

## Penentuan Panjang Pipa Kapiler Menggunakan Metode Analisis Komputasi Drop Tekanan

Ananda Anggis Khofifah<sup>1,\*</sup>, Windy Hermawan Mitrakusuma<sup>2</sup>, Annisa Syafitri Kurniasetiawati<sup>3</sup>, Nani Yuningsih<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : <sup>1,\*</sup>ananda.anggis.tptu419@polban.ac.id; <sup>2</sup>windyhm@polban.ac.id; <sup>3</sup>annisa.syafitrik@polban.ac.id;

<sup>4</sup>nani.yuningsih@polban.ac.id

### ABSTRAK

Pipa kapiler merupakan salah satu komponen penting sistem refrigerasi. Untuk mengaplikasikannya, dibutuhkan panjang pipa yang tepat. Pada studi ini akan dilakukan penentuan panjang pipa kapiler menggunakan suatu algoritma dari metode analisis komputasi drop tekanan dan formula dari *Reference Thermodynamic and Transport Properties* (REFPROP) dengan menginput parameter-parameter penting, sebagai bahan pembanding apakah algoritma tersebut dapat menghasilkan panjang pipa kapiler yang sama atau mendekati hasil seleksi panjang pipa menggunakan *software* selektor dan tabel seleksi yang telah ada. Untuk mendapatkan panjang pipa kapiler dilakukan komputasi dari algoritma eksisting dengan mengubah nilai dari beberapa parameter, yaitu rentang kapasitas pendinginan 0,15 kW – 0,25 kW; diameter dalam pipa kapiler sebesar 0,026 inch, 0,031 inch, dan 0,036 inch; rentang temperatur evaporasi (-25°C) - 10°C; rentang temperatur kondensasi  $\geq 25^{\circ}\text{C}$  - 5°C; dan refrigeran yang diujikan adalah R22 dan R404A. Nilai parameter didapatkan dari *software* REFPROP dengan berdasarkan selisih penurunan temperatur sebanyak 1°C. Dari perhitungan akan diperoleh panjang pipa kapiler, yang kemudian ditampilkan pada tabel koreksi pipa kapiler. Dengan rentang panjang pipa mulai dari 0,7 m – 11 m. Untuk memvalidasi hasil perhitungan dilakukan analisis persentase *error* dengan membandingkan panjang pipa hasil perhitungan dengan algoritma baru dan aplikasi *CapSel*. Didapatkan hasil *error* terkecil 0,82% dan *error* terbesar 158,62%.

### Kata Kunci

Pipa kapiler, sistem refrigerasi, analisis komputasi

### 1. PENDAHULUAN



Gambar 1. Pipa Kapiler

Pipa kapiler ini merupakan komponen yang dapat mengontrol laju refrigeran pada sistem refrigerasi yang paling sederhana [1]. Pipa kapiler berfungsi sebagai komponen yang dapat menurunkan tekanan kerja dari refrigeran yang keluar dari kondensator menuju ke komponen evaporator, sehingga tekanan kerja dan temperatur evaporasinya menjadi rendah ketika memasuki evaporator, hal tersebut akan mengakibatkan temperatur sekeliling koil evaporatornya juga akan menjadi rendah pula.

Pipa kapiler umumnya digunakan pada hampir seluruh jenis sistem refrigerasi yang berkapasitas kecil. Penerapan dari penggunaan pipa kapiler ini dapat diterapkan hingga

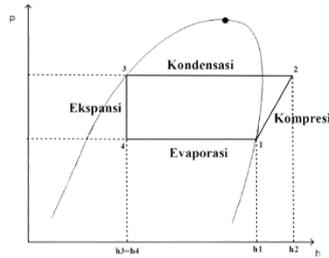
kapasitas pendinginan sistem sebesar 10 kW. Sebuah pipa kapiler pada umumnya memiliki panjang berkisar 1 m – 6 m; dengan ukuran diameter dalamnya berkisar 0,5 mm – 2 mm [2].

