

BAB III

PERANCANGAN, INSTALASI PERALATAN DAN PENGUJIAN

3.1 PERANCANGAN ALAT

3.1.1 Design Tabung (Menentukan tebal tabung)

Tekanan yang dialami dinding, $\Delta P = 1 \text{ atm (luar)} + 0 \text{ atm (dalam)} = 101325 \text{ Pa}$

$$F = P \times A = P \times l \times l = P \times l^2$$

$$\tau = \frac{1}{2} \sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{t \times 2l} = \frac{P \times l}{2t} = \frac{P \times d}{2t}$$

$$\frac{55020.16 \times 10^3}{2} \times 4(\text{angkakeamanan}) = \frac{101325 \times 0.5}{2t}$$

$$t_{\min} = 1.84 \text{ mm}$$

3.1.2 Flow Katup Ekspansi

Kecepatan Air Yang Melewati Katup Ekspansi:

$$\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho_2 g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

$$\frac{201325}{942.65(9.81)} + 0 + 0 = \frac{666.58}{(999.62)(9.81)} + \frac{V_2^2}{2(9.81)} + 0$$

$$21.77 = 0.068 + \frac{V_2^2}{2(9.81)} + 0$$

$$21.70 = \frac{V_2^2}{2(9.81)} + 0$$

$$V_2^2 = 425.79$$

$$V_2 = 20.6 \text{ m/s}$$

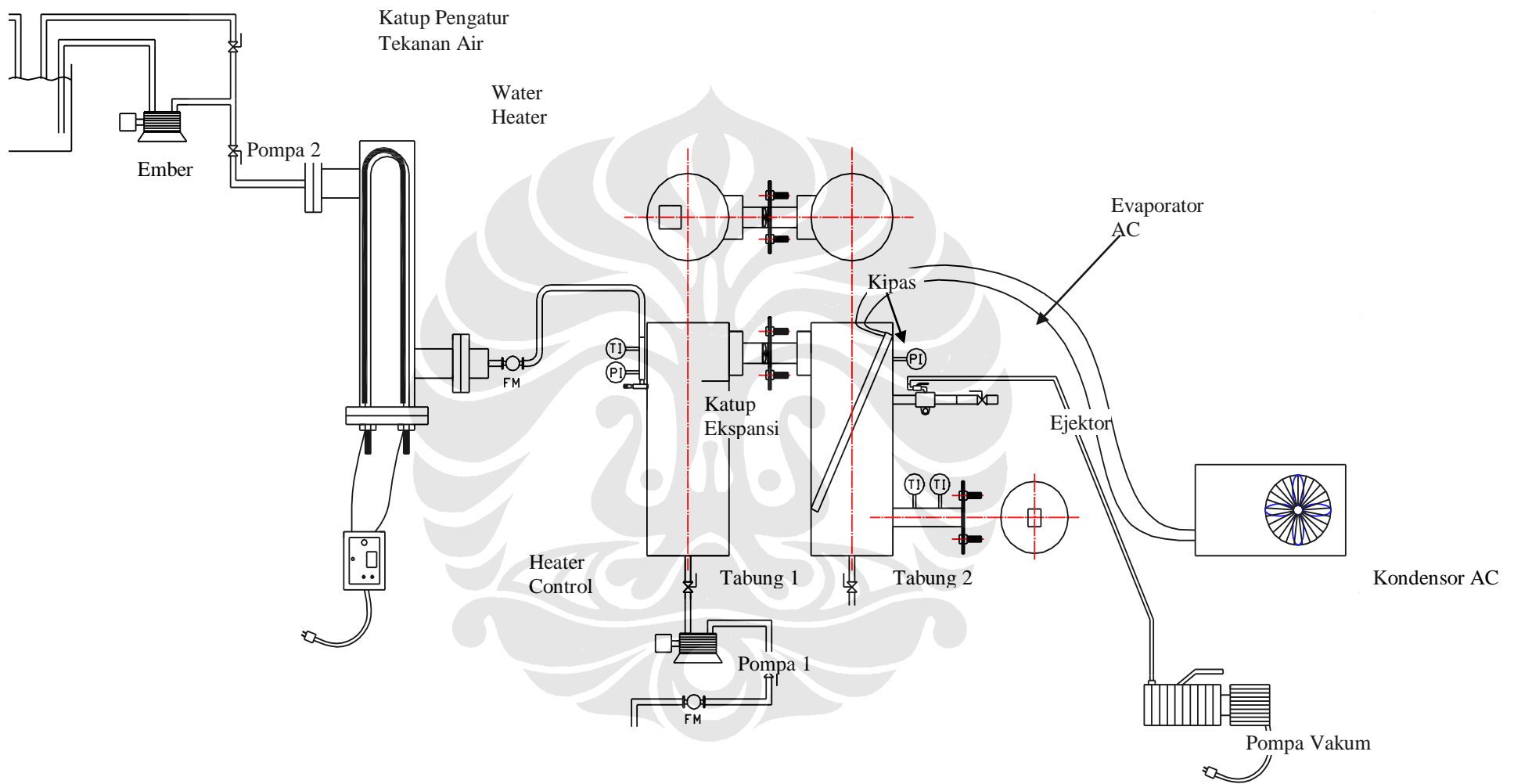
Luas area pengecilan :

