



## **UJI KINERJA PENGERING SISTEM VAPOR COMPRESSION HEAT PUMP PADA VARIASI LAJU ALIRAN UDARA PENGERING**

**FACHRY RAMADHAN KESUMA TANJUNG  
F14140047**



**DEPARTEMEN TEKNIK PERTANIAN DAN BIOSISTEM  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
2020**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kewenangan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kenyamanan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbaiknya sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## **PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul Uji Kinerja Pengering Sistem *Vapor Compression Heat Pump* pada Variasi Laju Aliran Udara Pengering adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, November 2020

*Fachry Ramadhan Kesuma Tanjung*  
NIM F14140047



## **ABSTRAK**

FACHRY RAMADHAN KESUMA TANJUNG. Uji Kinerja Pengering Sistem *Vapor Compression Heat Pump* pada Variasi Laju Aliran Udara Pengering. Dibimbing oleh LEOPOLD OSCAR NELWAN.

Sistem *heat pump* kompresi uap (HPKU) merupakan suatu sistem yang dapat menyerap kalor pada tingkat suhu yang lebih rendah dan melepasnya ke tingkat suhu yang lebih tinggi. Selain digunakan untuk meningkatkan kuantitas panas jika dibandingkan input panasnya, sistem HPKU juga memiliki kemampuan dehumidifikasi udara yang digunakan untuk pengeringan. Penelitian ini ditujukan untuk memodelkan secara empirik daya kompresi, daya kondensasi dan daya evaporasi terhadap suhu kondensor serta suhu evaporator menggunakan refrigeran R410-a dan untuk melakukan percobaan konfigurasi laju udara terhadap kinerja alat pengering dari sistem HPKU tersebut. Tahapan penelitian ini terdiri dari pembuatan sistem HPKU dan dilanjutkan dengan pengujian dan analisis performa sistem. Hasil pengujian sistem HPKU menunjukkan bahwa peningkatan laju udara pengering akan menurunkan daya yang dikonsumsi oleh kompresor sehingga kemampuan alat pengering untuk menurunkan kelembaban mutlak (dehumidifikasi) udara pengering akan berkurang. Penurunan kelembaban mutlak yang bisa dicapai dari sistem pengering ini berkisar antara 1.9 - 3.2 g air/kg udara kering. Kemampuan alat pengering sistem HPKU dalam menaikan suhu udara pengering berkisar antara 3.8 °C - 13.08 °C. Nilai COP<sub>hp</sub> sistem HPKU akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya laju udara yang melewati evaporator. Nilai COP<sub>hp</sub> yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar 3.55 - 4.72. Model daya kompresor, evaporasi dan kondensasi mempunyai nilai *r-square* ( $R^2$ ) yang baik dengan *r-square* masing masing yaitu 0.9806, 0.8616 dan 0.8555.

Kata kunci : dehumidifikasi, *heat pump* kompresi uap, *coefficient of performance* (COP), variasi laju udara pengering

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

:

1.

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a.

Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b.

Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.



## ABSTRACT

FACHRY RAMADHAN KESUMA TANJUNG. Performance Test of Vapor Compression Heat Pump Systems on Drying Airflow Rate Variations. Supervised by LEOPOLD OSCAR NELWAN.

Vapor compression heat pump system (VCHP) is a system which absorbs heat at lower temperature levels and releases it to higher temperature levels. Besides being used to increase the quantity of heat, the VCHP system also has the ability to dehumidify the air used for drying. This study aims to empirically model the compression, condensation, and evaporation power with respect to the condensing and evaporating temperature using R410-a refrigerant, and to carry out airflow configuration experiments on the performance of the dryer from the VCHP system. The research stage began with the construction of VCHP system, and followed with the system performance testing and analysis. The result showed that increasing the rate of drying air would reduce the power consumed by the compressor, so that the ability of the dryer to reduce the absolute humidity (dehumidification) of drying air would decrease. The absolute humidity reduction achieved from this drying system ranged from 1.9 to 3.2 g of water / kg of dry air. The ability of the VCHP system dryer to increase the temperature of the drying air ranged from  $3.8^{\circ}\text{C}$  –  $13.08^{\circ}\text{C}$  at air mass flow rate from  $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$  to  $0.54 \text{ m}^3/\text{s}$ . The  $\text{COP}_{\text{hp}}$  value of VCHP system would increase as the rate of air passed through the evaporator increased.  $\text{COP}_{\text{hp}}$  value generated in this study ranged from 3.55 - 4.72. The compression, condensation, and evaporation power model had good R-squared ( $R^2$ ) values which were 0.9806, 0.8616, and 0.8555 respectively.

