

TUGAS AKHIR

KARAKTERISTIK UNJUK KERJA POMPA SEBAGAI TURBIN (PAT) DENGAN DEBIT AIR MASUK MENGUNAKAN 2 POMPA SENTRIFUGAL DENGAN SUSUNAN SERI

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

DEDE DENI
1307230271



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Dede Deni
NPM : 1307230271
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Karakteristik Unjuk Kerja Pompa Sebagai Turbin (PAT)
Dengan Debit Air Masuk Menggunakan 2 Pompa Sentrifugal
Dengan Susunan Seri
Bidang Ilmu : Alat Berat

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 29 Februari 2020

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I

H. Muharnif M, S.T.,M.Sc

Dosen Penguji II

Ahmad Marabdi Siregar, S.T.,M.T

Dosen Penguji III

Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji IV

Sudirman Lubis, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,

Afandi, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Dede Deni
Tempat /Tanggal Lahir : Bandung/17 September 1995
NPM : 1307230271
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Karakteristik Unjuk Kerja Pompa Sebagai Turbin (PAT) Dengan Debit Air Masuk Menggunakan 2 Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 29 Februari 2020

Saya yang menyatakan,



ABSTRAK

Pompa adalah alat yang digunakan untuk memindahkan cairan (fluida) dari suatu tempat ketempat yang lain melalui media pipa atau saluran. Energi pada fluida dihasilkan dari impeller yang merubah energi kinetis (kecepatan) cairan menjadi energi potensial (dinamis). Selain digunakan untuk memindahkan cairan (fluida) pada saat ini pompa juga dapat digunakan sebagai turbin yaitu dengan cara merubah perinsip kerja dari pompa tersebut dengan cara memberikan jatuhan air pada suatu ketinggian untuk memutar impeller pada pompa sehingga pompa tersebut dapat beroperasi terbalik atau disebut dengan (pump as turbine), pada penelitian ini impeller pada pompa sebagai turbin digerakan oleh debit air atau tekanan air yang cukup besar, debit air tersebut bersumber dari dua buah pompa sentrifugal dengan susunan seri yang difungsikan sebagai tenaga pendorong atau penyalur fluida yang diasumsikan sebagai jatuh tinggi air atau head. Penggunaan pompa sentrifugal dengan susunan seri adalah supaya untuk menghasilkan head yang besar untuk mendapatkan jatuh tinggi air atau head yang maksimal untuk memutar sebuah pompa sebagai turbin. penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu menggunakan dua buah pompa sentrifugal sebagai penyalur fluida dan satu buah pompa yang digunakan sebagai turbin dan menggunakan variasi beban bola lampu 5 watt dan 10 watt Dari hasil perhitungan pompa hisap dan pompa sebagai turbin tanpa menggunakan beban bola lampu kecepatan putaran pompa yaitu 920,5 rpm dan kecepatan spesifik turbin yang dihasilkan adalah 76,61 rpm. dengan menggunakan beban bola lampu 5 watt kecepatan putaran pompa sebesar 553 rpm dan kecepatan spesifik turbin yang dihasilkan 44,24 rpm, dengan menggunakan beban bola lampu 10 watt kecepatan putaran pompa sebesar 335 rpm dan kecepatan spesifik turbin yang dihasilkan adalah 26,8 rpm. Semakin besar nilai head pompa, maka debit air yang dihasilkan akan semakin kecil begitu juga sebaliknya, besar dan kecilnya head pompa yang didapatkan juga dipengaruhi oleh adanya pemberian beban pada turbin

Kata Kunci: Unjuk Kerja Pompa Sebagai Turbin, Debit air, Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri.

ABSTRACT

The pump is a device used to move fluid from one place to another through a media pipe or channel. The energy in the fluid is produced from the impeller which converts the kinetic energy (velocity) of the liquid into potential (dynamic) energy. Besides being used to move fluid (fluid) at this time the pump can also be used as a turbine by changing the working principle of the pump by giving a drop of water at an altitude to rotate the impeller on the pump so that the pump can operate upside down or called a pump as turbine), in this study the impeller on the pump as a turbine is driven by a water flow or water pressure that is large enough, the water flow is sourced from two centrifugal pumps with a series arrangement that functions as a driving force or fluid distributor which is assumed to be a high water fall or head. The use of centrifugal pumps with a series arrangement is so as to produce a large head to get a high water fall or a maximum head for turning a pump as a turbine. This study uses an experimental method that is using two centrifugal pumps as a fluid distributor and one pump that is used as a turbine and uses a variation of 5 watt and 10 watt light bulb. From the calculation of the suction pump and pump as a turbine without using a light bulb pump speed namely 920.5 rpm and the specific speed of the turbine produced is 76.61 rpm. by using a 5 watt light bulb load the pump rotation speed is 553 rpm and the specific turbine speed produced is 44.24 rpm, using a 10 watt light bulb load the pump rotation speed is 335 rpm and the specific turbine speed produced is 26.8 rpm. The greater the value of the pump head, the resulting water discharge will be smaller and vice versa, the size and size of the pump head obtained is also influenced by the presence of load on the turbine

Keywords: Pump Performance as Turbines, Water Discharge, Centrifugal Pumps with Series Arrangements.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Karakteristik Unjuk Kerja Pompa Sebagai Turbin (PAT) Dengan Debit Air Masuk Menggunakan 2 Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri”, sebagai syarat untuk meraih gelar Akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Sudirman Lubis, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Sarjana ini.
3. Bapak H. Muharnif M, S.T.,M.Sc selaku Dosen Pembimbing dan Penguji I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Affandi, S.T.,M.T sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis.

7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Didi dan Ibunda tercinta Ai Yati yang telah banyak memberikan kasih sayang, nasehat, doa, serta pengorbanan yang tidak dapat ternilai dengan apapun.
9. Abangda tercinta Wandu Kurnia dan adinda tercinta Mawar yang telah banyak membantu serta memberikan semangat dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan tugas sarjana ini.
10. Sahabat-sahabat penulis: Ahmad Panggabean, Alpin Lazuardi, Deni Prastio, Dwi Suryon, Billi Ardika, Hendra Gunawan, Nauli Anugrah Situmeang, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.
11. Seluruh anggota tim Pump As Turbine Ahmad alfian Lubis, Amir Hamzah Harahap, Alex sander Lubis, Salamat Junaidi yang telah bekerja sama dalam menyelesaikan alat uji dan tugas sarjana ini.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi Teknik Mesin.

Medan, 29 Februari 2020

Dede Deni

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Pompa	4
2.2. Klasifikasi Pompa	4
2.2.1. <i>Positive Displacement Pump</i> (Pompa Pemindah Positif)	4
2.2.2. Pompa Dinamik (<i>Dynamic Pump</i>)	6
2.3. Pompa Sentrifugal	7
2.4. Klasifikasi Pompa Sentrifugal	9
2.5. Pengertian Fluida	9
2.6. Jenis- jenis Aliran Fluida Dalam Pipa	10
2.6.1. Aliran Laminar	10
2.6.2. Aliran Turbulen	10
2.7. Kinerja Aliran Fluida	11
2.8. Perhitungan Head	12
2.8.1. Head Total Pompa	12
2.8.2. Head Statis Total	13
2.8.3. Head Kerugian Gesek Untuk Zat Cair Dalam Pipa	14
2.8.4. Head Kerugian Gesek Disepanjang Aliran Dalam Pipa	14
2.8.5. Head Kerugian Gesek Pada Sambungan Elbow 90° Dalam Pipa	15
2.8.6. Head Kerugian Gesek Pada Katub Isap Dengan Saringan	15
2.9. Perhitungan Daya	15
2.9.1. Daya Hidrolis	15
2.9.2. Daya Pompa	16
2.9.3. Efisiensi Pompa	16
2.10. NPSH (Net Positive Suction Head)	17
2.11. Operasi Pompa Seri Dan Pararel	17
2.12. Turbin Air	18

2.13. Alternator	19
2.14. Persamaan Yang Digunakan Pada Turbin	19
2.14.1. Kecepatan Spesifik Turbin	19
2.14.2. Persamaan Untuk Menghitung Daya Air (P_{in})	20
2.14.3. Persamaan Untuk Menghitung Daya Turbin (P_{out})	20
2.14.4. Persamaan Untuk Menghitung Efisiensi Turbin	20
BAB 3 METODOLOGI	
3.1 Tempat dan Waktu	22
3.2 Alat dan Bahan	23
3.3 Bagan Alir Penelitian	28
3.4 Rancangan Alat Penelitian	29
3.5 Prosedur Penelitian	29
3.6 Spesifikasi Pompa	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengujian Dan Pengambilan Data	32
4.2 Perhitungan Pada Pompa Penggerak Dengan Beban Bola Lampu 0 watt	35
4.2.1 Perhitungan Pada Pompa 1	35
4.2.2 Perhitungan Pompa 2	44
4.2.3 Perhitungan Pada Pompa Seri	52
4.2.4 Perhitungan Pada Pompa Sebagai Turbin	52
4.3 Perhitungan Pada Pompa Penggerak Dengan Beban Bola Lampu 5 Watt	54
4.3.1 Perhitungan Pada Pompa 1	54
4.3.2 Perhitungan Pompa 2	63
4.3.3 Perhitungan Pada Pompa Seri	71
4.3.4 Perhitungan Pada Pompa Sebagai Turbin Dengan Beban Bola Lampu 5 Watt	71
4.4 Perhitungan Pada Pompa Penggerak Dengan Beban Bola Lampu 10 Watt	73
4.4.1 Perhitungan Pada Pompa 1	73
4.4.2 Perhitungan Pompa 2	82
4.4.3 Perhitungan Pada Pompa Seri	90
4.4.4 Perhitungan Pada Pompa Sebagai Turbin Dengan Beban Bola Lampu 10 Watt	90
4.5 Pembahasan Grafik Pompa Sebagai Turbin	92
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	95
5.2. Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI	
SURAT KETENTUAN PEMBIMBING	

**BERITA ACARA
DAFTAR RIWAYAT HIDUP**

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Waktu Penelitian	22
Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian	92

DAFTAR GAMBAR

Keterangan Gambar	Halaman
Gambar 2.1. Pompa <i>Rotary</i>	5
Gambar 2.2. Pompa Sentrifugal	6
Gambar 2.3. Pompa Aksial	7
Gambar 2.4. Bagian-Bagian Aliran Fluida Didalam Pompa Sentrifugal	8
Gambar 2.5. Aliran Laminar	10
Gambar 2.6. Aliran Turbulen	11
Gambar 2.7. Head Pompa	12
Gambar 3.1. Pompa Sentrifugal	23
Gambar 3.2. Flow Meter	24
Gambar 3.3. Bak Penampungan Air	24
Gambar 3.4. Pipa pvc 1 1/2 inci	24
Gambar 3.5. Magnet Dan Spul Sepeda Motor	25
Gambar 3.6. Elbow	25
Gambar 3.7. Multi Tester	26
Gambar 3.8. Stop Watch	26
Gambar 3.9. Tacho Meter	27
Gambar 3.10. Tang Amper	27
Gambar 3.11. Bagan Alir Penelitian Pompa Sebagai Turbin	28
Gambar 3.12. Bagian-bagian Pompa Sebagai Turbin	29
Gambar 3.13. Pompa Penggerak 1	30
Gambar 3.14. Pompa Sebagai Turbin	30
Gambar 3.15. Pompa Penggerak 2	31
Gambar 4.1. Alat Uji Pompa Sebagai Turbin	32
Gambar 4.2. Pompa 1 Dan Pompa 2	32
Gambar 4.3. Mengatur Saluran Masuk Air Pada Instalasi Pipa	33
Gambar 4.4. Pengujian Tanpa Menggunakan Beban Lampu	33
Gambar 4.5. Pengujian Menggunakan Beban Lampu 5 Watt Dan 10 Watt	34
Gambar 4.6. Pengambilan Data Debit Pada Flow Meter	34
Gambar 4.7. Pengambilan Data Putaran Pompa Sebagai Turbin	34
Gambar 4.8. Pengambilan Data Pada Alternator	35
Gambar 4.9. Mengukur Kuat Arus	35
Gambar 4.10. Head Pompa 1 Beban Bola Lampu 0 Watt	37
Gambar 4.11. Head Pompa 2 Beban Bola Lampu 0 Watt	45
Gambar 4.12. Head Pompa 1 Beban Bola Lampu 5 Watt	56
Gambar 4.13. Head Pompa 2 Beban Bola Lampu 5 Watt	65
Gambar 4.14. Head Pompa 1 Beban Bola Lampu 10 Watt	76
Gambar 4.15. Head Pompa 2 Beban Bola Lampu 10 Watt	84
Gambar 4.16. Grafik Data Variasi Dengan Beban Lampu	94
Gambar 4.17. Grafik Efisiensi vs N_q	95
Gambar 4.18. Grafik P_{out} vs N_q	95
Gambar 4.19. Grafik Debit, Head, Dan N_q	96

DAFTAR NOTASI

Keterangan	Simbol	Satuan
Arus listrik	I	Ampere
Bilangan Reynold	Re	m
Berbagai kerugian head dipipa, katub, belokan	hl	mm
Diameter poros	D	mm
Diameter pipa	d	Inchi
Debit aliran	Q	m ³ /s
Debit aliran sisi isap	Q _i	m ³ /s
Debit aliran sisi tekan	Q _t	m ³ /s
Daya turbin	P _{out}	Watt
Daya hidrolis	Nh	kW
Daya listrik	p	Volt
Daya air	P _{in}	m ³ /detik
Daya Motor	N _m	kW
Efisiensi pompa	η	%
Efisiensi turbin	η_t	%
Faktor gesekan	f	
Faktor akibat adanya katub isap dengan saringan	k	
Faktor Kelengkungan Pipa Elbow 90°	K ₁	°
Head statis pada sisi tekan	Z _t	m
Head statis pada sisi isap	Z _i	m
Head kerugian gesek dalam pipa	h _f	m
Head total	H	m
Head statis total	H _s	m
Kerugian keseluruhan pada pipa tekan	hl _t	m
Kerugian keseluruhan pada pipa isap	hl _i	m
Kerugian head pada sambungan	hl ₁	
Kerugian head pada katub isap dengan saringan	hl ₂	
Kecepatan aliran	V	m/s
Kecepatan aliran pada sisi tekan	V _t	m/s
Kecepatan aliran pada sisi isap	V _i	m/s
Kecepatan putaran turbin	n	rpm
Kecepatan spesifik turbin	n _q	rpm
Luas penampang	A	m ²
Massa jenis air	ρ	kg/m ³
Massa jenis fluida	γ	kg/m ³
Nilai kekasaran pada pipa (PVC)	ε	
NPSH	h _{sv}	m
Panjang Pipa	L	m
Putaran	n	rpm
Putaran spesifik	n _s	rpm
Percepatan gravitasi	g	m/s ²
Perbedaan head tekan	Δh_p	m

Tekanan Mutlak Zat Cair Dalam Tangki	P_a	kgf/m^2
Tekanan uap jenuh air bersih	P_v	kgf/m^2
Volume	V	m^3
Viskositas kinetik zat cair	ν	m^2/s
Waktu	t	s

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pompa adalah alat yang digunakan untuk memindahkan cairan (*fluida*) dari suatu tempat ketempat yang lain melalui media pipa atau saluran dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan. Energi pada *fluida* dihasilkan dari *impeller* yang merubah energi kinetis (kecepatan) cairan menjadi energi potensial (dinamis). *Fluida* yang masuk kedalam pompa akan mengalami penambahan energi, penambahan energi pada *fluida* akan mengakibatkan penambahan debit aliran, daya, head, dan efisiensi pompa (Surya Agus Pratama: 2017).

Pada saat ini selain digunakan untuk memindahkan cairan (*fluida*) pompa juga digunakan sebagai alternatif yang bisa digunakan sebagai turbin, dimana pada pompa sebagai turbin ini secara mekanik digerakan oleh *fluida* pada suatu ketinggian atau head untuk memutar pompa sehingga pompa tersebut dapat beroperasi terbalik atau disebut dengan *Pump As Turbine* (PAT).

Pemanfaatan pompa merupakan pilihan yang ekonomis untuk dijadikan turbin, pompa yang dimaksud telah banyak tersedia dipasaran dan diproduksi dalam jumlah yang besar, harga yang relatif terjangkau dan tersedia dalam berbagai ukuran dan variasi. Bertambahnya permintaan energi yang memperhatikan faktor lingkungan dan aspek ekologi menjadikan penggunaan pompa sebagai turbin sebagai inovasi tepat guna untuk dijadikan turbin. hal ini dapat membantu untuk mengatasi krisis energi listrik dan juga mendukung program pemerintah untuk memanfaatkan energi terbarukan yang ramah lingkungan yang dapat dikembangkan untuk mengatasi semakin meningkatnya penggunaan energi listrik.

Untuk merealisasikan head atau tinggi jatuh air beberapa eksperimen menggunakan pompa sebagai tenaga pendorong atau penyalur *fluida* yang akan disalurkan terhadap pompa sebagai turbin untuk memutar *impeller*, hal tersebut menggambarkan bahwa tidak lagi menggunakan tinggi jatuh air, tetapi data spesifikasi dari pompa tersebut merupakan tinggi jatuh yang diasumsikan sebagai

tinggi jatuh air atau head untuk menggerakkan pompa sebagai turbin. Dalam memaksimalkan tinggi jatuh tersebut maka dapat dilakukan dengan menghubungkan beberapa buah pompa yang disusun secara seri karena susunan seri dalam susunan pompa adalah untuk menghasilkan head yang besar untuk mendapatkan ketinggian maksimal.

Berdasarkan uraian diatas maka penulis tertarik untuk mengetahui "KARAKTERISTIK UNJUK KERJA POMPA SEBAGAI TURBIN (PAT) DENGAN DEBIT AIR MASUK MENGGUNAKAN 2 POMPA SENTRIFUGAL DENGAN SUSUNAN SERI"

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan karakteristik unjuk kerja pompa sebagai turbin(PAT) dengan debit masuk menggunakan 2 pompa sentrifugal dengan susunan seri.
2. Bagaimana pengaruh head pompa terhadap unjuk kerja pompa sebagai turbin.
3. Bagaimana pengaruh debit pompa terhadap unjuk kerja pompa sebagai turbin.
4. Bagaimana pengaruh efisiensi pompa terhadap unjuk kerja pompa sebagai turbin.
5. Bagaimana pengaruh daya yang dihasilkan pompa terhadap unjuk kerja pompa sebagai turbin.

1.3. Ruang Lingkup

Dalam penelitian tugas akhir ini ruang lingkup masalah meliputi sebagai berikut :

1. Pompa sebagai turbin yang digunakan adalah jenis pompa sentrifugal dengan diameter pipa $1\frac{1}{2}$ " .
2. Pompa penggerak menggunakan dua buah pompa sentrifugal dengan susunan seri.
3. Analisa perhitungan terhadap head, debit aliran, daya, efisiensi pompa, dan perhitungan terhadap unjuk kerja pompa sebagai turbin.

4. Penelitian dilakukan dengan menggunakan beban bola lampu dengan variasi beban 5 watt dan 10 watt.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui karakteristik unjuk kerja pompa sebagai turbin dengan debit air masuk menggunakan 2 pompa sentrifugal dengan susunan seri.
2. Untuk mengetahui pengaruh head, debit aliran, daya, dan efisiensi pompa terhadap unjuk kerja pompa sebagai turbin.
3. Untuk mengetahui karakteristik unjuk kerja pompa sebagai turbin yang ditunjukkan dengan kontur grafik.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Bagi penulis sendiri untuk menambah pengetahuan tentang turbin air, terutama tentang unjuk kerja pompa sebagai turbin.
2. Dari hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian berikutnya yang berkaitan dengan pompa sebagai turbin.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Pompa

Pompa merupakan salah satu jenis mesin fluida yang termasuk golongan mesin kerja. Pompa digunakan untuk mengalirkan cairan (*fluida*) dari suatu tempat ke tempat yang lain melalui media pipa (saluran) dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara terus menerus. Pompa akan mengalami perubahan energi mekanik menjadi energi fluida, pada mesin-mesin hidrolis termasuk pompa, energi fluida ini disebut head atau energi persatuan berat zat cair. Ada tiga bentuk head yang mengalami perubahan yaitu head tekan, kecepatan, dan potensial. Selain dapat memindahkan cairan pompa juga berfungsi untuk meningkatkan kecepatan, tekanan, dan ketinggian pompa.

Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekan antara bagian hisap (*suction*) dengan bagian tekan (*discharge*). Dengan kata lain pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan), dimana energi ini berguna untuk mengalirkan fluida dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran. Pada industri-industri banyak menggunakan pompa sebagai salah satu peralatan bantu yang penting untuk proses produksi, salah satunya untuk mensirkulasi air atau minyak pelumas atau pendingin mesin-mesin industri (Mechanical Engineering: 2011)

2.2. Klasifikasi Pompa

Pompa dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis yang berbeda, misalnya kondisi kerja sebuah pompa, cairan yang dipindahkan pompa, bentuk elemen yang bergerak, jenis penggeraknya, namun secara umum pompa dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

2.2.1. *Positive Displacement Pump* (Pompa Perpindahan Positif)

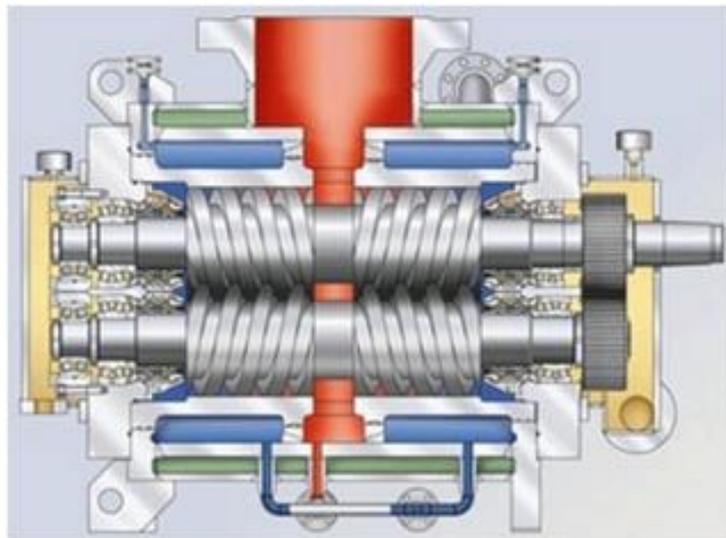
Pompa perpindahan positif adalah perpindahan zat cair dari suatu tempat ke tempat yang lain yang disebabkan oleh adanya perubahan volume ruang kerja

pompa yang diakibatkan oleh gerakan elemen pompa yaitu bolak-balik atau berputar. Pompa jenis ini disebut dengan pompa aksi positif yaitu energi mekanik dari putaran poros pompa yang diubah langsung menjadi energi potensial, pompa jenis ini menghasilkan head yang tinggi tetapi kapasitas yang dihasilkan rendah (Satrio Utomo: 2016).

Pompa perpindahan positif (*Positive Displacement Pump*), memiliki tipe yang lebih bervariasi, secara umum dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Pompa *Rotary*

Pompa *rotary* ini memindahkan *fluida* kerja melalui mekanisme *rotary* dengan jalan menimbulkan efek vakum sehingga dapat menghisap *fluida* kerja dari sisi inlet, dan memindahkannya ke sisi outlet. Terperangkapnya udara didalam *rotary*, secara natural pompa ini akan mengeluarkan udara tersebut. Jenis pompa *rotary* antara lain, pompa roda gigi, pompa screw, dan pompa kipas.



