

## ANALISA TRANSFER PANAS PADA KONDENSASI LUAR DENGAN MENGGUNAKAN REFRIGERANT R-134a

**Hadi Rahmad**

Dosen  
Politeknik Negeri Malang  
Jurusan Teknik Mesin  
Hadi.rahmad@polinema.ac.id

**Zulfa Khalida**

Dosen  
Politeknik Negeri Malang  
Jurusan Teknik Mesin  
Zulfa.khalida@polinema.ac.id

**Saiful Arif**

Dosen  
Politeknik Negeri Malang  
Jurusan Teknik Mesin  
Saiful.arif@polinema.ac.id

*An experimental study in condensation has been conducted to analyse the condensation phenomena. The enhancement heat transfer performance is as always highlighted phenomenon for being investigated. The modified surface is a common method for enhancing the performance of condensation since inducing the droplet on the surface. The droplet leads to increasing heat-transfer area, decreasing thermal resistance, and shorten the condensing cycle. The condensation by using water successfully induces droplets on the surface and enhances the heat transfer. But water and refrigerant have different fluid properties which induce different phenomena whereas refrigerant is widely used in industry. In this case, the condensation is conducted on the modified surface by using a commercial promotor to investigate the phenomena. The investigation results show that the surface tension immensely influences the condensate on the surface. Refrigerant is low surface tension fluid which leads to the difficulty of fluid for inducing droplets and almost no enhancement heat transfer performance since the results almost fitted well to Nusselt bare tube prediction around 2443-3063 W/m<sup>2</sup> °C with subcooled temperature 2 up to 5 °C.*

**Keywords:** *Outside Condensation, Horizontal Tube, R-134a, Heat Transfer, Low Surface Tension Fluid.*

### 1. PENDAHULUAN

Kondensasi adalah salah satu fenomena yang seringkali dikaji dalam bidang perpindahan panas yakni adanya proses pelepasan kalor sehingga terjadi perubahan fase dari uap menjadi cair [1]. Fenomena kondensasi bisa ditemui pada AC, Kulkas maupun Kondenser skala besar seperti pada Pembangkit Listrik. Hal yang sering dikaji dalam kondensasi adalah peningkatan transfer panas atau peningkatan koefisien kondensasi. Apabila koefisien kondensasi besar mengindikasikan proses transfer panas yang baik [2]. Banyak metode yang dikembangkan untuk meningkatkan performa kondensasi seperti penambahan area transfer panas seperti penambahan area pada permukaan / *finned tube* seperti pada penelitian Ali et al. [3] melakukan eksperimen kondensasi campuran uap air dan *ethanol* pada pipa *low fin*, Sajjan et al. [4] juga mengamati proses kondensasi terutama dinamika kondensat 3-D *integral fin tube*. Wen et al. [5] melakukan eksperimen kondensasi pada beberapa fluida kerja seperti R-134a, R1234ze dan R-1233zd pada struktur *fin* pipa Titanium yang berbeda. R-134a menunjukkan kenaikan koefisien yang paling tinggi dibandingkan dengan fluida kerja yang lain.

Selain itu peningkatan transfer panas dapat dilakukan dengan modifikasi permukaan seperti He et al. [6] yang menggunakan lapisan Ni-P-PTFE dengan Teknik *photolithography* untuk menghasilkan permukaan *hydrophobic* dan Qi et al. [7] yang menganalisa kebasahan permukaan dengan teknik modifikasi permukaan *micro-grooved*. Salah satu metode yang akhir-akhir ini sering diteliti adalah dengan mengurangi kebasahan permukaan atau *surface wettability* sehingga kondensat yang biasanya berupa *film* atau lapisan tipis akan berubah menjadi *dropwise* yakni kondensat berupa tetesan kecil karena adanya peningkatan sudut kontak antara kondensat dengan permukaan. Dengan adanya perubahan mode kondensasi dalam mode *dropwise* maka koefisien transfer panas akan meningkat dikarenakan siklus kondensat berlangsung dengan cepat.

Beberapa peneliti terdahulu menggunakan berbagai material untuk menciptakan permukaan dengan energi permukaan kecil sehingga dapat menciptakan *droplet* pada permukaan. Tripathy et al. [8] melakukan penelitian kondensasi dengan menggunakan *graphene* sebagai promotor dan air sebagai fluida kerja dan dapat menghasilkan kondensasi dalam mode *dropwise* dengan kenaikan koefisien transfer panas hampir 3 kali lebih besar dibandingkan dengan kondensasi tanpa promotor dan menghasilkan *droplet* yang stabil pada permukaan selama 24 jam.

