

TUGAS AKHIR
ANALISIS KECEPATAN ALIRAN FLUIDA PADA POMPA PENDINGIN
PRIMER TRIGA 2000 KW DI BATAN



Oleh:

MOHAMMED ABDULLAH M. MNIBARIALKTHIRI

NIM: 2018440032

Diajukan Untuk Melengkapi Sebagian
Persyaratan Menjadi Sarjana Teknik

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH JAKARTA

2022

**HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KECEPATAN ALIRAN FLUIDA PADA POMPA PENDINGIN
PRIMER TRIGA 2000 KW DI BATAN**

Disusun untuk memenuhi syarat kurikulum di

Program Studi Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Jakarta

Oleh:

Mohammed Abdullah M. Mnibarialkthiri

2018440032

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Pada tanggal 4 Agustus 2022 dan

Dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Dewan Penguji

Ketua Dewan Penguji

Sulis Yulianto, ST, MT

NIDN: 0310077902

Penguji I

Fadwah Maghfurah, ST, MM, MT

NIDN: 0326017302

Penguji II

Gunawan Hidayat, ST, MT

NIDN: 0328057105

**HALAMAN PERSETUJUAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KECEPATAN ALIRAN FLUIDA PADA POMPA PENDINGIN
PRIMER TRIGA 2000 KW DI BATAN**

Disusun untuk memenuhi syarat kurikulum di
Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Jakarta

Oleh:

Mohammed Abdullah M. Mnibarialkthiri

2018440032

Telah diperiksa dan disetujui oleh Pembimbing

Pada tanggal: 23 Juli 2022

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Assoc. prof. Anwar Ilmar Ramadhan, PhD

Prof. Dr. Ir. Efrizon Umar, MT

NIDN 0426068403

NID 156105201987031006

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Jakarta

Sulis Yulianto, ST, MT

NIDN: 0310077902

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mohammed Abdullah M. Mnibarialkthir
NIM : 2018440032
Judul Tugas Akhir : “ **Analisis Kecepatan Aliran Fluida Pada
Pompa Pendingin Primer TRIGA 2000 KW
Di BATAN.**”

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Jakarta, 22 Juli 2022.

Mohammed Abdullah M. Mnibarialkthir.

2018440032

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji Syukur kepada Allah SWT atas ridho dan hidayah-nya, sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Laporan Tugas Akhir yang berjudul "**Analisis Kecepatan Aliran Fluida pada Pompa Pendingin Primer TRIGA 2000 KW Di BATAN**" dapat terselesaikan.

Laporan Tugas Akhir ini merupakan laporan pertanggung jawaban penyusun sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jakarta terhadap apa yang telah penyusun amati dan pelajari selama menjalani Tugas Akhir di PSTNT BATAN Bandung.

Penyusun mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan berpartisipasi dalam pelaksanaan Tugas Akhir serta penyusunan laporan ini, khususnya kepada:

1. Allah SWT berkat nikmat sehat dan karunia nya, serta kepada junjungan nabi besar Muhammad SAW beserta keluarga dan parasahabat nya.
2. Ketua orang tua dan keluarga yang tercinta yang telah membesarkan, membimbing, mendo'akan dan selalu memberikan kasih sayang yang tiada ternilai harganya.
3. Bapak Sulis Yulianto, ST, MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin FT-UMJ.
4. Ibu Fadwah Maghfurah, ST, MM, MT sebagai koordinator Tugas Akhir Teknik Mesin FT-UMJ.
5. Prof. Dr. Ir. Efrizon Umar selaku pembimbing Tugas Akhir di PSTNT BATAN yang telah memberikan bimbingan, arahan dan motivasi selama penyusun Tugas Akhir.
6. Assoc. prof. Anwar Ilmar Ramadhan Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknis Universitas

Muhammadiyah Jakarta atas bimbingan, arahan, dan motivasi selama penyusun Tugas Akhir ini.

7. Bapak Rian Fitriana ST, MT. sebagai pembimbing lapangan saat melaksanakan Tugas Akhir
8. Seluruh staff dan karyawan di PSTNT BANDUNG
9. Teman seperjuangan selama melaksanakan Tugas Akhir
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu dan memberikan saran, hingga selesai nya Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari bahwa dalam penyusun laporan ini masih terdapat banyak kesalahan, oleh karena itu bila ada kritik dan saran demi kesempurnaan laporan ini akan penyusun terima dengan ikhlas dan dengan ucapan terima kasih.

Akhirnay dengan segala keterbatasan yang ada, penyusun berharap laporan ini dapat bermanfaat dan digunakan sebagai mana mestinya.

Jakarta, 22 Juli 2022

Mohammed Abdullah M. Mnbarialkthiri

2018440032

ABSTRAK

ANALISIS KECEPATAN ALIRAN FLUIDA PADA POMPA PENDINGIN PRIMER TRIGA 2000 KW DI BATAN. Sistem pendingin primer berfungsi untuk memindahkan panas dari teras reaktor TRIGA 2000 ke sistem pendingin sekunder. Mengetahui kecepatan aliran fluida di pompa primer adalah salah satu langkah penting dalam mengoperasikan reaktor TRIGA 2000 dengan aman dan baik. Penelitian telah menghitung kecepatan aliran, head pompa dan efisiensi pompa dengan membuat kurva untuk mengetahui pengaruh nilai laju aliran, nilai kecepatan aliran terhadap nilai head pompa dan nilai efisiensi pompa. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa, pada saat putaran katup nilai laju aliran masuk lebih besar dari nilai laju aliran keluar, nilai laju aliran masuk paling tinggi sebesar 820 *gpm* dan nilai laju aliran keluar paling tinggi sebesar 770 *gpm*. Sedangkan nilai tekanan keluar lebih tinggi dari nilai tekanan masuk, nilai tekanan keluar paling tinggi sebesar 32 *psi* dan nilai tekanan masuk paling tinggi 14 *psi*. Semakin besar bukaan katup, semakin menurun nilai tekanan masuk dan tekanan keluar. Sedangkan semakin besar bukaan katup, semakin meningkat nilai laju aliran dan kecepatan aliran. Nilai laju aliran dan nilai kecepatan aliran semakin meningkat, maka nilai head pompa akan menurun. Nilai head pompa paling tinggi sebesar 12,69 *m* menurun s/d 9,87 *m*. Nilai efisiensi semakin naik, maka nilai laju aliran dan nilai kecepatan aliran semakin meningkat. Nilai efisiensi paling tinggi sebesar 38,36%.

Kata kunci: Pompa primer, kecepatan pompa sentrifugal. Reaktor TRIGA 2000

ABSTRACT

ANALYSIS OF FLUID FLOW SPEED ON THE 2000 KW TRIGA PRIMARY COOLING PUMP IN BATAN. The primary cooling system functions to transfer heat from the TRIGA 2000 reactor core to the secondary cooling system. Knowing the fluid flow velocity in the primary pump is one of the important steps in operating the TRIGA 2000 reactor to work safely and properly. Research has calculated the flow velocity, pump head and pump efficiency by making a curve to determine the effect of flow rate value, flow velocity value to pump head value and pump efficiency value. Based on the results of the study, it is known that, when the valve rotates the flow in rate value is greater than the flow out rate value, the highest flow in rate value is 820 *gpm* and the highest flow out rate value is 770 *gpm*. While the value of the outlet pressure is higher than the value of the inlet pressure, the highest value of the outlet pressure is 32 *psi* and the highest value of the inlet pressure is 14 *psi*. The larger the valve opening, the lower the inlet pressure and outlet pressure. Meanwhile, the larger the valve opening, the higher the flow rate and flow velocity. The value of the flow rate and the value of the flow velocity is increasing, then the value of the pump head will decrease. The highest pump head value is 12.69 m, decreasing to 9.87 m. when the value of efficiency increases, the value of the flow rate and the value of the flow velocity increase as well. The highest efficiency value is 38.36%.

Keywords: Primary pump, Centrifugal pump velocity, TRIGA 2000 reactor.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II STUDI LITERATUR.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Landasan Teori	7
2.3 Hipotesis penelitian	16
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Sistematika Penelitian.....	17
3.2 Kegiatan Rangkaian Penelitian.....	18
3.3 Alat Dan Bahan	19
3.4 Alat Ukur Penelitian	21
3.5 Teknik Pengumpulan Dan Pengolahan Data.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Pengujian Head Pump Di Sistem Pendingin Primer TRIGA 2000 KW	30
4.2 Pengujian Daya Pompa.....	34
4.3 Pengujian kecepatan aliran	35

4.4 Pengujian efisiensi pompa.....	38
4.5 Perbandingan dengan literatur.....	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
DATAR PUSTAKA	46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Tangki Reaktor	8
Gambar 2. 2	Heat Exchanger	9
Gambar 2. 3	Pompa Sentrifugal	10
Gambar 2. 4	Pipa Penghubung pada sistem Pendingin	11
Gambar 2. 5	Diagram Head Terhadap Laju Aliran	14
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3. 2	Komponen Pompa Primer	19
Gambar 3. 3	Flow Meter	21
Gambar 3. 4	Automatic Voltage Regulator	22
Gambar 3. 5	Temperatur Gauge	23
Gambar 3. 6	Pressure Gauge	24
Gambar 4. 1	Diagram Sistem Pendingin	30
Gambar 4. 2	Pompa Primer Pada Sistem Pendingin	31
Gambar 4. 3	Kurva hubungan antara laju alir terhadap bukaan katup	33
Gambar 4. 4	Kurva hubungan antara laju alir terhadap head	34
Gambar 4. 5	Kurva hubungan antara laju alir terhadap kecepatan alir	37
Gambar 4. 6	Kurva hubungan antara kecepatan alir terhadap head pompa .	37
Gambar 4. 7	Kurva hubungan antara laju alir terhadap head dan efisiensi..	40
Gambar 4. 8	Kurva hubungan antara kecepatan alir terhadap efisiensi dan head pompa	41
Gambar A. 1	Dokumentasi sebelum dilakukan pengujian pompa primer	49
Gambar A. 2	Pompa Primer	50
Gambar A. 3	Dokumentasi Penelitian	51
Gambar A. 4	Dokumentasi pengambilan data	52
Gambar B. 1	Data hasil pengujian	53
Gambar B. 2	Data hasil perhitungan	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Daftar Massa Jenis Air	13
Tabel 2.2	Faktor daya motor pompa.....	15
Table 3.1	Jadwal Penelitian	18
Table 3.2	Karakteristik sistem Pendingin Primer.....	20



DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

Q	= Debit	$[m^3/s]$
D	= Diameter	$[m]$
V	= Volume	$[m^3]$
G	= Kecepatan gravitas	$[m/s^2]$
η	= Efisiensi	$[\%]$
P	= Tekanan	$[kg/m^2]$
T	= Temperatur	$[^{\circ}C]$
H	= Head pompa	$[m]$
I	= Arus listrik motor pompa	$[A]$
v	= Kecepatan aliran	$[m/s]$



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Badan Tenaga Nuklir Nasional, disingkat BATAN, adalah Lembaga Pemerintah Non Kementerian Indonesia yang melaksanakan tugas pemerintah di bidang, pengembangan dan pemanfaatan tenaga nuklir. Batan Bandung memiliki sebuah reaktor nuklir yang dinamakan Reaktor Triga 2000 ini udah dimanfaatkan untuk melakukan penelitian dan pengembangan dalam upaya penguasaan teknologi di bidang produksi radioisotope. (BATAN, 2021)

Training Research Isotope Production by General Atomic, disingkat TRIGA, sedangkan 2000 menunjukkan kapasitas daya reaktor. Reaktor TRIGA 2000 merupakan reaktor nuklir pertama di Indonesia yang sudah dioperasikan sejak tahun 1965. (BATAN, 2021)

Dalam reaktor TRIGA 2000 memiliki sistem pendinginan terdiri dari teras reaktor, pompa primer dan pompa sekunder. Semua sistem yang tersebut berfungsi untuk mendinginkan fluida yang berupa air agar keseimbangan. (Antariksawan, Aliq, Puradwi, Handoyo, 2000)

Sistem pendingin primer pada reaktor TRIGA 2000 berfungsi untuk memindahkan panas dari air tangki reaktor ke sistem pendingin sekunder. Oleh karena itu panas yang dihasilkan dari reaksi fisi akan menaikkan temperatur dinding elemen bakar. (Soekodijat, 2002)

Cara kerja perpindahan panas pada sistem pendingin primer sebagian besar terjadi pada penukar panas tipe pelat yang ditempatkan dalam gedung reaktor dan berlangsung secara konveksi paksa (*Forced Convection*). Aliran konveksi paksa ini digerakkan oleh sebuah pompa sentrifugal. Perpindahan panas yang terjadi di sepanjang permukaan luar pipa sistem pendingin primer tidak diperhitungkan atau diabaikan. Sistem pendingin sekunder berfungsi untuk memindahkan panas dari

sistem pendingin ke lingkungan melalui dua buah menara pendingin (*cooling tower*). (Pusdiklat – BATAN, Revisi 2019)

