

TUGAS AKHIR

**PENGUJIAN KINERJA ALAT EKSPANSI UNTUK
SISTEM REFRIGERASI MESIN *ICE CUBE***



Oleh:

I WAYAN BAYU INDRA KURNIAWAN

**PROGRAM STUDI D3 TEKNIK PENDINGIN DAN TATA
UDARA
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja alat ekspansi berupa pipa kapiler pada sistem refrigerasi mesin pembuat es batu (ice cube). Fokus penelitian adalah pengaruh panjang pipa kapiler terhadap temperatur evaporator, Coefficient of Performance (COP), dan kapasitas pendinginan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan refrigeran R22, condensing unit AEZ9440T, serta evaporator tipe plat yang terhubung langsung dengan cetakan es. Panjang optimal pipa kapiler dihitung menggunakan perangkat lunak Dancap 1.0 dan diperoleh ukuran sebesar 0,984 m.

Hasil pengujian yang dianalisis dengan perangkat lunak Coolpack menunjukkan nilai COP sebesar 5,98 dan kapasitas pendinginan mencapai 236,147 W. Konfigurasi ini terbukti efektif dalam menghasilkan es, dengan pencapaian temperatur evaporasi yang lebih rendah dibandingkan desain sebelumnya. Temuan ini menunjukkan adanya peningkatan efisiensi sistem refrigerasi baik dari segi performa energi maupun efektivitas pendinginan.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa modifikasi panjang pipa kapiler berpengaruh signifikan terhadap kinerja sistem refrigerasi mesin ice cube. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan desain mesin pendingin yang lebih efisien. Penelitian juga merekomendasikan perbaikan desain cetakan es serta penerapan sistem monitoring otomatis untuk lebih mengoptimalkan kinerja sistem di masa mendatang.

Kata kunci: alat ekspansi, pipa kapiler, sistem refrigerasi, mesin ice cube, COP.

Performance Testing of Expansion Device for Ice Cube Machine Refrigeration System

ABSTRACT

This research aims to evaluate the performance of a capillary tube expansion device in the refrigeration system of an ice cube machine. The research focuses on the effect of capillary tube length on evaporator temperature, Coefficient of Performance (COP), and cooling capacity. The experiment was conducted using R22 refrigerant, an AEZ9440T condensing unit, and a plate-type evaporator directly connected to the ice mold. The optimal capillary tube length was calculated using Dancap 1.0 software, resulting in a dimension of 0.984 m.

The test results, analyzed with Coolpack software, showed a COP of 5.98 and a cooling capacity of 236.147 W. This configuration proved effective in producing ice, achieving a lower evaporation temperature compared to the previous design. These findings indicate an improvement in the refrigeration system's efficiency, both in terms of energy performance and cooling effectiveness.

Overall, this research demonstrates that capillary tube length modification significantly affects the performance of ice cube machine refrigeration systems. The results are expected to serve as a reference for developing more efficient cooling machine designs. The study also recommends improvements in ice mold design and the implementation of an automatic monitoring system to further optimize system performance in the future.

Keywords: *expansion device, capillary tube, refrigeration system, ice cube machine, COP.*

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
ABSTRAK.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan tugas akhir	3
1.4.1 Tujuan Umum.....	3
1.4.2 Tujuan Khusus.....	3
1.5 Manfaat tugas akhir	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Kajian Tentang Unjuk Kerja Mesin <i>Ice cube</i>	5
2.2 Komponen Utama Mesin <i>Ice cube</i>	6
2.3 Siklus Kompresi Uap Dalam Sistem Refrigerasi Mesin <i>Ice cube</i>	7
2.3.1 Teori dasar sistem refrigerasi kompresi uap.....	8
2.3.2 Kapasitas pendinginan	9
2.3.3 COP (<i>Coifficient of Performance</i>).....	10
2.4 Alat Ekspansi.....	12
BAB III METODE PELAKSANAAN	15
3.1 Ruang lingkup pengujian kinerja Alat ekspansi pada Mesin <i>Ice cube</i>	15
3.2 Tahapan Pelaksanaan	15

