

KINERJA MESIN COLD STORAGE BERBASIS PHOTOVOLTAIC DENGAN BEBERAPA REFRIGERAN

HAFIZ CATUR FEBRIAN



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

- 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.



@Hak cipta milik 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.

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Kinerja Mesin *Cold Storage* Berbasis *Photovoltaic* dengan Beberapa Refrigeran” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun 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, Juni 2024

HAFIZ CATUR FEBRIAN
F1401201013



ABSTRAK

HAFIZ CATUR FEBRIAN. Kinerja Mesin *Cold Storage* Berbasis *Photovoltaic* dengan Beberapa Refrigeran. Dibimbing oleh MUHAMAD YULIANTO

Negara Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki keanekaragaman sumber daya laut yang berlimpah. Hal ini menjadikan mayoritas masyarakat Indonesia berprofesi sebagai nelayan. Nelayan tersebut menerapkan sistem *one day fishing* untuk melaut dan menangkap ikan karena keterbatasan fasilitas penyimpanan ikan yang baik. Solusi yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan tersebut, yaitu memanfaatkan *cold storage* dengan sistem refrigerasi kompresi uap. Namun terdapat permasalahan dalam penggunaan *cold storage* tersebut, yaitu tidak ramah lingkungan berkaitan dengan refrigeran yang digunakan serta performansi dari sistem tersebut. Penelitian ini bertujuan mendapatkan performansi refrigeran yang optimum dan kontribusi CO₂ yang minimum untuk dapat diaplikasikan pada *cold storage* kapal ikan nelayan tradisional. Pengujian performansi *cold storage* pada beberapa refrigeran diperoleh hasil optimum pada R32 dengan kapasitas pendinginan sebesar 3,93 kW, konsumsi daya listrik sebesar 0,70 kW, dan *COP* tertinggi sebesar 5,59. Sedangkan hasil emisi terendah pada penggunaan R32 dengan nilai sebesar 569,7 kg CO_{2e}/kW per tahun (*hybrid system*) dan 1112,59 kg CO_{2e}/kW per tahun (*full PLN*).

Kata kunci: *Cold storage*, Performansi, Refrigeran, *Photovoltaic*, *LCCP*

ABSTRACT

HAFIZ CATUR FEBRIAN. Performance of Photovoltaic Cold Storage with Multiple Refrigerants. Supervised by MUHAMAD YULIANTO.

Indonesia is a maritime country that has an abundance of marine resources. This makes the majority of Indonesian people work as fishermen. These fishermen apply a one-day fishing system to go to sea and catch fish due to the limitations of good fish storage facilities. The solution used in solving this problem is to utilize cold storage with a vapor compression refrigeration system. However, there are problems in the use of cold storage, which is not environmentally friendly related to the refrigerant used and the performance of the system. This study aims to obtain the optimum refrigerant performance and minimum CO₂ contribution to be applied to the cold storage of traditional fishing boats. Testing the performance of cold storage on several refrigerants obtained optimum results in R32 with a cooling capacity of 3,93 kW, electric power consumption of 0,70 kW, and the highest COP of 5,59. While the lowest emission results in the use of R32 with a value of 569,7 kg CO_{2e}/kW per year (hybrid system) and 1112,59 kg CO_{2e}/kW per year (full PLN).

Keywords: Cold storage, Performance, Refrigerant, Photovoltaic, *LCCP*



@Hak cipta milik 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.

KINERJA MESIN *COLD STORAGE* BERBASIS *PHOTOVOLTAIC* DENGAN MENGGUNAKAN BEBERAPA REFRIGERAN

HAFIZ CATUR FEBRIAN

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

- 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.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Dr. Ir. Dyah Wulandani, M.Si

2. Dr. Nanik Purwanti, S.TP. M.Sc



@Hak cipta milik 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.