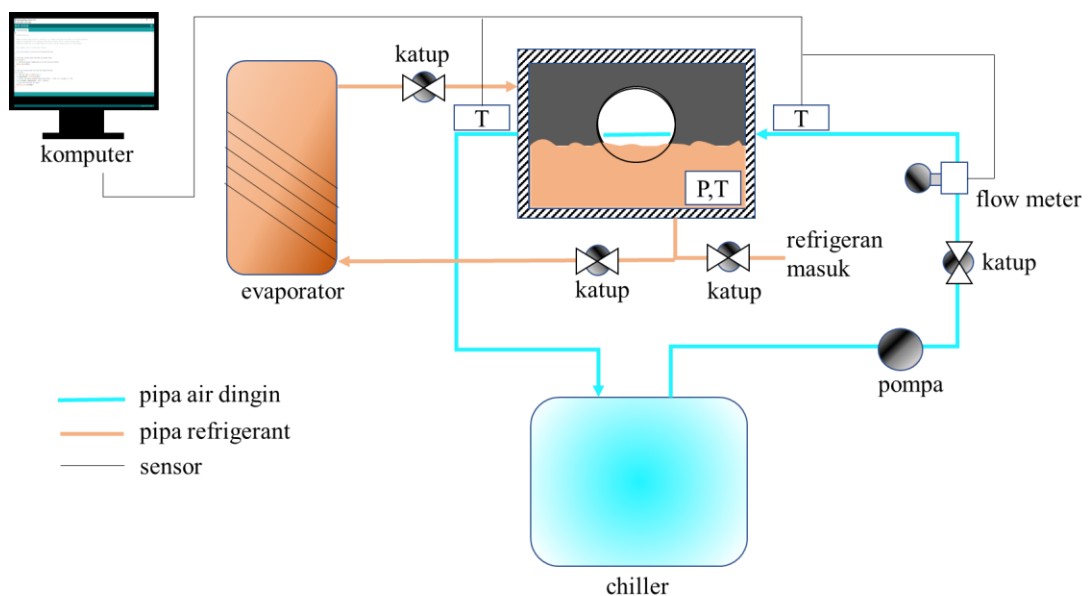
Wen et al. [9] melakukan penelitian kondensasi dengan memfokuskan peningkatan transfer panas pada sistem yang mengandung *Non Condensable Gas* (NCG) dengan memodifikasi permukaan menggunakan *fluorocarbon-coated hydrophobic*. Tujuan dari proses pelapisan permukaan tersebut untuk mempermudah pelepasan lapisan kondensat dari permukaan sehingga siklus kondensasi berjalan dengan lebih cepat. Penelitian tersebut memperlihatkan adanya peningkatan transfer panas yakni sekitar 2 kali lipat. Tetapi tentunya kandungan NCG juga sangat mempengaruhi transfer panas yang terjadi yang mana dengan adanya kenaikan kandungan NCG 4-5 % mengakibatkan penurunan performa transfer panas sekitar 30%.

Zhaou et al. [10] melakukan pengujian permukaan dengan memodifikasi permukaan *Lubricant Infused Surface* (LIS) untuk menggantikan permukaan batas atau *interface solid-liquid* pada permukaan *hydrophobic* yang konvensional dan metode ini menghasilkan *droplet* yang baik. Penelitian tentang LIS juga dilakukan oleh Ho et al. [11] dengan menggunakan fluida bertegangan rendah sebagai fluida kerja yaitu *ethanol* dan *hexane*. Penelitian tersebut menunjukkan adanya kenaikan sudut kontak yang cukup baik yakni  $67^\circ$  dan  $44^\circ$  untuk *ethanol* dan *hexane*.

Berdasarkan penelitian terdahulu sebagian besar proses kondensasi dilakukan dengan menggunakan air sebagai fluida kerja. Sedangkan sebagian besar di dunia industri, fluida kerja yang digunakan adalah *refrigerant* yang mempunyai sifat berbeda dengan air. Sehingga pada penelitian ini dilakukan pengambilan data dengan menggunakan *refrigerant* R-134a untuk menganalisa proses kondensasi pada permukaan pipa tembaga yang dimodifikasi.

## 2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini menggunakan *refrigerant* R-134a sebagai fluida kerja sehingga perlu diperhatikan proses perancangan dan perakitan sistem dikarenakan tekanan R-134a cukup besar yakni pada suhu  $25^\circ\text{C}$  sudah mencapai 5 bar (tekanan terukur). Pada keadaan tersebut, R-134a berwujud campuran cair dan uap pada sistem yang sudah divakumkan terlebih dahulu dan tertutup. Tetapi apabila R-134a berada pada lingkungan sekitar akan langsung menguap menjadi uap R-134a. Sehingga ruang kondensasi yang dipilih berupa *stainless steel* dengan ketebalan 3 cm karena *stainless steel* mempunyai kekuatan material yang cukup baik dan laju korosi yang rendah. Selain itu media kondensasi berupa pipa tembaga yang diletakkan ditengah ruang kondensasi. Pipa tembaga dipilih sebagai media kondensasi atau area transfer panas dikarenakan tembaga mempunyai konduktivitas panas yang baik dan laju korosi yang rendah.