$$A = \frac{\pi}{4} (1.16^2 - 1^2)$$

$$= 0.27 \text{ mm}^2$$

$$= 2.7 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

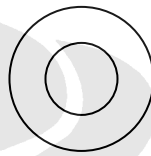
Ditentukan : $d_{\text{luar}} = 1.16 \text{ mm}$
 $d_{\text{dalam}} = 1 \text{ mm}$



Gambar 3.1 Skema Alat Uji

Aliran air keluar ekspansi

$$\begin{aligned}
 Q &= V \times A \\
 &= 20.60 \frac{m}{s} \times 2.7 \times 10^{-7} m^2 \\
 &= 5.6 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s} \\
 &= 0.0056 \frac{l}{s} \\
 &= 20 \frac{l}{h} \\
 &= 5.6 \frac{cm^3}{s} \times 1 \frac{gr}{cm^3} = 5.6 \frac{gr}{s}
 \end{aligned}$$



Gambar 3.2 Penampang Katup Ekspansi

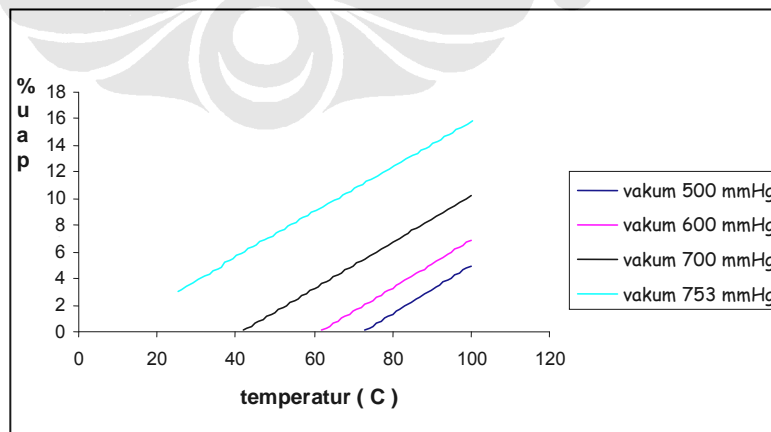
3.1.3 Jumlah Aliran Fasa Uap & Fasa Cair

Untuk mendapatkan massa uap pada vakum 755 mmHg yang berasal dari tekanan air masuk 1 Kg/cm² (lihat lampiran 1), digunakan rumus sebagai berikut

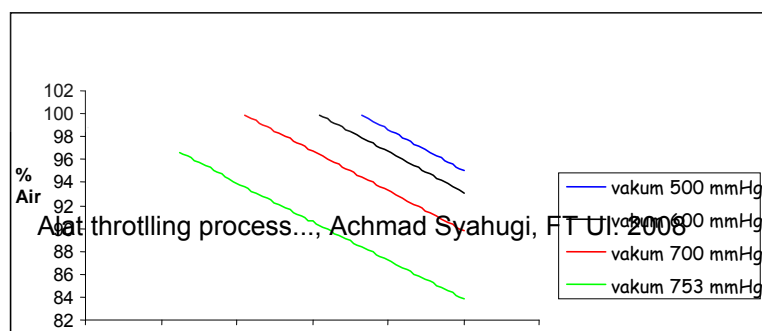
$$\% \text{ uap} = \frac{\text{Hg air } 1 \text{ kg/cm}^2 - \text{hf vakum } 755 \text{ mmHg}}{\text{hf-hg vakum } 755 \text{ mmHg}} \times 100\%$$