Pipa kapiler yang terlalu pendek dari kebutuhan sistem akan menyebabkan temperatur evaporasinya menjadi terlalu tinggi ketika memasuki evaporator. Sebaliknya, jika pipa kapiler terlalu panjang maka temperatur evaporasinya menjadi terlalu rendah.

Penentuan panjang pipa kapiler akan dilakukan berdasarkan persamaan dan algoritma eksisting [2] yang dibuat dalam *software excel*. *Software excel* tersebut terhubung dengan *software* REFPROP. Berdasarkan persamaan dan algoritma eksisting tersebut, maka diperoleh nilai panjang pipa kapiler yang akan disajikan pada tabel koreksi panjang pipa kapiler, yang kemudian akan didapatkan besar selisih *error* dari hasil persamaan dan algoritma eksisting dengan hasil algoritma *software* selektor pipa kapiler yakni *software CapSel* [3].

## 2. DASAR TEORI

Gambar 1 merupakan siklus refrigerasi kompresi uap, gambar siklus tersebut memperlihatkan bagaimana proses-proses pada sistem kompresi uap terjadi sepanjang siklus refrigerasi berlangsung, proses tersebut akan ditunjukkan ada diagram P-h di bawah ini.



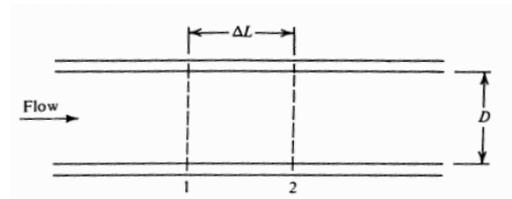
Gambar 2. Diagram P-h Siklus Refrigerasi

Dari gambar di atas diperoleh proses-proses yang terjadi selama siklus refrigerasi berlangsung, diantaranya [4],[5]:

1. Proses kompresi, dari titik 1 hingga titik 2.
2. Proses kondensasi, dari titik 2 hingga titik 3.
3. Proses ekspansi, dari titik 3 hingga titik 4.
4. Proses evaporasi, dari titik 4 hingga titik 1.

### 2.1 Metode Analisis Komputasi Drop Tekanan

Penentuan panjang pipa kapiler ini, menggunakan sebuah metode perhitungan rumus yang disebut sebagai metode analisis komputasi drop tekanan [2]. Perhitungan dengan metode analisis komputasi drop tekanan ini dilakukan untuk mencari jarak kondisinya yang digambarkan pada titik 1 hingga 2 pada Gambar 3.



Gambar 3. Penambahan Panjang Pipa Kapiler

Persamaan yang berlaku untuk mengatur volume yang dibatasi titik 1 dan titik 2:

$$w = \frac{V_1 A}{v_1} = \frac{V_2 A}{v_2} \quad (1)$$

$$\frac{w}{A} = \frac{V_1}{v_1} = \frac{V_2}{v_2} \quad (2)$$

Selanjutnya, persamaan kekekalan energi:

$$1000h_1 + \frac{v_1^2}{2} = 1000h_2 + \frac{v_2^2}{2} \quad (3)$$

Selanjutnya, persamaan kekekalan momentum:

$$\left[ (p_1 - p_2) - f \frac{\Delta L}{D} \frac{v^2}{2v} \right] A = w(V_1 - V_2) \quad (4)$$

Selanjutnya, persamaan perubahan fraksi uap:

$$h = h_f(1 - x) + h_g x \quad (5)$$

$$v = v_f(1 - x) + v_g x \quad (6)$$

Selanjutnya, persamaan penyederhanaan dari persamaan 2 dan 4:

$$\frac{\Delta L}{D} \frac{v^2}{2v} = f \frac{\Delta L}{D} \frac{V}{2A} \quad (7)$$

Selanjutnya, persamaan kecepatan rata-rata:

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (8)$$

Selanjutnya, persamaan faktor gesek:

$$f = \frac{0,33}{Re^{0,25}} = \frac{0,33}{\left(\frac{vD}{\mu v}\right)^{0,25}} \quad (9)$$