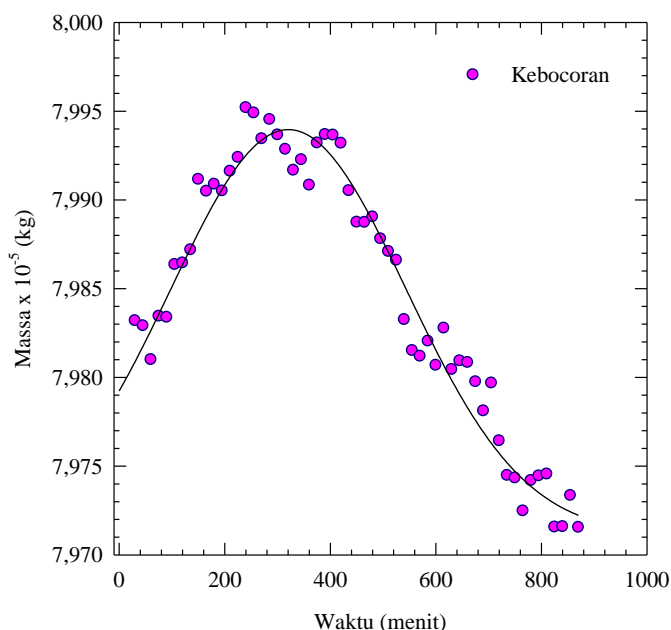
**Gambar 1:** Sistem kondensasi.

Terdapat beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini seperti ruang kondensasi, pendingin air, evaporator dan pipa kondensasi. Selain itu terdapat beberapa sensor untuk mengukur parameter fisis di dalam proses kondensasi tersebut seperti *thermostat* untuk mengukur suhu, *flow meter* digunakan untuk mengukur debit air dan manometer digunakan untuk mengukur tekanan.

Gambar 1 menunjukkan sistem kondensasi dimana pada sistem tersebut terdapat dua siklus yaitu siklus air dan siklus *refrigerant*. Siklus air dimulai dengan air didinginkan di *chiller* yang selanjutnya menuju ruang kondensasi melalui pipa. Pada waktu yang sama *refrigerant* dipanaskan di evaporator dan uap panas dialirkan menuju ruang kondensasi sehingga uap panas *refrigerant* di dalam ruang kondensasi akan kontak dengan air dingin yang melalui pipa tembaga/pipa kondensasi sehingga uap *refrigerant* berubah menjadi *refrigerant* cair yang jatuh ke bawah dan selanjutnya *refrigerant* cair tersebut menuju evaporator untuk dipanaskan lagi. Sama halnya seperti siklus *refrigerant*, air dingin setelah melewati pipa kondensasi akan terjadi kenaikan suhu air yang selanjutnya dialirkan menuju *chiller* untuk didinginkan kembali. Untuk proses pengambilan data dilakukan dengan mencatat data pada manometer, sensor suhu dan *flow meter* yang dilakukan dengan menggunakan Arduino yang dikoneksikan pada komputer.

### 2.1 Uji Kebocoran

Langkah pertama sebelum melakukan eksperimen adalah uji kebocoran. Uji kebocoran sistem perlu dilakukan untuk mengantisipasi adanya kebocoran saat proses pengambilan data. Fluida kerja yang digunakan memiliki tekanan yang tinggi sehingga uji kebocoran dilakukan agar tidak ada *refrigerant* yang hilang karena akan berdampak pada lingkungan. Uji kebocoran dilakukan dengan mengalirkan udara ke dalam sistem sehingga mencapai tekanan 400-500 kPa<sub>g</sub> yang selanjutnya suhu dan tekanan udara tersebut dicatat dalam waktu kurang lebih 24 jam. Hal tersebut perlu dilakukan agar data yang didapatkan *steady* dan akurat.



**Gambar 2:** Data uji kebocoran.

Gambar 2 menunjukkan hasil pengolahan data uji kebocoran dimana proses perhitungan didapatkan dari tekanan dan suhu terukur pada sistem yang selanjutnya dimasukkan pada Hukum Termodinamika Gas pada Persamaan 1.

$$PV = nRT \tag{1}$$

Dimana  $P$ ,  $V$ ,  $n$ ,  $R$ ,  $T$  secara berurutan adalah tekanan (Pa), volume (m<sup>3</sup>), jumlah mol udara (mol), dan konstanta gas ideal 8,314 JK<sup>-1</sup>mol<sup>-1</sup>. Dengan menggunakan Persamaan 1 akan didapatkan hasil  $n$  (mol) yang selanjutnya dapat dikoversikan menjadi massa seperti pada Gambar 2. Massa udara yang hilang diplot terhadap waktu dan didapatkan hasil distribusi data naik turun. Kenaikan kurva menunjukkan keadaan

dalam sistem yang masih belum stabil atau belum *steady* yang bisa dikarenakan udara belum mengisi semua ruangan. Penurunan massa dapat direpresentasikan sebagai tekanan yang hilang dari sistem ke lingkungan. Setelah itu dianalisa selisih massa awal dan akhir atau laju massa yang hilang dan laju massa yang hilang mengindikasikan besarnya *leak* [12].