3.2.1 Alur Penelitian.....	16
3.3 Peralatan dan Bahan	17
3.4 Alat Ukur dan Komponen-komponen	18
3.5 Metode Pelaksanaan Tugas akhir	20
3.6 Lokasi dan Waktu Pelaksanaan.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Hasil.....	23
4.1.1 Pengaruh Panjang Pipa Kapiler Dalam Sistem Refrigerasi.....	23
4.1.2 Pengaruh Alat Ekspansi Terhadap Kinerja Sistem.....	28
4.2 Pembahasan.....	33
BAB V PENUTUP.....	37
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan fungsi dan Karakteristik.....	14
Tabel 3.1 Tabel waktu pelaksanaan tugas akhir	22
Tabel 4.1 Data Pipa Kapiler Dengan Panjang 0,984m	25
Tabel 4.2 Hasil Data Yang Diambil Dari Coolpack.....	30
Tabel 4.2 Data hasil pengukuran temperature cetakan	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Sistem Kompresi Uap.....	8
Gambar 2.2 P-h diagram R-22.....	11
Gambar 3.1 Diagram alur.....	16
Gambar 3.2 Kompresor Hermetic 1/3 hp.....	19
Gambar 3.3 Kondensor unit AEZ9440T.....	19
Gambar 3.4 Perencanaan Sistem Refrigerasi.....	20
Gambar 4.1 Mesin Pencetak Es Cube.....	23
Gambar 4.2 Hasil perhitungan aplikasi dancap 1.0.....	24
Gambar 4.3 Hasil Perhitungan COP dari <i>Software Coolpack</i>	26
Gambar 4.4 Hasil Perhitungan COP Dari Software Coolpack.....	27
Gambar 4.5 Hasil Perhitungan COP Dari Software Coolpack.....	27
Gambar 4.6 Hasil perhitungan COP dari <i>software coolpack</i>	29
Gambar 4.7 Ph diagram dengan <i>refrigerant</i> R22 dan pipa kapiler 0,984 m.....	29
Gambar 4.8 Data enthalpi sistem refrigerasi dengan pipa kapiler 0,984 m.....	30
Gambar 4.9 Pembentukan es di <i>evaporator</i>	32

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi sistem pendingin dan tata udara telah berkembang pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan kenyamanan termal dan pengendalian suhu dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Mulai dari sistem pendingin rumah tangga seperti lemari es dan AC split, hingga aplikasi industri seperti cold storage, chillers, dan sistem HVAC pada gedung bertingkat semuanya menggunakan prinsip dasar siklus refrigerasi. Dalam sistem ini, terdapat beberapa komponen utama yang bekerja secara terpadu, yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi, dan evaporator.

Salah satu komponen yang memiliki peranan sangat penting dalam siklus refrigerasi tersebut adalah alat ekspansi (*expansion device*). Meskipun secara fisik alat ini terlihat sederhana dibandingkan dengan kompresor atau kondensor, fungsi alat ekspansi sangat vital. Alat ekspansi berfungsi untuk menurunkan tekanan dan suhu refrigeran cair dari tekanan tinggi hasil keluaran kondensor, menjadi tekanan rendah sebelum masuk ke evaporator. Proses ini sangat penting karena hanya pada kondisi tekanan rendah refrigeran dapat menyerap panas dari lingkungan (melalui evaporator) dan menghasilkan efek pendinginan.

Secara umum, alat ekspansi dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan prinsip kerjanya, antara lain: pipa kapiler (*capillary tube*), katup ekspansi termostatik (*Thermostatic Expansion Valve/TXV*), katup ekspansi otomatis (*Automatic Expansion Valve/AXV*), serta katup ekspansi elektronik (*Electronic Expansion Valve/EEV*). Masing-masing jenis alat ekspansi memiliki karakteristik dan aplikasi tersendiri. Misalnya, pipa kapiler banyak digunakan pada sistem pendingin kecil seperti lemari es dan AC rumah tangga karena konstruksinya yang sederhana dan murah. Sementara itu, katup ekspansi termostatik dan elektronik banyak digunakan pada sistem berkapasitas lebih besar karena mampu mengatur aliran refrigeran secara lebih presisi sesuai kebutuhan beban pendinginan.

Keberhasilan suatu sistem refrigerasi dalam menghasilkan pendinginan yang optimal, efisiensi energi yang baik, serta umur peralatan yang panjang sangat dipengaruhi oleh pemilihan dan kinerja alat ekspansi. Kesalahan dalam pemilihan jenis maupun ukuran alat ekspansi dapat menyebabkan masalah seperti *overfeeding* (kelebihan refrigeran) atau *starving* (kekurangan refrigeran) pada evaporator, yang berakibat pada menurunnya performa sistem dan meningkatnya konsumsi energi.

