

L_e = Kapasitas kalor spesifik laten[J/kg]

m = Massa zat [kg] [3]

2.7.3 Kalor Sensibel

Tingkat panas atau intensitas panas dapat diukur ketika panas tersebut merubah temperatur dari suatu substansi. Perubahan intensitas panas dapat diukur dengan termometer. Ketika perubahan temperatur didapatkan, maka dapat diketahui bahwa intensitas panas telah berubah dan disebut sebagai panas sensible [17]. Dengan kata lain, kalor sensibel adalah kalor yang diberikan atau yang dilepaskan oleh suatu jenis fluida sehingga temperaturnya naik atau turun tanpa menyebabkan perubahan fasa fluida tersebut.

$$Q_s = m \cdot C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

Q_s = Kalor sensibel zat [J]

C_p = Kapasitas kalor spesifik sensibel [J/kg. K]

ΔT = Beda temperatur [K] [3]

BAB III PERBAIKAN ALAT

3.1 ANALISA SISTEM KESELURUHAN

Perbaikan pada mesin pendingin adsorpsi dititik beratkan pada perbaikan untuk meningkatkan performansi dari mesin ini melalui beberapa hal yaitu :

1. Pemecahan masalah untuk mencegah beberapa kerugian yaitu :
 - a. Peningkatan tekanan sistem secara keseluruhan yang dapat menyebabkan tidak terjadinya efek pendinginan akibat temperatur saturasi metanol menjadi tinggi.
 - b. Metanol tercampur dengan substansi lain yang tidak diinginkan sehingga metanol menjadi tidak murni

- c. Jumlah metanol dalam sistem menjadi berkurang karena metanol keluar dari sistem.
2. Penggantian komponen yang digunakan yaitu meliputi :
- a. Penggantian komponen *evaporator*

Penggantian komponen *evaporator* dimaksudkan untuk meminimalisir kemungkinan kebocoran pada komponen tersebut dengan penggunaan rancangan *evaporator* yang berbentuk silinder. Penggunaan rancangan silinder dapat mengurangi jumlah proses pengelasan yang dilakukan karena memakai bahan dasar yang telah jadi yaitu pipa. Selain itu, penggantian komponen *evaporator* bertujuan untuk memperbaiki *evaporator* dengan rancangan baru yang memiliki volume yang lebih besar.

- b. Penggantian komponen *reservoir*

Penggantian komponen ini dilakukan karena komponen yang lama dinilai memiliki ukuran yang terlalu besar. Hal ini mengakibatkan pipa yang menghubungkan antara adsorber dengan *evaporator* menjadi panjang sehingga *pressure drop* yang dihasilkan menjadi besar. Selain itu, komponen ini memiliki kapasitas yang terlalu besar jika dibandingkan dengan kapasitas yang dibutuhkan yaitu 2 liter.

- c. Penggantian *hand expansion valve*

Penggantian katup ini dimaksudkan untuk meningkatkan kemampuan *throttling* sehingga metanol yang masuk ke dalam *reservoir* mengalami penurunan tekanan dari tekanan kondensasi menjadi tekanan evaporasi. Selain itu peningkatan kemampuan *throttling* dapat meningkatkan penurunan temperatur metanol yang masuk ke dalam *reservoir*.

- d. Penggantian Kondensor

Penggantian Kondensor dimaksudkan untuk meminimalisir terjadinya kebocoran pada sistem ini. Kondensor lama menggunakan radiator mobil yang dinilai memiliki tingkat resiko kebocoran yang tinggi. Selain itu sangat sulit untuk melakukan inspeksi kebocoran dan penanggulangan kebocoran pada sistem ini karena desain radiator yang sangat rumit. Selain itu radiator

mobil menggunakan udara sebagai media pendingin yang dinilai kurang baik jika dibandingkan dengan media lain yaitu air.

e. Penggantian katup pengatur arah aliran metanol

Penggantian ini dimaksudkan untuk meminimalisir *pressure drop* yang ditimbulkan oleh komponen ini. Pada rancangan terdahulu, katup yang digunakan adalah tipe *ball valve* dengan diameter lubang bola sangat kecil sehingga menyebabkan perubahan diameter saluran yang dilalui metanol menjadi sangat signifikan. Hal ini dapat menyebabkan kerugian tekanan yang lebih besar jika dibandingkan dengan kerugian tekanan yang dihasilkan oleh *ball valve* dengan diameter lubang bola yang lebih besar.

