

**STUDI EKSPERIMENTAL UNJUK KERJA POMPA AIR
ENERGI TERMAL MENGGUNAKAN EVAPORATOR
VERTIKAL**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Mesin



Diajukan Oleh:

ALBERTUS THEO SUGIARTO

NIM : 095214019

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA**

2012

**EXPERIMENTAL STUDY OF THERMAL ENERGY WATER
PUMP PERFORMANCE USING VERTICAL EVAPORATOR**

FINAL PROJECT

Presented As Partial Fulfilment of The Requirement

As To Obtain The Sarjana Teknik Degree

In Mechanical Engineering



By:

ALBERTUS THEO SUGIARTO

NIM : 095214019

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAMME
SCIENCE AND TECHNOLOGY FACULTY
SANATA DHARMA UNIVERSITY
YOGYAKARTA**

2012

TUGAS AKHIR

**STUDI EKPERIMENTAL UNJUK KERJA POMPA AIR
ENERGI TERMAL MENGGUNAKAN EVAPORATOR**

VERTIKAL

Disusun oleh:

ALBERTUS THEO SUGIARTO

NIM : 095214019

Telah disetujui oleh:

Pembimbing Utama

Tanggal 13 Agustus 2012



Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.

TUGAS AKHIR
STUDI EKSPERIMENTAL UNJUK KERJA POMPA AIR
ENERGI TERMAL MENGGUNAKAN EVAPORATOR
VERTIKAL

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : Albertus Theo Sugiarto

NIM : 095214019

Telah dipertahankan di depan panitia penguji pada tanggal 13 Agustus 2012

dan dinyatakan memenuhi syarat

Susunan Panitia Penguji :

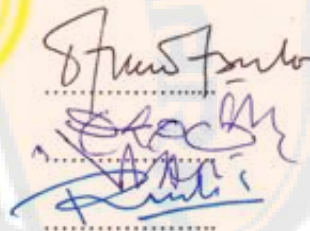
Nama Lengkap

Tanda Tangan

Ketua : Doddy Porwadianto, S.T., M.T.

Sekretaris : Ir P.K Purwadi, M.T.

Anggota : Ir.Franciscus Asisi Rusdi Sambada, M.T.



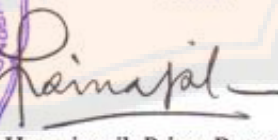
Yogyakarta, 13 Agustus 2012

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Sanata Dharma

Yogyakarta

Dekan

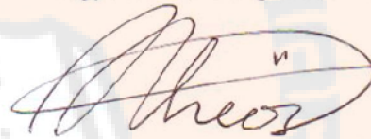


(Paulina Heruningsih Prima Rosa, S.Si., M.Sc)

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah dibuat dan belum pernah diajukan di perguruan tinggi manapun. Saya dapat mempertanggung jawabkan bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil karya yang otentik serta sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 13 Agustus 2012



Albertus Theo Sugiarto

**STUDI EKSPERIMENTAL UNJUK KERJA POMPA AIR
ENERGI TERMAL MENGGUNAKAN EVAPORATOR
VERTIKAL**

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya mahasiswa Universitas Sanata Dharma :

Nama : Albertus Theo Sugiarto

Nomor Mahasiswa : 095214019

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya memberikan kepada Perpustakaan Universitas Sanata Dharma karya ilmiah dengan judul :

**STUDI EKSPERIMENTAL UNJUK KERJA POMPA AIR
ENERGI TERMAL MENGGUNAKAN EVAPORATOR
VERTIKAL**

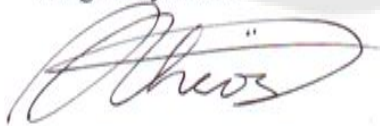
Dengan demikian saya memberikan kepada Perpustakaan Universitas Sanata Dharma hak untuk menyimpan, mengalihkan dalam bentuk media lain, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data, mendistribusikan secara terbatas, dan mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya maupun memberikan royalti kepada saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Yogyakarta

Pada tanggal 13 Agustus 2012

Yang menyatakan



Albertus Theo Sugiarto

KATA PENGANTAR

Puji syukur hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena dengan berkat dan rahmat-Nya tugas akhir ini dengan judul “Studi Eksperimental Unjuk Kerja Pompa Air Energi Termal Menggunakan Evaporator Vertikal” dapat diselesaikan sebagaimana mestinya, sehingga dapat memenuhi salah satu persyaratan mencapai derajat sarjana S-1 program studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma.

Dalam penyusunan laporan naskah ini juga tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

1. Paulina Heruningsih Prima Rosa, S.Si., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma.
2. Ir P.K Purwadi, M.T. selaku Ketua Program studi Teknik Mesin dan selaku pembimbing akademik
3. Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah mendampingi dan memberikan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh staf pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan materi selama kuliah di Universitas Sanata Dharma.
5. Ag. Rony Windaryawan selaku laboran yang telah membantu memberikan ijin dalam penggunaan fasilitas yang diperlukan dalam penelitian ini.
6. Jos Agus Sugiarto dan Tan Lian Hwa selaku orang tua yang telah memberikan dukungan doa dan materil sehingga studi dapat diselesaikan.

7. Adrianus Temmy Sugiarto selaku kakak yang telah memberikan motivasi kepada saya, serta telah memberikan dukungan doa dan materil sehingga studi dapat diselesaikan.
8. Saudara-saudara yang lain Anastasian Tina Sugiarto, Antonius Teddy Sugiarto, Alfonsus Tony Sugiarto, dan Amelia Febby Sugiarto yang telah memberikan motivasi.
9. Teman-teman yang telah ikut serta membantu menyelesaikan tugas akhir ini, seluruh Mahasiswa Universitas Sanata Dharma Prodi Teknik Mesin, dikususkan kepada Christian Halim, Oriza Sativa Adrianto, dan Galih Aji Sanjaya.
10. Pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dorongan dan bantuan dalam wujud apapun selama penyusunan skripsi ini.

Dalam penyusunan laporan ini masih banyak kekurangan yang ditemukan, diharapkan kritik dan saran pembaca baik dari rekan mahasiswa Teknik Mesin ataupun pembaca yang lain, karena kritik dan saran adalah motivasi bagi penulis untuk menuju lebih baik. Semoga karya tulis ini bermanfaat bagi pihak-pihak yang ingin memperoleh informasi, mohon maaf apabila terjadi kesalahan dalam penulisan laporan ini. Terima Kasih.

Yogyakarta, Agustus 2012

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|----------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| TITLE PAGE | ii |
| HALAMAN PERSETUJUAN | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA..... | v |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI..... | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiii |
| ABSTRAK..... | xvii |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Tujuan | 2 |
| 1.3 Manfaat | 2 |
| 1.4 Batasan masalah..... | 3 |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Dasar Teori..... | 5 |
| 2.2 Unjuk Pompa Air Energi Termal | 6 |
| 2.3 Penelitian Yang Pernah Dilakukan..... | 7 |

| | |
|--|-----------|
| BAB III. METODE PENELITIAN..... | 11 |
| 3.1 Skema Alat Penelitian | 11 |
| 3.2 Variabel Yang Divariasikan | 12 |
| 3.3 Variabel yang Diukur | 19 |
| BAB IV. DATA DAN PEMBAHASAN | 20 |
| 4.1 Data Hasil Penelitian..... | 20 |
| 4.2 Pembahasan..... | 24 |
| BAB V. PENUTUP..... | 40 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 40 |
| 5.2 Saran | 40 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 41 |
| LAMPIRAN | 42 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabel 4.1 | Data pertama menggunakan volume eter 653 ml, volume udara tabung tekan 5,672 liter, ketinggian head 325 cm dan 1 tabung tekan | 20 |
| Tabel 4.2 | Data kedua menggunakan volume eter 717 ml, volume udara tabung tekan 5,672 liter, ketinggian head 325 cm dan 1 tabung tekan | 20 |
| Tabel 4.3 | Data ketiga menggunakan volume eter 844 ml, volume udara tabung tekan 5,672 liter, ketinggian head 325 cm dan 1 tabung tekan | 21 |
| Tabel 4.4 | Data keempat menggunakan volume eter 653 ml, volume udara tabung tekan 4,457 liter, ketinggian head 325 cm dan 1 tabung tekan | 21 |
| Tabel 4.5 | Data kelima menggunakan volume eter 653 ml, volume udara tabung tekan 3,241 liter, ketinggian head 325 cm dan 1 tabung tekan | 21 |
| Tabel 4.6 | Data keenam menggunakan volume eter 653 ml, volume udara tabung tekan 3,241 liter, ketinggian head 244 cm dan 1 tabung tekan | 22 |
| Tabel 4.7 | Data ketujuh menggunakan volume eter 653 ml, volume udara tabung tekan 3,241 liter, ketinggian head 170 cm dan 1 tabung tekan | 22 |
| Tabel 4.8 | Data kedelapan menggunakan volume eter 717 ml, volume udara tabung tekan 3,241 liter, ketinggian head 325 cm dan 1 tabung tekan | 22 |

Tabel 4.9 Data kesembilan menggunakan volume eter 717 ml, volume udara tabung tekan 3,241 liter, ketinggian head 325 cm dan 2 tabung tekan