Dalam dunia pendidikan vokasi seperti di Politeknik Negeri Bali, khususnya pada program studi Teknik Pendingin dan Tata Udara, pemahaman mendalam tentang komponen sistem refrigerasi menjadi sangat penting. Mahasiswa dituntut tidak hanya memahami teori, tetapi juga mampu menganalisis, merancang, dan mengevaluasi sistem pendingin berdasarkan prinsip kerja komponen-komponennya, termasuk alat ekspansi. Oleh karena itu, penyusunan laporan tugas akhir ini bertujuan untuk mengkaji lebih lanjut tentang alat ekspansi, baik dari segi prinsip kerja, jenis-jenisnya, pengaruhnya terhadap performa sistem, maupun penerapannya dalam dunia industri.

Dengan melakukan studi dan pengujian terhadap alat ekspansi, diharapkan mahasiswa dapat memperoleh wawasan yang lebih luas dan mendalam tentang pentingnya komponen ini dalam sistem pendingin. Selain itu, laporan ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan sistem pendingin yang lebih efisien, hemat energi, dan ramah lingkungan di masa depan. Pengetahuan ini juga akan menjadi bekal penting bagi mahasiswa dalam menghadapi dunia kerja, di mana efisiensi dan keberlanjutan (*sustainability*) menjadi fokus utama dalam sistem rekayasa termal modern.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan-permasalahan dalam mengetahui kinerja Alat ekspansi mesin *Ice cube* dapat dirumuskan ke dalam beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh Alat ekspansi dalam sistem refrigerasi *ice cube* sehingga dapat diketahui kondisi temperatur *evaporator* dalam membentuk es?.

2. Bagaimana pengaruh Alat ekspansi terhadap kinerja sistem refrigerasi (COP)?.

1.3 Batasan Masalah

Alat ekspansi akan diuji untuk mengetahui temperatur pembentukan es pada *Evaporator* plat dalam sistem refrigerasi yang digunakan. Performasi sistem refrigerasi akan dinyatakan dalam COP sistem.

1.4 Tujuan tugas akhir

Tujuan tugas akhir terdiri atas tujuan umum dan tujuan khusus yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1.4.1 Tujuan Umum:

Sebagai persyaratan untuk menyelesaikan Pendidikan di Program Studi D3 Teknik Pendingin dan Tata Udara, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

1.4.2 Tujuan Khusus:

1. Dapat mengetahui pengaruh alat ekspansi dalam sistem refrigerasi terhadap kondisi temperatur *evaporator* dalam membentuk es, sehingga dapat dioptimalkan untuk meningkatkan efisiensi pembentukan es.

2. Dapat mengetahui pengaruh alat ekspansi terhadap kinerja sistem refrigerasi (COP) dalam membentuk es, sehingga dapat dioptimalkan untuk meningkatkan efisiensi energi dan kinerja sistem refrigerasi.

1.5 Manfaat tugas akhir

Pada pengujian Alat ekspansi mesin *Ice cube* diharapkan bermanfaat bagi penulis, instansi Pendidikan khususnya di Politeknik Negeri Bali, dan juga masyarakat luar.

1.5.1 Bagi penulis

Sebagai sarana untuk mengimplementasikan dan mengembangkan ilmu-ilmu yang di dapat selama mengikuti perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali khususnya di prodi D3 Teknik Pendingin Dan Tata Udara.

1.5.2 Bagi Politeknik Negeri Bali

Sebagai bahan referensi ilmu pengetahuan dibidang refrigerasi di kemudian hari dan sebagai salah satu pertimbangan untuk dapat dikembangkan lebih lanjut.

1.5.3 Bagi Masyarakat

Hasil penelitian tugas akhir ini dapat di jadikan informasi dalam memilih alat ekspansi tipe pipa kapiler untuk sistem refrigerasi pada mesin *Ice cube*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian kinerja alat ekspansi berupa pipa kapiler pada sistem refrigerasi mesin ice cube, dengan batasan bahwa penelitian hanya difokuskan pada pengaruh alat ekspansi terhadap temperatur evaporator dan performansi sistem yang dinyatakan dengan Coefficient of Performance (COP), maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh terhadap temperatur evaporator:

Pipa kapiler dengan panjang 0,984 m mampu menurunkan temperatur evaporator hingga berada pada kisaran yang memungkinkan terbentuknya es di cetakan.