Selanjutnya, persamaan viskositas dua fasa:

$$\mu = \mu_f(1 - x) + \mu_g x \quad (10)$$

Selanjutnya, persamaan faktor gesek rata-rata:

$$f_m = \frac{f_1 + f_2}{2} = \frac{0,33/Re_1^{0,25} + 0,33/Re_2^{0,25}}{2} \quad (11)$$

### 2.2 Reference Thermodynamic and Transport Properties (REFPROP)

Software REFPROP ini digunakan dalam penentuan panjang pipa kapiler. Software ini memiliki formula tersendiri untuk dapat diolah data-datanya, berikut merupakan formula dari software REFPROP [6]:

=REFPROP(“parameter dicari”;”fluida kerja digunakan”;”parameter diketahui”;”satuan digunakan”;nilai parameter diketahui)  
(12)

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan pada studi ini adalah analisa penghitungan rumus dan algoritma eksisting untuk mendapatkan panjang pipa kapiler, yang nantinya akan dibandingkan hasilnya dari algoritma pada *software* selektor yang disajikan pada tabel koreksi yang telah disusun.

Metode penghitungan yang digunakan yaitu metode analisis komputasi drop tekanan. Yang kemudian akan dilakukan penyesuaian rumus dengan algoritma dari formula *software* REFPROP.

Setelah penyesuaian rumus dan formula berhasil, selanjutnya akan dibutuhkan parameter-parameter penting dalam proses penghitungan panjang, diantaranya sebagai berikut:

1. Kapasitas pendinginan 0,15 kW – 0,25 kW dari katalog pipa kapiler *Jhon Stone Supply*.
2. Diameter dalam 0,026 inch, 0,031 inch, dan 0,036 inch dari katalog pipa kapiler *Jhon Stone Supply*.
3. Jenis refrigeran R22 dan R404A.
4. Variasi temperatur kerja refrigeran, temperatur evaporasi pada rentang  $-25^{\circ}\text{C}$  -  $10^{\circ}\text{C}$ , dan temperatur kondensasi pada rentang  $\geq 25^{\circ}\text{C}$  -  $55^{\circ}\text{C}$ .
5. Tekanan kondensasi, tekanan evaporasi, entalpi fluida, entalpi gas, viskositas fluida, viskositas gas, dan volume spesifik diperoleh dengan formula REFPROP dengan memasukkan parameter yang tersedia.

Setelah itu, menyusun tabel koreksi panjang pipa kapiler yang berguna sebagai penyajian data dari hasil studi. Dilanjutkan melakukan proses seleksi menggunakan *software* selektor dengan menggunakan variasi dari nilai parameter yang telah ditentukan. Diakhiri dengan melakukan validasi antara hasil perhitungan persamaan dan algoritma eksisting dengan hasil *software* selektor.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengolahan Data Studi

*Sampling* data uji pada studi yang dilakukan ini, menggunakan variasi kapasitas 1/5 HP, 1/4 HP, dan 1/3 HP. Selain itu, menggunakan variasi dari diameter dalam pipa 0,026 inch; 0,031 inch; dan 0,036 inch. *Sampling* ini diujikan pada 2 jenis refrigeran, yakni refrigeran R22 dan refrigeran R404A. berikut ini merupakan tabel koreksi panjang pipa kapiler dari hasil uji studi.

Tabel 1. Data Uji Panjang Sistem Temperatur Rendah R22

R22 (Temperatur Evaporasi $-15^{\circ}\text{C}$ )		
Kapasitas Pendinginan (HP)	Inside Diameter (inch)	Panjang Pipa (m)
1/5	0,026	2,03
1/4		1,49
1/3		0,97
1/5	0,031	4,77
1/4		3,28
1/3		2,09
1/5	0,036	9,58
1/4		6,54
1/3		4,1

Dari tabel 1 dengan variasi refrigeran R22, temperatur kondensasi  $30^{\circ}\text{C}$  dan temperatur evaporasinya  $-15^{\circ}\text{C}$ . Diperoleh nilai panjang pipa kapiler terbesar 9,58 meter dan terkecil 0,97 meter.