Judul Skripsi : Kinerja Mesin *Cold Storage* Berbasis *Photovoltaic* dengan Beberapa Refrigeran

Nama : Hafiz Catur Febrian

NIM : F1401201013

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing:

Dr. Muhamad Yulianto, S.T., M.T

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr.Ir. Edy Hartulistiyo, M.Sc.Agr
196304251989031001

Tanggal Ujian:
(21 Juni 2024)

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2024 sampai bulan Juni 2024 ini ialah perbandingan refrigeran pada mesin *cold storage*, dengan judul “Kinerja Mesin *Cold Storage* Berbasis *Photovoltaic* dengan Beberapa Refrigeran”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada dosen pembimbing, yaitu Dr. Muhamad Yulianto, S.T., M.T. dan dosen penguji, yaitu Dr. Ir. Dyah Wulandani, M.Si dan Dr. Nanik Purwanti, S.TP. M.Sc yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Angga Permana selaku teknisi dan staf Laboratorium Refrigerasi Leuwikopo dan Laboratorium Teknik Energi Terbarukan serta Bapak Suhengki A.Pi., M.T yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Edy Murwoto, Ibu Lusia Mulyani, serta kakak-kakak saya yaitu Beno Junianto, Delta Agustianto, Meander Januanto, Halimah Ratna Nariswari, Windha Receiviana dan Nur Aisiah Emilia yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman TMB angkatan 57 yang telah kebersamai selama lebih kurang 4 tahun serta teman-teman yang memiliki grup dengan nama “kelompok ngambis” beranggotakan Firmansyah, Muhammad Fachry Albaihaqi, Albaihaqi Bagaskara, M. Rafif Rizya, Moch Rijaldi, Aldika Nugraha, M. Prayogo Makarya, M. Alvandhi Alkhalidhi, Muhammad Adli Abiyyu Sudirwan, Arief Al-Akbar, M. Juliandika, M. Iqbal Maulana, dan Adies Robby yang telah memberikan *support* dalam penyusunan karya ilmiah ini. Kemudian penulis mengucapkan terima kasih kepada Azizah Nur Aliyah yang telah membantu dan mendampingi penulis dalam menyelesaikan karya ilmiah ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juni 2024

Hafiz Catur Febrian



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap	3
2.2 Refrigeran	6
2.3 <i>Life Cycle Climate Performance (LCCP)</i>	7
METODE	10
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	10
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	10
3.3 Prosedur Kerja	11
3.4 Matriks Penelitian	12
HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Menentukan Jumlah Mass Charge dan Tekanan Optimum yang Menghasilkan Performansi Terbaik	16
4.2 Profil Suhu dan Tekanan Masuk maupun Keluar Setiap Komponen (Tanpa Beban Produk atau dengan Beban Produk Selama 24 Jam)	21
4.3 Profil Konsumsi Daya dan Energi Total (kWh) Tanpa Beban maupun dengan Beban Produk Selama 24 Jam	31
4.4 Analisa Sistem <i>Cold Storage</i>	33
4.5 Analisa <i>Life Cycle Climate Performance (LCCP)</i>	35
SIMPULAN DAN SARAN	38
5.1 Simpulan	38
5.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	42
RIWAYAT HIDUP	55