Cara kerja perpindahan panas pada sistem pendingin sekunder berlangsung secara konveksi paksa (*Forced Convection*). Aliran konveksi ini juga digerakkan oleh sebuah pompa sentrifugal. (Pusdiklat – BATAN, Revisi 2019)

Pompa adalah salah satu alat dari sistem pendingin di reaktor TRIGA berfungsi untuk memindah fluida dari tempat bertekanan rendah ke tempat bertekanan yang lebih tinggi. Klasifikasi pompa berdasarkan dari prinsip perubahan bentuk energi yang dihasilkan, yaitu positive displacement pump dan kinetik displacement pump. Pompa sentrifugal termasuk ke dalam kinetik displacement pompa. (Soekodijat, 2002)

Pompa sentrifugal adalah salah satu alat dari sistem pendingin primer menyalurkan energi kinetik ke fluida yang kemudian mengubah energi kinetik menjadi energi potensial berupa tekanan fluida. Pompa sentrifugal memompa fluida melalui impeller. Impeller ini dipasang pada salah satu ujung poros dan pada ujung yang lain dipasang kopling untuk meneruskan daya dari penggerak. Pompa sentrifugal banyak dipengaruhi oleh disain impeller, rumah pompa, laju aliran dan kecepatan sudut. (Alkonusa, 2016) Efisiensi merupakan hal yang sangat penting pada penggunaan pompa sentrifugal karena berkaitan dengan energi yang dipakai untuk menggerakkan sistem mekaniknya, (Mustakim, 2015) dari hal tersebut peneliti ingin mengetahui kecepatan aliran fluida pada pompa pendingin primer agar dioperasikan dengan baik dan aman.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari latar belakang yang telah dijabarkan maka dapat ditentukan beberapa identifikasi masalah, antara lain:

1. Menemukan perbandingan head pompa pada sistem pendingin primer
2. Menemukan perbandingan efisiensi pompa pada sistem pendingin primer
3. Menemukan perbandingan kecepatan pompa pada sistem pendingin primer

1.3 Rumusan Masalah

Didalam rumusan masalah dalam tugas akhir ini berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah antara lain:

1. Bagaimana cara mengetahui head pompa pada sistem pendingin primer?
2. Bagaimana cara mengetahui efisiensi pompa pada sistem pendingin primer?
3. Bagaimana cara menentukan kecepatan aliran fluida pada sistem pendingin primer?

1.4 Batasan Masalah

Dikarenakan luas permasalahan dalam analisis kecepatan aliran fluida pada pompa pendingin primer Triga 2000 *kw* di BATAN dan keterbatasan penulis, maka penulis membatasi pembahasan tentang:

1. Hanya berfokus terhadap analisis efisiensi pompa pendingin primer
2. Hanya berfokus terhadap analisis kecepatan aliran fluida pada pompa pendingin primer

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merencanakan head pompa pada sistem pendingin primer
2. Merencanakan efisiensi pompa pada sistem pendingin primer
3. Merencanakan kecepatan aliran fluida pada pompa pendingin primer

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi lapangan kerja yang dilaksanakan
2. Dapat ilmu melalui mengimplementasikan yang didapat dari kuliah berupa teori dan mendapatkan pengalaman karena turun di lapangan langsung.
3. Dapat mengetahui secara langsung cara mengambil data
4. Dapat mengetahui cara kerja pompa pendingin primer.
5. Dapat mengetahui efisiensi pompa pada sistem pendingin primer.
6. Dapat menghitung kecepatan aliran fluida pada sistem pendingin primer



BAB II STUDI LITERATUR

2.1 Tinjauan Pustaka

1. Penelitian yang dilakukan oleh (Soekodijat, 2002) dengan judul “Karakterisasi Unjuk Kerja Pompa Sistem Reaktor TRIGA 2000” yang membahas tentang cara memverifikasi kurva kinerja pompa yang diberikan oleh pabrik. Proses verifikasi dilakukan dengan mengubah-ubah laju aliran pompa (dengan cara mengatur besar kecilnya pembukaan katup) dan mencatat besarnya laju aliran, 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.
2. Penelitian yang dilakukan oleh (Diby, 2007) dengan judul “Analisis Kehilangan Aliran Pendingin Primer RSG-GAS MODA Satu Jalur” yang membahas tentang kondisi kehilangan aliran RSG-GAS moda satu jalur telah dilakukan analisis menggunakan paket komputer RELAP5.Mod3. Parameter terpenting yang diamati adalah daya reaktor, transien temperatur pendingin primer dan sekunder serta temperatur pelat elemen bakar. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui karakteristik transien kehilangan aliran dalam pengoperasian moda satu jalur RSG-GAS. Dalam analisis ini reaktor dioperasikan pada daya tunak (steady-state) 15 MW, kemudian terjadi transien karena pompa sistem pendingin primer yang ada mati, sedangkan pompa sistem pendingin sekunder tetap beroperasi. Selama kondisi transien berlangsung, diperoleh data pola perubahan daya, aliran dan temperatur sistem pendingin. Hasil analisis menunjukkan bahwa temperatur pendingin primer menuju reaktor sebesar 40,2°C dan reaktor scram oleh sistem proteksi setelah 4 detik transien akibat laju alir pendingin menurun menjadi 85 % terhadap laju alir normal. Temperatur maksimum pelat elemen bakar 106,1°C pada detik transien ke 86, angka ini masih di bawah temperatur saturasi setempat (125,57°C).

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa kehilangan aliran RSG-GAS moda satu jalur pada daya 15 MW masih menunjukkan kondisi yang aman.

3. Penelitian yang dilakukan oleh (Suroso*1, 2006) dengan judul “Evaluasi Kinerja Pompa Pendingin Primer RSG-GAS Setelah Beroperasi 27.000 Jam Operasi” yang membahas tentang kinerja pompa pendingin primer setelah beroperasi 27.000 jam dilakukan untuk mendapatkan kurva karakteristik pompa yang meliputi daya, head total pompa dan efisiensi pompa sebagai fungsi kapasitas aliran fluida di sekitar daerah kerja. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa dengan kenaikan head maupun daya pompa. Motor penggerak masih mampu mengimbangnya dan masih dibawah harga spesifikasinya yaitu 160 KW. Persentase penyimpangan dari head, daya pompa dan efisiensi terhadap kondisi commissioning lebih kecil dari 10%, hal tersebut menunjukkan bahwa unjuk kerja pompa primer masih baik.
4. Penelitian yang dilakukan oleh (Pardi, DKK. 2019) dengan judul “Evaluasi Pengoperasian Pompa Sistem Pendingin Sekunder Untuk Menunjang Operasi Reaktor RSG-GAS” yang membahas tentang kombinasi pengoperasian pompa pendingin sekunder secara bergantian, ditujukan agar ketiga pompa sistem sekunder dalam satu tahun jumlah jam operasinya sama. Jumlah jam operasi masing-masing pompa penting untuk diketahui karena terkait dengan sistem perawatan pompa itu sendiri. Dalam Check List Basic Setting sistem sekunder setidaknya setiap tahun dilakukan pengecekan terhadap suara pompa, getaran pompa, suhu dan pengecekan oli nya.
5. Penelitian yang dilakukan oleh (Riki Candra Putra. 2018) dengan judul “Perancangan Pompa Sentrifugal Dan Diameter Luar Impeller Untuk Kebutuhan Air Kapasitas 60 LPM Di Gedung F Dan Gedung D Universitas Muhammadiyah Tangerang” yang membahas tentang perancangan pomp sentrifugal dan diameter luar impeller. Dilakukan perhitungan total head berdasarkan panjang pipa dan kerugian-kerugian yang terjadi, kemudian dapat ditentukan masing-masing daya motor

penggerak dengan mengambil air dalam tanah menuju ke tendon air di atap gedung. Pada Gedung F dan gedung D di Universitas Muhammadiyah Tangerang diambil rata-rata kapasitas 60 LPM untuk kedua gedung, dan dilakukan perhitungan total Head sebesar 92,87 m berdasarkan panjang pipa dan kerugian-kerugian yang terjadi, sehingga didapat daya poros 2,6 KW pada gedung F dan gedung D, kemudian dapat ditentukan masing-masing daya motor penggerak dengan mengalikan safety factor.

2.2 Landasan Teori

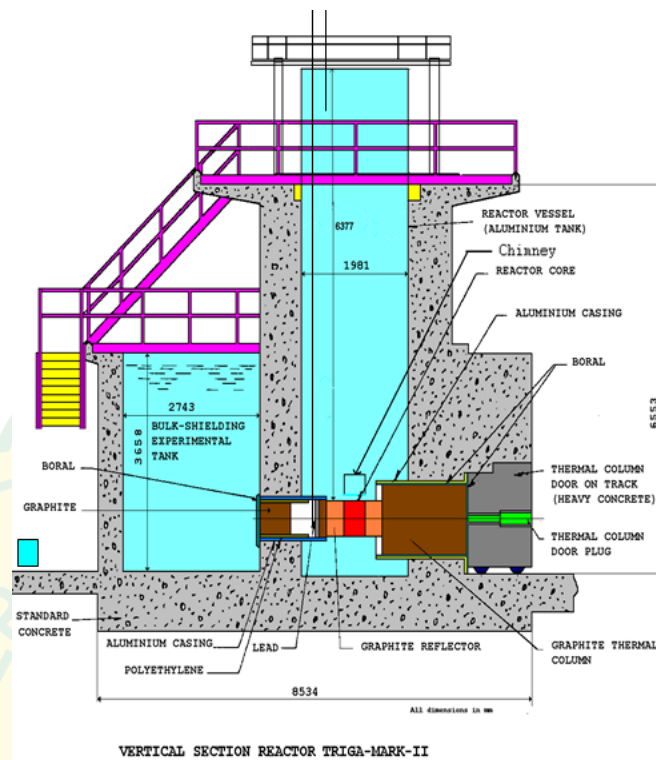
2.2.1 Sistem Pendingin Primer

Sistem pendingin primer salah satu sistem pendingin pada reaktor TRIGA 2000. Pompa sistem pendingin primer salah satu komponen utama pada sistem pendingin reaktor. Untuk fungsi sistem pendingin primer adalah jalur memindah panas dari air tangki reaktor ke sistem pendingin sekunder. Sistem pendingin primer (Pusdiklat – BATAN, Revisi 2019) ini terdiri dari beberapa alat yaitu:

A. Tangki Reaktor:

Tangki reaktor adalah salah satu alat berperan sebagai wadah mengendalikan reaksi fisi berantai dan sekaligus menjaga kesinambungan reaksi itu. Tangki reaktor TRIGA 2000 terbuat dari aluminium alloy tipe 6061 T6. (Soedardjo, Sumijanto, 2000)

Pada prinsipnya tangki reaktor adalah wadah yang digunakan untuk menyimpan air pendingin primer yang berasal dari teras reaktor dalam jumlah tertentu dan selama waktu tertentu, di dalam air pendingin primer tersebut mencapai batas ambang keselamatan. Pada tangkinya fenomena rongga udara yang terjebak dapat terjadi ketika reaktor beroperasi, yang dapat mempengaruhi kenaikan tekanan tangki dan kavitasi pada pompa. Hal ini dapat diatasi dengan menempatkan katup ventilasi pada tangki untuk mengeluarkan udara tersebut. (Nazar, Alfa, Kamajaya, Rian, 2018)



Gambar 2. 1 Tangki Reaktor (BATAN,2021)

B. Penukar Panas:

Penukar panas adalah salah satu alat berfungsi untuk memindahkan panas dari sistem pendingin primer ke sistem pendingin sekunder. Reaktor mempergunakan sebuah alat penukar panas (*HE, Heat Exchanger*) tipe plat. Konstruksi penukar panas tipe pelat terdiri dari susunan pelat logam bergelombang yang dilengkapi dengan lubang pemasukan dan pengeluaran pada bagian atas dan bawah (*port hole*). Lubang ini berfungsi sebagai saluran fluida sebelum mengalir ke atas permukaan pelat. Susunan pelat logam diletakkan diantara pelat pengencang dan pelat penekan (*pressure plate*), kemudian dikencangkan dengan menggunakan baut pengencang. Pelat dengan pelat lain dipisahkan oleh gasket yang berfungsi sebagai penahan bocor dan mengarahkan fluida agar mengalir dalam arah berlawanan. Permukaan pelat dibuat bergelombang dimaksudkan untuk

meningkatkan arus turbulensi dan menyangga pelat terhadap perbedaan tekanan. (BATAN,2016)