23



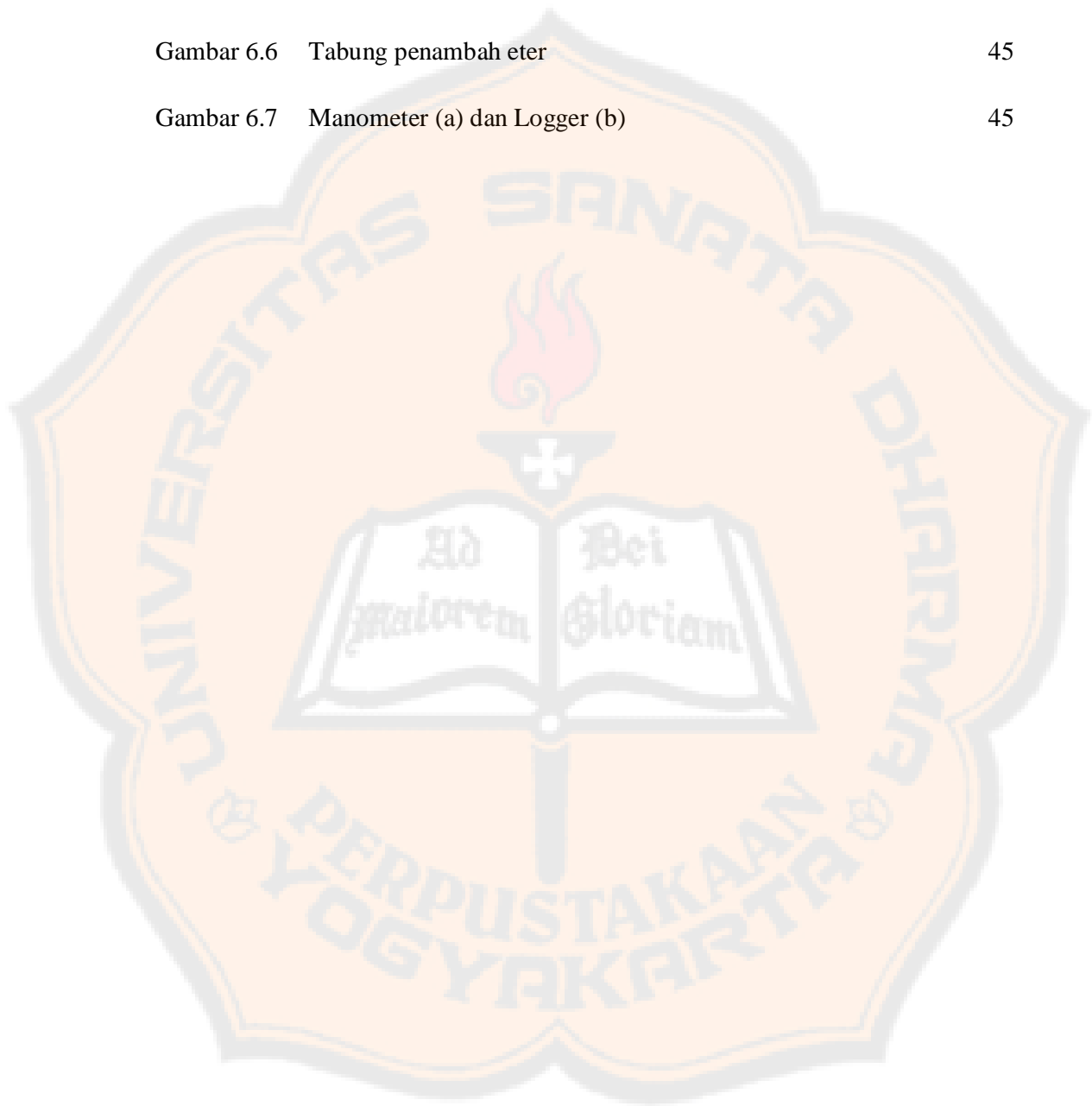
DAFTAR GAMBAR

| | | |
|------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Skema pompa energi termal menggunakan pendingin | 9 |
| Gambar 2.2 | Skema pompa energi termal menggunakan dua pipa hisap dan dua evaporator paralel | 10 |
| Gambar 2.3 | Skema pompa air energi termal menggunakan dua evaporator paralel | 10 |
| Gambar 3.1 | Skema model pompa air energi termal | 11 |
| Gambar 3.2 | Tabung penambah eter Detail A | 13 |
| Gambar 3.3 | Variasi volume udara pada tabung tekan udara, (a) 3,241 liter, (b) 4,457 liter, dan (c) 5,672 liter | 15 |
| Gambar 3.4 | Variasi ketinggian head pemompaan 170 cm (1), 244 cm (2), dan 325 cm (3) | 17 |
| Gambar 3.5 | Variasi jumlah penggunaan tabung tekan | 18 |
| Gambar 4.1 | Daya pompa yang didapat dari variasi volume eter, terdiri dari 5 kali pengambilan data disetiap variasi. Menggunakan volume udara tabung tekan udara 5,672 liter, head pemompaan 325 cm dan 1 tabung tekan | 25 |
| Gambar 4.2 | Daya pompa yang didapat dari variasi ketinggian kolom air pada tabung tekan, terdiri dari 5 kali pengambilan data disetiap variasi. Menggunakan volume eter 653 ml, head pemompaan 325 cm dan 1 tabung tekan | 26 |
| Gambar 4.3 | Daya pompa yang didapat dari variasi ketinggian head pemompaan, terdiri dari 5 kali pengambilan data disetiap variasi. Menggunakan volume eter 653 ml, volume udara tabung tekan udara 3,241 liter dan 1 tabung tekan | 27 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 4.4 | Daya pompa yang didapat dari variasi jumlah tabung tekan, terdiri dari 5 kali pengambilan data disetiap variasi. Menggunakan volume eter 717 ml, volume udara tabung tekan 3,241 liter dan head pemompaan 325 cm | 28 |
| Gambar 4.5 | Perbandingan debit pompa yang dirata-rata dari variasi volume eter 653 ml, volume eter 717 ml dan volume eter 844 ml | 29 |
| Gambar 4.6 | Perbandingan daya pompa yang dirata-rata dari variasi volume eter 653 ml, volume eter 717 ml dan volume eter 844 ml | 30 |
| Gambar 4.7 | Perbandingan efisiensi pompa yang dirata-rata dari variasi volume eter 653 ml, volume eter 717 ml dan volume eter 844 ml | 30 |
| Gambar 4.8 | Perbandingan debit pompa yang dirata-rata dari variasi volume udara tabung tekan udara 5,67 liter, volume udara tabung tekan udara 4,46 liter dan volume udara tabung tekan udara 3,24 liter | 31 |
| Gambar 4.9 | Perbandingan daya pompa yang dirata-rata dari variasi volume udara tabung tekan udara 5,67 liter, volume udara tabung tekan udara 4,46 liter dan volume udara tabung tekan udara 3,24 liter | 32 |
| Gambar 4.10 | Perbandingan efisiensi pompa yang dirata-rata dari variasi volume udara tabung tekan udara 5,67 liter, volume udara tabung tekan udara 4,46 liter dan volume udara tabung tekan udara 3,24 liter | 33 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 4.11 | Perbandingan debit pompa yang dirata-rata dari variasi ketinggian head pemompaan 170 cm, ketinggian head pemompaan 244 cm, dan ketinggian head pemompaan 325 cm | 34 |
| Gambar 4.12 | Perbandingan daya pompa yang dirata-rata dari variasi ketinggian head pemompaan 170 cm, ketinggian head pemompaan 244 cm, dan ketinggian head pemompaan 325 cm | 35 |
| Gambar 4.13 | Perbandingan efisiensi pompa yang dirata-rata dari variasi ketinggian head pemompaan 170 cm, ketinggian head pemompaan 244 cm, dan ketinggian head pemompaan 325 cm | 35 |
| Gambar 4.14 | Perbandingan debit pompa yang dirata-rata dari variasi jumlah penggunaan tabung tekan udara. Penggunaan 1 tabung tekan udara dan 2 tabung tekan udara | 36 |
| Gambar 4.15 | Perbandingan daya pompa yang dirata-rata dari variasi jumlah penggunaan tabung tekan udara. Penggunaan 1 tabung tekan udara dan 2 tabung tekan udara | 37 |
| Gambar 4.16 | Perbandingan efisiensi pompa yang dirata-rata dari variasi jumlah penggunaan tabung tekan udara. Penggunaan 1 tabung tekan udara dan 2 tabung tekan udara | 38 |
| Gambar 4.17 | Perbandingan tekanan yang dirata-rata dari variasi jumlah penggunaan tabung tekan udara. Penggunaan 1 tabung tekan udara dan 2 tabung tekan udara | 39 |
| Gambar 6.1 | Model pompa air energi termal | 42 |
| Gambar 6.2 | Pumpa celup | 43 |
| Gambar 6.3 | Tabung tekan air | 43 |

| | | |
|------------|------------------------------|----|
| Gambar 6.4 | Tabung tekan udara | 44 |
| Gambar 6.5 | Kondensor (kotak pendingin) | 44 |
| Gambar 6.6 | Tabung penambah eter | 45 |
| Gambar 6.7 | Manometer (a) dan Logger (b) | 45 |



ABSTRAK

Dalam kehidupan sehari-hari manusia membutuhkan air untuk berbagai macam kegiatan. Air diambil menggunakan pompa berpenggerak motor listrik sedangkan untuk ketersediaan listrik belum mencukupi terutama di daerah terpencil. Ketersediaan sumber listrik bergantung pada jumlah sumber daya alam yang ada. Dunia sedang mengalami krisis SDA, dari berbagai macam permasalahan sumber energi ini terpikirkanlah cara untuk menggunakan energi lain yang lebih murah. Ada banyak alternatif, salah satunya adalah energi termal surya. Energi termal surya dapat dijadikan penggerak pompa. Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah membuat model pompa dan unjuk kerja pompa (debit, daya, dan efisiensi). Pompa yang dibuat adalah jenis pompa termal menggunakan metode termodinamik. Variabel diukur adalah volume, temperatur, waktu pemompaan, dan waktu pemanasan. Variabel divariasikan, variasi volume eter, 653 ml, 717 ml, dan 844 ml, variasi volume air tabung tekan, 12,155 liter, 13,37 liter, dan 14,586 liter, variasi tinggi head pemompaan, 170 cm, 244 cm, dan 3,25 cm, variasi jumlah tabung tekan udara, satu tabung tekan, dua tabung tekan. Hasil penelitian sebuah model pompa termal, debit pompa maksimum 0,75 liter/menit dari variasi head pemompaan 177 cm, volume eter 653 ml, volume udara tabung tekan udara 3,241 liter dan 1 tabung tekan udara, daya pompa maksimum 0,330 watt dari variasi volume eter 844 ml, volume udara tabung tekan udara 5,672 liter, head pemompaan 325 cm, dan 1 tabung tekan, efisiensi pompa maksimum sebesar 0,067% dari variasi head pemompaan 177 cm dengan menggunakan volume eter 653 ml, volume air tabung tekan udara 3,241 liter dan 1 tabung tekan.

Kata kunci : pompa air, energi termal, debit, daya, efisiensi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kehidupan sehari-hari manusia membutuhkan air untuk melakukan berbagai macam kegiatan. Pada umumnya air digunakan untuk memasak, mencuci, pengairan sawah dan masih banyak lagi fungsinya. Di Indonesia sendiri ketersediaan air sangatlah melimpah, namun pengolahan dan pengelolaan sumber air di negara ini masih belum maksimal sehingga masih banyak daerah-daerah yang mengalami kekeringan.

Sumber air biasanya ada diposisi yang lebih rendah dibandingkan tempat dibutuhkan air tersebut, sehingga untuk memperoleh air harus menggunakan alat bantu yaitu timba ataupun pompa air. Penggunaan alat bantu timba untuk mengambil air merupakan kegiatan yang tidak efisien waktu dan tenaga, sehingga digunakanlah pompa air untuk mempersingkat waktu dalam mengambil air. Dan tenaga manusia yang seharusnya dibutuhkan untuk mengambil air juga dapat digantikan oleh kerja motor listrik dari penggerak pompa air. Tetapi penggunaan pompa air dengan penggerak motor listrik memiliki kendala yaitu sumber listrik yang dibutuhkan masih belum merata penyebarannya, terutama di daerah terpencil.

Selain itu ketersediaan sumber listrik juga terbatas, karena untuk membangkitkan sumber listrik kita menggunakan energi dari sumber daya

alam (SDA) minyak bumi dan gas alam. Dan yang kita tau sekarang ini dunia sedang mengalami krisis SDA, maka dari berbagai macam permasalahan sulitnya memperoleh air dengan sumber energi saat ini terpikirkanlah cara untuk menggunakan energi lain yang lebih murah dan mudah diperoleh.

Energi lain yang berpotensi untuk digunakan di Indonesia ada cukup banyak, salah satunya ialah energi termal. Untuk mendapatkan energi termal itu sendiri ada berbagai macam cara yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan kolektor surya termal, udara panas dari limbah industri ataupun energi panas bumi. Namun penggunaan energi termal sebagai penggerak pompa masih jarang ditemukan di lingkungan masyarakat, selain itu unjuk kerja dari pompa air energi termal di Indonesia juga masih belum diketahui sehingga harus dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui unjuk kerja dari pompa air energi termal tersebut yang kemudian dapat diperkenalkan pada masyarakat luas.

Salah satu langkah awal untuk melakukan penelitian ini adalah dengan membuat model pompa air energi termal. Pompa air energi termal yang dibuat pada penelitian ini menggunakan metode termodinamik yang didisain khusus dan pendinginan dilakukan menggunakan air. Untuk fluida kerja yang digunakan pada penelitian ini adalah dietil eter karena fluida kerja harus memiliki titik didih lebih rendah dari titik didih air. Dan energi termal yang digunakan diambil dari uap panas hasil perebusan air menggunakan kompor listrik, hal ini bertujuan untuk mempermudah pengaturan penggunaan panas yang dibutuhkan, selain itu temperatur uap panas tidak lebih tinggi dari titik

nyala api pada fluida kerja yang digunakan sehingga lebih aman dalam melakukan penelitian.

1.2 Tujuan

1. Membuat model pompa air energi termal.
2. Meneliti debit maksimum pemompaan.
3. Meneliti daya maksimum pemompaan.
4. Meneliti efisiensi maksimum pemompaan.

1.3 Manfaat

1. Memberikan pengetahuan bagi mahasiswa tentang pemanfaatan energi terbarukan sebagai pengganti dari energi sumber daya alam yang terus menipis ketersediaannya.
2. Memberikan informasi kepada orang lain tentang pemanfaatan energi terbarukan khususnya energi matahari dan kemudian dapat dikembangkan menjadi lebih baik lagi.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini digunakan jenis fluida kerja yang memiliki titik didih lebih rendah dari air, dan fluida kerja yang digunakan adalah eter. Tetapi untuk eter yang digunakan dalam penelitian ini tidak diperoleh

spesifikasi yang dapat membantu untuk mendapatkan data yang dibutuhkan sehingga dilakukan beberapa asumsi untuk kemudian dapat diolah menjadi hasil penelitian yang diinginkan. Sesuai informasi yang diperoleh dari internet eter memiliki nilai hfg 359,79 kJ/kg dan massa jenis eter 713,4 kg/m³, kemudian kedua asumsi tersebut digunakan untuk memperoleh hasil dari penelitian ini.

Tekanan atmosfer di setiap daerah berbeda-beda sesuai dengan letak geografisnya, dalam melakukan penelitian tentang pompa air energi termal dibutuhkan spesifikasi tekanan yang terjadi disekitar tempat penelitian. Tetapi dalam penelitian ini tidak cukup alat yang memadai untuk membantu mengukur tekanan udara yang terjadi pada saat penelitian, sehingga tekanan udara yang terjadi disekitar tempat penelitian diasumsikan sebesar 1 bar (tekanan absolute).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

Pompa air energi termal terdiri dari 2 bagian utama yaitu: (1) penggerak pompa air dan (2) pompa air. Pada bagian penggerak pompa tersusun dari 3 komponen yaitu: (1) evaporator, (2) kondensor dan (3) tabung tekan, sedangkan pada bagian pompa air terdiri dari 2 komponen yaitu: (1) katup hisap dan (2) katup tekan. Pompa air energi termal dapat bekerja karena adanya proses penguapan dan pengembunan pada fluida kerja, proses penguapan yang terjadi karena adanya pemanasan pada bagian evaporator dan pengembunan yang terjadi karena adanya pendinginan pada bagian kondensor. Proses penguapan dan pengembunan akan mengakibatkan terjadinya proses tekan dan hisap. Proses tekan pada pompa air energi termal diawali dari proses pembentukan uap fluida kerja dari evaporator yang dipanaskan menggunakan uap panas, kemudian akibat pembentukan uap fluida kerja tersebut menyebabkan air dalam tabung tekan air Gambar 3.1(3) terdorong masuk ke bagian tabung tekan udara Gambar 3.1(7) yang menyebabkan terjadilah proses kompresi udara dalam tabung tekan udara Gambar 3.1(7), setelah mencapai tekanan tertentu udara akan mendorong air dalam pompa celup untuk naik dan terpompa keluar. Untuk proses hisap pada pompa air energi termal diawali dengan proses pengembunan uap fluida kerja yang terjadi dibagian kondensor, proses pendinginan pada kondensor dibantu dengan air, setelah terjadi pengembunana maka volume uap fluida kerja akan berkurang dan kembali

menjadi bentuk cair. Karena penurunan volume pada bagian penggerak pompa, air dari tabung tekan udara Gambar 3.1(7) terhisap masuk ke tabung tekan air Gambar 3.1(3), sedangkan udara pada tabung tekan udara Gambar 3.1(7) mengalami proses vakum, dengan demikian terjadilah proses hisap pada pompa celup.