Gambar 2.1. Pompa *Rotary*

2. Pompa *reciprocating*

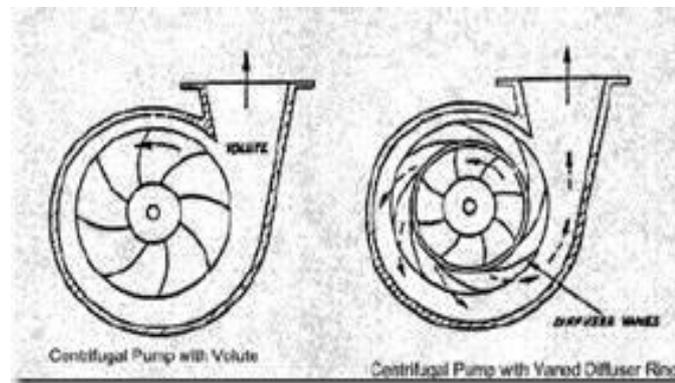
Pompa ini menggunakan piston yang bergerak maju mundur sebagai komponen kerjanya, serta mengarahkan aliran fluida kerjanya satu arah dengan check valve. Pompa reciprocating ini memiliki rongga kerja yang meluas pada saat menghisap fluida dan akan mendorong dengan mempersempit rongga kerja tersebut. Check valve digunakan untuk mengatur arah aliran fluida sehingga akan terjadi proses pemompaan yang seimbang.

2.2.2. Pompa Dinamik (*Dynamic pump*)

Pompa dinamik terbagi dari beberapa macam yaitu pompa sentrifugal, pompa aksial, dan pompa spesial efek atau pompa pengaruh khusus. Pompa-pompa ini beroperasi dengan menghasilkan kecepatan fluida tinggi dan mengkonversi kecepatan menjadi tekanan melalui perubahan penampang aliran fluida. Jenis pompa ini biasanya juga memiliki efisiensi yang lebih rendah daripada tipe pompa perpindahan positif, tetapi memiliki biaya yang rendah untuk perawatannya. Pompa dinamik juga bisa beroperasi pada kecepatan yang tinggi dan debit aliran yang juga tinggi. Berikut jenis-jenis pompa dinamik:

1. Pompa sentrifugal

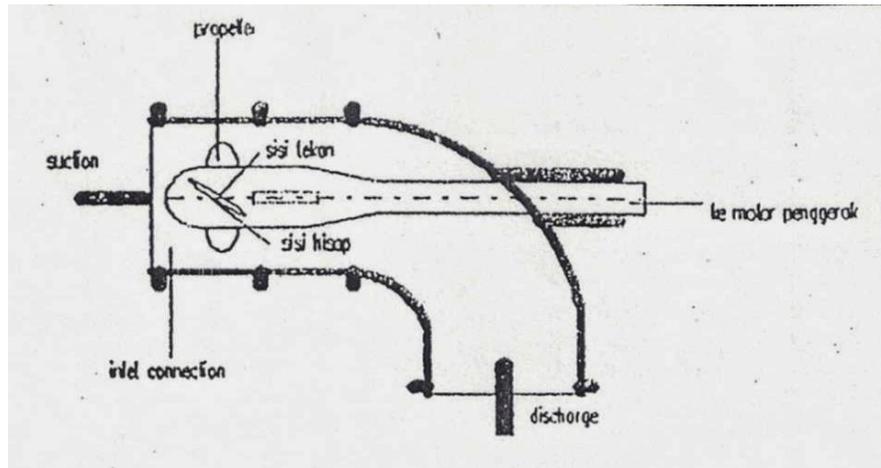
Sebuah pompa sentrifugal tersusun atas sebuah impeller dan saluran inlet ditengah-tengahnya. Dengan desain ini maka pada saat impeller berputar, fluida mengalir menuju casing disekitar impeller sebagai akibat dari gaya sentrifugal. Casing ini berfungsi untuk menurunkan kecepatan aliran fluida sementara kecepatan putar impeller tetap tinggi. Kecepatan fluida dikonversikan menjadi tekanan oleh casing sehingga fluida dapat menuju titik outletnya.



Gambar 2.2. Pompa Sentrifugal

2. Pompa aksial

Pompa aksial bisa juga disebut dengan pompa propeler. Pompa ini menghasilkan sebagian besar tekanan dari propeler dan gaya lifting dari sudu terhadap fluida. Pompa ini banyak digunakan pada sistim drainase dan irigasi. Poma aksial vertikal single stage lebih ekonomis penerapannya. Pompa aksial horizontal digunakan untuk debit aliran fluida yang besar dengan tekanan yang kecil dalam alirannya.



Gambar 2.3. Pompa Aksial

3. Spesial effect pump

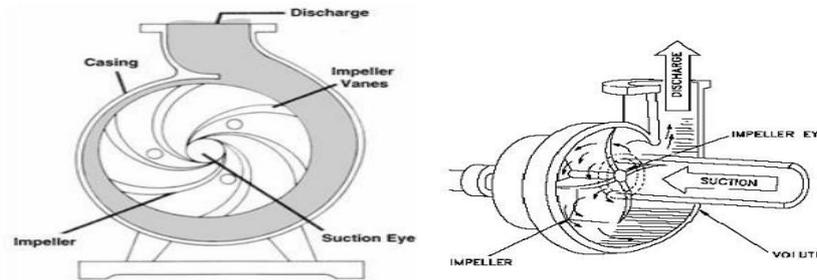
Pompa ini sering digunakan untuk kebutuhan industri. Pompa yang termasuk dalam spesial effect pump yaitu jet (eductor), gas lift, hydraulic ram dan elektromagnetic. Pompa jet digunakan untuk mengkonversi energi tekanan dari fluida bergerak menjadi energi gerak sehingga menciptakan area bertekanan rendah, dan dapat menghisap disisi suction. Gas lift pump adalah sebuah cara untuk mengangkat fluida didalam sebuah kolam dengan jalan menginjeksikan suatu gas tertentu yang menyebabkan turunnya berat hidrostatis dari fluida tersebut sehingga reservoir dapat mengangkatnya kepermukaan. Pompa elektromagnetic adalah pompa yang menggerakkan fluida logam dengan jalan menggunakan gaya elektromagnetic (Satrio Utomo: 2016).

2.3. Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal yaitu pompa untuk memindahkan cairan dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh impeller. Pompa sentrifugal adalah termasuk kedalam jenis pompa tekanan dinamis, dimana pompa jenis ini memiliki impeler yang berfungsi untuk mengangkat fluida dari tempat yang rendah ketempat yang lebih tinggi atau dari tekanan yang lebih rendah ketekanan yang lebih tinggi.

Pompa sentrifugal, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.4 juga dikenal dengan nama rotary pump (pompa rotasi). Pompa sentrifugal mempunyai sebuah impeler (roda jalan) yang terbenam didalam zat cair, untuk mengangkat zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi. Agar supaya bisa

bekerja pompa membutuhkan daya dari mesin penggerak pompa. Didalam roda jalan zat cair mendapat percepatan sedemikian rupa sehingga fluida tersebut mempunyai kecepatan mengalir keluar dari sudu-sudu roda jalan.



Gambar 2.4. Bagian-Bagian Aliran Fluida Didalam Pompa Sentrifugal

Zat cair masuk ke pompa dari dekat sumbu impeler. Daya dari luar diberikan kepada poros pompa untuk memutarakan impeler yang terbenam di dalam zat cair. Maka zat cair yang ada di dalam impeler, oleh dorongan sudu-sudu ikut berputar. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah impeler keluar melalui saluran di antara sudu-sudu. Di sini head tekanan zat cair manjadi lebih tinggi. Demikian pula head kecepatannya bertambah besar karena zat cair mengalami percepatan. Pompa sentrifugal dapat digolongkan lebih lanjut atas pompa volut dan pompa difuser. Pada pompa difuser, impeler memberi zat cair suatu percepatan yang relatif tinggi yang diubah oleh difuser menjadi tekanan. Pompa difuser disebut juga pompa tekanan tinggi, dimana sejumlah impeler digunakan secara urut dengan penomoran dan difuser yang terdiri dari pemandu sudu untuk mengurangi percepatan zat cair secara perlahan-lahan mengikuti masing-masing impeler. Pada pompa volut atau disebut juga pompa tekanan rendah zat cair yang keluar dari impeller ditampung oleh saluran berbentuk volut (spiral) di sekeliling impeler dan disalurkan ke luar pompa melalui nosel. Di dalam nosel ini sebagian head kecepatan aliran diubah menjadi head tekanan. Jadi impeler pompa 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 isap dan flens keluar pompa disebut head total pompa (Sularso: 2000).

2.4. Klasifikasi Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal dapat diklasifikasikan, berdasarkan :

1. kapasitas :

- Kapasitas rendah $< 20 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Kapasitas rendah $20 - 60 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Kapasitas rendah $> 60 \text{ m}^3/\text{jam}$

2. Tekanan Discharge :

- Kapasitas rendah $< 5 \text{ kg/m}^2$
- Kapasitas rendah $5 - 50 \text{ kg/m}^2$
- Kapasitas rendah $> 50 \text{ kg/m}^2$ (Mechanical Engineering: 2011)

2.5. Pengertian Fluida

Fluida merupakan zat cair yang dapat berubah bentuk secara terus menerus jika terkena tegangan geser meskipun tegangan geser tersebut kecil. Fluida lebih mudah mengalir karena ikatan molekul dalam fluida lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, akibatnya fluida mengalami hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan (Aya Snura: 2012)

Energi fluida untuk melakukan kerja yang dinyatakan dalam feet (kaki), tinggi tekan (head) merupakan ketinggian dimana kolom fluida harus naik untuk memperoleh jumlah energi yang mana sama dengan jumlah fluida yang dikandung pada kondisi yang sama.

Head pompa adalah energi persatuan berat yang diperlukan untuk mengalirkan sejumlah zat cair atau fluida yang ditentukan sesuai dengan kondisi instalasi pompa. Head ada dalam tiga bentuk yang dapat saling berubah antara lain:

1. Head potensial /Head aktual

Didasarkan pada ketinggian fluida diatas bidang datar. Jadi, suatu kolam air setinggi dua kaki atau feet mengandung jumlah energi yang disebabkan oleh posisinya dan dikatakan fluida tersebut mempunyai head sebesar dua feet kolam air.

2. Head kinetik/Head kecepatan

Head kinetik atau head aktual adalah suatu ukuran energi kinetik yang dikandung satu-satuan bobot fluida yang disebabkan oleh kecepatan dan dinyatakan persamaan yang biasa dipakai untuk energi kinetik ($V^2/2g$), energi ini dapat dihitung dengan tabung pitot yang diletakan dalam aliran dibawah kaki kedua dari manometer dihubungkan dengan pipa aliran secara tegak lurus dari manometer dihubungkan dengan pipa aliran untuk menyatakan tekanan yang ada pada pipa aliran titik ini

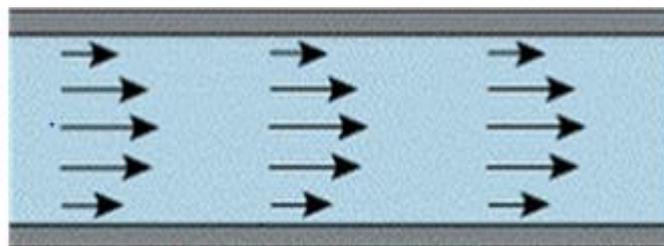
3. Head tekan

Head tekanan adalah energi yang dikandung oleh fluida tekanannya dalam persamaannya adalah ρ/γ . Jika sebuah manometer terbuka dihubungkan dengan sudut tegak lurus aliran, maka fluida didalam tabung akan naik sampai ketinggian yang sama dengan ρ/γ .

2.6. Jenis-Jenis Aliran Fluida Dalam Pipa

2.6.1. Aliran Laminar

Didalam aliran laminar partikel-partikel zat cair bergerak teratur mengikuti lintasan yang saling sejajar. Aliran laminar lebih mudah terjadi bila aliran relatif kecil sedangkan viskositas cairan besar dan pengaruh kekentalan cukup dominan dibandingkan dengan kecepatan aliran, sehingga partikel-partikel zat cair akan bergerak teratur mengikuti lintasan lurus (Aya Snura: 2012)

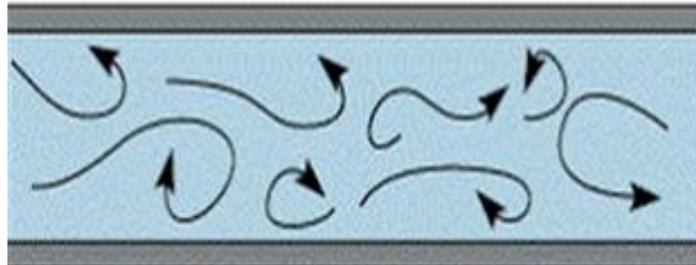


Gambar 2.5. Aliran Laminar

2.6.2. Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah gerakan partikel zat cair yang tidak teratur antara satu dengan yang lain dan sembarang dalam waktu dan ruang. Turbulensi ditimbulkan oleh gaya-gaya viskos dan gerak lapis zat cair yang berdampingan

pada kecepatan berbeda. Karakteristik aliran turbulen ditunjukkan oleh terbentuknya pusaran-pusaran dalam aliran yang menghasilkan pencampuran partikel-partikel secara terus menerus antara partikel-partikel cairan didalam seluruh penampang aliran.



Gambar 2.6. Aliran Turbulen

2.7. Kinerja Aliran Fluida

Faktor yang mempengaruhi kinerja aliran fluida didalam pipa dapat meliputi, debit aliran, dan kecepatan aliran. Dari kedua faktor kinerja aliran tersebut didapat persamaan sebagai berikut:

1. Debit Aliran

Debit/kapasitas adalah volume fluida yang dapat dialirkan persatuan waktu. Pengukuran dari kapasitas dilakukan dengan menggunakan flow meter. Perhitungan debit aliran dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.1)$$

Dimana:

Q = Debit aliran (m^3/s)

v = Volume fluida (m^3)

t = Waktu (s)

2. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran sebagai kinerja aliran fluida dapat dirumuskanng sebagai berikut:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.2)$$

Dimana:

V = Kecepatan aliran(m/s)

Q = Debit aliran (m^3/s)

$A =$ Luas penampang pipa bagian dalam (m^2)

Sebelum menghitung kecepatan aliran, terlebih dahulu harus menghitung luas penampang pipa dengan rumus sebagai berikut:

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (2.3)$$

Dimana:

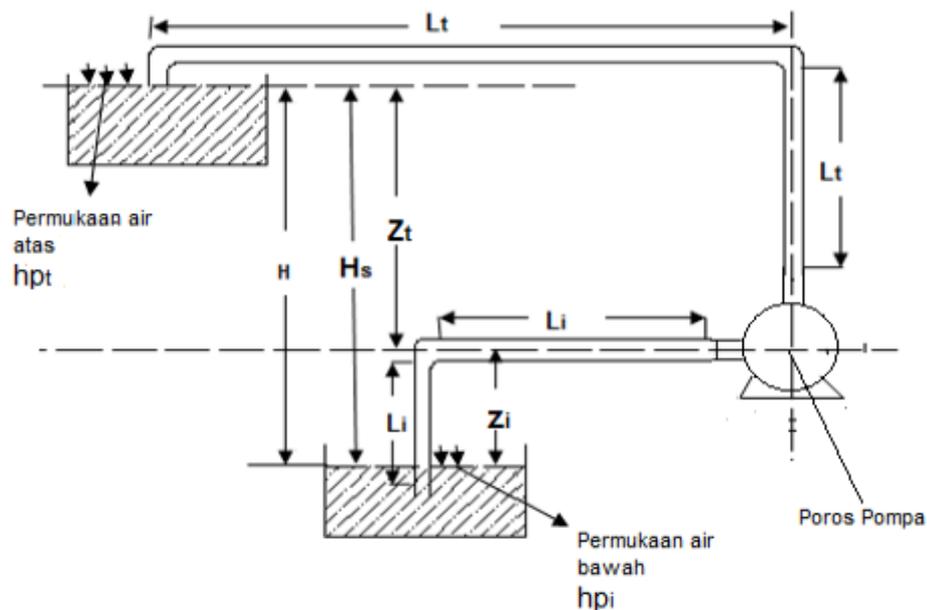
$A =$ Luas penampang sebuah pipa (m^2)

$d =$ Diameter pipa (inchi)

2.8. Perhitungan Head

2.8.1. Head Total Pompa

Dalam memilih suatu pompa untuk maksud tertentu, terlebih dahulu harus diketahui aliran serta head yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair yang akan dipompa. Head pompa adalah energi persatuan berat yang diperlukan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan sesuai kondisi instalasi pompa atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang. Head dapat bervariasi pada penampang yang berbeda, tetapi pada kenyataannya selalu ada energi rugi. Head total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan jumlah air seperti direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa.



Gambar 2.7. Head Pompa

Dari gambar 2.7 Kita dapat menentukan head total pompa dengan persamaan dibawah ini :

$$H = H_s + \Delta h_p + h_l + \frac{V_t^2}{2g} \quad (2.4)$$

Dimana :

H = Head total pompa (m)

H_s = Head statis total (m)

Δh_p = Perbedaan head tekanan yang berada pada permukaan air (m), Δh_p :
 $h_{pt} - h_{pi}$

h_l = Berbagai kerugian head dipipa, katup, belokan, sambungan (m), h_l :
 $h_{lt} + h_{li}$

$\frac{V_t^2}{2g}$ = Head kecepatan keluar (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

Head total pompa salah satunya dipengaruhi oleh berbagai kerugian pada sistem perpipaan yaitu gesekan dalam pipa, katup, belokan, sambungan, saringan dan lain-lain. Untuk menentukan head total yang harus disediakan pompa, perlu menghitung terlebih dahulu kerugian-kerugian pada instalasi. Dimana kerugian-kerugian tersebut akan dijumlahkan untuk mengetahui kerugian head yang terjadi didalam instalasi.

2.8.2. Head Statis Total

Head potensial / elevasi adalah perbedaan ketinggian antara fluida pada sisi tekan dengan ketinggian fluida pada sisi isap. Head statis total dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut (Sularso: 2000)

$$H_s = Z_t - Z_i \quad (2.5)$$

Dimana :

H_s = Head status total (m)

Z_t = Head statis pada sisi tekan (m)

Z_i = Head statis pada sisi isap (m)

2.8.3. Head Kerugian Gesek Untuk Zat Cair Didalam Pipa

Aliran fluida memiliki beberapa tipe aliran yaitu aliran laminar, turbulen, dan transisi. Untuk mengetahui suatu jenis aliran tersebut maka dapat digunakan perhitungan bilangan reynold yaitu suatu bilangan yang tak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran laminar, turbulen, dan transisi.

Bilangan Reynold :

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} \quad (2.6)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

d = Diameter pipa (m)

ν = Viskositas kinetik zat cair (m^2/s)

Bilangan reynold dapat digunakan untuk mengetahui aliran laminar atau aliran turbulen yang terjadi pada pipa. Aliran yang terjadi dalam pipa bisa dikatakan bersifat laminar jika $Re < 2300$ dan aliran dalam pipa bisa dikatakan bersifat aliran turbulen jika $Re > 4000$. Sedangkan aliran transisi terjadi pada kondisi diantara aliran laminar dan turbulen.

2.8.4. Head Kerugian Gesek Disepanjang Aliran Dalam Pipa

Untuk menghitung faktor gesekan antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang didalam pipa dapat dipakai rumus Darcy yang secara matematis ditulis sebagai berikut :

$$h_f = f \frac{L \cdot V^2}{d \cdot 2 \cdot g} \quad (2.7)$$

Dimana :

h_f = Head kerugian gesek dalam pipa (m)

f = Faktor gesekan

L = Panjang pipa (m)

d = diameter dalam pipa (m)

V = Kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

2.8.5. Head Kerugian Gesek Pada Sambungan Elbow 90° Dalam Pipa

Kerugian minor adalah kehilangan tekanan yang disebabkan oleh adanya gesekan yang terjadi pada katub-katub, sambungan belokan dan pada luas penampang yang tidak tetap. *Fluida* yang melewati belokan dan katub *head loss minor* tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$hl_1 = n k_1 \frac{V^2}{2g} \quad (2.8)$$

Dimana:

n = Jumlah sambungan 90°

k_1 = Faktor kelengkungan pipa lekuk 90° = 1,129 (*Lampiran tabel kerugian belokan pipa*).

V = Kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

2.8.6. Head Kerugian Gesek Pada Katup Isap Dengan Saringan

Kerugian ini dapat dilihat dengan persamaan berikut:

$$Hl_2 = k \frac{V^2}{2g} \quad () \quad (\text{Yuliani: 2017}) \quad (2.9)$$

Dimana:

k = Faktor akibat adanya katup isap dengan saringan = 1,97 (*lampiran Tabel kerugian dari berbagai katup isap dengan saringan*).

V = Kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s)

2.9. Perhitungan Daya

2.9.1. Daya Hidrolis

Daya hidrolis (daya pompa teoritis) adalah daya yang diperlukan untuk mengalirkan sejumlah zat cair. Daya hidrolis dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$N_h = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{102} \quad (2.10)$$

Dimana:

N_h = Daya hidrolis (kW)

γ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

Q = Debit aliran (m^3/s)

H = Head total (m)

2.9.2. Daya Pompa

Berdasarkan energi atau daya yang dibutuhkan untuk memutar poros, pompa dipengaruhi oleh kapasitas pompa, tinggi tekan total pompa, berat jenis fluida yang dipompakan, serta efisiensi total pompa tersebut. Daya yang dibutuhkan untuk memutar poros pompa disebut juga dengan daya pompa dan dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut: (Surya Agus Pratama: 2017)

$$N_p = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta \cdot 102} \quad (2.11)$$

Dimana :

N_p = Daya pompa (kW)

Q = Debit aliran (m^3/s)

H = Head total pompa (m)

γ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

η = Efisiensi pompa

2.9.3. Efisiensi pompa

Efisiensi pompa merupakan perbandingan daya yang diberikan pompa kepada fluida dengan daya yang diberikan motor listrik kepada pompa. Berubahnya kapasitas akan mempengaruhi efisiensi pompa dan daya motor. Efisiensi pompa (η) dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{N_h}{N_m} \times 100\% \quad (2.12)$$

Dimana:

η = Efisiensi pompa (%)

N_h = Daya hidrolis (kW)

N_m = Daya motor (kW)

2.10. NPSH (*Net Positive Suction Head*)

NPSH adalah head yang dimiliki zat cair pada sisi isap pompa dikurangi dengan tekanan uap jenuh zat cair ditempat tersebut. NPSH yang tersedia tergantung kepada tekanan atmosfer atau tekanan absolut pada permukaan zat cair dan kondisi instalasinya. Besarannya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$H_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_v}{\gamma} - h_s - h_{li} \quad (2.13)$$

Dimana :

H_{sv} = NPSH yang tersedia (m)

p_a = Tekanan mutlak zat cair dalam tangki (kgf/m^2)

p_v = Tekanan uap jenuh air bersih (kgf/m^2)

γ = Berat zat cair persatuan volume (kgf/m^2)

h_s = Head isap statis (m)

h_{li} = Head kerugian pada sisi isap (m)

2.11. Operasi Pompa Seri Dan Paralel

Pada suatu kondisi dimana kapasitas atau head yang diperlukan tidak sesuai atau tidak dapat dicapai dengan menggunakan satu buah pompa saja, maka selanjutnya dapat digunakan dua pompa atau lebih untuk mencapai kapasitas dan head yang dibutuhkan dengan cara merangkai pompa tersebut secara seri maupun paralel. Seperti pada gambar berikut ini ditunjukkan kurva head dan kapasitas dari sebuah pompa.