3. Perbaiki sistem pipa saluran

Perbaikan ini ditujukan untuk mengurangi *pressure drop* yang terjadi pada sistem ini. Perbaikan yang dilakukan meliputi :

- a. Menghilangkan percabangan sistem pipa saluran keluaran adsorber yang dapat menyebabkan kerugian tekanan.
- b. Mengurangi belokan pada sistem keseluruhan sistem pipa saluran.
- c. Mengurangi panjang pipa penghubung antara adsorber dengan *evaporator* yang dapat menyebabkan perbedaan ketinggian antara adsorber dan *evaporator* menjadi besar. Hal ini dicegah karena dapat menyebabkan berkurangnya kemampuan penghisapan metanol oleh adsorber.

3.2 PENGGANTIAN KOMPONEN SISTEM

3.2.1. *Evaporator*

Evaporator merupakan salah satu komponen utama dari sistem refrigerasi, dimana refrigeran menguap karena menyerap panas dari udara sekitar, air pendingin (*chilled water*), atau substansi lain.

Perbaikan pada komponen *evaporator* ditujukan untuk meminimalisir kemungkinan kebocoran pada sambungan las dan memperbaiki rancangan *evaporator* lama (gambar 3.1) dengan rancangan *evaporator* baru (gambar 3.2) yang memiliki

kapasitas refrigeran yang ditentukan sebesar 2 liter dan kapasitas ruang pendingin sebesar 1 liter.



Gambar 3.1. Rancangan *evaporator* lama

Untuk meminimalisir kemungkinan kebocoran yang dihasilkan dari sambungan-sambungan las pada komponen ini, maka komponen ini dirancang berbentuk silinder. Pertimbangan ini diambil karena bahan dasar komponen dapat menggunakan pipa sehingga pengerjaan pengelasan pada komponen ini dapat diminimalisir.



Gambar 3.2. Rancangan *evaporator* baru

Adapun rancangan *evaporator* baru terdiri dari komponen-komponen yaitu :

1. Pipa dalam

Pipa dalam dirancang sebagai ruangan pendingin air. Sementara permukaan luar pipa ini akan kontak dengan metanol untuk menyerap panas dari air. Untuk mencegah korosi yang ditimbulkan oleh metanol, maka pada bagian ini dirancang dari bahan *stainless steel* seperti pada gambar 3.3. Pipa ini juga dirancang agar dapat didisioleh air sebanyak 1 liter. Oleh karena itu, Pipa yang digunakan memiliki ukuran standar yaitu $d_{\text{dalam}} = 55.2$ mm, $d_{\text{luar}} = 60.5$, dan $L = 500$ mm seperti pada gambar 3.4 dengan pertimbangan sebagai berikut :

