

## Pengaruh Geometri Evaporator Terhadap Tekanan dan Temperatur pada siklus Refrigerasi Uap Standar

Kennedy M, Khairil Anwar, Ari Surlianto  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tadulako  
Kampus Bumi Tadulako Tondo, Palu 94117, Indonesia  
E-mail: [k\\_edy\\_m@yahoo.com](mailto:k_edy_m@yahoo.com), [edymarsan@gmail.com](mailto:edymarsan@gmail.com)

### Abstrak

Penurunan tekanan pada evaporator dipengaruhi oleh banyak faktor yang berhubungan dengan desain dan operasi, meliputi gesekan pada permukaan pipa dan bentuk dari lekukan pipa evaporator yang memiliki pengaruh terhadap penurunan tekanan yang keluar dari evaporator. Aliran yang sangat turbulen terjadi di belokan pipa evaporator menyebabkan penghambatan tetesan cairan, meningkatkan penurunan tekanan, sehingga meningkatkan perpindahan panas pada daerah belokan. Penelitian ini di maksudkan, untuk mengetahui pengaruh variasi susunan dan lengkungan (geometri) pipa evaporator terhadap perbedaan tekanan dan temperatur evaporator pada sebuah sistem pendingin siklus uap standar. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Pendingin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tadulako, pada sistem refrigerasi uap standar dengan tiga variasi lekukan dan bentuk susunan pipa evaporator, yaitu lekukan bersudut 90°, 180° dan 360°. Pipa evaporator di buat dari pipa tembaga tanpa sirip, berdiamater 10 mm sepanjang 480 cm untuk tiap variasi. Evaporator di letakkan pada sebuah kabinet pendingin (cool box) tanpa menggunakan blower, temperatur dan kelembaban kabinet seragam untuk awal pengamatan ke tiga variasi pengujian yaitu 29°C dan RH 96%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari ketiga variasi pengujian, menghasilkan perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ) evaporator yang hampir seragam yaitu berada pada kisaran 0,1 bar hingga 0,2 bar. Seiring waktu pengamatan, selama 1 jam untuk tiap variasi, tekanan pada evaporator dengan lekukan 180° cenderung mengalami peningkatan dari 1,5 bar hingga 1,8 bar, temperatur dinding pipa bagian luar -2°C hingga -0,8°C, temperatur evaporasi -14,4°C. Tekanan evaporator dengan lekukan 90° juga mengalami peningkatan dari 1,4 hingga 1,6 dengan temperatur dinding luar pipa -2,8°C hingga -2,1°C, dan temperatur evaporasi -19,6°C. Hal yang berbeda tampak pada susunan pipa evaporator dengan lekukan 360°, tekanan menurun dari 1,4 hingga 1,2 bar, sementara temperatur dinding luar pipa berada antara -3,5°C hingga -5,9°C, temperatur evaporasi mencapai -20,5°C disertai dengan ketebalan lapisan bunga es yang relatif lebih tebal dibandingkan dengan dua jenis lekukan yang lain.

Hal ini menunjukkan bahwa lengkungan pipa evaporator berpengaruh terhadap aliran refrigeran, dimana pada bentuk evaporator dengan kelengkungan pipa 360° akan menyebabkan refrigeran akan mengalir berputar dan membentuk aliran turbulen disepanjang pipa evaporator yang pada akhirnya akan menghasilkan penurunan temperatur dan tekanan yang lebih besar, namun meski demikian penurunan tekanan akan menyebabkan naiknya kerja kompresor dan menurunkan COP.

**Keyword:** Refrigerasi, Evaporator, tekanan, temperatur, COP.

### Pendahuluan

Salah satu komponen utama dari sistem refrigerasi uap standar adalah evaporator. Evaporator berfungsi sebagai alat perpindahan kalor yang menyerap kalor dari lingkungan dan refrigeran berubah fase dari cairan menjadi uap. Pada siklus uap standar, tekanan yang masuk ke evaporator sama dengan tekanan yang keluar atau tidak terjadi penurunan tekanan akan tetapi, pada daur nyata terjadi penurunan tekanan hal ini diakibatkan karena bentuk pipa dan adanya gesekan antara refrigeran dengan dinding pipa. Dari penurunan tekanan ini, akan berpengaruh terhadap

kerja kompresor dimana kompresi pada titik masuk dan keluarnya memerlukan lebih banyak kerja dibandingkan dengan daur uap standar.

Kinerja evaporator dipengaruhi oleh banyak faktor yang berhubungan dengan desain dan operasi. Faktor-faktor ini meliputi bentuk dan dimensi penukar kalor, jenis permukaan perpindahan panas sisi refrigeran dan sisi udara, jarak antar sirip, *tube pitch*, *pitch* baris kedalaman, desain sirkuit pendingin, dan distribusi kecepatan aliran udara di atas permukaan bagian depan dari penukar kalor. Biasanya dalam perancangan koil, dimensi luar

disesuaikan dengan ruang instalasi yang tersedia, dan sebagian besar parameter lainnya dibebankan pada insinyur desain berdasarkan pengalaman dalam praktek di industri, misalnya, terkait dengan permukaan perpindahan panas atau spasi antar pipa. Oleh karena itu, dalam banyak kasus, proses optimasi penukar kalor berfokus pada identifikasi sirkuit refrigeran yang menyediakan kecepatan transfer panas maksimum untuk berbagai kondisi lingkungan yang diberikan.

