

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 6, No. 3, Desember 2018



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember, dan mulai tahun ini berisi 15 naskah untuk setiap nomornya. Peningkatan jumlah naskah pada setiap nomornya ini dimaksudkan untuk mengurangi masa tunggu dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota PERTETA tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain meliputi teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam invited paper yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, review perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, technical paper hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta research methodology berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (online submission) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)
Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)
Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makassar)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)
Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)
Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)
Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)
Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 6 No. 3 Desember 2018. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Slamet Budijanto, M.Agr. (Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Daniel Saputra, MS. (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Ir. Loekas Susanto, MS., Ph.D. (Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman), Prof.Dr.Ir. Muhammad Idrus Alhamid (Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia), Prof.Dr.Ir. Sobir, M.Si. (Departemen Agronomi dan Hortikultura (AGH), Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Bambang Susilo, M.Sc.Agr. (Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr. Radi, STP., M.Eng. (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Evi Savitri Iriani M.Si. (Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian), Dr.Ir. Hermantoro, MS. (Institut Pertanian Stiper (INSTIPER) Yogyakarta), Dr.Ir. Ridwan Rachmat, M.Agr. (Balai Besar Penelitian Tanaman Padi), Dr.Ir. Rokhani Hasbullah, M.Si. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Usman Ahmad, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Leopold Oscar Nelwan, STP., M.Si. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Slamet Widodo, STP., M.Sc. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Muhamad Yulianto, ST., MT. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Nora H. Pandjaitan, DEA. (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Chusnul Arif, STP., M.Si. (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Satyanto Krido Saptomo, STP, M.Si. (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Wilson Palelingan Aman, STP., M.Si. (Fakultas Pertanian dan Teknologi Pertanian, Universitas Negeri Papua), Andri Prima Nugroho, STP., M.Sc., Ph.D. (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada), Asna Mustofa, STP., MP. (Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman), Diding Suhandy, S.TP., M.Agr., Ph.D. (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung) Agus Ghautsum Ni'am, STP., M.Si. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Pengaruh Receiver Terhadap Kinerja Refrigerasi Mesin Pembeku

The Effect of Receiver on the Performance of Freezer

Paulus Sukusno, Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, Pasca Sarjana Program S3 Ilmu Keteknikaan Pertanian. Email: p.sukusno.100@gmail.com
Armansyah H. Tambunan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem. Institut Pertanian Bogor. Email: ahtabun@gmail.com
Radite Praeko Agus Setiawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem. Institut Pertanian Bogor. Email: iwan_radit@yahoo.com
Yohanes Aris Purwanto, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem. Institut Pertanian Bogor. Email: arispurwanto@apps.ipb.ac.id

Abstract

Freezing is the best method to preserve the quality of food for a long period of time compared to other technologies such as drying and canning. Technology of freezing requires more energy than other preservation technologies, however. Therefore, an energy efficient freezer is needed. This research aims to the effect of utilization of a receiver to improve the freezer performance efficiency. The research is conducted on freezer used to cool and freeze 1 kg of water from a temperature of 27°C to -14°C, then a receiver is installed in the freezer and the same research is conducted (the type and setting of expansion valve and test materials are the same). The refrigerant medium is R404A working fluid. The receiver is installed between condenser and filter dryer in the system circuit of the freezer. The result shows that the utilization of receiver increases the coefficient of performance (COP) from 2.24 to 2.69 and reduce the electricity consumption. The time required for freezing becomes shorter particularly on the transition of liquid to solid phase (ice) . Consequently, the freezing rate becomes quicker and provides advantages for application of food freezing.

Keywords: Receiver, freezer, energy saving

Abstrak

Pembekuan merupakan metode yang paling baik untuk menjaga kualitas makanan dalam jangka waktu lama, dibanding dengan teknologi lain seperti pengeringan dan pengalengan. Namun teknologi pembekuan membutuhkan lebih banyak energi daripada teknologi pengawetan lainnya, karena itu diperlukan mesin pembeku yang hemat energi. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penggunaan receiver untuk meningkatkan efisiensi kinerja mesin pembeku. Penelitian dilakukan pada mesin pembeku yang digunakan untuk mendinginkan dan membekukan air 1 kg dari suhu 27°C sampai -14°C, selanjutnya penelitian mesin pembeku ditambahkan receiver dan dilakukan penelitian yang sama (bukaan katup ekspansi diatur tetap dan sama, serta bahan uji dilakukan dalam kondisi sama). Media pendingin menggunakan fluida kerja R404A. Receiver diletakkan di antara kondensor dan filter dryer pada rangkaian sistem mesin pembeku. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan receiver pada mesin pembeku berdampak pada peningkatan koefisien kinerja (COP) dari 2.24 menjadi 2.69, dan terjadi penghematan konsumsi energi listrik. Waktu proses pembekuan menjadi lebih singkat, khususnya pada tahap perubahan fase cair menjadi es, sehingga laju pembekuan menjadi lebih cepat dan memberi keuntungan untuk penerapan pada pembekuan bahan pangan.

Kata kunci: Receiver, mesin pembeku, hemat energi.