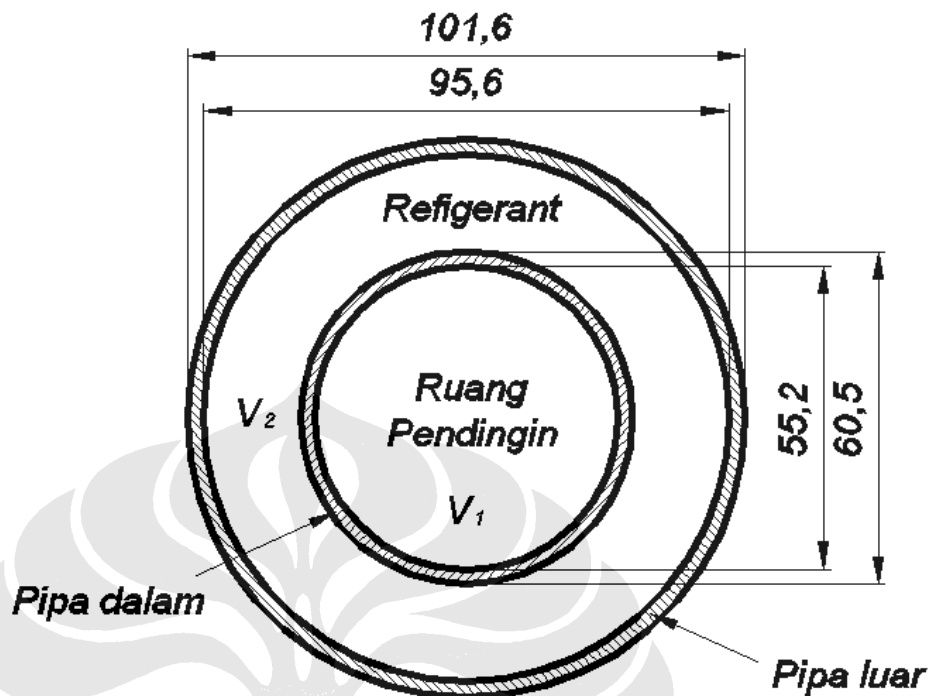


Gambar 3.3. Pipa *stainless steel* sebagai bahan dasar pipa-dalam evaporator

$$V_1 = \text{volume pipa dalam} = 1 \text{ liter} = 1 \text{ dm}^3 = 0.001 \text{ m}^3$$

Maka :

$$\begin{aligned} V_1 &= \pi \times \left(\frac{d_{\text{dalam}}}{2}\right)^2 \times L \\ &= \pi \times (0.0552)^2 \times 0.5 \\ &= 0.00120 \text{ m}^3 = 1.20 \text{ liter} \approx 1,00 \text{ liter} \end{aligned}$$



Gambar 3.4. Dimensi pipa (mm) pada evaporator

2. Pipa luar

Pipa Luar dirancang sebagai ruangan yang berisi metanol (refrigeran). Sedangkan bagian luar akan disekat dengan *thermal flex* untuk mencegah penyerapan panas dari permukaan luar pipa ini. Oleh karena itu, pipa luar juga dibuat dari bahan *stainless steel* seperti pada gambar 3.5 untuk mencegah korosi akibat kontak dengan metanol. Sedangkan ukuran pipa ini disesain untuk memenuhi kapasitas metanol sebesar 2 liter. Untuk itu ukuran pipa standar yang digunakan yaitu $D_{\text{dalam}} = 95.6$ mm, $D_{\text{luar}} = 101.6$, dan $L = 500$ mm seperti pada gambar 3.4 dengan pertimbangan sebagai berikut :

$$V_2 = \text{volume pipa luar} - \text{volume pipa dalam} = 2 \text{ liter} = 2 \text{ dm}^3 = 0,002 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} V_2 &= \pi \times (D_{\text{luar}}^2 - D_{\text{dalam}}^2) \times L \times 0.001 \\ &= \pi \times (101.6^2 - 95.6^2) \times 0.5 \\ &= 0.00215 \text{ m}^3 = 2.15 \text{ liter} \approx 2 \text{ liter} \end{aligned}$$