$$\text{hf-hg vakum } 755 \text{ mmHg}$$

$$\text{massa uap} = \% \text{ uap} \times 5.6 \text{ gr/s}$$



Grafik 3.1 % uap yang dihasilkan terhadap variasi temperatur



Grafik 3.2 % air yang dihasilkan terhadap variasi temperatur

3.1.4 Kapasitas Pendinginan Untuk Mengkondensasi Uap

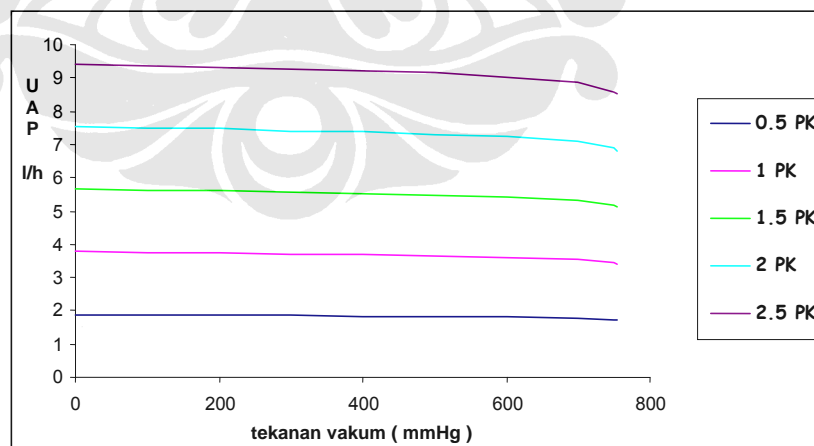
Pada lampiran 2 terlihat bahwa massa uap maksimal (pada temperature air masuk katup ekspansi sebesar 100 °C) yang dicapai untuk penceratan dari:

- Tekanan 1 Kg/cm² (gauge) ke tekanan vakum 755 mmHg adalah **0.927** gr/s.
- Daya AC yang digunakan adalah 1 PK= 745 W dan COP = 3.5 (spesifikasi AC)
- Maka beban pendinginan = COP x 745 W = 2367,34 Ws
- Jadi uap tabung vakum yang dapat dikondensasi sebesar:

$$Q_{AC} = m_{uap} (hfg)$$

$$m_{uap} = 2367,34 / 2497.678 = \mathbf{0,948} \text{ g/s} = 3,4 \text{ l/h}$$

Oleh karena itu daya AC 1 PK dianggap cukup untuk megkondensasi uap yang dihasilkan dari proses *throttling*.



Gambar 3.3 Uap Yang Dapat Dikondensasi Terhadap Kevakuman

3.1.5 Daya Listrik Water Heater

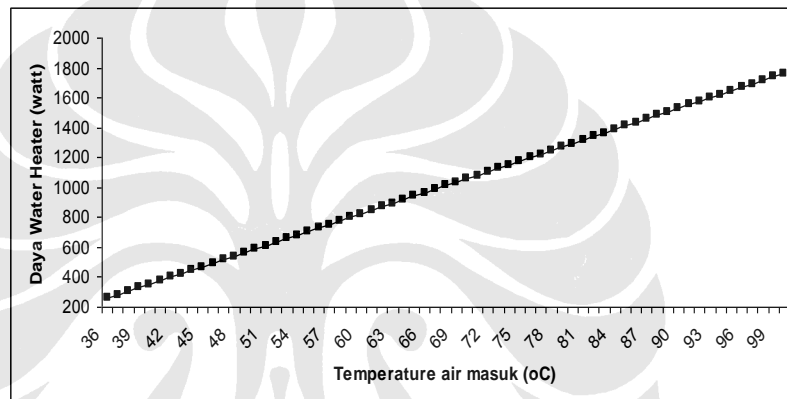
Untuk memperoleh daya listrik yang dibutuhkan untuk water heater digunakan rumus sebagai berikut :

$$Q = \dot{m} C_{\text{pair}} \Delta T$$

Dimana : $C_{\text{pair}} = 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

$$\Delta T = T_{\text{akhir}} - T_{\text{awal}} (25^\circ\text{C})$$

Daya maksimal water heater maksimal untuk $T_{\text{akhir}} = 100^\circ\text{C}$ adalah 1764 watt (Data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 3). Oleh karena itu pada alat ini digunakan water heater dengan daya maksimal 5000 watt .