Perhitungan yang digunakan pada pompa dengan susunan seri dan paralel dapat digunakan rumu sebagai berikut:

1. Head Pompa Seri

$$H_{total} = H_1 + H_2 \quad (2.14)$$

Dimana:

H_1 = Head pompa 1

H_2 = Head pompa 2

2. Head Pompa Paralel

$$H_{total} = \frac{H_1 + H_2}{2} \quad (2.15)$$

Dimana:

H_1 = Head pompa 1

H_2 = Head pompa 2

2.12. Turbin Air

Turbin air adalah salah satu mesin berputar yang mengkonversi energi dari suatu gerakan aliran air (*fluida*) menjadi energi mekanis. Dengan memanfaatkan aliran dan tinggi jatuh air, fluida yang bergerak menjadikan sudu pada turbin berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor, air dibawah tekanan tinggi didalam dan dilepaskan kedalam suatu saluran dimana akan menggerakkan impeler turbin sehingga menyebabkan putaran yang cepat (Faqih Fadilah: 2015). Komponen-komponen utama pada turbin air terdiri dari rotor dan stator, rotor merupakan bagian yang berputar pada sistem turbin, sedangkan stator merupakan bagian yang diam pada sistem turbin air.

1. Bagian rotor :

- a. Sudu pengarah berfungsi untuk mengontrol kapasitas aliran masuk turbin.
- b. Poros berfungsi untuk meneruskan aliran tenaga yang berupa gerak putar yang dihasilkan oleh sudu.
- c. Bantalan berfungsi sebagai perapat komponen-komponen dengan tujuan agar tidak mengalami kebocoran pada sistem.
- d. Runner berfungsi untuk merubah energi potensial fluida menjadi energi mekanik.

2. Bagian stator :

- a. Pipa pengarah (*nozzle*) berfungsi untuk meneruskan aliran fluida sehingga tekanan dan kecepatan aliran fluida yang digunakan didalam sistem besar.
- b. Rumah turbin berfungsi sebagai rumah kedudukan komponen-komponen dari turbin.

2.13. Alternator

Alternator adalah suatu alat elektromekanikal yang mengkonversi daya mekanis menjadi energi elektrik. Pada prinsipnya generator dapat juga disebut sebagai alternator, tetapi biasanya alternator lebih mengacu pada bentuk yang lebih kecil yang biasa digunakan pada otomotif (Teli Handayani). Alternator memiliki 4 bagian yang penting, yaitu :

1. Rotor

Yang dimaksud rotor adalah bagian yang berputar yang terdiri dari magnet permanen, rotor berputar disekitar stator.

2. Stator

Bagian ini adalah bagian yang statis, yang berupa inti besi yang dibungkus dengan kawat tembaga.

3. Dioda

Dioda mengkonversi arus bolak-balik yang dihasilkan oleh pasangan rotor dan stator menjadi arus searah yang digunakan sebagai baterai yang kemudian dapat menggerakkan semua komponen elektrik yang ada pada kendaraan.

4. Pengatur Tegangan

Pada bagian ini dapat mengontrol jumlah voltase yang diberikan oleh alternator.

Arus yang dihasilkan pada alternator dapat diperoleh dengan dua cara yaitu, magnet berputar didalam coil (lilitan) atau coil berputar pada medan magnet yang diciptakan oleh magnet. Besarnya arus yang dihasilkan oleh alternator tergantung pada kecepatan baling-baling, kekuatan medan magnet, dan ukuran dari coil. Semakin tegaklurus medan magnet terhadap lilitan coil, maka semakin besar arus elektrik dan keluaran energinya.

2.14. Persamaan Yang Digunakan Pada Turbin

2.14.1. Kecepatan Spesifik Turbin

Kecepatan spesifik turbin (N_q) adalah kecepatan putar turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi jatuh air (head) satu satuan panjang. Kecepatan spesifik (n_q) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$n_q = n \frac{\sqrt{V}}{\sqrt{H^{3/4}}} \quad (2.16)$$

Dimana:

n_q = kecepatan spesifik (rpm)

n = kecepatan putar turbin (rpm)

V = kapasitas air(m³/detik)

H = tinggi air jatuh (m)

2.14.2. Persamaan Untuk Menghitung Daya Air (P_{in})

Untuk menghitung daya air (P_{in}) pada turbin dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{in} = V \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (2.17)$$

Dimana:

P_{in} = Daya air (W)

V = kapasitas air(m³/detik)

ρ = massa jenis air (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/detik²)

H = head total air (m)

2.14.3. Persamaan Untuk Menghitung Daya Turbin (P_{out})

Menghitung daya turbin (P_{out}) dengan menghitung daya yang telah dikonversi ke bentuk listrik dengan menggunakan persamaan daya listrik (Teli Handayani) Arus yang keluar (I) dari alternator dan tegangan yang keluar (V) dari alternator dapat diukur untuk mengetahui energi listrik yang dihasilkan yaitu :

$$P = V \cdot I \quad (2.18)$$

Dimana:

P = daya listrik (kW)

V = tegangan listrik (volt)

I = arus listrik (ampere)

2.14.4. Persamaan Untuk Menghitung Efisiensi Turbin (η_T)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung efisiensi turbin adalah dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\eta_T = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \quad (2.19)$$

Dimana:

η_T = efesien turbin (%)

p_{in} = daya air (W)

p_{out} = daya turbin (W)

BAB 3 METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu dengan melakukan serangkaian pengujian terhadap pompa yang meliputi debit, daya, head, dan efisiensi pompa sebagai dasar dari penggerak utama pompa sebagai turbin (PAT).

3.1. Tempat dan Waktu

1. Tempat

Penelitian dilakukan dilaboratorium Teknik Mesin UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATRA UTARA, Jln. Kapten Mukhtar Basri, No. 3 Medan – 20238 Telp. 061-6622400 Ext. 12.

2. Waktu

Waktu pelaksanaan analisa ini dimulai dari persetujuan yang diberikan oleh pembimbing, perencanaan alat, pembuatan alat, pembuatan sistem instalasi pipa, pengujian dan pengambilan data, hingga pembuatan laporan skripsi.

Tabel 3.1. waktu Penelitian

No	KEGIATAN	BULAN (2019-2020)					
		Sept	Okto	Nov	Des	Jan	Feb
1	Repreksi Judul						
2	ACC Judul						
3	Studi Literatur						
4	Merangkai Alat Uji						
5	Mulai Pengujian						
6	Pengambilan Data						
7	Pembuatan Laporan						
8	Seminar						
9	Sidang						

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan yaitu :

1. Pompa Sentrifugal

Poma sentrifugal berfungsi sebagai alat uji yaitu satu buah pompa sentrifugal berfungsi sebagai pompa hisap dan satu buah pompa sentrifugal sebagai turbin.



Gambar 3.1. Pompa Sentrifugal

2. Flow meter

Flow meter berfungsi sebagai alat ukur untuk mengetahui debit aliran dan volume air.



Gambar 3.2. Flow Meter

3. Bak penampungan air

Berfungsi untuk menampung air pada instalasi pompa sebagai turbin



Gambar 3.3. Bak Penampungan Air

4. Pipa PVC diameter 1 1/2 inci

Pipa 1 1/2 inci berfungsi sebagai instalasi pipa untuk mengalirkan air dari pipa hisap menuju pompa sebagai turbin.



Gambar 3.4. Pipa PVC 1 1/2 inci

5. Magnet dan spul motor

Magnet dan spul motor berfungsi sebagai penghasil arus listrik



Gambar 3.5. Magnet dan Spul Sepeda Motor

6. Elbow

Berfungsi untuk menyambungkan pipa dengan arah melengkung, dengan kelengkungan 90°.



Gambar 3.6. Elbow

8. Multi-Tester

Berfungsi untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan alternator.



Gambar 3.7. Multi Tester

9. Stop-watch

Stop watch Berfungsi untuk mengukur jumlah waktu yang diperlukan dalam suatu pengujian.



Gambar 3.8. Stop Watch

10. Tacho-Meter

Tacho meter berfungsi untuk mengukur kecepatan putaran (rpm) pada poros turbin.



Gambar 3.9. Tacho Meter

11. Tang amper

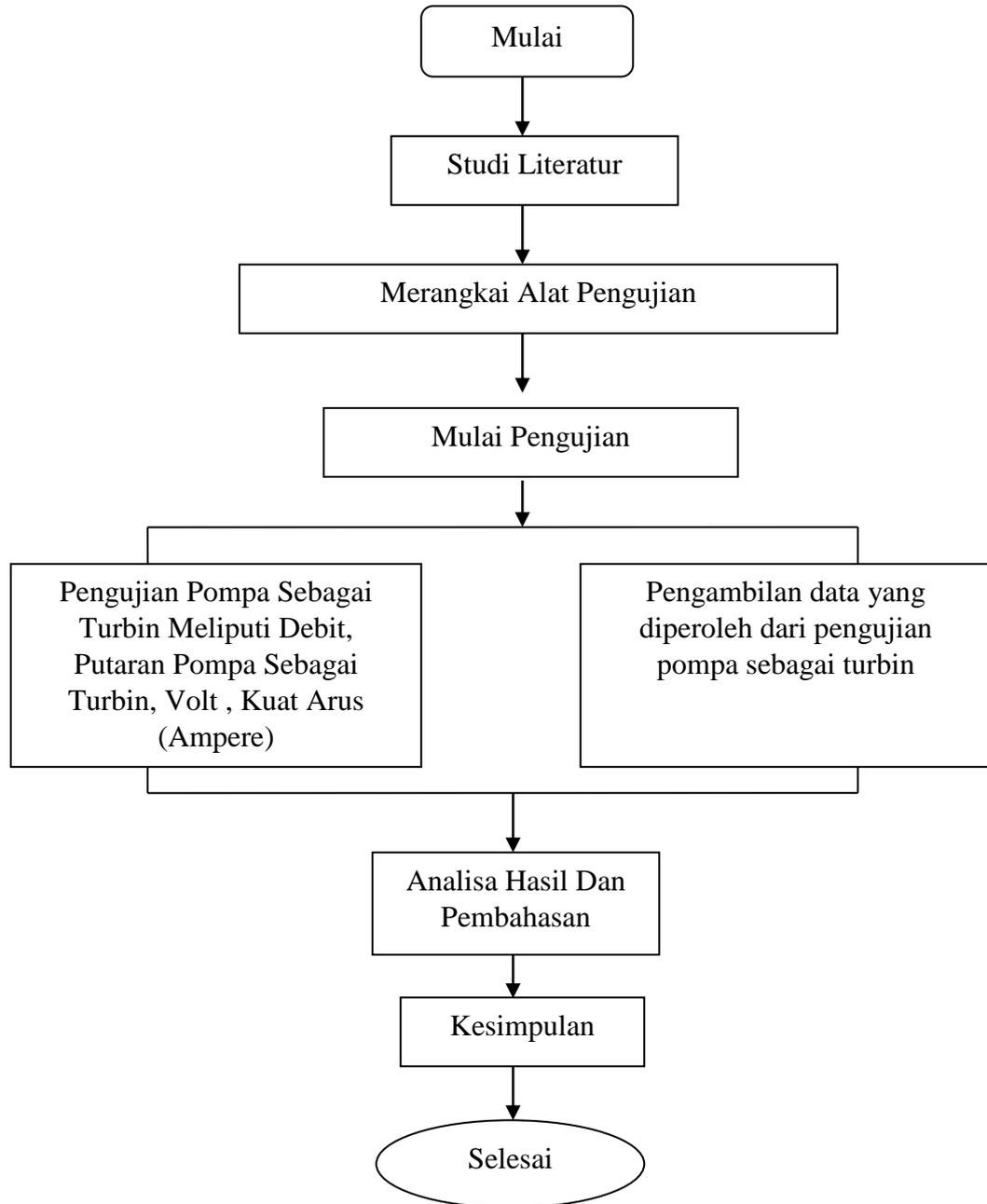
Tang amper berfungsi untuk mengukur arus listrik pada sebuah kabel konduktor yang dialiri arus listrik.



Gambar 3.10. Tang Amper

3.3. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian dapat digambarkan sebagai berikut



Gambar 3.11. Bagan Alir Penelitian Pompa Sebagai Turbin

3.4. Rancangan Alat Penelitian

Desain alat yang digunakan pada penelitian ini adalah desain alat yang sederhana. Alat yang digunakan untuk mengalirkan fluida dari satu pompa hisap menuju pompa sebagai turbin. Desain alat dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 3.12. Desain Alat

Keterangan:

1. Pompa Sebagai Turbin (PAT)
2. Generator
3. Bak Air
4. Bola Lampu
5. Keran 1
6. Pompa 2
7. Pompa 1
8. Keran 2
9. Flow Meter

3.5. Prosedur Penelitian

Adapun pengujian dan cara pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat uji dan peralatan pendukung.
2. Menghidupkan pompa penggerak 1 dan pompa penggerak 2.
3. Mengatur saluran masuk air menggunakan keran dan memastikan pompa beroperasi secara seri.

4. Pengujian tanpa menggunakan beban bola lampu.
5. Pengujian menggunakan variasi beban bola lampu 5 watt dan 10 watt.
6. pengambilan data debit aliran pada flow meter dan menghitung waktu yang dicapai menggunakan stop watch.
7. Pengambilan data putaran pompa sebagai turbin menggunakan tacho meter untuk mengetahui kecepatan putaran yang diperoleh.
8. Pengambilan data pada alternator menggunakan multi tester untuk mengetahui berapa volt tegangan yang dihasilkan oleh putaran pompa sebagai turbin.
9. Mengukur amper atau kuat arus yang mengalir menggunakan tang ampere

3.6. Spesifikasi Pompa

Pompa yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah pompa sentrifugal merek, SAN-EI dengan model : SE-401A, YAMAMAX PRO 08-401, dan MAXON MHF-5C. spesifikasi sebagai berikut :



Spesifikasi pompa :

SAN – EI - 401A

Daya : 220 v / 0,50 Hp / 400 Watt

Head total : 17 m

Tinggi isap : 8 m

Tinggi dorong : 9 m

Kapasitas : 340 L/menit

Gambar 3.13 Gambar Pompa Penggerak 1



Spesifikasi pompa :

YAMAMAX PRO DB – 401

Daya : 220 v / 1,5 Hp / 1100 Watt

Daya hisap : 7 m

Tinggi aliran : 18 m

Kapasitas : 267 L/menit

Gambar 3.14 Pompa Sebagai Turbin (PAT)



Spesifikasi pompa :

MAXON MHF – 5C

Daya : 220 v / 1 Hp / 0,75 kw

Kapasitas : 400 L/menit

Head maksimal : 14 m

Gambar 3.15. Pompa Penggerak 2

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Dan Pengambilan Data

Pengujian dan pengambilan data pada pompa sebagai turbin dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat uji pompa sebagai turbin dan peralatan pendukung.



Gambar 4.1 Alat Uji Pompa Sebagai Turbin

2. Menghidupkan pompa penggerak 1 dan pompa penggerak 2.



Gambar 4.2. Pompa 1 Dan Pompa 2

3. Mengatur saluran masuk air pada instalasi pipa menggunakan keran dan memastikan pompa beroperasi secara seri.



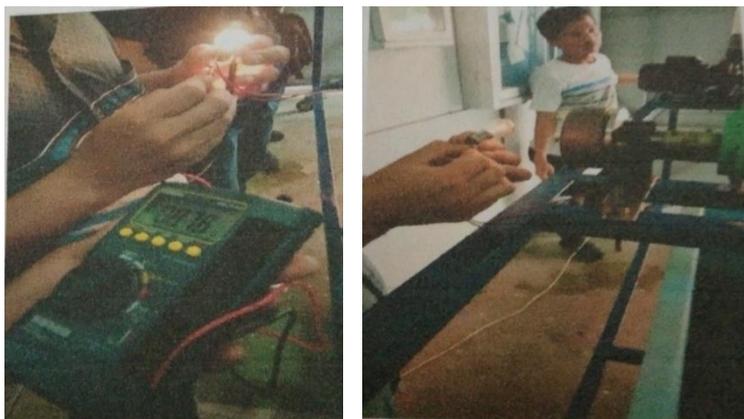
Gambar 4.3. Mengatur Saluran Masuk Air Pada Instalasi Pipa

4. Pengujian tanpa menggunakan beban bola lampu.



Gambar 4.4. Pengujian Tanpa Menggunakan Beban Lampu

5. Pengujian menggunakan variasi beban bola lampu 5 watt dan 10 watt.



Gambar4.5. Pengujian Menggunakan Beban Lampu 5 Watt dan 10 Watt

6. pengambilan data debit aliran pada flow meter dan menghitung waktu yang dicapai menggunakan stop watch.



Gambar 4.6. Pengambilan Data Debit Pada Flow Meter

7. Pengambilan data putaran pompa sebagai turbin menggunakan tacho meter untuk mengetahui kecepatan putaran yang diperoleh.



Gambar 4.7. Pengambilan Data Putaran Pompa Sebagai Turbin

8. Pengambilan data pada alternator menggunakan multi tester untuk mengetahui berapa volt tegangan yang dihasilkan oleh putaran pompa sebagai turbin.



Gambar 4.8. Pengambilan Data Pada Alternator

9. Mengukur amper atau kuat arus yang mengalir menggunakan tang ampere



Gambar 4.9. Mengukur Kuat Arus

4.2. Perhitungan Pada Pompa Penggerak Dengan Beban Bola Lampu 0 Watt

Data yang diketahui:

Diameter pipa $d = 1 \frac{1}{2}$ inchi = 381mm = 0,381 m

Massa jenis fluida $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Viskositas kinetik zat cair $\nu = 1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Percepatan gravitasi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

4.2.1. Perhitungan Pada Pompa 1

1. Debit Aliran (Q)

Debit aliran diketahui dari hasil pengukuran menggunakan flow meter dengan nilai $V = 0,001 \text{ m}^3$ (1 liter) dengan waktu 5,30 detik

Karena diameter pipa hisap dan tekan sama maka $Q_i = Q_t$

$$Q = \frac{V}{s}$$

Dimana:

$Q =$ Debit Aliran (m^3/s)

$V =$ Volume (L)

$s =$ Waktu

maka:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{0,001 \text{ m}^3}{5,30 \text{ s}} \\ &= 0,000188 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

2. Kecepatan Aliran Pipa

Untuk menghitung kecepatan aliran pada pipa, maka terlebih dahulu harus mengetahui luas penampang pipa dengan menggunakan persamaan berikut:

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

Dimana:

d = Diameter pipa (m)

Maka:

$$\begin{aligned} A &= \frac{3,14}{4} \cdot (0,0381 \text{ m})^2 \\ &= 0,00113 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Untuk menghitung kecepatan aliran pada pipa isap dan tekan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut tetapi karena diameter pipa isap dan tekan sama maka kecepatan aliran air yang masuk dan keluar melalui pipa juga sama sehingga $V_i = V_t$

$$V = \frac{Q}{A}$$

Dimana:

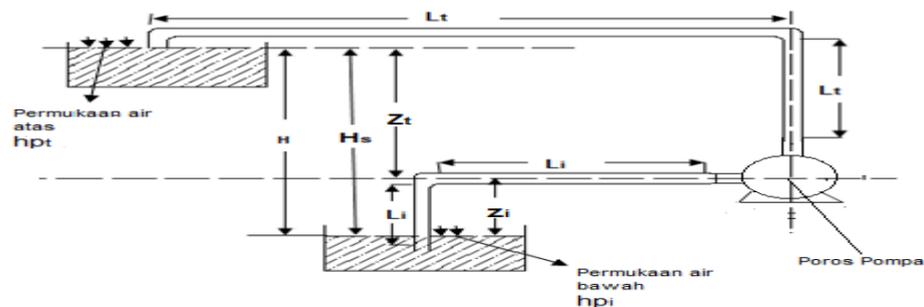
Q = Debit aliran (m^3/s)

A = Luas penampang (m^2)

Maka:

$$\begin{aligned} V &= \frac{0,000188 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00113 \text{ m}^2} \\ &= 0,1663 \text{ m/s} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Head



Gambar 4.1. Head Pompa 1 Dengan Beban Bola Lampu 0 Watt

Keterangan:

Z_t = Ketinggian fluida dari poros pompa kepermukaan air atas = 0,65 m

Z_i = ketinggian fluida dari poros kepermukaan air bawah = 0,44

L_t = Panjang pipa, bagian pipa tekan = 1,02 m

L_i = Panjang pipa, bagian pipa isap = 2,03 m

a. Head Statis Total

Head statis total adalah perbedaan ketinggian antara fluida pada sisi tekan dengan ketinggian fluida pada sisi isap. Data dari perbedaan ketinggian tersebut diketahui dengan mengukur instalasi pipa pada ketinggian sisi tekan dan ketinggian pada sisi isap, yaitu pada sisi tekan $Z_t = 65$ cm dan pada sisi isap $Z_i = 44$ cm. Untuk mendapatkan head statis total, satuan cm diubah menjadi m. Untuk menghitung head statis total dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut:

$$H_s = Z_t - Z_i$$

Dimana:

Z_t = Ketinggian fluida dari poros pompa kepermukaan air atas = 0,65 m

Z_i = ketinggian fluida dari poros kepermukaan air bawah = 0,44

Maka:

$$\begin{aligned} H_s &= 0,65 \text{ m} - 0,44 \text{ m} \\ &= 0,21 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Head Kerugian Gesek Dalam Pipa Hisap Dengan Bilangan Reynold

Untuk mengetahui kerugian gesek dalam pipa (f) maka terlebih dahulu harus mengetahui sifat aliran dengan menggunakan bilangan reynold (Re_i) $V_i =$ didapat dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi isap, $d =$ diameter pipa, $\nu =$ didapat dari (*Lampiran tabel viskositas kinetik zat cair*).

$$\begin{aligned} Re_i &= \frac{v_i \cdot d}{\nu} \\ Re_i &= \frac{0,1663 \text{ m/s} \cdot 0,0381 \text{ m}^2}{1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= \frac{0,0063 \text{ m}^2/\text{s}}{0,000001307 \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 4820,2 \end{aligned}$$

Untuk menentukan faktor gesekan pada pipa isap dapat menggunakan diagram moody harus diketahui ϵ/d , telah diketahui ϵ/d kekasaran relatif pada pipa yaitu: 0,007.

