

BAB III

PERANCANGAN, *SET UP* PERALATAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN

3.1 PERANCANGAN ALAT

3.1.1 *Design* Reaktor (Menentukan Tebal, t)

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

$$S = \frac{F}{A} = \frac{Pld}{2tl} = \frac{Pd}{2t}$$

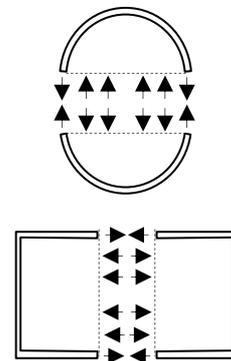
Diketahui

d : diameter tabung 0,3 m

t : tebal plat dipilih 2 mm = 0,002 m

$$S = \frac{101325 \times 0.3}{2 \times 0.002} = 7.6 \times 10^6 \text{ Pa}$$

St 37 $\sigma_{\max} = 37 \text{ Kg/mm}^2 = 362.97 \times 10^6 \text{ Pa}$



Gambar 3.1 Konsentrasi tegangan pada tabung

3.1.2 *Flow* Katup Ekspansi

Kecepatan Air Yang Melewati Katup Expansi

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

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

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

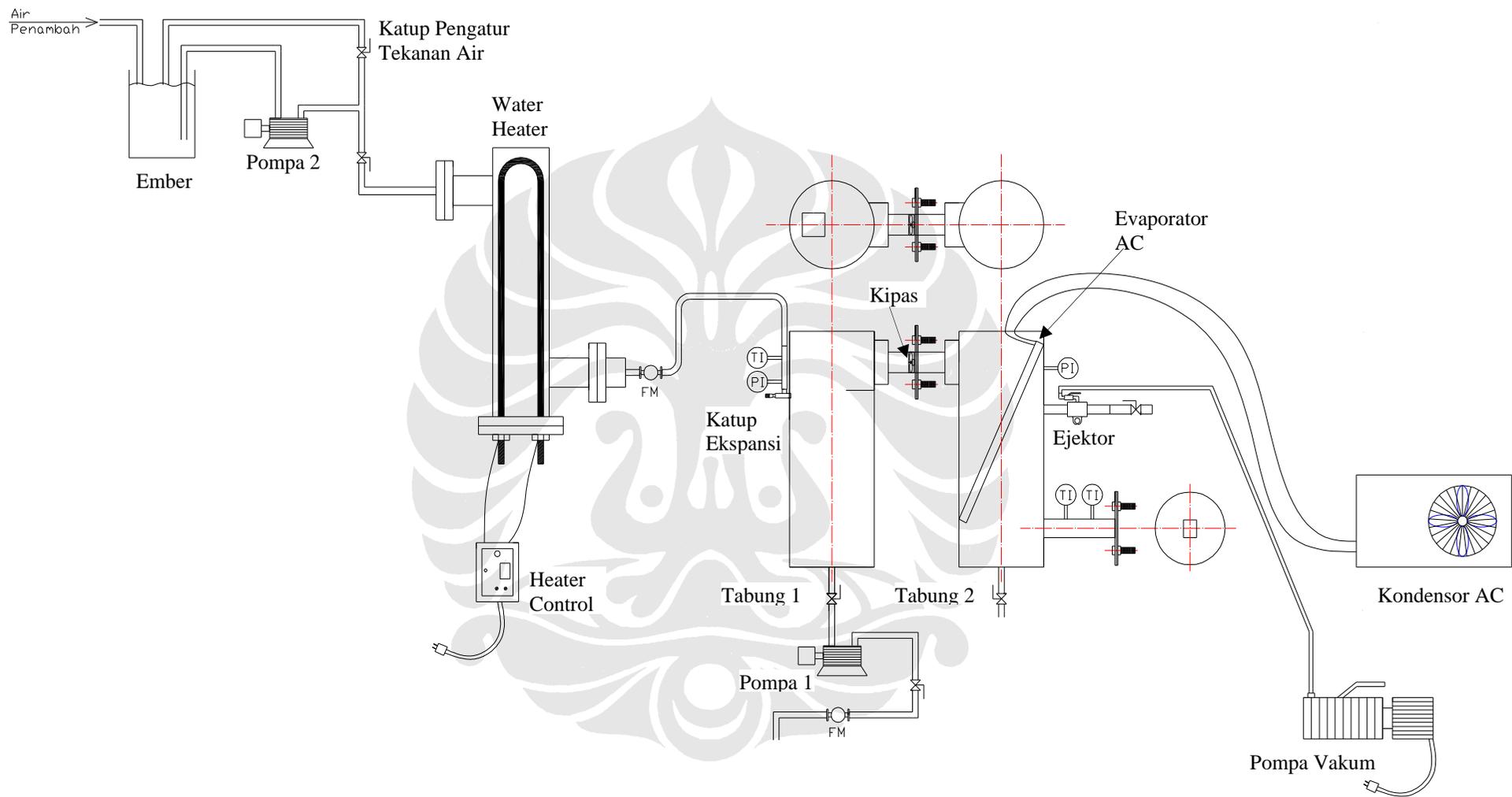
$$21.70 = \frac{V_2^2}{2(9.81)} + 0$$

$$V_2^2 = 425.79 \Rightarrow V_2 = 20.6 \text{ m/s}$$

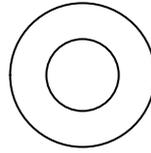
Luas area pengecilan

$$A = \frac{P}{4}(1.16^2 - 1^2) = 0.27 \text{ mm}^2 = 2.7 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