Grafik 3.4. Daya Water Heater vs Temperatur Air Masuk

3.1.6 Daya Pompa

Pada alat ini, pompa 1 berguna untuk mengalirkan/menghisap air pada tabung 1 dalam tekanan vakum 5 mmHg (abs) s/d 1 atm (abs). Apabila dihitung head yang sebanding dengan tekanan tersebut adalah

$$\Delta P = 101325 - 666.612 = 100658,39 \text{ Pa}$$

$$H = 100658,39 \text{ Pa} / 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 10,26 \text{ meter}$$

$$W_{\text{pompa}} = Q \times H \times \rho \times g \quad (\text{Watt})$$

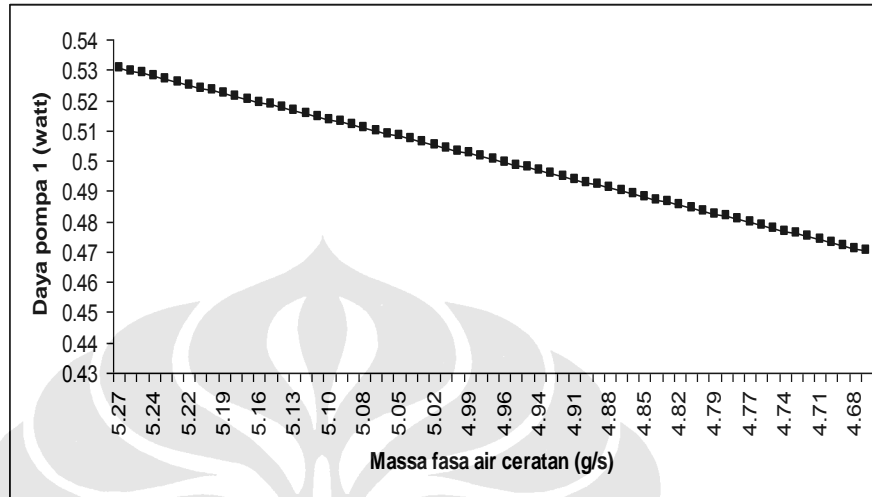
Dengan : Q = kapasitas aliran fluida (m^3/s)

H = head pompa (meter)

$P =$ massa jenis fluida (kg/m^3)

$G =$ gravitasi bumi (m/s^2)

Maka daya pompa 1 dengan kapasitas aliran massa air pada tabung 1 yang terbentuk dapat dilihat pada lampiran 4.



Grafik 3.5. Daya Pompa 1 vs Massa Fasa Air Tabung 1

3.2 DESKRIPSI ALAT DAN BAHAN

Miniatur alat uji *Throttling Process* ini merupakan alat yang dibuat sebagai miniatur terhadap alat pemanfaatan limbah panas air laut buangan kondensor dengan tujuan untuk memperoleh air murni yang berasal dari pengkondensasian uap air yang terbentuk akibat proses pencekikkan pada tekanan rendah, selain itu alat ini juga bertujuan untuk memperoleh temperatur air yang rendah karena reaksi pada tekanan vakum yang rendah.

Cara kerja alat ini adalah dengan mengalirkan air yang memiliki tekan dan temperatur tertentu masuk dalam alat pencerat berupa katup ekspansi menuju ke tabung reaktor yang diset tekanannya lebih rendah dari tekanan penguapan pada suhu air masuk. Karena proses pencekikan adalah proses pada entalpi tetap, maka Setelah keluar dari katup ekspansi air tersebut akan terdiri dari 2 fasa yaitu fasa air dan fasa uap. Temperatur yang didapatkan adalah temperature penguapan pada tekanan dalam tabung, misalkan tekanan dalam tabung dapat mencapai 755 mmHg, maka temperatur penguapannya adalah 1 °C. Uap yang diperoleh kemudian dikondensasikan dengan bantuan pendingin udara yang dimasukkan dalam tabung reaktor.