DAFTAR TABEL

1	Sifat fisika dan termodinamika refrigeran	7
2	Matriks penelitian pada refrigeran R32	12
3	Matriks penelitian pada refrigeran R404a	13
4	Matriks penelitian pada refrigeran R134a	14
5	Hasil performansi pengujian antara beban ikan dan air	15
6	Suhu <i>chamber</i> dan evaluasi kinerja pada <i>cold storage</i> dengan R32 berdasarkan variasi <i>mass charge</i> dan tekanan <i>suction</i>	16
7	Suhu <i>chamber</i> dan evaluasi kinerja pada <i>cold storage</i> dengan R404A berdasarkan variasi <i>mass charge</i> dan tekanan <i>suction</i>	17
8	Suhu <i>chamber</i> dan evaluasi kinerja pada <i>cold storage</i> dengan R134a berdasarkan variasi <i>mass charge</i> dan tekanan <i>suction</i>	19
9	Kapasitas pendinginan pada beberapa refrigeran selama pengujian 24 jam	35
10	<i>COP</i> pada beberapa refrigeran selama pengujian 24 jam	35
11	Parameter emisi secara langsung (<i>direct emission</i>) pada <i>cold storage</i>	35
12	Parameter emisi secara tidak langsung (<i>Indirect Emission</i>)	36
13	Analisis <i>LCCP cold storage</i> dengan sumber energi keseluruhan PLN pada dua refrigeran yang beroperasi tanpa beban produk	36
14	Analisis <i>LCCP cold storage</i> dengan sumber energi keseluruhan PLN pada dua refrigeran yang beroperasi dengan beban produk 500 kg	37
15	Analisis <i>LCCP cold storage</i> dengan sumber energi <i>hybrid</i> pada dua refrigeran yang beroperasi tanpa beban produk	37
16	Analisis <i>LCCP cold storage</i> dengan sumber energi <i>hybrid</i> pada dua refrigeran yang beroperasi dengan beban produk 500 kg	37



DAFTAR GAMBAR

1	Komponen sistem refrigerasi kompresi uap (Cengel dan Boles 2015)	4
2	Siklus sistem refrigerasi kompresi uap (Cengel dan Boles 2015)	4
3	Beberapa parameter <i>LCCP</i>	8
4	Eksperimental <i>set up</i>	10
5	Prosedur penelitian	11
6	Profil perbandingan suhu ikan terhadap suhu air (a) dan suhu ruangan beban ikan terhadap suhu ruangan air (b)	15
7	Profil <i>COP</i> setiap variasi <i>mass charge</i> dan tekanan <i>suction</i> pada R32 (a), R404a (b) dan R134a pada tekanan <i>suction</i> 0,3 bar <i>gauge</i> (c)	19
8	Profil Q_e setiap variasi <i>mass charge</i> dan tekanan <i>suction</i> pada R32(a), R404a (b), dan R134a pada tekanan <i>suction</i> 0,3 bar (c)	20
9	Profil $\dot{W}_c$ setiap variasi <i>mass charge</i> dan tekanan <i>suction</i> pada R32 (a), R404a (b), dan R134a pada tekanan <i>suction</i> 0,3 bar (c)	21
10	Profil suhu masuk & keluar kompresor tanpa beban produk 500 kg (a) & (b) dan dengan beban produk 500 kg (c) & (d)	22
11	Profil tekanan masuk & keluar kompresor tanpa beban produk 500 kg (a) & (b) dan dengan beban produk 500 kg (c) & (d)	23
12	Profil suhu masuk & keluar kondenser tanpa beban produk 500 kg (a) & (b) dan dengan beban produk 500 kg (c) & (d)	24
13	Profil tekanan masuk & keluar kondenser tanpa beban produk 500 kg (a) & (b) dan dengan beban produk 500 kg (c) & (d)	25
14	Profil suhu masuk & keluar katup ekspansi tanpa beban produk 500 kg (a) & (b) dan dengan beban produk 500 kg (c) & (d)	26
15	Profil tekanan masuk & keluar katup ekspansi tanpa beban produk 500 kg (a) & (b) dan dengan beban produk 500 kg (c) & (d)	27
16	Profil suhu masuk & keluar evaporator tanpa beban produk 500 kg (a) & (b) dan dengan beban produk 500 kg (c) & (d)	28
17	Profil tekanan masuk & keluar evaporator tanpa beban produk 500 kg (a) & (b) dan dengan beban produk 500 kg (c) & (d)	29
18	Profil suhu <i>chamber</i> pada beberapa refrigeran tanpa beban produk selama 24 jam	29
19	Profil suhu <i>chamber</i> pada beberapa refrigeran dengan beban produk 500 kg selama 24 jam	30
20	Profil suhu beban produk di titik pertama (T_{b1})	31
21	Profil suhu beban produk di titik kedua (T_{b2})	31
22	Profil konsumsi daya sistem pada beberapa refrigeran tanpa beban produk dan dengan beban produk 500 kg	32
23	Profil energi total (kWh) sistem pada beberapa refrigeran tanpa beban produk dan dengan beban produk 500 kg	33
24	Diagram <i>P-h</i> dengan sistem menggunakan R32	33
25	Diagram <i>P-h</i> dengan sistem menggunakan R404a	34



DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Sifat karakteristik produk	43
2	Lampiran 2 Perhitungan performansi evaluasi pada pengujian variasi <i>mass charge</i> dan tekanan <i>suction</i>	43
3	Lampiran 3 Tabel informasi tipe sistem refrigerasi	44
4	Lampiran 4 Emisi produksi bahan	44
5	Lampiran 5 Emisi produksi daur ulang bahan	45
6	Lampiran 6 Emisi produksi refrigeran	45
7	Lampiran 7 Emisi daur ulang	45
8	Lampiran 8 Tabel <i>GWP</i> dan <i>Adaptive GWP (Adp.GWP)</i> beberapa refrigeran	46
9	Lampiran 9 Perhitungan <i>LCCP</i>	47
10	Lampiran 10 Densitas R32 dan R404a	52
11	Lampiran 11 Suhu <i>subcooling</i> dan suhu <i>superheated</i> pada pengujian sistem tanpa beban produk menggunakan R32 dan R404a	52
12	Lampiran 12 Suhu <i>subcooling</i> dan suhu <i>superheated</i> pada pengujian sistem dengan beban produk 500 kg menggunakan R32 dan R404a	53
13	Lampiran 13 Dokumentasi kegiatan penelitian	54

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

Nomenklatur:

$Adp.GWP$	=	GWP hasil degradasi refrigeran di atmosfer (kg CO _{2e} /kg)
AEC	=	Rata-rata konsumsi energi tahunan (kWh)
ALR	=	Laju kebocoran tahunan (% massa refrigeran)
C	=	Massa Refrigeran (kg)
CO_2	=	Karbon dioksida
COP	=	<i>Coefficient of Performance</i>
EM	=	Emisi produksi listrik (kg CO _{2e} /kg)
EOL	=	Emisi pada akhir masa pakai (% massa refrigeran)
GWP	=	<i>Global Warming Potential</i>
h_1	=	Entalpi refrigeran ketika masuk kompresor (kJ/kg)
h_2	=	Entalpi refrigeran ketika masuk kondenser (kJ/kg)
h_3	=	Entalpi refrigeran ketika masuk katup ekspansi (kJ/kg)
h_4	=	Entalpi refrigeran ketika masuk evaporator (kJ/kg)
h_f	=	Entalpi refrigeran fase cair (kJ/kg)
h_g	=	Entalpi refrigeran fase gas (kJ/kg)
L_t	=	Umur pakai peralatan (tahun)
$LCCP$	=	<i>Life Cycle Climate Performance</i> (kg CO _{2e} /kg)
$\dot{m}$	=	Laju aliran massa refrigeran (m/s)
M	=	Massa alat (kg)
MM	=	Emisi proses produksi bahan (kg CO _{2e} /kg)
m_{rm}	=	Massa dari daur ulang bahan (kg)
ODP	=	<i>Ozone Depleting Potential</i>
$\dot{Q}_{in}$	=	Laju penyerapan panas per satuan aliran massa refrigeran (kW)
$\dot{Q}_{out}$	=	Laju pelepasan panas per satuan aliran massa refrigeran (kW)
Q_e	=	Kapasitas pendinginan (kW)
RFD	=	Emisi daur ulang refrigeran (kg CO _{2e} /kg)
RFM	=	Emisi dari produksi refrigeran (kg CO _{2e} /kg)
RM	=	CO _{2e} dihasilkan/daur ulang bahan (kg CO _{2e} /kg)
$\dot{W}_c$	=	Konsumsi daya (kW)
x_4	=	Kualitas refrigeran ketika keluar katup ekspansi

@Hak cipta milik 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.