**Key words :** dehumidification, vapor compression heat pump (VCHP), coefficient of performance (COP), drying airflow rate variations

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## UJI KINERJA PENGERING SISTEM VAPOR COMPRESSION HEAT PUMP PADA VARIASI LAJU ALIRAN UDARA PENGERING

FACHRY RAMADHAN KESUMA TANJUNG

### Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik  
pada  
Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kewenangan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DEPARTEMEN TEKNIK PERTANIAN DAN BIOSISTEM  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2020



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kenyamanan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Disetujui oleh,

Dr. Leopold Oscar Nelwan S.TP, M.Si  
Pembimbing

Diketahui oleh,



Prof Dr Ir Sutrisno, M.Agr  
Ketua Departemen

Tanggal lulus : **16 JAN 2021**



## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Uji Kinerja Pengering Sistem Vapor *Compression Heat Pump* pada Variasi Laju Aliran Udara Pengering berhasil diselesaikan. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat yang diperlukan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) di Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar besarnya kepada pihak yang telah memberikan bantuan moril ataupun materil. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Leopold Oscar Nelwan, S.TP, M.Si selaku dosen pembimbing skripsi atas segala bimbingan, saran, dukungan moril dan materil.
2. Divisi Teknik Energi Terbarukan, Teknik Pertanian dan Biosistem IPB yang telah membantu terlaksananya penelitian.
3. Orang tua penulis dan segenap keluarga besar yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.
4. Keluarga mahasiswa Teknik Pertanian dan Biosistem angkatan 51
5. Semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian hingga tersusunnya karya ilmiah ini.
6. Kemenristekdikti, melalui kegiatan Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi tahun 2018 dengan judul Pengembangan Pengering Gabah Hemat Energi Dengan Kombinasi Mikro Kogenerasi dan Sistem Heat Pump Kompresi Uap (Ketua peneliti: Dr. Leopold O. Nelwan)

Penulis menyadari bahwa karya ilmiah ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Penulis berharap karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi akademisi khususnya dan bagi para pembaca umumnya



<b>PRAKATA</b>	vii
<b>DAFTAR ISI</b>	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	ix
<b>DAFTAR TABEL</b>	ix
<b>DAFTAR SIMBOL</b>	x
<b>PENDAHULUAN</b>	1
Latar Belakang	1
Perumusan Masalah	2
Tujuan Penelitian	2
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b>	3
Konsep Dasar Pengeringan	3
Sistem <i>Heat Pump</i> Kompresi Uap	4
<b>METODOLOGI</b>	7
Waktu dan Tempat Penelitian	7
Alat dan Bahan Penelitian	7
Prosedur Penelitian	8
Tahapan Penelitian	8
Mesin Pengering Sistem <i>Heat Pump</i> Kompresi Uap	9
Pengisian Refrigeran	10
Laju Aliran Udara	11
Model Panas Evaporator	11
Model Daya Kompresor	12
Model Panas Kondensor	14
Metode Pengujian	14
Set Up Pengujian	14
Prosedur Pengujian	16
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	17
Pengaruh Laju Aliran Udara Pengering Terhadap Performa HPKU	17
Konsumsi Daya Kompresi Terhadap Suhu Kondensasi dan Evaporasi	20
Pengaruh Laju Aliran Udara dan Suhu Lingkungan Terhadap Performa Sistem HPKU	22
Pengaruh Laju Aliran Udara Terhadap Udara Pengering	24
<b>SIMPULAN</b>	26
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	29
<b>LAMPIRAN</b>	30
<b>RIWAYAT HIDUP</b>	47

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kewenangan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Kurva karakteristik pengeringan	4
Gambar 2	Sistem HPKU dan komponen utamanya	4
Gambar 3	Siklus sistem HPKU standard dan aktual pada diagram p-h	5
Gambar 4	Perubahan kondisi udara pada sistem HPKU siklus terbuka	6
Gambar 5	Alur pelaksanaan penelitian	9
Gambar 6	Skema desain sistem pengering HPKU	11
Gambar 7	Kapasitas refrigerasi dan daya kompresi pada berbagai kondisi $T_e$ dan $T_c$	12
Gambar 8	Kebutuhan $W_k$ ideal pada suhu kondensasi 35°C	13
Gambar 9	<i>Heat rejection</i> pada berbagai suhu kondensasi dan evaporasi	14
Gambar 10	Lokasi pengukuran kecepatan udara pengering	15
Gambar 11	Skematik 16 titik pengukuran laju udara pengering	15
Gambar 12	Skema desain sistem HPKU beserta titik-titik pengukurannya	16
Gambar 13	Skema bukaan udara	16
Gambar 14	Kurva daya kompresi model terhadap daya kompresi hasil pengukuran	18
Gambar 15	Kurva daya kondensasi model terhadap panas kondensasi hasil pengukuran	18
Gambar 16	Kurva daya evaporasi model terhadap evaporasi hasil pengukuran	19
Gambar 17	Kurva pengaruh suhu evaporasi terhadap daya kompresi	21
Gambar 18	Kurva pengaruh suhu kondensasi terhadap daya kompresi	21
Gambar 19	Kelembaban mutlak udara pengering pada berbagai konfigurasi	25

