

PERANCANGAN *SHELL AND TUBE* KONDENSOR SEBAGAI ALAT PENDINGIN REFRIGERAN R-134A PADA *ORGANIC RANKINE CYCLE*

Abimanyu Aji Pangestu^{1§§§§} Rudi Hermawan², dan Rovida Camalia Hartantrie³

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

ABSTRAK. Kebutuhan akan energi listrik setiap hari semakin meningkat, melihat cepatnya pertumbuhan manusia. Dimana pemanfaatan sumber energi secara optimal harus dilakukan, seperti pemanfaatan sampah plastik dan sampah organik. *Organic Rankine Cycle* adalah sistem pembangkit tenaga listrik yang bisa memanfaatkan panas hasil dari pembakaran pirolisis. *Organic Rankine Cycle* menggunakan fluida kerja organik yang dapat menguap pada suhu rendah namun tetap memiliki tekanan yang tinggi. Adapun komponen inti dari sistem *Organic Rankine Cycle* adalah pompa, economizer, turbin, dan kondensor. Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem kondensor dengan metodologi yang digunakan yaitu perhitungan dengan software *HTRI Xchanger Suite* serta perhitungan secara teoritis, untuk mendapatkan parameter terbaik yang diperlukan. Didapatkan hasil varian tekanan terbaik pada 10 bar yang menghasilkan nilai konduktivitas keseluruhan 172,16 W/m²×K dengan dimensi kondensor sesuai target perancangan yaitu Panjang *Tube* 1 m, Diameter *Shell* 500 mm, dan Jumlah *Tube* sebanyak 466 buah berdasarkan perhitungan *HTRI*, 254 buah berdasarkan perhitungan teoritis dengan diameter tube 19,05 mm.

Kata kunci— *Shell and tube* Kondensor; *Organic Rankine Cycle*; *HTRI Xchanger Suite*

PENDAHULUAN

Penggunaan energi sangatlah penting untuk menunjang kehidupan semua makhluk hidup. Kebutuhan akan energi setiap harinya meningkat, melihat cepatnya pertumbuhan manusia.[1] Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat. Namun, hal ini belum dapat langsung dilakukan karena beberapa sumber panas menghasilkan uap dan tekanan yang masih rendah. Dimana suhu uap berkisar Antara 80° - 170°C dengan tekanan berkisar 3 bar.[2] Hasil tersebut belum bisa digunakan jika menggunakan sistem pembangkit tenaga yang berdasarkan dari siklus rankine yang menggunakan air sebagai media kerjanya.

Penggunaan sumber daya alam dengan optimal dapat menghasilkan listrik lebih baik, yang dapat kita gunakan adalah membuat sistem pembangkit tenaga yang berdasarkan dari *Organic Rankine Cycle*. Adapun *Organic Rankine Cycle* ini adalah sistem pembangkit tenaga yang menggunakan fluida organik sebagai fluida kerjanya.[2] Cara kerja *Organic Rankine Cycle* pun masih sama dengan cara kerja dari siklus rankine yang konvensional, yang membedakan hanyalah dari penggunaan media kerjanya.

Organic Rankine Cycle memiliki karakteristik kerja yang mampu mengubah fluida kerja menjadi uap dengan memanfaatkan panas rendah dari panas bumi, memanfaatkan panas terbuang dari hasil pembakaran pirolisis, ataupun memanfaatkan panas dari matahari. Hal ini disebabkan karena *Organic Rankine Cycle* menggunakan fluida kerja yang bisa menguap pada suhu rendah.

Sistem pembangkit listrik jenis ORC ini terdiri dari 4 komponen utama yaitu Evaporator, Turbin, Kondensor, dan Pompa.[1] Cara kerja dari *Organic Rankine Cycle* yang digunakan adalah fluida kerja dipompa ke evaporator, kemudian pada evaporator akan dialirkan panas yang berasal dari hasil pembakaran pirolisis. Kemudian fluida kerja akan diteruskan ke turbin yang akan menghasilkan listrik. Kemudian dari turbin diteruskan ke kondensor dan berubah fasa menjadi cair, kemudian diteruskan ke pompa dan mengulangi siklus.