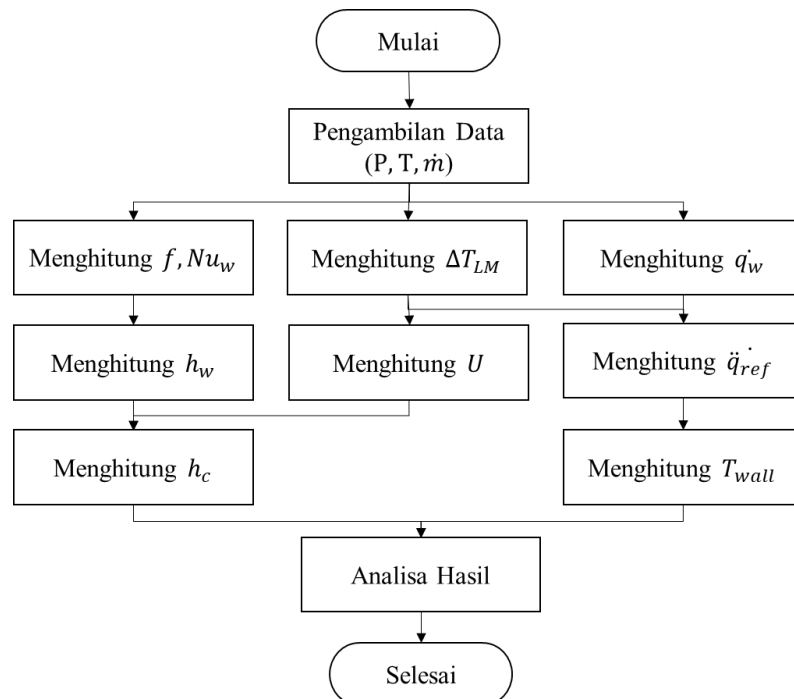
### 2.2 Pengambilan Data

Setelah melakukan pengecekan kebocoran, langkah selanjutnya yaitu pemvakuman dan dilanjutkan dengan pengisian *refrigerant*. Pemvakuman dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan udara yang ada di dalam sistem. *Refrigerant* yang bercampur dengan udara atau *Non Condensable Gas* (NCG) menghalangi proses kondensasi sehingga transfer panas tidak berjalan secara optimal [13].

Pada penelitian ini dilakukan pemvakuman hingga tekanan mencapai sekitar 0,4 kPa dan setelah itu dilakukan pengisian R-134a ke dalam sistem kondensasi sesuai kapasitas sistem yakni 7 kg R-134a. Langkah selanjutnya adalah pengaturan suhu untuk mencapai suhu operasi yang diinginkan yakni 30 °C. Data utama yang didapatkan dari pengambilan data adalah tekanan  $P$  dan suhu di ruang kondensasi  $T_s$ , suhu inlet  $T_{in}$  dan outlet air  $T_{out}$  pada pipa kondensasi serta laju massa air  $\dot{m}$ . Tekanan yang terukur di dalam ruang kondensasi harus sama dengan tekanan referensi dimana pada penelitian ini menggunakan aplikasi REFPROP untuk mengecek properti fluida sebagai data referensi. Apabila terdapat perbedaan tekanan antara tekanan di dalam sistem dan tekanan referensi maka perlu dilakukan pengecekan kandungan NCG seperti pada Persamaan 2 [14].

$$W_{NCG} = \frac{P - P_v}{P - \left(1 - \frac{m_v}{m_{NCG}}\right) P_v} \tag{2}$$

$W$ ,  $P$ ,  $m$  merupakan fraksi, tekanan dan massa, sedangkan untuk subskrip  $NCG$ ,  $v$  adalah NCG dan uap (*vapor*). Secara teoritis kandungan NCG diperbolehkan dengan ketentuan kandungan NCG kurang dari 4% agar tidak terlalu mempengaruhi hasil transfer panas. Tetapi lebih baik dilakukan prosedur yang benar agar tidak ada NCG pada sistem tersebut.



Gambar 3: Diagram alir reduksi data.

Data primer ( $P, T, \dot{m}$ ) yang didapatkan dari penelitian ini adalah pengambilan data dengan selisih  $T_{sat}-T_w$  1 °C. Setelah didapatkan data maka langkah selanjutnya yakni proses reduksi data agar bisa didapatkan koefisien kondensasi sebagai data akhir untuk dianalisa. Untuk proses reduksi data dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah seperti pada Gambar 4.