Bahan pelat dan gasket untuk penukar panas ini bermacam-macam, tetapi bahan yang banyak digunakan adalah *SS304*, *SS306*. Titanium, Incoloy, Hastelloy sebagai bahan pelat, sedangkan untuk gasket digunakan Neoprene dan Nitrile rubber, Data teknis pelat penukar panas reaktor (Pusdiklat – BATAN, Revisi 2019)



Gambar 2. 2 Heat Exchanger(BATAN)

C. Pompa primer:

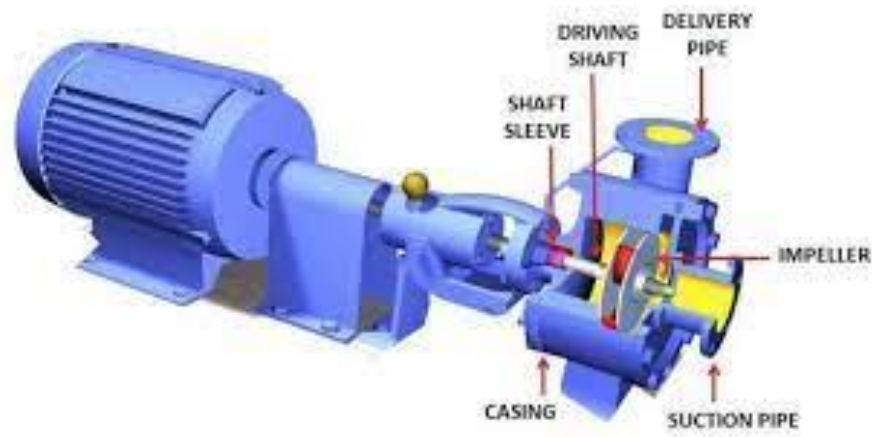
Pompa primer adalah salah satu alat berfungsi untuk memindahkan panas dari teras reaktor ke sistem pendingin sekunder.

Dalam pompa primer di sistem pendingin mempunyai dua buah pompa dengan kapasitas sama, pada saat pengoperasiannya, hanya satu pompa yang dioperasikan, sedang pompa yang kedua adalah sebagai cadangan (*redundance*).

Pompa yang dilakukan dalam sistem pendingin primer yaitu pompa sentrifugal. Pompa sentrifugal adalah salah satu alat dari jenis pompa yang

bekerja berdasarkan energi kinetik dan energi potensial, yaitu mengubah energy kecepatan menjadi energi tekanan dan energi kecepatan, dalam sistem pendingin primer pompa sentrifugal berfungsi untuk mengalirkan fluida pendingin yang keluar dari penukar panas ke tangki reaktor. (Soekodijat, 2002)

Prinsip kerja pompa sentrifugal mempunyai sebuah baling-baling (*Impeller*) yang berguna untuk mengalirkan zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi.



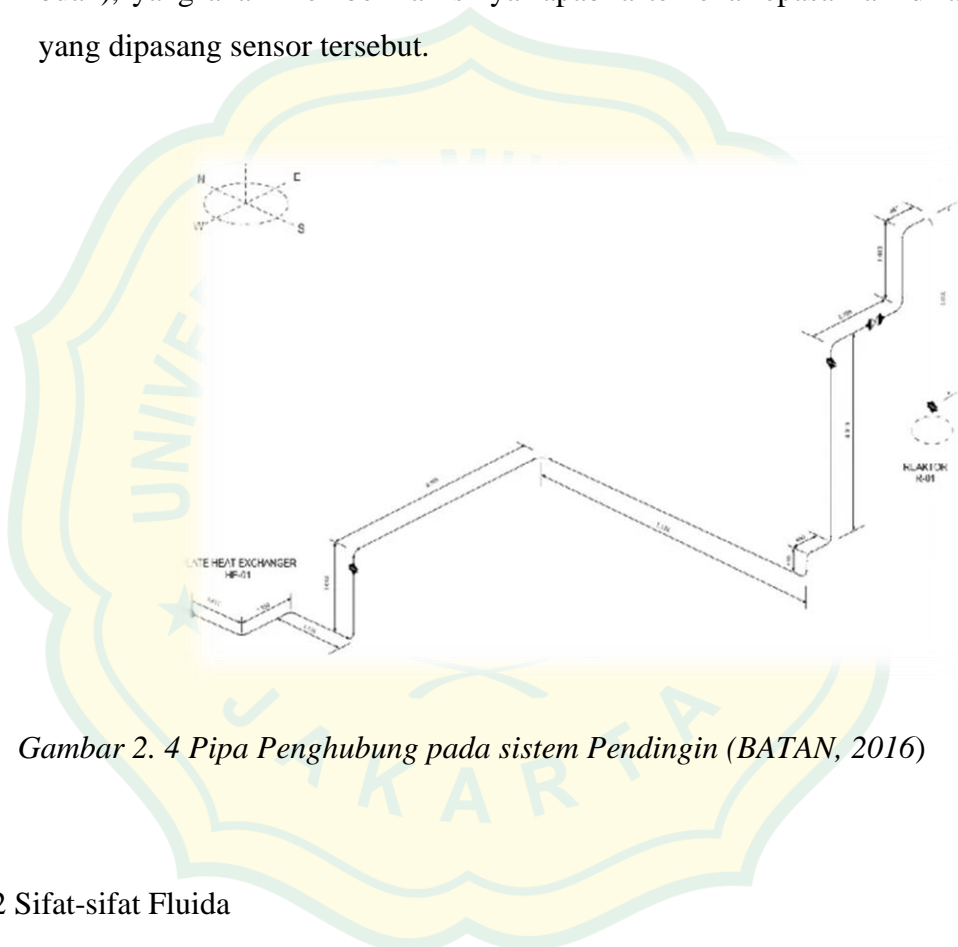
Gambar 2. 3 Pompa Sentrifugal

<http://majalah1000guru.net/2019/02/pompa-sentrifugal-kerja-manfaat/>

Daya dari luar diberikan kepada poros untuk memutar impeller didalam zat cair, maka berputar oleh dorongan sudu-sudu yang ikut berputar. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah impeller ke luar melalui saluran di antara 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 impeller ditampung saluran berbentuk volut (*Spiral*) di sekeliling impeller dan disalurkan keluar pompa melalui nosel. Di dalam nosel ini sebagian head kecepatan aliran diubah menjadi head tekanan. Dalam hal ini terlihat bahwa impeller 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 ke luar pompa disebut head total pompa. (Suroso,2006)

Pipa penghubung untuk sistem pendingin primer digunakan paduan aluminium tipe 6061 T6 dengan diameter 6 inch atau 15,24 cm. Untuk mendeteksi kebocoran pada sistem pendingin primer dan upaya untuk membatasi kehilangan pendingin primer, dipasang leakage detector berupa sensor elektroda di ruangan area pompa primer dan di area beam port (4 buah), yang akan memberikan sinyal apabila terkena lepasan air di area yang dipasang sensor tersebut.



Gambar 2. 4 Pipa Penghubung pada sistem Pendingin (BATAN, 2016)

2.2.2 Sifat-sifat Fluida

Ada beberapa macam sifat fluida berhubungan dengan variable yang dibutuhkan. Adapun sifat – sifat fluida tersebut adalah:

Rapat massa (ρ)

Rapat massa adalah perbandingan massa fluida persatuan volume pada tekanan dan temperature tertentu. (Mustakim,2015)

Persamaan nya ditulis dalam bentuk:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2.1)$$

Keterangan:

ρ = Massa jenis zat cair (g/cm^3 atau kg/m^3)

M = Massa benda (g atau kg)

V = Volume suatu benda (cm^3 atau m^3)

2.2.3 Head Pompa

head pompa adalah energi yang diberikan oleh pompa ke cairan yang dipompakan sehingga cairan dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain.

Head terdiri dari head ketinggian (Z), head kecepatan $\frac{v^2}{2g}$, dan head tekanan $\frac{p}{\gamma}$. Head ketinggian menyatakan energi potensial yang dibutuhkan untuk mengangkat air setinggi (m) kolom air, head kecepatan menyatakan energi kinetik yang dibutuhkan untuk mengalirkan air setinggi (m) kolom air, sedangkan head tekanan adalah suatu energi aliran dari (m) kolom air yang memiliki berat sama dengan tekanan dari kolom (m) air tersebut (Frank,2016). Untuk menentukan head total pompa dengan persamaan dibawah ini:

$$H = \left(\frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho} \right) + \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right) + (Z_2 - Z_1)$$

(2.2)

Dimana:

H = Head total [m]

p = Tekanan aliran [kg/m^2]

ρ = Massa jenis [N/m^3]

g = Percepatan gravitasi [$9,8 m/s^2$]

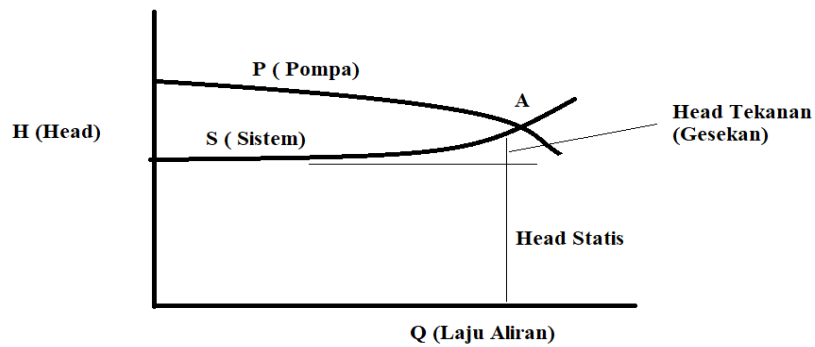
Z = ketinggian [m]

Untuk menemukan nilai massa jenis air dapat dilihat pada gambar 2.1

Tabel 2. 1 Daftar Massa Jenis Air (Alfian, 2012)

Temperatur($^{\circ}C$)	Massa Jenis (g/cm^3)
20	0.9982
21	0.9980
22	0.9978
23	0.9976
24	0.9973
25	0.9971
26	0.9968
27	0.9965
28	0.9963
29	0.9960
30	0.9957

Dalam Pengoperasian pompa harus dapat memenuhi head yang diperlukan oleh sistem pipa sehingga perlu pula diketahui kurva Head-laju aliran sistem. Besar 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 tanah ke luar. Jika head sistem ini digambarkan dalam diagram Head terhadap laju aliran akan diperoleh kurva.



Gambar 2. 5 Diagram Head Terhadap Laju Aliran

2.2.4 Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa adalah perbandingan antara daya air dengan daya penggerak pompa sehingga dapat ditulis. (Suroso,2006)

$$\eta = \frac{P_p}{P_{mp}} \times 100\% = \frac{\rho g Q H}{3 V I \cos \beta} \times 100\% \quad (2.4)$$

Dimana:

P_p = Daya pompa [w]

P_{mp} = Daya motor listrik pompa [W]

V = Tegangan listrik motor pompa [v]

I = Arus listrik motor poma [A]

H = Head pompa [m]

Q = Laju aliran pompa [m^3/s]

β = Faktor daya motor pompa

Tabel 2. 2 Faktor daya motor pompa (Ma'mun,2018)

Motor Penggerak	β
Motor Induksi	0.1 – 0.2
Motor Bakar Kecil	0.15 – 0.25
Motor Bakar Besar	0.1 – 0.2

2.2.5 Kecepatan Aliran Pada Pompa

Kecepatan fluida yang mengalir pada pipa menuju pompa, dapat dihitung dengan persamaan: (RIKI,2018)

$$Q = VA \quad \text{atau} \quad V = \frac{Q}{A} \quad (2.5)$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

Dimana:

Q : Debit aliran [m^3/s]

A : Luas penampang pipa [m^2]

V : Kecepatan aliran [m/s]

d : Dimeter pipa [m]

2.2.6 Karakteristik Pompa sentrifugal

Menurut (Kenan Sihombing dan Sutardi 2012:02) bahwa karakteristik dari pompa sentrifugal merupakan hubungan antara tekanan yang dibangkitkan (head) dan kecepatan aliran volume (kapasitas). Karakteristik dapat juga menyertakan kurva efisiensi dan harga brake horse power- nya. Karakteristik pompa sentrifugal dapat digambarkan dalam kurva karakteristik yang melukiskan jalannya lintasan dan besar-besaran tertentu terhadap besaran kapasitas, besar-besaran itu adalah:

1. Head pompa (H)
2. Daya pompa (P)
3. Efisiensi pompa (η)

2.3 Hipotesis penelitian

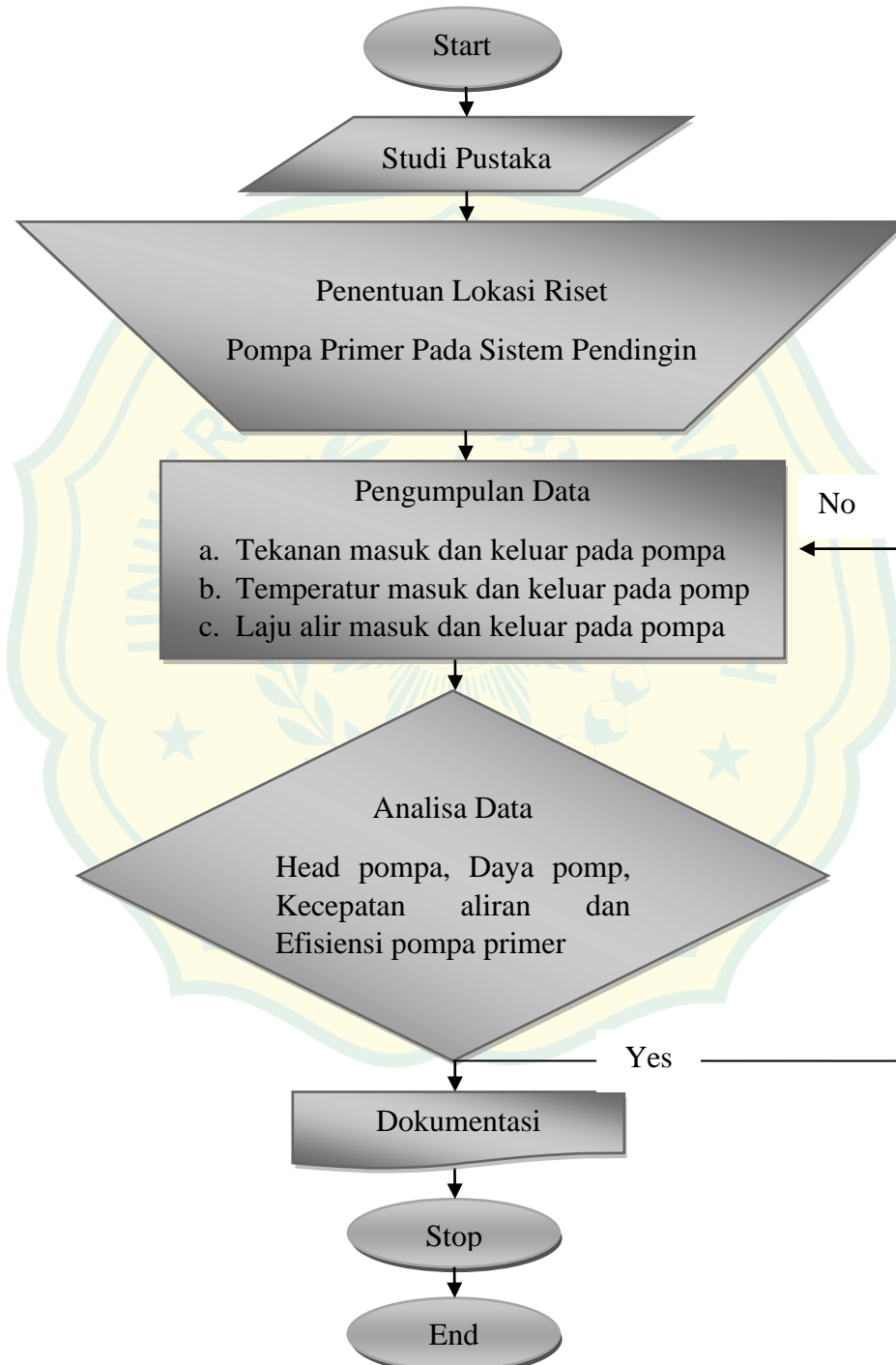
Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui head, efisiensi dan kecepatan pompa pada sistem pendingin primer.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Sistematika Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian analisis kecepatan aliran fluida pada pompa pendingin primer TRIGA 2000 kw di BATAN

3.2 Kegiatan Rangkaian Penelitian

3.2.1 Tempat Dan Waktu Penelitian

Proses penelitian dilakukan di Badan Tenaga Nuklir Nasional disingkat BATAN di Bandung. Waktu yang diperlukan untuk proses penelitian ini adalah 5 bulan yaitu pada bulan February 2021 – July 2022.

3.2.2 Kegiatan Jadwal Penelitian

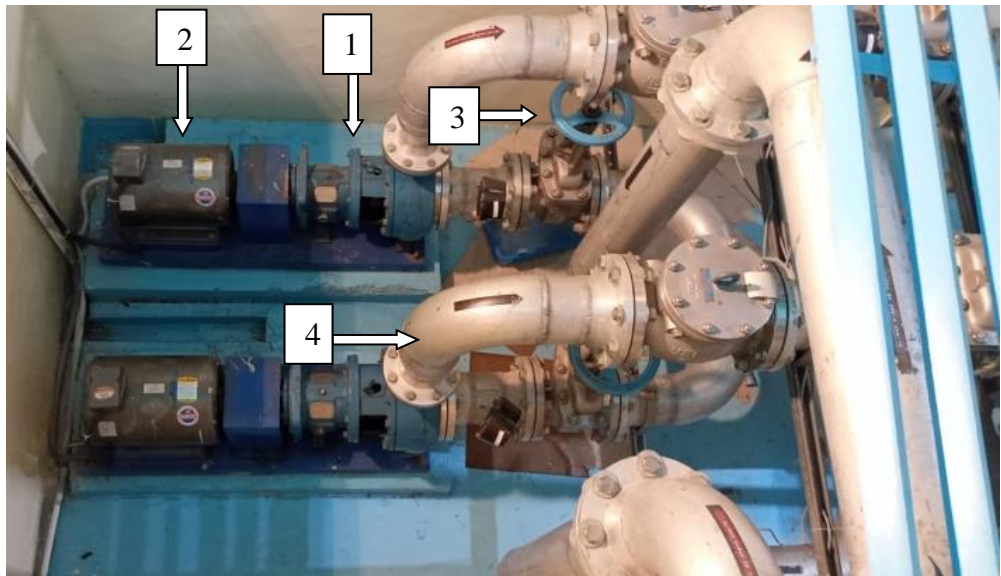
Berikut adalah rencana kegiatan dalam bulan penelitian analisis kecepatan aliran fluida pada pompa pendingin primer.

3.2.3. Jadwal Kegiatan

Table 3. 1 Jadwal Penelitian

Tahapan	Kegiatan	Bulan					
		Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul
1.	Observasi dan studi literatur	■					
2.	Pengumpulan rumus dan data		■				
3.	Percobaan uji lab			■			
4.	Analisis kecepatan aliran fluida pada sistem pendingin primer				■	■	
5.	Pembuatan laporan akhir						■

3.3 Alat Dan Bahan



Gambar 3. 2 Komponen Pompa Primer (BATAN)

Dalam Penelitian ini ada beberapa komponen yang digunakan dalam lapangan:

1. Pompa sentrifugal
2. Motor penggerak
3. Katup gerbang
4. Pipa

Dalam pompa sistem pendingin primer adalah:

1. Pompa sentrifugal berfungsi untuk menggerakkan fluida pada reactor nuklir dengan mengambil panas dari teras reaktor, untuk kemudian dipecahkan ke pendingin sekunder yang digunakan adalah *peerless pump Company 8196 MTP*.
2. Motor penggerak berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang digunakan adalah *Baldor Industrial Motor*.
3. Katup gerbang adalah katup bertekanan rendah yang digunakan untuk menghentikan aliran fluida.

4. Pipa adalah salah satu komponen yang berfungsi untuk menyalurkan fluida dari tangki reaktor ke pompa primer. Material yang digunakan adalah Aluminum.

Table 3. 2 Karakteristik sistem Pendingin Primer (BATAN,2016)

Nama	Karakteristik	Keterangan
Pompa sentrifugal	Daya: 40 Kw Kapasitas: 950 gpm Total head: 15 m Tekanan kerja: 1.5 bar Putaran: 1450 RPM Temperatur kerja maksimum: 80 °C Bahan: Stainless steel	Ada dua pomp, satu pompa sebagai cadangan
Motor penggerak	Motor 3 phase Daya: 20 HP (14.9 kw) Tegangan: 220/380/440 v Putaran: 1450 RPM Frekuensi: 50 Hz	Ada dua motor satu sebagai cadangan
Katup gerbang	Buka atau tutup manual	Ada empat katup
Katup cegah		Ada dua katup
Alat penukar panas	Kapasitas maksimum: 2000 Kw Tipe: Plate Bahan plat: SS 304, SS 306 and Titanium Bahan gasket: Neoprene dan Nitrile rubber Panjang plat 177 cm Lebar plat: 61 cm Tebal plat: 0.06 cm Jarak antar plat: 0.356 cm	Ada sebuah alat penukar panas
Pendingin primer pada alat penukar panas	Laju aliran mak. Primer: 950 gpm ΔT primer: 10 °C at P = 2000 Kw T(in) HE= 42.2 °C T(out) HE= 32.2 °C	
Pipa	Diameter dalam: 15.24 cm Tebal: 0.5 cm	Panjang seluruh pipa primer 56 m

Kualitas air pendingin primer	Jenis bahan pendingin: Air ringan (H ₂ O) PH: 5.5 – 6.5 konduktivitas: < 3.5 µmhos Hardness for Si, Mg, Ca, and Na < 1ppm	Volume air di dalam tanki adalah 15.5m ³
-------------------------------	---	---

3.4 Alat Ukur Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa alat ukur yang digunakan yaitu:

1. Flow meter

Alat ini berfungsi untuk mengukur laju aliran yang masuk pompa primer yang digunakan adalah *Omega digital flow meter AZ-8921*.



Gambar 3. 3 *Flow Meter*

2. *Automatic voltage regulator*

Automatic voltage regulator (AVR) adalah sebuah divais pengatur tegangan yang digunakan pada generator sinkron untuk menyetabilkan

tegangan keluaran yang dihasilkan dari generator sinkron, yang digunakan adalah *Krisbow Pro Stabilizer SVC- 500 VA Red Analog*.



Gambar 3. 4 *Automatic Voltage Regulator*

3. *Temperatur Gauge*

Alat ini berfungsi untuk mengukur temperatur pada saat operasi pompa primer, yang digunakan adalah Omega S-844824.



Gambar 3. 5 Temperatur Gauge

4. *Pressure gauge*

Alat ini berfungsi untuk mengukur tekanan masuk pompa primer yang digunakan adalah Omega PGH-45B.



Gambar 3. 6 *Pressure Gauge*

5. Katup Gerbang

Katup gerbang (*gate valve*) adalah katup bertekanan rendah yang digunakan untuk menghentikan aliran. Katup gerbang dirancang dengan cakram tipe gerbang atau baji untuk mengontrol pembukaan atau penutupan katup. Katup gerbang memiliki pegangan berbentuk roda dengan dudukan penyegelan dari logam ke logam. Material yang digunakan untuk katup gerbang adalah Baja Tempa A105.



Gambar 3. 7 Katup Gerbang

3.5 Teknik Pengumpulan Dan Pengolahan Data

3.5.1 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan perancangan untuk analisis kecepatan aliran fluida pada pompa pendingin primer. Dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu sebagai berikut:

1. Metode pustaka

Metode ini bertujuan untuk melakukan kajian teoritis dengan menggunakan referensi yaitu: jurnal dengan judul “Karakterisasi Unjuk Kerja Pompa Sistem Reaktor TRIGA 2000” sama jurnal dengan judul “Evaluasi Kinerja Pompa Pendingin Primer RSG-GAS Setelah Beroperasi 27.000 Jam Operasi” berkaitan dengan judul yang akan disusun, sehingga mempunyai dasar yang bisa di pertanggung jawaban secara akademis.

2. Observasi

Observasi adalah metode untuk memperoleh data dengan cara mengamati di mana laju alirannya diubah-ubah dengan cara mengatur besar kecilnya pembukaan katup sama mengukur dan mencatat besar tekanan masuk dan keluar melalui alat ukur tekanan secara langsung dari penelitian, dalam penelitian ini dilakukan agar alat bisa sesuai dengan yang direncanakan.