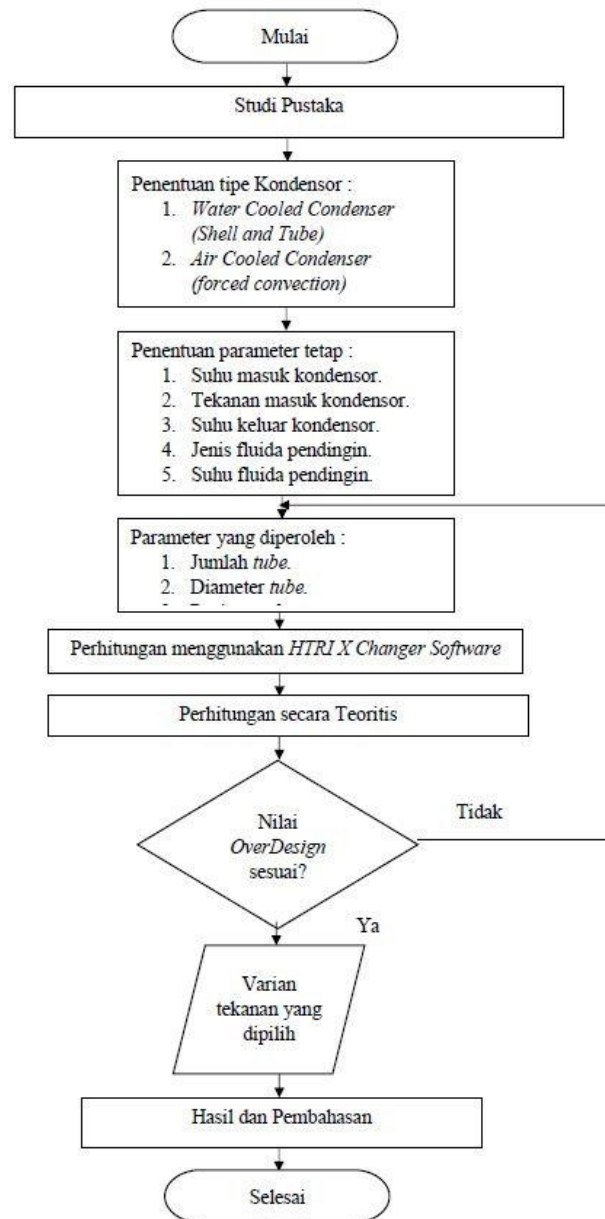
Kondensor merupakan komponen pendingin yang amat sangat penting yang berfungsi untuk memaksimalkan kerja suatu sistem pembangkit *organic rankine cycle*. [3] Untuk itu diperlukan perancangan sistem kondensor dengan ketiga variasi tekanan fluida yang digunakan pada sistem *organic rankine cycle* yang sudah ditetapkan oleh perancang sistem keseluruhan agar suatu sistem pembangkit listrik berdasarkan *organic*

§§§§ Corresponding author: abipangestu13@gmail.com

rankine cycle dapat bekerja secara optimal. Oleh sebab itu topik yang akan menjadi pembahasan dari penulis adalah mengenai Perancangan Shell and Tube Kondensor Sebagai Pendingin Refrigerant R-134a Pada Organic Rankine Cycle. Berdasarkan masalah tersebut maka tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui laju aliran massa fluida air pendingin yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan pendinginan refrigerant panas, jumlah *tube* dan diameter *tube* dari ketiga varian tekanan yang dihitung menggunakan perhitungan secara teoritis, jumlah *tube* dan diameter *tube* dari ketiga varian tekanan yang dihitung menggunakan perhitungan *software HTRI XChanger Suite 6.0*, dan tipe kondensor *shell and tube* yang dapat memenuhi kebutuhan sistem pendinginan pada pembangkit listrik berdasarkan *organic rankine cycle*.