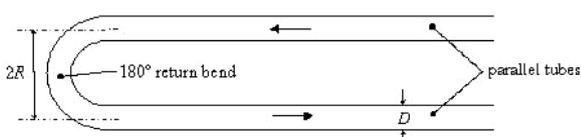
Banyak penelitian yang telah dilakukan terkait dengan bentuk dan susunan pipa evaporator, antara lain yang dikemukakan oleh Bensafi (1998) mengenai model komputasi untuk desain alat penukar kalor *finned-tube*. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kinerja jipipahalus dari koil dapat diprediksi dengan baik, pada fluks massa refrigeran kecil dan besar, dan di bawah kondisi basah dan kering. Kapasitas diprediksi jauh lebih rendah dari yang diukur, karena fakta

bahwa tabung berlekuk signifikan meningkatkan perpindahan panas refrigeran.

Penelitian lain terkait dengan desain evaporator dikemukakan oleh Domanski (2004), yang meneliti tentang optimasi desain *finned-tube evaporator* menggunakan model *learnable evolusi*. Desain yang diusulkan dengan menghilangkan belokan panjang yang tumpang tindih dan membuat beberapa perubahan kecil, di mana mayoritas belokan tidak dimodifikasi, dan pipa inlet dan outlet nyatetapsama. Hasil modifikasi menunjukkan kapasitas evaporator yang lebih baik.

Penelitian terkait dengan penurunan tekanan pada pipa evaporator, antara lain yang dikemukakan oleh Souza (1992), yang meneliti tentang penurunan tekanan aliran dua fasa refrigeran di dalam pipa halus horisontal. Sebuah fasilitas uji evaporator pipa tunggal dirancang dan dikembangkan untuk kebutuhan penyejuk udara dan pendingin sentral, yang mampu mengukur penurunan tekanan dan koefisien perpindahan panas dalam pipa. Pola aliran yang diamati terutama annulus..

Domanski (2006), meneliti tentang tentang penyesuaian korelasi untuk penurunan tekanan dua fasa R-22 dan R410a di dalam pipa belokan 180°.



Gambar 1. Skemadaribelokan 180 °

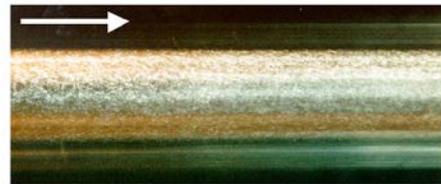
Domanski mengemukakan korelasi baru untuk penurunan tekanan aliran dua fasa pada lekukan 180°, didasarkan pada total 241 titik data eksperimental

untuk R-22 dan R-410A dari dua studi independen. Korelasi terdiri dari penurunan tekanan aliran dua fasa untuk pipa lurus dan *multiplier* yang dihitung pada kelengkungan belokan.

Lagos (2008), melakukan pengamatan dan analisa aliran dua fasa dari proses pendidihan refrigeran R600A (Isobutane) pada evaporator pipa horisontal.

Refrigeran dua-fasemasukevaporator dan keluar dalam wujud uap panas lanjut.

Kualitas uap meningkat seiring dengan penguapan, kecepatan uap meningkat menyebabkan peningkatan kekuatan gangguan permukaan dan pola aliran dua-fasa yang berbeda. Pola aliran perubahan fase diamati pada *tubular evaporator*, yang tersusun dari 16-baris trombon berbentuk koil kacatransparan dengan belokan 180°. Visualisasi aliran dengan teknik fotografi kecepatan tinggi menunjukkan aliran yang sangat turbulen terjadi dalam aliran annular, di mana seluruh pinggiran dalam pipa ditutupi dengan cairan film tipis, menunjukkan bukti dari sejumlah besar tetesan cairan terperangkap dalam inti uap. Hal ini karena endapan yang disebabkan oleh pendidihan dan geseran uap yang kuat di bagian dalam lingkaran.



Gbr. 2. Annular fil boiling

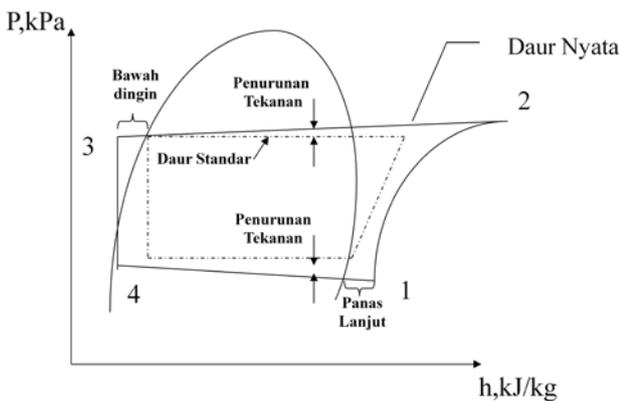
Aliran yang sangat turbulen terjadi di belokan 180° menyebabkan penghambatan tetesan cairan, meningkatkan penurunan tekanan, sehingga meningkatkan perpindahan panas pada daerah belokan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa bagian belokan berkontribusi untuk mentransfer panas yang lebih besar dalam koil evaporator.