Gambar 3.5. Pipa *stainless steel* sebagai bahan dasar pipa-luar evaporator

3. Pipa saluran dari *reservoir* menuju *evaporator*

Bagian ini dirancang sebagai saluran yang mengalirkan metanol dalam fasa cair dari *reservoir* ke *evaporator*. Oleh karena itu, untuk mencegah korosi akibat kontak dengan metanol, maka bahan yang dipilih untuk pipa ini adalah *stainless steel*. Sedangkan ukuran pipa ini diseragamkan dengan ukuran keseluruhan ukuran pipa saluran yang digunakan yaitu $\text{Ø}_{\text{dalam}} = 29 \text{ mm}$, $\text{Ø}_{\text{luar}} = 34 \text{ mm}$ seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Pipa *stainless steel* sebagai bahan dasar pipa saluran sistem

4. Pipa saluran dari *evaporator* menuju *adsorber*

Bagian ini dirancang sebagai saluran yang mengalirkan metanol dari *evaporator* ke *adsorber* pada saat proses adsorpsi berlangsung. Oleh karena itu, untuk mencegah korosi akibat kontak dengan metanol, maka bahan yang dipilih untuk pipa ini adalah *stainless steel*. Sedangkan ukuran pipa ini diseragamkan dengan ukuran keseluruhan ukuran pipa saluran yang digunakan yaitu $\text{Ø}_{\text{dalam}} = 29 \text{ mm}$, $\text{Ø}_{\text{luar}} = 34 \text{ mm}$ seperti pada gambar 3.6.

5. *Pressure gauge*

Alat ukur ini (gambar 3.7) digunakan untuk mengukur tekanan ruangan *evaporator* (pada bagian yang berisi metanol) pada keseluruhan siklus yang berlangsung. *Pressure gauge* yang digunakan memiliki karakteristik sebagai berikut :

- a. Pembacaan dengan jarum atau *Analog*.
- b. Pembacaan tekan *gauge*.
- c. Range tekanan antara -76 cmHg (-1 bar) sampai 0 cmHg (0 bar) dalam tekanan *gauge*.
- d. Satuan tekanan yang digunakan adalah cmHg dan bar.



Gambar 3.7. Pressure Gauge

6. Termometer

Pada komponen *evaporator* digunakan 2 buah termometer untuk mengukur temperatur metanol dan temperatur air. Adapun karakteristik dari termometer (gambar 3.8) yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Digital
- b. Range temperatur antara -20 °C sampai dengan 150 °C
- c. Satuan temperatur yang digunakan adalah °C



Gambar 3.8. Termometer

7. Katup

Katup ini berfungsi sebagai katup saluran masuk air yang didinginkan ke dalam ruang pendingin. Katup yang digunakan adalah jenis *ball valve* dengan ukuran 3/8 inchi seperti gambar 3.9.



Gambar 3.9. Saluran masuk air ke dalam *evaporator*

8. Pipa keluaran udara

Komponen ini berfungsi sebagai saluran keluaran udara ketika air dimasukkan ke dalam ruangan pendingin pada *evaporator* seperti pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. Pipa keluaran udara

9. *Nipple*

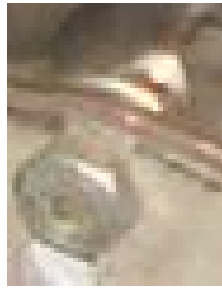
Komponen ini berfungsi sebagai penghubung antara *pressure gauge* dengan pipa luar *evaporator*. *Nipple* di las pada *evaporator* dan kemudian *pressure gauge* tersambung dengan *nipple* dengan mekanisme ulir seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. Nipple pada evaporator

10. *Washer, bolt, nut*

Komponen-komponen digunakan untuk mengikat *evaporator flange*. Ukuran yang digunakan adalah ukuran standar yaitu M8 seperti pada gambar 3.12.



Gambar 3.12. Washer, bolt, nut

3.2.2. Reservoir

Reservoir merupakan salah satu komponen utama pada sistem pendingin adsorpsi yang berfungsi sebagai tempat penampung metanol sebelum masuk ke dalam *evaporator*. Metanol di tampung di *reservoir* untuk menjamin metanol berada pada fasa cair sebelum masuk ke dalam *evaporator*.