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



Gambar 3.2 Skema alat uji



Gambar 3.3 Penampang katup ekspansi

Aliran air keluar ekspansi

$$Q = V \cdot A$$

$$= 20.60 \frac{m}{s} \times 2.7 \times 10^{-7} m^2$$

$$= 5.6 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

$$= 0.0056 \frac{l}{s}$$

$$= 20 \frac{l}{h}$$

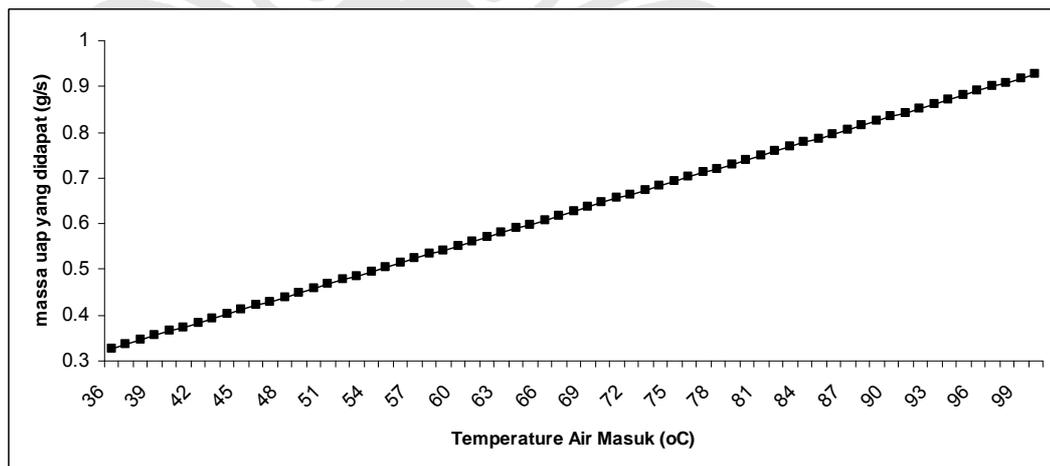
$$= 5.6 \frac{cm^3}{s} \times 1 \frac{gr}{cm^3} = 5.6 \frac{gr}{s}$$

3.1.3 Jumlah Aliran Fasa Uap & Fasa Cair

Lihat lampiran 1, untuk mendapatkan massa uap pada vakum 755 mmHg yang berasal dari tekanan air masuk 1 Kg/cm^2 , digunakan rumus sebagai berikut

$$\% \text{ uap} = \frac{h_{g \text{ air masuk}} - h_{f \text{ vakum tabung}}}{h_{fg \text{ vakum tabung}}} \times 100\%$$

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



Grafik 3.1. Massa Uap vs Temperatur Air Masuk

3.1.4 Kapasitas Pendinginan Untuk Mengkondensasikan Uap

Pada lampiran 2 terlihat bahwa massa uap maksimal (pada temperatur 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.