Langkah pertama reduksi data yaitu menghitung laju panas air yang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.

$$\dot{q}_w = \dot{m}_w c_{p,w} (T_{out} - T_{in}) \tag{3}$$

Dimana  $\dot{q}_w, \dot{m}_w, T_{out}$  dan  $T_{in}$  secara berurutan adalah laju panas, aliran massa, suhu masuk dan keluar air dingin. Setelah itu dilanjutkan dengan menghitung suhu  $\Delta T_{LM}$  yakni suhu antara suhu uap jenuh dengan air dingin di dalam pipa seperti pada Persamaan 4.

$$\Delta T_{LM} = \frac{T_{out} - T_{in}}{\ln \frac{T_s - T_{in}}{T_s - T_{out}}} \tag{4}$$

Selanjutnya koefisien transfer panas keseluruhan  $U$  dihitung dari perhitungan laju panas air  $\dot{q}_w$  dibagi dengan luas area kondensasi pada pipa  $A_o$  dan suhu rata-rata logaritmik  $\Delta T_{LM}$ .

$$U = \frac{\dot{q}}{A_o \Delta T_{LM}} \tag{5}$$

Sedangkan untuk faktor gesekan  $f$  air di dalam pipa menggunakan fungsi bilangan Reynolds  $Re$  dari Persamaan *Petukhov* seperti pada Persamaan 6 dan dilanjutkan dengan perhitungan Bilangan *Nusselt*  $Nu_w$  dengan menggunakan Persamaan *Gnilienski*.

$$f = (0,79 \ln Re - 1,64)^{-2} \tag{6}$$

$$Nu_w = \frac{\frac{f}{8} (Re - 1000) Pr}{17 + 12,7 \left(\frac{f}{8}\right)^{1/2} (Pr^{2/3} - 1)} \tag{7}$$

Untuk transfer panas pada air dingin dapat dihitung dengan menggunakan fungsi bilangan *Nusselt*, konduktivitas thermal air dan diameter dalam pipa seperti pada Persamaan 8. Dan hasil akhir berupa koefisien kondensasi yang didapatkan dari Persamaan 9.

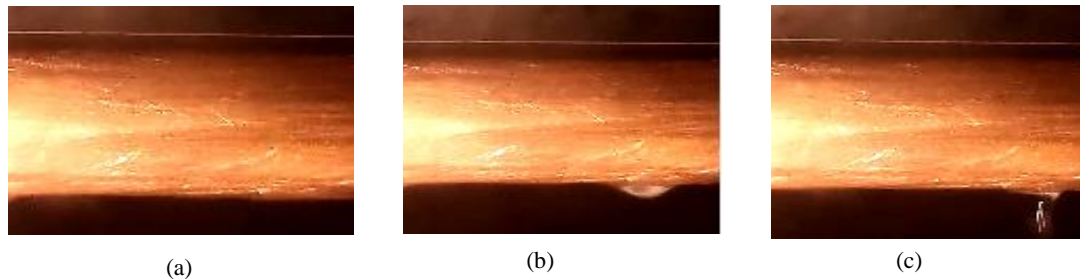
$$h_w = \frac{Nu_w k_w}{D_i} \tag{8}$$

$$h_c = \frac{1}{\left[ \frac{1}{U} - \frac{A_o}{A_i h_w} - A_o \left[ \frac{\ln \frac{D_o}{D_i}}{2\pi L k_{copper}} \right] \right]} \tag{9}$$

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Permukaan kondensasi pada penelitian ini menggunakan tembaga dikarenakan tembaga mempunyai konduktivitas yang baik dalam perpindahan panas. Lebih lanjut, tembaga dilapisi dengan cairan komersil *hydrophobic* Aobo dengan tujuan untuk mengurangi energi permukaan sehingga lebih mudah menghasilkan *droplet* pada permukaan. Cairan *hydrophobic* Aobo mempunyai kemampuan *repellent* (kemampuan menolak cairan) yang cukup baik. Tembaga yang dilapisi cairan *hydrophobic* tersebut dapat menghasilkan *droplet*

dengan cukup baik pada permukaan ketika ditetesi air. Tetapi pada penelitian ini menggunakan R-134a dimana didapatkan hasil yang berbeda yakni R-134a sulit untuk membentuk *droplet* pada permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 4. Kesulitan R-134a untuk membentuk *droplet* dikarenakan tegangan permukaan R-134a cukup kecil. Kondisi tersebut akan berpengaruh terhadap hasil koefisien kondensasi yang akan dibahas lebih lanjut.



**Gambar 4:** Kondensat R-134a pada permukaan pipa dimana Gambar (a) menunjukkan adanya lapisan kondensat tipis / *film* sehingga sulit terlihat dan terlihat jelas kondensat yang muncul pada permukaan tidak berbentuk *droplet*. Gambar (b) menunjukkan penumpukan *film* kondensat (*coalescence*) menjadi satu kondensat besar yang berada pada pipa di bagian bawah. Gambar (c) menunjukkan adanya pelepasan kondensat dari permukaan akibat kumpulan massa kondensat dan gravitasi.