Gambar 3.13 . Reservoir terdahulu



Gambar 3.14. Rancangan *reservoir* baru

Perbaikan *reservoir* dilakukan karena *reservoir* yang lama (gambar 3.13) dinilai memiliki ukuran yang terlalu besar. Hal ini mengakibatkan pipa yang menghubungkan antara adsorber dengan *evaporator* menjadi panjang sehingga *pressure drop* yang dihasilkan menjadi besar. Selain itu, komponen ini memiliki kapasitas yang terlalu besar jika dibandingkan dengan kapasitas yang dibutuhkan yaitu 2 liter. Untuk itu *reservoir* yang digunakan didesain secara sederhana seperti pada gambar 3.14. Adapun rancangan *evaporator* baru terdiri dari komponen-komponen yaitu :

1. Tabung *reservoir*

Tabung dirancang sebagai ruangan tempat penampungan metanol. Untuk mencegah korosi yang ditimbulkan oleh metanol, maka pada bagian ini dirancang dari bahan *stainless steel*. tabung juga dirancang agar dapat didisi oleh metanol sebanyak 2 liter. Oleh karena itu, Pipa yang digunakan memiliki ukuran standar yaitu $d_{\text{dalam}} = 106.3 \text{ mm}$, $d_{\text{luar}} = 114.3$, dan $L = 250 \text{ mm}$ (gambar 3.15) dengan pertimbangan sebagai berikut :

$$V_1 = \text{volume pipa} = 2 \text{ liter} = 2 \text{ dm}^3 = 0.002 \text{ m}^3$$

Maka :

$$V_1 = \pi \times r^2 \times L$$

$$= \pi \times 0.1063^2 \times 0.25$$

$$= 0.0022 \quad = 2.2 \text{ liter} \approx 2 \text{ liter}$$



Gambar 3.15. Pipa sebagai bahan baku pembuatan *reservoir*

2. Pipa saluran dari *reservoir* menuju *evaporator*

3. Pipa saluran dari *hand expansion valve* menuju *reservoir*

Bagian ini dirancang sebagai saluran yang mengalirkan metanol dari *hand expansion valve* ke *reservoir* pada saat proses *throttling* berlangsung. Oleh karena itu, untuk mencegah korosi akibat kontak dengan metanol, maka bahan yang dipilih untuk pipa ini adalah *stainless steel*. Sedangkan ukuran pipa ini diseragamkan dengan ukuran keseluruhan ukuran pipa saluran yang digunakan yaitu $\text{Ø}_{\text{dalam}} = 29 \text{ mm}$, $\text{Ø}_{\text{luar}} = 34 \text{ mm}$ seperti pada gambar 3.6.

4. *Pressure gauge*

Tipe *pressure gauge* yang digunakan pada *reservoir* sama dengan yang digunakan pada *evaporator* seperti gambar 3.7. Fungsi dari *pressure gauge* ini adalah mengukur tekanan ruangan *reservoir*.

5. Termometer

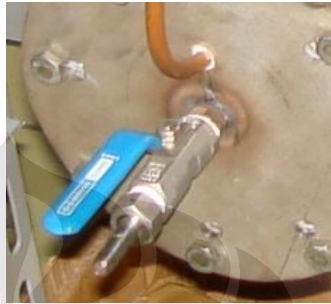
Tipe termometer yang digunakan pada *reservoir* sama dengan yang digunakan pada *evaporator* seperti pada gambar 3.8. Fungsi dari termometer ini adalah mengukur temperatur metanol di *reservoir*.

6. Katup

Katup ini (gambar 3.16) berfungsi sebagai :

a. Katup saluran masuk metanol ke dalam sistem

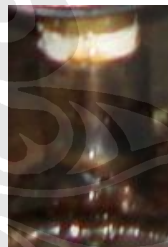
- b. Katup saluran masuk udara bertekanan untuk keperluan inspeksi kebocoran pada seluruh sistem
- c. Katup saluran untuk proses pemvakuman sistem.