## DAFTAR TABEL

Tabel 1	Nilai konstanta dan P-value untuk persamaan 4	19
Tabel 2	Nilai konstanta dan P-value untuk persamaan 9	19
Tabel 3	Nilai konstanta dan P-value untuk persamaan 2	20
Tabel 4	Nilai konstanta dan P-value untuk persamaan 5	20
Tabel 5	Pengukuran laju udara pengering	23
Tabel 6	Pengaruh laju udara pengering dan suhu lingkungan terhadap performa sistem HPKU	26



A	= Luas permukaan saluran udara ( $m^2$ )
$COP_{heatpump}$	= <i>Coefficient of performance heat pump</i>
$COP_{ref}$	= <i>Coefficient of performance refrigeration</i>
$\cos \phi$	= Faktor pengkali
$H_{Cipta milik IPB Universitas}$	= Kelembaban mutlak udara (g air/ kg udara)
$h_{co,air}$	= entalp udara (kJ/kg)
$h_{el,air}$	= Entalpi udara yang melewati kondensor (kJ/kg)
$h_{eo,air}$	= Entalpi udara menuju evaporator (kJ/kg)
$h_{EO,air}$	= Entalpi udara setelah melewati evaporator (kJ/kg)
I	= Entalpi udara yang melewati <i>heat exchanger</i> (kJ/kg)
$m_{co,air}$	= Arus listrik (A)
$m_{eo,air}$	= Laju aliran massa udara yang melewati kondensor (kg/s)
$\dot{m}_u$	= Laju aliran massa udara yang melewati evaporator (kg/s)
n	= Laju udara pengering (kg/s)
PER	= Jumlah pembagi
$P_1$	= Presentasi eror rata-rata
$P_2$	= Tekanan refrigeran setelah evaporator (bar)
$P_3$	= Tekanan refrigeran setelah compressor (bar)
$P_4$	= Tekanan refrigeran setelah kondensor (bar)
$Q_c$	= Tekanan refrigerant setelah katup ekspansi (bar)
$Q_{cmodel}$	= Daya kondensasi (W)
$Q_e$	= Daya kondensasi hasil pemodelan (W)
$Q_{emodele}$	= Daya evaporasi (W)
RH	= Daya evaporasi hasil pemodelan (W)
$t_e$	= <i>Relative humidity (%)</i>
$t_c$	= Suhu evaporasi ( $^{\circ}C$ )
$T_{0,BB}$	= Suhu kondensasi ( $^{\circ}C$ )
$T_{0,BK}$	= Suhu bola basah udara lingkungan ( $^{\circ}C$ )
$T_1$	= Suhu bola kering udara lingkungan ( $^{\circ}C$ )
$T_2$	= Suhu refrigeran setelah evaporator ( $^{\circ}C$ )
$T_3$	= Suhu refrigeran setelah kompresor ( $^{\circ}C$ )
$T_4$	= Suhu refrigeran setelah kondensor ( $^{\circ}C$ )
$T_5,BB$	= Suhu refrigeran setelah katup ekspansi ( $^{\circ}C$ )
$T_5,BK$	= Suhu bola basah udara yang melewati evaporator ( $^{\circ}C$ )
$T_{6,BB}$	= Suhu bola kering udara yang melewati evaporator ( $^{\circ}C$ )
$T_{6,Bk}$	= Suhu bola basah udara yang melewati <i>heat exchanger</i> ( $^{\circ}C$ )
$T_{7,BB}$	= Suhu bola kering udara yang melewati <i>heat exchanger</i> ( $^{\circ}C$ )
$T_{7,BK}$	= Suhu bola basah udara yang melewati kondensor ( $^{\circ}C$ )
V	= Suhu bola kering udara yang melewati kondensir ( $^{\circ}C$ )
$v$	= Volume spesifik udara ( $m^3/kg$ )
$W_k$	= kecepatan udara pengering (m/s)
$W_{kmodel}$	= Daya kompresi (W)

## DAFTAR SIMBOL

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.