Dari diagram moody didapat faktor gesekan pada pipa isap yaitu $f = 5,9$

c. Head Kerugian Gesek Pada Pipa Lurus Isap

Untuk mengetahui kerugian gesek antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang dalam pipa dapat menggunakan rumus Darcy, dimana f adalah faktor gesek pada pipa isap, $L_i = 203 \text{ cm} = 2,03 \text{ m}$ panjang pipa pada sisi tekan, $V_i =$ diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran fluida pada sisi isap, dan $d =$ diameter pipa.

$$hf_i = f \frac{L_i \cdot V_i^2}{d \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana:

$F =$ Faktor gesekan pada pipa isap

$L_i =$ Panjang pipa pada bagian pipa isap = 2,03 m

$v_i =$ Kecepatan aliran fluida pada sisi isap (m/s)

Maka:

$$\begin{aligned} hf_i &= 5,9 \frac{(2,03 \text{ m}) \cdot (0,1663 \text{ m/s})^2}{(0,0381 \text{ m}) \cdot 2 \cdot (9,81 \text{ m/s}^2)} \\ &= 5,9 \frac{0,056 \text{ m}^2/\text{s}^2}{0,747 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\ &= 0,443 \text{ m} \end{aligned}$$

d. Kerugian Head Akibat Sambungan Elbow 90° Pipa Hisap

Kerugian head pada sambungan elbow 90° pada instalasi, pada pipa hisap terdapat 3 sambungan elbow dengan nilai $k = 1,129$ didapat dari (*lampiran, tabel faktor kerugian belokan pipa*) dan V_i di peroleh dari perhitungan kecepatan aliran fluida pada sisi isap.

$$hl_i = n k_1 \frac{V_i^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

n = Jumlah sambungan elbow

k = Faktor kerugian belokan pipa

Maka:

$$\begin{aligned}hl_i &= 3 \cdot 1,129 \frac{(0,1663 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\&= 3 \cdot 1,129 \frac{0,027 \text{ m}^3/\text{s}}{19,62 \text{ m/s}^2} \\&= 0,00466 \text{ m}\end{aligned}$$

e. Kerugian Head Pada Katup Isap Dan Saringan

Kerugian head pada katup isap pada saringan $k = 1,97$ diperoleh dari (lampiran, tabel faktor kerugian dari berbagai katub), dan V_i diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi isap.

$$hl_2 = k \frac{V_i^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

k = Faktor kerugian dari berbagai katup

Maka:

$$\begin{aligned}hl_2 &= 1,97 \frac{(0,1663 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\&= 1,97 \frac{0,027 \text{ m}^2/\text{s}^2}{19,62 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\&= 0,0027 \text{ m}\end{aligned}$$

Jadi kerugian head pada sisi hisap seluruhnya diperoleh dari kerugian head pada pipa hisap lurus dan kerugian head terhadap sambungan ditambah kerugian head terhadap katup dan saringan

Maka:

$$\begin{aligned}hl_i &= hf_i + hl_1 + hl_2 \\hl_i &= 0,443 \text{ m} + 0,00466 \text{ m} + 0,0027 \text{ m} \\&= 0,45 \text{ m}\end{aligned}$$

f. Head Kerugian Gesek Dalam Pipa Tekan Dengan Bilangan Reynold

Untuk mencari head kerugian gesek (f) terlebih dahulu mengetahui sifat aliran dengan cara menggunakan bilangan reynold (Re_t) V_t = diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi tekan, d = diameter pipa ν = diperoleh dari (Lampiran, tabel viskositas kinetik zat cair)

$$Re_t = \frac{v_t \cdot d}{\nu}$$
$$Re_t = \frac{0,1663 \text{ m/s} \cdot 0,0381 \text{ m}}{1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$
$$= \frac{0,0063 \text{ m}^2/\text{s}}{0,000001307 \text{ m}^2/\text{s}}$$
$$= 4820,2$$

Untuk menentukan faktor gesekan pada pipa tekan dapat menggunakan diagram moody harus diketahui ϵ/d , telah diketahui ϵ/d kekasaran relatif pada pipa yaitu: 0,007.

Dari diagram moody didapat faktor gesekan pada pipa isap yaitu $f = 5,9$

g. Head Kerugian Gesek Pada Pipa Lurus Tekan

Untuk menghitung kerugian gesek antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang didalam pipa dapat menggunakan rumus Darcy, dimana f adalah faktor gesek pada pipa tekan, $L_t = 1,02 \text{ m}$, V_t = diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi tekan, dan d = diameter pipa.

$$hf_2 = f \frac{L_t \cdot V_t^2}{d \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana:

f = Faktor gesekan pada pipa tekan

L_t = Panjang pipa pada bagian pipa tekan = 1,02 m

Maka:

$$hf_2 = 5,9 \frac{1,02 \cdot (0,1663 \text{ m}^3/\text{s})^2}{(0,0381 \text{ m}) \cdot 2 \cdot (9,81 \text{ m/s}^2)}$$
$$= 5,9 \frac{0,028 \text{ m}^3/\text{s}^2}{0,747 \text{ m}^2/\text{s}^2}$$
$$= 0,22 \text{ m}$$

h. Kerugian Head Akibat Sambungan Elbow 90° Pada Pipa Tekanan

Kerugian head pada sambungan elbow 90° pada instalasi pipa tekan terdapat 4 sambungan elbow dengan nilai $K_2 = 1,129$ didapat dari (*lampiran tabel faktor kerugian belokan pipa*) dan V_t = didapat dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi tekan:

$$hl_2 = n \cdot k_2 \frac{V_t^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

n = Jumlah sambungan elbow

k_2 = Faktor kerugian belokan pipa

Maka:

$$\begin{aligned} hl_2 &= 4 \cdot 1,129 \frac{(0,1663 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\ &= 4,516 \frac{0,027 \text{ m/s}^2}{19,62 \text{ m/s}^2} \\ &= 0,0062 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi kerugian head keseluruhan pada pipa tekanan adalah head kerugian gesek pada pipa lurus tekan (hf_2) ditambah head akibat sambungan 90° (hl_2)

$$\begin{aligned} hl_t &= hf_2 + hl_2 \\ &= 0,22 \text{ m} + 0,0062 \text{ m} \\ &= 0,23 \text{ m} \end{aligned}$$

i. Head Kerugian Keseluruhan dari Pipa Isap dan Pipa Tekan (hl)

Jadi head kerugian keseluruhan pada pipa, katub, belokan dan lain-lain adalah kerugian keseluruhan pada pipa tekan (hl_t) ditambah kerugian keseluruhan pada pipa isap (hl_i)

$$\begin{aligned} hl &= hl_t + hl_i \\ &= 0,23 \text{ m} + 0,45 \text{ m} \\ &= 0,68 \text{ m} \end{aligned}$$

j. Head Total Pompa

Sebelum mencari head total pompa terlebih dahulu harus mencari head kecepatan keluar dan dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \frac{Vt^2}{2.g} \\ \frac{V1^2}{2.g} &= \frac{(0,1663 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\ &= \frac{0,027 \text{ m}^3/\text{s}}{19,62 \text{ m/s}^2} \\ &= 0,00137 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Nilai ΔH_p adalah tekanan permukaan air sisi atas dan tekanan permukaan air pada sisi bawah, dimana pada instalasi yang dirancang tidak memiliki tekanan permukaan air, jadi nilai $\Delta H_p = 0$.

$$\begin{aligned} H &= H_s + \Delta H_p + h_l + \frac{V1^2}{2.g} \\ &= 0,21 \text{ m} + 0 \text{ m} + 0,68 \text{ m} + 0,00137 \text{ m} \\ &= 0,9 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Daya Hidrolis

Daya hidrolis adalah daya pompa yang dibutuhkan untuk mengalirkan sejumlah zat cair. Nilai daya hidrolis dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} N_h &= \frac{\gamma.H.Q_t}{102} \\ &= \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,9 \text{ m} \cdot 0,000188 \text{ m}^3/\text{s}}{102} \\ &= 0,0016 \text{ kw} \end{aligned}$$

5. Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa merupakan perbandingan antara daya yang diberikan pompa terhadap fluida dengan daya yang diberikan oleh motor listrik kepada pompa.

$$\eta = \frac{N_h}{N_m} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{0,0016}{0,40} \times 100\%$$

$$= 0,4 \%$$

6. Daya Pompa

Daya yang diperlukan pompa untuk memompakan air sebanyak 0,001 m³ (1 liter) dengan waktu 5,3 detik dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$N_p = \frac{\gamma \cdot Q_t \cdot H}{n \cdot 102}$$

$$= \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,000188 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 0,9 \text{ m}}{0,004 \cdot 102}$$

$$= \frac{0,17}{0,41}$$

$$= 0,41 \text{ kW}$$

7. Net Positive Suction Head (NPSH yang tersedia)

Besarnya NPSH dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$h_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_v}{\gamma} - h_s - h_{l_s}$$

Dimana:

H_{sv} = NPSH yang tersedia (m)

P_a = Tekanan mutlak zat cair dalam tangki : 0 (kgf/m²) disebabkan karena tangki berada pada ruangan terbuka, tidak memiliki tekanan.

P_v = Tekanan uap jenuh air bersih pada suhu 20°, maka tekanan = (0,02373 kgf/cm²) = (2,37300 kgf/m²) (*lampiran tabel tekanan uap jenuh air dalam satuan absolut*)

$$h_{sv} = \frac{0}{9,98} + \frac{2,373}{9,98} - 0,21 - 0,00833$$

$$= 0 + 0,237 - 0,21 - 0,00833$$

$$= 0,018 \text{ m}$$

4.2.2. Perhitungan Pada Pompa 2

1. Debit Aliran (Q)

Debit aliran diketahui dari hasil pengukuran menggunakan flow meter dengan nilai $V : 0,001$ dengan waktu yang dicapai $5,30$ detik

Karena diameter pipa hisap dan tekan sama maka $Q_i = Q_t$

Maka:

$$Q = \frac{V}{s}$$

Dimana:

$Q =$ Debit Aliran (m^3/s)

$V =$ Volume (L)

$s =$ Waktu

Maka:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{0,001 \text{ m}^3}{5,30 \text{ s}} \\ &= 0,000188 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

2. Kecepatan Aliran Pipa

Untuk menghitung kecepatan aliran pada pipa, maka terlebih dahulu harus mengetahui luas penampang pipa dengan menggunakan persamaan berikut:

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

Dimana:

$Q =$ Debit Aliran (m^3/s)

$A =$ Luas Penampang (m^2)

Maka:

$$\begin{aligned} A &= \frac{3,14}{4} \cdot (0,0381 \text{ m})^2 \\ &= 0,00113 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

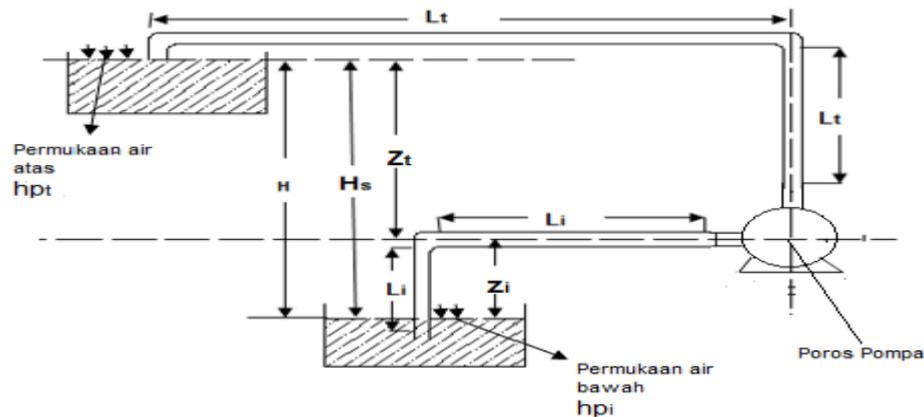
Untuk menghitung kecepatan aliran pada pipa isap dan tekan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut tetapi karena diameter pipa isap dan tekan sama maka kecepatan aliran air yang masuk dan keluar melalui pipa juga sama sehingga $V_i = V_t$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,000188 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00113 \text{ m}^2}$$

$$= 0,1663 \text{ m/s}$$

3. Perhitungan Head



Gambar 4.2. Head Pompa 2 Dengan Beban Lampu 0 Watt

Keterangan:

Z_t = Ketinggian fluida dari poros pompa ke permukaan air atas = 0,65 m

Z_i = ketinggian fluida dari poros ke permukaan air bawah = 0,44 m

L_t = Panjang pipa, bagian pipa tekan = 1,90 m

L_i = Panjang pipa, bagian pipa isap = 1,02 m

a. Head Statis Total

Head statis total adalah perbedaan ketinggian antara fluida pada sisi tekan dengan ketinggian fluida pada sisi isap. Data dari perbedaan ketinggian tersebut diketahui dengan mengukur instalasi pipa pada ketinggian sisi tekan dan ketinggian pada sisi isap, dengan data yang diperoleh yaitu pada sisi tekan $Z_t = 65$ cm dan pada sisi isap $Z_i = 44$ cm. Untuk mendapatkan head statis total, satuan cm diubah menjadi m.

$$H_s = Z_t - Z_i$$

$$H_s = 0,65 \text{ m} - 0,44 \text{ m}$$

$$= 0,21 \text{ m}$$

b. Head Kerugian Gesek Dalam Pipa Hisap Dengan Bilangan Reynold

Untuk mengetahui kerugian gesek dalam pipa (f) maka terlebih dahulu harus mengetahui sifat aliran dengan menggunakan bilangan reynold (Re_i) V_i = didapat dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi isap, d = diameter pipa, ν = didapat dari (*Lampiran tabel viskositas kinetik zat cair*).

$$\begin{aligned} Re_i &= \frac{v_i \cdot d}{\nu} \\ Re_i &= \frac{0,1663 \text{ m/s} \cdot 0,0381 \text{ m}^2}{1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= \frac{0,0063 \text{ m}^2/\text{s}}{0,000001307 \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 4820,2 \end{aligned}$$

Untuk menentukan faktor gesekan pada pipa tekan dapat menggunakan diagram moody harus diketahui ϵ/d , telah diketahui ϵ/d kekasaran relatif pada pipa yaitu: 0,007.

Dari diagram moody didapat faktor gesekan pada pipa isap yaitu $f = 5,9$

c. Head Kerugian Gesek Pada Pipa Isap

Untuk mengetahui kerugian gesek antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang dalam pipa dapat menggunakan rumus Darcy, dimana f adalah faktor gesek pada pipa isap, $L_i = 102 \text{ cm} = 1,02 \text{ m}$ panjang pipa pada sisi tekan, V_i = diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran fluida pada sisi isap, dan d = diameter pipa.

$$\begin{aligned} hf_i &= f \frac{L_i \cdot V_i^2}{d \cdot 2 \cdot g} \\ &= 5,9 \frac{(1,02 \text{ m}) \cdot (0,1663 \text{ m/s})^2}{(0,0381 \text{ m}) \cdot 2 \cdot (9,81 \text{ m/s}^2)} \\ &= 5,9 \frac{0,028 \text{ m}^2/\text{s}^2}{0,747 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\ &= 5,9 \cdot 0,037 \\ &= 0,22 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

d. Kerugian Head Akibat Sambungan Elbow 90° Pipa Hisap

Kerugian head pada sambungan elbow 90° pada instalasi, pada pipa hisap terdapat 4 sambungan elbow dengan nilai $k = 1,129$ didapat dari (*lampiran, tabel faktor kerugian belokan pipa*) dan V_i di peroleh dari perhitungan kecepatan aliran fluida pada sisi isap.

$$hl_i = n k_1 \frac{V_i^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

n = Jumlah Sambungan elbow

k = Faktor Kerugian Belokan Pipa

Maka:

$$\begin{aligned} hl_i &= 4 \cdot 1,129 \frac{(0,1663 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\ &= 4 \cdot 1,129 \frac{0,027 \text{ m}^3/\text{s}}{19,62 \text{ m/s}^2} \\ &= 4,156 \cdot 0,00137 \\ &= 0,00618 \text{ m} \end{aligned}$$

e. Kerugian Head Pada Kutup Isap Dan Saringan

Kerugian head pada katup isap pada saringan $k = 1,97$ diperoleh dari (*lampiran, tabel faktor kerugian dari berbagai katub*), dan V_i diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi isap.

$$hl_2 = k \frac{V_i^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

k = Faktor kerugian dari berbagai katup

Maka:

$$\begin{aligned} hl_2 &= 1,97 \frac{(0,1663 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\ &= 1,97 \frac{0,027 \text{ m}^2/\text{s}^2}{19,62 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\ &= 0,0027 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi kerugian head pada sisi hisap seluruhnya diperoleh dari kerugian head pada pipa hisap lurus dan kerugian head terhadap sambungan ditambah kerugian head terhadap katup dan saringan

$$\begin{aligned}
 hl_i &= hf_i + hl_1 + hl_2 \\
 hl_i &= 0,22 \text{ m} + 0,00618 \text{ m} + 0,0027 \text{ m} \\
 &= 0,23 \text{ m}
 \end{aligned}$$

f. Head Kerugian Gesek Dalam Pipa Tekan Dengan Bilangan Reynold

Untuk mencari head kerugian gesek (f) terlebih dahulu mengetahui sifat aliran dengan cara menggunakan bilangan reynold (Re_t) V_t = diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi tekan, d = diameter pipa ν = diperoleh dari (*Lampiran, tabel viskositas kinetik zat cair*)

$$\begin{aligned}
 Re_t &= \frac{v_t \cdot d}{\nu} \\
 &= \frac{0,1663 \text{ m/s} \cdot 0,0381 \text{ m}}{1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\
 &= \frac{0,0063 \text{ m}^2/\text{s}}{0,000001307 \text{ m}^2/\text{s}} \\
 &= 4820,2
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan faktor gesekan pada pipa tekan dapat menggunakan diagram moody harus diketahui ϵ/d , telah diketahui ϵ/d kekasaran relatif pada pipa yaitu: 0,007.

Dari diagram moody didapat faktor gesekan pada pipa isap yaitu $f = 5,9$

g. Head Kerugian Gesek Pada Pipa Lurus Tekan

Untuk menghitung kerugian gesek antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang didalam pipa dapat menggunakan rumus Darcy, dimana f adalah faktor gesek pada pipa tekan, $L_t = 1,90 \text{ m}$, V_t = diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi tekan, dan d = diameter pipa.

$$Hf_2 = f \frac{L_t \cdot V_t^2}{d \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana:

f = Faktor gesekan pada pipa tekan

L_t = Panjang pipa pada bagian pipa tekan = 1,90 m

Maka:

$$\begin{aligned} Hf_2 &= 5,9 \frac{1,90 \cdot (0,1663 \text{ m}^3/\text{s})^2}{(0,0381 \text{ m}) \cdot 2 \cdot (9,81 \text{ m/s}^2)} \\ &= 5,9 \frac{0,052 \text{ m}^3/\text{s}^2}{0,747 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\ &= 0,413 \text{ m} \end{aligned}$$

h. Kerugian Head Akibat Sambungan Elbow 90° Pada Pipa Tekanan

Kerugian head pada sambungan elbow 90° pada instalasi pipa tekan teradpat 4 sambungan elbow dengan nilai $K_2 = 1,129$ didapat dari (*lampiran tabel faktor kerugian belokan pipa*) dan V_t = kecepatan aliran pada sisi tekan:

$$hl_2 = n \cdot k_2 \frac{V_t^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

n = Jumlah sambungan elbow

k_2 = Faktor kerugian belokan pipa

Maka:

$$\begin{aligned} hl_2 &= 4 \cdot 1,129 \frac{(0,1663 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\ &= 4,516 \frac{0,027 \text{ m/s}^2}{19,62 \text{ m/s}^2} \\ &= 0,0062 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi kerugian head keseluruhan pada pipa tekanan adalah head kerugian gesek pada pipa lurus tekan (hf_2) ditambah head akibat sambungan 90° (hl_2).

$$\begin{aligned} hl_t &= hf_2 + hl_2 \\ &= 0,413 \text{ m} + 0,0062 \text{ m} \\ &= 0,42 \text{ m} \end{aligned}$$

i. Head Kerugian Keseluruhan dari Pipa Isap dan Pipa Tekan (h_l)

Head kerugian keseluruhan pada pipa, katub, belokan dan lain-lain adalah kerugian keseluruhan pada pipa tekan (h_{lt}) ditambah kerugian keseluruhan pada pipa isap (h_{li}).

$$\begin{aligned}h_l &= h_{lt} + h_{li} \\h_l &= 0,42 \text{ m} + 0,23 \text{ m} \\&= 0,0164 \text{ m}\end{aligned}$$

j. Head Total Pompa

Sebelum mencari head total pompa terlebih dahulu harus mencari head kecepatan keluar dan dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{Vt^2}{2.g} \\ \frac{V1^2}{2.g} &= \frac{(0,1663 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m}/\text{s}^2} \\ &= \frac{0,027 \text{ m}^3/\text{s}}{19,62 \text{ m}/\text{s}^2} \\ &= 0,00137 \text{ m}/\text{s}\end{aligned}$$

Nilai ΔH_P adalah tekanan permukaan air sisi atas dan tekanan permukaan air pada sisi bawah, dimana pada instalasi yang dirancang tidak memiliki tekanan permukaan air, jadi nilai $\Delta H_P = 0$. Maka head total pompa dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}H &= H_S + \Delta H_P + h_l + \frac{V1^2}{2.g} \\ &= 0,21 \text{ m} + 0 \text{ m} + 0,65 \text{ m} + 0,00137 \text{ m} \\ &= 0,86 \text{ m}\end{aligned}$$

4. Daya Hidrolis

Daya hidrolis adalah daya pompa yang dibutuhkan untuk mengalirkan sejumlah zat cair. Nilai daya hidrolis dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
N_h &= \frac{\gamma \cdot H \cdot Q_t}{102} \\
&= \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,86 \text{ m} \cdot 0,000188 \text{ m}^3/\text{s}}{102} \\
&= 0,0016 \text{ kw}
\end{aligned}$$

5. Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa merupakan perbandingan antara daya yang diberikan pompa terhadap fluida dengan daya yang diberikan oleh motor listrik kepada pompa.

$$\begin{aligned}
\eta &= \frac{N_h}{N_m} \times 100\% \\
\eta &= \frac{0,0016}{0,75} \times 100\% \\
&= 0,21 \%
\end{aligned}$$

6. Daya Pompa

Daya yang dibutuhkan pompa untuk memompakan air sebanyak 0,001 m³ (1 liter) dengan waktu 5,30 detik dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
N_p &= \frac{\gamma \cdot Q_t \cdot H}{n \cdot 102} \\
&= \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,000188 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 0,375 \text{ m}}{0,0021 \cdot 102} \\
&= \frac{0,16}{0,21} \\
&= 0,76 \text{ kW}
\end{aligned}$$

7. Net Positive Suction Head (NPSH yang tersedia)

Besarnya NPSH dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$h_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_v}{\gamma} - h_s - h_{l_s}$$

Dimana:

H_{sv} = NPSH yang tersedia (m)

P_a = Tekanan mutlak zat cair dalam tangki : 0 (kgf/m²) disebabkan karena tangki berada pada ruangan terbuka, tidak memiliki tekanan.

