

## Komparasi Metode Estimasi Debit Air Chiller

Nofirman<sup>1</sup>; Yusuf Rasyid<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik PLN

<sup>1</sup>nofirman@sttpln.ac.id

### ABSTRACT

*In general, not all chiller is equipped with flow meter to measure the flow rate of condenser and evaporator because the investment cost of a flow meter is pretty much expensive. Because of this reason, in a few last year, some researches have developed a virtual flow meter (VFM). This paper compares two methods of VFM which use energy balance approach. The goal of this study is to find out the accuracy of each available method.*

**Keywords:** *Virtual Flow meter, Chiller, Faults detection and diagnosis*

### ABSTRAK

*Pada umumnya tidak semua chiller dilengkapi oleh alat ukur debit air (Flow meter) yang permanen untuk mengukur debit air kondensor dan evaporator. Hal ini dikarenakan mahalnya biaya investasi untuk pengadaan alat tersebut. Dikarenakan hal ini, dalam beberapa tahun terakhir dikembangkan alat ukur virtual untuk “mengukur” debit air pada kondensor dan evaporator. Alat ukur virtual ini dikenal dengan sebutan virtual flow meter (VFM). Untuk itu penelitian ini akan melakukan studi komparasi metode VFM yang menggunakan model kesetimbangan energi. Studi komparasi bertujuan untuk mengetahui keakuratan masing-masing metode VFM yang ada.*

**Kata kunci:** *Alat ukur aliran virtual, alat pengkondisi udara, mesin pendingin Indonesia*

## 1. PENDAHULUAN

Chiller merupakan sumber konsumsi energi terbesar untuk kebanyakan gedung komersial. Di banyak gedung komersial, chiller bisa mengkonsumsi listrik 40-60% dari total konsumsi listrik. Sebagaimana peralatan lainnya, semakin lama chiller beroperasi maka kinerja chiller akan menurun. Menurunnya kinerja chiller membuat chiller membutuhkan energi lebih banyak untuk menghasilkan beban pendinginan yang sama. Perbaikan kinerja akan menghasilkan penghematan energi yang cukup besar. Salah satu cara untuk mengembalikan kinerja adalah dengan tindakan pemeliharaan. Pemeliharaan yang tepat dalam jangka panjang dapat mengurangi atau mengendalikan konsumsi energi chiller [1]. Hal ini benar bila kita mengetahui apa yang harus dipelihara dan kapan melakukannya.

Terdapat dua jenis kegagalan; pertama adalah kegagalan yang terjadi secara acak (Random), kedua adalah kegagalan karena degradasi kinerja peralatan [2]. Kegagalan degradasi terjadi secara perlahan dan terus menerus dalam jangka panjang. Dalam jangka waktu pendek, sulit untuk mengetahui terjadinya degradasi atau penurunan kinerja suatu sistem. Pada chiller kegagalan degradasi kinerja dapat menyebabkan dua hal; turunnya kinerja chiller atau menurunnya beban pendinginan output chiller. Mengendalikan dua parameter tersebut (Kinerja dan beban pendingin) sangat penting dalam pengoperasian chiller yang andal dan efisien.

Penyebab kegagalan degradasi kinerja ini disebabkan oleh rendahnya level pemeliharaan dan monitoring chiller [3]. Tindakan pemeliharaan dan monitoring yang tepat dapat memperpanjang usia pakai chiller sampai dengan 50% [3]. Disisi lain, sebuah studi juga menyatakan bahwa pemeliharaan pada chiller dapat menghemat energi 20-30% [4]. Walaupun pemeliharaan yang dilakukan adalah hal sederhana seperti pembersihan kondensor dan evaporator, program pengolahan air baku yang baik, memonitor kebocoran refrigeran secara rutin [4].