Sedangkan, Daya AC yang digunakan adalah 1 PK= 745 W

$$\text{COP} = 3.5 \text{ (spesifikasi AC)}$$

$$\text{Maka beban pendinginan} = \text{COP} \times 745 \text{ W} = 2367,34 \text{ Ws}$$

Jadi uap tabung vakum yang dapat dikondensasi sebesar:

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

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

Oleh karena itu daya AC 1 PK dianggap cukup untuk memenuhi kebutuhan yang ada.

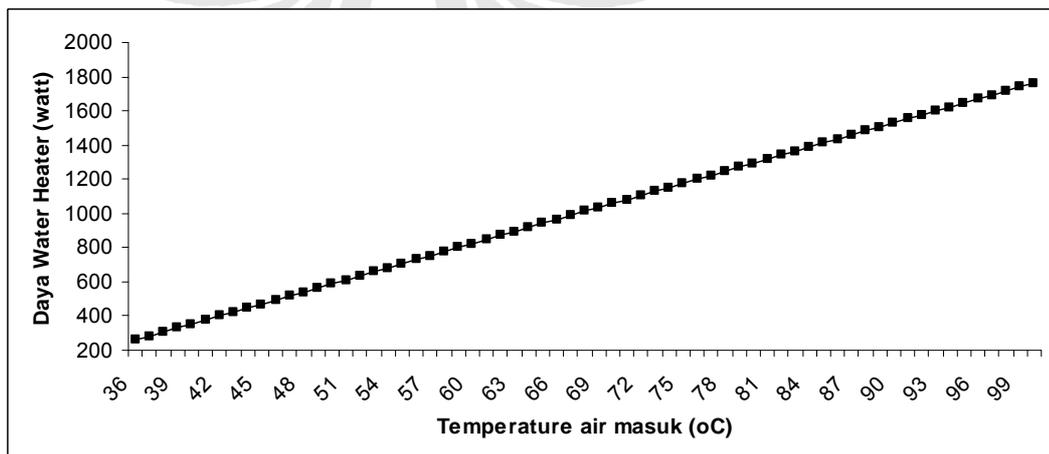
3.1.5 Daya Listrik Yang Dibutuhkan Untuk Water Heater

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

$$Q = m C_{pair} \Delta T \quad \text{à Dimana : } C_{pair} = 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

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

Daya maksimal water heater maksimal untuk T akhir = 100 °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 3.2. Daya Water Heater vs Temperatur Air Masuk

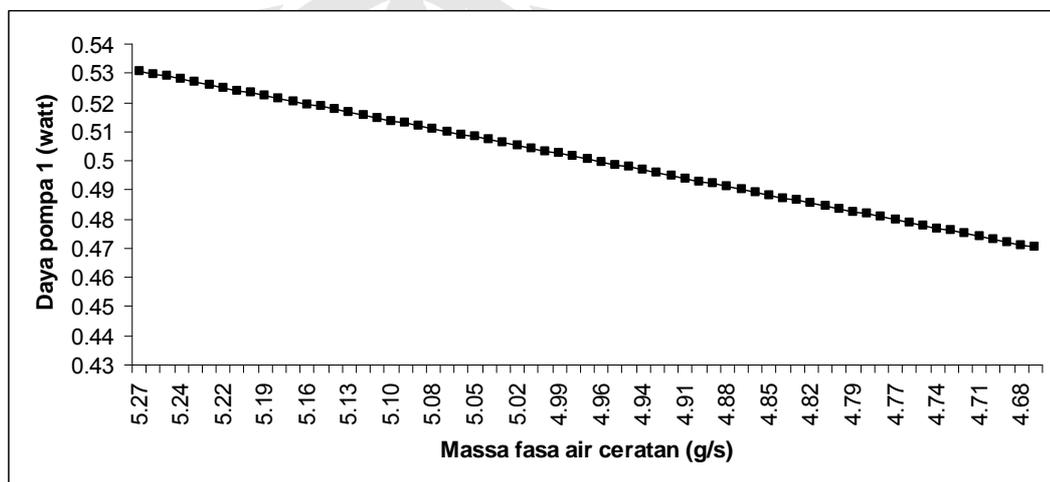
3.1.6 Daya Pompa

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

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

$$H = \frac{100658.4 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 10,26 \text{ meter}$$