3. Pengujian

Metode ini bertujuan untuk proses mencatat dan mengumpulkan data pada saat operasi pompa primer. Sebelum peneliti beroperasi, peneliti membuat tim untuk mencatat data dengan seksama, masing-masing anggota memiliki tugas yang berbeda-beda, diantaranya:

1. Mencatat laju aliran masuk
2. mencatat laju aliran keluar
3. mencatat tekanan masuk
4. mencatat tekanan keluar
5. memutar katup
6. mencatat temperatur masuk dan keluar
7. mencatat arus listrik sama tegangan listrik motor

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini dapat diklasifikasi menjadi 2 yaitu:

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab terjadinya perubahan dan timbulnya variabel dependent terikat (Sugiyono, 2015). Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian yaitu memutar katup dari mulai 5 putaran s/d 30 putaran, laju aliran masuk pada pompa primer, mulai nilai laju aliran 695 *gpm* s/d 820,1 *gpm*. Variabel bebas dilakukan seperti tabel 3.3.

Table 3. 3 Variabel bebas

NO	Variable bebas	Nilai
1	Bukaan katup (Putaran)	5,10,15,20,25,30
2	Laju aliran masuk (<i>gpm</i>)	695,709.8,782.8,804.7,814.5,820,1

2. Variabel terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi dan yang menjadi akibat adanya variabel bebas (Sugiyono, 2015). Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian yaitu temperatur masuk dan keluar, tekanan masuk dan keluar serta head pompa. Variabel terikat dilakukan seperti tabel 3.4.

Table 3. 4 Variabel terikat dalam panitia

NO	Variable terikat
1	Temperatur masuk dan keluar
2	Tekanan masuk dan keluar
3	Head pompa

3.5.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan setelah mengumpulkan data pada saat operasi pompa primer, kemudian menghitung head primer,

menghitung daya pompa dan daya motor listrik pompa, menghitung kecepatan aliran dan efisiensi pompa, dan diakhiri dengan membuat grafik.

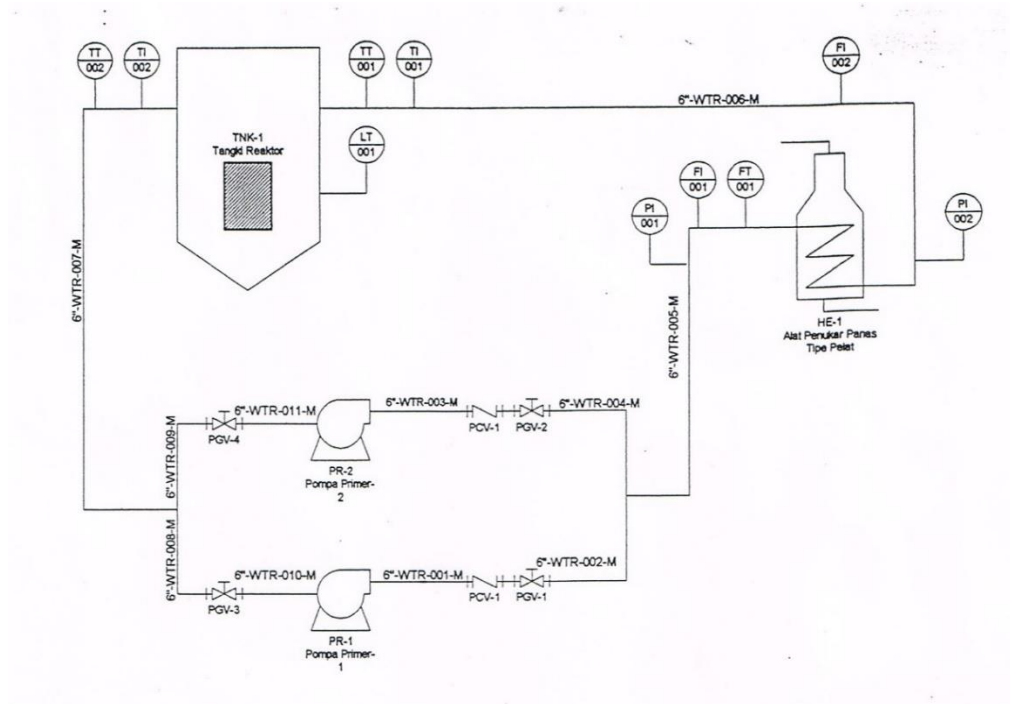


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini melakukan analisis dengan mengikuti prosedur kesehatan dan keselamatan BATAN. Pompa primer yang dilakukan dengan kondisi baik dan aman dan semua alat-alat ukur dalam kondisi baik dan aman, telah terkalibrasi dan siap digunakan. Penelitian analisis kecepatan aliran fluida pada pompa primer dilakukan untuk mendapatkan kurva karakteristik pompa dan data perhitungan yang meliputi daya, kecepatan aliran, head pompa, dan efisiensi pompa.

Berdasarkan hasil pengujian pada pompa primer untuk analisis kecepatan aliran fluida didapatkan data pengujian pada penelitian sebanyak 7 kali pada saat operasi pompa. Kemudian data yang didapatkan dihitung terlebih dahulu setelah itu dimasukkan dalam kurva. Nilai daya reaktor yang digunakan konstan sebesar 500 KW. Nilai temperatur konstan juga sebesar 24°C. Parameter yang diukur pada saat pompa beroperasi meliputi: tekanan masuk dan tekanan keluar, putaran dari bukaan katup serta kapasitas masuk dan kapasitas keluar. Untuk menggunakan perhitungan menghasilkan head pompa, kecepatan aliran dan efisiensi pompa.

4.1 Pengujian Head Pump Di Sistem Pendingin Primer TRIGA 2000 KW



Gambar 4. 1 Diagram Sistem Pendingin (BATAN,2016)

Diagram piping dan instrumentasi (P&ID) seperti di gambar 4.1, dalam diagram ini ada beberapa alat-alat tersebut secara singkat yaitu:

DT-1: Penukar panas

R-01: Reaktor

DT-01: Decay tank

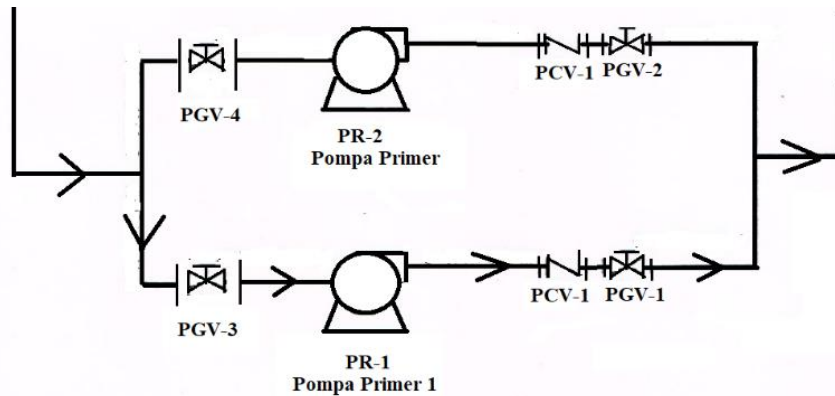
P-01: Pompa primer

PI: Pressure indicator

TI: Temperatur Indicator

FI: Flow indicator

LI: Level indicator



Gambar 4. 2 Pompa Primer Pada Sistem Pendingin

Pada gambar 4.2 ini dapat dilihat jalur aliran mengalir dari pompa primer melalui katup gate valve handed operated kemudian masuk pompa primer setelah keluar aliran dari pompa primer melalui check valve dan katup gate valve handed operated kemudian memindah ke penukar panas.

Hasil penelitian mencatat nilai tekanan masuk dan tekanan keluar pada saat pomp beroperasi. Kemudian nilai head pompa primer dihitung menggunakan rumus dengan persamaan berikut (B.Soekodijat, 2005):

$$H = \left(\frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho} \right) + \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right) + (Z_2 - Z_1) \quad (4.1)$$

$$\left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right) = 0$$

$$(Z_2 - Z_1) = 0$$

$$H = \frac{P_k - P_m}{\rho} \quad [\text{m}] \quad (4.2)$$

$\rho = 997.3 \text{ kg/m}^3$ Berdasarkan tabel 2.1 dapat diketahui nilai massa jenis air untuk suhu 24°C .

$$H_1 = \frac{P_k - P_m}{\rho} = \frac{22498,24 \text{ kg/m}^2 - 9842,98 \text{ kg/m}^2}{997.3 \text{ kg/m}^3} = 12,6895 \text{ m}$$

$$H_2 = \frac{21092,1 \text{ kg/m}^2 - 9139,91 \text{ kg/m}^2}{997.3 \text{ kg/m}^3} = 11,98458 \text{ m}$$

$$H_3 = \frac{19685,96 \text{ kg/m}^2 - 8436,84 \text{ kg/m}^2}{997.3 \text{ kg/m}^3} = 11,27957485 \text{ m}$$

$$H_4 = \frac{18279.82 \text{ kg/m}^2 - 7733.77 \text{ kg/m}^2}{997.3 \text{ kg/m}^3} = 10.5746 \text{ m}$$

$$H_5 = \frac{16170.61 \text{ kg/m}^2 - 6327.63 \text{ kg/m}^2}{997.3 \text{ kg/m}^3} = 9.86928 \text{ m}$$

$$H_6 = \frac{16170.61 \text{ kg/m}^2 - 6327.63 \text{ kg/m}^2}{997.3 \text{ kg/m}^3} = 9.86928 \text{ m}$$

Table 4. 1 Hasi data pengujian

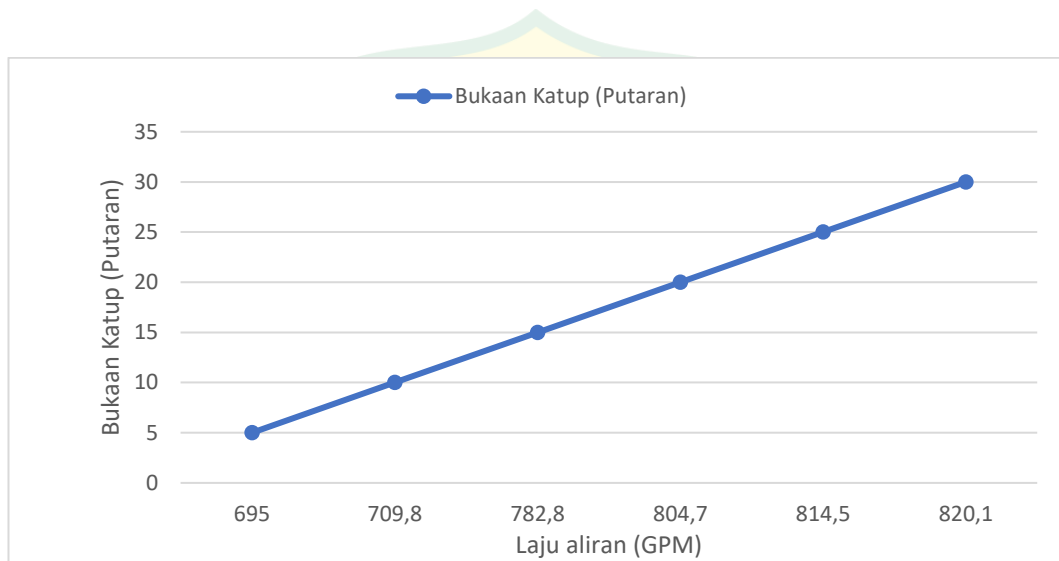
Bukaan katup (Putaran)	Flow in(gpm)	Flow out(gpm)	T in	T out	P in	P out	Head Pompa(M)
5	695	510	24	24	14	32	12,68952171
10	709,8	660	24	24	13	30	11,98454828
15	782,8	740	24	24	12	28	11,27957485
20	804,7	763	24	24	11	26	10,57460142
25	814,5	766	24	24	9	23	9,869627996
30	820,1	770	24	24	9	23	9,869627996

Berdasarkan tabel 4.1 menunjukkan bahwa data hasil pengujian pada saat operasi pompa primer bukaan katup mulai 5 s/d 30 putaran, nilai laju aliran masuk lebih tinggi dari nilai laju aliran keluar. Nilai laju aliran masuk dapat diatur oleh putaran bukaan katup semakin bertambah bukaan katup semakin naik nilai laju aliran, dan konsep ini juga berlaku pada laju aliran keluar. Pada putaran bukaan katup ke 5 maka nilai laju aliran masuk sebesar 695 *gpm* dan nilai laju aliran keluar sebesar 510 *gpm* dan pada saat putaran bukaan katup ke 30, nilai laju alir masuk sebesar 820,1 *gpm*.