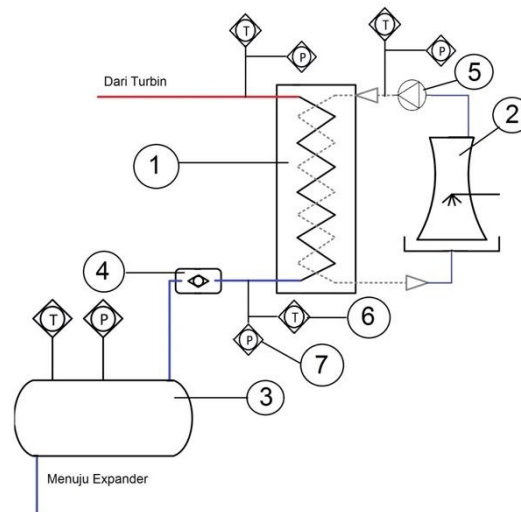
METODE

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Skema Kondensor pada Organic Rankine Cycle



2) 3) Gambar 2. Skema Kondensor Keseluruhan

4)

5) Berikut adalah komponen-komponen pada satu ruang lingkup alat kondensor beserta sistem pendinginannya :

1. *Shell and Tube* Kondensor.
2. *Water Cooling System*.
3. *Storage Tank*.
4. *Flow Meter*.
5. Pompa untuk air pada sistem pendinginan.
6. *Thermocouple*.
7. *Pressure Transmitter*