Kebanyakan evaporator pada sistem pendingin untuk pengkondisian udara digunakan evaporator jenis koil dengan pendingin udara yang berbentuk lekukan 180°. Geometri pipa evaporator memiliki pengaruh terhadap penurunan tekanan yang keluar dari evaporator, aliran yang sangat turbulen terjadi di belokan menyebabkan penghambatan tetesan cairan, meningkatkan penurunan tekanan, sehingga meningkatkan perpindahan panas pada daerah belokan. Atas dasar inilah penelitian ini dimaksudkan, dengan pengaruh bentuk susunan pipa evaporator yang di variasikan akan dapat dilihat seberapa besar perbedaan tekanan dan temperatur yang terjadi pada masing – masing evaporator tersebut. Maka pada penelitian ini akan dilakukan pemasangan geometri pipa evaporator dengan lekukan 180°, 90° dan 360°.

### Siklus Refrigerasi Uap Standar

Siklus kompresi uap aktual berbeda dari siklus

standard (teoritis). Perbedaan ini muncul karena asumsi – asumsi yang ditetapkan dalam siklus standar. Pada siklus aktual terjadi superheat atau pemanasan lanjut uap refrigeran yang meninggalkan evaporator sebelum masuk ke kondensor. Pemanasan lanjut ini terjadi akibat tipe peralatan ekspansi yang digunakan atau dapat juga karena penyerapan panas dijalur masuk (*suction line*) antara evaporator dan kompresor. Pemanasan lanjut yang terjadi pada evaporator juga merupakan sesuatu yang menguntungkan karena peristiwa ini dapat mencegah refrigeran yang masih dalam fase cair memasuki kompresor. Begitu juga dengan refrigeran cair mengalami *subcooling* pendinginan lanjut atau bawah dingin sebelum masuk katup ekspansi atau pipa kapiler. Pendinginan lanjut yang terjadi pada kondensor merupakan peristiwa yang normal dan menguntungkan karena dengan adanya proses ini maka refrigeran yang memasuki katup ekspansi seluruhnya dalam keadaan cair, sehingga menjamin efektifitas alat ini.



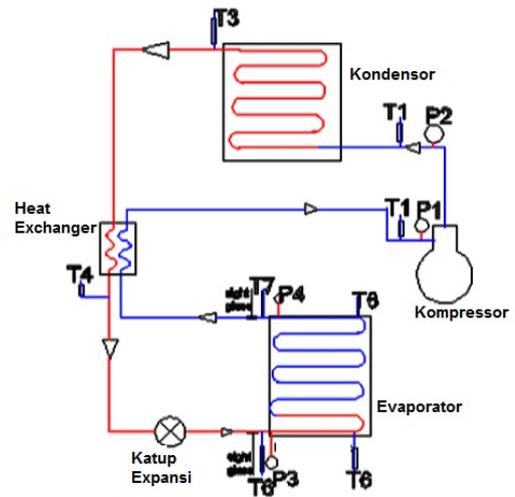
Gambar 3. Daur kompresi uap nyata

Perbedaan yang penting antara daur nyata (aktual) dan standar terletak pada penurunan tekanan didalam kondensor dan evaporator. Daur standar dianggap tidak mengalami penurunan tekanan pada kondensor dan evaporator, tetapi pada daur nyata terjadi penurunan tekanan karena adanya gesekan antara refrigeran dengan dinding pipa. Akibat dari penurunan tekanan ini, kompresi pada titik 1 dan 2 memerlukan lebih banyak kerja dibandingkan dengan daur standar (Stoecker, 1989)

**Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan**

Dalam penelitian ini digunakan metode Eksperimental, dengan menggunakan tiga variasi geometri pipa evaporator lekukan 180°, 90° dan 360°. Selanjutnya dilakukan pengukuran temperatur dan tekanan untuk mengetahui perbedaan temperatur dan tekanan yang terjadi pada evaporator dan kerja dari sistem pendingin. Tempat penelitian dilakukan di Lab Pendingin Jurusan Teknik Mesin Universitas Tadulako.

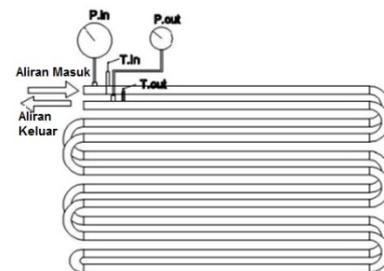
Dalam penelitian ini digunakan sistem pendingin siklus kompresi uap focus 802.