Diterima: 27 April 2018; Disetujui: 31 Desember 2018

Pendahuluan

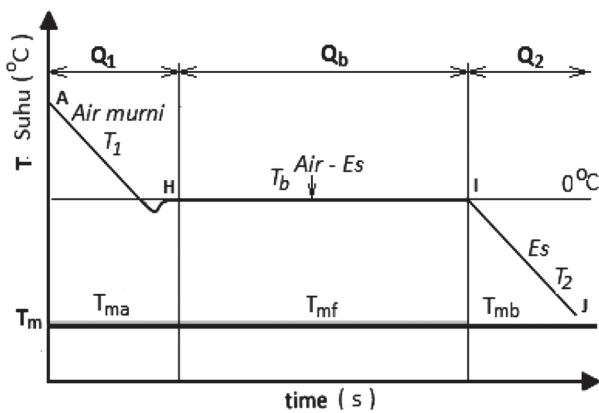
Mesin pembeku dengan sistem refrigerasi kompresi uap merupakan suatu alat yang paling banyak digunakan dalam proses pembekuan bahan makanan (Yumrutas et al. 2002). Pembekuan merupakan metode yang paling baik untuk menjaga kualitas makanan dalam jangka waktu lama, dibanding dengan teknologi lain seperti pengeringan dan pengalengan, namun teknologi pembekuan membutuhkan lebih banyak energi daripada teknologi pengawetan lainnya (Barbosa-Canovas et al. 2005). Oleh karena itu perlu mesin pembeku yang hemat energi, atau perlu adanya upaya menghemat energi. Analisis energi merupakan suatu cara untuk mengetahui jumlah konsumsi energi pembekuan, dan pengaruh dari penambahan alat untuk meningkatkan efisiensi energi dalam proses

pembekuan tersebut.

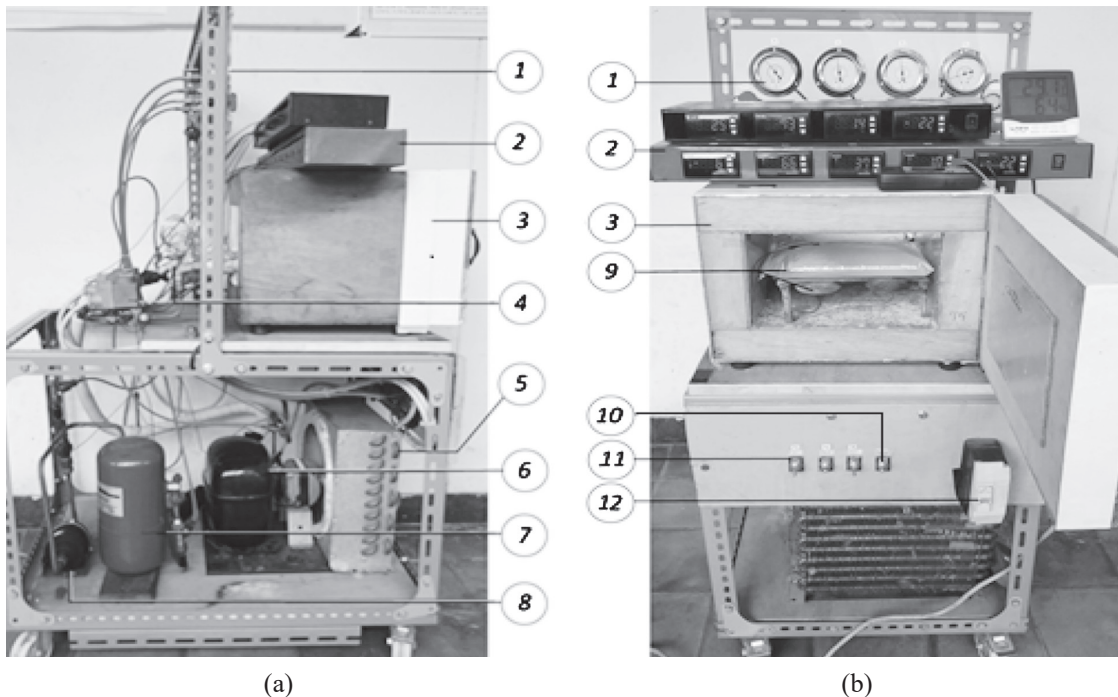
Penelitian tentang kinerja kebangkitan entropi, COP, dan efisiensi yang berlanjutan telah dilakukan oleh Chopra et al. (2014). Bolaji et al. (2011) melakukan analisis kapasitas pendinginan dengan injektor pada katup ekspansi konvensional dan hasilnya menunjukkan bahwa pengaturan injektor dapat meningkatkan COP. Vidal et al. (2006) dan Megdouli et al. (2017) menyajikan metode analisis energi untuk menunjukkan besarnya potensi pendinginan.

Ekperimen untuk mengkaji efisiensi eksergi pada proses pembekuan dengan variasi suhu media pembekuan bertingkat dilakukan oleh Tambunan et al. (2012) dan Kamal (2008), pada penelitian tersebut ditunjukkan bahwa kehilangan eksergi pada setiap tahap proses pembekuan dapat dihitung, dan pengaturan suhu setiap tahap dalam proses sangat penting untuk mengurangi ketak-mampubalikan proses. Penelitian yang menganalisis hilangnya energi di sistem peralatan refrigerasi seperti kompresor, kondensor, evaporator, dan katup ekspansi, dilakukan oleh Fang et al. (2005), Luo dan Wang (2010), dan Berman (2015) dalam penelitiannya merekomendasikan perlu adanya model mesin beku suhu rendah yang dapat menghemat energi dalam proses pembekuan.