Tabel 2. Data Uji Panjang Sistem Temperatur Rendah R404A

R404A (Temperatur Evaporasi $-15^{\circ}\text{C}$ )		
Kapasitas Pendinginan (HP)	Inside Diameter (inch)	Panjang Pipa (m)
1/5	0,026	1,57
1/4		1,11
1/3		0,75
1/5	0,031	3,46
1/4		2,4
1/3		1,55
1/5	0,036	6,91
1/4		4,74
1/3		2,99

Dari tabel 2 dengan variasi refrigeran R404A, temperatur kondensasi  $30^{\circ}\text{C}$  dan temperatur evaporasinya  $-15^{\circ}\text{C}$ . Diperoleh nilai panjang pipa kapiler untuk yang terbesar 6,91 meter dan terkecil 0,75 meter.

Tabel 3. Data Uji Panjang Sistem Temperatur Sedang R22

R22 (Temperatur Evaporasi $2^{\circ}\text{C}$ )		
Kapasitas Pendinginan (HP)	Inside Diameter (inch)	Panjang Pipa (m)
1/5	0,026	2,25
1/4		1,56
1/3		1,01
1/5	0,031	5,08
1/4		3,48
1/3		2,19

1/5	0,036	10,23
1/4		6,97
1/3		4,34

Dari tabel 3 dengan variasi refrigeran R22, temperatur kondensasi 35°C dan temperatur evaporasinya 2°C. Diperoleh nilai panjang pipa kapiler untuk yang terbesar 10,23 meter dan terkecil 1,01 meter.

Tabel 4. Data Uji Panjang Sistem Temperatur Sedang R404A

R404A (Temperatur Evaporasi 2°C)		
Kapasitas Pendinginan (HP)	Inside Diameter (inch)	Panjang Pipa (m)
1/5	0,026	1,58
1/4		1,11
1/3		0,73
1/5	0,031	3,51
1/4		2,42
1/3		1,55
1/5	0,036	7,04
1/4		4,82
1/3		3,03

Dari tabel 4 dengan variasi refrigeran R404A, temperatur kondensasi 35°C dan temperatur evaporasinya 2°C. Diperoleh nilai panjang pipa kapiler untuk yang terbesar 7,04 meter dan terkecil 0,73 meter.

Tabel 5. Data Uji Panjang Sistem Temperatur Tinggi R22

R22 (Temperatur Evaporasi 10°C)		
Kapasitas Pendinginan (HP)	Inside Diameter (inch)	Panjang Pipa (m)
1/5	0,026	2,41
1/4		1,66
1/3		1,06
1/5	0,031	5,45
1/4		3,72
1/3		2,34
1/5	0,036	10,99
1/4		7,48
1/3		4,66

Dari tabel 5 dengan variasi refrigeran R22, temperatur kondensasi 40°C dan temperatur evaporasinya 10°C. Diperoleh nilai panjang pipa kapiler untuk yang terbesar 10,99 meter dan terkecil 1,06 meter.

Tabel 6. Data Uji Panjang Sistem Temperatur Tinggi R404A

R404A (Temperatur Evaporasi 10°C)		
Kapasitas Pendinginan (HP)	Inside Diameter (inch)	Panjang Pipa (m)
1/5	0,026	1,61
1/4		1,12
1/3		0,74
1/5	0,031	3,58
1/4		2,46
1/3		1,57
1/5	0,036	7,19
1/4		4,91
1/3		3,08

Dari tabel 5 dengan variasi refrigeran R404A, temperatur kondensasi 40°C dan temperatur evaporasinya 10°C. Diperoleh nilai panjang pipa kapiler untuk yang terbesar 7,19 meter dan terkecil 0,74 meter.

#### 4.2 Validasi Pipa Kapiler Refrigeran R22

Tabel 7. Validasi Persentase Panjang Pipa Kapiler R22 Sistem Temperatur Rendah

R22 (Temperatur Evaporasi -15°C)		
Kapasitas Pendinginan (HP)	Inside Diameter (inch)	Selisih Persentase (%)
1/5	0,026	-10,94
	0,031	-2,80
	0,036	2,15
1/4	0,026	-20,16
	0,031	-10,07
	0,036	-3,97
1/3	0,026	-36,62
	0,031	-22,94
	0,036	-13,89

Pada sistem temperatur rendah R22 diperoleh nilai selisih *error* terbesarnya yakni 36,62% dan terkecilnya 2,15%. Perbedaan nilai negatif pada data tabel menunjukkan bahwa nilai panjang hasil perhitungan lebih besar dibanding hasil seleksi. Selisih persentase *error* yang diperoleh pada sistem ini tergolong kecil untuk kapasitas dibawah 1/3 HP, sehingga untuk variasi sistem ini metode analisis komputasi drop tekanan dapat dianjurkan untuk digunakan.