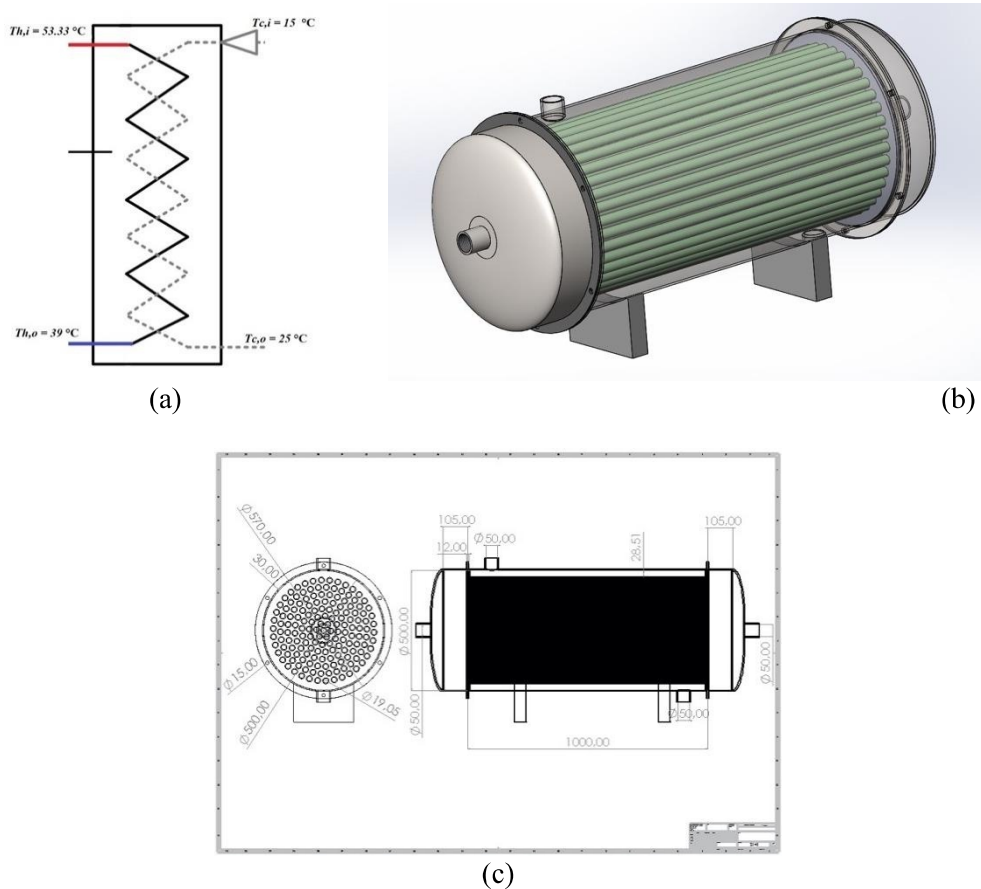
Metode Analisis Data

Dalam penelitian ini dilakukan penentuan parameter-parameter yang dijadikan ketetapan perhitungan yaitu : Suhu masuk, suhu keluar, tekanan masuk, nilai laju aliran massa dari masing-masing fluida dingin dan panas, serta panjang *tube* dan diameter *shell* yang akan digunakan. Perhitungan dilakukan secara teoritis dengan merujuk kepada literatur buku dan secara komputerisasi yaitu dengan menggunakan *software HTRI Xchanger Suite 6.0*. sehingga didapatkan hasil parameter yang diinginkan yaitu jumlah *tube* dan diameter *tube* yang akan digunakan.

Langkah Kerja

1. Menentukan parameter-parameter yang akan ditetapkan pada tiap komponen didalam siklus keseluruhan sistem pembangkit tenaga berdasarkan *Organic Rankine Cycle*.
2. Melakukan perhitungan dengan menggunakan *software HTRI Xchanger Suite 6.0* dengan tipe kondensor *Air Cooled* dan *Shell and Tube*.
3. Memilih tipe kondensor yang akan digunakan, yaitu tipe *Shell and Tube* Kondensor.
4. Melakukan perhitungan ulang dengan menggunakan *software HTRI Xchanger Suite 6.0* dengan variasi ketiga tekanan fluida refrigerant R-134a yang sudah ditetapkan sesuai kesepakatan tim, yaitu tekanan 6 bar, 8 bar, dan 10 bar.
5. Melakukan perhitungan secara teoritis untuk melakukan pendekatan hasil dari perhitungan dengan *software*.
6. Membuat hasil Analisa dan pembahasan perhitungan secara teoritis maupun secara *software*.
7. Melakukan pemilihan varian tekanan terbaik, dengan memperhatikan hasil jumlah *tube* dan diameter *tube* dari ketiga varian yang dihitung.
8. Membuat kesimpulan hasil perhitungan dan pemberian saran untuk penelitian

Gambar Desain Kondensor



Gambar 3. Gambar Desain Kondensor: (a) skema kondensor; (b) shell and tube condensor 1m x 0.5mm; (c) sketsa drawing kondensor 1m x 0.5mm.

HASIL

a. Data Perhitungan

Pembuatan pembangkit listrik berdasarkan Organic Rankine Cycle memiliki kemampuan untuk menghasilkan listrik sebesar 1500 Watt. Dalam pembuatan pembangkit listrik ini dibutuhkan sebuah alat penukar kalor yang berfungsi untuk mendinginkan fluida kerja yaitu refrigerant R-134a dengan media pendingin yaitu air yang telah didinginkan hingga suhu 15°C. Fluida refrigerant ini didinginkan dengan tujuan agar dapat mencapai fasa cairnya sehingga bisa disimpan didalam tanki penampung, dan dapat dilakukan pemompaan. Aliran fluida pada alat penukar kalor berlangsung secara berlawanan. Data Alat penukar kalor yang telah ditetapkan adalah sebagai berikut :

Tabel 2 Parameter yang ditetapkan

6)	No	7)	Parameter	8) Teoritis		
				9) bar	10) 8 bar	11) 6 bar
12)	1	13)	$T_{h,i}$ (°C)	14) 53,43	15) 42,32	16) 40,9
17)	2	18)	$T_{h,o}$ (°C)	19) 39	20) 30	21) 21
22)	3	23)	$T_{e,i}$ (°C)	24) 15	25) 15	26) 8
27)	4	28)	$T_{e,o}$ (°C)	29) 25	30) 25	31) 18
32)	5	33)	Dshell (mm)	34) 500	35) 500	36) 500
37)	6	38)	Ltube (mm)	39) 1000	40) 1000	41) 1000
42)	7	43)	\dot{m}_h (kg/s)	44) 0,5810	45) 0,4820	46) 0,358

b. Perhitungan Teoritis

Pada perancangan kondensor tipe shell and tube ini, dilakukan perhitungan secara teoritis dengan memvariasikan parameter fluida r-134a pada tekanan 6 bar, 8 bar, dan 10 bar. Dengan parameter yang ditetapkan sesuai dengan table 1. Dimana telah dilakukan pengujian dengan menggunakan software HTRI Xchanger suite 6,0 dan telah dilakukan perhitungan manual sebagai pendekatan secara teoritisnya, dengan variasi parameter yang telah ditetapkan dari perhitungan siklus keseluruhan yaitu :