Proses pembekuan dapat dibagi menjadi tiga tahap, seperti ditunjukkan dengan model pembekuan air pada Gambar 1, yaitu tahap pendinginan bahan dari suhu awal hingga suhu pembekuan dengan melepaskan panas sensibel sebesar Q_1 , tahap perubahan fase bahan cair menjadi padat dengan



Gambar 1. Profil penurunan suhu air-es dan suhu media pembeku.



Keterangan:

- | | | | |
|------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 1. Pressure Gauge | 4. Expansion Valve | 7. Receiver | 10. Compressor On/Off |
| 2. Temperature display | 5. Condenser | 8. Filter Dryer | 11. Expansion Valve On/Off |
| 3. Ruang beku | 6. Compressor | 9. Evaporator dan produk air-es | 12. Main Electrical |

Gambar 2. Foto alat penelitian (a) dipandang dari samping (kiri) dan (b) dipandang dari depan.

Tabel 1. Spesifikasi mesin pembeku.

Compressor	: Type; SC12CL, Code; 104L2623, 220-240V/50Hz, $n = 2900 \text{ rpm}$, $V_e 12 \text{ cm}^3/\text{rev}$, R-404A LBP
Evaporator	: Type; plate sentuh (210 x 210 x 3) mm ³ , d pipa 5/8", L 880 mm Ruang bagian dalam (148 x 251 x 251) mm ³ .
Condenser	: Type; Tube bersirip n 30, d 3/8", L 10.080 mm, pendingin udara
Expansion Valve	: Danfoss TS2: Oriffice No. 02
Refrigerants	: R 404A; Components include 1.1.1 Trifluoroethane, Pentafluoroethane, 1.1.1.2 Tetrafluoroethane
Receiver	: Merk; Airmender, A 127 mm, L 240 mm.
Pressure gauge	: Bourdon Barometer Type analog
Thermometer	: Thermocouple digital type TC4Y Accuracy $\pm 2^{\circ}\text{C}$
Wattmeter	: Multifunction Mini Ammeter D02A, Accuracy $\pm 1 \%$

melepas panas laten pembekuan sebesar Q_b , dan tahap penurunan suhu bahan beku, dengan melepas panas sensibel sebesar Q_2 .

Garis A-H-I-J adalah garis suhu produk air-es. T_1 , T_b , T_2 adalah garis waktu proses suhu produk air-es. T_m adalah suhu media pembeku. Kinerja mesin pembeku serta kebutuhan komponen tambahan pada sistem pembeku sangat berpengaruh terdapat proses pelepasan panas pada setiap tahap tersebut, dan dapat menentukan efisiensi penggunaan energi sistem secara keseluruhan.

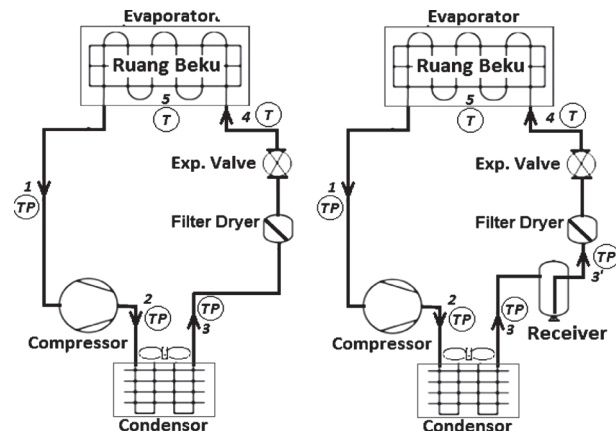
Tujuan penelitian adalah untuk mengkaji penggunaan receiver pada mesin pembeku guna meningkatkan efisiensi sistem dan penghematan konsumsi energi listrik dalam proses pembekuan air-es.

Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan di laboratorium Pindah Panas dan Massa FATETA-IPB pada bulan Juli – Agustus 2017. Penelitian dilakukan menggunakan mesin pembeku skala laboratorium dengan refrigeran R-404A, bahan uji sebagai beban pembekuan selama percobaan digunakan air dengan massa 1 kg hingga menjadi es. Foto alat serta komponen dan alat ukur yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2. Spesifikasi mesin pembeku yang digunakan ditampilkan pada Tabel 1.

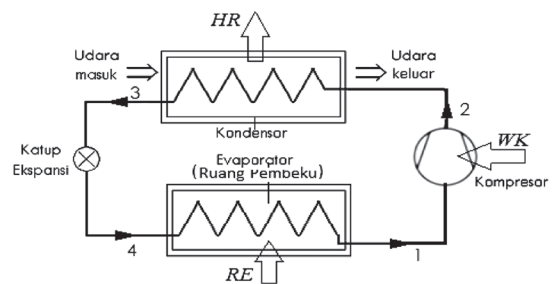
Receiver pada mesin tersebut dapat dilepas untuk percobaan tanpa receiver, sedangkan katup ekspansi di-setting pada posisi yang sama, serta diujikan pada proses pembekuan air-es. Skema mesin untuk percobaan tanpa dan dengan receiver ditunjukkan pada Gambar 3.

Analisis dilakukan berdasarkan siklus termodinamika mesin refrigerator yang mempunyai 4 komponen utama yaitu kompresor, kondensor, evaporator, dan katup ekspansi, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Diagram Mollier siklus refrigerasi ideal dan aktual yang melibatkan penguapan, kompresi, pengembunan, dan ekspansi dapat digambarkan seperti pada Gambar 5.

