efisiensi pompa. Untuk hasil perhitungan efisiensi ditulis dalam bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 4. Perbandingan Efisiensi Terhadap Waktu (Pengambilan data 27 Juli 2022)



Gambar 5. Perbandingan Efisiensi Terhadap Waktu (Pengambilan data 28 Juli 2022)



Gambar 6. Perbandingan Efisiensi Terhadap Waktu (Pengambilan data 29 Juli 2022)

Pada Gambar 5 dapat dilihat nilai perbandingan efisiensi terhadap waktu pengambilan data pada tanggal 27 Juli 2022, yang menunjukan bahwa nilai efisiensi tertinggi pada pukul 11:00 dengan nilai efisiensi sebesar 18,29%. Gambar 6 dapat dilihat nilai perbandingan efisiensi terhadap waktu pengambilan data pada

tanggal 28 Juli 2022, yang menunjukkan bahwa nilai efisiensi tertinggi pada pukul 15:00 dengan nilai efisiensi sebesar 18,28%. Sementara Gambar 7 dapat dilihat nilai perbandingan efisiensi terhadap waktu pengambilan data pada tanggal 29 Juli 2022, yang menunjukkan bahwa nilai efisiensi tertinggi pada pukul 04:00 dengan nilai efisiensi sebesar 18,20 %.

4.3 Pembahasan

Pada sistem pendingin sekunder reaktor nuklir terdapat dua pompa. Dari dua pompa tersebut, hanya satu pompa saja yang digunakan dan satu pompa yang lain disiapkan sebagai cadangan apabila pompa yang digunakan mengalami kendala. Pompa sekunder yang digunakan adalah pompa sentrifugal dengan motor penggerak aliran 3 fasa yang memiliki laju aliran volumetrik sebesar 1200 gpm atau 75 liter/detik atau 4500 liter/menit. Kapasitas aliran ini disesuaikan dengan karakteristik penukar panas yang dipasang dari USA. Pompa sekunder harus mempunyai tekanan kerja yang lebih besar (*Head* yang lebih besar) sehingga kapasitasnya juga menjadi lebih besar untuk instalasi pemipaan yang sama. Data yang diperoleh diambil dari tanggal 27 Juli 2022 sampai 29 Juli 2022 atau selama masa Reaktor TRIGA 2000 ini digunakan. Data operasi ini diperoleh dengan cara mencatat dari hasil pengamatan secara langsung pada sistem pompa pada saat pengoperasian reaktor.

Dari hasil perhitungan pada tanggal 27 Juli 2022 dapat dilihat pada Gambar 4.1 didapatkan grafik perbandingan nilai efisiensi terhadap waktu pengambilan data pada tanggal 27 Juli 2022, dan menunjukkan nilai efisiensi tertinggi ada pada pukul 11:00 dengan nilai efisiensi sebesar 18,29%. Untuk hasil perhitungan pada tanggal 28 Juli 2022 dapat dilihat pada Gambar 4.2 didapatkan grafik perbandingan nilai efisiensi terhadap waktu pengambilan data pada tanggal 28 Juli 2022, dan menunjukkan nilai efisiensi tertinggi ada pada pukul 15:00 dengan nilai efisiensi sebesar 18,28%. Untuk hasil perhitungan pada tanggal 29 Juli 2022 dapat dilihat pada Gambar 4.3 didapatkan grafik perbandingan nilai efisiensi terhadap waktu pengambilan data pada tanggal 29 Juli 2022, dan menunjukkan nilai efisiensi tertinggi ada pada pukul 04:00 dengan nilai efisiensi sebesar 18,20%.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan yaitu pada sistem pendingin sekunder reaktor nuklir, pompa sekunder yang digunakan adalah pompa air sentrifugal dengan motor penggerak aliran 3 fasa memiliki laju aliran volumetrik sebesar 1200 gpm atau 75 liter/detik atau 4500 liter/menit. Kapasitas aliran ini disesuaikan dengan karakteristik penukar panas yang dipasang oleh *General Atomics*. Pompa sekunder harus mempunyai tekanan kerja yang lebih besar (*Head* yang lebih besar) sehingga kapasitasnya juga menjadi lebih besar untuk instalasi pemipaan yang sama. Terdapat dua pompa. Pada sistem pendingin ini terdapat dua pompa air, dari dua pompa tersebut hanya satu pompa saja yang digunakan dan satu pompa yang lain disiapkan sebagai cadangan apabila pompa yang digunakan mengalami kendala. Dari hasil perhitungan performa pompa ini didapatkan nilai efisiensi sekitar 18%. Untuk hasil perhitungan yang dilakukan didapatkan nilai efisiensi tertinggi pada tanggal 27 Juli 2022, yang menunjukkan nilai efisiensi tertinggi ada pada pukul 11:00 dengan nilai sebesar 18,29%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Priyono, E., Wibowo, K., & Susanto, A. (2016). *Konsep Rancangan Konsol Kendali Reaktor Triga Mark-II Bahan Bakar Tipe Pelat*. *Konsep Rancangan*. Surakarta: Pusat Sains Dan Teknologi Akselerator.
- [2] Mohammad, A. (2015). Efisiensi Material Pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Lwr (Light Water Reactor) Dan Phwr (Pressurized Heavy Water Reactor). *Jurnal Pena Sains*, 1-6.
- [3] Fielding, R., Meyer, M., Jue, J.-F., & Gan, J. (2007). Elsevier : *Journal Of Nuclear Materials*, 243-249.
- [4] Abdullah, A. G., & Su'ud. (2012). Analisis Kecelakaan Reaktor Akibat Kegagalan Sistem Pembuang Panas Pada Reaktor Nuklir Generasi Iv. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 106-144.
- [5] Nugroho, E., Sunaryunanto, A., Helmizar, A., & Suandi, A. (2019). Analisa Performance Pompa Sentrifugal Item 6p-4021-J Yang Dipengaruhi Kondisi Strainer Terhadap Efisiensi Kerja Yang Dihasilkan. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*.