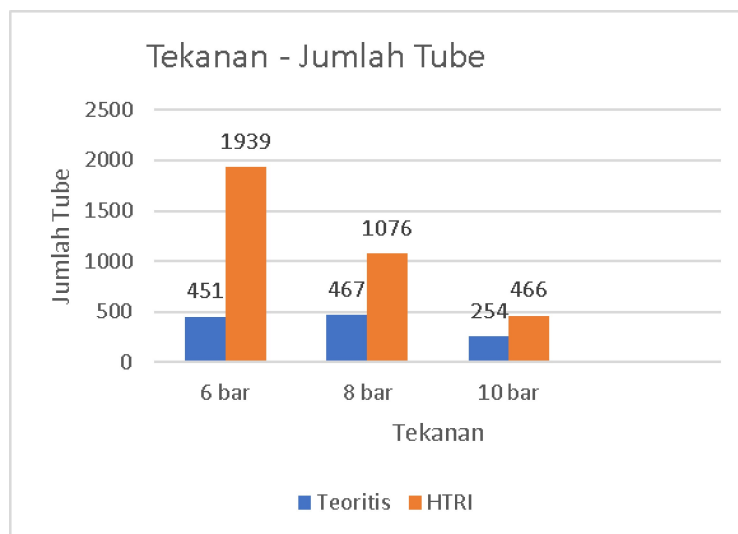
Tabel 2. Perbandingan Hasil Parameter Teoritis – HTRI

47) o	48) Parameter	49) 10 bar		50) 8 bar		51) 6 bar	
		52) Teoritis	53) HTRI	54) Teoritis	55) HTRI	56) Teoritis	57) HTRI
58)	59) \dot{m}_c (kg/s)	60) 2,4933	61) 2,4924	62) 2,1133	63) 2,1324	64) 1,711	65) 1,7132
66)	67) h_r (W/m ² K)	68) 2990,912	69) 2032,15	70) 5155,339	71) 1877,36	72) 6704,386	73) 1453,47
74)	75) h_c (W/m ² K)	76) 182,68	77) 522,05	78) 168,474	79) 849,91	80) 136,275	81) 1093,98
82)	83) Nilai rata-rata perpindahan panas keseluruhan U (W/m ² K)	84) 172,16	85) 210,35	86) 163,142	87) 212,52	88) 133,56	89) 166,55
90)	91) q (Watt)	92) 104370	93) 104300	94) 88466	95) 89200	96) 71664	97) 71800
98)	99) Efektifitas	100) 0,3643	101) -	102) 0,4509	103) -	104) 0,6052	105) -
106)	107) OD tube (mm)	108) 19,05	109) 19,05	110) 12,70	111) 12,70	112) 9,52	113) 9,52
114)	115) Ntube	116) 254	117) 466	118) 467	119) 1076	120) 451	121) 1939
122)	123) OverDesign (%)	124) -	125) 19,06	126) -	127) 26,99	128) -	129) 25,48

c. Analisa Hasil dan Pembahasan

a. Perbandingan jumlah tube dengan varian tekanan :