2.2 Unjuk Kerja Pompa Air Energi Termal

Pada penelitian ini unjuk kerja dari pompa air energi termal dapat dilihat dari daya pemanasan yang dihasilkan dan daya pompa yang dibutuhkan sehingga kedua hal tersebut didapatkan efisiensi kerja pompa air energi termal. Daya pemanasan merupakan panas laten dari fluida kerja dibagi dengan waktu pemanasan dan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut (Cengel, 2008) :

$$P_{\text{pemanas}} = \frac{h_{fg} \cdot m}{t_{\text{pemanas}}} \quad (1)$$

dengan :

P = daya (watt)

h_{fg} = panas laten fluida kerja (kg/J)

t_{pemanas} = lama waktu pemanasan fluida kerja (detik)

m = massa fluida kerja (kg)

Daya pemompaan dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut (Soemitro 1986) :

$$P_{\text{pompa}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (2)$$

dengan :

P = daya (watt)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Q = debit pemompaan (m^3/s)

H = head pomompaan (m)

Setelah diperoleh daya pemompaan dan daya pemanasan maka dari kedua hasil persamaan tersebut bisa di dapatkan efisiensi kerja pompa air energy termal dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Soemitro 1986) :

$$\eta_{\text{pompa}} = \frac{P_{\text{pompa}}}{P_{\text{pemanas}}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Pada tabung tekan udara Gambar 3.3(7) terjadi proses kompersi udara akibat adanya perubahan volume dalam tabung tekan udara. Dan kompresi udara yang terjadi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Soemitro 1986) :

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{V_2} \quad (4)$$

dengan :

P_1 = tekanan udara awal (bar)

P_2 = tekanan udara kompresi (bar)

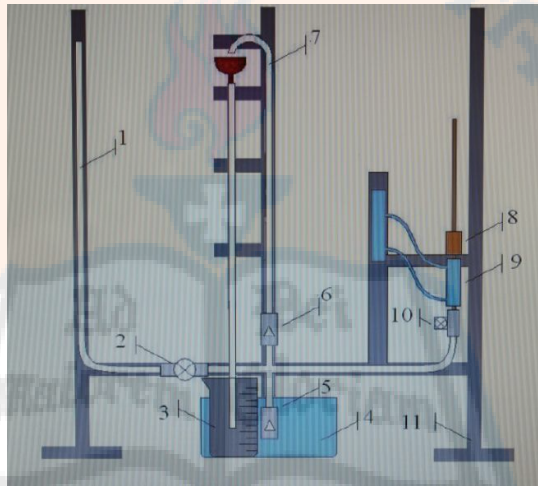
V_1 = volume udara awal (cm^3)

V_2 = volume udara akhir (cm^3)

2.3 Penelitian Yang Pernah Dilakukan

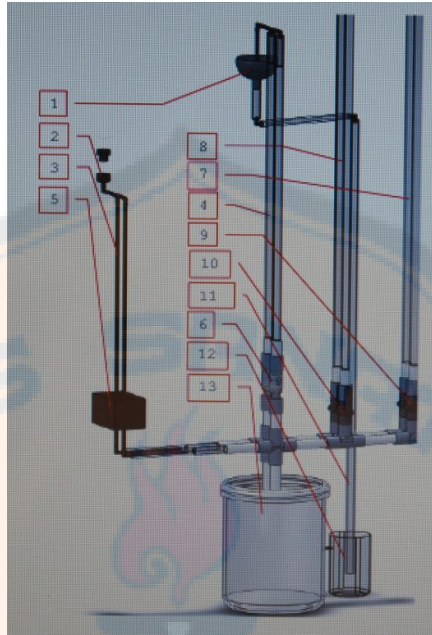
Menggunakan analisis termodinamika untuk mengetahui unjuk kerja dari pompa energi termal, dengan menggunakan beberapa macam variasi head. Dari variasi tersebut menunjukkan beberapa hal yaitu siklus dalam pemompaan sangat tergantung dari lama waktu pemanasan terhadap fluida kerja dan pengembunan uap hasil pemanasan fluida kerja. Lama waktu pemanasan tergantung dari jumlah awal fluida kerja yang dipanaskan, sedangkan pengembunan tergantung dari proses pendinginan dan luasan permukaan bagian yang didinginkan (Wong, 2001). Pompa air energi termal berbasis motor stirling, dengan variasi head pemompaan antara 2-5 meter (Mahkamov, 2003). Menggunakan analisis termodinamika untuk mengetahui unjuk kerja dari pompa energi termal, dengan menggunakan beberapa macam variasi head. Dari variasi tersebut menunjukkan beberapa hal yaitu siklus dalam pemompaan sangat tergantung dari lama waktu pemanasan terhadap fluida kerja dan pengembunan uap hasil pemanasan fluida kerja. Lama waktu pemanasan

tergantung dari jumlah awal fluida kerja yang dipanaskan, sedangkan pengembunan tergantung dari proses pendinginan dan luasan permukaan bagian yang didinginkan (Wong, 2001). Penelitian serupa yang pernah dilakukan menggunakan pompa air energi termal dengan volume evaporator 260 cc menghasilkan daya pompa 0,119 watt dan efisiensi 0,152% untuk head 1,75 m (Widagdo, 2009) dapat dilihat pada Gambar 2.1.

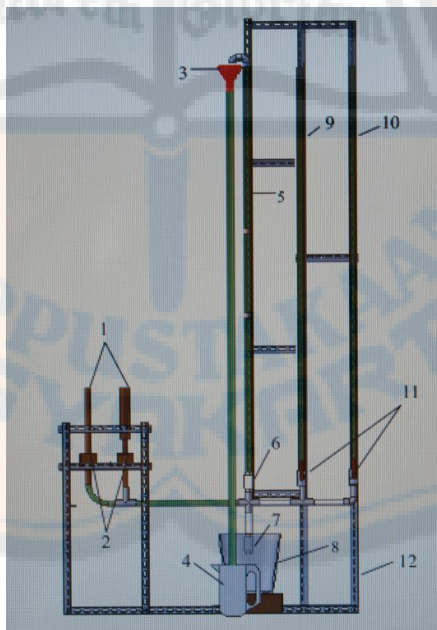


Gambar 2.1 Skema pompa energi termal menggunakan pendingin

Kemudian untuk volume evaporator 285 cc menghasilkan daya pompa 0,359 watt dan efisiensi 0,082% untuk head 2,5 m, diameter selang osilasi 3/8 inci (Lukito, 2009) dapat dilihat pada Gambar 2.2. Selain itu ada juga penelitian yang menggunakan volume evaporator 110 cc menghasilkan daya pompa 0,029 watt dan efisiensi 0,043% untuk head 1,8 m, diameter selang 3/8 inci (Martanto, 2010) dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Skema pompa energi termal menggunakan dua pipa hisap dan dua evaporator parallel



Gambar 2.3 Skema pompa air energi termal menggunakan dua evaporator parallel

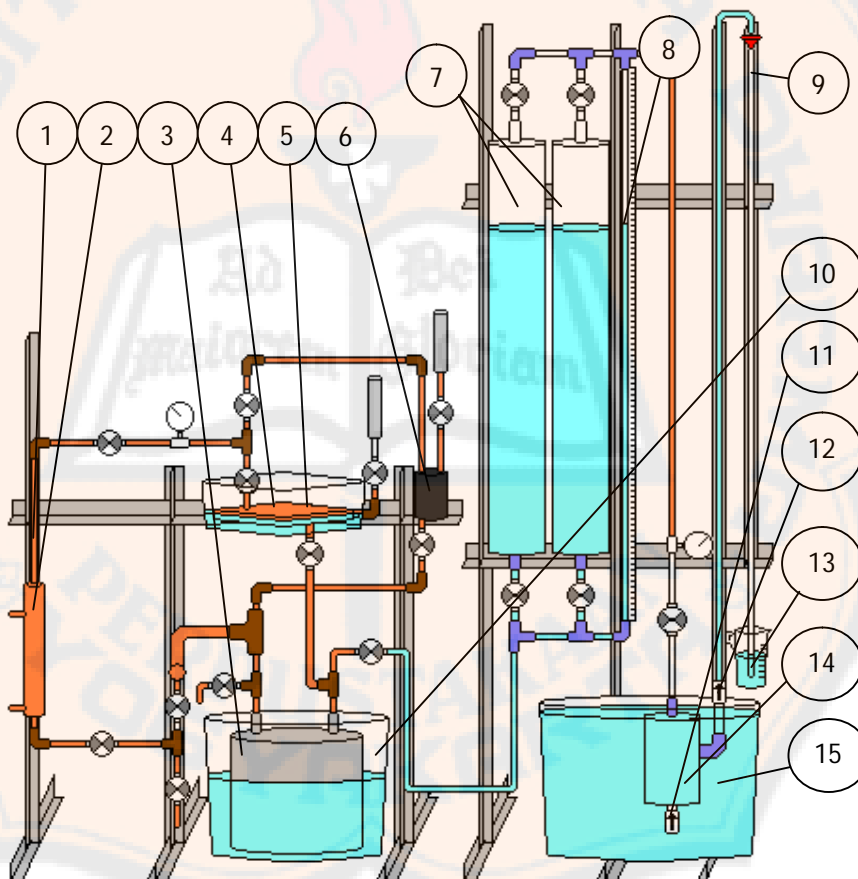
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Skema Alat Penelitian

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode termodinamik yaitu dengan membuat model pompa air energi termal yang didisain khusus dan pendinginan dilakukan menggunakan air.

Model pompa air energi termal dapat dilihat pada skema alat berikut:



Gambar 3.1 Skema model pompa air energi termal

Bagian-bagian dari pompa air energi termal ini adalah:

1. Pipa tembaga yang dipanaskan (evaporator)
2. Selubung pipa tembaga yang dipanaskan (penampung uap panas)

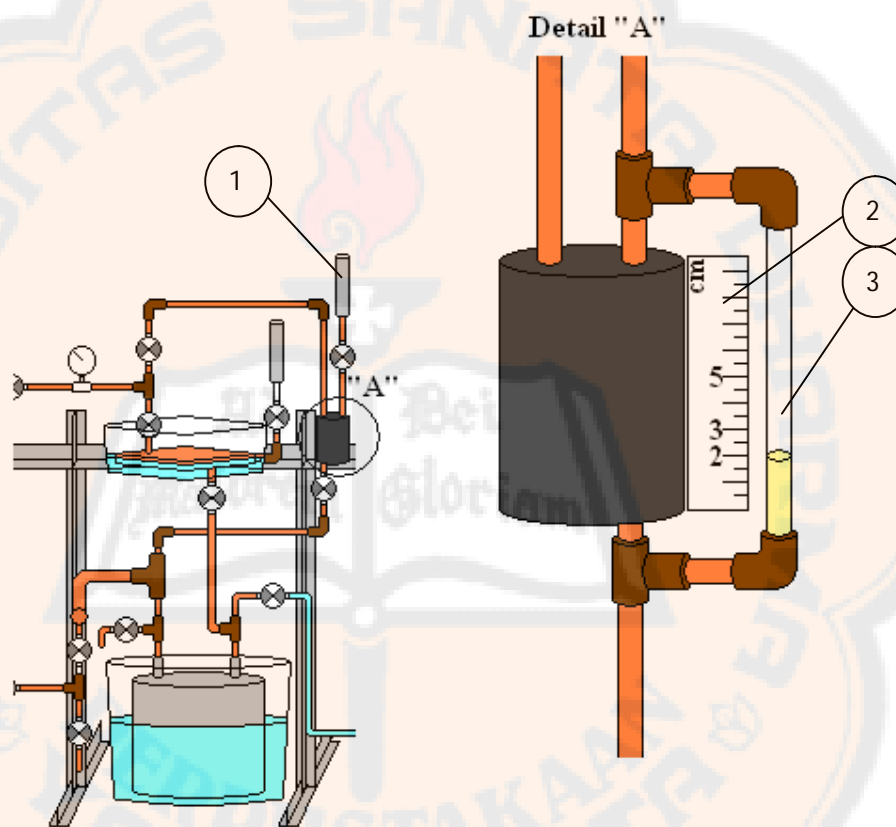
3. Tabung tekan air
4. Kotak pendinginan untuk uap fluida kerja (kondensor)
5. Bejana penampung air untuk mendinginkan kotak pendingin
6. Tabung cadangan untuk fluida kerja
7. Tabung udara tekan
8. Pengukur ketinggian air dalam tabung tekan
9. Pipa buang
10. Bejana penampung air untuk mendinginkan tabung pemisah fluida kerja dan air
11. Klep pipa hisap (katup satu arah)
12. Klep pipa buang (katup satu arah)
13. Bejana penampung air dari hasil pemompaan
14. Pompa celup
15. Bejana penampung air yang akan dipompa

3.2 Variabel Yang Divariasikan

Pada penelitian ini ada beberapa variabel yang divariasikan untuk memperoleh hasil yang bervariasi. Variasi yang dilakukan yaitu:

1. Variasi volume eter (fluida kerja), (1) 0,6 liter (653 ml), (2) 0,7 liter (717 ml), dan (3) 0,8 liter (844 ml).
2. Variasi volume tabung udara tekan, (1) 3,2 liter, (2) 4,5 liter, dan (3) 5,7 liter.
3. Variasi ketinggian head pemompaan, (1) 1,7 m, (2) 2,4 m (244 cm), dan (3) 3,3 m (325 cm).
4. Variasi jumlah tabung tekan udara, (1) satu tabung tekan, (2) dua tabung tekan.