P_v = Tekanan uap jenuh air bersih pada suhu 20°, maka tekanan = (0,02373 kgf/cm²) = (2373 kgf/m²) (*lampiran tabel tekanan uap jenuh air dalam satuan absolut*)

$$\begin{aligned}h_{sv} &= \frac{0}{9,98} + \frac{2,373}{9,98} - 0,21 - 0,00618 \\ &= 0 + 0,237 - 0,21 - 0,00618 \\ &= 0,021 \text{ m}\end{aligned}$$

4.2.3 Perhitungan Pada Pompa Seri

1. Head Total Pompa Seri

Karena pompa yang digunakan menggunakan pompa susunan seri maka head total pompa 1 ditambah dengan head total pompa 2 ($H_{p1} + H_{p2}$):

$$H = H_{p1} + H_{p2}$$

Dimana:

$$H_{p1} = \text{Head Pompa 1}$$

$$H_{p2} = \text{Head Pompa 2}$$

Maka:

$$\begin{aligned}H &= 0,9 \text{ m} + 0,86 \text{ m} \\ &= 1,76 \text{ m}\end{aligned}$$

4.2.4. Perhitungan Pada Pompa Sebagai Turbin

1. Perhitungan Pada Pompa Sebagai Turbin Dengan Beban 0 Watt

a. Kecepatan Spesifik Turbin

Kecepatan spesifik turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut, nilai V dan H diperoleh dari perhitungan pompa penggerak dengan nilai $V = 0,1663 \text{ m}^3/\text{s}$ dan nilai $H = 1,76 \text{ m}$:

$$n_q = n \frac{\sqrt{V}}{\sqrt{H^{3/4}}}$$

Dimana:

$$n = \text{Kecepatan putaran turbin (Rpm)}$$

$$v = \text{Kecepatan Aliran (m}^3/\text{s)}$$

H = Head total

Maka:

$$\begin{aligned}n_q &= 920,5 \frac{\sqrt{0,1663 \text{ m}^3/\text{s}}}{\sqrt[4]{(1,76 \text{ m})^{3/4}}} \\ &= 920,5 \frac{0,4078 \text{ m}^3/\text{s}}{4,9 \text{ m}} \\ &= 920,5 \text{ Rpm} \cdot 4,9 \text{ m}^3 \\ &= 76,61 \text{ Rpm}\end{aligned}$$

b. Persamaan untuk menghitung daya air (P_{in})

Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya air adalah:

$$P_{in} = V \text{ m/s} \cdot \rho \text{ kg/m}^3 \cdot g \text{ m/s}^2 \cdot H \text{ m}$$

Dimana:

P_{in} = Daya air (Watt)

v = Kecepatan Aliran air (m/s)

ρ = Massa Jenis fluida (kg/m³)

H = Head (m)

Maka:

$$\begin{aligned}P_{in} &= 0,1663 \text{ m/s} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1,76 \text{ m} \\ &= 2871,27 \text{ watt}\end{aligned}$$

c. Persamaan untuk menghitung daya turbin (P_{out})

Menghitung daya turbin (P_{out}) dengan menghitung daya yang telah dikonversi ke bentuk listrik dengan menggunakan persamaan daya listrik :

$$P = V \cdot I$$

Dimana:

V = Volt

I = Ampere

Maka:

$$\begin{aligned}P &= 18,85 \text{ volt} \cdot 0 \text{ Amper} \\ &= 0 \text{ Watt}\end{aligned}$$

d. Persamaan untuk menghitung efisiensi turbin (η_T)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung efisiensi turbin adalah dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\eta_T = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

dimana:

P_{out} = Daya turbin (Watt)

P_{in} = Daya air (Watt)

Maka:

$$\eta_T = \frac{0}{2871,27} \cdot 100\% \\ = 0 \%$$

4.3. Perhitungan Pada Pompa Penggerak Dengan Beban Bola Lampu 5 Watt

Data yang diketahui:

Diameter pipa $d = 1 \frac{1}{2}$ inchi = 381mm = 0,381 m

Massa jenis fluida $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Viskositas kinetik zat cair $\nu = 1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Percepatan gravitasi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

4.3.1. Perhitungan Pada Pompa 1

1. Debit Aliran (Q)

Debit aliran diketahui dari hasil pengukuran menggunakan flow meter dengan nilai $V = 0,001 \text{ m}^3$ (1 liter) dengan waktu 4,77 detik

Karena diameter pipa hisap dan tekan sama maka $Q_i = Q_t$

$$Q = \frac{V}{s}$$

Dimana:

Q = Debit Aliran (m^3/s)

V = Volume (L)

s = Waktu

maka:

$$Q = \frac{0,001 \text{ m}^3}{4,77 \text{ s}}$$

$$= 0,00021 m^3/s$$

2. Kecepatan Aliran Pipa

Untuk menghitung kecepatan aliran pada pipa, maka terlebih dahulu harus mengetahui luas penampang pipa dengan menggunakan persamaan berikut:

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

Dimana:

d = Diameter pipa (m)

Maka:

$$\begin{aligned} A &= \frac{3,14}{4} \cdot (0,0381 \text{ m})^2 \\ &= 0,00113 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Untuk menghitung kecepatan aliran pada pipa isap dan tekan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut tetapi karena diameter pipa isap dan tekan sama maka kecepatan aliran air yang masuk dan keluar melalui pipa juga sama sehingga $V_i = V_t$

$$V = \frac{Q}{A}$$

Dimana:

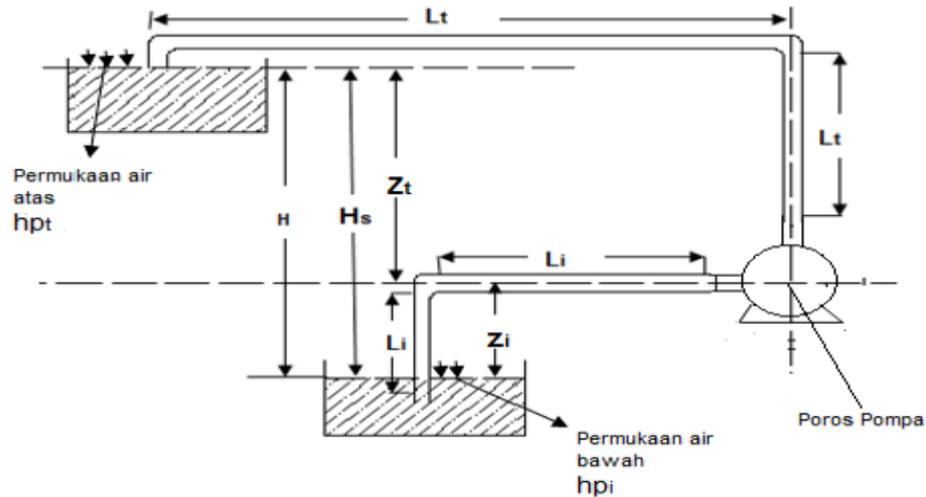
Q = Debit aliran (m^3/s)

A = Luas penampang (m^2)

Maka:

$$\begin{aligned} V &= \frac{0,00021 \text{ m}^3/s}{0,00113 \text{ m}^2} \\ &= 0,1615 \text{ m/s} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Head



Gambar 4.1. Head Pompa 1 Dengan Beban Bola Lampu 0 Watt

Keterangan:

Z_t = Ketinggian fluida dari poros pompa kepermukaan air atas = 0,65 m

Z_i = ketinggian fluida dari poros kepermukaan air bawah = 0,44

L_t = Panjang pipa, bagian pipa tekan = 1,02 m

L_i = Panjang pipa, bagian pipa isap = 2,03 m

a. Head Statis Total

Head statis total adalah perbedaan ketinggian antara fluida pada sisi tekan dengan ketinggian fluida pada sisi isap. Data dari perbedaan ketinggian tersebut diketahui dengan mengukur instalasi pipa pada ketinggian sisi tekan dan ketinggian pada sisi isap, yaitu pada sisi tekan $Z_t = 65$ cm dan pada sisi isap $Z_i = 44$ cm. Untuk mendapatkan head statis total, satuan cm diubah menjadi m. Untuk menghitung head statis total dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut:

$$H_s = Z_t - Z_i$$

Dimana:

Z_t = Ketinggian fluida dari poros pompa kepermukaan air atas = 0,65 m

Z_i = ketinggian fluida dari poros kepermukaan air bawah = 0,44

Maka:

$$\begin{aligned} H_s &= 0,65 \text{ m} - 0,44 \text{ m} \\ &= 0,21 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Head Kerugian Gesek Dalam Pipa Hisap Dengan Bilangan Reynold

Untuk mengetahui kerugian gesek dalam pipa (f) maka terlebih dahulu harus mengetahui sifat aliran dengan menggunakan bilangan Reynold (Re_i) $V_i =$ didapat dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi isap, $d =$ diameter pipa, $\nu =$ didapat dari (*Lampiran tabel viskositas kinetik zat cair*).

$$Re_i = \frac{v_i \cdot d}{\nu}$$

$$Re_i = \frac{0,1617 \text{ m/s} \cdot 0,0381 \text{ m}^2}{1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= \frac{0,0061 \text{ m}^2/\text{s}}{0,000001307 \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= 4667,17$$

Untuk menentukan faktor gesekan pada pipa isap dapat menggunakan diagram Moody harus diketahui ϵ/d , telah diketahui ϵ/d kekasaran relatif pada pipa yaitu: 0,007.

Dari diagram Moody didapat faktor gesekan pada pipa isap yaitu $f = 5,9$

c. Head Kerugian Gesek Pada Pipa Lurus Isap

Untuk mengetahui kerugian gesek antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang dalam pipa dapat menggunakan rumus Darcy, dimana f adalah faktor gesek pada pipa isap, $L_i = 203 \text{ cm} = 2,03 \text{ m}$ panjang pipa pada sisi tekan, $V_i =$ diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran fluida pada sisi isap, dan $d =$ diameter pipa.

$$hf_i = f \frac{L_i \cdot V_i^2}{d \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana:

$f =$ Faktor gesekan pada pipa isap

$L_i =$ Panjang pipa pada bagian pipa isap = 2,03 m

$v_i =$ Kecepatan aliran fluida pada sisi isap (m/s)

Maka:

$$hf_i = 5,9 \frac{(2,03 \text{ m}) \cdot (0,1615 \text{ m/s})^2}{(0,0381 \text{ m}) \cdot 2 \cdot (9,81 \text{ m/s}^2)}$$

$$= 5,9 \frac{0,053 \text{ m}^2/\text{s}^2}{0,747 \text{ m}^2/\text{s}^2}$$

$$= 0,42 \text{ m}$$

d. Kerugian Head Akibat Sambungan Elbow 90° Pipa Hisap

Kerugian head pada sambungan elbow 90° pada instalasi, pada pipa hisap terdapat 3 sambungan elbow dengan nilai $k = 1,129$ didapat dari (*lampiran, tabel faktor kerugian belokan pipa*) dan V_i di peroleh dari perhitungan kecepatan aliran fluida pada sisi isap.

$$hl_i = n k_1 \frac{V_i^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

n = Jumlah sambungan elbow

k = Faktor kerugian belokan pipa

Maka:

$$\begin{aligned} hl_i &= 3 \cdot 1,129 \frac{(0,1615 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\ &= 3 \cdot 1,129 \frac{0,026 \text{ m}^3/\text{s}}{19,62 \text{ m/s}^2} \\ &= 0,00448 \text{ m} \end{aligned}$$

e. Kerugian Head Pada Katup Isap Dan Saringan

Kerugian head pada katup isap pada saringan $k = 1,97$ diperoleh dari (*lampiran, tabel faktor kerugian dari berbagai katub*), dan V_i diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi isap.

$$hl_2 = k \frac{V_i^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

k = Faktor kerugian dari berbagai katup

Maka:

$$\begin{aligned} hl_2 &= 1,97 \frac{(0,1615 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\ &= 1,97 \frac{0,026 \text{ m}^2/\text{s}^2}{19,62 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\ &= 0,0026 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi kerugian head pada sisi hisap seluruhnya diperoleh dari kerugian head pada pipa hisap lurus dan kerugian head terhadap sambungan ditambah kerugian head terhadap katup dan saringan

Maka:

$$\begin{aligned} hl_i &= hf_i + hl_1 + hl_2 \\ hl_i &= 0,42 \text{ m} + 0,00448 \text{ m} + 0,0026 \text{ m} \\ &= 0,43 \text{ m} \end{aligned}$$

f. Head Kerugian Gesek Dalam Pipa Tekan Dengan Bilangan Reynold

Untuk mencari head kerugian gesek (f) terlebih dahulu mengetahui sifat aliran dengan cara menggunakan bilangan reynold (Re_t) V_t = diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi tekan, d = diameter pipa v = diperoleh dari (*Lampiran, tabel viskositas kinetik zat cair*)

$$\begin{aligned} Re_t &= \frac{v_t \cdot d}{u} \\ Re_t &= \frac{0,1615 \text{ m/s} \cdot 0,0381 \text{ m}}{1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= \frac{0,0061 \text{ m}^2/\text{s}}{0,000001307 \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 4667,17 \end{aligned}$$

Untuk menentukan faktor gesekan pada pipa tekan dapat menggunakan diagram moody harus diketahui ϵ/d , telah diketahui ϵ/d kekasaran relatif pada pipa yaitu: 0,007.

Dari diagram moody didapat faktor gesekan pada pipa isap yaitu $f = 5,9$

g. Head Kerugian Gesek Pada Pipa Tekan

Untuk menghitung kerugian gesek antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang didalam pipa dapat menggunakan rumus Darcy, dimana f adalah faktor gesek pada pipa tekan, $L_t = 1,02 \text{ m}$, V_t = diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi tekan, dan d = diameter pipa.

$$hf_2 = f \frac{L_t \cdot V_t^2}{d \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana:

f = Faktor gesekan pada pipa tekan

L_t = Panjang pipa pada bagian pipa tekan = 1,02 m

Maka:

$$\begin{aligned} hf_2 &= 5,9 \frac{1,02 \cdot (0,1615 \text{ m}^3/\text{s})^2}{(0,0381 \text{ m}) \cdot 2 \cdot (9,81 \text{ m}/\text{s}^2)} \\ &= 5,9 \frac{0,026 \text{ m}^3/\text{s}^2}{0,747 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\ &= 0,206 \text{ m} \end{aligned}$$

h. Kerugian Head Akibat Sambungan Elbow 90° Pada Pipa Tekanan

Kerugian head pada sambungan elbow 90° pada instalasi pipa tekan terdapat 4 sambungan elbow dengan nilai $K_2 = 1,129$ didapat dari (*lampiran tabel faktor kerugian belokan pipa*) dan V_t = didapat dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi tekan:

$$hl_2 = n \cdot k_2 \frac{V_t^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

n = Jumlah sambungan elbow

k_2 = Faktor kerugian belokan pipa

Maka:

$$\begin{aligned} hl_2 &= 4 \cdot 1,129 \frac{(0,1615 \text{ m}/\text{s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m}/\text{s}^2} \\ &= 4,516 \frac{0,026 \text{ m}/\text{s}^2}{19,62 \text{ m}/\text{s}^2} \\ &= 0,006 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi kerugian head keseluruhan pada pipa tekanan adalah head kerugian gesek pada pipa lurus tekan (hf_2) ditambah head akibat sambungan 90° (hl_2)

$$\begin{aligned} hl_t &= hf_2 + hl_2 \\ &= 0,206 \text{ m} + 0,006 \text{ m} \\ &= 0,212 \text{ m} \end{aligned}$$

i. Head Kerugian Keseluruhan dari Pipa Isap dan Pipa Tekan (hl)

Jadi head kerugian keseluruhan pada pipa, katub, belokan dan lain-lain adalah kerugian keseluruhan pada pipa tekan (h_{lt}) ditambah kerugian keseluruhan pada pipa isap (h_{li})

$$h_l = h_{lt} + h_{li}$$

$$h_l = 0,212 \text{ m} + 0,43 \text{ m}$$

$$= 0,64 \text{ m}$$

j. Head Total Pompa

Sebelum mencari head total pompa terlebih dahulu harus mencari head kecepatan keluar dan dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{Vt^2}{2.g}$$

$$\frac{V1^2}{2.g} = \frac{(0,1615 \text{ m}^3/s)^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$= \frac{0,026 \text{ m}^3/s}{19,62 \text{ m/s}^2}$$

$$= 0,00132 \text{ m/s}$$

Nilai ΔH_p adalah tekanan permukaan air sisi atas dan tekanan permukaan air pada sisi bawah, dimana pada instalasi yang dirancang tidak memiliki tekanan permukaan air, jadi nilai $\Delta H_p = 0$.

$$H = H_s + \Delta H_p + h_l + \frac{V1^2}{2.g}$$

$$= 0,21 \text{ m} + 0 \text{ m} + 0,64 \text{ m} + 0,00132 \text{ m}$$

$$= 0,85 \text{ m}$$

4. Daya Hidrolis

Daya hidrolis adalah daya pompa yang dibutuhkan untuk mengalirkan sejumlah zat cair. Nilai daya hidrolis dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$N_h = \frac{\gamma.H.Q_t}{102}$$

$$= \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,85 \text{ m} \cdot 0,00021 \text{ m}^3/\text{s}}{102}$$

$$= 0,0017 \text{ kw}$$

5. Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa merupakan perbandingan antara daya yang diberikan pompa terhadap fluida dengan daya yang diberikan oleh motor listrik kepada pompa.

$$\eta = \frac{N_h}{N_m} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{0,0017}{0,40} \times 100\%$$

$$= 0,42 \%$$

6. Daya Pompa

Daya yang diperlukan pompa untuk memompakan air sebanyak 0,001 m³ (1 liter) dengan waktu 5,3 detik dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$N_p = \frac{\gamma \cdot Q_t \cdot H}{n \cdot 102}$$

$$= \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,00021 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 0,85 \text{ m}}{0,0042 \cdot 102}$$

$$= \frac{0,1785}{0,43}$$

$$= 0,41 \text{ kW}$$

7. Net Positive Suction Head (NPSH yang tersedia)

Besarnya NPSH dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$h_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_v}{\gamma} - h_s - h_{l_s}$$

Dimana:

H_{sv} = NPSH yang tersedia (m)

P_a = Tekanan mutlak zat cair dalam tangki : 0 (kgf/m²) disebabkan karena tangki berada pada ruangan terbuka, tidak memiliki tekanan.

P_v = Tekanan uap jenuh air bersih pada suhu 20°, maka tekanan = (0,02373 kgf/cm²) = (2,37300 kgf/m²) (*lampiran tabel tekanan uap jenuh air dalam satuan absolut*)

$$\begin{aligned} h_{sv} &= \frac{0}{9,98} + \frac{2,373}{9,98} - 0,21 - 0,008 \\ &= 0 + 0,237 - 0,21 - 0,008 \\ &= 0,019 \text{ m} \end{aligned}$$

4.3.2. Perhitungan Pada Pompa 2

1. Debit Aliran (Q)

Debit aliran diketahui dari hasil pengukuran menggunakan flow meter dengan nilai V : 0,001 dengan waktu yang dicapai 4,77 detik

Karena diameter pipa hisap dan tekan sama maka $Q_i = Q_t$

Maka:

$$Q = \frac{V}{s}$$

Dimana:

Q = Debit Aliran (m³/s)

V = Volume (L)

s = Waktu

Maka:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{0,001 \text{ m}^3}{4,77 \text{ s}} \\ &= 0,00021 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

2. Kecepatan Aliran Pipa

Untuk menghitung kecepatan aliran pada pipa, maka terlebih dahulu harus mengetahui luas penampang pipa dengan menggunakan persamaan berikut:

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

Dimana:

Q = Debit Aliran (m³/s)

A = Luas Penampang (m²)

Maka:

$$A = \frac{3,14}{4} \cdot (0,0381 \text{ m})^2$$

$$= 0,00113 \text{ m}^2$$

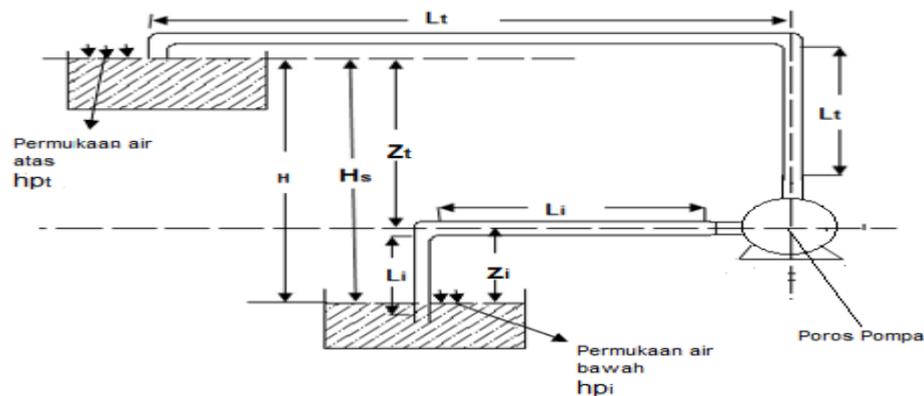
Untuk menghitung kecepatan aliran pada pipa isap dan tekan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut tetapi karena diameter pipa isap dan tekan sama maka kecepatan aliran air yang masuk dan keluar melalui pipa juga sama sehingga $V_i = V_t$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,00021 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00113 \text{ m}^2}$$

$$= 0,1615 \text{ m/s}$$

3. Perhitungan Head



Gambar 4.2. Head Pompa 2 Dengan Beban Lampu 0 Watt

Keterangan:

Z_t = Ketinggian fluida dari poros pompa kepermukaan air atas = 0,65 m

Z_i = ketinggian fluida dari poros kepermukaan air bawah = 0,44 m

L_t = Panjang pipa, bagian pipa tekan = 1,90 m

L_i = Panjang pipa, bagian pipa isap = 1,02 m

a. Head Statis Total

Head statis total adalah perbedaan ketinggian antara fluida pada sisi tekan dengan ketinggian fluida pada sisi isap. Data dari perbedaan ketinggian tersebut diketahui dengan mengukur instalasi pipa pada ketinggian sisi tekan dan ketinggian pada sisi isap, dengan data yang diperoleh yaitu pada sisi tekan $Z_t = 65$

cm dan pada sisi isap $Z_i = 44$ cm. Untuk mendapatkan head statis total, satuan cm diubah menjadi m.

$$\begin{aligned} H_s &= Z_t - Z_i \\ H_s &= 0,65 \text{ m} - 0,44 \text{ m} \\ &= 0,21 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Head Kerugian Gesek Dalam Pipa Hisap Dengan Bilangan Reynold

Untuk mengetahui kerugian gesek dalam pipa (f) maka terlebih dahulu harus mengetahui sifat aliran dengan menggunakan bilangan reynold (Re_i) $V_i =$ didapat dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi isap, $d =$ diameter pipa, $\nu =$ didapat dari (*Lampiran tabel viskositas kinetik zat cair*).

$$\begin{aligned} Re_i &= \frac{v_i \cdot d}{\nu} \\ Re_i &= \frac{0,1615 \text{ m/s} \cdot 0,0381 \text{ m}^2}{1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= \frac{0,0061 \text{ m}^2/\text{s}}{0,000001307 \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 4667,17 \end{aligned}$$

Untuk menentukan faktor gesekan pada pipa tekan dapat menggunakan diagram moody harus diketahui ϵ/d , telah diketahui ϵ/d kekasaran relatif pada pipa yaitu: 0,007.