Gambar 3.16. Katup pada *reservoir*

7. *Nipple*

Komponen ini berfungsi sebagai penghubung antara *pressure gauge* dengan tabung *reservoir*. *Nipple* di las pada *evaporator* dan kemudian *pressure gauge* tersambung dengan *nipple* dengan mekanisme ulir seperti pada gambar 3.17.



Gambar 3.17. *Nipple* pada *reservoir*

3.2.3. Katup pengatur arah aliran

Katup ini berfungsi sebagai pengatur arah aliran metanol pada sistem ketika mesin pendingin beroperasi. Katup ini digunakan sebagai pengganti katup yang lama yang memiliki kerugian tekanan yang lebih besar akibat lubang saluran air yang terlalu kecil.



Gambar 3.18. Katup pengatur arah aliran

3.2.4. *Hand Expansion valve*

Katup ekspansi atau *metering device* merupakan salah satu komponen pada mesin pendingin adsorpsi yang berfungsi untuk menurunkan tekanan metanol cair dari tekanan kondensasi menjadi tekanan evaporasi. Katup terdahulu (gambar 3.19) diganti dengan katup baru (gambar 3.20) dengan model *globe valve*.



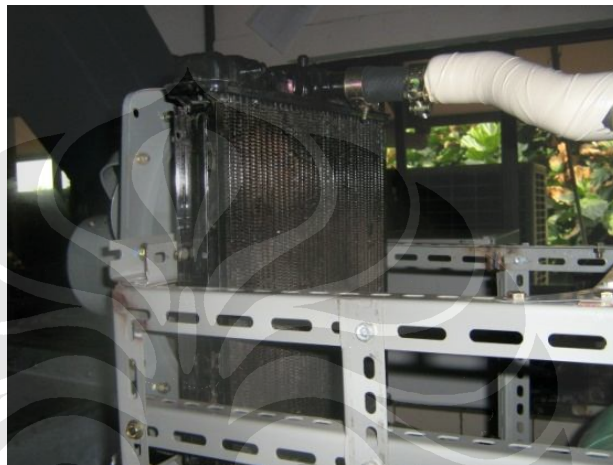
Gambar 3.19. *Hand Expansion valve* model terdahulu



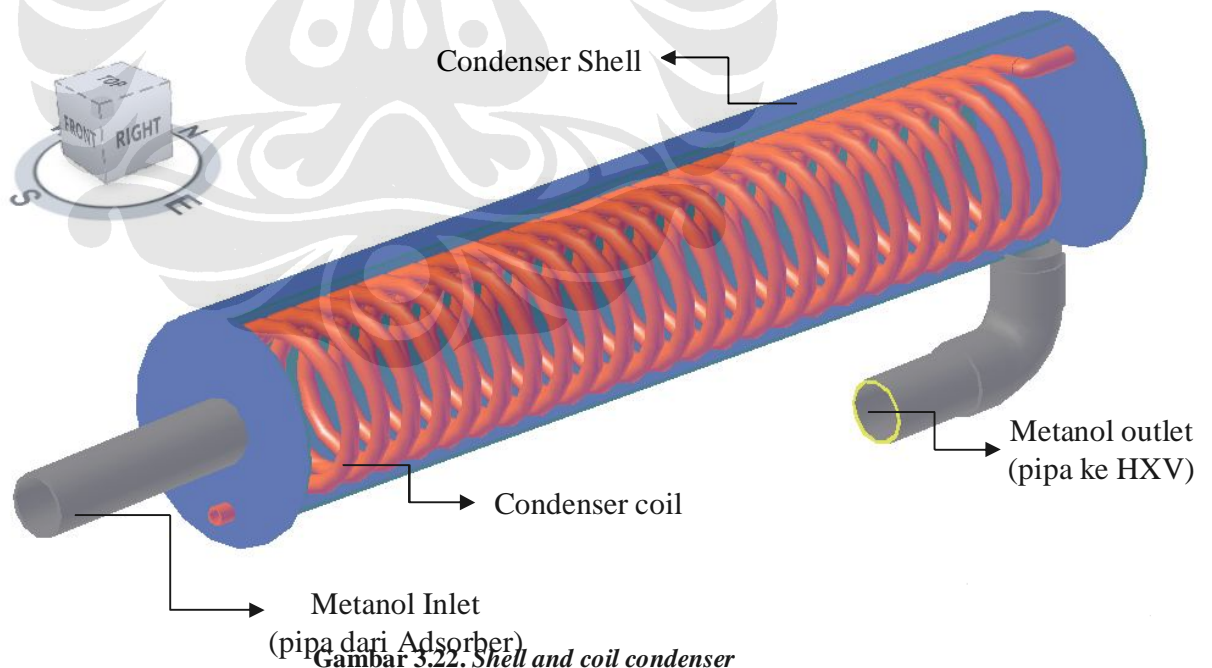
Gambar 3.20. Hand Expansion valve model globe valve