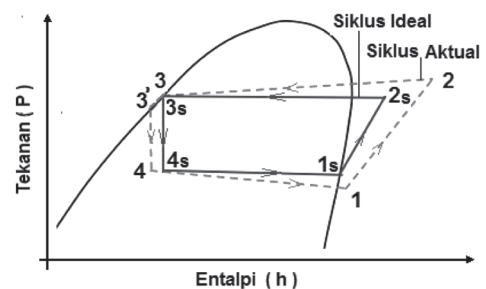


- Keterangan:
1. Suhu dan tekanan masuk kompresor
 2. Suhu dan tekanan keluar kompresor
 3. Suhu dan tekanan keluar kondensor
 - 3'. Suhu dan tekanan keluar receiver
 4. Suhu masuk evaporator
 5. Suhu produk (air-es)

Gambar 3. Skema mesin pembeku tanpa dan dengan receiver.



Gambar 4. Siklus sistem refrigerasi pada mesin pembeku.



Gambar 5. Diagram p-h. Siklus aktual dan siklus ideal.

Tabel 2. Ringkasan data pengukuran parameter operasi pada keadaan tunak mesin pembeku dengan receiver dan tanpa receiver.

Mesin Pembeku	P ₁ [Bar]	P ₂ [Bar]	P ₃ [Bar]	P _{3'} [Bar]	T ₁ [°C]	T [°C]	T [°C]	T _{3'} [°C]	T ₄ [°C]	T ₅ [°C]	P _K [W]
Tanpa Receiver	2.1	14.6	14.4	---	-11	62	33	---	-15	3	590
Degan Receiver	1	15.4	15.2	5.2	-17	68	35	1	-25	1	603

Coefficient of Performance (COP), atau koefisien kinerja, merupakan suatu koefisien yang menunjukkan perubahan energi (entalpi) yang terjadi pada fluida kerja (refrigeran), dan didefinisikan sebagai perbandingan besarnya efek refrigerasi (*Refrigeration Effect*, RE) terhadap kerja kompresor (W_k) berdasar perubahan entalpi pada diagram p-h untuk refrigeran R404A, dan dinyatakan dalam Persamaan 4. Panas refrigeran dalam kondensor yang dilepas ke udara luar, HR (*Heat Rejected*).

$$w_k = (h_2 - h_1) \tag{1}$$

$$h_3 = h_4 \text{ (asumsi katup dalam ekspansi tidak melakukan kerja)} \tag{2}$$

$$q_{RE} = (h_1 - h_4) \tag{3}$$

$$COP = \frac{q_{RE}}{w_k} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \tag{4}$$

Daya listrik (P_k) yang digunakan untuk menggerakkan kompresor mesin pembeku pada proses mendinginkan dan atau membekukan diukur dengan Watt-meter, sedangkan total energi listrik yang diperlukan untuk menggerakkan kompresor (E) diperoleh dengan mengalikan daya terhadap waktu (t) mesin pembeku beroperasi, dan dinyatakan dalam Persamaan 5.

$$E = \sum P_{ki} \left(\frac{\Delta t}{60.1000} \right) \text{ [kWh]} \tag{5}$$

Keterangan Rumus:

- h_1 : entalpi masuk kompresor [kJ/kg].
- h_2 : entalpi keluar kompresor [kJ/kg].
- h_3 : entalpi keluar kondensor [kJ/kg].
- h_3' : entalpi keluar receiver [kJ/kg].
- h_4 : entalpi masuk evaporator [kJ/kg].
- w_k : kerja kompresor [kJ/kg].
- q_{RE} : efek pendinginan [kJ/kg].
- COP : Coefficient Of Performanc
- P_k : daya listrik setiap data [W]
- E : energi listrik [kWh]
- Δt : periode waktu setiap data [menit]

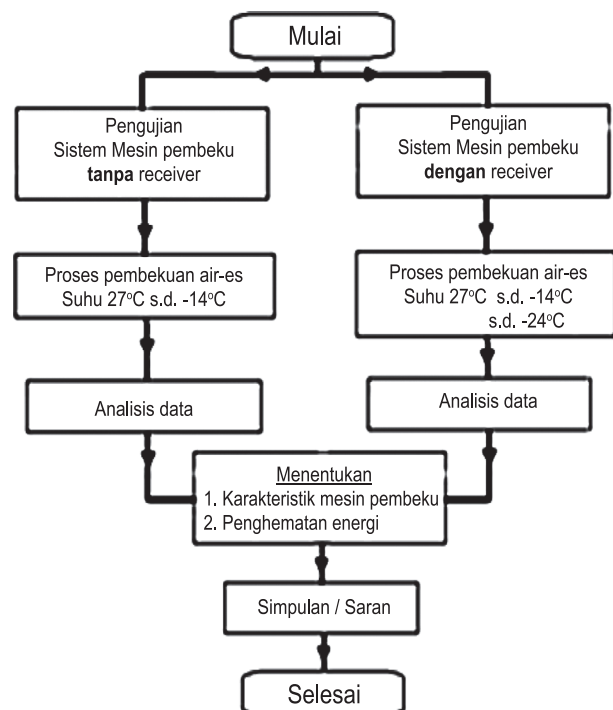
Bagan alir penelitian ditunjukkan seperti pada Gambar 6. Data hasil pengujian dianalisis dan hasilnya dibandingkan, sehingga dapat ditentukan besar penggunaan energi dan penghematan energi akibat adanya penambahan receiver pada mesin pembeku tersebut.