### 3.1 Analisa Kondensasi R-134a

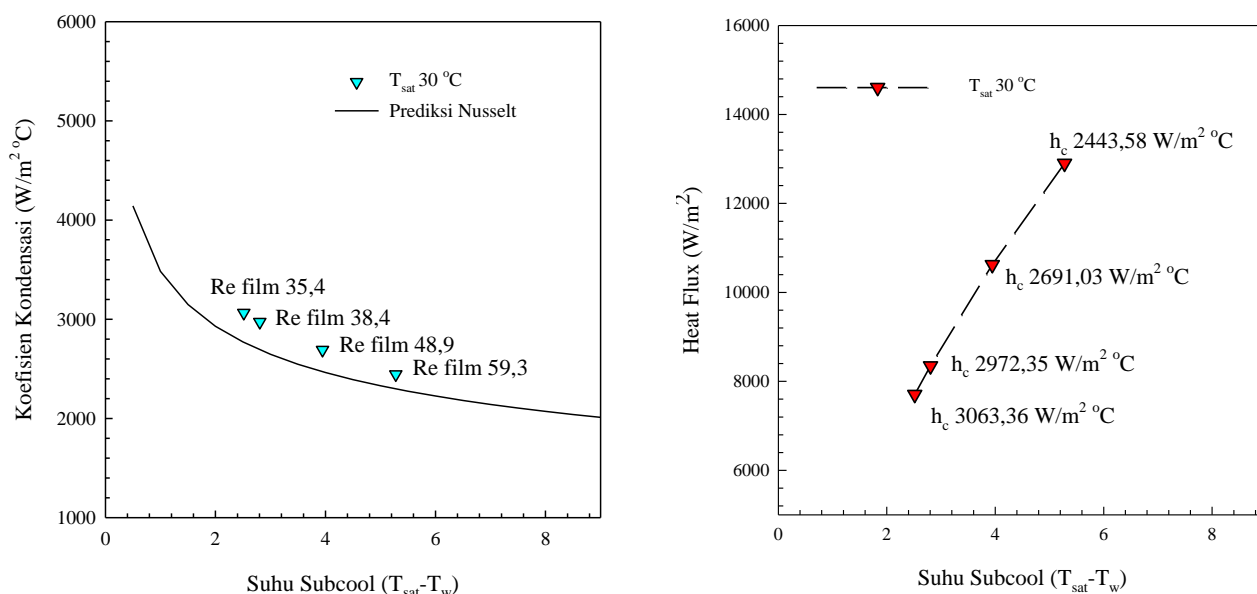
Analisa kondensasi dilakukan dengan menampilkan data penelitian dalam koefisien kondensasi ataupun laju panas *heat flux*. Koefisien kondensasi merepresentasikan transfer panas yang terjadi pada sistem tersebut dan selanjutnya koefisien kondensasi tersebut dibandingkan dengan koefisien kondensasi Prediksi *Nusselt* dimana Prediksi *Nusselt* merupakan prediksi transfer panas untuk pipa tanpa penambahan area (*bare tube*). Prediksi *Nusselt* disusun dengan mempertimbangkan beberapa sifat fisis dari fluida kerja dan geometri dari pipa.

Prediksi *Nusselt* tersusun dari beberapa parameter fisis *refrigerant*, seperti konduktivitas, densitas *refrigerant* dalam bentuk cair dan uap, enthalpi, suhu *subcool* dan viskositas. Sedangkan geometri pipa yang diperhitungkan adalah diameter pipa. Adapun parameter fisis dari R-134a dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

**Tabel 1:** Properti R-134a (REFPROP).

SUHU (°C)	TEKANAN (kPa)	DENSITAS (kg/m <sup>3</sup> )	VISKOSITAS (Pa-s)	TEGANGAN PERMUKAAN (N/m)
20	470,38	1225,3	0,00020	0,008
30	668,87	1187,5	0,00018	0,007
40	915,27	1146,7	0,00016	0,006

Pada Tabel 1 menunjukkan perubahan parameter fisis terhadap suhu kerja. Semakin besar suhu kerja *refrigerant* maka tekanan semakin besar tetapi densitas, viskositas dan tegangan permukaan semakin kecil. Pada penelitian ini dilakukan pada suhu kerja 30 °C dan hasil kondensasi R-134a dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.



**Gambar 5:** Koefisien kondensasi terhadap suhu *subcool* (kiri) dan laju panas per satuan area terhadap suhu *subcool* (kanan).

Gambar 5 (kiri) menunjukkan koefisien kondensasi pada suhu *subcool* yang berbeda. Semakin kecil suhu *subcool* maka koefisien transfer panas semakin besar. Hal tersebut dikarenakan perbedaan antara suhu kerja dengan suhu dinding lebih kecil sehingga transfer panas akan berlangsung lebih cepat selain itu kondensat yang muncul pada permukaan pipa berbentuk lapisan yang tipis sehingga resistansi panas kecil dan transfer panas besar. Sedangkan *Re film* menggambarkan laju massa kondensat terhadap ketebalan kondensat. Semakin besar suhu *subcool* maka kondensat yang muncul akan lebih tebal dan laju massa kondensat besar sehingga *Re film* kondensat besar pada suhu *subcool* yang tinggi. Proses Analisa juga dilakukan dengan cara membandingkan data hasil penelitian dengan Prediksi *Nusselt*.