Salah satu jenis kegagalan yang terjadi pada chiller adalah berkurangnya debit air kondensor dan evaporator. Berkurangnya debit air ini bisa disebabkan oleh banyak hal seperti tingkat fouling yang sangat parah sehingga menutupi lebih dari 50% luas penampang pipa-pipa kondensor dan evaporator, kerusakan pada valve, degradasi dari pompa sirkulasi air, dan tertutupnya jalur sirkulasi air oleh benda asing. Disisi lain, monitoring chiller diperlukan untuk mengetahui performa chiller dari waktu ke waktu. Jika ada penurunan performa chiller secara drastis maka perlu dilakukan antisipasi untuk mengembalikan kinerja chiller seperti semula. Kedua hal ini (Berkurangnya debit air dan monitoring kinerja chiller) membutuhkan data debit air pada kondensor dan evaporator dari waktu ke waktu, Sayangnya, kebanyakan chiller yang beroperasi di Indonesia tidak semuanya memiliki alat untuk mengukur debit air kondensor dan evaporator, sehingga kedua hal tadi sulit untuk dilakukan pemantauan.

Sepuluh tahun terakhir ini dikembangkan beberapa metode untuk mengukur debit air pada chiller secara virtual atau tanpa memasang alat ukur secara fisik. Cara ini dikenal dengan nama pengukuran debit virtual atau virtual flow meter (VFM). VFM hanya menggunakan data-data parameter operasi chiller yang pada umumnya sudah terpasang dari pabrikan chiller. Sehingga dalam mengukur debit air virtual ini tidak memerlukan instrument alat ukur tambahan. Secara umum semua metode VFM menggunakan analisa kesetimbangan energi pada chiller, yang membedakan hanyalah dalam menentukan daya kompresor yang digunakan dalam perhitungan.

## 2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Terdapat beberapa metode VFM yang tersedia di literatur, akan tetapi dalam penelitian ini akan dibatasi tiga metode saja yaitu yang dikembangkan oleh Zhao [8], McDonald [9], dan Kim [9].

Ketiga metode dipilih karena sederhana dan bisa menggunakan informasi dari alat ukur di Gambar 1. Selain itu data eksperimental Comstock [6] juga memungkinkan untuk digunakan kedalam tiga metode VFM ini.

Metode VFM Zhao [8] dimulai dengan mencari daya kompresor teoritis berdasarkan persamaan (1):

$$W_{ac} = aW_{th} + b \quad (1)$$

Dimana:

$W_{ac}$  = daya aktual kompresor (kW)

$W_{th}$  = daya teoritis kompresor

$b$  = konstanta

Untuk mencari daya teoritis kompresor ( $W_{th}$ ) menggunakan data operasional chiller dalam kondisir normal dengan cara melakukan regresi linear. Data spesifikasi pabrikan yang memberikan informasi kondisir parameter operasi chiller mulai beban 10% sampai dengan beban 100% juga dapat digunakan sebagai pengganti.

Setelah mendapatkan  $W_{th}$  maka laju massa refrigeran bisa dihitung dari persamaan (2):

$$W_{th} = \dot{m}_{pr} \cdot (h_{dis} - h_{suc}) \quad (2)$$

Setelah data refrigeran didapat, maka kita dapat menghitung laju massa air kondensor berdasarkan kesetimbangan energi disisi kondensor dengan menggunakan persamaan (3):

$$\dot{m}_{cond} = \frac{\dot{m}_r \cdot (h_{dis} - h_{ll})}{c_p \cdot (T_{cdo} - T_{cdi})} \quad (3)$$

Lalu kita juga dapat menghitung laju massa air evaporator dengan persamaan (4):

$$\dot{m}_{evap} = \frac{\dot{m}_r \cdot (h_{suc} - h_{ll})}{c_p \cdot (T_{evi} - T_{evo})} \quad (4)$$

Perbedaan dengan cara yang digunakan oleh McDonald adalah dalam menentukan daya kompresor yang digunakan. McDonal menggunakan daya kompresor aktual ( $W_{ac}$ ) sedangkan Zhao menggunakan daya kompresor teoritis ( $W_{th}$ ).