Hasil dan Pembahasan

Profil Suhu dan Tekanan pada Proses Pembekuan Air-Es

Grafik suhu dan tekanan di berbagai titik pengukuran pada percobaan tanpa menggunakan receiver ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8. Sementara grafik hasil pengukuran pada percobaan dengan menggunakan receiver dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10. Data pengukuran setiap parameter diambil setiap 5 menit.

Dari Gambar 7 dapat dilihat terjadinya 3 tahapan proses pembekuan, yaitu pendinginan suhu air dari awal sampai 0°C, pembekuan atau perubahan fasa air menjadi es pada suhu di sekitar 0 hingga -1°C, serta penurunan suhu air beku hingga mencapai suhu -14°C. Suhu evaporator yang dapat dicapai pada percobaan tanpa menggunakan receiver dan dengan menggunakan receiver, masing-masing adalah -15°C dan -25°C. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan receiver, dengan posisi bukaan katup ekspansi yang sama, memberi pengaruh terhadap suhu evaporator yang dapat dicapai, sehingga juga mempengaruhi suhu akhir air beku yang dapat dicapai. -24°C. Ringkasan data pengukuran parameter operasi pada

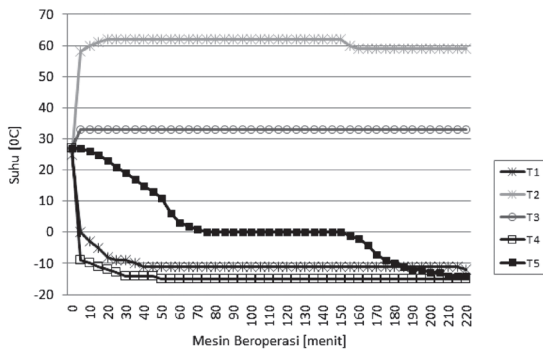


Gambar 6. Diagram alir proses penelitian.

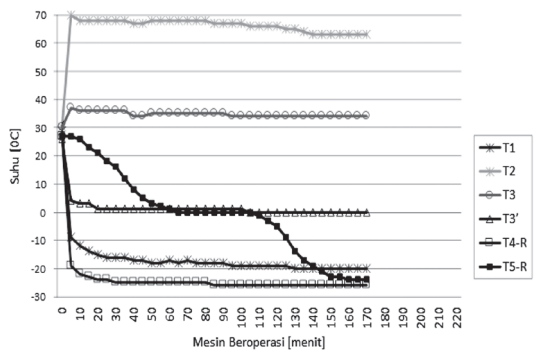
keadaan tunak ditunjukkan pada Tabel 2.

Analisis grafik refrigerasi untuk sampel diambil data saat mesin beroperasi 60 menit. Data dianalisis berdasarkan persamaan-persamaan, dengan diagram p-h R-404A, dan software.

Sebagai akibat dari suhu *evaporator* yang lebih rendah, maka waktu pembekuan pada mesin yang menggunakan *receiver* juga lebih cepat, khususnya pada tahap perubahan fase. Perbandingan perubahan suhu *evaporator* dan suhu air yang dibekukan dengan menggunakan *receiver* dan tanpa *receiver*



Gambar 7. Profil suhu refrigerasi mesin pembeku tanpa *receiver*.



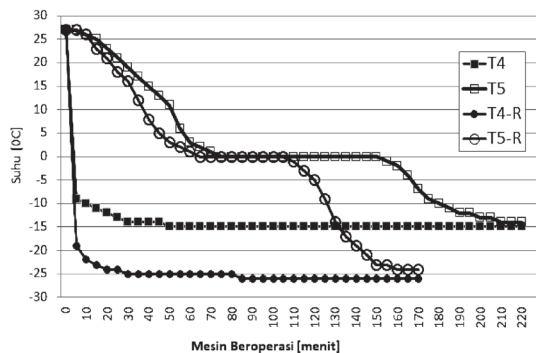
Gambar 9. Profil suhu refrigerasi mesin pembeku dengan *receiver*.

Keterangan gambar:

- P_1 : tekanan masuk kompresor [Bar]
- P_2 : tekanan masuk kompresor [Bar]
- P_3 : tekanan keluar kondensor [Bar]
- $P_{3'}$: tekanan keluar *receiver* [Bar]
- T_1 : suhu rmasuk kompresor [°C]

- T_2 : suhu keluar kompresor [°C]
- T_3 : suhu keluar kondensor [°C]
- $T_{3'}$: suhu rkeluar *receiver* [°C]
- T_4 : suhu masuk *evaporator* [°C]

- T_5 : suhu produk air-es [°C]
- P_K : daya listrik penggerak kompresor [W]
- E : energi listrik penggerak kompresor [W]
- R : mesin pembeku dengan *receiver*