Tabung reaktor terdiri dari 2 buah tabung yang berhubungan satu sama lain melalui flange. Tabung yang satu berfungsi sebagai tempat penceratan sekaligus penampungan air dingin, sedang yang satunya lagi adalah tabung pengkondensasi uap sekaligus juga wadah penampungan air sulingan. Pada tabung 1 terpasang pompa yang berfungsi mengalirkan air keluar dari dalam tabung. Air yang masuk reaktor dipanaskan oleh bantuan heater dan dijaga pada temperatur yang tetap oleh bantuan kontroller. Untuk mengatur variasi tekanan, dipasang pompa dengan menambahkan sirkulasi balik dari discharge pompa sehingga tekanan masuk tabung reaktor dapat diatur pada katup balik discharge pompa tersebut.

Untuk menciptakan vakum pada tabung reaktor digunakan bantuan pompa vakum (sebelumnya dicoba dengan bantuan ejektor yang sudah ada, namun hasilnya kurang memuaskan). Pengambilan data baru dapat dilakukan ketika tekanan vakum telah tercapai konstan, kedua pompa telah beroperasi serta tekanan dan temperature air masuk sudah dalam kondisi yang *steady*. Bila kondisi *steady*

telah tercapai, barulah AC bisa dihidupkan. Pengambilan data pada alat uji *Throttling Process* ini meliputi :

1. Pembacaan nilai jumlah air yang masuk pada flow meter yang terpasang setelah pemanas atau sebelum katup ekspansi.
2. Pembacaan nilai temperatur air yang akan masuk katup ekspansi.
3. Pembacaan nilai tekanan air yang akan masuk katup ekspansi.
4. Pembacaan nilai temperatur air pada tabung reaktor.
5. Pembacaan nilai tekanan air pada tabung reaktor.
6. Pembacaan nilai jumlah air yang keluar pada flow meter yang terpasang setelah pompa 1 tabung 1.
7. Mengukur jumlah air hasil kondensasi uap pada tabung 2 dengan gelas ukur.



Gambar 3.3 Alat uji *Throttling Process*

Alat uji *Throttling Process* ini merupakan kesatuan kerja dari komponen-komponen penyusunnya dan juga komponen-komponen pendukungnya yang sangat berkaitan satu sama lain. Komponen-komponen tersebut adalah :

1. Tabung Reaktor

Tabung reaktor ini berfungsi sebagai media untuk air yang berekspansi setelah melewati katup ekspansi. Selain itu tabung ini juga berfungsi sebagai wadah penampungan air. Ada 2 buah tabung untuk 1 buah tabung reaktor Alat uji *Throttling Process* ini :

- Tabung yang pertama (tabung 1) berfungsi sebagai tempat penampungan air dingin atau air ceratan yang berfasa cairan. Pada tabung ini dipasang

katup ekspansi. Sebuah separator diletakkan pada bagian atas tabung untuk mencegah agar fasa air tidak masuk ke dalam tabung ke dua.



Gambar 3.4 Tabung 1



Gambar 3.5 Tabung 2

- Tabung yang kedua (tabung 2) berfungsi sebagai tempat pengkondensasian uap yang terbentuk selama proses ekspansi berlangsung. Sebuah evaporator AC dimasukkan pada tabung kedua dengan diberikan dukungan agar tidak bergerak sekaligus mengarahkan uap yang mengalir agar hanya melalui evaporator itu saja. Lubang masuk yang dihubungkan dengan pompa vakum sengaja diletakkan dibagian bawah evaporator dengan alasan agar fluida uap tidak terhisap keluar tabung, selain itu juga menjadi catatan disini bahwa diharapkan tekanan pada tabung kedua menjadi sedikit lebih rendah dari tabung pertama agar uap pada tabung pertama dapat mengalir ke tabung kedua.

Kedua tabung dibuat dari pelat baja setebal 2 mm yang dibentuk menyerupai tabung kemudian bagian luarnya dibungkus dengan bahan "thermafleks" (biasa digunakan pada pembungkus pipa AC) agar temperatur lingkungan tidak mempengaruhi temperatur dalam tabung.

2. Pemanas Air (*Water Heater*) dan *Heater Controller*

Water heater ini berfungsi untuk memanaskan air yang akan masuk ke katup ekspansi. Daya yang mampu dihasilkan hingga 5000 watt. Keluaran tabung ini dipasang flowmeter sebagai pembaca debit air yang masuk katup ekspansi. Heater controller berfungsi untuk menjaga temperatur air yang masuk katup ekspansi pada temperatur yang konstan sesuai set point.