Tabel 8. Validasi Persentase Panjang Pipa Kapiler R22 Sistem Temperatur Sedang

R22 (Temperatur Evaporasi 2°C)		
Kapasitas Pendinginan (HP)	Inside Diameter (inch)	Selisih Persentase (%)
1/5	0,026	1,75
	0,031	7,97
	0,036	12,26
1/4	0,026	-6,12
	0,031	1,97
	0,036	6,94
1/3	0,026	-20,24
	0,031	-7,88
	0,036	-1,40

Pada sistem temperatur sedang R22 diperoleh nilai selisih *error* terbesarnya yakni 20,24% dan terkecilnya 1,40%. Selisih persentase *error* yang diperoleh pada sistem ini tergolong kecil untuk diameter dalam pipa diatas 0,026 inch, sehingga untuk variasi sistem ini metode analisis komputasi drop tekanan dapat dianjurkan untuk digunakan.

Tabel 9. Validasi Persentase Panjang Pipa Kapiler R22 Sistem Temperatur Tinggi

R22 (Temperatur Evaporasi 10°C)		
Kapasitas Pendinginan (HP)	Inside Diameter (inch)	Selisih Persentase (%)
1/5	0,026	0,82

	0,031	6,84
	0,036	11,08
1/4	0,026	-6,41
	0,031	1,06
	0,036	5,79
1/3	0,026	-19,10
	0,031	-8,84
	0,036	-2,64

Pada sistem temperatur tinggi R22 diperoleh nilai selisih *error* terbesarnya yakni 36,62% dan terkecilnya 2,15%. Selisih persentase *error* yang diperoleh pada sistem ini tergolong kecil, sehingga untuk variasi sistem ini metode analisis komputasi drop tekanan dapat dianjurkan untuk digunakan.

Dari data tabel-tabel variasi perhitungan pada jenis refrigeran R22, dapat disimpulkan bahwa penerapannya dapat digunakan untuk seluruh temperatur sistem yang ada, mulai dari sistem temperatur rendah hingga sistem temperatur tinggi. Namun, dengan syarat bahwa pada sistem temperatur rendah terdapat batasan kapasitas pendinginan maksimumnya pada 1/3 HP dan sistem temperatur sedang terdapat batasan besar diameter dalam pipanya 0,026 inch.

#### 4.3 Validasi Pipa Kapiler Refrigeran R404A

Tabel 10. Validasi Persentase Panjang Pipa Kapiler R404A Sistem Temperatur Rendah

R404A (Temperatur Evaporasi -15°C)		
Kapasitas Pendinginan (HP)	Inside Diameter (inch)	Selisih Persentase (%)
1/5	0,026	-145,31
	0,031	-123,23
	0,036	-111,31
1/4	0,026	-141,30
	0,031	-116,22
	0,036	-102,56
1/3	0,026	-158,62
	0,031	-118,31
	0,036	-100,67

Pada sistem temperatur rendah R404A diperoleh nilai selisih *error* terbesarnya yakni 158,62% dan terkecilnya 100,67%. Selisih persentase *error* yang diperoleh pada sistem ini sangat besar, sehingga untuk variasi sistem ini metode analisis komputasi drop tekanan tidak dianjurkan untuk digunakan ketika melakukan penentuan panjang pipa kapiler.