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



Grafik 3.3. 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 pencekikan 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 temperatur 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 outlet pompa sehingga tekanan masuk tabung reaktor dapat diatur pada katup balik outlet 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 temperatur 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 pada tabung 1.
7. Mengukur jumlah air hasil kondensasi uap pada tabung 2 dengan gelas ukur.



Gambar 3.4 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 :

3.2.1 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 3.5 Tabung 1



Gambar 3.6 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 dudukan 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 "Thermaflex" (biasa digunakan pada pembungkus pipa AC) agar temperatur lingkungan tidak mempengaruhi temperatur dalam tabung.

3.2.2 *Water Heater (Pemanas Air) 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 3.7 *Water Heater*



Gambar 3.8 *Heater Controller*

3.2.3 **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 3.9 Pompa 1



Gambar 3.10 Pompa 2

3.2.4 *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.

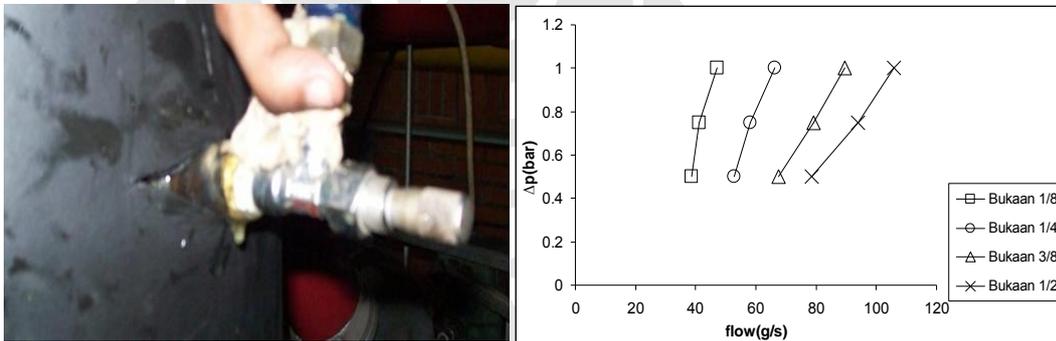


Gambar 3.11 *Air conditioner* dan *controller*-nya

3.2.5 Katup Ekspansi

Katup ekspansi adalah alat yang berfungsi untuk memperlambat aliran 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.

Selama pengujian telah dilakukan penggantian katup ekspansi dengan kapasitas yang lebih besar. Karakteristiknya dapat dilihat pada grafik dibawah.



Gambar 3.12 Katup Ekspansi

Grafik 3.4 Karakteristik katup ekspansi yang baru

3.2.6 Alat Pembuat 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 system" di dalam alat uji ini.



Gambar 3.13 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 :

3.2.7 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 3.14 Flow Meter

Data kalibrasi *flow* meter yang terletak sebelum katup ekspansi dapat dilihat pada lampiran 5. Sedangkan *flow* meter setelah tabung 1 tidak dapat dikalibrasi karena rusak.