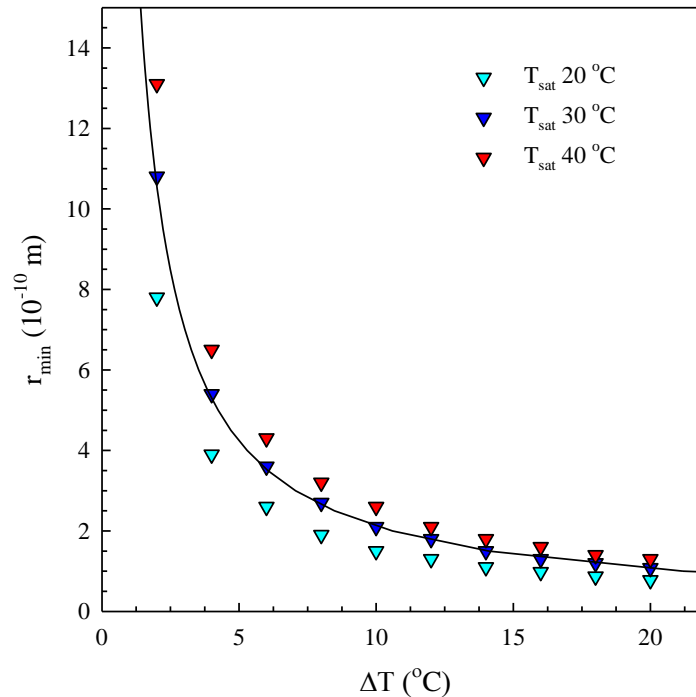
Terlihat distribusi data koefisien kondensasi berada dekat dengan Prediksi *Nusselt*. Hal tersebut menunjukkan tidak adanya kenaikan transfer panas karena Prediksi *Nusselt* ditujukan untuk koefisien kondensasi pada pipa tanpa modifikasi. Penelitian ini tidak menunjukkan kenaikan transfer panas dikarenakan kondensat yang terbentuk adalah kondensat *film* tipis. Meskipun permukaan pipa dilapisi cairan *hydrophobic* tetapi R-134a yang muncul pada permukaan tidak berupa *droplet*. Hal tersebut dikarenakan tegangan permukaan R-134a yang sangat kecil sehingga sulit untuk membentuk *droplet*. Meskipun terdapat penelitian tentang pembentukan *droplet* untuk fluida bertegangan rendah berhasil, tetapi fluida kerja yang digunakan pada penelitian tersebut bukan fluida bertekanan tinggi seperti *refrigerant* [10]. Sehingga diperlukan analisis lebih lanjut terhadap pengaruh tekanan terhadap kemampuan fluida untuk membentuk *droplet*.

Sedangkan pada Gambar 5 kanan menunjukkan laju panas pada suatu area atau *heat flux* terhadap kenaikan suhu *subcool*. Kemiringan kurva atau *slope* menunjukkan transfer panas keseluruhan yang meliputi transfer panas pada air dingin, pipa maupun pada saat kondensasi. Koefisien kondensasi menurun terhadap kenaikan *heat flux* karena adanya kenaikan ukuran kondensat pada permukaan pipa. Dan *heat flux* meningkat seiring dengan kenaikan suhu *subcool* dan laju kondensasi karena kenaikan ukuran kondensat. Selain itu *heat flux* berbanding lurus dengan area permukaan yang diliputi kondensat.

### 3.2 Analisa Ukuran Kondensat R-134a

Analisa ukuran kondensat dilakukan dengan memasukkan data properti fluida kedalam Pendekatan Matematis Prediksi *Kim* tentang *droplet* seperti pada Gambar 6 yang menunjukkan jari-jari kondensat minimal pada permukaan pada suhu saturasi yang berbeda yakni 20, 30 dan 40 °C. Pemodelan matematis untuk ukuran kondensat dilakukan karena pengukuran kondensat yang terlalu sulit untuk dilakukan. Pada kurva tersebut menunjukkan besarnya jari-jari kondensat pada permukaan yang bervariasi terhadap suhu uap jenuh dan terhadap  $\Delta T$  atau suhu *subcool*. Dalam penelitian ini, kondensat berupa lapisan tipis

*nonhemispherical* dan kondensat yang terlihat seringkali berupa kumpulan kondensat yang menjadi satu sebelum kondensat tersebut jatuh dari permukaan pipa. Perbedaan jari-jari kondensat pada suhu saturasi yang berbeda berhubungan dengan tegangan permukaan yang erat kaitannya dalam proses pembentukan kondensat tersebut.



**Gambar 6:** Radius minimum R-134a pada suhu saturasi yang berbeda

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian kondensasi dengan R-134a ini menunjukkan adanya faktor tegangan permukaan yang memegang peran penting dalam proses transfer panas. Tegangan permukaan R-134a yang relatif sangat kecil sekitar 0,007 N/m pada suhu 30 °C menyebabkan adanya kesulitan untuk menghasilkan *droplet* pada permukaan sehingga sebaran data berada di sekitar kurva Prediksi *Nusselt*. Selain itu untuk analisa ukuran kondensat dilakukan dengan menggunakan pendekatan Prediksi Kim dan terlihat bahwa radius minimum kondensat dipengaruhi oleh suhu saturasi dan suhu subcool pada sistem tersebut.