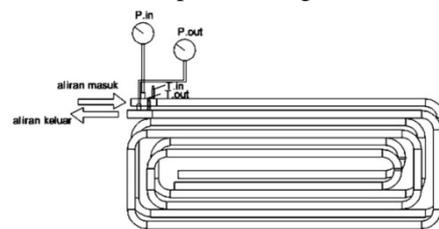
Gambar 4. Skema alat Uji

Bahan yang di gunakan :

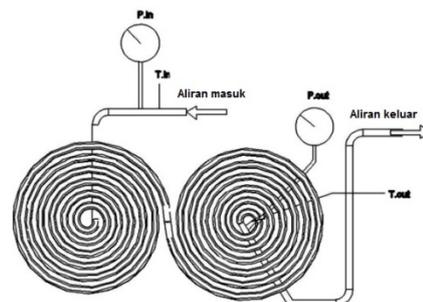
- Refrigeran R-134a
- Pipa tembaga Ø 10 mm, L 480 cm
- model coil evaporator tanpa sirip dengan sudut masing – masing 180°, 90° dan 360°. Dengan luas penampang yang sama.
- Refrigeran R-134a



Gambar 5. skema evaporator dengan lekukan 180°



Gambar 6. skema evaporator dengan lekukan 90°



Gambar 7. skema evaporator dengan lekukan 360°

Alat ukur:

Thermokople tipe K, Infra red thermometer, *Pressure gauge*

#### Prosedur Pengambilan Data

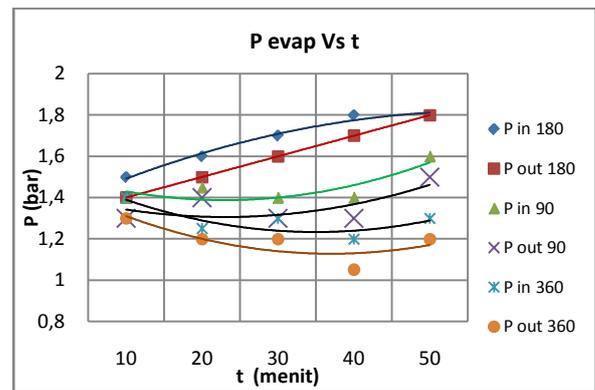
Pemeriksaan seluruh peralatan uji dan perlengkapannya merupakan langkah pertama yang harus dilakukan untuk menjaga keamanan dan keselamatan baik penguji maupun peralatan uji. Hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain :Memeriksa kondisi mesin mesin berfungsi dengan baik, suplai listrik yang diperlukan oleh peralatan uji kondisi di dalam evaporator, fan kondensor serta kebersihan sirip-sirip kondensor, pipa-pipa refrigeran, peralatan ukur yang akan digunakan didalam pengambilan data apakah berfungsi dengan baik, dan terakhir efrigeran dalam sistem di isi sama untuk setiap model pengujian sebesar 200 gram.

Setelah pemeriksaan alat uji dilanjutkan dengan pengambilan data, dengan tahapan sebagai berikut:

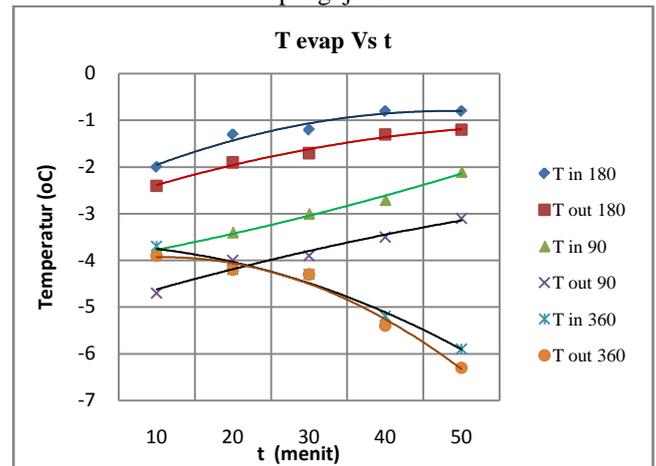
- Menentukan pengamatan pada bentuk evaporator standar ( $180^\circ$ ).
- Menutup evaporator dengan coldbox
- Mencatat kondisi awal: Temperatur udara sekitar, Temperatur coldbox, Tekanan pada peralatan uji
- Menunggu beberapa saat sampai tercapai kondisi stabil.
- Mencatat data :Temperatur refrigeran dititik  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$  dan  $T_6$ , Tekanan refrigeran dititik  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , dan  $P_4$ , Temperatur udara masuk dan keluar kondensor, Kecepatan udara pada saluran udara masuk kondensor.
- Mengulang langkah c-e sebanyak 5 kali setiap 10 menit.
- Mengganti alat uji dengan evaporator bentuk sudut  $90^\circ$
- Mendinginkan mesin
- Mengulang langkah c-f dan h pada peralatan uji
- Mengganti alat uji dengan evaporator bentuk sudut  $360^\circ$
- Mengulang langkah c-f pada peralatan uji