Tabel 11. Validasi Persentase Panjang Pipa Kapiler R404A Sistem Temperatur Sedang

R404A (Temperatur Evaporasi 2°C)		
Kapasitas Pendinginan (HP)	Inside Diameter (inch)	Selisih Persentase (%)
1/5	0,026	-79,55
	0,031	-64,79
	0,036	-56,44

1/4	0,026	-73,44
	0,031	-56,13
	0,036	-46,95
1/3	0,026	-73,81
	0,031	-53,47
	0,036	-41,59

Pada sistem temperatur rendah R404A diperoleh nilai selisih persentase *error* terbesarnya yakni 79,55% dan terkecilnya 41,59%. Selisih *error* yang diperoleh pada sistem ini masih tergolong besar, sehingga untuk variasi sistem ini metode analisis komputasi drop tekanan tidak dianjurkan untuk digunakan.

Tabel 12. Validasi Persentase Panjang Pipa Kapiler R404A Sistem Temperatur Tinggi

R404A (Temperatur Evaporasi 10°C)		
Kapasitas Pendinginan (HP)	Inside Diameter (inch)	Selisih Persentase (%)
1/5	0,026	-20,15
	0,031	-11,18
	0,036	-5,74
1/4	0,026	-14,29
	0,031	-4,68
	0,036	1,21
1/3	0,026	-15,63
	0,031	-1,95
	0,036	5,23

Pada sistem temperatur rendah R404A diperoleh nilai selisih *error* terbesarnya yakni 20,15% dan terkecilnya 1,21%. Selisih *error* yang diperoleh pada sistem ini tergolong kecil, sehingga untuk variasi sistem ini metode analisis komputasi drop tekanan dapat dianjurkan untuk digunakan ketika melakukan penentuan panjang pipa kapiler. Perbedaan nilai negatif pada data tabel menunjukkan bahwa nilai panjang hasil perhitungan lebih besar dibanding hasil seleksi.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil studi yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan yang diperoleh, yaitu:

1. Diperoleh panjang pipa dari hasil perhitungan dalam rentang panjang pipa 0,7 m – 11 m.
2. Diperoleh tabel koreksi panjang pipa kapiler yang dapat dianjurkan penggunaannya pada sistem temperatur rendah hingga tinggi untuk refrigeran jenis R22, dan sistem temperatur tinggi pada refrigeran jenis R404A.
3. Dari perbandingan dengan hasil seleksi *software Secop CapSel* diperoleh selisih persentase *error* terkecilnya 0,82%; dan persentase *error* terbesarnya 158,62%.

## 6. SARAN

Berdasarkan dari hasil studi yang telah dilakukan, terdapat saran yang diperoleh, diantaranya:

1. Jika dilakukan pengkajian lebih lanjut lagi, dapat diperoleh algoritma yang penerapan penggunaannya lebih luas lagi, yang memiliki selisih persentase *error* lebih kecil bahkan identic dengan hasil selektor.
2. Dapat diujikan pada jenis refrigeran lain yang umumnya digunakan pada sistem dengan alat ekspansi pipa kapiler.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Wahyudi, "Pipa Kapiler Refrigerator (Heat Exchanger)/Impedance Tube," *TPTUMETRO*, 2019. [Online]. Tersedia: <https://www.tptumetro.com/2019/07/pipa-kapiler-refrigerator-heat.html> [Diakses 03 Maret 2023].
- [2] W. F. Stoecker, J. W. Jones, *Refrigeration and Air Conditioning*. New York: McGraw Hill, 1982.
- [3] I. D. M. Susila, I. W. A. Subagia, I. M. Rasta, "Penentuan Ukuran Pipa Kapiler Dengan Program Aplikasi CapSel Versi 1.0 Pada AC Trainer Unit Jenis Ekspansi Langsung Dengan R-410A," *J. of Applied Mechanical Engineering and Green Technology*, 2022.
- [4] J. Eria, I. G. E. Lesmana, R. Camalia, "Analisis Multi Modular System Air Conditioning Pada Aplikasi Gedung Perkantoran Di Plaza SUA," *S. Nasional Pakar ke 2*, 2019.
- [5] K. Sumeru, *Buku Subcooling Pada Siklus Refrigerasi Kompresi Uap*. Deepublish, 2018.
- [6] I. H. Bell, E. Lemmon, *REFROP Documentation*. National Institute of Standards and Technology (NIST), 2018.