3.2.5. Kondensor

Kondensor adalah alat penukar panas dimana refrigeran panas dalam bentuk gas terkondensasi menjadi cair dan kalor laten kondensasi dilepaskan ke udara atau air.



Gambar 3.21. Kondensor lama berupa radiator mobil

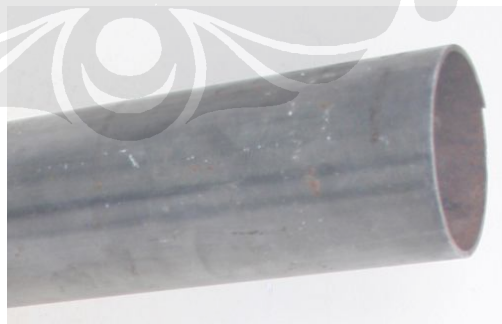


Gambar 3.22. Shell and coil condenser

Pada sistem terdahulu, kondensor yang digunakan berupa radiator mobil seperti pada gambar 3.21. yang menggunakan media pendingin berupa udara dinilai kurang baik jika dibandingkan dengan kondensor lain dengan media pendingin air. Selain itu, kondensor terdahulu juga memiliki kekurangan yaitu memiliki potensi kebocoran yang sangat tinggi dan sulit untuk menginspeksi dan menangani kebocoran yang terjadi. Oleh karena itu, Kondensor yang telah ada diganti dengan *water cooled condenser* seperti pada gambar 3.22, yang memiliki konstruksi yang lebih sederhana. Adapun rancangan *evaporator* baru terdiri dari komponen-komponen yaitu :

1. *Condenser shell*

Bagian ini merupakan bagian terluar dari Kondensor yang berfungsi sebagai rumah dari *condenser coil*. Bagian ini dibuat dari bahan dasar berupa pipa dimana pada bagian dalam pipa akan mengalir gas metanol panas yang hendak dikondensasikan menjadi fasa cair. Sedangkan pada bagian luar pipa akan berkontak langsung dengan udara yang membantu terjadinya proses kondensasi metanol. Untuk mencegah terjadinya korosi pada bagian ini maka material pipa yang dipilih adalah *stainless steel* seperti pada gambar 3.23. adapun ukuran kondensor dibuat semaksimal mungkin agar luasan kontak dan waktu kontak antara bagian temperatur tinggi dengan bagian temperatur rendah terjadi secara maksimum pula. Untuk itu, pipa yang dipilih sebagai bahan dasar memiliki ukuran yaitu $d_{\text{dalam}} = 106,3 \text{ mm}$, $d_{\text{luar}} = 114,3$, dan $L = 450 \text{ mm}$