#### Hasil dan Pembahasan

Pengaruh geometri terhadap tekanan dan temperatur masuk dan keluar evaporator terhadap waktu pengujian dapat dilihat pada gambar 8 dan 9 berikut



Gambar 8. Grafik Tekanan evaporator terhadap waktu pengujian



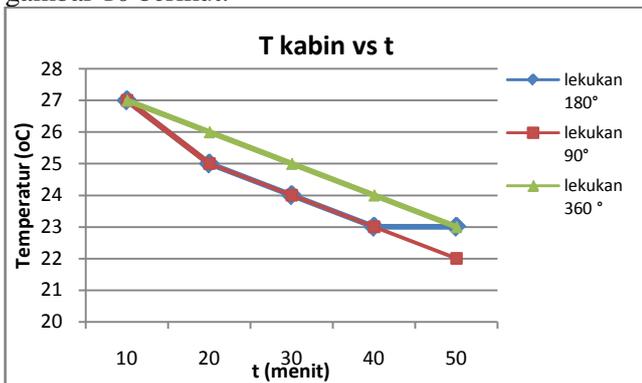
Gambar 9. Grafik Temperatur evaporator terhadap waktu dari ke tiga pengujian

Dari grafik diatas terdapat nilai yang berbeda dari dua variabel tersebut, tampak bahwa tekanan evaporator tertinggi berada pada geometri dengan lengkungan  $180^\circ$ , dan cenderung mengalami peningkatan dari 1,5 hingga 1,8 bar dengan perbedaan tekanan antara masuk dan keluar  $\Delta P$  sebesar 0,1 bar. Hal ini merupakan pengaruh geometri pipa evaporator, dimana jarak antara setiap lekukan sama sehingga aliran tidak seluruhnya menjadi turbulen, selain hal tersebut serapan kalor dari lingkungan ke refrigeran masih berlangsung hal ini di tunjukkan dari grafik temperatur masuk dan keluar evaporator dengan lengkungan  $180^\circ$  dimana terjadi kenaikan temperatur, seiring waktu mulai dari  $-2^\circ\text{C}$  hingga  $-0,8^\circ\text{C}$ .

Kecenderungan naiknya tekanan juga terjadi pada lekukan  $90^\circ$  meski tidak begitu tajam dari 1,4 bar pada menit 10 hingga menjadi 1,6 bar pada menit 50.  $\Delta P$  yang terjadi pada evaporator ini dikarenakan adanya kehilangan karena gesekan refrigeran pada dinding pipa dan belokan. Kisaran perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ) berada pada 0,1 bar. Kenaikan tekanan pada lekukan  $180^\circ$  selama unit dijalankan dikarenakan pada evaporator ini jarak antara lekukan semakin pendek, menyebabkan kecepatan aliran melintasi pipa semakin cepat, sehingga tekanan cenderung lebih rendah dibandingkan dengan evaporator lekukan  $180^\circ$ . Sementara temperatur pada evaporator juga mengalami perubahan yang menunjukkan serapan

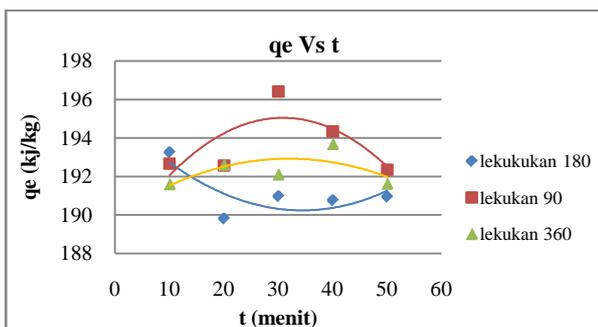
kalor juga masih berjalan.

Perbedaan yang cukup besar terjadi pada geometri pipa evaporator lekukan  $360^{\circ}$ , dimana tekanan masuk dan keluar tekanan pada evaporator cenderung mengalami penurunan membantuk garis polynomial yang diikuti oleh penurunan temperatur masuk dan keluar dari evaporator. Hal ini dikarenakan geometri dari evaporator dengan lekukan  $360^{\circ}$  jari – jari pipa semakin mengecil sehingga kecepatan aliran refrigeran yang melintasi pipa semakin cepat dan terus berputar, mengakibatkan tekanan aliran refrigeran dalam pipa semakin menurun. Rendahnya temperatur dan tekanan ini menyebabkan *frost line* pada sisi bagian luar evaporator evaporator dengan lekukan  $360^{\circ}$  relatif lebih tebal dibandingkan dengan lekukan  $180^{\circ}$  dan  $90^{\circ}$  yang berdampak pada jumlah serapan kalor ke refrigeran semakin sedikit, akibat dari evaporator tidak dilengkapi blower sehingga tidak ada sirkulasi udara yang mengalir melintas pipa evaporator dengan cepat. Efek dari serapan kalor untuk ketiga jenis evaporator dapat dilihat dari penurunan temperatur ruang pendingin (kabin) pada gambar 10 berikut.