3.2.8 *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 3.15 Temperatur Indikator

3.2.9 *Pressure Indikator*

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

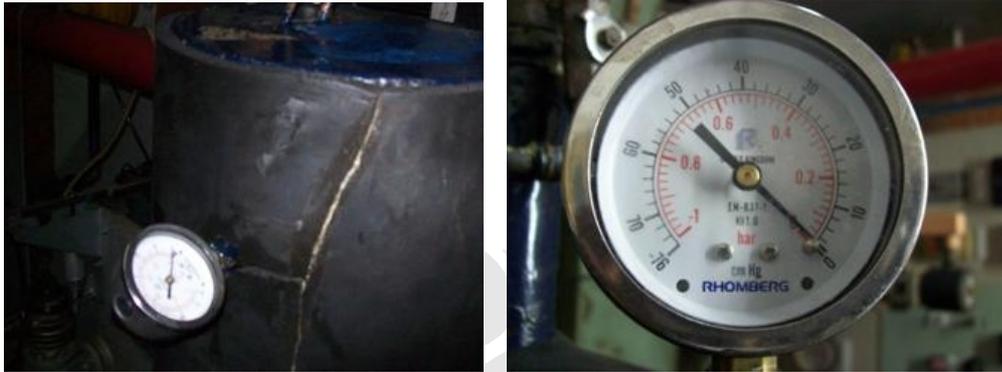


Gambar 3.16 Pressure Indikator

Kalibrasi *pressure indikator* ini 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. Data kalibrasi *pressure indikator* dapat dilihat pada lampiran 6.

3.2.10 *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 3.17 *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. Penyimpangan cukup besar, namun karena alat tidak dapat dibuka (sehingga tidak dapat dikalibrasi) maka setiap pengukuran selama pengujian nilainya selalu ditambahkan dengan angka 30 mmHg / 3 cmHg.

3.2.11 Air

Air digunakan sebagai fluida utama yang diekspansikan pada tabung reaktor.

3.2.12 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.

3.2.13 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.

3.2.14 Stop Watch

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

3.2.15 Gelas Ukur

Gelas ukur berfungsi untuk mengukur volume air hasil kondensasi uap pada tabung 2.

3.2.16 Ember

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



Gambar 3.18 Ember dan selang karet

3.2.17 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”.

3.2.18 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.

3.2.19 Katup

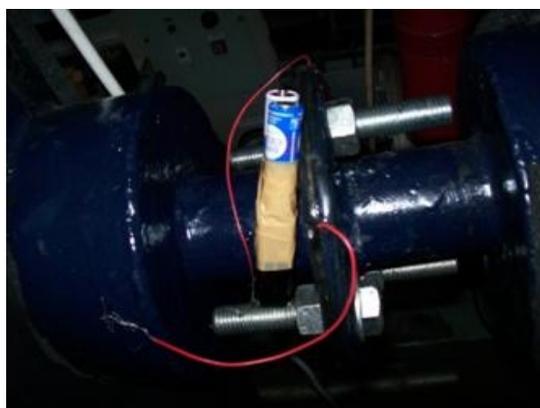
Ada banyak katup yang digunakan pada alat ini, fungsinya yaitu untuk membuka dan menutup aliran. Ada 1 buah katup yang berfungsi lain, yaitu untuk mengatur tekanan air yang akan masuk katup ekspansi, letaknya setelah *outlet* pompa 2.



Gambar 3.19 Katup pengatur tekanan air

3.2.20 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 V. Kipas ini merupakan modifikasi dari kipas pendingin untuk komputer.



Gambar 3.20 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 kondensor *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 :
 - Katup air service ke ember.
 - Katup *outlet* pompa 2 ke ember.
 - Katup *outlet* pompa 2 yang satunya lagi ke water heater.
 - *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 *outlet* pompa 2 dan atur tekanan yang akan masuk katup ekspansi melalui katup *outlet* pompa 2 yang menuju ember.
10. Buka katup *inlet* 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 vakum, dan buka keran pompa vakum pada tabung kedua. Tunggu hingga vakum 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 *outlet* pompa 2.
6. Hidupkan *heater control* beserta daya untuk pemanasnya dengan memutar saklarnya pada kotak kontrol *water heater*.
7. *Set* temperatur sesuai dengan maksud pengujian. Tunggu hingga temperatur tercapai.
8. Setelah temperatur pada katup ekspansi tercapai (kurang lebih 10 – 15 menit) hidupkan pompa 1 dan atur level air pada tabung 1 agar konstan dengan mengatur bukaan katup *outlet* 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.