#### 5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik berkat bantuan dari beberapa pihak. Untuk itu peneliti mengucapkan terimakasih kepada UPT POLINEMA dan UPPS POLINEMA PSDKU Kediri dalam memberikan dana hibah DIPA POLINEMA pada penelitian ini.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] VIDIYANTO, B.P., ARYADI, W., KHOIRON, A.M., dan ANIS, S., “Pengaruh Penggunaan Fan dan Debit Fluida terhadap Efisiensi Kerja Atmospheric Water Generator,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 10, no. 2, pp. 105–112, 2019, doi: 10.21776/ub.jrm.2019.010.02.1.
- [2] L. WANG, P. CHEN, Y. ZHOU, W. LI, C. TANG, dan Y. MIAO, “*Experimental Study on the Condensation of Steam With Air Out of the Vertical Tube Bundles*,” vol. 6, no. May, pp. 1–6, 2018, doi: 10.3389/fenrg.2018.00032.
- [3] ALI, H., KAMRAN, M.S., ALI, H.M., and IMRAN, S., “*Condensation Heat Transfer Enhancement Using Steam-Ethanol Mixtures on Horizontal Finned Tube*,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 140, no. January, pp. 87–95, 2019, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2019.02.033.



- [4] SAJJAN, S.K., KUMAR, R., and GUPTA, A., “*Experimental Investigation of Vapor Condensation of R-600a Over Horizontal Three-Dimensional Integral-Fin Tubes*,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 153, no. February, p. 106378, 2020, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2020.106378.
- [5] JI, W.T., MAO, S.F., CHONG, G.H., ZHAO, C.Y., ZHANG, H., and TAO, W.Q., “*Effect of Fin Structure on the Condensation Of R-134a, R-1234ze(E), And R-1233zd(E) Outside the Titanium Tubes*,” *J. Heat Transfer*, vol. 142, no. 1, Nov. 2019, <https://doi.org/10.1115/1.4045139>
- [6] HE, H., *et al.*, “*Heat Transfer Enhancement of a Loop Thermosyphon with a Hydrophobic Spot-Coated Surface*,” *J. Therm. Sci. Technol.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–17, 2018, doi: 10.1299/jtst.2018jtst0011.
- [7] QI, B., ZHOU, J., WEI, J., and LI, X., “*Study on the Wettability and Condensation Heat Transfer of Sine-Shaped Micro-Grooved Surfaces*,” *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 90, no. September 2017, pp. 28–36, 2018, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2017.09.002.
- [8] TRIPATHY, A., *et al.*, “*Ultrathin Lubricant-Infused Vertical Graphene Nanoscaffolds for High-Performance Dropwise Condensation*,” *ACS Nano*, vol. 15, no. 9, pp. 14305–14315, 2021, doi: 10.1021/acsnano.1c02932.
- [9] WEN, R., ZHOU, X., PENG, B., LAN, Z., YANG, R., and MA, X., “*International Journal of Heat and Mass Transfer Falling-Droplet-Enhanced Filmwise Condensation In the Presence of Non-Condensable Gas*,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 140, pp. 173–186, 2019, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.05.110.
- [10] ZHAO, Y., *Dropwise Condensation of Water and Low Surface Tension Fluids on Structured Surfaces*, Thesis M.Sc., Massachusetts Institute of Technology, USA, 2018.
- [11] HO, J.Y., RABBI, K.F., SETT, S., WONG, T.N., and MILJKOVIC, N., “*Dropwise Condensation of Low Surface Tension Fluids on Lubricant-Infused Surfaces: Droplet Size Distribution and Heat Transfer*,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 172, pp. 16–20, 2021, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121149.
- [12] GU, S., *et al.*, “*An Experimental Study on the Flow Characteristics During the Leakage of High Pressure CO2 Pipelines*,” *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 125, pp. 92–101, 2019, doi: 10.1016/j.psep.2019.03.010.
- [13] SHAMSABADI, H., RASHIDI, S., ESFAHANI, J.A., and KESHMIRI, A., “*Condensation in the Presence of Non-Condensable Gases in a Convergent 3D Channel*,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 152, p. 119511, 2020, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119511.
- [14] CAO, J., PEI, G., BOTTARELLI, M., CHEN, C., JIAO, D., and LI, J., “*Effect of Non-Condensable Gas on the Behaviours of a Controllable Loop Thermosyphon Under Active Control*,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 146, pp. 288–294, 2019, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.09.132.
- [15] S. KIM and K. J. KIM, “*Dropwise Condensation Modeling Suitable for Superhydrophobic Surfaces*,” *J. Heat Transfer*, vol. 133, no. 8, p. 081502, 2011, <https://doi.org/10.1115/1.4003742>