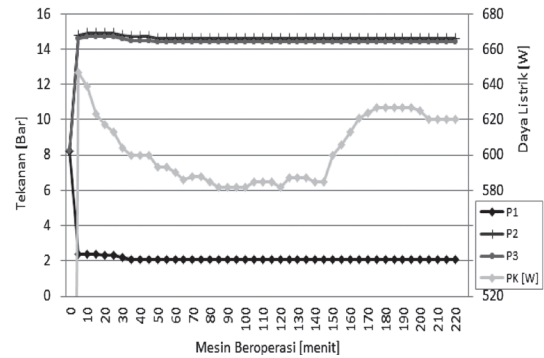


Gambar 11. Grafik perbandingan suhu produk dan suhu refrigerasi di evaporator pada mesin pembeku **tanpa receiver** dan **dengan receiver**

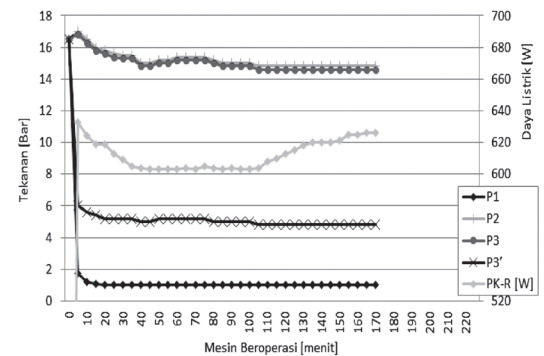
ditunjukkan dengan lebih jelas pada Gambar 11. Hal ini menunjukkan laju pembekuan yang lebih cepat dapat diperoleh jika menggunakan mesin yang dilengkapi dengan *receiver*.

COP dan Energi

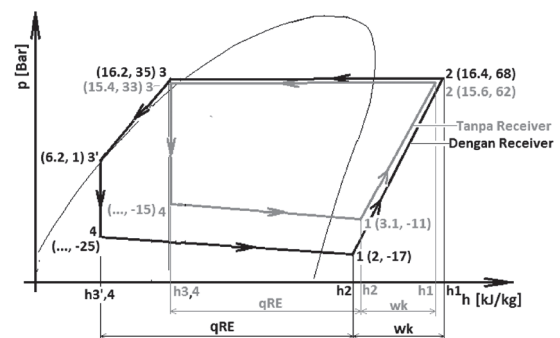
Pada Gambar 12 ditunjukkan perbandingan siklus refrigerasi untuk mesin dengan dan tanpa menggunakan *receiver*, yang disusun berdasarkan data pada Tabel 2. Pada mesin yang menggunakan *receiver*, refrigeran mengalir dari kondensor ke



Gambar 8. Profil tekanan refrigerasi dan daya listrik penggerak kompresor mesin pembeku tanpa *receiver*.



Gambar 10. Profil tekanan refrigerasi dan daya listrik penggerak kompresor mesin pembeku dengan *receiver*.



Gambar 12. Grafik siklus refrigerasi mesin pembeku tanpa *receiver* dan dengan *receiver*.

Tabel 3. Hasil analisis COP, daya kompresor, dan efek pendinginan sistem refrigerasi.

Mesin Pembeku	h_1	h_2	h_3	$h_{3'}$	h_4	w_K	q_{RE}	COP
	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	-
Tanpa Receiver	363.8	414.0	251.3	-	251.3	50.2	112.5	2.24
Dengan Receiver	360.7	419.4	254.7	202.4	202.4	58.7	152.3	2.69

Tabel 4. Hasil pengukuran waktu dan energi listrik untuk menggerakkan kompresor selama proses pembekuan.

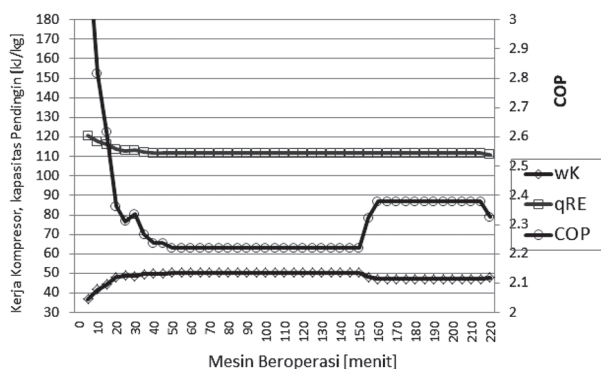
Produk Air-Es suhu (°C)	Tanpa Receiver		Dengan Receiver	
	Waktu [menit]	Energi [kWh]	Waktu [menit]	Energi [kWh]
27 sampai 0	75	0.76	65	0.66
27 sampai -1	155	1.54	110	1.11
27 sampai -14	210	2.11	130	1.32
27 sampai -24	-	-	160	1.63

receiver terlebih dahulu sebelum mengalir ke katup ekspansi. Hal ini mengakibatkan tekanan dan suhu refrigeran yang keluar dari receiver lebih rendah dan dalam kondisi fase cair. Penurunan tekanan tersebut disebabkan oleh pembesaran tiba-tiba dari diameter pipa kondensor ke ruang receiver yang menyebabkan tekanan jatuh seperti digambarkan dengan pergeseran titik 3 ke titik 3' pada diagram tersebut. Besar penurunan tekanan dan suhu di dalam receiver sangat dipengaruhi besarnya volume refrigeran fase gas dalam receiver.