Gambar 3.6 Water Heater



Gambar 3.7 Heater Controller

3. Pompa

Ada 2 buah pompa yang digunakan pada alat ini, pompa 1 dipasang pada tabung 1 yang berfungsi untuk mengalirkan air keluar dari tabung 1. Sedangkan pompa 2 dipasang sebelum water heater yang berfungsi untuk menciptakan tekanan pada air yang akan masuk katup ekspansi



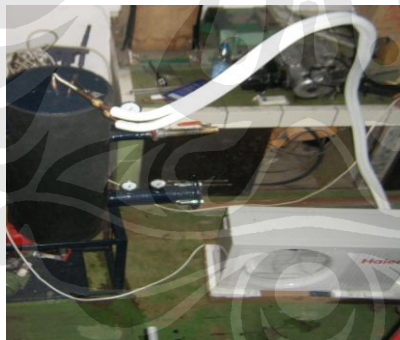
Gambar 3.8 Pompa 1



Gambar 3.9 Pompa 2

4. Air Conditioner

Air Conditioner berfungsi untuk mengkondensasikan uap yang terbentuk pada tabung reaktor selama proses throttling berlangsung. Bagian evaporator AC ini diletakkan pada tabung 2, sedangkan bagian kondensornya tetap diletakkan diluar untuk melepaskan panas ke udara luar. Kontrol temperatur untuk AC ini tetap dipasang, sehingga tetap dapat dilakukan perubahan setting suhu.



Gambar 3.10 Air Conditioner Dan Controller-nya

5. Katup Ekspansi

Katup ekspansi adalah alat yang berfungsi untuk mencerat air sehingga proses throttling dapat terjadi. Katup ini dilengkapi dengan alat ukur % pembukaan katup (mirip seperti mikrometer). Namun, karena minimnya saluran pada katup ekspansi ini, flow meter tidak mampu membacanya. Oleh karena itu variasi pembukaan katup tidak dapat dilakukan, artinya pengujian hanya dilakukan pada bukaan maksimal saja.



Gambar 3.11 katup ekspansi

5. Pompa Vakum

Ada 2 alat yang akan dicoba untuk menciptakan vakum pada alat uji ini yaitu air ejector dan pompa vakum. Alat pertama yang akan digunakan yaitu ejektor udara, alat ini menggunakan udara bertekanan yang berasal dari kompresor dalam menciptakan vakum. Bila dengan ejektor vakum tidak tercapai maksimal maka digunakan pompa vakum. Kedua alat ini hanyalah sebagai pencipta vakum (digunakan pada awal pengujian) setelah vakum tercapai alat ini kemudian tidak dioperasikan lagi untuk mencegah hilangnya uap air pada tabung 2. sedangkan kevakuman diharapkan tetap pada alat tersebut karena terjadinya proses secara "by sistem" di dalam alat uji ini.



Gambar 3.12 Pompa Vakum dan Ejektor Udara

Alat uji *Throttling Process* ini juga tidak terlepas dari kinerja peralatan pendukungnya. Tanpa adanya kelengkapan dari peralatan pendukung maka pengujian *Throttling Process* ini tidak akan maksimal. Alat-alat dan pendukung yang digunakan dalam pengujian *Throttling Process* ini meliputi :

1. Flow Meter

Flow meter berfungsi untuk mengukur jumlah air yang mengalir. Ada 2 buah flow meter yang digunakan 1 buah terpasang fixed pada keluaran water heater dan 1 buah lagi terpasang setelah pompa pada tabung pertama.



Gambar 3.13 Flow Meter

Data kalibrasi flow meter yang terletak sebelum katup ekspansi dapat dilihat pada lampiran 13.

Sedangkan flow meter setelah tabung 1 tidak dapat dikalibrasi karena rusak.

2. Temperature Indikator

Temperature indikator berfungsi sebagai media penunjuk temperatur pada fluida yang ingin diukur temperaturnya. Ada 2 buah TI, pertama diletakkan sebelum katup ekspansi dan yang kedua pada tabung reaktor.



Gambar 3.14 Temperatur Indikator

3. Pressure Indikator

Pressure indikator berfungsi untuk menunjukkan tekan air yang masuk katup ekspansi. Rentangnya dari 0 hingga 1 kg/cm².