Dari diagram moody didapat faktor gesekan pada pipa isap yaitu $f = 5,9$

c. Head Kerugian Gesek Pada Pipa Isap

Untuk mengetahui kerugian gesek antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang dalam pipa dapat menggunakan rumus Darcy, dimana f adalah faktor gesek pada pipa isap, $L_i = 102$ cm = 1,02 m panjang pipa pada sisi tekan, $V_i =$ diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran fluida pada sisi isap, dan $d =$ diameter pipa.

$$\begin{aligned} hf_i &= f \frac{L_i V_i^2}{d \cdot 2 \cdot g} \\ &= 5,9 \frac{(1,02 \text{ m}) \cdot (0,1615 \text{ m/s})^2}{(0,0381 \text{ m}) \cdot 2 \cdot (9,81 \text{ m/s}^2)} \end{aligned}$$

$$= 5,9 \frac{0,026 \text{ m}^2/\text{s}^2}{0,747 \text{ m}^2/\text{s}^2}$$

$$= 0,2 \text{ m/s}^2$$

d. Kerugian Head Akibat Sambungan Elbow 90° Pipa Hisap

Kerugian head pada sambungan elbow 90° pada instalasi, pada pipa hisap terdapat 4 sambungan elbow dengan nilai $k = 1,129$ didapat dari (*lampiran, tabel faktor kerugian belokan pipa*) dan V_i di peroleh dari perhitungan kecepatan aliran fluida pada sisi isap.

$$hl_i = n k_1 \frac{V_i^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

n = Jumlah Sambungan elbow

k = Faktor Kerugian Belokan Pipa

Maka:

$$hl_i = 4 \cdot 1,129 \frac{(0,1663 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$= 4 \cdot 1,129 \frac{0,027 \text{ m}^3/\text{s}}{19,62 \text{ m/s}^2}$$

$$= 0,006 \text{ m}$$

e. Kerugian Head Pada Kutup Isap Dan Saringan

Kerugian head pada katup isap pada saringan $k = 1,97$ diperoleh dari (*lampiran, tabel faktor kerugian dari berbagai katub*), dan V_i diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi isap.

$$hl_2 = k \frac{V_i^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

k = Faktor kerugian dari berbagai katup

Maka:

$$hl_2 = 1,97 \frac{(0,1615 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$= 1,97 \frac{0,027 \text{ m}^2/\text{s}^2}{19,62 \text{ m}^2/\text{s}^2}$$

$$= 0,0027 \text{ m}$$

Jadi kerugian head pada sisi hisap seluruhnya diperoleh dari kerugian head pada pipa hisap lurus dan kerugian head terhadap sambungan ditambah kerugian head terhadap katup dan saringan

$$hl_i = hf_i + hl_1 + hl_2$$

$$hl_i = 0,2 \text{ m} + 0,006 \text{ m} + 0,0025 \text{ m}$$

$$= 0,21 \text{ m}$$

f. Head Kerugian Gesek Dalam Pipa Tekan Dengan Bilangan Reynold

Untuk mencari head kerugian gesek (f) terlebih dahulu mengetahui sifat aliran dengan cara menggunakan bilangan reynold (Re_t) V_t = diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi tekan, d = diameter pipa v = diperoleh dari (Lampiran, tabel viskositas kinetik zat cair)

$$Re_t = \frac{v_t \cdot d}{u}$$

$$= \frac{0,1615 \text{ m/s} \cdot 0,0381 \text{ m}}{1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= \frac{0,0061 \text{ m}^2/\text{s}}{0,000001307 \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= 4667,17$$

Untuk menentukan faktor gesekan pada pipa tekan dapat menggunakan diagram moody harus diketahui ϵ/d , telah diketahui ϵ/d kekasaran relatif pada pipa yaitu: 0,007.

Dari diagram moody didapat faktor gesekan pada pipa isap yaitu $f = 5,9$

g. Head Kerugian Gesek Pada Pipa Lurus Tekan

Untuk menghitung kerugian gesek antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang didalam pipa dapat menggunakan rumus Darcy, dimana f adalah faktor gesek pada pipa tekan, $L_t = 1,90 \text{ m}$, V_t = diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi tekan, dan d = diameter pipa.

$$Hf_2 = f \frac{L_t \cdot V_t^2}{d \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana:

f = Faktor gesekan pada pipa tekan

L_t = Panjang pipa pada bagian pipa tekan = 1,02

Maka:

$$\begin{aligned} Hf_2 &= 5,9 \frac{1,90 \cdot (0,1615 \text{ m}^3/\text{s})^2}{(0,0381 \text{ m}) \cdot 2 \cdot (9,81 \text{ m/s}^2)} \\ &= 5,9 \frac{0,05 \text{ m}^3/\text{s}^2}{0,747 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\ &= 0,4 \text{ m} \end{aligned}$$

h. Kerugian Head Akibat Sambungan Elbow 90° Pada Pipa Tekanan

Kerugian head pada sambungan elbow 90° pada instalasi pipa tekan terdapat 4 sambungan elbow dengan nilai $K_2 = 1,129$ didapat dari (*lampiran tabel faktor kerugian belokan pipa*) dan V_t = kecepatan aliran pada sisi tekan:

$$hl_2 = n \cdot k_2 \frac{V_t^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

n = Jumlah sambungan elbow

k_2 = Faktor kerugian belokan pipa

Maka:

$$\begin{aligned} hl_2 &= 4 \cdot 1,129 \frac{(0,1615 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\ &= 4,516 \frac{0,026 \text{ m/s}^2}{19,62 \text{ m/s}^2} \\ &= 0,006 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi kerugian head keseluruhan pada pipa tekanan adalah head kerugian gesek pada pipa lurus tekan (hf_2) ditambah head akibat sambungan 90° (hl_2).

$$\begin{aligned} hl_t &= hf_2 + hl_2 \\ &= 0,4 \text{ m} + 0,006 \text{ m} \\ &= 0,406 \text{ m} \end{aligned}$$

i. Head Kerugian Keseluruhan dari Pipa Isap dan Pipa Tekan (h_l)

Head kerugian keseluruhan pada pipa, katup, belokan dan lain-lain adalah kerugian keseluruhan pada pipa tekan (h_{lt}) ditambah kerugian keseluruhan pada pipa isap (h_{li}).

$$\begin{aligned}h_l &= h_{lt} + h_{li} \\h_l &= 0,406 \text{ m} + 0,21 \text{ m} \\&= 0,616 \text{ m}\end{aligned}$$

j. Head Total Pompa

Sebelum mencari head total pompa terlebih dahulu harus mencari head kecepatan keluar dan dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{V_t^2}{2 \cdot g} \\ \frac{V_1^2}{2 \cdot g} &= \frac{(0,1615 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m}/\text{s}^2} \\ &= \frac{0,026 \text{ m}^3/\text{s}}{19,62 \text{ m}/\text{s}^2} \\ &= 0,00132 \text{ m}/\text{s}\end{aligned}$$

Nilai ΔH_P adalah tekanan permukaan air sisi atas dan tekanan permukaan air pada sisi bawah, dimana pada instalasi yang dirancang tidak memiliki tekanan permukaan air, maka: $\Delta H_P = 0$. Maka head total pompa:

$$\begin{aligned}H &= H_S + \Delta H_P + h_l + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} \\ &= 0,21 \text{ m} + 0 \text{ m} + 0,616 \text{ m} + 0,00132 \text{ m} \\ &= 0,83 \text{ m}\end{aligned}$$

4. Daya Hidrolis

Daya hidrolis adalah daya pompa yang dibutuhkan untuk mengalirkan sejumlah zat cair. Nilai daya hidrolis dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}N_h &= \frac{\gamma \cdot H \cdot Q_t}{102} \\ &= \frac{1000 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 0,83 \text{ m} \cdot 0,00021 \text{ m}^3/\text{s}}{102}\end{aligned}$$

$$= 0,0017 \text{ kw}$$

5. Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa merupakan perbandingan antara daya yang diberikan pompa terhadap fluida dengan daya yang diberikan oleh motor listrik kepada pompa.

$$\eta = \frac{N_h}{N_m} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{0,0017}{0,75} \times 100\%$$

$$= 0,22 \%$$

6. Daya Pompa

Daya yang dibutuhkan pompa untuk memompakan air sebanyak 0,001 m³ (1 liter) dengan waktu 5,30 detik dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$N_p = \frac{\gamma \cdot Q_t \cdot H}{n \cdot 102}$$

$$= \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,00021 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 0,83 \text{ m}}{0,0022 \cdot 102}$$

$$= \frac{0,1743}{0,224}$$

$$= 0,78 \text{ kW}$$

7. Net Positive Suction Head (NPSH yang tersedia)

Besarnya NPSH dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$h_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_v}{\gamma} - h_s - hl_s$$

Dimana:

H_{sv} = NPSH yang tersedia (m)

P_a = Tekanan mutlak zat cair dalam tangki : 0 (kgf/m²) disebabkan karena tangki berada pada ruangan terbuka, tidak memiliki tekanan.

P_v = Tekanan uap jenuh air bersih pada suhu 20°, maka tekanan = (0,02373 kgf/cm²) = (2373 kgf/m²) (*lampiran tabel tekanan uap jenuh air dalam satuan absolut*)

$$\begin{aligned} h_{sv} &= \frac{0}{9,98} + \frac{2,373}{9,98} - 0,21 - 0,009 \\ &= 0 + 0,237 - 0,21 - 0,009 \\ &= 0,215 \text{ m} \end{aligned}$$

4.3.3 Perhitungan Pada Pompa Seri

1. Head Total Pompa Seri

Karena pompa yang digunakan menggunakan pompa susunan seri maka head total pompa 1 ditambah dengan head total pompa 2 ($H_{p1} + H_{p2}$):

$$H = H_{p1} + H_{p2}$$

Dimana:

$$H_{p1} = \text{Head Pompa 1}$$

$$H_{p2} = \text{Head Pompa 2}$$

Maka:

$$\begin{aligned} H &= 0,83 \text{ m} + 0,85 \text{ m} \\ &= 1,68 \text{ m} \end{aligned}$$

4.3.4. Perhitungan Pada Pompa Sebagai Turbin

1. Perhitungan Pada Pompa Sebagai Turbin Dengan Beban 0 Watt

a. Kecepatan Spesifik Turbin

Kecepatan spesifik turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut, nilai V dan H diperoleh dari perhitungan pompa penggerak dengan nilai $V = 0,1663 \text{ m}^3/\text{s}$ dan nilai $H = 1,6 \text{ m}$:

$$n_q = n \frac{\sqrt{V}}{\sqrt{H^{3/4}}}$$

Dimana:

$$n = \text{Kecepatan putaran turbin (Rpm)}$$

$$v = \text{Kecepatan Aliran (m}^3/\text{s)}$$

$$H = \text{Head total}$$

Maka:

$$\begin{aligned}
 n_q &= 533 \frac{\sqrt[4]{0,1615 \text{ m}^3/\text{s}}}{\sqrt[4]{(1,68 \text{ m})^{3/4}}} \\
 &= 533 \frac{0,40 \text{ m}^3/\text{s}}{4,86 \text{ m}} \\
 &= 553 \cdot 0,08 \\
 &= 44,24 \text{ Rpm}
 \end{aligned}$$

b. Persamaan untuk menghitung daya air (P_{in})

Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya air adalah:

$$P_{in} = V \text{ m/s} \cdot \rho \text{ kg/m}^3 \cdot g \text{ m/s}^2 \cdot H \text{ m}$$

Dimana:

P_{in} = Daya air (Watt)

v = Kecepatan Aliran air (m/s)

ρ = Massa Jenis fluida (kg/m^3)

H = Head (m)

Maka:

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= 0,1615 \text{ m/s} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1,68 \text{ m} \\
 &= 2661,6 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

c. Persamaan untuk menghitung daya turbin (P_{out})

Menghitung daya turbin (P_{out}) dengan menghitung daya yang telah dikonversi ke bentuk listrik dengan menggunakan persamaan daya listrik :

$$P = V \cdot I$$

Dimana:

V = Volt

I = Ampere

Maka:

$$\begin{aligned}
 P &= 8,76 \text{ volt} \cdot 1,02 \text{ Amper} \\
 &= 8,9 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

d. Persamaan untuk menghitung efisiensi turbin (η_T)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung efisiensi turbin adalah dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\eta_T = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\%$$

dimana:

P_{out} = Daya turbin (Watt)

P_{in} = Daya air (Watt)

Maka:

$$\begin{aligned} \eta_T &= \frac{8,9}{2661,6} \cdot 100\% \\ &= 0,33\% \end{aligned}$$

4.4. Perhitungan Pada Pompa Penggerak Dengan Beban Bola Lampu 10 Watt

Data yang diketahui:

Diameter pipa $d = 1 \frac{1}{2}$ inchi = 381mm = 0,381 m

Massa jenis fluida $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Viskositas kinetik zat cair $\nu = 1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Percepatan gravitasi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

4.4.1. Perhitungan Pada Pompa 1

1. Debit Aliran (Q)

Debit aliran diketahui dari hasil pengukuran menggunakan flow meter dengan nilai $V = 0,001 \text{ m}^3$ (1 liter) dengan waktu 3,92 detik

Karena diameter pipa hisap dan tekan sama maka $Q_i = Q_t$

$$Q = \frac{V}{s}$$

Dimana:

Q = Debit Aliran (m^3/s)

V = Volume (L)

s = Waktu

maka:

$$Q = \frac{0,001 \text{ m}^3}{3,92 \text{ s}}$$

$$= 0,000255 \text{ m}^3/\text{s}$$

2. Kecepatan Aliran Pipa

Untuk menghitung kecepatan aliran pada pipa, maka terlebih dahulu harus mengetahui luas penampang pipa dengan menggunakan persamaan berikut:

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

Dimana:

d = Diameter pipa (m)

Maka:

$$A = \frac{3,14}{4} \cdot (0,0381 \text{ m})^2$$

$$= 0,00113 \text{ m}^2$$

Untuk menghitung kecepatan aliran pada pipa isap dan tekan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut tetapi karena diameter pipa isap dan tekan sama maka kecepatan aliran air yang masuk dan keluar melalui pipa juga sama sehingga $V_i = V_t$

$$V = \frac{Q}{A}$$

Dimana:

Q = Debit aliran (m^3/s)

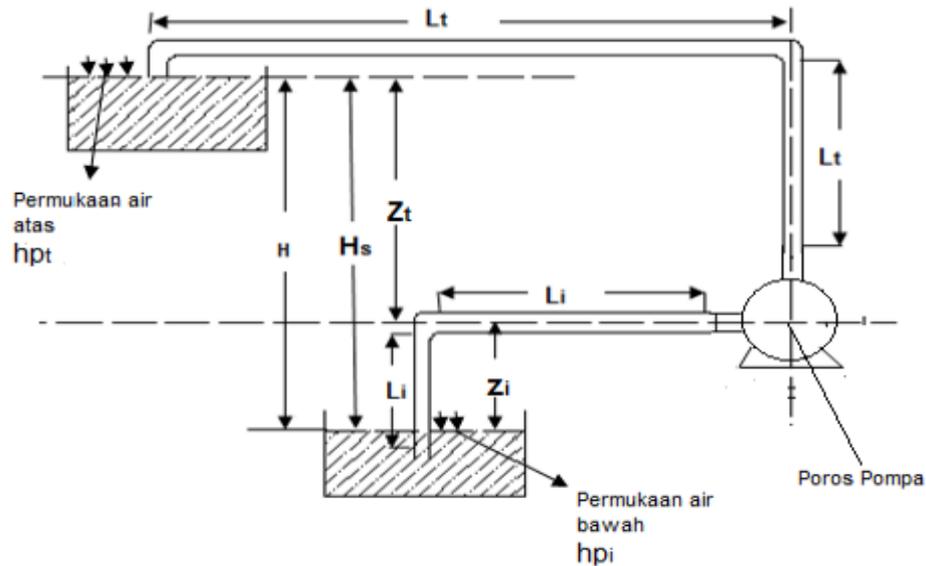
A = Luas penampang (m^2)

Maka:

$$V = \frac{0,000255 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00113 \text{ m}^2}$$

$$= 0,1917 \text{ m/s}$$

3. Perhitungan Head



Gambar 4.1. Head Pompa 1 Dengan Beban Bola Lampu 10 Watt

Keterangan:

Z_t = Ketinggian fluida dari poros pompa kepermukaan air atas = 0,65 m

Z_i = ketinggian fluida dari poros kepermukaan air bawah = 0,44

L_t = Panjang pipa, bagian pipa tekan = 1,02 m

L_i = Panjang pipa, bagian pipa isap = 2,03 m

a. Head Statis Total

Head statis total adalah perbedaan ketinggian antara fluida pada sisi tekan dengan ketinggian fluida pada sisi isap. Data dari perbedaan ketinggian tersebut diketahui dengan mengukur instalasi pipa pada ketinggian sisi tekan dan ketinggian pada sisi isap, yaitu pada sisi tekan $Z_t = 65$ cm dan pada sisi isap $Z_i = 44$ cm. Untuk mendapatkan head statis total, satuan cm diubah menjadi m. Untuk menghitung head statis total dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut:

$$H_s = Z_t - Z_i$$

Dimana:

Z_t = Ketinggian fluida dari poros pompa kepermukaan air atas = 0,65 m

Z_i = ketinggian fluida dari poros kepermukaan air bawah = 0,44

Maka:

$$H_s = 0,65 \text{ m} - 0,44 \text{ m}$$

$$= 0,21 \text{ m}$$

b. Head Kerugian Gesek Dalam Pipa Hisap Dengan Bilangan Reynold

Untuk mengetahui kerugian gesek dalam pipa (f) maka terlebih dahulu harus mengetahui sifat aliran dengan menggunakan bilangan reynold (Re_i) $V_i =$ didapat dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi isap, $d =$ diameter pipa, $\nu =$ didapat dari (*Lampiran tabel viskositas kinetik zat cair*).

$$Re_i = \frac{v_i \cdot d}{\nu}$$

$$Re_i = \frac{0,1917 \text{ m/s} \cdot 0,0381 \text{ m}^2}{1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= \frac{0,0073 \text{ m}^2/\text{s}}{0,000001307 \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= 5585,3$$

Untuk menentukan faktor gesekan pada pipa isap dapat menggunakan diagram moody harus diketahui ϵ/d , telah diketahui ϵ/d kekasaran relatif pada pipa yaitu: 0,007.

Dari diagram moody didapat faktor gesekan pada pipa isap yaitu $f = 5,9$

c. Head Kerugian Gesek Pada Pipa Lurus Isap

Untuk mengetahui kerugian gesek antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang dalam pipa dapat menggunakan rumus Darcy, dimana f adalah faktor gesek pada pipa isap, $L_i = 203 \text{ cm} = 2,03 \text{ m}$ panjang pipa pada sisi tekan, $V_i =$ diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran fluida pada sisi isap, dan $d =$ diameter pipa.

$$hf_i = f \frac{L_i \cdot V_i^2}{d \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana:

$f =$ Faktor gesekan pada pipa isap

$L_i =$ Panjang pipa pada bagian pipa isap = 2,03 m

$v_i =$ Kecepatan aliran fluida pada sisi isap (m/s)

Maka:

$$\begin{aligned} h_{f_i} &= 5,9 \frac{(2,03 \text{ m}) \cdot (0,1917 \text{ m/s})^2}{(0,0381 \text{ m}) \cdot 2 \cdot (9,81 \text{ m/s}^2)} \\ &= 5,9 \frac{0,74 \text{ m}^2/\text{s}^2}{0,747 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\ &= 0,6 \text{ m} \end{aligned}$$

d. Kerugian Head Akibat Sambungan Elbow 90° Pipa Hisap

Kerugian head pada sambungan elbow 90° pada instalasi, pada pipa hisap terdapat 3 sambungan elbow dengan nilai $k = 1,129$ didapat dari (*lampiran, tabel faktor kerugian belokan pipa*) dan V_i di peroleh dari perhitungan kecepatan aliran fluida pada sisi isap.

$$h_{l_i} = n k_1 \frac{V_i^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

n = Jumlah sambungan elbow

k = Faktor kerugian belokan pipa

Maka:

$$\begin{aligned} h_{l_i} &= 3 \cdot 1,129 \frac{(0,1917 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\ &= 3 \cdot 1,129 \frac{0,036 \text{ m}^3/\text{s}}{19,62 \text{ m/s}^2} \\ &= 0,0062 \text{ m} \end{aligned}$$

e. Kerugian Head Pada Katup Isap Dan Saringan

Kerugian head pada katup isap pada saringan $k = 1,97$ diperoleh dari (*lampiran, tabel faktor kerugian dari berbagai katub*), dan V_i diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi isap.

$$h_{l_2} = k \frac{V_i^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

k = Faktor kerugian dari berbagai katup

Maka:

$$\begin{aligned}
 hl_2 &= 1,97 \frac{(0,1917 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\
 &= 1,97 \frac{0,036 \text{ m}^2/\text{s}^2}{19,62 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\
 &= 0,0036 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi kerugian head pada sisi hisap seluruhnya diperoleh dari kerugian head pada pipa hisap lurus dan kerugian head terhadap sambungan ditambah kerugian head terhadap katup dan saringan

Maka:

$$\begin{aligned}
 hl_i &= hf_i + hl_1 + hl_2 \\
 hl_i &= 0,6 \text{ m} + 0,0062 \text{ m} + 0,0036 \text{ m} \\
 &= 0,61 \text{ m}
 \end{aligned}$$

f. Head Kerugian Gesek Dalam Pipa Tekan Dengan Bilangan Reynold

Untuk mencari head kerugian gesek (f) terlebih dahulu mengetahui sifat aliran dengan cara menggunakan bilangan reynold (Re_t) V_t = diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi tekan, d = diameter pipa ν = diperoleh dari (Lampiran, tabel viskositas kinetik zat cair)

$$\begin{aligned}
 Re_t &= \frac{v_t \cdot d}{\nu} \\
 Re_t &= \frac{0,1917 \text{ m/s} \cdot 0,0381 \text{ m}}{1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\
 &= \frac{0,0073 \text{ m}^2/\text{s}}{0,000001307 \text{ m}^2/\text{s}} \\
 &= 5585,3
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan faktor gesekan pada pipa tekan dapat menggunakan diagram moody harus diketahui ϵ/d , telah diketahui ϵ/d kekasaran relatif pada pipa yaitu: 0,007.

Dari diagram moody didapat faktor gesekan pada pipa isap yaitu $f = 5,9$

g. Head Kerugian Gesek Pada Pipa Lurus Tekan

Untuk menghitung kerugian gesek antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang didalam pipa dapat menggunakan rumus Darcy, dimana f adalah faktor gesek pada pipa tekan, $L_t = 1,02$ m, $V_t =$ diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi tekan, dan $d =$ diameter pipa.

$$hf_2 = f \frac{L_t \cdot V_t^2}{d \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana:

$f =$ Faktor gesekan pada pipa tekan

$L_t =$ Panjang pipa pada bagian pipa tekan = 1,02 m

Maka:

$$\begin{aligned} hf_2 &= 5,9 \frac{1,02 \cdot (0,1917 \text{ m}^3/\text{s})^2}{(0,0381 \text{ m}) \cdot 2 \cdot (9,81 \text{ m}/\text{s}^2)} \\ &= 5,9 \frac{0,037 \text{ m}^3/\text{s}^2}{0,747 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\ &= 0,3 \text{ m} \end{aligned}$$

h. Kerugian Head Akibat Sambungan Elbow 90° Pada Pipa Tekanan

Kerugian head pada sambungan elbow 90° pada instalasi pipa tekan teradpat 4 sambungan elbow dengan nilai $K_2 = 1,129$ didapat dari (*lampiran tabel faktor kerugian belokan pipa*) dan $V_t =$ didapat dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi tekan:

$$hl_2 = n \cdot k_2 \frac{V_t^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

$n =$ Jumlah sambungan elbow

$k_2 =$ Faktor kerugian belokan pipa

Maka:

$$\begin{aligned} hl_2 &= 4 \cdot 1,129 \frac{(0,1917 \text{ m}/\text{s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m}/\text{s}^2} \\ &= 4,516 \frac{0,036 \text{ m}/\text{s}^2}{19,62 \text{ m}/\text{s}^2} \\ &= 0,0082 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi kerugian head keseluruhan pada pipa tekanan adalah head kerugian gesek pada pipa lurus tekan (hf_2) ditambah head akibat sambungan 90° (hl_2)

$$\begin{aligned} hl_t &= hf_2 + hl_2 \\ &= 0,3 \text{ m} + 0,0082 \text{ m} \\ &= 0,31 \text{ m} \end{aligned}$$

i. Head Kerugian Keseluruhan dari Pipa Isap dan Pipa Tekan (hl)

Jadi head kerugian keseluruhan pada pipa, katub, belokan dan lain-lain adalah kerugian keseluruhan pada pipa tekan (hl_t) ditambah kerugian keseluruhan pada pipa isap (hl_i)

$$\begin{aligned} hl &= hl_t + hl_i \\ hl &= 0,61 \text{ m} + 0,31 \text{ m} \\ &= 0,9 \text{ m} \end{aligned}$$

j. Head Total Pompa

Sebelum mencari head total pompa terlebih dahulu harus mencari head kecepatan keluar dan dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{Vt^2}{2.g} \\ \frac{V1^2}{2.g} &= \frac{(0,1917 \text{ m}^3/s)^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\ &= \frac{0,036 \text{ m}^3/s}{19,62 \text{ m/s}^2} \\ &= 0,00183 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Nilai ΔH_p adalah tekanan permukaan air sisi atas dan tekanan permukaan air pada sisi bawah, dimana pada instalasi yang dirancang tidak memiliki tekanan permukaan air, jadi nilai $\Delta H_p = 0$.

$$\begin{aligned} H &= H_s + \Delta H_p + h_l + \frac{V1^2}{2.g} \\ &= 0,21 \text{ m} + 0 \text{ m} + 0,9 \text{ m} + 0,00183 \text{ m} \\ &= 1,11 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Daya Hidrolis

Daya hidrolis adalah daya pompa yang dibutuhkan untuk mengalirkan sejumlah zat cair. Nilai daya hidrolis dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} N_h &= \frac{\gamma \cdot H \cdot Q_t}{102} \\ &= \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,11 \text{ m} \cdot 0,000255 \text{ m}^3/\text{s}}{102} \\ &= 0,0027 \text{ kw} \end{aligned}$$

5. Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa merupakan perbandingan antara daya yang diberikan pompa terhadap fluida dengan daya yang diberikan oleh motor listrik kepada pompa.