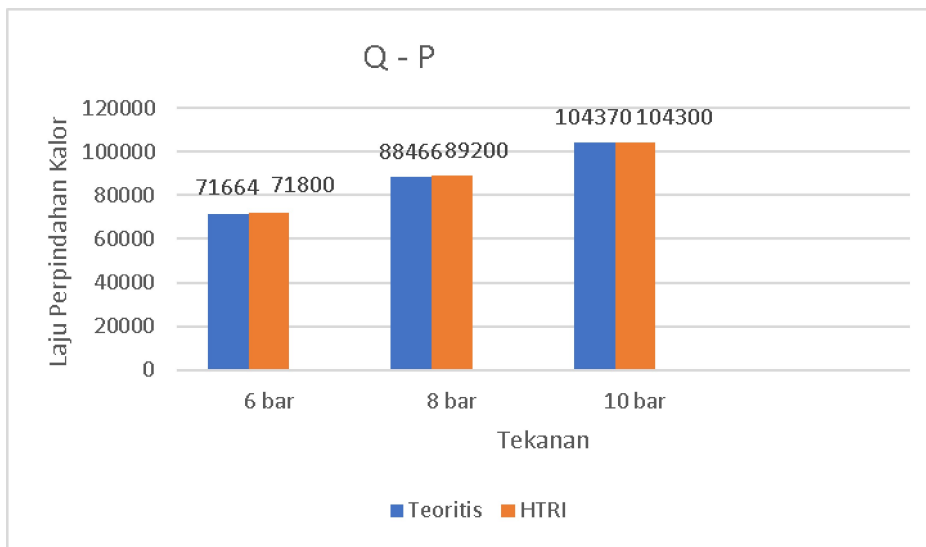
Dengan spesifikasi parameter dimensi dari kondensor yang ditetapkan sama pada tiap variasi tekanan yaitu ditargetkan Panjang tube 1 m, dan diameter shell 0,5 m, pada tiap varian tekanan 6 bar, 8 bar, 10 bar. Dapat terlihat perbedaan jumlah tube yang dihasilkan pada grafik dibawah ini.



Gambar 4. Diagram batang perbandingan tekanan dengan Jumlah Tube

Dari hasil grafik dapat terlihat semakin besar tekanan fluida refrigerant R-134a maka tube yang dibutuhkan pun semakin sedikit, baik pada hasil perhitungan secara teoritis maupun dengan software HTRI Xchanger. Pada tekanan 6 bar hasil yang didapatkan dari perhitungan secara teoritis yaitu sebanyak 451 buah sedangkan perhitungan secara software didapatkan sebanyak 1939 buah. Pada tekanan 8 bar hasil yang didapatkan dari perhitungan secara teoritis yaitu sebanyak 467 buah sedangkan perhitungan secara software didapatkan sebanyak 1076 buah. Pada tekanan 10 bar hasil yang didapatkan dari perhitungan secara teoritis yaitu sebanyak 254 buah sedangkan perhitungan secara software didapatkan sebanyak 466 buah. Sehingga didapatkan hasil yang terbaik untuk perancangan kondensor ini adalah tekanan fluida panas refrigerant pada 10 bar karena mendapatkan hasil tube yang lebih sedikit dari perhitungan secara teoritis maupun software sehingga untuk mendapatkan efisiensi biaya pada proses fabrikasi dan efisiensi waktu fabrikasi tentu akan lebih tinggi, dibanding kita membuat kondensor dengan jumlah tube yang sangat banyak. Hasil jumlah tube dipengaruhi juga oleh diameter tube yang digunakan, dari perhitungan yang dilakukan dimensi diameter tube dibuat bervariasi agar tiap varian tekanan kondensor bekerja pada kondisi yang optimal.

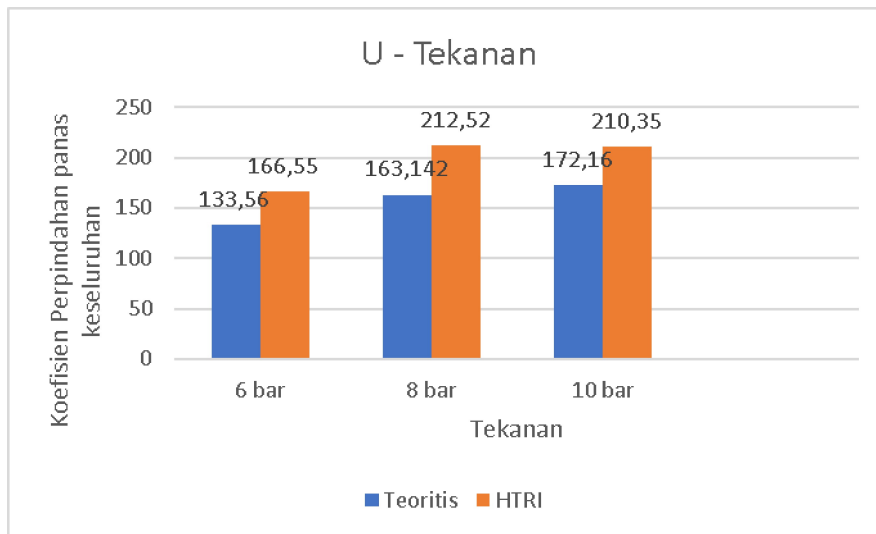
b. Perbandingan Laju Perpindahan Kalor Terhadap Tekanan