Pada variasi pertama dilakukan pada pengaturan volume eter (fluida kerja) yang digunakan. Dan variasi volume eter yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,6 liter (653 ml), 0,7 liter (717 ml), dan 0,8 liter (844 ml). Variasi volume eter dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tabung penambah eter Detail A

Bagian-bagian pada tabung penambah eter Gambar 3.2:

1. Torong untuk membantu pada saat penambahan jumlah volume eter yang akan digunakan.

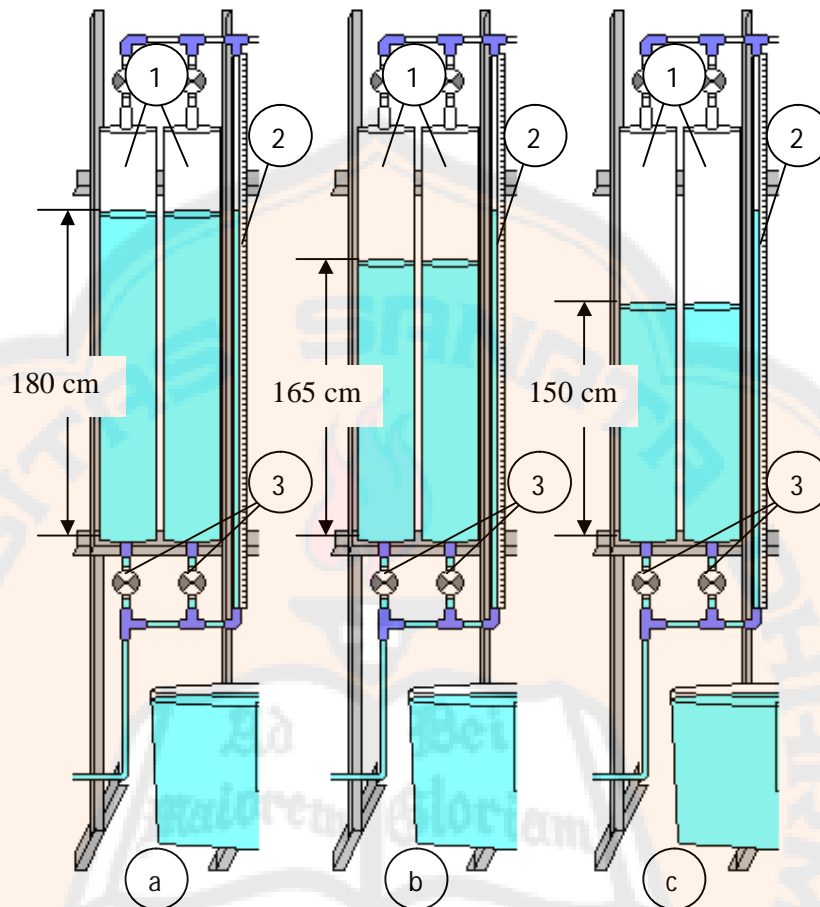
2. Mistar digunakan untuk mengukur ketinggian eter yang tampak pada sight glass.
3. Sight glass sebagai penanda ketinggian eter dalam tabung tekan.

Tabung penambah eter Gambar 3.2(A) merupakan tabung yang digunakan untuk mengatur volume eter yang akan digunakan. Terdapat mistar Gambar 3.2(2) dan sight glass Gambar 3.2(3) untuk membantu mengatur jumlah volume yang akan digunakan. Volume yang digunakan mulai dari 0,6 liter, 0,7 liter, dan 0,8 liter, kemudian akan terukur dalam bentuk cm sehingga harus dihitung volume eter sesuai tinggi eter yang terlihat pada sight glass. Pengukuran dimulai dari bagian bawah tabung penambah eter.

Pada variasi kedua dilakukan dengan memvariasikan volume tabung udara tekan. Dan variasi volume tabung udara tekan adalah 3,2 liter, 4,5 liter, dan 5,7 liter. Variasi volume tabung udara tekan dapat dilihat pada Gambar 3.3.

Bagian-bagian pada tabung tekan pada Gambar 3.3:

1. Tabung udara tekan Gambar 3.3(1)
2. Pengukur tinggi kolom Gambar 3.3(2)
3. Kran pengatur arah aliran air Gambar 3.3(3)



Gambar 3.3 Variasi volume tabung udara tekan, (a) 3,2 liter, (b) 4,5 liter, dan (c) 5,7 liter

Tabung udara tekan pada Gambar 3.3(1) divariasikan ketinggiannya untuk mengetahui pengaruhnya terhadap keluaran yang akan dihasilkan dan juga tekanan yang terjadi dalam tabung udara tekan. Untuk mengubah volume pada tabung udara tekan adalah dengan menambah ataupun mengurangi jumlah air pada ketinggian tertentu. Ketinggian kolom air yang digunakan pada variasi volume tabung udara tekan adalah 150 cm, 165 cm, dan 180 cm. Tabung udara tekan yang digunakan memiliki diameter 10,16 cm dan tabung

udara tekan yang digunakan pada variasi ini adalah satu tabung udara tekan.

Berikut adalah cara menghitung volume tabung udara tekan:

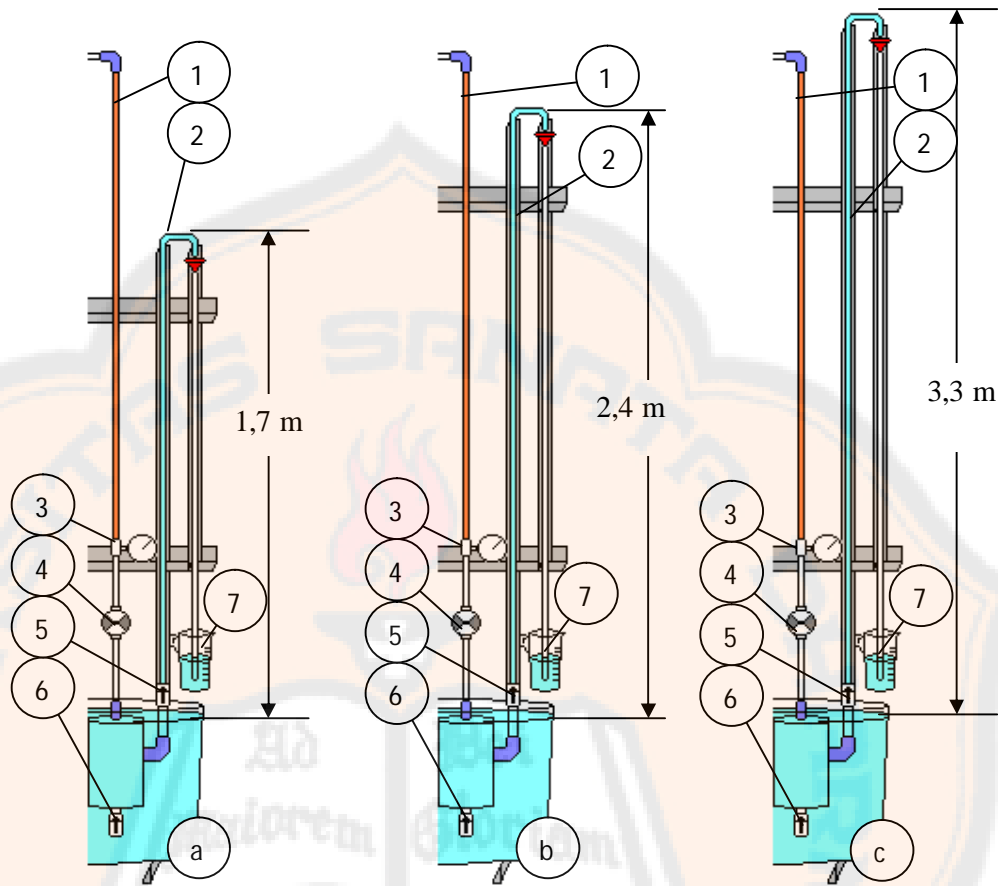
$$\text{Volume udara tekan} = 3,14 \cdot r^2 \cdot t$$

$$\text{Volume udara tekan} = 3,14 \cdot (5,08 \text{ cm})^2 \cdot 70 \text{ cm}$$

$$\text{Volume udara tekan} = 5672 \text{ cm}^3 = 5,672 \text{ liter}$$

Pada variasi ketiga dilakukan dengan mengatur ketinggian head pemompaan dan head pemompaan yang digunakan ada 3 variasi yaitu 1,7 m, 2,4 m (244 cm) dan 3,3 m (325 cm). Variasi ketinggian head pemompaan dapat dilihat pada Gambar 3.4.

Tinggi head pemompaan di variasikan bertujuan dapat mengetahui seberapa pengaruh variasi ketinggian head terhadap hasil pemompaan. Tekanan dari tabung udara tekan juga dipengaruhi ketinggian head pemompaan yaitu semakin tinggi head pemompaan yang digunakan maka semakin besar tekanan yang terjadi dalam sistem dan tenaga yang dibutuhkan dari penggerak pompa menjadi semakin besar. Variasi ketinggian head pemompaan dimulai dari 1,7 m, 2,4 m, dan yang terakhir 3,3 m. Ketinggian head pemompaan dihitung dari permukaan air pada bejana penampung air yang akan dipompakan.



Gambar 3.4 Variasi ketinggian head pemompaan 1,7 m (a), 2,4 m (b), dan 3,3 m (c)

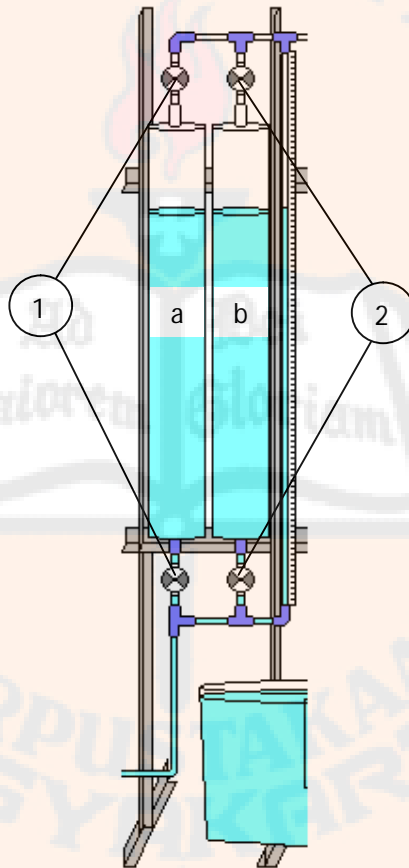
Bagian-bagian dari sistem pemompaan Gambar 3.4:

1. Pipa saluran udara dari tabung tekan Gambar 3.4(1)
2. Pipa buang Gambar 3.4(2)
3. Manometer Gambar 3.4(3)
4. Kran pengatur aliran udara masuk pompa celup Gambar 3.4(4)
5. Klep buang Gambar 3.4(5)
6. Klep hisap Gambar 3.4(6)
7. Bejana penampung air hasil pemompaan Gambar 3.4(7)

Untuk variasi yang terakhir dilakukan dengan mengatur jumlah tabung tekan yang digunakan pada saat pengambilan data. Variasinya yaitu dengan menggunakan satu tabung tekan dan dua tabung tekan.

Bagian-bagian pada variasi jumlah penggunaan tabung tekan Gambar 3.5:

- a) Kran pengatur arah aliran Gambar 3.5(1)
- b) Tabung tekan udara Gambar 3.5(2)



Gambar 3.5 Variasi jumlah penggunaan tabung udara tekan

Pada variasi ini jumlah penggunaan tabung udara tekan diatur dengan membuka atau menutup kran. Variasi dengan menggunakan satu tabung

udara tekan maka kran 1 pada Gambar 3.5 bagian atas dan bawah ditutup sedangkan kran 2 pada Gambar 3.5 bagian atas dan bawah dibuka, atau kran 1 pada Gambar 3.5 bagian atas dan bawah dibuka sedangkan kran 2 pada Gambar 3.5 bagian atas dan bawah ditutup. Variasi dengan menggunakan dua tabung udara tekan maka kran 1 pada Gambar 3.5 dan kran 2 pada Gambar 3.5 bagian atas dan bawah dibuka. Variasi penggunaan tabung udara tekan dimaksudkan untuk mengatur volume dan kenaikan tinggi kolom air pada tabung udara tekan sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap hasil pemompaan.

3.3 Variabel Yang Diukur

1. Temperatur awal pemanasan ($^{\circ}\text{C}$).
2. Temperatur akhir pemanasan ($^{\circ}\text{C}$).
3. Waktu pemanasan (detik).
4. Waktu pompa (detik).
5. Waktu pendinginan (detik).
6. Tinggi awal tabung tekan udara (cm).
7. Tinggi akhir tabung tekan udara (cm).
8. Tekanan pada evaporator (bar).
9. Tekanan pada tabung tekan udara (bar).
10. Volume air hasil pemompaan (ml).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini diperoleh hasil dari beberapa variabel telah yang diukur yaitu waktu pemompaan dan volume air yang keluar dari hasil pemompaan yang kemudian dihitung untuk memperoleh debit pemompaan. Untuk mendapatkan daya pompa dilakukan perhitungan dengan persamaan (1). Lalu waktu pemanasan diukur untuk mendapatkan daya pemanas dengan dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (2) terlebih dahulu. Setelah diperoleh diperoleh daya pompa dan daya pemanas maka efisiensi dapat dihitung menggunakan persamaan (3).