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{N_h}{N_m} \times 100\% \\ \eta &= \frac{0,0027}{0,40} \times 100\% \\ &= 0,67 \% \end{aligned}$$

6. Daya Pompa

Daya yang diperlukan pompa untuk memompakan air sebanyak 0,001 m³ (1 liter) dengan waktu 3,92 detik dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} N_p &= \frac{\gamma \cdot Q_t \cdot H}{n \cdot 102} \\ &= \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,000255 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,11 \text{ m}}{0,0067 \cdot 102} \\ &= \frac{0,28}{0,68} \\ &= 0,41 \text{ kW} \end{aligned}$$

7. Net Positive Suction Head (NPSH yang tersedia)

Besarnya NPSH dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$h_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_v}{\gamma} - h_s - h_{l_s}$$

Dimana:

H_{sv} = NPSH yang tersedia (m)

P_a = Tekanan mutlak zat cair dalam tangki : 0 (kgf/m²) disebabkan karena tangki berada pada ruangan terbuka, tidak memiliki tekanan.

P_v = Tekanan uap jenuh air bersih pada suhu 20°, maka tekanan = (0,02373 kgf/cm²) = (2,37300 kgf/m²) (*lampiran tabel tekanan uap jenuh air dalam satuan absolut*)

$$\begin{aligned}h_{sv} &= \frac{0}{9,98} + \frac{2,373}{9,98} - 0,21 - 0,011 \\ &= 0 + 0,237 - 0,21 - 0,011 \\ &= 0,016 \text{ m}\end{aligned}$$

4.4.2. Perhitungan Pada Pompa 2

1. Debit Aliran (Q)

Debit aliran diketahui dari hasil pengukuran menggunakan flow meter dengan nilai V : 0,001 dengan waktu yang dicapai 3,92 detik

Karena diameter pipa hisap dan tekan sama maka $Q_i = Q_t$

Maka:

$$Q = \frac{V}{s}$$

Dimana:

Q = Debit Aliran (m³/s)

V = Volume (L)

s = Waktu

Maka:

$$\begin{aligned}Q &= \frac{0,001 \text{ m}^3}{3,92 \text{ s}} \\ &= 0,000255 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

2. Kecepatan Aliran Pipa

Untuk menghitung kecepatan aliran pada pipa, maka terlebih dahulu harus mengetahui luas penampang pipa dengan menggunakan persamaan berikut:

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

Dimana:

Q = Debit Aliran (m³/s)

A = Luas Penampang (m²)

Maka:

$$A = \frac{3,14}{4} \cdot (0,0381 \text{ m})^2$$

$$= 0,00113 \text{ m}^2$$

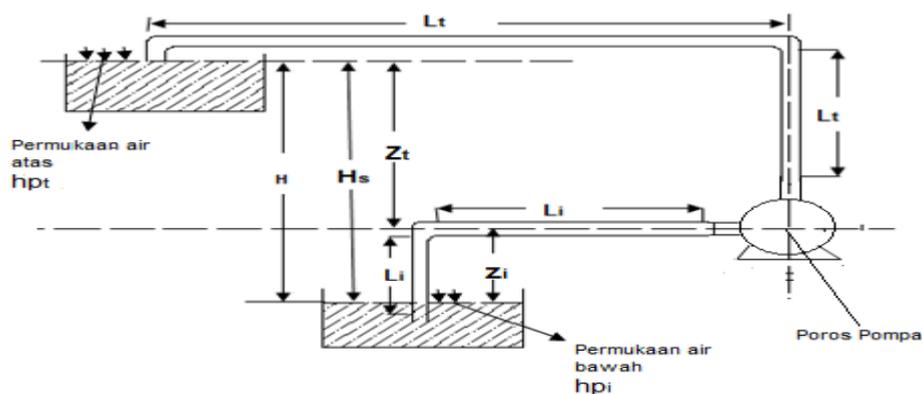
Untuk menghitung kecepatan aliran pada pipa isap dan tekan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut tetapi karena diameter pipa isap dan tekan sama maka kecepatan aliran air yang masuk dan keluar melalui pipa juga sama sehingga $V_i = V_t$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,000255 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00113 \text{ m}^2}$$

$$= 0,1917 \text{ m/s}$$

3. Perhitungan Head



Gambar 4.2. Head Pompa 2 Dengan Beban Lampu 0 Watt

Keterangan:

Z_t = Ketinggian fluida dari poros pompa kepermukaan air atas = 0,65 m

Z_i = ketinggian fluida dari poros kepermukaan air bawah = 0,44

L_t = Panjang pipa, bagian pipa tekan = 1,90 m

L_i = Panjang pipa, bagian pipa isap = 1,02 m

a. Head Statis Total

Head statis total adalah perbedaan ketinggian antara fluida pada sisi tekan dengan ketinggian fluida pada sisi isap. Data dari perbedaan ketinggian tersebut diketahui dengan mengukur instalasi pipa pada ketinggian sisi tekan dan ketinggian pada sisi isap, dengan data yang diperoleh yaitu pada sisi tekan $Z_t = 65$ cm dan pada sisi isap $Z_i = 44$ cm. Untuk mendapatkan head statis total, satuan cm diubah menjadi m.

$$\begin{aligned} H_s &= Z_t - Z_i \\ H_s &= 0,65 \text{ m} - 0,44 \text{ m} \\ &= 0,21 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Head Kerugian Gesek Dalam Pipa Hisap Dengan Bilangan Reynold

Untuk mengetahui kerugian gesek dalam pipa (f) maka terlebih dahulu harus mengetahui sifat aliran dengan menggunakan bilangan reynold (Re_i) : $V_i =$ didapat dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi isap, $d =$ diameter pipa, $\nu =$ didapat dari (*Lampiran tabel viskositas kinetik zat cair*).

$$\begin{aligned} Re_i &= \frac{v_i \cdot d}{\nu} \\ Re_i &= \frac{0,1917 \text{ m/s} \cdot 0,0381 \text{ m}^2}{1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= \frac{0,0073 \text{ m}^2/\text{s}}{0,000001307 \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 5585,3 \end{aligned}$$

Untuk menentukan faktor gesekan pada pipa tekan dapat menggunakan diagram moody harus diketahui ϵ/d , telah diketahui ϵ/d kekasaran relatif pada pipa yaitu: 0,007.

Dari diagram moody didapat faktor gesekan pada pipa isap yaitu $f = 5,9$

c. Head Kerugian Gesek Pada Pipa Isap

Untuk mengetahui kerugian gesek antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang dalam pipa dapat menggunakan rumus Darcy, dimana f adalah faktor gesek pada pipa isap, $L_i = 102$ cm = 1,02 m panjang

pipa pada sisi tekan, V_i = diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran fluida pada sisi isap, dan d = diameter pipa.

$$\begin{aligned}
 hf_i &= f \frac{L_i \cdot V_i^2}{d \cdot 2 \cdot g} \\
 &= 5,9 \frac{(1,02 \text{ m}) \cdot (0,1917 \text{ m/s})^2}{(0,0381 \text{ m}) \cdot 2 \cdot (9,81 \text{ m/s}^2)} \\
 &= 5,9 \frac{0,037 \text{ m}^2/\text{s}^2}{0,747 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\
 &= 0,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

d. Kerugian Head Akibat Sambungan Elbow 90° Pipa Hisap

Kerugian head pada sambungan elbow 90° pada instalasi, pada pipa hisap terdapat 4 sambungan elbow dengan nilai $k = 1,129$ didapat dari (*lampiran, tabel faktor kerugian belokan pipa*) dan V_i di peroleh dari perhitungan kecepatan aliran fluida pada sisi isap.

$$hl_i = n k_1 \frac{V_i^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

n = Jumlah Sambungan elbow

k = Faktor Kerugian Belokan Pipa

Maka:

$$\begin{aligned}
 hl_i &= 4 \cdot 1,129 \frac{(0,1917 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\
 &= 4 \cdot 1,129 \frac{0,036 \text{ m}^3/\text{s}}{19,62 \text{ m/s}^2} \\
 &= 4,516 \cdot 0,0018 \\
 &= 0,008 \text{ m}
 \end{aligned}$$

e. Kerugian Head Pada Kutup Isap Dan Saringan

Kerugian head pada katup isap pada saringan $k = 1,97$ diperoleh dari (*lampiran, tabel faktor kerugian dari berbagai katub*), dan V_i diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi isap.

$$hl_2 = k \frac{V_i^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

k = Faktor kerugian dari berbagai katup

Maka:

$$\begin{aligned} hl_2 &= 1,97 \frac{(0,1917 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\ &= 1,97 \frac{0,036 \text{ m}^2/\text{s}^2}{19,62 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\ &= 0,0036 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi kerugian head pada sisi hisap seluruhnya diperoleh dari kerugian head pada pipa hisap lurus dan kerugian head terhadap sambungan ditambah kerugian head terhadap katup dan saringan

$$\begin{aligned} hl_i &= hf_i + hl_1 + hl_2 \\ hl_i &= 0,3 \text{ m} + 0,008 \text{ m} + 0,0036 \text{ m} \\ &= 0,31 \text{ m} \end{aligned}$$

f. Head Kerugian Gesek Dalam Pipa Tekan Dengan Bilangan Reynold

Untuk mencari head kerugian gesek (f) terlebih dahulu mengetahui sifat aliran dengan cara menggunakan bilangan reynold (Re_t) V_t = diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi tekan, d = diameter pipa v = diperoleh dari (Lampiran, tabel viskositas kinetik zat cair)

$$\begin{aligned} Re_t &= \frac{v_t \cdot d}{u} \\ &= \frac{0,1917 \text{ m/s} \cdot 0,0381 \text{ m}}{1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= \frac{0,0073 \text{ m}^2/\text{s}}{0,000001307 \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 5585,3 \end{aligned}$$

Untuk menentukan faktor gesekan pada pipa tekan dapat menggunakan diagram moody harus diketahui ϵ/d , telah diketahui ϵ/d kekasaran relatif pada pipa yaitu: 0,007.

Dari diagram moody didapat faktor gesekan pada pipa isap yaitu $f = 5,9$

g. Head Kerugian Gesek Pada Pipa Lurus Tekan

Untuk menghitung kerugian gesek antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang didalam pipa dapat menggunakan rumus Darcy, dimana f adalah faktor gesek pada pipa tekan, $L_t = 1,90$ m, $V_t =$ diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi tekan, dan $d =$ diameter pipa.

$$Hf_2 = f \frac{L_t \cdot V_t^2}{d \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana:

$f =$ Faktor gesekan pada pipa tekan

Maka:

$$\begin{aligned} Hf_2 &= 5,9 \frac{1,90 \cdot (0,1917 \text{ m}^3/\text{s})^2}{(0,0381 \text{ m}) \cdot 2 \cdot (9,81 \text{ m}/\text{s}^2)} \\ &= 5,9 \frac{0,07 \text{ m}^3/\text{s}^2}{0,747 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\ &= 0,6 \text{ m} \end{aligned}$$

h. Kerugian Head Akibat Sambungan Elbow 90° Pada Pipa Tekanan

Kerugian head pada sambungan elbow 90° pada instalasi pipa tekan teradpat 4 sambungan elbow dengan nilai $K_2 = 1,129$ didapat dari (*lampiran tabel faktor kerugian belokan pipa*) dan $V_t =$ kecepatan aliran pada sisi tekan:

$$hl_2 = n \cdot k_2 \frac{V_t^2}{2 \cdot g}$$

Dimana:

$n =$ Jumlah sambungan elbow

$k_2 =$ Faktor kerugian belokan pipa

Maka:

$$\begin{aligned} hl_2 &= 4 \cdot 1,129 \frac{(0,1917 \text{ m}/\text{s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m}/\text{s}^2} \\ &= 4,516 \frac{0,036 \text{ m}/\text{s}^2}{19,62 \text{ m}/\text{s}^2} \\ &= 0,0082 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi kerugian head keseluruhan pada pipa tekanan adalah head kerugian gesek pada pipa lurus tekan (hf_2) ditambah head akibat sambungan 90° (hl_2).

$$\begin{aligned}
h_{lt} &= h_{f2} + h_{l2} \\
&= 0,6 \text{ m} + 0,0082 \text{ m} \\
&= 0,61 \text{ m}
\end{aligned}$$

i. Head Kerugian Keseluruhan dari Pipa Isap dan Pipa Tekan (h_l)

Head kerugian keseluruhan pada pipa, katub, belokan dan lain-lain adalah kerugian keseluruhan pada pipa tekan (h_{lt}) ditambah kerugian keseluruhan pada pipa isap (h_{li}).

$$\begin{aligned}
h_l &= h_{lt} + h_{li} \\
h_l &= 0,61 \text{ m} + 0,31 \text{ m} \\
&= 0,9 \text{ m}
\end{aligned}$$

j. Head Total Pompa

Sebelum mencari head total pompa terlebih dahulu harus mencari head kecepatan keluar dan dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\frac{V_t^2}{2.g} \\
\frac{V_1^2}{2.g} &= \frac{(0,1917 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m}/\text{s}^2} \\
&= \frac{0,036 \text{ m}^3/\text{s}}{19,62 \text{ m}/\text{s}^2} \\
&= 0,00183 \text{ m}/\text{s}
\end{aligned}$$

Nilai ΔH_p adalah tekanan permukaan air sisi atas dan tekanan permukaan air pada sisi bawah, dimana pada instalasi yang dirancang tidak memiliki tekanan permukaan air, jadi nilai $\Delta H_p = 0$. Maka head total pompa dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
H &= H_s + \Delta H_p + h_l + \frac{V_1^2}{2.g} \\
&= 0,21 \text{ m} + 0 \text{ m} + 0,9 \text{ m} + 0,00183 \text{ m} \\
&= 1,11 \text{ m}
\end{aligned}$$

4. Daya Hidrolis

Daya hidrolis adalah daya pompa yang dibutuhkan untuk mengalirkan sejumlah zat cair. Nilai daya hidrolis dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} N_h &= \frac{\gamma \cdot H \cdot Q_t}{102} \\ &= \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,11 \text{ m} \cdot 0,000255 \text{ m}^3/\text{s}}{102} \\ &= 0,0027 \text{ kw} \end{aligned}$$

5. Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa merupakan perbandingan antara daya yang diberikan pompa terhadap fluida dengan daya yang diberikan oleh motor listrik kepada pompa.

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{N_h}{N_m} \times 100\% \\ \eta &= \frac{0,0027}{0,75} \times 100\% \\ &= 0,36 \% \end{aligned}$$

6. Daya Pompa

Daya yang dibutuhkan pompa untuk memompakan air sebanyak 0,001 m³ (1 liter) dengan waktu 5,30 detik dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} N_p &= \frac{\gamma \cdot Q_t \cdot H}{n \cdot 102} \\ &= \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,000255 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,11 \text{ m}}{0,0036 \cdot 102} \\ &= \frac{0,28}{0,36} \\ &= 0,7 \text{ kW} \end{aligned}$$

7. Net Positive Suction Head (NPSH yang tersedia)

Besarnya NPSH dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$h_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_v}{\gamma} - h_s - h_{l_s}$$

Dimana:

H_{sv} = NPSH yang tersedia (m)

P_a = Tekanan mutlak zat cair dalam tangki : 0 (kgf/m²) disebabkan karena tangki berada pada ruangan terbuka, tidak memiliki tekanan.

P_v = Tekanan uap jenuh air bersih pada suhu 20°, maka tekanan = (0,02373 kgf/cm²) = (2373 kgf/m²) (*lampiran tabel tekanan uap jenuh air dalam satuan absolut*)

$$\begin{aligned}h_{sv} &= \frac{0}{9,98} + \frac{2,373}{9,98} - 0,21 - 0,0012 \\ &= 0 + 0,237 - 0,21 - 0,0012 \\ &= 0,015 \text{ m}\end{aligned}$$

4.4.3 Perhitungan Pada Pompa Seri

1. Head Total Pompa Seri

Karena pompa yang digunakan menggunakan pompa susunan seri maka head total pompa 1 ditambah dengan head total pompa 2 ($H_{p1} + H_{p2}$):

$$H = H_{p1} + H_{p2}$$

Dimana:

H_{p1} = Head Pompa 1

H_{p2} = Head Pompa 2

Maka:

$$\begin{aligned}H &= 1,11 \text{ m} + 1,11 \text{ m} \\ &= 2,22 \text{ m}\end{aligned}$$

4.4.4. Perhitungan Pada Pompa Sebagai Turbin

1. Perhitungan Pada Pompa Sebagai Turbin Dengan Beban 10 Watt

a. Kecepatan Spesifik Turbin

Kecepatan spesifik turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut, nilai V dan H diperoleh dari perhitungan pompa penggerak dengan nilai $V = 0,1917 \text{ m}^3/\text{s}$ dan nilai $H = 2,22 \text{ m}$:

$$n_q = n \frac{\sqrt{V}}{\sqrt{H^{3/4}}}$$

Dimana:

n = Kecepatan putaran turbin (Rpm)

v = Kecepatan Aliran (m^3/s)

H = Head total

Maka:

$$\begin{aligned}n_q &= 335 \frac{\sqrt{0,1917 \text{ m}^3/\text{s}}}{\sqrt[4]{(2,22 \text{ m})^{3/4}}} \\ &= 533 \frac{0,43 \text{ m}^3/\text{s}}{5,4 \text{ m}} \\ &= 335 \cdot 0,08 \\ &= 26,8 \text{ Rpm}\end{aligned}$$

b. Persamaan untuk menghitung daya air (P_{in})

Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya air adalah:

$$P_{in} = V \text{ m/s} \cdot \rho \text{ kg/m}^3 \cdot g \text{ m/s}^2 \cdot H \text{ m}$$

Dimana:

P_{in} = Daya air (Watt)

v = Kecepatan Aliran air (m/s)

ρ = Massa Jenis fluida (kg/m^3)

H = Head (m)

Maka:

$$\begin{aligned}P_{in} &= 0,1917 \text{ m/s} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 2,22 \text{ m} \\ &= 4174,8 \text{ watt}\end{aligned}$$

c. Persamaan untuk menghitung daya turbin (P_{out})

Menghitung daya turbin (P_{out}) dengan menghitung daya yang telah dikonversi kebentuk listrik dengan menggunakan persamaan daya listrik :

$$P = V \cdot I$$

Dimana:

V = Volt

I = Ampere

Maka:

$$P = 4,45 \text{ volt} \cdot 1,46 \text{ Amper}$$

$$= 6,58 \text{ Watt}$$

d. Persamaan untuk menghitung efisiensi turbin (η_T)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung efisiensi turbin adalah dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\eta_T = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\%$$

dimana:

P_{out} = Daya turbin (Watt)

P_{in} = Daya air (Watt)

Maka:

$$\eta_T = \frac{0,58}{4174,8} \cdot 100\%$$

$$= 0,15 \%$$

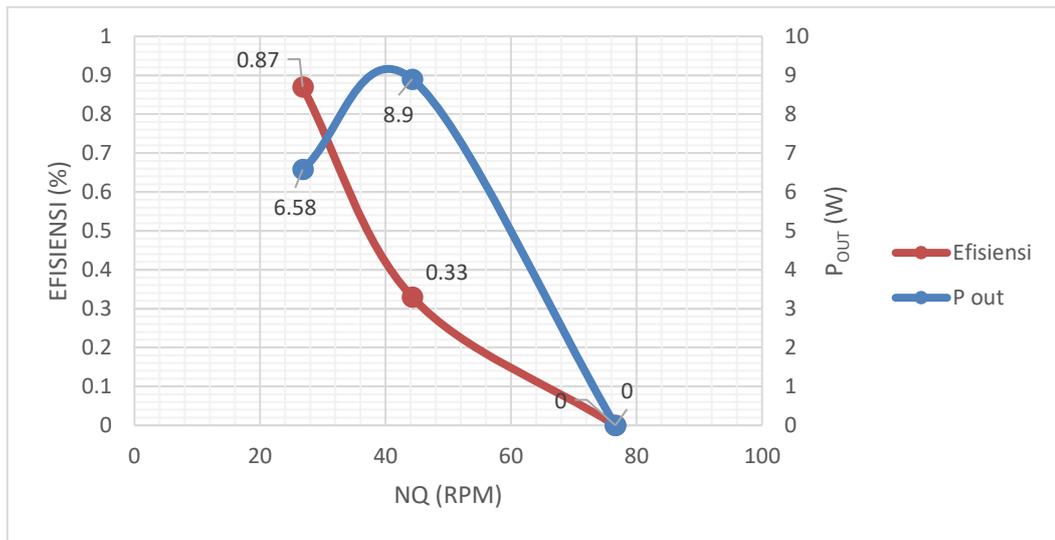
4.5. Pembahasan Grafik Hasil Dan Pembahasan Pada Pompa Sebagai Turbin

Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian

Beban (Watt)	Debit (m ³ /s)	N (rpm)	V (volt)	I (a)	H (m)	P _{in} (Watt)	P _{out} (Watt)	η (%)	N _q (rpm)
0	0,000188	920,5	18,85	0	1,76	2871,27	0	0	76,61
5	0,00021	553	8,76	1,02	1,68	2661,6	8,9	0,33	44,24
10	0,000255	335	4,45	1,48	2,22	4174,8	6,58	0,15	26,8

1. Grafik data variasi dengan beban lampu

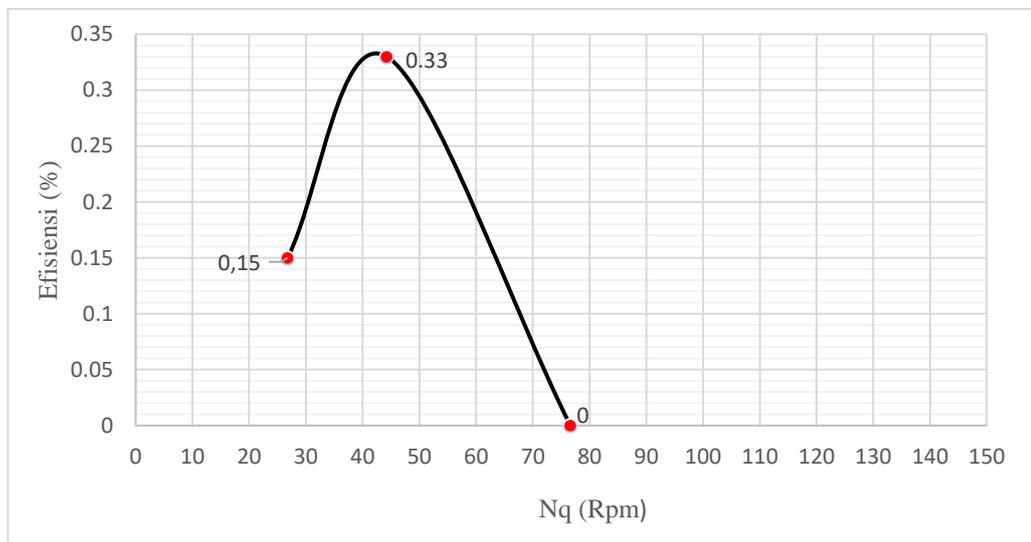
Dari perbandingan hasil grafik data variasi dengan beban lampu diketahui bahwa hasil efisiensi nilai tertinggi yang didapatkan sebesar 0,33 % pada Debit 0.00021 m³/s, Nilai Head sebesar = 1,68 m dan kecepatan spesifik turbin (N_q) = 26,8 rpm dan menghasilkan daya keluaran sebesar 6,58 Watt.