Gambar 5. Diagram batang perbandingan nilai laju perpindahan kalor terhadap tekanan

Dari hasil grafik diatas dapat terlihat semakin besar tekanan pada fluida panas Refrigerant R-134a maka semakin besar juga laju perpindahan kalor yang diperlukan. Pada tekanan 6 bar hasil perhitungan teoritis laju perpindahan kalor yang dibutuhkan sebesar 71664 Watt sedangkan hasil perhitungan software sebesar 71800 Watt. Pada tekanan 8 bar hasil perhitungan teoritis laju perpindahan kalor yang dibutuhkan sebesar 88466 Watt sedangkan hasil perhitungan software sebesar 89200 Watt. Pada tekanan 10 bar hasil perhitungan teoritis laju perpindahan kalor yang dibutuhkan sebesar 104370 Watt sedangkan hasil perhitungan software sebesar 104300 Watt. Sehingga dari hasil perhitungan laju perpindahan kalor secara teoritis maupun software apabila kita menginginkan hasil daya yang lebih besar dengan spesifikasi dimensi tube yang sudah ditentukan, dan perbedaan suhu pada fluida panas sudah ditentukan, kita bisa menaikkan tekanan fluida tersebut untuk mendapatkan Daya alat penukar kalor yang lebih besar.

c. Perbandingan nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan Teoritis – HTRI



Gambar 6. Diagram batang perbandingan nilai U terhadap tekanan

Dari hasil grafik diatas terlihat perbedaan nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan hasil perhitungan secara teoritis dan secara software HTRI. Pada tekanan 6 bar didapatkan nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan hasil perhitungan teoritis sebesar 133,56 $W/m^2 \times K$ sedangkan hasil perhitungan software sebesar 166,5 $W/m^2 \times K$. Pada tekanan 8 bar didapatkan nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan hasil perhitungan teoritis sebesar 163,142 $W/m^2 \times K$ sedangkan hasil perhitungan software sebesar 212,52 $W/m^2 \times K$. Pada tekanan 10 bar didapatkan nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan hasil perhitungan teoritis sebesar 172,16 $W/m^2 \times K$ sedangkan hasil perhitungan software sebesar 210,35 $W/m^2 \times K$. Perbedaan hasil nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan ini, disebabkan oleh perhitungan secara teoritis dilakukan hanya menggunakan jenis perpindahan panas konduksi. Sedangkan software melakukan perhitungan dengan menggunakan jenis perpindahan panas konveksi, konduksi, dan radiasi. Dilakukan perhitungan secara konduksi dikarenakan hasil akhir yang akan diperoleh untuk menentukan jumlah tube yang optimal. Sehingga dengan melakukan perhitungan secara konduksi pada tube dan fluida yang mengalir dishell sudah cukup.

Nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan dipengaruhi oleh kondisi aliran fluida yang terjadi. Dimana dari ketiga varian tekanan fluida yang dihitung, didapatkan hasil bilangan Reynolds >2300 , yang artinya kondisi aliran fluida adalah turbulen. Aliran turbulen lebih baik dibanding aliran laminar dalam proses perpindahan panas dikarenakan koefisien konveksi dan gesekan antara fluida dengan penampang memiliki nilai yang besar sehingga kondisi tersebut membuat perpindahan panas antara dinding penampang dengan cairan fluida yang mengalir menjadi lebih cepat. Nilai koefisien konveksi keseluruhan dipengaruhi oleh nilai koefisien konveksi tiap fluida, dan nilai koefisien konveksi tiap fluida dipengaruhi oleh bilangan Reynold. Sehingga semakin besar bilangan Reynold maka semakin besar juga nilai koefisien konveksi perpindahan panas, yang artinya proses perpindahan panas antar fluida semakin cepat.