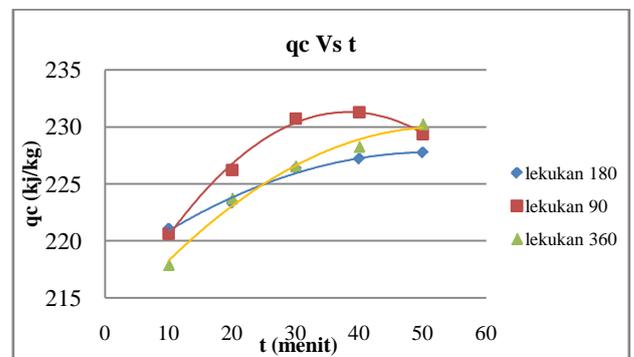
Gambar 10. Penurunan Temperatur Ruang Pendingin

Dampak evaporasi terhadap waktu pengujian tampak pada gambar 11. Dimanaterlihat bahwa pada menit ke 10 dampak refrigerasi untuk evaporator bentuk standar lekukan  $180^{\circ}$  adalah sebesar 193,257 kJ/kg, lebih besar bila dibandingkan dengan evaporator bentuk lekukan  $90^{\circ}$  dengan nilai 192,668 kJ/kg dan bentuk lekukan  $360^{\circ}$  dengan nilai 191,629 kJ/kg.



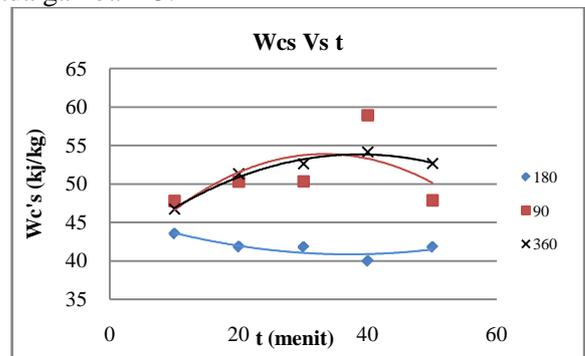
Gambar 11. Grafik Dampak refrigerasi terhadap waktu

Sementara dampak refrigerasi bentuk lekukan  $90^{\circ}$  mengalami kenaikan membentuk garis polynomial sampai pada menit 40 dan turun pada menit ke 50, lebih tinggi bila dibandingkan dengan evaporator bentuk lekukan  $360^{\circ}$  dan  $180^{\circ}$ . Hal ini dipengaruhi oleh geometri evaporator dan tidak bersirkulasinya udara pada pipa evaporator, temperatur evaporator dengan bentuk lekukan  $90^{\circ}$  pada sisi masuk kompresor lebih tinggi bila dibandingkan dengan evaporator bentuk lekukan  $360^{\circ}$  dan bentuk lekukan  $180^{\circ}$  sehingga selisih enthalpi semakin besar. Sementara untuk evaporator bentuk lekukan  $180^{\circ}$  menurun dari menit ke 20 sampai 50 membentuk garis polynomial. Hal ini dikarenakan entalpi pada sisi masuk evaporator semakin besar sementara entalpi pada sisi keluar evaporator masuk kompresor cenderung konstan sehingga dampak refrigerasi yang terjadi pada evaporator bentuk lekukan  $180^{\circ}$  menurun.



Gambar 12: Grafik pelepasan kalor pada kondensor terhadap waktu

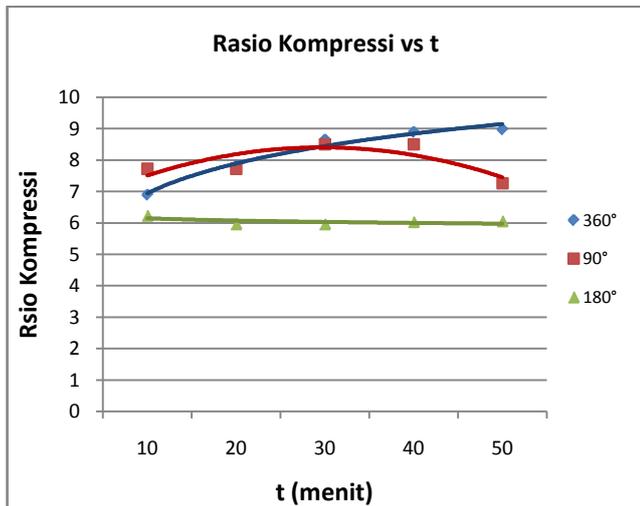
Efek dari serapan kalor yang di lepaskan oleh kondensor tampak pada gambar 12, dimana pelepasan kalor tertinggi terjadi pada geometri dengan lekukan  $90^{\circ}$  disusul oleh lekukan  $180^{\circ}$  dan  $360^{\circ}$ , hal ini merupakan pengaruh dari beban kompresor yang berbeda untuk tiap pengujian seperti yang tampak pada gambar 13.