Kemudian nilai tekanan masuk lebih kecil dari nilai tekanan keluar. Nilai tekanan masuk paling tinggi sebesar 14 *psi* dan nilai tekanan masuk paling rendah sebesar 9 *psi*. Sedangkan nilai tekanan keluar paling tinggi sebesar 32 *psi* dan nilai tekanan keluar paling rendah sebesar 23 *psi*. Kemudian pada putaran bukaan katup ke 5, nilai tekanan masuk sebesar 14 *psi* dan nilai tekanan keluar sebesar 32 *psi* Hal ini dikarenakan bukaan katup bertambah maka nilai tekanan masuk dan

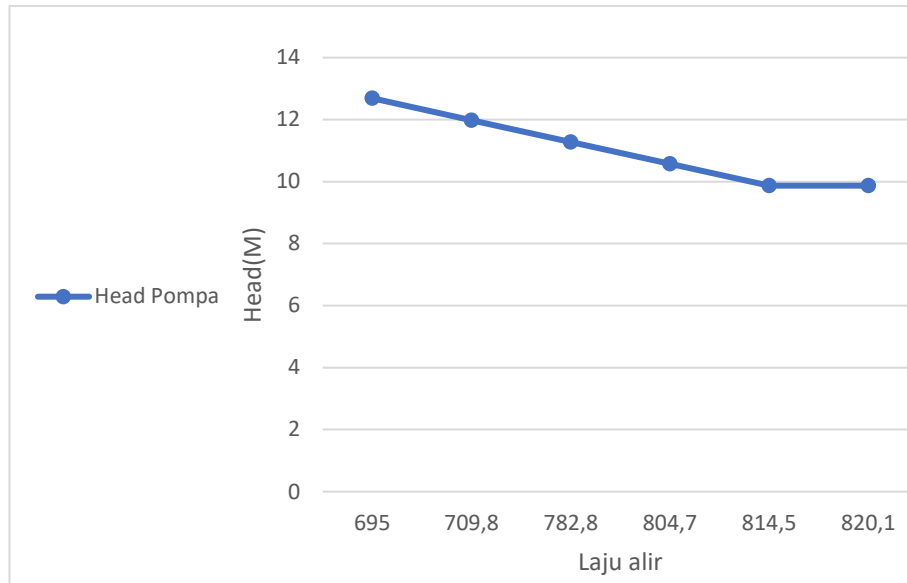
keluar mengalami penurunan. Dapat disimpulkan bahwa nilai laju aliran masuk dan keluar serta nilai tekanan masuk dan keluar diatur oleh putaran bukaan katup.

Kemudian nilai temperatur masuk dan keluar konstan sebesar 24°C . Kemudian nilai head pompa mengalami penurunan. Nilai head pompa paling tinggi sebesar $12,69\text{ m}$ dan nilai head pompa paling rendah sebesar $9,87\text{ m}$.



Gambar 4. 3 Kurva hubungan antara laju alir terhadap bukaan katup

Berdasarkan gambar 4.3 Dapat dilihat bahwa semakin bertambah putaran bukaan katup maka laju alir akan semakin meningkat, ini disebabkan laju alir mengalir dalam pompa pada saat bukaan katup. Nilai laju alir paling tinggi sebesar 815 GPM , sedangkan nilai laju alir paling rendah sebesar 695 GPM .



Gambar 4. 4 Kurva hubungan antara laju alir terhadap head

Berdasarkan gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin bertambah nilai laju alir maka head pompa akan semakin kecil didapatkan nilai sebesar 9.87 m, karena *head pump* menurun akibat tekanan menurun dan tekanan menurun akibat bukaan putaran. Jadi, semakin bertambah putaran bukaan katup maka tekanan dan head pump semakin menurun.

4.2 Pengujian Daya Pompa

Setelah dilakukan Penelitian terhadap perhitungan nilai head pompa, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai daya pompa menggunakan rumus dengan persamaan berikut:

$$P_p = \rho g Q H [w] \quad (4.3)$$

$$P_{p1} = 997,3 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,0438 \text{ m}^3/\text{s} \times 12,69 \text{ m} = 5437,69 \text{ W}$$

$$P_{p2} = 997,3 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,0448 \text{ m}^3/\text{s} \times 11,98 \text{ m} = 5252,84 \text{ W}$$

$$P_{p3} = 997,3 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,0494 \text{ m}^3/\text{s} \times 11,28 \text{ m} = 5451,48 \text{ W}$$

$$P_{p4} = 997,3 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,0508 \text{ m}^3/\text{s} \times 10,57 \text{ m} = 5255,60 \text{ W}$$

$$P_{p5} = 997,3 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,0514 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,87 \text{ m} = 4963,17 \text{ W}$$

$$P_{p6} = 997,3 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,0517 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,87 \text{ m} = 4992,13 \text{ W}$$

Table 4. 2 Hasil perhitungan daya pompa

Flow in (m^3/s)	Head Pompa(M)	Daya pompa (W)
0,0438	12,68952171	5437,686806
0,0448	11,98454828	5252,844079
0,0494	11,27957485	5451,48104
0,0508	10,57460142	5255,602925
0,0514	9,869627996	4963,165177
0,0517	9,869627996	4992,133067

Berdasarkan tabel 4.2 menunjukkan bahwa hasil perhitungan daya pompa setelah dilakukan perhitungan data laju aliran dan menghitung nilai head pompa. Didapatkan nilai daya pompa yang paling tinggi sebesar 5451,48 W dan nilai daya pompa yang paling rendah sebesar 4963,17 W.

4.3 Pengujian kecepatan aliran

Setelah dilakukan Penelitian terhadap perhitungan nilai daya pompa selanjutnya dilakukan perhitungan nilai kecepatan aliran menggunakan rumus dengan persamaan berikut:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (4.4)$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (4.5)$$

$$d = 15.24 \text{ cm}$$

$$A = \frac{\pi}{4} 15.24^2 \text{ cm} = 182.32 \text{ cm}^2 = 0.018232 \text{ m}^2$$

$$V_1 = \frac{Q}{A} = \frac{0.0438 \text{ m}^3/s}{0.018232 \text{ m}^2} = 2.40237 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \frac{0.0448 \text{ m}^3/s}{0.018232} = 2.4627 \text{ m/s}$$

$$V_3 = \frac{0.0494 \text{ m}^3/\text{s}}{0.018232} = 2.70952 \text{ m/s}$$

$$V_4 = \frac{0.0508 \text{ m}^3/\text{s}}{0.018232} = 2.78631 \text{ m/s}$$

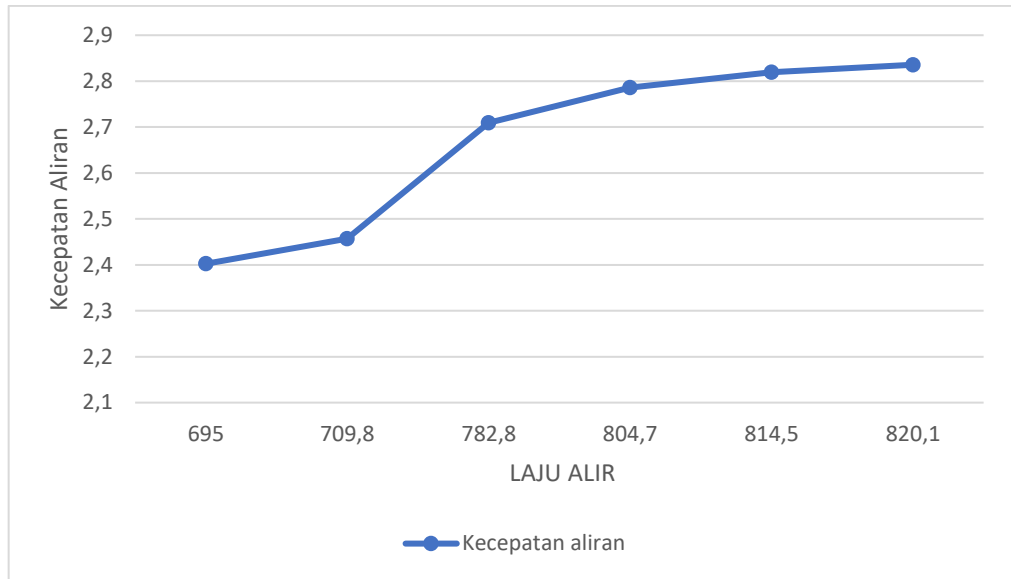
$$V_5 = \frac{0.0514 \text{ m}^3/\text{s}}{0.018232} = 2.81922 \text{ m/s}$$

$$V_6 = \frac{0.0517 \text{ m}^3/\text{s}}{0.018232} = 2.83567 \text{ m/s}$$

Table 4. 3 Hasil data kecepatan aliran

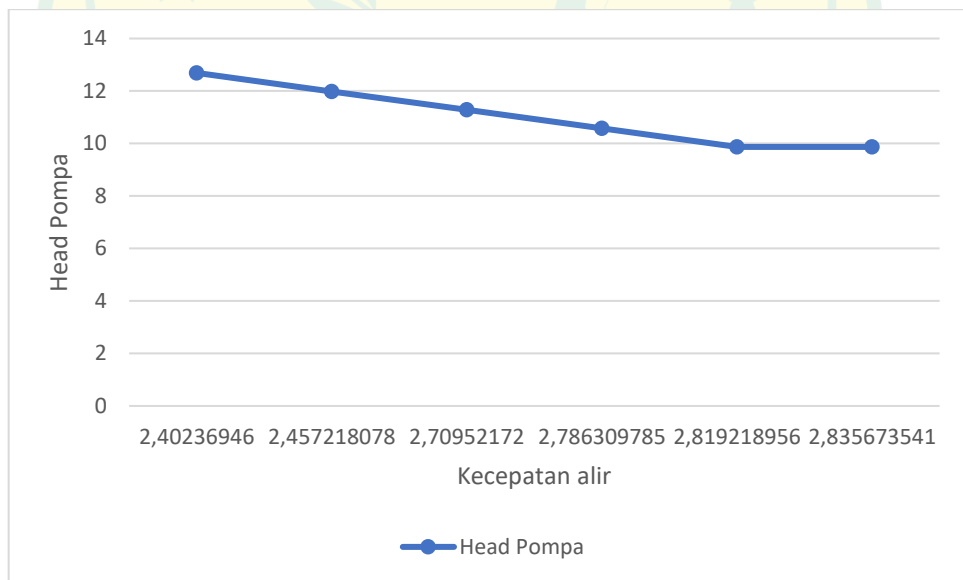
Kecepatan Aliran (m/s)
2,40236946
2,46270294
2,70952172
2,786309785
2,819218956
2,835673541

Berdasarkan tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai kecepatan aliran mengalami kenaikan, Kemudian nilai kecepatan aliran paling tinggi sebesar 2,84 m/s dan nilai kecepatan aliran paling rendah sebesar 2,40 m/s.



Gambar 4. 5 Kurva hubungan antara laju alir terhadap kecepatan alir

Berdasarkan gambar 4.5 Dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai kecepatan Aliran maka nilai laju aliran juga mengalami kenaikan. Jadi semakin bertambah putaran bukaan katup semakin naik nilai kecepatan aliran.



Gambar 4. 6 Kurva hubungan antara kecepatan alir terhadap head pompa

Berdasarkan gambar 4.6 Dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai kecepatan alir maka nilai head pompa mengalami penurunan. Karena head pomp menurun akibat tekanan menurun. Hal ini diakibatkan putaran bukaan katup. Jadi semakin bertambah putaran bukaan katup semakin menurun nilai tekanan dan juga menurun nilai head pompa.

4.4 Pengujian efisiensi pompa

Setelah dilakukan Penelitian terhadap perhitungan nilai kecepatan aliran, selanjutnya dilakukan penelitian terhadap perhitungan nilai efisiensi pompa menggunakan rumus dengan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_p}{P_{mp}} \times 100\% = \frac{\rho g Q H}{3 V I \cos \beta} \times 100\% \quad (4.6)$$

$\beta = 0.1$ Berdasarkan tabel 2.2 dapat diketahui faktor daya motor.