Tabel 4.1 Data pertama menggunakan volume eter 0,6 liter, volume tabung udara tekan 5,7 liter, ketinggian head 3,3 m dan 1 tabung udara tekan

| t_{pompa} (detik) | Volume (ml) | Debit (l/menit) | Daya _{pompa} (watt) | $t_{pemanasan}$ (detik) | Daya _{pemanas} (watt) | Efisiensi % | P_2 (bar) |
|------------------------|----------------|--------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|
| 37 | 150 | 0,243 | 0,129 | 269 | 643,90 | 0,020 | 1,44 |
| 78 | 700 | 0,538 | 0,286 | 257 | 673,96 | 0,042 | 1,70 |
| 55 | 350 | 0,382 | 0,203 | 244 | 709,87 | 0,029 | 1,63 |
| 56 | 360 | 0,386 | 0,205 | 254 | 681,92 | 0,030 | 1,60 |
| 52 | 400 | 0,462 | 0,245 | 235 | 737,06 | 0,033 | 1,61 |
| rata-rata | | 0,402 | 0,214 | rata-rata | 689,34 | 0,031 | 1,60 |

Tabel 4.2 Data kedua menggunakan volume eter 0,7 liter, volume tabung udara tekan 5,7 liter, ketinggian head 3,3 m dan 1 tabung udara tekan

| t_{pompa} (detik) | Volume (ml) | Debit (l/menit) | Daya _{pompa} (watt) | $t_{pemanasan}$ (detik) | Daya _{pemanas} (watt) | Efisiensi % | P_2 (bar) |
|------------------------|----------------|--------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|
| 122 | 1050 | 0,516 | 0,274 | 312 | 620,22 | 0,044 | 1,68 |
| 77 | 475 | 0,370 | 0,197 | 304 | 636,55 | 0,031 | 1,60 |
| 61 | 400 | 0,393 | 0,209 | 302 | 640,76 | 0,033 | 1,60 |
| 76 | 475 | 0,375 | 0,199 | 304 | 636,55 | 0,031 | 1,64 |
| 76 | 600 | 0,474 | 0,252 | 287 | 674,25 | 0,037 | 1,71 |
| rata-rata | | 0,426 | 0,226 | rata-rata | 641,67 | 0,035 | 1,65 |

Tabel 4.3 Data ketiga menggunakan volume eter 0,8 liter, volume tabung udara tekan 5,7 liter, ketinggian head 3,3 m dan 1 tabung udara tekan

| tpompa (detik) | Volume (ml) | Debit (l/menit) | Dayapompa (watt) | tpemanasan (detik) | Dayapemanas (watt) | Efisiensi % | P ₂ (bar) |
|----------------|-------------|-----------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------|----------------------|
| 62 | 500 | 0,484 | 0,257 | 279 | 838,20 | 0,031 | 1,54 |
| 74 | 725 | 0,588 | 0,312 | 270 | 866,14 | 0,036 | 1,66 |
| 82 | 850 | 0,622 | 0,330 | 287 | 814,83 | 0,041 | 1,70 |
| 84 | 850 | 0,607 | 0,323 | 266 | 879,16 | 0,037 | 1,70 |
| 89 | 750 | 0,506 | 0,269 | 278 | 841,21 | 0,032 | 1,66 |
| rata-rata | | 0,561 | 0,298 | rata-rata | 847,91 | 0,035 | 1,65 |

Tabel 4.4 Data keempat menggunakan volume eter 0,6 liter, volume tabung udara tekan 4,5 liter, ketinggian head 3,3 m dan 1 tabung udara tekan

| tpompa (detik) | Volume (ml) | Debit (l/menit) | Dayapompa (watt) | tpemanasan (detik) | Dayapemanas (watt) | Efisiensi % | P ₂ (bar) |
|----------------|-------------|-----------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------|----------------------|
| 49 | 150 | 0,184 | 0,098 | 315 | 549,87 | 0,018 | 1,58 |
| 83 | 450 | 0,325 | 0,173 | 304 | 569,76 | 0,030 | 1,78 |
| 63 | 300 | 0,286 | 0,152 | 290 | 597,27 | 0,025 | 1,67 |
| 62 | 300 | 0,290 | 0,154 | 293 | 591,15 | 0,026 | 1,67 |
| 74 | 400 | 0,324 | 0,172 | 282 | 614,21 | 0,028 | 1,71 |
| rata-rata | | 0,282 | 0,150 | rata-rata | 584,45 | 0,026 | 1,68 |

Tabel 4.5 Data kelima menggunakan volume eter 0,6 liter, volume tabung udara tekan 3,2 liter, ketinggian head 3,3 m dan 1 tabung udara tekan

| tpompa (detik) | Volume (ml) | Debit (l/menit) | Dayapompa (watt) | tpemanasan (detik) | Dayapemanas (watt) | Efisiensi % | P ₂ (bar) |
|----------------|-------------|-----------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------|----------------------|
| 90 | 725 | 0,483 | 0,257 | 252 | 687,33 | 0,037 | 2,39 |
| 83 | 650 | 0,470 | 0,250 | 246 | 704,10 | 0,035 | 2,24 |
| 105 | 850 | 0,486 | 0,258 | 272 | 636,79 | 0,041 | 2,50 |
| 100 | 750 | 0,450 | 0,239 | 266 | 651,16 | 0,037 | 2,36 |
| 111 | 850 | 0,459 | 0,244 | 273 | 634,46 | 0,038 | 2,50 |
| rata-rata | | 0,470 | 0,250 | rata-rata | 662,77 | 0,038 | 2,40 |

Tabel 4.6 Data keenam menggunakan volume eter 0,6 liter, volume tabung udara tekan 3,2 liter, ketinggian head 2,4 m dan 1 tabung udara tekan

| t _{pompa} (detik) | Volume (ml) | Debit (l/menit) | Daya _{pompa} (watt) | t _{pemanasan} (detik) | Daya _{pemanas} (watt) | Efisiensi % | P ₂ (bar) |
|-------------------------------|----------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------------|
| 218 | 1025 | 0,282 | 0,113 | 385 | 449,89 | 0,025 | 2,09 |
| 228 | 1450 | 0,382 | 0,152 | 332 | 521,71 | 0,029 | 2,45 |
| 237 | 1650 | 0,418 | 0,167 | 333 | 520,14 | 0,032 | 2,88 |
| 256 | 1350 | 0,316 | 0,126 | 358 | 483,82 | 0,026 | 2,08 |
| 211 | 1070 | 0,304 | 0,121 | 489 | 354,21 | 0,034 | 2,14 |
| rata-rata | | 0,340 | 0,136 | rata-rata | 465,96 | 0,029 | 2,33 |

Tabel 4.7 Data ketujuh menggunakan volume eter 0,6 liter, volume tabung udara tekan 3,2 liter, ketinggian head 1,7 m dan 1 tabung udara tekan

| t _{pompa} (detik) | Volume (ml) | Debit (l/menit) | Daya _{pompa} (watt) | t _{pemanasan} (detik) | Daya _{pemanas} (watt) | Efisiensi % | P ₂ (bar) |
|-------------------------------|----------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------------|
| 248 | 2310 | 0,559 | 0,223 | 501 | 345,72 | 0,064 | 3,92 |
| 196 | 2350 | 0,719 | 0,287 | 404 | 428,73 | 0,067 | 3,33 |
| 184 | 2300 | 0,750 | 0,299 | 310 | 558,74 | 0,054 | 3,33 |
| 229 | 2600 | 0,681 | 0,272 | 283 | 612,04 | 0,044 | 6,14 |
| 217 | 2650 | 0,733 | 0,292 | 265 | 653,62 | 0,045 | 14,33 |
| rata-rata | | 0,688 | 0,275 | rata-rata | 519,77 | 0,055 | 6,21 |

Tabel 4.8 Data kedelapan menggunakan volume eter 0,7 liter, volume tabung udara tekan 3,2 liter, ketinggian head 3,3 m dan 1 tabung udara tekan

| t _{pompa} (detik) | Volume (ml) | Debit (l/menit) | Daya _{pompa} (watt) | t _{pemanasan} (detik) | Daya _{pemanas} (watt) | Efisiensi % | P ₂ (bar) |
|-------------------------------|----------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------------|
| 102 | 975 | 0,574 | 0,305 | 260 | 744,27 | 0,041 | 2,86 |
| 125 | 1100 | 0,528 | 0,281 | 270 | 716,70 | 0,039 | 3,08 |
| 130 | 1130 | 0,522 | 0,277 | 274 | 706,24 | 0,039 | 3,33 |
| 129 | 1050 | 0,488 | 0,260 | 295 | 655,97 | 0,040 | 3,33 |
| 153 | 1250 | 0,490 | 0,260 | 281 | 688,65 | 0,038 | 3,15 |
| rata-rata | | 0,520 | 0,276 | rata-rata | 702,37 | 0,039 | 3,15 |

Tabel 4.9 Data kesembilan menggunakan volume eter 0,7 liter, volume tabung udara tekan 3,2 liter, ketinggian head 3,3 m dan 2 tabung udara tekan

| t _{pompa} (detik) | Volume (ml) | Debit (l/menit) | Daya _{pompa} (watt) | t _{pemanasan} (detik) | Daya _{pemanas} (watt) | Efisiensi % | P ₂ (bar) |
|-------------------------------|----------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------------|
| 26 | 10 | 0,023 | 0,012 | 261 | 741,42 | 0.002 | 1,35 |
| 92 | 425 | 0,277 | 0,147 | 302 | 640,76 | 0.023 | 1,41 |
| 88 | 200 | 0,136 | 0,072 | 341 | 567,48 | 0.013 | 1,45 |
| 33 | 25 | 0,045 | 0,024 | 359 | 539,03 | 0.004 | 1,44 |
| 116 | 325 | 0,168 | 0,089 | 366 | 528,72 | 0.017 | 1,48 |
| rata-rata | | 0,130 | 0,069 | rata-rata | 603,48 | 0.012 | 1,43 |

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.1 sampai dengan Tabel 4.9.

Berikut adalah contoh perhitungan dari pengambilan data Tabel 4.1. Daya pemanasan yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan (1) :

$$P_{\text{pemanas}} = \frac{hfg}{t_{\text{pemanasan}}}$$

$$P_{\text{pemanas}} = \frac{173208 \text{ kg/J}}{269 \text{ s}}$$

$$P_{\text{pemanas}} = 643,896 \text{ watt}$$

Daya pemompaan yang dihasilkan dihitung dengan persamaan (2) :

$$P_{\text{pompa}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

$$P_{\text{pompa}} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{0,0041}{1000} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3,25 \text{ m}$$

$$P_{\text{pompa}} = 0,129 \text{ watt}$$

Dari daya pemanasan dan daya pemompaan yang dihasilkan maka dapat dihitung efisiensi pompa dengan menggunakan persamaan (3) :

$$\eta_{\text{pompa}} = \frac{P_{\text{pompa}}}{P_{\text{pemanas}}} \cdot 100\%$$

$$\eta_{\text{pompa}} = \frac{0,129 \text{ watt}}{643,896 \text{ watt}} \cdot 100\%$$

$$\eta_{\text{pompa}} = 0,020 \%$$

Proses kompresi udara yang terjadi pada tabung tekan udara Gambar 3.3(7) dapat dihitung menggunakan persamaan (4) :

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{V_2}$$

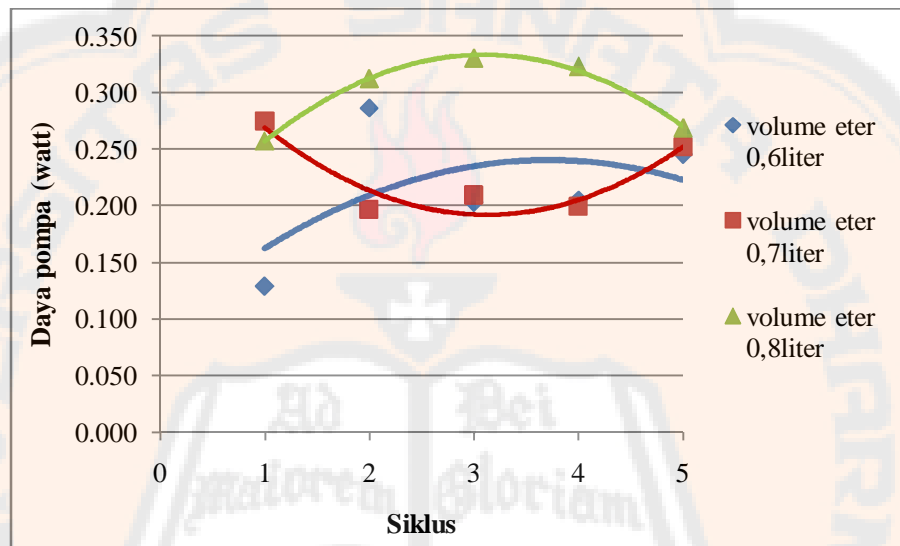
$$P_2 = \frac{1 \text{ bar} \cdot 5834,3 \text{ cm}^3}{4051,6 \text{ cm}^3}$$

$$P_2 = 1,44 \text{ bar}$$

4.2 Pembahasan

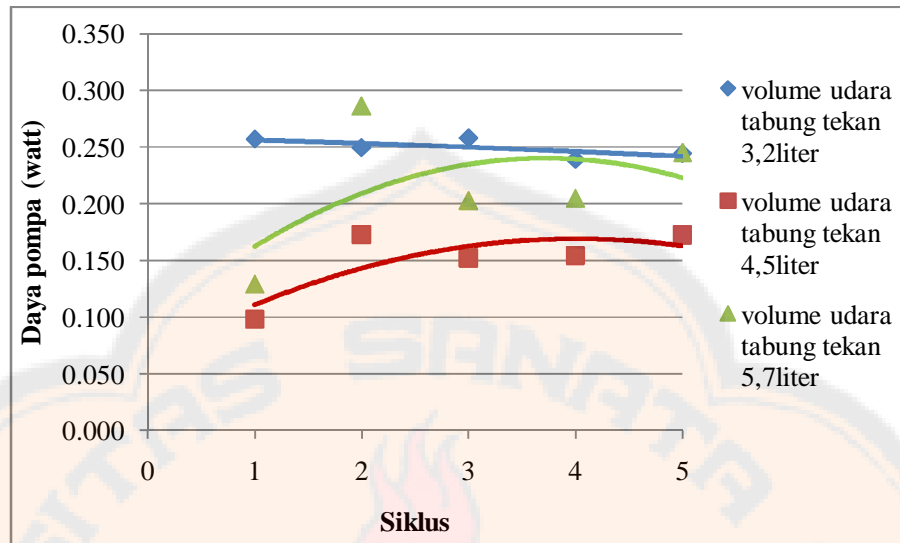
Dari Gambar 4.1 dapat dilihat pada variasi volume eter 0,6 liter dan 0,8 liter menunjukkan daya pompa yang terjadi pada siklus kelima selalu kembali ke posisi awal pemompaan. Variasi volume eter 0,8 liter memiliki daya pompa yang lebih baik dari variasi lainnya. Hal ini dikarenakan adanya kesetimbangan uap eter yang terbentuk setelah lama waktu pemanasan tertentu, sehingga proses penguapan harus dilakukan dalam waktu yang lebih lama dari proses pendinginan yang dilakukan pada saat pengambilan data. Pengaruh terhadap daya pompa adalah ketika sudah terbentuk uap jenuh maka kinerja pompa akan menurun dan kembali seperti awal pemompaan, dan daya pompa yang setabil akan terlihat pada siklus kedua sampai dengan yang keempat. Untuk variasi volume eter 0,7 liter terjadi

perbedaan pada siklus awal pengambilan data dikarenakan pengambilan data dilakukan setelah eter didinginkan satu malam. Variasi volume eter 0,8 liter memiliki hasil yang lebih baik dan itu membuktikan bahwa semakin banyak fluida kerja (eter) yang digunakan maka akan memperoleh daya pompa yang lebih tinggi pula.