Sedangkan metode VFM yang dikembangkan oleh Kim, menggunakan kerugian daya kompresor ( $\alpha_{loss}$ ) untuk menghitung laju massa refrigeran dengan menggunakan persamaan (5):

$$\dot{m}_{energy} = \frac{\dot{W} \cdot (1 - \alpha_{loss})}{h_{dis}(T_{dis}, P_{dis}) - h_{suc}(T_{suc}, P_{suc})} \quad (5)$$

Untuk mendapatkan  $\alpha_{loss}$  dapat digunakan persamaan (6):

$$\alpha_{loss, pred} = c_0 + c_1 P_{dis} + c_2 P_{suc} + c_3 T_{dis} + c_4 T_{suc} \quad (6)$$

Untuk mendapatkan konstanta di persamaan (6) dapat digunakan data operasi chiller pada kondisi normal atau data parameter operasi chiller dari pabrikan mulai dari beban 10% sampai

dengan beban 100%. Setelah  $\alpha_{loss}$  diperoleh maka dapat dihitung laju massa refrigeran dari persamaan (5). Dengan diketahui laju massa refrigeran maka laju massa air kondensor dan evaporator dapat dicari dari persamaan (3) dan (4). Sejauh sepengetahuan penulis, belum ada literatur yang membandingkan ketiga metode VFM ini dari sisi akurasi serta kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode VFM yang ada.

Dalam penelitian ini dibutuhkan data-data kegagalan chiller berdasarkan eksperimental. Asal data bisa berupa data primer (Penelitian dilakukan peneliti sendiri) atau data sekunder (Hasil data peneliti lain). Yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Khususnya data eksperimental kegagalan chiller yang dilakukan oleh Comstock [6]. Comstock melakukan pengujian chiller terhadap 9 jenis kegagalan. Setiap jenis kegagalan terdapat data operasional lebih dari 100 titik yang terbagi dalam level kegagalan yang berbeda-beda untuk kegagalan tunggal. Untuk paper ini jenis kegagalan yang diuji bisa dilihat di Tabel 1.

**Tabel 1.** Jenis kegagalan yang diuji [5,6]

No	Tipe kegagalan	Kode
1	Kondisi normal	Test normal # 2
2	Kekurangan air kondensor 10%	FWC 10
3	Kekurangan air kondensor 20%	FWC 20
4	Kekurangan air kondensor 30%	FWC 30
5	Kekurangan air kondensor 40%	FWC 40
6	Fouling pada kondensor	CF 45
7	Kegagalan ganda	MF

Tahapan penelitian yang akan dilakukan adalah:

Pertama: Menghitung laju massa refrigeran pada chiller

Perhitungan laju massa refrigeran di chiller dengan menggunakan tiga metode yang ada yaitu metode yang dikembangkan oleh Zhao, kemudian Eric McDonald dan yang terakhir adalah cara yang dilakukan oleh Kim. Untuk menghitung laju massa refrigerant langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan daya kompresor yang digunakan dalam perhitungan. Zhao menggunakan daya kompresor teoritis yang didapat dari hasil regresi dari data operasi chiller kondisi normal atau bisa juga dengan menggunakan data pabrikan yang biasanya berisi data operasional chiller untuk beban dari 10% sampai dengan 100% dengan kelipatan 10%. Sedangkan McDonald menggunakan data daya kompresor aktual yang didapat dari hasil pengukuran. Kim menghitung daya kompresor dengan mengurangnya dengan kehilangan daya (Losses) yang terjadi. Kerugian daya yang terjadi dihitung berdasarkan persamaan polinomial yang harus dilakukan terhadap data operasional chiller pada kondisi normal.

Kedua: Analisa kesetimbangan energi

Dengan diketahui laju massa refrigeran maka laju massa air kondensor dan evaporator dapat dicari dari persamaan (3) dan (4).