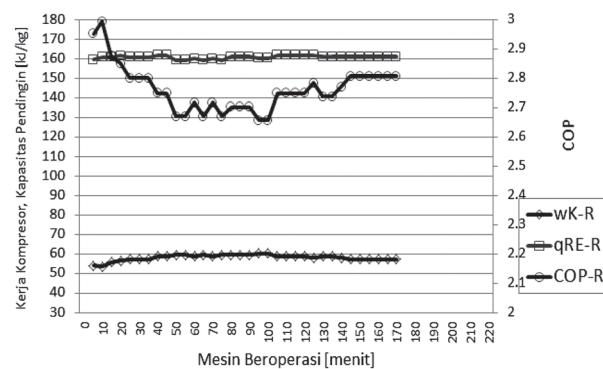
Diagram tersebut juga menunjukkan bahwa, selain menghasilkan suhu evaporator lebih rendah, mesin yang menggunakan receiver juga memberikan kapasitas pendinginan (q_{RE}) yang lebih besar dibanding dengan mesin pembeku tanpa receiver. Hal ini disebabkan oleh entalpi keluar kondensor (h_3) sebelum masuk katup ekspansi bergeser menjadi ($h_{3'}$) sehingga memiliki selisih entalpi (efek refrigerasi) yang lebih besar pada evaporator. Receiver pada instalasi mesin refrigerasi dimaksudkan untuk menjamin agar fluida kerja (refrigeran) yang mengalir ke katup ekspansi berupa fase cair, dan tersedia dalam jumlah yang cukup.

Entalpi refrigeran pada tiap titik pengukuran yang diperoleh berdasarkan data pada kondisi tunak ditunjukkan pada Tabel 3, serta daya kompresor, COP, dan efek refrigerasi hasil perhitungan berdasarkan data tersebut juga ditunjukkan pada tabel yang sama. Dari tabel tersebut terlihat bahwa efek refrigerasi (q_{RE}) serta COP mesin yang beroperasi dengan receiver lebih tinggi dari mesin tanpa receiver, yaitu COP terjadi peningkatan dari 2,24 menjadi 2,69 dan q_{RE} meningkat dari 50,2 kJ/kg menjadi 58,7 kJ/kg. Perubahan daya yang dikonsumsi kompresor, efek refrigerasi serta COP selama proses pembekuan dengan mesin yang menggunakan receiver dan tanpa receiver masing-masing ditunjukkan pada Gambar 13 dan 14.

Peningkatan COP tersebut disebabkan oleh peningkatan efek refrigerasi, sebagaimana dijelaskan sebelumnya, dan mengakibatkan waktu pembekuan yang lebih singkat pada beban pembekuan yang sama. Perbandingan waktu dan konsumsi energi listrik yang diukur selama proses pembekuan, antara mesin pembeku yang menggunakan receiver dan tanpa receiver ditunjukkan pada Tabel 4. Kecepatan proses, khususnya pada tahap perubahan fase cair ke es, sangat diperlukan untuk aplikasi pada pembekuan



Gambar 13. Grafik kerja kompresor, kapasitas pendinginan, dan koefisien kerja sistem refrigerasi tanpa receiver.



Gambar 14. Grafik kerja kompresor, kapasitas pendinginan, dan koefisien kerja sistem refrigerasi dengan receiver.

bahan pangan. Laju pembekuan yang cepat menyebabkan ukuran kristal es yang terbentuk dalam bahan pangan tersebut menjadi lebih kecil sehingga tidak merusak ruang antar sel dalam bahan pangan tersebut.

Plot antara waktu proses dengan konsumsi daya dan energi listrik selama proses pembekuan ditunjukkan pada Gambar 15. Daya yang diperlukan oleh mesin pembeku yang menggunakan *receiver* lebih besar jika dibandingkan dengan mesin pembeku tanpa *receiver*. Tetapi, karena waktu proses yang lebih singkat, total konsumsi energi oleh mesin pembeku yang menggunakan *receiver* menjadi lebih kecil. Hal ini menunjukkan terjadinya penghematan energi oleh mesin pembeku yang menggunakan *receiver*.

Simpulan dan Saran

Mesin pembeku yang ditambahkan alat *receiver* pada sistem refrigerasi dapat peningkatan koefisien kinerja (*COP*) dari 2.24 menjadi 2.69, dan terjadi penghematan konsumsi energi listrik. Waktu proses pembekuan menjadi lebih singkat, khususnya pada tahap perubahan fase cair menjadi es, sehingga laju pembekuan menjadi lebih cepat dan memberi keuntungan untuk penerapan pada pembekuan bahan pangan.