Penelitian dilakukan memperhitungkan nilai daya motor listrik terlebih dahulu menggunakan rumus dengan persamaan berikut:

$$P_{mp} = 3 V I \cos \beta \quad (4.7)$$

$$P_{mp1} = 3 \times 220 V \times 21,5 A \times \cos 0,1 = 14175,81 W$$

$$P_{mp2} = 3 \times 220 V \times 22,2 A \times \cos 0,1 = 14637,35 W$$

$$P_{mp3} = 3 \times 220 V \times 22,3 A \times \cos 0,1 = 14703,28 W$$

$$P_{mp4} = 3 \times 220 V \times 22,2 A \times \cos 0,1 = 14637,35 W$$

$$P_{mp5} = 3 \times 220 V \times 22,1 A \times \cos 0,1 = 14571,14 W$$

$$P_{mp6} = 3 \times 220 V \times 22,1 A \times \cos 0,1 = 14571,14 W$$

Setelah dilakukan perhitungan nilai motor listrik, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai efisiensi:

$$\eta_1 = \frac{5437,69 W}{14175,81 W} \times 100\% = 38,36 \%$$

$$\eta_2 = \frac{5252,84 W}{14637,35 W} \times 100\% = 35,89 \%$$

$$\eta_3 = \frac{5451,48 W}{14703,28 W} \times 100\% = 37,08 \%$$

$$\eta_4 = \frac{5255,60 W}{14637,35 W} \times 100\% = 35,91 \%$$

$$\eta_5 = \frac{4963,17 W}{14571,41 W} \times 100\% = 34,06\%$$

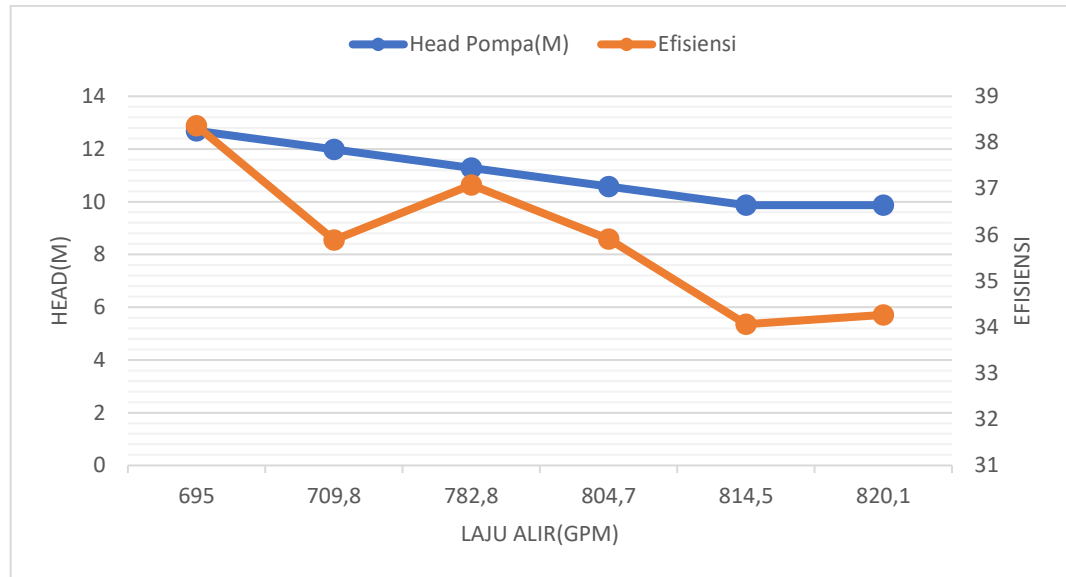
$$\eta_6 = \frac{4992,13 W}{14571,41 W} \times 100\% = 34,26 \%$$

Table 4. 4 Hasil data efisiensi

Arus listrik(A)	Tegangan listrik(V)	Daya motor listrik (W)	Efisiensi (%)
21,5	220	14175,81	38,35891428
22,2	220	14637,348	35,88658327
22,3	220	14703,282	37,07662711
22,2	220	14637,348	35,90543127
22,1	220	14571,414	34,06097155
22,1	220	14571,414	34,259771

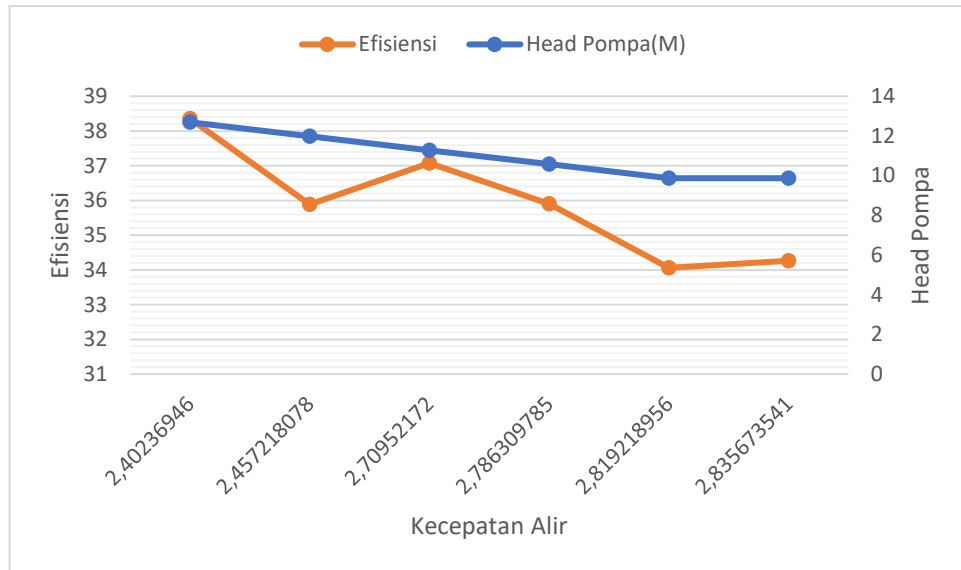
Berdasarkan tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai efisiensi tidak stabil. Nilai efisiensi paling tinggi 38.36% dan nilai efisiensi paling rendah sebesar 34.06%.

Nilai efisiensi pompa tidak stabil pada saat pompa beroperasi. Nilai efisiensi pompa paling tinggi sebesar 38,36% pada saat putaran bukaan ke 5 putaran, kemudian nilai efisiensi pompa turun sebesar 35,97% pada saat putaran bukaan ke10. Hal ini dikarenakan kenaikan nilai laju aliran yang pertama dan kedua kecil, sehingga nilai efisiensi menurun. Kemudian nilai efisiensi pompa mengalami kenaikan sebesar 37,08 % pada saat putaran bukaan katup ke 15. Hal ini dikarenakan nilai laju aliran kedua dan ketiga mengalami kenaikan. Dapat disimpulkan bahwa semakin naik nilai laju aliran semakin naik juga nilai efisiensi pompa. Sedangkan semakin nilai laju aliran yang pertama dan kedua kecil semakin nilai efisiensi menurun.



Gambar 4. 7 Kurva hubungan antara laju alir terhadap head dan efisiensi pompa

Berdasarkan gambar 4.7 dapat dilihat bahwa semakin nilai laju alir tinggi maka nilai head pompa menurun, dan dapat dilihat pula bahwasanya nilai efisiensi pompa tidak stabil. Hal ini dikarenakan nilai head pompa menurun akibat tekanan menurun, kemudian nilai efisiensi pompa menurun dikarenakan kenaikan nilai laju alir yang pertama dan kedua kecil, maka nilai efisiensi pompa menurun. Adapun nilai efisiensi pompa pada nilai laju alir kedua dan ketiga mengalami kenaikan, hal ini disebabkan karena kenaikan pada laju alir tersebut (kedua dan ketiga) besar. Dan konsep ini juga berlaku pada laju alir setelahnya. Adapun pada nilai laju alir kelima dan keenam grafik efisiensi pompa stabil, dikarenakan grafik head pump yang stabil maka grafik efisiensi pompa stabil.



Gambar 4. 8 Kurva hubungan antara kecepatan alir terhadap efisiensi dan head pompa

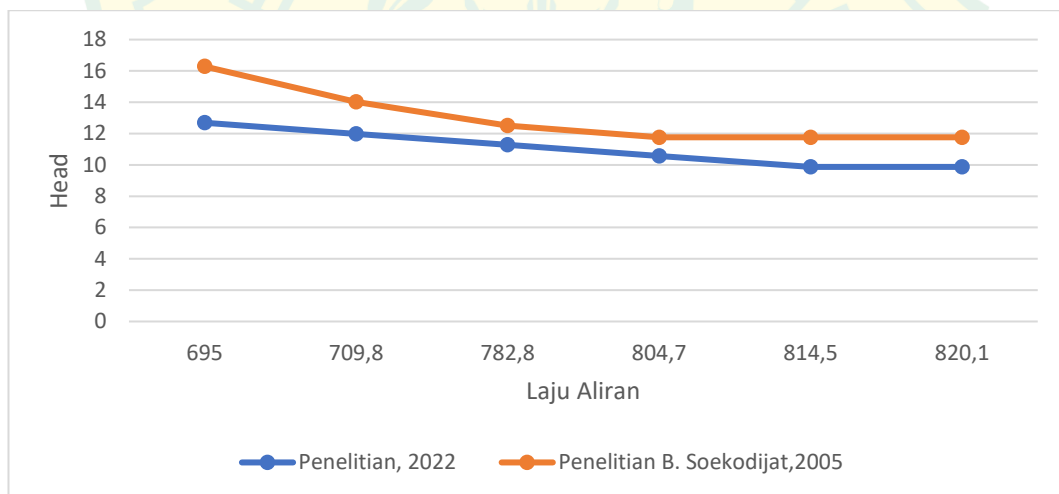
Berdasarkan gambar 4.8 dapat dilihat bahwa semakin kecepatan aliran tinggi maka nilai head pompa menurun, dan dapat dilihat pula bahwasanya nilai efisiensi pompa tidak stabil. Hal ini dikarenakan nilai head pompa menurun akibat tekanan menurun, kemudian nilai efisiensi pompa menurun dikarenakan kenaikan nilai kecepatan aliran yang pertama dan kedua kecil, maka nilai efisiensi pompa menurun. Adapun nilai efisiensi pompa pada nilai kecepatan aliran kedua dan ketiga mengalami kenaikan, hal ini disebabkan karena kenaikan pada kecepatan aliran tersebut (kedua dan ketiga) besar. Dan konsep ini juga berlaku pada kecepatan aliran setelahnya. Adapun pada nilai kecepatan aliran kelima dan keenam grafik efisiensi pompa stabil, dikarenakan grafik head pompa yang stabil maka grafik efisiensi pompa stabil.

Perbandingan antara gambar 4.7 dan gambar 4.8 adalah perbandingan laju aliran dengan kecepatan aliran terhadap head pompa dan efisiensi yaitu nilai laju aliran lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kecepatan aliran, nilai laju aliran paling tinggi sebesar 820,1 gpm

dan nilai laju aliran paling rendah sebesar 695 gpm. Beda nilai laju aliran yang paling tinggi sama dengan nilai laju aliran yang paling rendah sebesar 125,1gpm. Sedangkan nilai kecepatan aliran paling tinggi sebesar 2,84 m/s dan nilai kecepatan aliran yang paling rendah sebesar 2,40 m/s. Jadi beda nilai kecepatan aliran yang paling tinggi sama dengan nilai kecepatan yang paling rendah sebesar 0.44 m/s.

4.5 Perbandingan dengan literatur

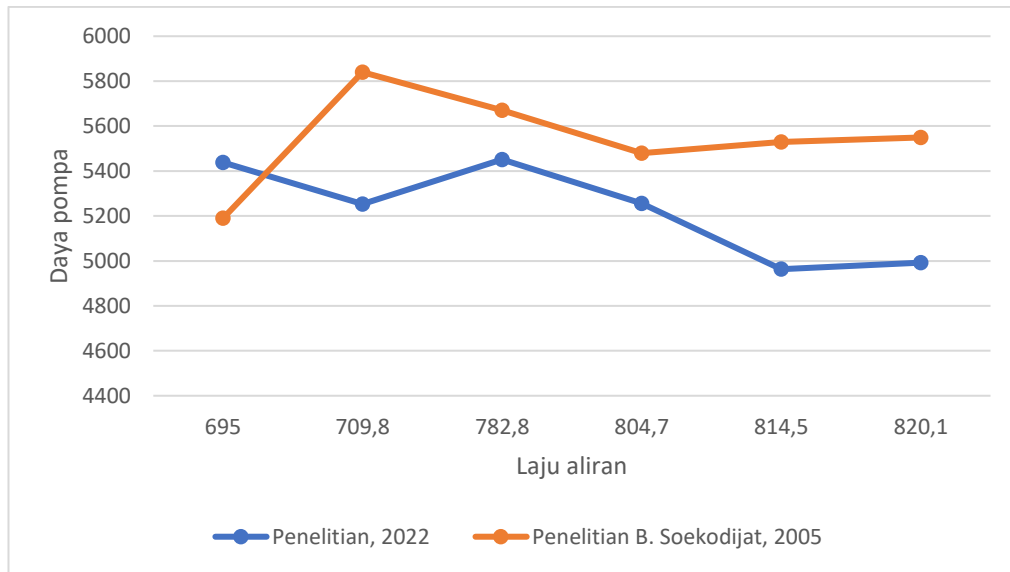
Perbandingan verifikasi kurva kinerja pompa primer BATAN antara penelitian yang penulis lakukan dengan judul “Karakterisasi unjuk kerja pompa sistem pendingin primer reaktor TRIGA 2000” dari jurnal sains dan teknologi nuklir Indonesia oleh (B. Soekodijat,2005), didapatkan hasil perbandingan sebagai berikut:



Gambar 4. 9 Perbandingan antara nilai laju aliran dan head

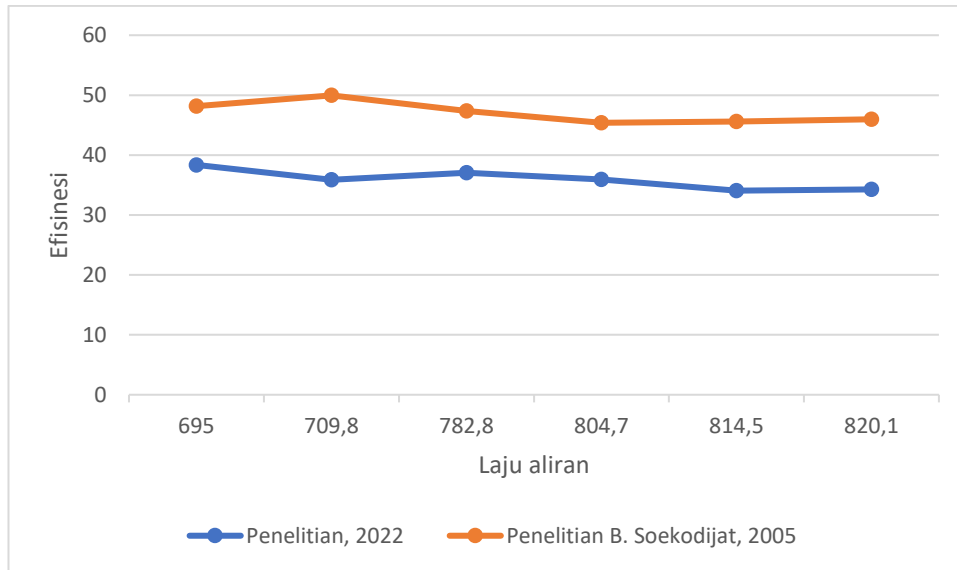
Berdasarkan gambar 4.9 dapat dilihat bahwa nilai head pompa penelitian dan nilai head pompa B.Soekodijat hampir sama. Semakin naik nilai laju aliran semakin menurun nilai head pompa. Nilai head pompa B.Soekodijat lebih tinggi

dari nilai head pompa penelitian. Hal ini disebabkan tekanan B.Soekodijat lebih tinggi dari tekanan penelitian. Nilai head pompa B.Soekodijat paling tinggi sebesar 16 m dan nilai head pompa B.Soekodijat paling rendah sebesar 11,76 m. Sedangkan nilai head pompa penelitian paling tinggi sebesar 12,69 m dan nilai head pompa penelitian paling rendah sebesar 9,87 m.



Gambar 4. 10 Perbandingan antara daya pompa terhadap laju aliran

Berdasarkan gambar 4.10 dapat dilihat bahwa daya pompa B.Soekodijat lebih tinggi dari nilai daya pompa penelitian. Hal ini disebabkan nilai head pompa B.Soekodijat lebih tinggi dari nilai head pompa penelitian. Nilai daya pompa B.Soekodijat paling tinggi sebesar 5840 W pada nilai laju aliran sebesar 709,8 gpm dan nilai daya pompa B.Soekodijat paling rendah sebesar 5190 W .pada nilai laju aliran sebesar 695 gpm. Sedangkan nilai daya pompa paling tinggi sebesar 5451,48 W pada nilai laju aliran sebesar 782,8 gpm dan nilai daya pompa paling rendah sebesar 4963,17 W pada nilai laju aliran 814,5 gpm.



Gambar 4. 11 Perbandingan antara nilai efisiensi terhadap nilai laju aliran

Berdasarkan gambar 4.11 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi B.Soekodijat lebih tinggi dari nilai efisiensi penelitian. Hal ini disebabkan nilai daya pompa B.Soekodijat lebih tinggi. Nilai efisiensi B.Soekodijat paling tinggi sebesar 49,96% pada nilai laju aliran sebesar 709,8 *gpm* dan nilai efisiensi B.Soekodijat paling rendah sebesar 45,39%.pada nilai laju aliran sebesar 804,7 *gpm*. Sedangkan nilai efisiensi penelitian paling tinggi sebesar 38,36% pada nilai laju aliran sebesar 695 *gpm*, dan nilai efisiensi penelitian paling rendah sebesar 34,26% pada nilai laju aliran sebesar 814*gpm*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisis data dan pembahasan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar bukaan katup, semakin menurun nilai tekanan.
2. Semakin besar bukaan katup, semakin meningkat nilai laju aliran dan kecepatan aliran.
3. Semakin meningkat nilai laju aliran dan kecepatan aliran, maka nilai head pompa akan semakin kecil.
4. Semakin menurun nilai efisiensi, maka nilai laju aliran dan kecepatan aliran akan semakin kecil
5. Semakin naik nilai efisiensi, maka nilai laju alir dan kecepatan semakin meningkat.

5.2 Saran

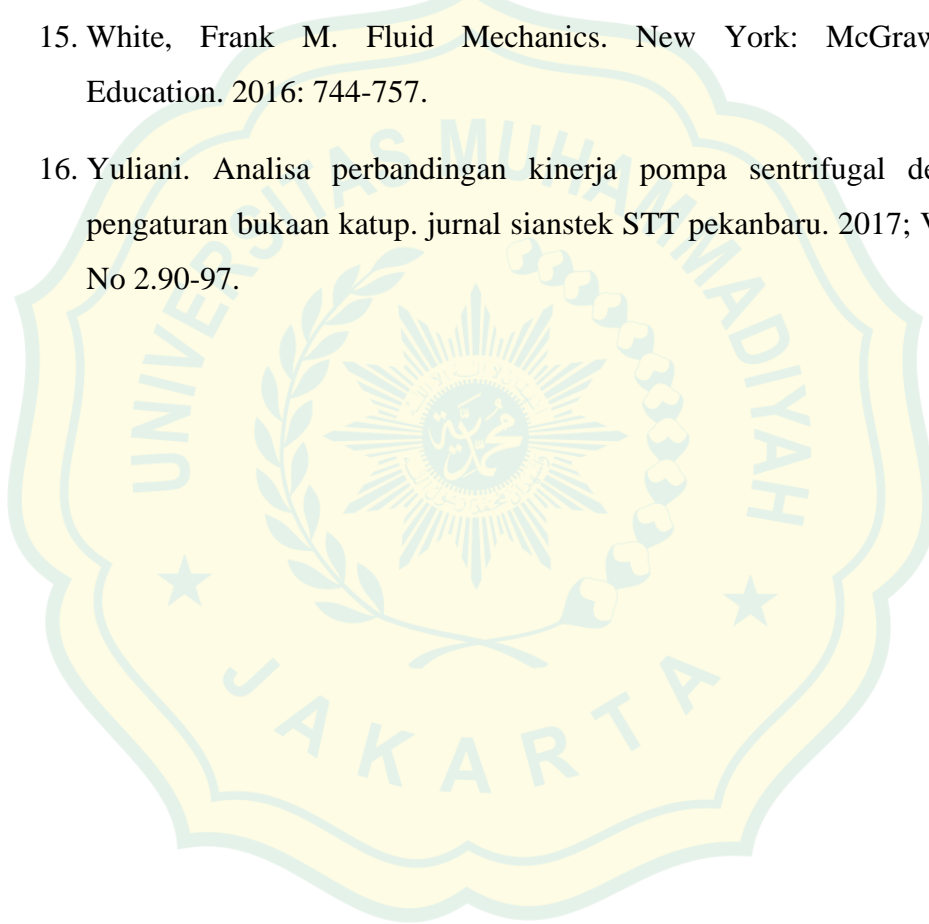
Berdasarkan dari hasil analisis data, direkomendasikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Pada saat dilakukan penelitian selanjutnya, seharusnya motor penggerak dapat diganti dengan daya yang lebih besar lagi sehingga data-data yang dihasilkan memuaskan.
2. Pada saat dilakukan penelitian selanjutnya, seharusnya dapat dilakukan bukaan katup selain kelipatan 5 sehingga dapat dihasilkan data yang berbeda.
3. Mengganti alat ukur digital untuk memudahkan hasil pembacaan.

DATAR PUSTAKA

1. A. J. Stepanoff. Centrifugal and Axial Flow Pumps. New York. 1957:161-164
2. Asuaje, M. Bakir, F., Kouidri, S. Kenyery, F. and Rey, R. *Numerical modelization of the flow in centrifugal pump: volute influence in velocity and pressure fields. International journal of rotating machinery.* 2005; 3: 244-255.
3. E.Umar. Perancangan ulang dan pemasangan sistem pendingin primer reaktor TRIGA 2000. Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia. 2000: 902
4. Gülich, J. F. *Centrifugal pumps.* Berlin: Springer 2008; 2: 43-46
5. Hickr. Edward. Teknologi Pemakaian Pompa. Jakarta Erlangga 2006: 26-30
6. H. W. Coleman and W. G. Steele. Experimentation and Uncertainty Analysis for Engineers. New York: Wiley and Inc. 2009: 58-60.
7. Jami, Abdul. SANTOSO, Budi. Desain sistem pendingin primer reaktor TRIGA Pelat. PRIMA-Aplikasi dan Rekayasa dalam Bidang Iptek Nuklir. 2019. 16.1: 34-42.
8. Putra, R. Candra. Perancangan Pompa Sentrifugal Dan Diameter Luar Impeller Untuk Kebutuhan Air Kapasitas 60 LPM DI Gedung F dan D Universitas Muhammadiyah Tangerang, 2018, vol 7, 15-25.
9. R. J. Moffat. *Contributions to the Theory of Single-Sample Uncertainty Analysis. Journal of Fluids Engineering.* 2010; 104: 250-258.
10. Soekodijat. B. Karakterisasi Unjuk Kerja Pompa Sistem Pendingin Primer Reaktor Triga 2000. Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia, 2005, Vol 3. No1, 31- 44.
11. Suharto, Bambang. Mekanika Fluida. Malang. Perpustakaan nasional. 2009: 47-53.

12. SUROSO. Evaluasi Kinerja Pompa Pendingin Primer RSG-GAS Setelah Beroperasi 27.000 jam Operasi. *Mesin*. 2006; 8: 202-212.
13. Umar, E. Kamajaya, K. *Redesign, Construction and Operation Characteristic of the Primary Cooling System of TRIGA 2000 Reactor*. National Nuclear Energy Agency of Indonesia. 2015:1-8.
14. Umar, E. Kamajaya, K. Ramadhan, A. I. Evaluation of the Pump Capability of the Primary Cooling of TRIGA 2000 Research Reactor. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020.
15. White, Frank M. *Fluid Mechanics*. New York: McGraw-Hill Education. 2016: 744-757.
16. Yuliani. Analisa perbandingan kinerja pompa sentrifugal dengan pengaturan bukaan katup. *jurnal sianstek STT pekanbaru*. 2017; Vol 5, No 2.90-97.







Gambar A. 1 Dokumentasi sebelum dilakukan pengujian pompa primer



Gambar A. 2 Pompa Primer



Gambar A. 3 Dokumentasi Penelitian





Gambar A. 4 Dokumentasi pengambilan data

No	Bukaannya katup	Daya (KW)	Flow in (gpm)	Flow out (gpm)	T in	T out	P in	P out	P out - P in	kg/m ³	Head Pompa
1	5	500	695	510	24	24	14	32	18	12655,3	12,68952171
2	10	500	709,8	660	24	24	13	30	17	11952,2	11,98454828
3	15	500	782,8	740	24	24	12	28	16	11249,1	11,27957485
4	20	500	804,7	763	24	24	11	26	15	10546,1	10,57460142
5	25	500	814,5	766	24	24	9	23	14	9842,98	9,869627996
6	30	500	820,1	770	24	24	9	23	14	9842,98	9,869627996

Gambar B. 1 Data hasil pengujian

P in (kg/m ²)	P out (kg/m ²)	Head Pompa (M)	Arus listrik	Tegangan listrik	Daya motor listrik	Daya pompa	Kecepatan (m/s)	Efisiensi
9842,98	22498,24	12,68952171	21,5	220	14175,81	5437,68681	2,40236946	38,35891428
9139,91	21092,1	11,98454828	22,2	220	14637,348	5252,84408	2,457218078	35,88658327
8436,84	19685,96	11,27957485	22,3	220	14703,282	5451,48104	2,70952172	37,07662711
7733,77	18279,82	10,57460142	22,2	220	14637,348	5255,60293	2,786309785	35,90543127
6327,63	16170,61	9,869627996	22,1	220	14571,414	4963,16518	2,819218956	34,06097155
6327,63	16170,61	9,869627996	22,1	220	14571,414	4992,13307	2,835673541	34,259771

Gambar B. 2 Data hasil perhitungan