Ketiga: Komparasi

Tahapan pertama sampai ketiga dilakukan pada semua jenis kegagalan chiller seperti terlihat pada Tabel 1. Kemudian hasilnya dibandingkan dengan debit air kondensor dan evaporator aktual hasil eksperimental Comstock [6] sebagai nilai acuan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Acuan untuk perbandingan tingkat akurasi metode VFM yang ada adalah hasil pengukuran yang dilakukan oleh Comstock yaitu nilai pengukuran debit air evaporator (Mevap measurement)

dan debit air kondensor (Mcd measurement). Nilai ini dibandingkan dengan hasil perhitungan debit air evaporator dengan menggunakan daya kompresor teoritis (Mevap  $W_{th}$ ) dan dengan yang menggunakan daya kompresor aktual (Mevap  $W_{ac}$ ). Begitu juga untuk kondensor, hasil perhitungan debit kondensor dengan menggunakan daya kompresor teoritis (Mcd  $W_{th}$ ) dan menggunakan daya kompresor aktual (Mcd  $W_{ac}$ ) juga dibandingkan dengan hasil pengukuran yang dilakukan Comstock. Tiap jenis kegagalan memiliki 27 titik data yang akan dibandingkan.

Hasil perbandingan perhitungan debit evaporator dan kondensor untuk jenis kegagalan yang diuji bisa dilihat di Tabel 16. Hasil Tabel 16 menunjukkan bawah perhitungan debit air evaporator dengan menggunakan daya teoritis (Mevap  $W_{th}$ ) memiliki rentang perbedaan terhadap hasil pengukuran Comstock 0% sampai dengan -3%. Sedangkan hasil perhitungan debit evaporator dengan menggunakan daya kompresor aktual (Mevap  $W_{ac}$ ) meleset mulai dari 44% sampai dengan 50%. Hasil perhitungan dengan daya kompresor teoritis sama dengan hasil yang diperoleh oleh Zhou [8]. Sedangkan perbandingan debit air kondensor dengan menggunakan daya teoritis (Mcd  $W_{th}$ ) memiliki perbedaan -3% sampai dengan -4% dibandingkan dengan hasil eksperimental Comstock. Sedangkan perhitungan debit kondensor dengan menggunakan daya aktual kompresor (Mcd  $W_{ac}$ ) meleset sebesar 43% sampai dengan 45% dibandingkan hasil pengukuran Comstock. Hasil ini menunjukkan bahwa perhitungan debit air evaporator dan kondensor yang digagas oleh Zhou dengan menggunakan daya kompresor teoritis lebih mendekati hasil pengukuran dibandingkan model yang dikembangkan oleh McDonald yang menggunakan daya aktual kompresor.

**Tabel 2.** Perbandingan untuk tiap jenis kegagalan

No	Kode Pengujian	Mevap $W_{th}$	Mevap $W_{ac}$	Mcd $W_{th}$	Mcd $W_{ac}$
1	Test normal # 2	-3%	44%	-3%	44%
2	FWC 10	-2%	45%	-3%	44%
3	FWC 20	-2%	46%	-3%	44%
4	FWC 30	0%	50%	-3%	45%
5	FWC 40	-1%	49%	-4%	45%
6	CF 45	-3%	45%	-4%	43%
7	MF	-1%	49%	-4%	45%

Untuk model yang dikembangkan oleh McDonal hasil yang diperoleh cukup mengejutkan karena hasil validasi model yang digagas McDonald, hasilnya memiliki perbedaan 7% sampai dengan 12% dengan hasil pengukuran lapangan [9]. Seharusnya hasil perhitungan kami tidak terlalu beda jauh dengan hasil yang diperoleh oleh McDonald. Karena metode McDonald hampir sama dengan yang dikembangkan oleg Zhao [8], perbedaan hanya terletak pada daya kompresor yang digunakan. Zhao menggunakan daya teoritis kompresor, sedangkan McDonald menggunakan daya aktual kompresor