Gambar 3.23. Pipa *stainless steel* sebagai bahan dasar *Condenser shell*

2. *Condenser coil*

Bagian ini merupakan bagian terdalam dari kondensor yang berfungsi sebagai coil yang akan dialiri oleh media pendingin cair berupa air dengan suhu kamar. Bagian ini terbuat dari pipa tembaga yang dibending sehingga bentuknya menjadi spiral seperti pada gambar 3.24. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan luasan kontak dari *heat exchanger* ini. Selain itu, untuk memaksimalkan perpindahan panas dari metanol panas ke air dengan suhu kamar, maka dipilih pipa dengan bahan tembaga. Adapun ukuran dari pipa tembaga yang digunakan yaitu $\varnothing_{\text{dalam}} = 3,95 \text{ mm}$, $\varnothing_{\text{luar}} = 6,35 \text{ mm}$. Selain itu bagian ini juga dirancang untuk mencegah kebocoran pada sepanjang koil ini akibat tekanan fluida yang melewatinya. Kebocoran pada bagian ini dicegah karena bagian ini terdapat didalam *shell* kondensor yang tertutup dan penutupnya dilas sehingga tidak mudah untuk melakukan pembukaan untuk penanganan kebocoran pada daerah ini. Untuk itu, dipilih koil yang dirancang untuk aplikasi hidrolik yang memiliki tekanan kerja yang sangat tinggi



Gambar 3.24. Coil

3. Pipa saluran dari *adsorber* menuju Kondensor

Bagian ini dirancang sebagai saluran yang mengalirkan metanol dalam fasa gas dari adsorber ke Kondensor pada saat proses desorpsi berlangsung. Oleh karena itu, untuk mencegah korosi akibat kontak dengan metanol, maka bahan yang dipilih untuk pipa ini adalah *stainless steel*. sedangkan ukuran pipa ini diseragamkan dengan ukuran keseluruhan ukuran pipa saluran yang digunakan yaitu $\varnothing_{\text{dalam}} = 29 \text{ mm}$, $\varnothing_{\text{luar}} = 34 \text{ mm}$ seperti pada gambar 3.6.

4. Pipa saluran dari Kondensor menuju *Hand expansion valve*

Bagian ini dirancang sebagai saluran yang mengalirkan metanol dari Kondensor ke *hand expansion valve* pada saat proses kondensasi berlangsung. Oleh karena itu, untuk mencegah korosi akibat kontak dengan metanol, maka bahan yang dipilih untuk pipa ini adalah *stainless steel*. sedangkan ukuran pipa ini diseragamkan dengan ukuran keseluruhan ukuran pipa saluran yang digunakan yaitu $\text{Ø}_{\text{dalam}} = 29 \text{ mm}$, $\text{Ø}_{\text{luar}} = 34 \text{ mm}$ seperti pada gambar 3.6.

BAB IV

ANALISA KOMPONEN MESIN

4.1 KONDENSOR

Modifikasi pada komponen berhasil karena tujuan modifikasi yang meliputi perbaikan komponen untuk meminimalisir kemungkinan kebocoran, meningkatkan kemampuan penyerapan kalor dari cairan yang didinginkan ke cairan pendingin serta mencegah korosi yang terjadi pada komponen mesin pendingin adsorpsi ini telah tercapai. Modifikasi untuk meminimalisir kebocoran dilakukan dengan penggantian tipe kondensor dari model radiator menjadi model *shell and coil condenser*. Untuk meningkatkan kemampuan penyerapan panas, kondensor dimodifikasi dari jenis kondensor *air cooled condenser* menjadi *water cooled condenser*. Sedangkan untuk mencegah korosi akibat kontak dengan metanol digunakan pipa dari bahan *stainless steel*.

Penggunaan tipe *shell and coil condenser* sangat efektif untuk meminimalisir kebocoran karena kondensor model ini mudah untuk dimanufaktur dan terbuat dari