Gambar 13. Grafik kerja kompresi terhadap waktu

Jika diambil rata-rata, tampak bahwa evaporator dengan kelengkungan  $360^{\circ}$  menyebabkan kerja kompresor lebih besar dibandingkan dengan evaporator bentuk standar lekukan  $180^{\circ}$  dan  $90^{\circ}$ . Hal ini disebabkan karena aliran dua fasa refrigeran pada

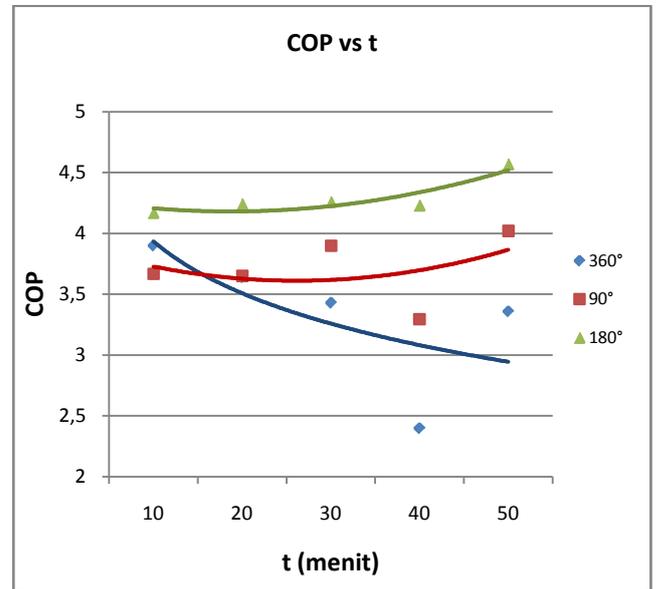
lengkungan 360° akan bergerak perputar atau turbulen di sepanjang pipa yang menyebabkan rendahnya tekanan dan temperatur refrigerant dibandingkan pada kedua jenis geometri lainnya, sehingga kompresor akan bekerja lebih berat, hal ini terlihat pula dari rasio kompresi pada gambar 14. Tampak bahwa rasio kompresi untuk geometri dengan kelengkungan 360° cenderung mengalami peningkatan, demikian pula pada susunan evaporator dengan kelengkungan 90°



Gambar 14. Rasio Kompresi terhadap waktu

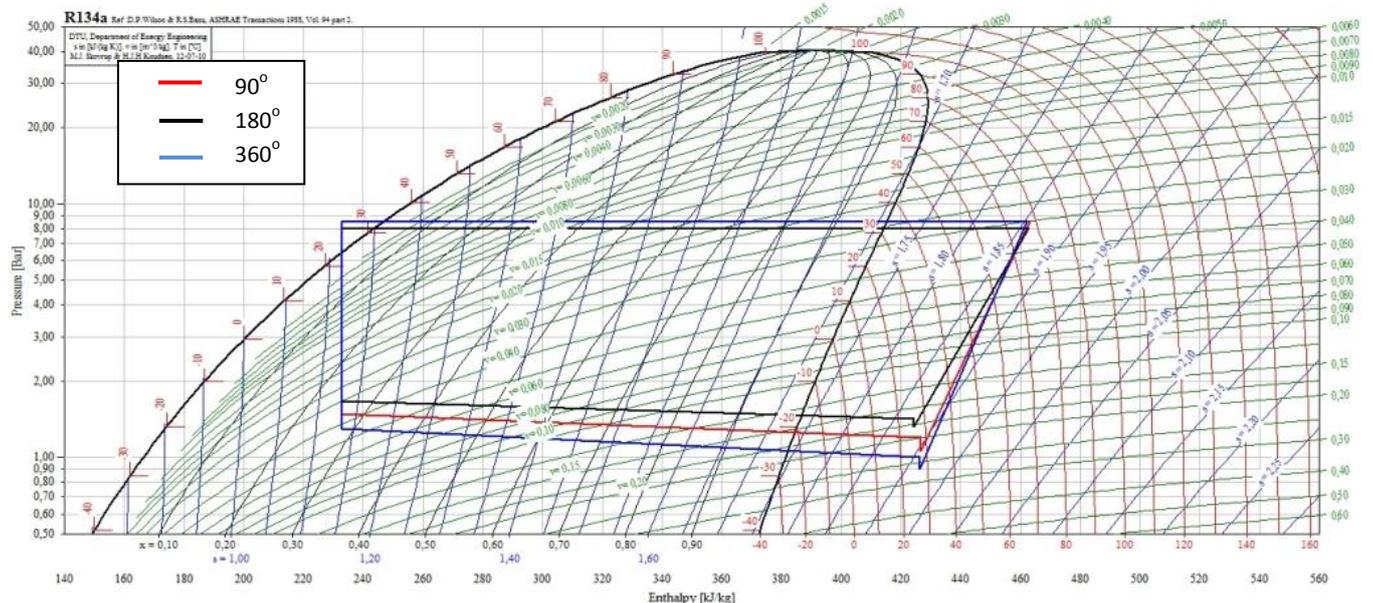
Karena temperatur keluar kompresor makin tinggi, sehingga perbedaan temperatur refrigeran dan temperatur lingkungan akan semakin besar. Menyebabkan temperatur masuk kondensor menjadi cenderung naik dengan asumsi entalpi refrigeran yang masuk katup ekspansi tetap konstan sehingga nilai  $h_2 - h_3$  cenderung naik. Kenaikan ini dikarenakan oleh entalpi uap sebelum masuk kompresor yang makin besar pada temperatur keluar evaporator yang makin tinggi.