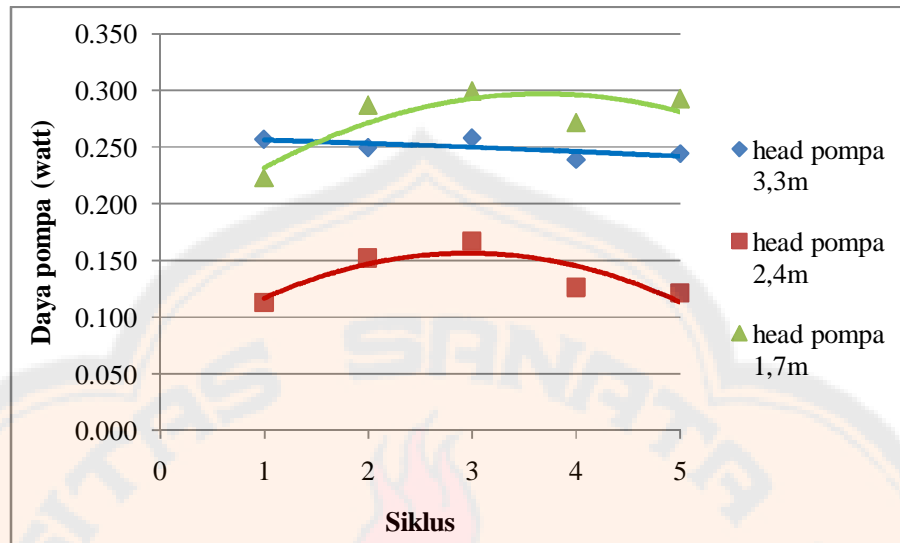
Gambar 4.1 Daya pompa yang didapat dari variasi volume eter, terdiri dari 5 kali pengambilan data disetiap variasi. Menggunakan volume tabung udara tekan 5,7 liter, head pemompaan 3,3 m dan 1 tabung udara tekan

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat daya pompa yang dihasilkan pada variasi volume tabung tekan udara 4,5 liter dan 5,7 liter memiliki sifat yang sama dengan variasi pada Gambar 4.1 yaitu stabil ketika pada siklus kedua sampai dengan siklus ke empat. Dari lima siklus yang terjadi pada setiap variasi terdapat perbedaan daya pompa yang sangat terlihat, volume udara yang semakin diperkecil pada tabung tekan sangat mempengaruhi kerja dari pompa.



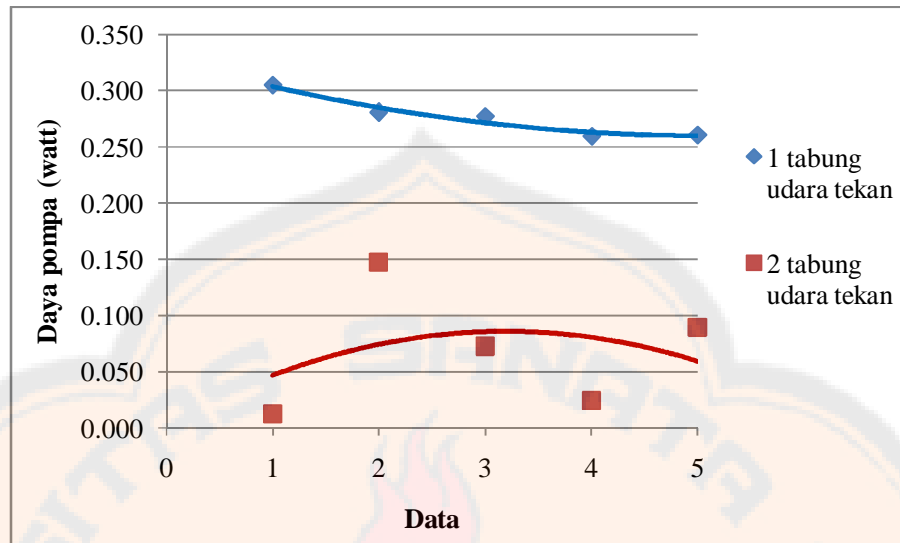
Gambar 4.2 Daya pompa yang didapat dari variasi ketinggian kolom air pada tabung tekan, terdiri dari 5 kali pengambilan data disetiap variasi. Menggunakan volume eter 0,6 liter, head pemompaan 3,3 m dan 1 tabung udara tekan

Pada variasi volume tabung udara tekan yang semakin kecil diharapkan memperoleh hasil semakin baik seperti daya pompa yang dihasilkan pada variasi volume tabung udara tekan 3,2 liter yang menunjukkan daya pompa terbaik dari ketiga variasi yang serupa. Tetapi ditemukan hal lain yang bertentangan yaitu pada variasi volume tabung udara tekan 4,5 liter yang diperkirakan akan mendapat daya pompa yang lebih baik dari variasi volume tabung udara tekan 5,7 liter dan data yang diambil menyatakan hal sebaliknya. Hal ini menunjukan bahwa daya pompa yang dihasilkan akan bergantung pada kecocokan dalam mengatur volume udara di tabung udara tekan dengan kerja dari penggerak pompa.



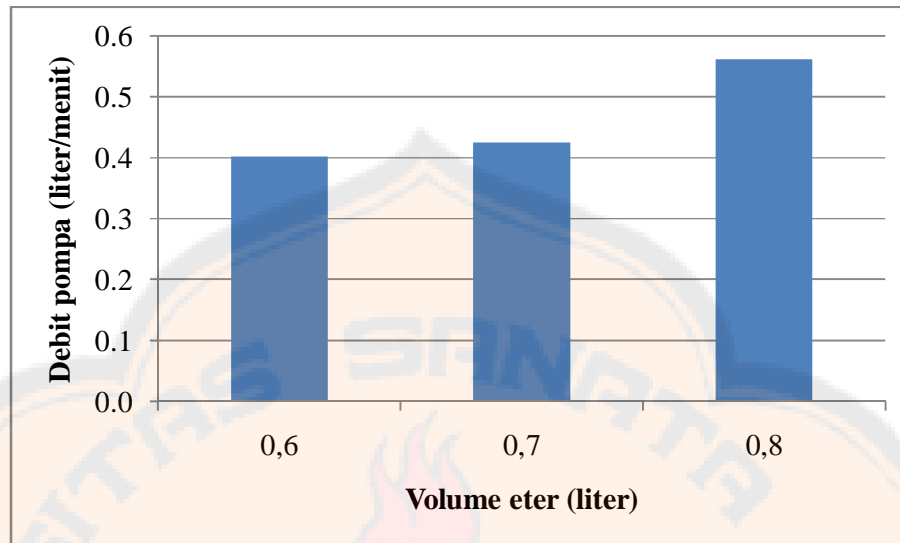
Gambar 4.3 Daya pompa yang didapat dari variasi ketinggian head pemompaan, terdiri dari 5 kali pengambilan data disetiap variasi. Menggunakan volume eter 0,6 liter, volume tabung udara tekan 3,2 liter dan 1 tabung udara tekan

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat pada variasi head pemompaan 1,7 m memiliki daya pompa yang rata-rata diatas dari variasi tinggi head pemompaan yang lain. Hal ini membuktikan bahwa semakin rendah head pemompaan yang digunakan akan dihasilkan daya pompa yang semakin baik, tetapi dari hasil penelitian ini juga dibuktikan bahwa kesesuaian variasi tinggi head pemompaan dengan sistem pompa dapat menghasilkan daya pompa yang berbeda seperti terlihat pada variasi head pemompaan 2,4 m yang ternyata tidak lebih baik dari variasi tinggi head pemompaan 3,3 m yang diharapkan mendapat hasil yang sebaliknya.



Gambar 4.4 Daya pompa yang didapat dari variasi jumlah tabung tekan, terdiri dari 5 kali pengambilan data disetiap variasi. Menggunakan volume eter 0,7 liter, volume tabung udara tekan 3,2 liter dan head pemompaan 3,3 m

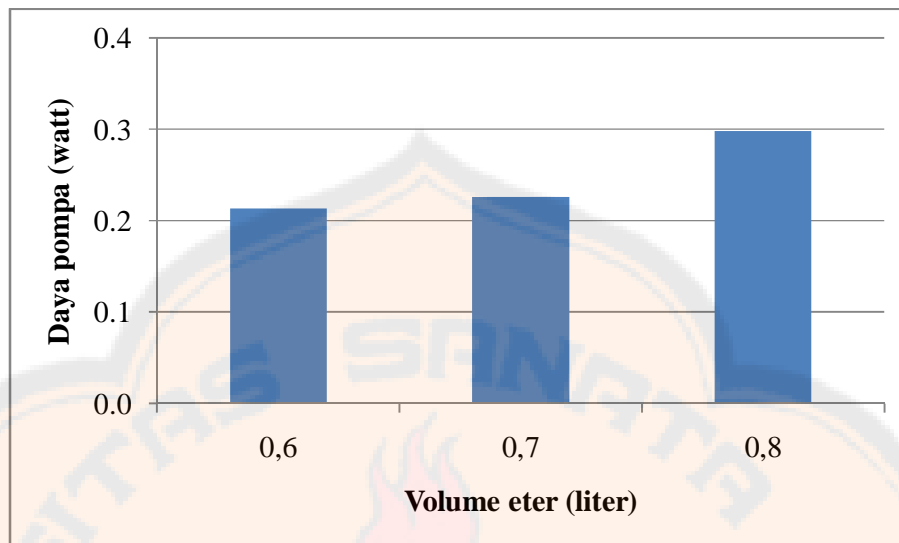
Dari Gambar 4.4 dapat dilihat daya pada variasi 1 tabung udara tekan lebih stabil dan juga lebih baik dari variasi 2 tabung udara tekan. Hal ini menunjukkan hasil yang serupa dengan variasi ketinggian kolom air tabung udara tekan pada Gambar 4.2, yaitu pengaruh volume tabung udara tekan terhadap daya pompa yang dihasilkan. Tetapi apa bila volume udara terlalu sedikit dikawatirkan air dari tabung udara tekan tumpah dan masuk kedalam pompa celup, hal ini dihindari karena fungsi tabung udara tekan adalah untuk memisahkan air yang akan dipompakan dengan fluida kerja.



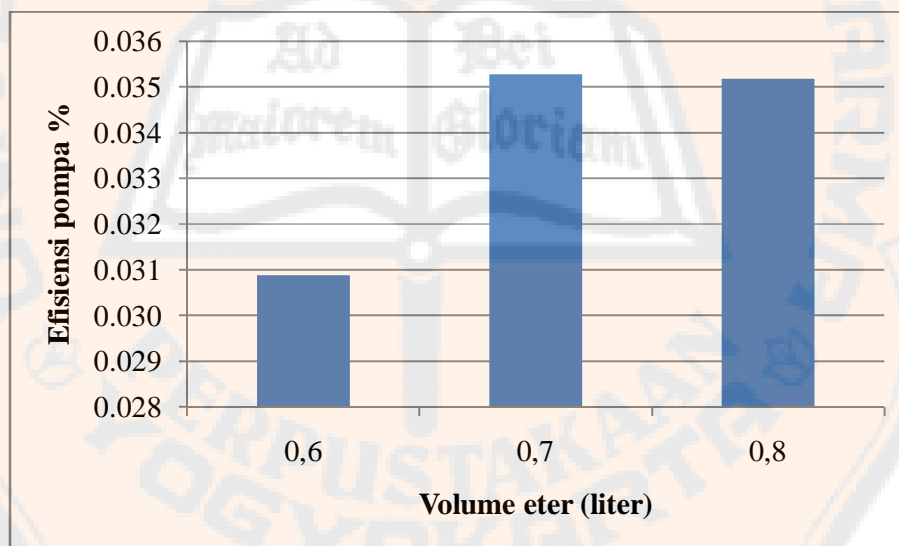
Gambar 4.5 Perbandingan debit pompa yang dirata-rata dari variasi volume eter 0,6 liter, volume eter 0,7 liter dan volume eter 0,8 liter

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat perbandingan debit pompa yang dihasilkan pada setiap variasi volume eter yang digunakan. Debit pemompaan terbaik didapat dari penggunaan volume eter 0,8 liter. Hal ini membuktikan bahwa semakin banyaknya penggunaan eter sebagai fluida kerja akan menghasilkan lama waktu pemompaan yang lebih panjang, sehingga debit pompa yang dihasilkan akan menjadi lebih banyak.

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat perbandingan daya pompa yang dihasilkan pada setiap variasi volume eter yang digunakan. Daya pemompaan terbaik didapat dari penggunaan volume eter 0,8 liter. Hal ini dikarenakan penggunaan eter sebagai fluida kerja yang diperbanyak akan menghasilkan kerja pompa yang semakin baik, dan lama waktu pemompaan yang semakin panjang juga.