Gambar 3.15 Pressure Indikator

Kalibrasi pressure indakator ini (lampiran 6) dilakukan di PT. Indonesia Power UBP Tanjung Priok pada tanggal 29 April 2008, dengan cara menyamakan tekanan yang tertera pada kolom air raksa. Tekanan diciptakan dengan bantuan udara kompresor, dan diatur tekanannya dengan bantuan regulator.

4. *Vacuum Gauge*

Vacuum Gauge berfungsi untuk menunjukkan tekanan vakum yang terjadi pada tabung reaktor. Rentangnya dari 0 (tekanan 1 atm. Absolut) hingga 76 cmHg (tekanan 0 atm. Absolut).



Gambar 3.16 *Vacuum Gauge*

Kalibrasi *vacuum gauge* ini juga dilakukan di tempat, tanggal dan alat yang sama. Namun, khusus tekanan vakum diciptakan dengan bantuan pompa vakum berkapasitas kecil yang dapat diatur tekanannya dengan memutar katup pada pompa tersebut. Data kalibrasi *vacuum gauge* dapat dilihat pada lampiran 7.

5. Air

Air digunakan sebagai fluida utama yang diekspansikan pada tabung reaktor.

6. Lem Perekat

Lem perekat berfungsi untuk mengisi lubang-lubang kecil pada peralatan untuk mencegah bocoran air atau udara yang akan mengurangi tekanan vakum. Lem yang digunakan adalah lem yang dapat digunakan untuk bahan besi, PVC, plastik, dll.

7. Tool Set

Perkakas ini digunakan dalam *set up* alat sehingga pengujian dapat maksimal. Perkakas ini juga dapat digunakan jika terjadi kerusakan pada komponen-komponen sehingga dapat diperbaiki kembali.

8. Stop Watch

Stop watch digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan selama proses pengujian berlangsung. Waktu ini akan menentukan debit aliran.

9. Gelas Ukur

Gelas ukur berfungsi untuk mengukur volume air hasil kondensasi uap pada tabung 2. Gelas ukur yang digunakan dengan volume 1 liter.

10. Ember

Ember berfungsi sebagai tempat pemampungan air sebelum air digunakan oleh pompa 2. Ember yang digunakan sebanyak 1 buah.



Gambar 3.17 Ember Dan Selang Karet

11. Selang Karet

Selang Karet berfungsi untuk menghubungkan aliran air dari katup air service ke ember penampung dan dari water heater ke katup ekspansi. Ukurannya adalah ½”.

12. Timbangan

Timbangan berfungsi untuk mengukur massa air yang berasal dari kondensasi uap yang terjadi pada tabung 2. digunakan timbangan karena massa air yang terbentuk masih sangat sedikit, oleh karena itu bila menggunakan gelas ukur hasilnya menjadi kurang akurat.

13. Katup

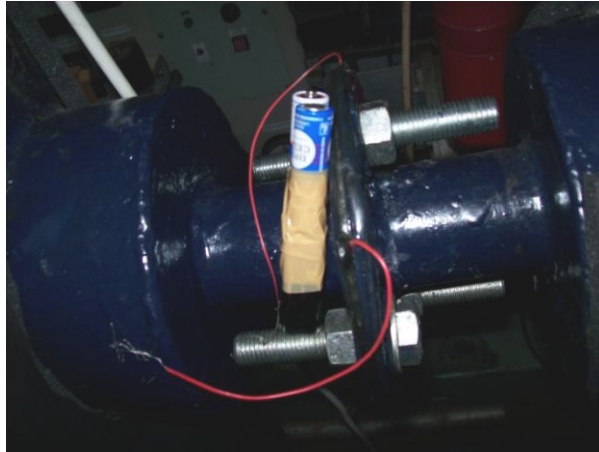
Ada banyak katup yang digunakan pada alat ini, fungsinya yaitu untuk membuka dan menutup aliran. Ada 1 buah katup yang berfungsi lain, yaitu untuk mengatur tekanan air yang akan masuk katup ekspansi, letaknya setelah discharge pompa 2.



Gambar 3.18 Katup Pengatur Tekanan Air

14. Kipas Penghisap Uap

Kipas ini berfungsi untuk menghisap uap dari tabung 1 dan mengalirkannya ke tabung 2. Diletakkan antara flange masing-masing tabung dan dioperasikan dengan baterai 12 Volt. Kipas ini merupakan modifikasi dari kipas pendingin untuk komputer.