KESIMPULAN

1. Nilai laju aliran massa dari fluida air pendingin yang dibutuhkan untuk mendinginkan fluida R-134a pada tekanan 6 bar, 8 bar, 10 bar masing-masing sebesar 2,4933 kg/s, 2,1133 kg/s, 1,711 kg/s.
2. Dari 3 varian tekanan yang dihitung secara teoritis. Diambil varian terbaik pada tekanan 10 bar dengan mengetahui parameter yang harus diperhatikan yaitu jumlah tube sebanyak 254 buah, diameter tube sebesar 19,05 mm, panjang tube 1 m, diameter shell 500 mm.
3. Dari hasil perhitungan secara komputerisasi menggunakan software HTRI Xchanger Suite 6.0. Didapatkan hasil parameter yang harus diperhatikan yaitu jumlah tube sebanyak 466 buah, diameter tube sebesar 19,05 mm, panjang tube 1 m, diameter shell 500 mm.
4. Kondensor shell and tube yang dirancang menggunakan tipe konstruksi B-E-M, didapatkan hasil perhitungan untuk nilai perpindahan panas keseluruhan sebesar 172,16 $W/m^2 \times K$, nilai keefektifan alat 36,43%, dan nilai Overdesign dari software HTRI sebesar 19,06%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada Bapak Ir.Rudi Hermawan MM.,MT dan Ibu Rovida Camalia Hartantie ST.,MT. selaku pembimbing 1 dan pembimbing 2 penulis. Dan juga tidak lupa dukungan secara moril dan materil dari kedua orang tua penulis beserta doa yang mereka selalu panjatkan untuk penulis. Serta dukungan dari teman-teman seperjuangan penulis di jurusan teknik mesin universitas pancasila terutama untuk Aditya nugroho, Amrianto arrashif, Dedi alamhudi putra, dan Eka prayogo. Serta dukungan dari sahabat penulis yaitu Miftakhul happy.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. W. Akbar and B. T. Fajar, "Desain Kondensor Jenis Shell and Tube Heat Exchanger Untuk Sistem Organic Rankine Cycle," *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 3, no. 3, pp. 295–304, 2015.
- [2] E. D. W.Sinaga, "Perancangan kondensor pada Siklus Rankine Organik dengan Kapasitas 1MW," *Tek.Mesin S-1*, pp. 13–47, 2010.
- [3] S. Ihsan, "Perencanaan dan Analisa Perhitungan Jumlah Tube dan Diameter Shell pada Kondensor Berpendingin Air pada Sistem Refrigerasi NH₃," *Teknol. proses Inov. Ind.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–3, 2017.
- [4] A. Firdaus and A. K.P Bachtiar, "Studi variasi laju pendinginan Cooling tower terhadap Sistem ORC (Organic Rankine Cycle) Dengan fluida kerja R-123," *Jurnal*, pp. 1–7, 2014.
- [5] R. Wibawa, "Sistem Termodinamika Siklus Rankine Organik Dengan Fluida Kerja R-22," *Student Pap. S-1*, pp. 1–69, 2012.
- [6] sobar ihsan, "Optimasi Kondensor Shell and Tube Berpendingin Air Pada Sisitem Refrigerasi," *AL ULUM J. SAINS DAN Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 13–18, 2017.
- [7] E. taqwali Berman, "MODUL PLPG Teknik pendingin," p. 200, 2013.
- [8] N. Putra, "Alat Penukar Kalor," 2012.
- [9] I. Nurrohman, H. Sonawan, and H. Somantri, "KAJI EKSPERIMEN PANAS TERBUANG DARI KONDENSOR SISTEM REFRIGERASI UNTUK PROSES PENGERINGAN," *Sci. J. institutional Repos. UNPAS*, pp. 4–16, 2013.
- [10] Y. Cengel, "Heat Transfer A practical approach," *Comput. Clerk*, vol. 2, pp. 227–233.