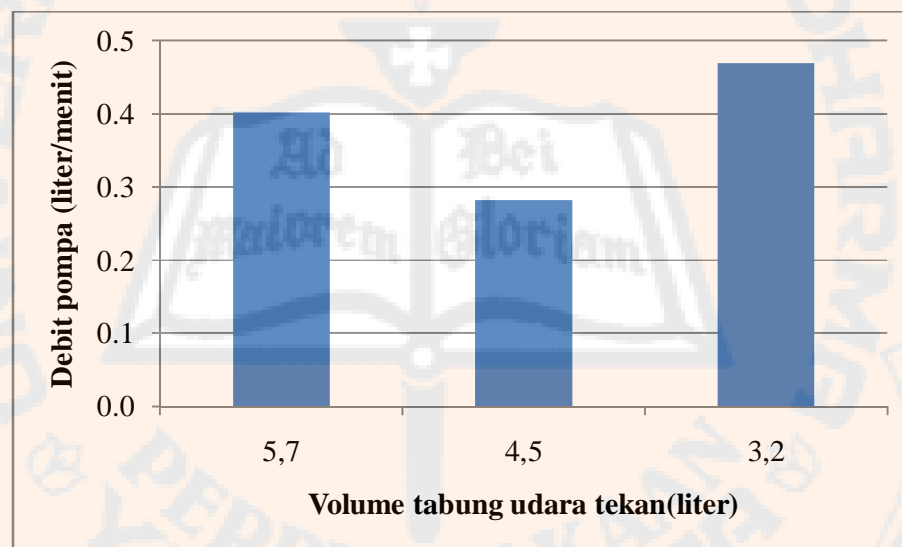
Gambar 4.6 Perbandingan daya pompa yang dirata-rata dari variasi volume eter 0,6 liter, volume eter 0,7 liter dan volume eter 0,8 liter



Gambar 4.7 Perbandingan efisiensi pompa yang dirata-rata dari variasi volume eter 0,6 liter, volume eter 0,7 liter dan volume eter 0,8 liter

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat perbandingan efisiensi pemompaan yang dihasilkan pada setiap variasi volume eter yang digunakan dan penggunaan

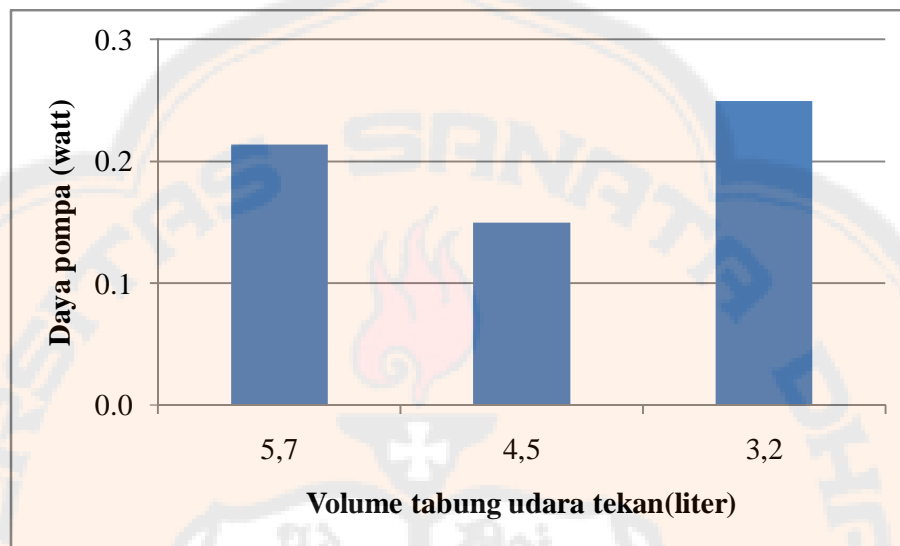
volume eter 0,7 liter memiliki efisiensi yang sama dengan penggunaan volume eter 0,8 liter. Hal ini menyatakan bahwa dengan diperbanyaknya volume eter yang digunakan tidak selalu menghasilkan efisiensi pompa yang semakin besar karena volume eter yang digunakan akan mempengaruhi daya pemanas yang dihasilkan yaitu semakin banyak eter yang digunakan akan menghasilkan daya pemanas yang besar pula. Sehingga perbandingan daya pemanas dan daya pompa tetap sama pada variasi volume eter.



Gambar 4.8 Perbandingan debit pompa yang dirata-rata dari variasi volume tabung udara tekan 5,7 liter, volume tabung udara tekan 4,5 liter dan volume tabung udara tekan 3,2 liter

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat perbandingan debit pompa yang dihasilkan dari variasi volume tabung udara tekan. Debit terbesar dihasilkan dari variasi volume tabung udara tekan 3,2 liter. Hal ini menyatakan bahwa ada rugi-rugi yang mempengaruhi kerja pompa dan hasil pemompaan. sehingga semakin besar

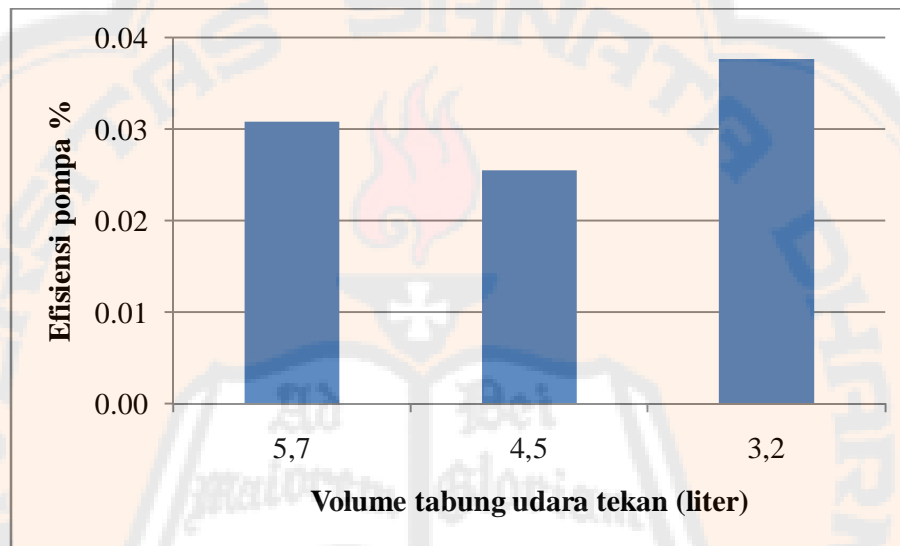
volume tabung udara tekan maka akan terjadi rugi-rugi yang semakin besar pula, begitu juga sebaliknya.



Gambar 4.9 Perbandingan daya pompa yang dirata-rata dari variasi volume tabung udara tekan 5,7 liter, volume tabung udara tekan 4,5 liter dan volume tabung udara tekan 3,2 liter

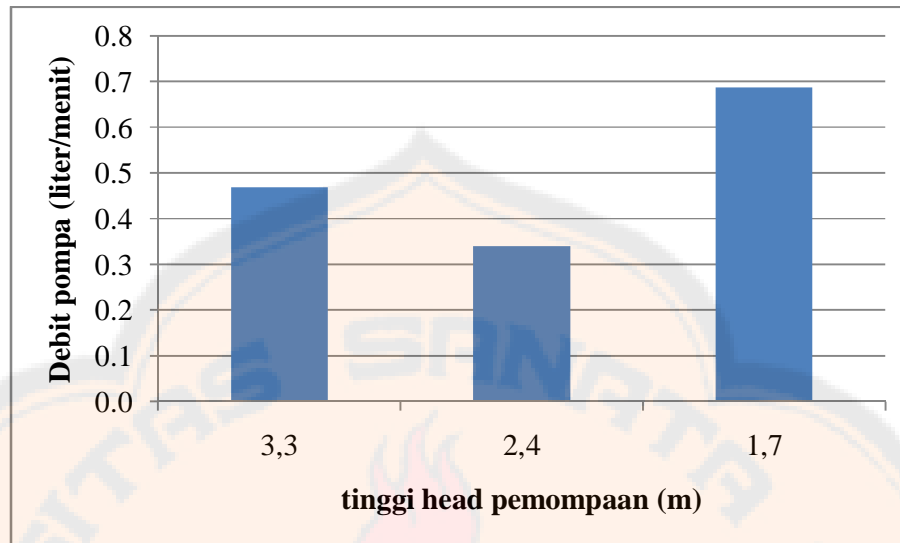
Pada Gambar 4.9 dapat dilihat perbandingan daya pompa yang dihasilkan dari variasi volume tabung udara tekan. Pada variasi ini didapat daya terbesar dari penggunaan variasi volume tabung udara tekan 3,2 liter. Hal ini dikarenakan adanya rugi-rugi dari pompa maupun dari penggerak pompa, dengan menggunakan volume tabung udara tekan yang semakin besar akan menghasilkan rugi-rugi yang semakin besar. Dari bagian penggerak pompa rugi-ruginya diakibatkan karena sifat udara yang kompresibel, sehingga semakin besar volume tabung udara tekan akan menyebabkan lama waktu pemanas untuk dapat menghasilkan uap yang kemudian memicu terjadi tekanan yang mampu menekan air pada pompa dan sebelum tekanan untuk menghasilkan daya maksimal tercapai

eter pada pemanas sudah habis menjadi uap. Sedangkan rugi-rugi pada pompa diperkirakan akibat gesekan pada pipa, karena semakin besar volume udara pada tabung tekan udara akan mengakibatkan luasan gesekan antara air dan permukaan pipa yang semakin besar pula.



Gambar 4.10 Perbandingan efisiensi pompa yang dirata-rata dari variasi volume tabung udara tekan 5,7 liter, volume tabung udara tekan 4,5 liter dan volume tabung udara tekan 3,2 liter

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat perbandingan efisiensi pompa yang dihasilkan dari variasi volume tabung udara tekan. Sesuai dengan debit pompa dan daya pompa yang dihasilkan menunjukkan hasil pada penggunaan volume tabung udara tekan 3,2 liter memiliki efisiensi terbaik. Hal ini sesuai dengan daya pompa yang dihasilkan.

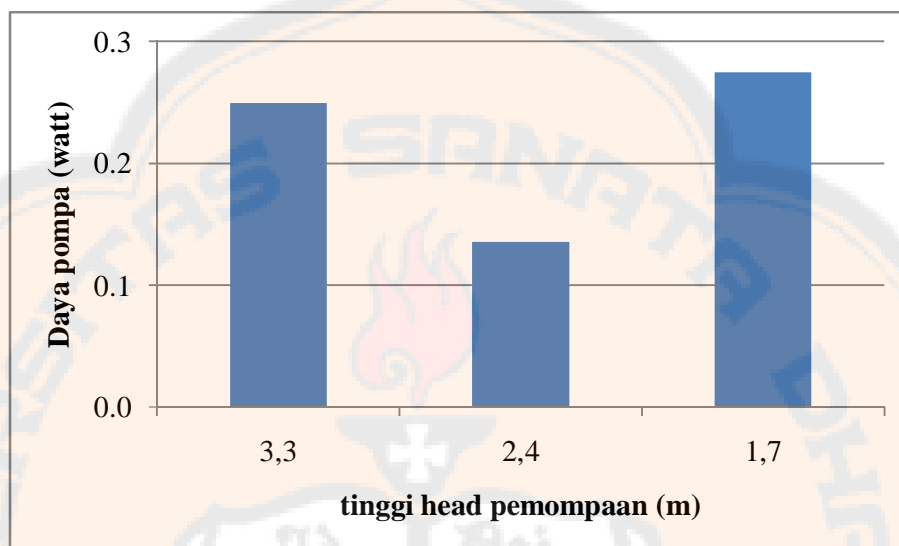


Gambar 4.11 Perbandingan debit pompa yang dirata-rata dari variasi ketinggian head pemompaan 1,7 m, ketinggian head pemompaan 2,4 m, dan ketinggian head pemompaan 3,3 m

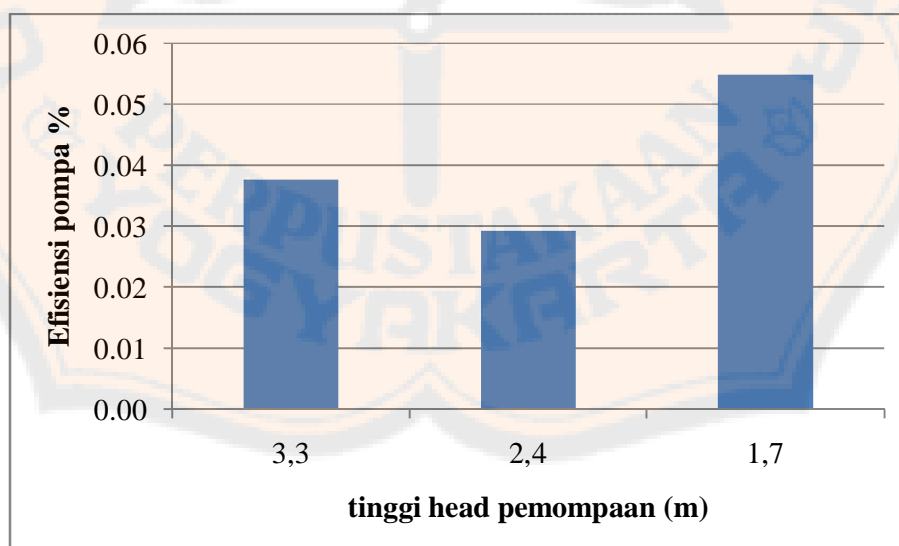
Pada Gambar 4.11 dapat dilihat perbandingan debit pemompaan yang dihasilkan dari variasi ketinggian head pemompaan. Debit pemompaan terbaik didapat dari ketinggian head pemompaan 1,7 m. Hal ini dikarenakan semakin rendahnya ketinggian head pemompaan akan menyebabkan tekan yang kecil pada sistem sehingga kerja pompa semakin ringan dan mampu memompa dengan hasil yang lebih banyak.

Pada Gambar 4.12 dapat dilihat perbandingan daya pompa yang dihasilkan dari variasi tinggi head pemompaan. Hasil terbesar didapat dari penggunaan ketinggian head pemompaan 1,7 m. Hal ini sesuai dengan debit pemompaan yang diperoleh karena pada penggunaan head ketinggian pemompaan 1,7 m menghasilkan debit yang jauh lebih besar dari penggunaan head ketinggian pemompaan yang lain. Selain itu tekanan yang terjadi dengan penggunaan head yang berbeda dapat dilihat perbedaannya, hal ini merupakan pengaruh dari

tekanan udara sekitar. Dan tekanan tersebut mempengaruhi kerja pompa dan hasil pemompaan.