Temperatur evaporasi yang tercapai menunjukkan kestabilan kerja sistem, sehingga proses pembekuan dapat berlangsung dengan baik.

Dibandingkan rancangan sebelumnya yang menggunakan variasi pipa kapiler dan evaporator koil, penggunaan pipa kapiler 0,984 m dan evaporator plat terbukti lebih efektif dalam menurunkan temperatur dan mendukung proses pembentukan es.

2. Pengaruh terhadap performansi sistem (COP):

Nilai COP yang diperoleh dari hasil pengujian adalah sekitar 5,98, yang termasuk kategori tinggi untuk sistem refrigerasi dengan kapasitas sekelas mesin ice cube.

Hal ini menunjukkan bahwa proses perpindahan panas pada evaporator berjalan optimal, sehingga sistem mampu menghasilkan pendinginan dengan konsumsi energi yang relatif efisien.

3 .Kapasitas pendinginan:

Dari hasil analisis menggunakan software Coolpack, kapasitas pendinginan sistem dengan konfigurasi pipa kapiler 0,984 m adalah 236,147 watt.

Kapasitas ini lebih besar dibandingkan desain sebelumnya (sekitar 151–173 watt), sehingga membuktikan bahwa spesifikasi pipa kapiler yang dipilih berperan signifikan dalam peningkatan kinerja sistem.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran setelah melakukan pengujian kinerja alat ekspansi pada mesin *ice cube* ini yaitu:

1. Peningkatan Desain Cetakan Es

Desain cetakan es disarankan dibuat dengan presisi lebih tinggi dan menggunakan material dengan konduktivitas termal yang baik, seperti aluminium atau paduan logam khusus. Hal ini bertujuan untuk mempercepat proses perpindahan panas dari *evaporator* ke air, sehingga waktu pembekuan dapat lebih singkat dan proses pelepasan es lebih efisien.

2. Integritas Sistem Monitoring Otomatis

Penerapan sistem sensor dan monitoring digital secara *real-time* akan sangat membantu dalam mengontrol proses pembekuan, memantau kinerja mesin, serta mencatat data pengujian secara otomatis. Sistem ini juga dapat digunakan sebagai indikator dini apabila terjadi penurunan performa atau gangguan teknis pada mesin.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE, 2017, Handbook: Refrigeration. American Society Of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers
- Dincer, 2020, *Refrigeration System and Applications*. Wiley-Blackwell
- Febriansyah, 2023, Rancang bangun sistem otomatis pada *custom ice crystal machine* , Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia
- Hendrawan, 2024, Analisis *Evaporator* untuk Sistem Refrigerasi dalam Mesin Pencetak Es Cube. 2024. P-hD Thesis. Politeknik Negeri Bali.
- Maulana, 2023, Uji Performansi Mesin *Ice tube* Kapasitas 20 Kg Per Hari dengan Variasi Debit Aliran Air Spray, *Proceedings Series on Social Sciences & Humanities*, Volume 6 Prosiding Seminar Nasional Teknik (SENATEK) 2023
- Nisyaulmiah, 2015, sistim refrigerasi kompresi uap, kumpulan proyek mahasiswa, kuliah termodinamika.wordpress.com
- Rao S. S., 2018, *Swaging Tools: Design and Development*, *Journal of mechanical engineering research*, Vol. 10, No. 2, hal. 1-2
- Rohman, 2023, kaji eksperimental sistem pendingin alat pembuat es batu menggunakan pipa kapiler AC split dengan memodifikasi *evaporator* , Mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Indonesia
- Suryanto, 2022, *Ice maker cooling sistem* – analisis sistem pendingin *ice maker* , Mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Dosen Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Palangka Raya
- Sutanto et al, 2017, pengaruh parameter pengelasan asetilin terhadap kualitas pengelasan aluminium, jurnal ilmiah Teknik mesin, Vol. 9, No. 1, hal. 11-20
- Widnyana, 2024, Analisis Performansi Sistem Refrigerasi Dengan Tenaga Surya Pada Mobil Box Pendingin, Mahasiswa Program Studi Sarjana Terapan Teknik Rekayasa Utilitas