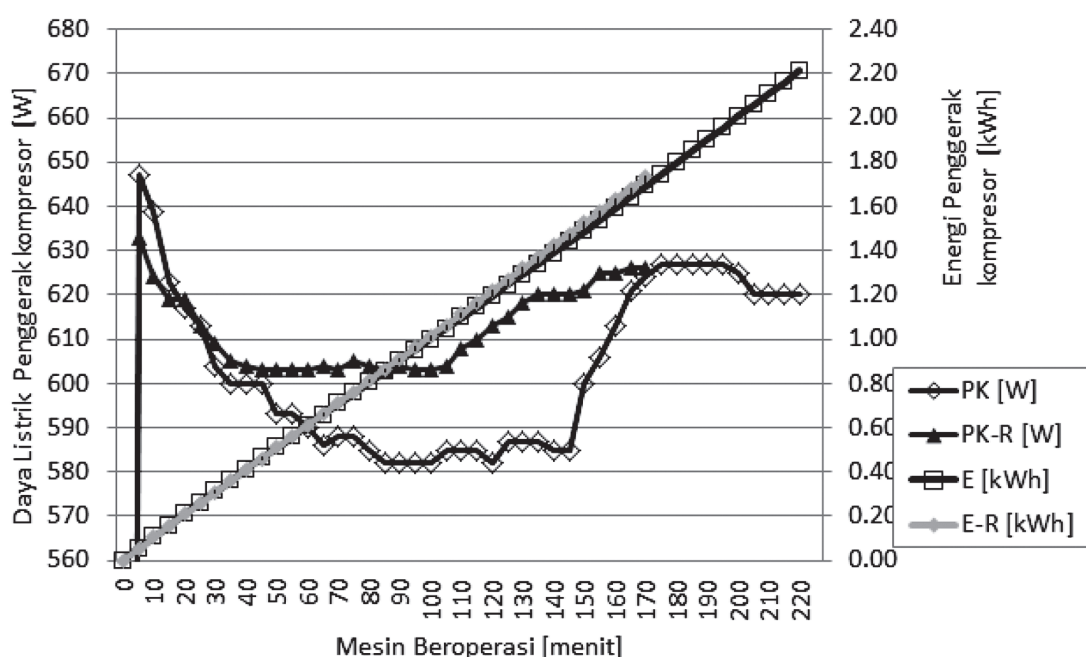
Mesin pembeku yang ditambahkan alat *receiver*, jumlah masa refrigerasi yang dimasukkan ke sistem menjadi lebih banyak (menjadi 2 kali dari mesin yang tidak menggunakan *receiver*). Penambahan masa refrigerasi sampai volume cairan refrigerasi antara 20% – 80% dari volume tabung *receiver*.

Ucapan Terima kasih

Kami mengucapkan terima kasih atas dukungan dana Penelitian Disertasi Doktor oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Negara Indonesia. Nomor kontrak: 022/SP2H/LT/DPRM/2018, dan berterima kasih atas dukungan dana dan alat kepada Laboratorium Pindah Panas dan Masa, FATETA, IPB, atas dukungan penggunaan alat penelitian.

Daftar Pustaka

- Barbosa-Cánovas, G.V., B. Altunakar and D.J. Mejia-Lorio. 2005. Freezing of fruits and Vegetables. An Agri-Business Alternative for Rural and Semi-Rural Areas. FAO Agricultural Services Bulletin 158, pp.26–36.
- Berman, E.T. 2015. Analisis Kuantitas Penyerapan Kalor Pada Refrigerator Domestik Kapasitas 90 Liter Yang Menggunakan Tube In Tube Heat Exchanger. Jurnal TORSI, Volume XIII, No.1, Januari 2015, pp. 19-36.
- Bolaji, B.O., M.A. Akintunde and T.O. Falade. 2011. Comparative Analysis of Performance of Three Ozone-Friends HFC Refrigerants in a Vapour Compression Refrigerator. Journal of Sustainable Energi & Environment 2 pp. 61-64.
- Chopra K., V. Sahni and R.S. Mishra. 2014. Thermodynamic Analyses Of Multiple Evaporators Vapor Compression Refrigeration Systems With R410a, R290, R1234yf, R502, R404a, R152a And R134a. International Journal Of Air-Conditioning



Gambar 15. Grafik perbandingan daya listrik setiap data (P_k) dan energi listrik (E) penggerak kompresor mesin pembeku tanpa *receiver* dan dengan *receiver*,

- And Refrigeration. Vol. 22, No. 1 (2014) 1450003 (14 Pages)
- Fang G., L. Xing, F. Yang and H. Li. 2005. Exergy Analysis Of A Dual-Mode Refrigeration Sistem For Ice Storage Air Conditioning. International Journal on Architectural Science, Volume 6, Number 1, p.1-6.
- Megdouli K., B.M. Tashtoush, Y. Ezzaalouni, E. Nahdi, A. Mhimid and L. Kairouani. 2017. Performance analysis of a new ejector expansion refrigeration cycle (NEERC) for power and cold: Exergy and energi points of view, Applied Thermal Engineering (2017), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.05.014>.
- Kamal D.M. 2008. Modelling of Stepping Freezing Medium for Freezing of Beef Meat With Exergy Method (PhD Thesis), Bogor Agricultural University, Indonesia.
- Luo Y. dan W. Wang. 2010. Exergy Analysis On Throttle Reduction Efficiency Based On Real Gas Equations. Elsevier Ltd. All rights reserved. doi:10.1016/j.energi.2009.09.008, Energi 35 (2010) pp. 181–187.
- Tambunan A.H., T.E. Sihaloho and D.M. Kamal. 2012. Experimental study on the effect of freezing medium suhu on eksergi efficiency. Int. J. eksergi, Vol. 10, No. 3, 2012 321.
- Vidal A, R. Best, R. Rivero and Cervantes. 2006. Analysis of a Combined Power and Refrigeration Cycle By The eksergi Method. Elsevier Ltd. All rights reserved. doi:10.1016/j.energi.2006.03.001, Energi 31 (2006), pp. 3401–3414.
- Yumrutas R., M. Kunduz and M. Kanoglu. 2002. Exergy Analysis Of Vapor Compression Refrigeration Systems. Eksergi, an International Journal 2 (2002) 266–272.