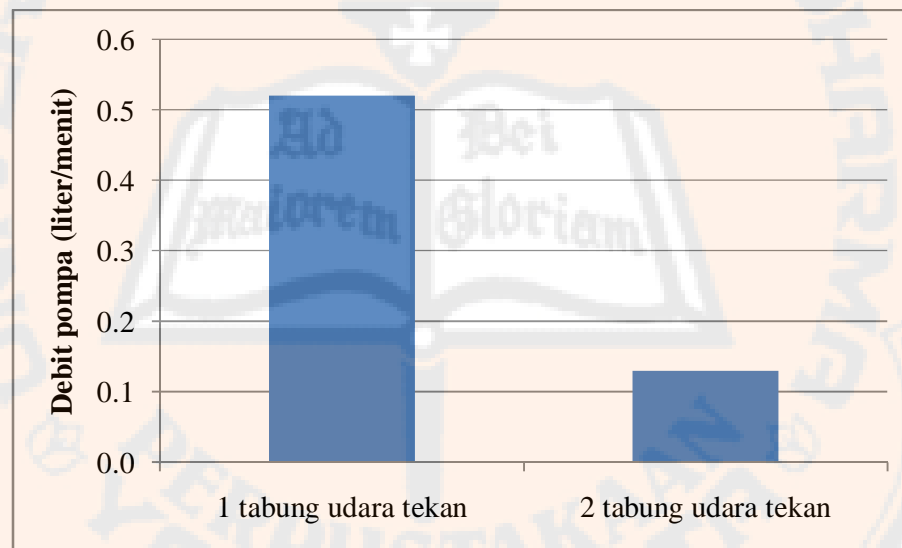


Gambar 4.12 Perbandingan daya pompa yang dirata-rata dari variasi ketinggian head pemompaan 1,7 m, ketinggian head pemompaan 2,4 m, dan ketinggian head pemompaan 3,3 m



Gambar 4.13 Perbandingan efisiensi pompa yang dirata-rata dari variasi ketinggian head pemompaan 1,7 m, ketinggian head pemompaan 2,4 m, dan ketinggian head pemompaan 3,3 m

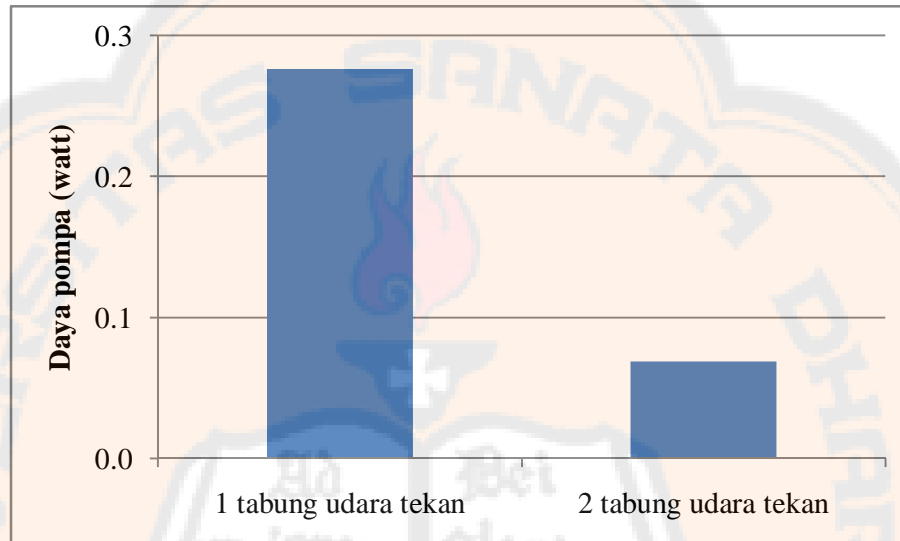
Pada Gambar 4.13 dapat dilihat perbandingan efisiensi pompa hasil dari variasi ketinggian head pemompaan. Sesuai dengan debit pompa dan daya pompa yang dihasilkan menunjukkan bahwa penggunaan ketinggian head 1,7 m memiliki efisiensi yang jauh lebih besar dari penggunaan ketinggian head yang lain. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan daya pemanas yang sama sehingga dengan daya pompa yang berbeda dan penggunaan ketinggian head pemompaan 1,7 m jauh lebih besar maka efisiensi pompa yang dihasilkan juga jauh lebih besar.



Gambar 4.14 Perbandingan debit pompa yang dirata-rata dari variasi jumlah penggunaan tabung udara tekan. Penggunaan 1 tabung udara tekan dan 2 tabung udara tekan

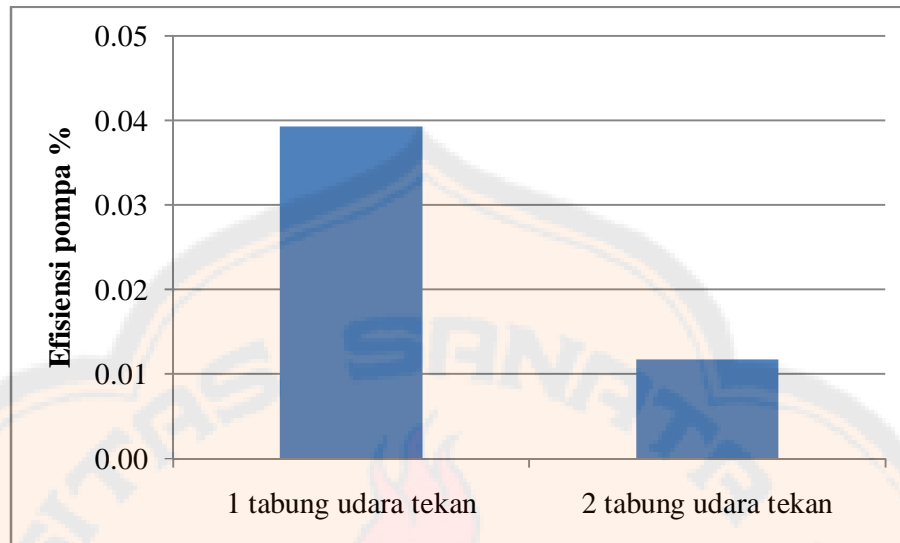
Pada Gambar 4.14 dapat dilihat perbandingan debit pompa hasil dari variasi jumlah penggunaan tabung udara tekan. Penggunaan 1 tabung udara tekan menunjukan hasil yang jauh lebih baik dari penggunaan 2 tabung udara tekan. Hal ini dikarenakan rugi-rugi yang terjadi akibat pengaruh besarnya volume pada

tabung udara tekan, semakin banyak tabung udara tekan yang digunakan maka semakin besar pula volume udaranya dan rugi-rugi yang terjadi juga semakin besar, begitu juga sebaliknya.



Gambar 4.15 Perbandingan daya pompa yang dirata-rata dari variasi jumlah penggunaan tabung tekan udara. Penggunaan 1 tabung udara tekan dan 2 tabung udara tekan

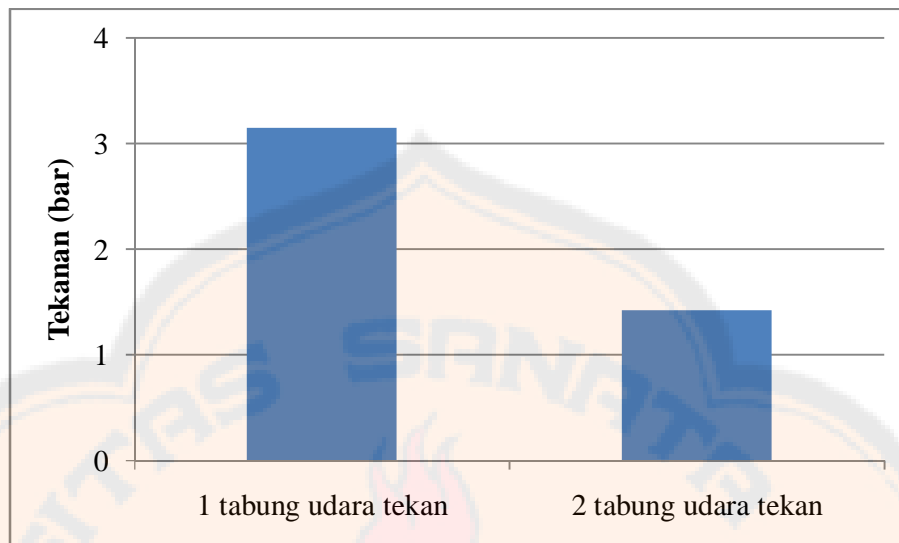
Pada Gambar 4.15 dapat dilihat perbandingan daya pompa hasil dari variasi jumlah penggunaan tabung udara tekan. Penggunaan 1 tabung udara tekan memiliki daya pompa yang jauh lebih besar dari penggunaan 2 tabung udara tekan. Hal ini karena pada variasi ini debit pompa dengan penggunaan 1 tabung udara tekan menunjukkan hasil yang jauh lebih besar dari penggunaan 2 tabung udara tekan, dan pengaruh ketinggian head pemompaan diabaikan karena pada variasi ini ketinggian head pemompaan yang digunakan sama.



Gambar 4.16 Perbandingan efisiensi pompa yang dirata-rata dari variasi jumlah penggunaan tabung udara tekan. Penggunaan 1 tabung udara tekan dan 2 tabung udara tekan

Pada Gambar 4.16 dapat dilihat perbandingan daya pompa hasil dari variasi jumlah penggunaan tabung udara tekan. Sesuai dengan daya pompa yang dihasilkan maka efisiensi terbesar diperoleh dari penggunaan 1 tabung udara tekan. Hal ini karena daya pemanas yang sama pada penggunaan 1 tabung udara tekan dan 2 tabung udara tekan, sehingga sesuai dengan daya pompa yang diperoleh maka efisiensi pompa pada penggunaan 1 tabung udara tekan memiliki hasil yang lebih besar dari penggunaan 2 tabung udara tekan.

Pada Gambar 4.17 dapat dilihat perbandingan tekanan yang terjadi pada variasi penggunaan tabung udara tekan. Penggunaan 1 tabung udara tekan memiliki tekanan yang lebih besar dari penggunaan 2 tabung udara tekan.



Gambar 4.17 Perbandingan tekanan yang dirata-rata dari variasi jumlah penggunaan tabung udara tekan. Penggunaan 1 tabung udara tekan dan 2 tabung udara tekan

Hal ini berkaitan dengan kemampuan pemanas pada penggerak pompa, apabila semakin besar volume tabung udara tekan maka diperlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai tekanan hingga dapat menekan air pada pompa celup, dan pada penggunaan 2 tabung udara tekan memperlihatkan bahwa pemanas belum mampu mencapai tekanan tersebut sehingga tekanan yang dihasilkan juga lebih kecil dari penggunaan 1 tabung udara tekan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Telah berhasil dibuat model pompa air energi termal.
2. Debit pompa maksimum sebesar 0,75 liter/menit didapatkan dari variasi head pemompaan 1,7 m dengan menggunakan volume eter 0,6 liter, volume tabung udara tekan 3,2 liter dan 1 buah tabung tekan.
3. Daya pompa maksimum sebesar 0,330 watt didapatkan dari variasi volume eter 0,8 liter dengan menggunakan volume tabung udara tekan 5,7 liter, head pemompaan 3,3 m, dan 1 buah tabung tekan.
4. Efisiensi pompa maksimum sebesar 0,067% didapatkan dari variasi head pemompaan 1,7 m dengan menggunakan volume eter 0,6 liter, volume tabung udara tekan 3,2 liter dan 1 buah tabung tekan.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan pemanas dari kolektor surya termal.
2. Penyempurnaan sistem buka tutup kran secara otomatis pada saat proses pemanasan dan pendinginan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2012, http://id.wikipedia.org/wiki/Dietil_eter, diakses tanggal 15 Juli 2012.
- Cengel, Y.A., Michael, A.B., 2008, *Thermodynamics an Engineering Approach*, sixth edition, Mc Graw Hill.
- Lukito, 2010, *Pompa Air Energi Termal Menggunakan Evaporator 285cc dengan 2 Pipa Hisap*, halaman 42.
- Mahkamov, K., Djumanov, D., 2003, *Thermal Water Pumps On The Basis Of Fluid Piston Solar Stirling Engine, 1st International Energy Concercion Engineering Conference*, Portsmouth, Virginia.
- Martanto, A.K., 2010, *Pompa Air Energi Termal Menggunakan Dua Evaporator Paralel dengan Volume 110 cc*, halaman 51.
- Soemitro, H.W., 1986, *Mekanika Fluida dan Hidraulika*, edisi kedua, Erlangga, Jakarta Pusat
- Widagdo, 2009, *Pompa Air Energi Termal dengan Evaporator 26cc dan Pemanas 78 watt*, halaman 59.
- Wong, Y.W., Sumanthy, K., 2001, *Thermodynamic analysis and optimization of a solar thermal water pump, Apllied Thermal Engineering*, Volume 21, p 613-627.

LAMPIRAN



Gambar 6.1 Model pompa air energi termal



Gambar 6.2 Pompa celup



Gambar 6.3 Tabung tekan air



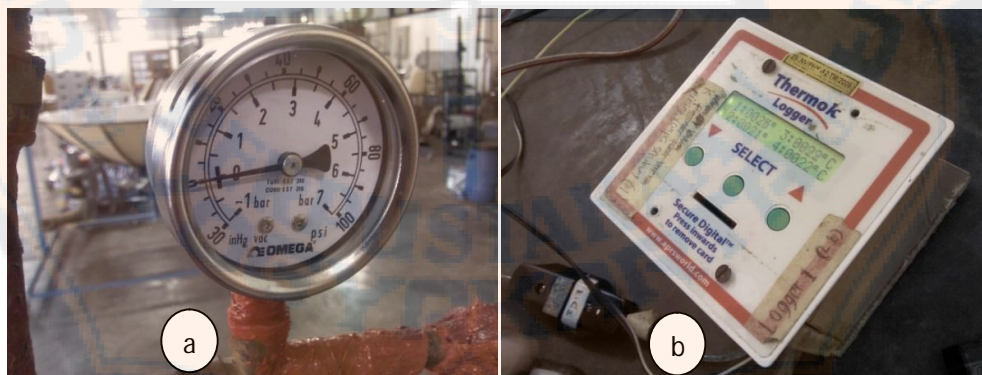
Gambar 6.4 Tabung tekan udara



Gambar 6.5 Kondensor (kotak pendingin)



Gambar 6.6 Tabung penambah eter



Gambar 6.7 Manometer (a) dan Logger (b)