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Untuk model yang dikembangkan oleh McDonal hasil yang diperoleh cukup mengejutkan karena hasil validasi model yang digagas McDonald, hasilnya memiliki perbedaan 7% sampai dengan 12% dengan hasil pengukuran lapangan [9]. Seharusnya hasil perhitungan kami tidak terlalu beda jauh dengan hasil yang diperoleh oleh McDonald. Karena metode McDonald hampir sama dengan yang dikembangkan oleg Zhao [8], perbedaan hanya terletak pada daya kompresor yang digunakan. Zhao menggunakan daya teoritis kompresor, sedangkan McDonald menggunakan daya

aktual kompresor Sulit untuk menjelaskan perbedaan yang terlalu jauh ini. Kemungkinan yang ada, perbedaan ini terjadi karena beberapa hal:

Pertama, McDonald menggunakan alat ukur portable ultrasonic flow meter [9]. Alat ukur jenis doppler ini memiliki akurasi lebih rendah dibandingkan flow meter pada umumnya. Disisi lain, lokasi pengukuran harus pada bagian pipa yang lurus, jauh dari daerah belokan pipa, sedangkan pada chiller pada umumnya ruang pipa yang ada sangat sempit sehingga sulit untuk mendapatkan lokasi pipa lurus yang jauh dari belokan pipa yang ada. Cara pengukuran dan lokasi yang tidak tepat mempengaruhi akurasi hasil pengukuran yang ada. Kedua, pengukuran yang dilakukan oleh McDonald dilakukan dalam jangka panjang, yaitu mulai dari Desember 2005 sampai dengan bulan Nofember 2006. Dimana hasil kalkulasi dibandingkan dengan rata-rata hasil pengukuran selama 11 bulan tersebut. Untuk selanjutnya perlu dilakukan validasi dengan menggunakan data eksperimental lain yang ada di literatur.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nofirman Firdaus, Bambang Teguh Prasetyo & Thomas Luciana (2016).” Chiller: Performance Deterioration and Maintenance”. *Energy Engineering*, 113:4, 55-80
- [2] Jayaprakash saththasivam, Gary Tang, Kim Choon NG (2010) “Evaluation of the simple thermodynamic model (Gordon and NG universal chiller model) as a fault detection and diagnosis tool for on-site centrifugal chillers” *Int. J. Air-Cond.*
- [3] Blahnik, D.E.Klein,R.F.(1993). Aging Assessment of Essential HVAC Chillers Used in Nuclear Power Plants.Phase I. *NUREG/CR-6043*. PNL-8614. Vol 1. Pacific Northwest Laboratory.
- [4] Piper, James E (1999).Operation and maintenance manual for energy management. ME Sharpe Inc.
- [5] Mathew C. Comstock. James E. Braun. (1999). “Development of analysis tools for the evaluation of fault detection and diagnostics for chiller”. *ASHRAE Research Project 1043-RP*
- [6] Mathew C. Comstock. James E. Braun. EA, Groll (1999).”Experimental data from fault detection and diagnostic studies on a centrifugal chiller”. *ASHRAE Research Project 1043-RP*
- [7] Comstock, Matthew C. Braun, James E. Groll, Eckhard A. (2002). “A survey of common faults for chillers”. *ASHRAE Transactions*; Atlanta Vol. 108, (2002): 819
- [8] Xinzhi Zhao , Mo Yang & Haorong Li. (2012). “Development, evaluation, and validation of a robust virtual sensing method for determining water flow rate in chillers”. *HVAC&R Research*, 18(5):874–889
- [9] Eric McDonald and Radu Zmeureanu. (2014). “Virtual Flow Meter to Estimate the Water Flow Rates in Chillers”. *ASHRAE Transactions*, Volume 120, Part 2
- [10] Woohyun Kim and James E. Braun. (2016). “Development and evaluation of virtual refrigerant mass flow sensors for fault detection and diagnostics”. *International Journal of Refrigeration*, Volume 63, March 2016, Pages 184-198