Gambar 3.19 Baterai Sebagai Sumber Tegangan Kipas

3.3 SET UP ALAT

Set up alat dilakukan dengan tujuan untuk memastikan seluruh alat dapat berfungsi dengan baik saat melakukan pengujian. *Set up* alat selalu dilakukan sebelum pengujian dimulai. Berikut adalah tahapan setiap kali melakukan *set up* alat :

1. Instalasikan komponen-komponen penyusun Alat uji *Throttling Process* yang meliputi tabung reaktor, water heater, heater controller, Air Conditioner dan Pompa.
2. Sambungkan pipa tembaga dari kondenser Air Conditioner ke pipa tembaga pada tabung 2.
3. Hubungkan selang masukan pompa vakum pada tabung kedua.
4. Sambungkan kabel-kabel untuk heater dan kontrol antara tabung water heater dengan controller-nya.
5. Isi ember dengan air sampai $\frac{3}{4}$ volumenya.
6. Siapkan selang, dan hubungkan dari :
 - a. Katup air service ke ember.
 - b. Katup discharge pompa ke ember.
 - c. Katup discharge pompa yang satunya lagi ke water heater.
 - d. Water heater ke katup ekspansi.
7. Masukkan kabel-kabel sumber daya untuk AC, pompa vakum, pompa air dan heater pada sumber listrik PLN.
8. Tutup seluruh katup – katup.

9. Hidupkan pompa 2, buka kedua katup discharge pompa 2 dan atur tekanan yang akan masuk katup ekspansi melalui katup discharge pompa 2 yang menuju ember.
10. Buka katup suction pompa 1. Kemudian isi tabung 1 dengan air melalui katup ekspansi sampai terlihat pada kaca intip.

3.4 PROSEDUR PENGUJIAN

Setelah semua peralatan terinstalasi dengan baik, maka proses pengujian selanjutnya dapat dilakukan.

1. Tutup keran-keran yang menghubungkan tabung reaktor dengan udara luar.
2. Hidupkan pompa vakuum, dan buka keran pompa vakuum pada tabung kedua. Tunggu hingga vakuum tercapai.
3. Setelah vakum tercapai, matikan pompa vakum dan tutup katup yang menghubungkan pompa vakum dengan tabung 2.
4. Buka keran yang menuju katup ekspansi, serta buka juga katup ekspansinya.
5. Atur kembali tekanan air yang akan masuk katup ekspansi dengan mengatur katup discharge pompa 2.
6. Hidupkan heater control beserta daya untuk pemanasnya dengan memutar saklarnya pada kotak kontrol water heater.
7. Set temperature sesuai dengan maksud pengujian. Tunggu hingga temperature tercapai.
8. Setelah temperatur pada katup ekspansi tercapai (kurang lebih 10 – 15 menit) hidupkan pompa 1 dan atur level air pada tabung 1 agar konstant dengan mengatur bukaan katup discharge pompa 1.
9. Catat flow meter sesudah water heater dan sesudah pompa 1 sebagai kondisi awal sambil menghidupkan stop watch.
10. Hidupkan Air Conditioner.
11. Tentukan lamanya pengujian berlangsung sambil menunggu level air hasil kondensasi uap di tabung 2 meningkat. Bila level air kondensasi telah menyentuh termometer (telah terlihat pada kaca intip tabung 2), catat nilai temperaturnya sebagai temperatur jenuh tekanan vakum yang terjadi pada kedua tabung reaktor.

12. Setelah waktu pengujian tercapai, Tutup seluruh katup – katup yang berhubungan dengan tabung.
13. Matikan Pompa 1.
14. Matikan Water Heater.
15. Matikan Pompa 2.
16. Catat nilai pada kedua flow meter sebagai kondisi akhir.
17. Tunggu beberapa menit hingga seluruh uap terkondensasi, kemudian matikan Air Conditioner.
18. Buka keran pada tabung 2 bagian bawah dan tampung airnya dengan gelas ukur hingga air pada tabung 2 tersebut habis. Catat nilai yang tertera pada gelas ukur sebagai air yang dihasilkan dari kondensasi uap (air sulingan).
19. Pengujian pertama telah selesai.