Konsep COP atau koefisiensi prestasi sama dengan efisiensi yang menyatakan perbandingan jumlah hasil yang diinginkan dengan pengeluaran. Nilai dari COP berbanding lurus dengan dampak refrigerasinya dan berbanding terbalik dengan kerja kompresinya.



Gambar 15. Grafik COP terhadap waktu

Dari gambar 4.15 terlihat bahwa seiring dengan berjalanya waktu pengujian, coefesien of performace (COP) pada evaporator dengan lekukan 180° mengalami kenaikan dari 4,17 hingga 4,568, berbeda pada kondisi dengan evaporator dengan bentuk lekukan 90° dan 360. Menurunnya nilai COP ini merupakan dampak dari serapan kalor evaporator dan kerja kompresor.



Gambar 16. Diagram P-h rata – rata sistem

Gambar 16 menunjukkan diagram P-H rata-rata untuk ketiga jenis evaporator, terlihat bahwa pengaruh dari pusaran aliran pada geometri 360° memberikan menyebabkan turunnya tekanan dan temperatur pada evaporator, ini tentunya memberikan dampak refrigerasi yang semakin besar, namun disisi lain akan memberikan beban kerja yang lebih besar bagi kompressor.

### Kesimpulan

Dari hasil analisa data pengujian dan perhitungan yang telah dibuat maka dapat diambil kesimpulan:

1. Lengkungan dan geometri evaporator akan berpengaruh terhadap tekanan dan temperaturnya dimana geometri dengan lekukan 360° dan 90° akan menyebabkan aliran dua fasa refrigeran akan bergerak berputar dan membentuk aliran turbulen sehingga menyebabkan turunnya tekanan dan temperatur yang lebih besar di sepanjang pipa evaporator, namun meski demikian akan menyebabkan kerja kompressor menjadi lebih berat yang berdampak pula pada *Coeffisien of Performance* (COP) sistem refrigerasi tersebut.
2. Kerja kompresi yang dihasilkan dari ketiga pengujian ini. Seiring berjalanya waktu pengujian evaporator dengan lekukan 90° dan 360° semakin meningkat, sementara pada Evaporator lekukan 180° mengalami penurunan.
3. Coeffisien of performance COP dari ketiga pengujian tersebut didapat nilai COP rata – rata dengan nilai tertinggi terjadi pada evaporator lekukan 180° dengan nilai 4,576 sedangkan untuk 90° dan 360° masing – masing 4,02 dan 3,9.

### Saran

Diharapkan pada penelitian selanjutnya geometri ini menggunakan sirip dan kipas, agar dapat diketahui lebih jauh seberapa besar pengaruh geometri evaporator terhadap kerja sistem refrigerasi.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala laboratorium Teknik Pendingin jurusan Teknik mesin Universitas Tadulako beserta staf atas fasilitas dan bantuan yang telah diberikan selama melakukan penelitian ini.

### Nomenklatur

$Q$  laju aliran kalor ( kJ/s )  
 $h$  enthalpi (kJ/kg)

$\dot{m}$  laju aliran massa (kg/s)  
 $P$  pressure (bar)  
 $T$  temperatur (T)

### Greek letters

$\rho$  density (kg/m<sup>3</sup>)

### Subscripts

1,2...4 titik pengamatan  
c compressor  
cond condensor  
e evaporator  
in inlet  
out outlet  
ref refrigeran  
ud udara

### Referensi

Bensafi, S. Borg, Design And Simulation Of Finned-Tube Heat Exchangers Using Pure And Mixed Refrigerants. Belgium, Proceedings of Clima 2000 Conference, held Brussels (1997).

Domanski, Yashar, Kaufman, and Michalski., An Optimized Design of Finned-Tube Evaporators Using the Learnable Evolution Model, HVAC&R RESEARCH volume 10, number 2. (2004).

Domanski, Hermes., An Improved Correlation For Two-Phase Pressure Drop Of R-22 And R-410a In 180° Return Bends, Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. ABCM, Curitiba, Brazil, (2006).

Lagos, James, Missenden, Observation and Analysis of Two Phase Flow of Boiling Refrigerant R600a Inside Horizontal Tubes, School of Engineering Systems and Design, South Bank University, 103 Borough Road London SE1 0AA. (1999).

Souza., Pressure Drop During Two-Phase Flow of Refrigerants in Horizontal Smooth Tubes. ACRC Technical Report-25, University of Illinois at Urbana-Champaign, (1992)

Stoecker, Wilbert F. Jerold W. Jones. Terjemahan Supratman Hara. *Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara*, Edisi Kedua, Jakarta: Penerbit Erlangga. (1989)