Gambar 4.7. Grafik data variasi dengan beban lampu

2. Efisiensi pompa sebagai turbin

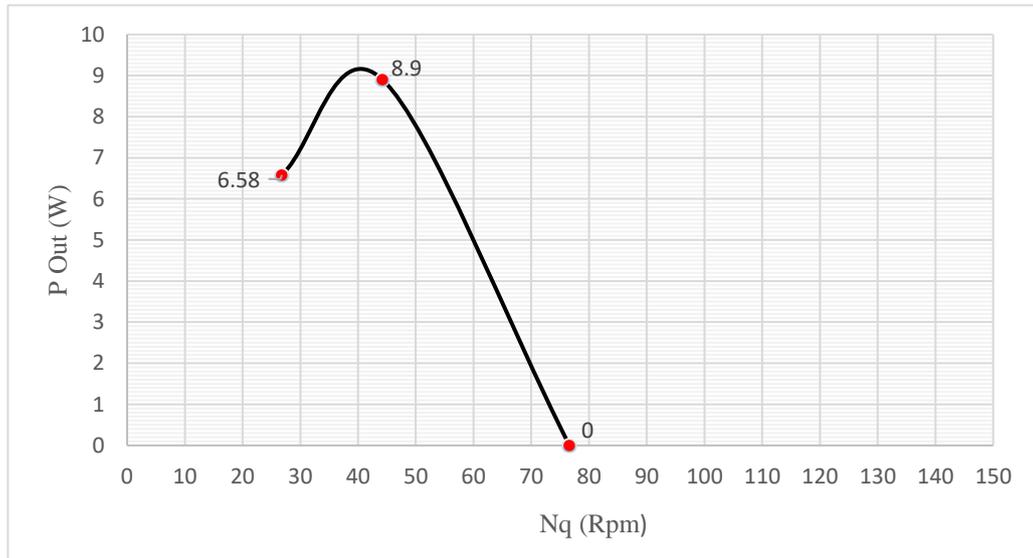
Dari perbandingan grafik Efisiensi dengan kecepatan spesifik turbin (N_q) dari seluruh pembebanan, dapat dilihat nilai efisiensi tertinggi sebesar 0,33 % pada putaran turbin = 44,24 rpm.



Gambar 4.8. Grafik Efisiensi vs N_q

3. Daya yang dihasilkan pompa sebagai turbin

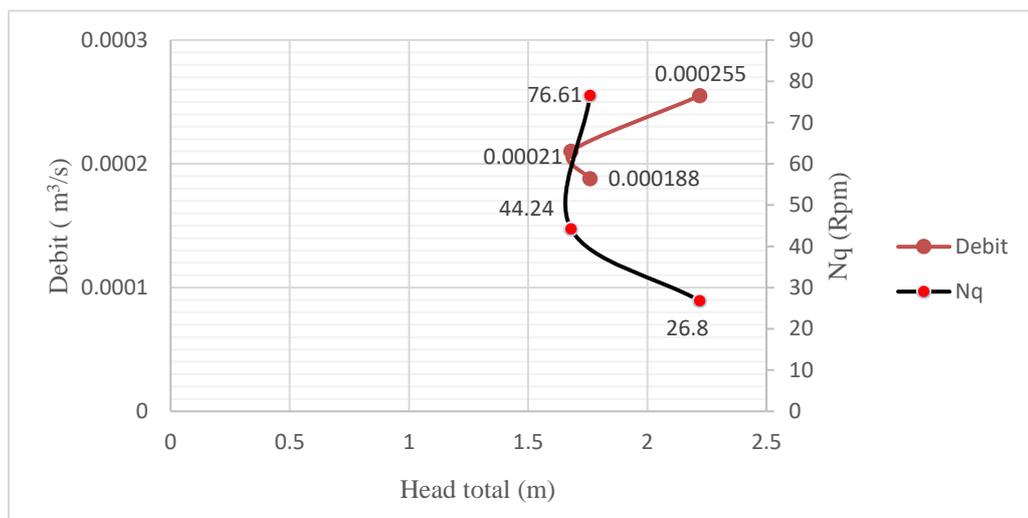
Dari perbandingan grafik daya turbin (P_{out}) dengan kecepatan spesifik turbin (N_q) dari seluruh pembebanan, dapat diperoleh nilai P_{out} tertinggi yaitu 8,9 Watt pada kecepatan spesifik turbin (N_q) = 44,24 rpm.



Gambar 4.9. Grafik P_{out} dengan N_q

4. Karakteristik pompa sebagai turbin yang diuji

Dari perbandingan grafik Debit, Head dengan N_q , dapat dilihat nilai N_q tertinggi sebesar = 76,61 rpm pada Head = 1,76 m dan debit terbesar yaitu 0,000255 $m^3/detik$.



Gambar 4.10. Grafik Debit, Head dan N_q

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari pembahasan dan analisis yang dilakukan pada penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan pompa hisap dan pompa sebagai turbin tanpa menggunakan beban bola lampu kecepatan putaran pompa yaitu 920,5 rpm dan kecepatan spesifik turbin yang dihasilkan adalah 76,61 rpm. dengan menggunakan beban bola lampu 5 watt kecepatan putaran pompa sebesar 553 rpm dan kecepatan spesifik turbin yang dihasilkan 44,24 rpm. dengan menggunakan beban bola lampu 10 watt kecepatan putaran pompa sebesar 335 rpm dan kecepatan spesifik turbin yang dihasilkan adalah 26,8 rpm.
2. Semakin besar nilai head pompa, maka debit air yang dihasilkan akan semakin kecil begitu juga sebaliknya, besar dan kecilnya head pompa yang didapatkan juga dipengaruhi oleh adanya pemberian beban pada turbin.
3. Semakin kecil nilai voltase maka kuat arus akan semakin besar (berbanding terbalik) dikarenakan adanya pemberian beban pada turbin, apabila beban yang diberikan pada turbin semakin besar voltase akan semakin turun.

5.2. Saran

Mengingat masih terbuka lebar untuk penelitian selanjutnya mengenai pompa sebagai turbin maka beberapa masukan berikut ini bisa menjadi pertimbangan:

1. Penelitian dengan menggunakan variasi impeller yang berbeda.
2. menggunakan pompa hisap dengan kapasitas yang lebih besar untuk memperoleh kinerja pompa sebagai turbin yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Asep Rachmat, Ali Hamdani, (2007). Pembangkit Listrik Metode Pump As Turbines. Jurnal J-Ensitem: vol 03 no 02. Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Majalengka.
- Aya Snura, (2012). Aliran fluida dalam pipa, dikutip dari <http://aya-snura.blogspot.com>. Diakses pada 21 november 2019.
- Christian Asri Wicaksana, Fakhri Fadilah (2015) makalah Turbin Air, Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Malang, Malang.
- [digilib.polban.ac.id/files/disk1/71/jbptppolban-gdlaseparifnu-Pump As Turbine](http://digilib.polban.ac.id/files/disk1/71/jbptppolban-gdlaseparifnu-Pump%20As%20Turbine). (Diakses 12 November 2019)
- Himsar Ambarita, (2011). *Kajian Eksperimental Performansi Pompa Dengan Kapasitas 1,25 m³/menit Head 12 m Jika Dioperasikan Sebagai Turbin*, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU, Medan, Sumatera Utara.
- <https://Journals.itb.ac.id/index.php/jtms/article/download/4909/2685>. (Diakses 21 november 2019)
- Mechanical Engineering, (2011). Pompa (*pump*), dikutip dari <http://mechanic-mechanicalengineering.blogspot.com/2011/03/pompa;pump.html?m=1>. Diakses pada 23 november 2019.
- Satrio Utomo, (2016). Defenisi pompa dan klasifikasi pompa, dikutip dari <http://satrioutomo2016.blogspot.com/2017/02/defenisi-pompa-dan-klasifikasi-pompa.html?m=1>, diakses pada 21 november 2019.
- Sularso, Haruo Tahara,(2000). *Pompa & Kompresor, pemilihan, pemakaian, dan pemeliharaan*, cetakan ketujuh, jakarta. Pradnya Paramita.
- Surya Agus Pratama, (2017). *Analisa Kinerja Aliran Fluida Pada Pompa Sentrifugal Dengan Variasi Panjang Sudu Impeller*. Jurnal Teknik Mesin, Medan: Program Studi Teknik Mesin, UMSU.
- Teli Handayani, (2007). *Prestasi Pompa Sentrifugal Dengan Impeller Tertutup Sebagai Turbin Air*, Laporan Tugas Akhir, Yogyakarta: Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- Termudi, (2016). Bilangan Reynolds dan Lapisan Batas (Boundary Layer), dikutip dari <http://turmudikemiri.blogspot.com/2016/01/bilangan-reynolds-reynolds-number-dan.html?m=1> diakses pada 23 november 2019.
- Yuliani, (2017). *Analisa Perbandingan Kinerja Pompa Sentrifugal Dengan Pengaturan Bukaannya Katup*, Jurnal Sainstek STT Pekanbaru, Vol 5, No 2.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Kerugian Dari Berbagai Katub Isap Dengan Saringan

Tabel 2.20 Koefisien kerugian dari berbagai katup.

Diameter (mm)	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1.000	1.200	1.500	2.000	
Katup saringan	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	= 0									
Katup katup	0,6-0,16 (bervariasi menurut konstruksi dan diameternya)														
Katup pelat	0,09-0,026 (bervariasi menurut diameternya)														
Katup cepat jenis katup			1,2	1,15	1,1	1,0	0,98	0,96	0,94	0,92	0,9	0,88			
Katup cegah katup-cepat jenis tekanan			1,2	1,15	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4			
Katup cegah jenis angkat betas	1,44	1,39	1,34	1,3	1,2										
Katup cegah katup-cepat jenis pegas	7,3	6,6	5,9	5,3	4,6										
Katup kepak	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9-0,5 (bervariasi menurut diameternya)		
Katup isap (dengan saringan)	1,97	1,91	1,84	1,78	1,72										

Lampiran 3 Tabel Koefisien Kekasaran Pipa

No	Jenis Saluran	Koefisien Kekasaran Manning (n)
1	Pipa Besi Tanpa lapisan	0,012 - 0,015
1.1	Dengan lapisan semen	0,012 - 0,013
1.2	Pipa Berlapis gelas	0,011 - 0,017
2	Pipa Asbestos Semen	0,010 - 0,015
3	Saluran Pasangan batu bata	0,012 - 0,017
4	Pipa Beton	0,012 - 0,016
5	Pipa baja Spiral & Pipa Kelingan	0,013 - 0,017
6	Pipa Plastik halus (PVC)	<u>0,002</u> - 0,012
7	Pipa Tanah Liat (Vitrified clay)	0,011 - 0,015

Lampiran 4 Tabel Massa Jenis Fluida

T, °C	ρ , kg/m ³	μ , (N·s)/m ²	ν , m ² /s	T, °F	ρ , slug/ft ³	μ , (lb·s)/ft ²	ν , ft ² /s
0	1000	1.788 E-3	1.788 E-6	32	1.940	3.73 E-5	1.925 E-5
10	<u>1000</u>	1.307 E-3	<u>1.307 E-6</u>	50	1.940	2.73 E-5	1.407 E-5
20	998	1.003 E-3	1.005 E-6	68	1.937	2.09 E-5	1.082 E-5
30	996	0.799 E-3	0.802 E-6	86	1.932	1.67 E-5	0.864 E-5
40	992	0.657 E-3	0.662 E-6	104	1.925	1.37 E-5	0.713 E-5
50	988	0.548 E-3	0.555 E-6	122	1.917	1.14 E-5	0.597 E-5
60	983	0.467 E-3	0.475 E-6	140	1.908	0.975 E-5	0.511 E-5
70	978	0.405 E-3	0.414 E-6	158	1.897	0.846 E-5	0.446 E-5
80	972	0.355 E-3	0.365 E-6	176	1.886	0.741 E-5	0.393 E-5
90	965	0.316 E-3	0.327 E-6	194	1.873	0.660 E-5	0.352 E-5
100	958	0.283 E-3	0.295 E-6	212	1.859	0.591 E-5	0.318 E-5

Lampiran 5 Tabel Tekanan uap jenuh Air

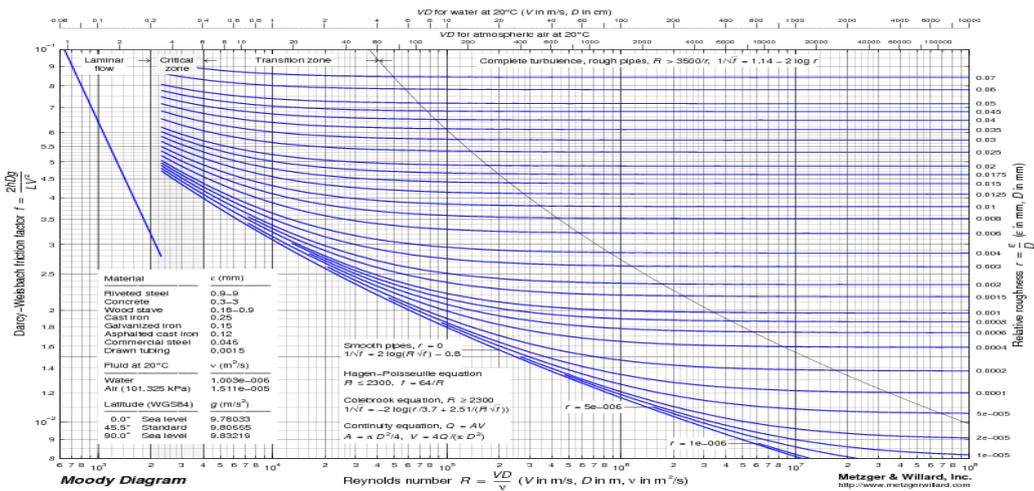
Temperatur	Tekanan uap jenuh	
	kgf / cm ²	N / m ²
0	0,632 x 10 ⁻²	623
10	1,246 x 10 ⁻²	1,230
20	2,373 x 10 ⁻²	2,340
40	7,490 x 10 ⁻²	7,400
60	20,300 x 10 ⁻²	20,000
80	48,300 x 10 ⁻²	47,400
100	1,03 x 10 ⁻²	101,500

Mekanika Fluida - TEP 201

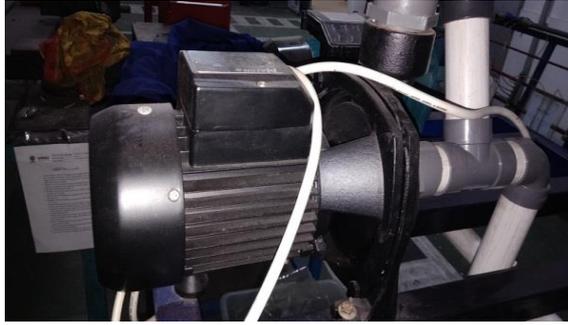
Lampiran 6 Tabel faktor kerugian belokan pipa

θ°	ϵ	10	15	22,5	30	45	60	90
f	Halus	0,034	0,042	0,066	0,130	0,236	0,471	1,129
	Kasar	0,44	0,062	0,154	0,165	0,320	0,684	1,265

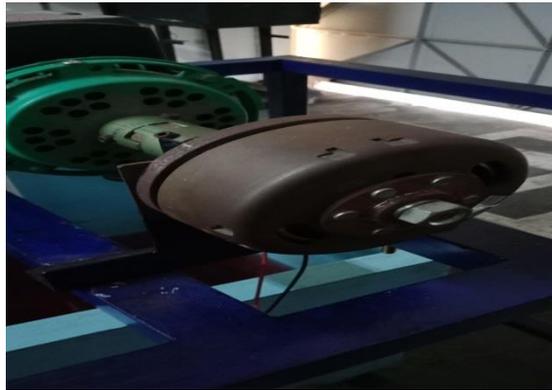
Diagram moody



PompaSebagaiTurbin



PompaSumber



Alternator



Lampu

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : DEDE DENI
 NPM : 1307230271

**KARAKTERISTIK UNJUK KERJA POMPA SEBAGAI
 TURBIN (PAT) DENGAN DEBIT AIR MASUK
 MENGGUNAKAN 2 POMPA SENTRIFUGAL DENGAN
 SUSUNAN SERI**

Dosen Pembimbing 1 : Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T

Dosen Pembimbing 2 : Sudirman Lubis, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Rabu 7/08/2019	Probuksi pendahuluan A.	
2.	Sabtu 16/08/2019	lanjutan tugas dan	
3.	Kamis 22/08/2019	keputusan masalah A.	
4.	Sabtu 31/08/2019	lanjutan ke pendahuluan II A.	
5.	Rabu 4/09/2019	Perbaiki Bab 2.	Sh
6.	Jumat 13/09/2019	Perbaiki Bab 2.	Sh
7.	Senin 23/09/2019	lanjut Bab 3.	Sh
8.	Selasa 01/10/2019	Perbaiki Bab 3.	Sh
9.	Selasa 22/10/2019	lanjut diagram alir.	Sh
10.	Senin 04/11/2019	lanjut Bab 4.	Sh
11.	Selasa 19/11/2019	Perbaiki Bab 4.	Sh
12.	Jumat 6/12/2019	Kembali ke Pembimbing 1	Sh

Aec di sumirka A^{II}-2020



UMSU
Majelis Cerdas Terpercaya
Surat ini agar disebutkan
tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12
Website: <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail: fatek@umsu.ac.id

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 82/II.3AU/UMSU-07/F/2019

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 18 Januari 2019 dengan ini Menetapkan :

Nama : **DEDE DENI**
Npm : 1307230271
Program Studi : **TEKNIK MESIN**
Semester : **X1 (SEBELAS)**
Judul Tugas Akhir : **KOMPARASI KARAKTERISTIK UNJUK KERJA 2 BUAH POMPA
SENTRIFUGAL SEBAGAI TURBIN DENGAN DAYA POMPA 1 HP DAN 2
HP UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK .**

Pembimbing 1 : **MUNAWAR ALFANSURY SIREGAR ST.MT**
Pembimbing 11 : **SUDIRMAN LUBIS ST. MT**

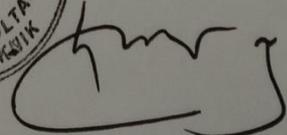
Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.
Medan, 12 Jumadil Awal 1440 H
18 Januari 2019 M

Dekan


Munawar Alfansury Siregar, ST.MT
NIDN: 0101017202

Cc. File

DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2019 – 2020

Peserta Seminar
 Nama : Dede Deni
 NPM : 1307230271
 Judul Tugas Akhir : Karakteristik Ujucok Kerja Pompa Sebagai Turbin –
 (PAT) Dengan Debit Air Masuk Menggunakan 2 –
 Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri.

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Munawar A Siregar.S.T.M.T
Pembimbing – II : Sudirman Lubis.S.T.M.T
Pembanding – I : H.Muharaif.S.T.M.Sc
Pembanding – II : Ahmad Marabdi Srg S.T.M.T

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1507230283	Muhammad Nasir Harahap	tsl
2	1307230211	AHMAD ALPIAN LUBIS	tsl
3	1307230049	Abdudhoni miadi	tsl
4	1307230050	FAUZI RAHMAD	tsl
5	1507230072	Ancuta Pratomo	tsl
6	1507230065	Poby Maulana Rangkulsi	tsl
7	1307230082	HABIBUNAH MANULIANG	tsl
8	1307230288	DEI. ARIAH Kusuma	tsl
9			
10			

Medan, 27 Jum.Akhir 1441 H
21 Februari 2020 M

Ketua Prodi. T. Mesin

Affandi ST.M.T



DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Dede Deni
NPM : 1307230271
Judul T.Akhir : Karakteristik Unjuk Kerja Pompa Sebagai Turbin (PAT)
Dengan Debit Air Masuk menggunakan 2 Pompa Sentrifugal
Dengan Susunan Seri.

Dosen Pembimbing - I : Munawar A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : Sudirman Lubis.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pembanding - II : Ahmad Marabdi Siregar.S.T.M.T

KEPUTUSAN

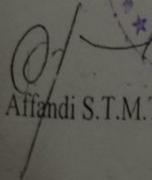
1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

Lihat nilai skor?

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 26 Jum.Akhir 1441 H
21 Februari 2020 M

Diketahui
Ketua Prodi. F.Mesin


Affandi S.T.M.T



Dosen Pembanding- I


H.Muharnif.S.T.M.Sc

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

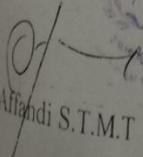
NAMA : Dede Deni
NPM : 1307230271
Judul T.Akhir : Karakteristik Unjuk Kerja Pompa Sebagai Turbin (PAT)
Dengan Debit Air Masuk menggunakan 2 Pompa Sentrifugal
Dengan Susunan Seri.

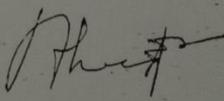
Dosen Pembimbing - I : Munawar A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : Sudirman Lubis.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pembanding - II : Ahmad Marabdi Siregar.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
 2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
 - ⊖ pastikan kembali kesesuaian lembar belahang, judul, tujuan, rumus, metode, hasil dan kesimpulan
 - ⊖ perbaikan prosedur & lampiran serta pustaka daftar
 3. Harus mengikuti seminar kembali
- Perbaikan :
-
-
-

Medan 26 Jum.Akhir 1441 H
21 Februari 2020 M

Diketahui :
Ketua Prodi. I. Mesin

Afandi S.T.M.T

Dosen Pembanding- II

Ahmad Marabdi Siregar.S.T.M.T



DATA PRIBADI

Nama : Dede Deni
NPM : 1307230271
Tempat/Tanggal Lahir : Bandung/17 September 1995
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Status : Belum Kawin
Alamat : Jl. Pendidikan Desa Batu Malenggang Kec. Hinai
Kab. Langkat
Nomor HP : 08123318680
Email : dededeni1703@gmail.com
Nama Orang Tua
Ayah : Didi
Ibu : Ai Yati

PENDIDIKAN FORMAL

2001 – 2007 : SD NEGERI 050662 STABAT
2007 – 2010 : SMP PUTERA JAYA STABAT
2010 – 2013 : SMK NEGERI 1 STABAT
2013 – 2020 : Mengikuti Pendidikan S1 Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara