

SKIRPSI

**PEMODELAN TERMODINAMIK KINERJA ENERGI
MESIN ES TUBE KRISTAL TIPE *FLOODED* – BIO
REFRIGERAN SEKUNDER YANG HEMAT ENERGI DAN
RAMAH LINGKUNGAN**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

OKA TRIANA WISNAWA

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2024

SKRIPSI

**PEMODELAN TERMODINAMIK KINERJA ENERGI
MESIN ES TUBE KRISTAL TIPE *FLOODED* – BIO
REFRIGERAN SEKUNDER YANG HEMAT ENERGI DAN
RAMAH LINGKUNGAN**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

OKA TRIANA WISNAWA

NIM. 2015234037

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

PEMODELAN TERMODINAMIK KINERJA ENERGI MESIN ES TUBE KRISTAL TIPE *FLOODED* – *BIO* REFRIGERAN SEKUNDER YANG HEMAT ENERGI DAN RAMAH LINGKUNGAN

Oleh

OKA TRIANA WISNAWA
NIM. 2015234037

Diajukan sebagai persyaratan untuk menyelesaikan Skripsi
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas
Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali

Disetujui Oleh


Pembimbing I


Prof. Dr. Ir. I Made Rasta, M.Si
NIP. 19650325199031002

Pembimbing II


Ir. I Putu Sastra Negara, M.Si
NIP. 196605041994031003

Disahkan oleh :
Ketua Jurusan Teknik Mesin


Dr. Ir. I Gede Santosa, M.Erg.
NIP. 1966092419930310

LEMBAR PERSETUJUAN

PEMODELAN TERMODINAMIK KINERJA ENERGI MESIN ES TUBE KRISTAL TIPE *FLOODED* – BIO REFRIGERAN SEKUNDER YANG HEMAT ENERGI DAN RAMAH LINGKUNGAN

Oleh

OKA TRIANA WISNAWA

NIM. 2015234037

Skripsi ini telah dipertahankan di depan Tim Penguji dan diterima untuk dapat dilanjutkan sebagai Skripsi pada hari/tanggal :

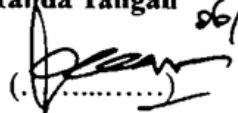
Tim Penguji

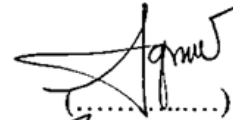
Penguji I : Prof. I Dewa Made Cipta Santosa, ST, M.Sc, Ph.D
NIP : 197610102008121003

Penguji II : I Dewa Gede Agus Tri Putra, ST, MT
NIP : 197611202003121001

Penguji III : I Made Sudana, ST, M.Erg
NIP : 196910071996031002

Tanda Tangan

 06/09/24
(.....)


(.....)


(.....)

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Oka Triana Wisnawa

NIM : 2015234037

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas

Judul Tugas Akhir : Pemodelan Termodinamik Kinerja Energi Mesin Es Tube
Kristal Tipe *Flooded* – *Bio* Refrigeran Sekunder yang
Hemat Energi dan Ramah Lingkungan

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi ini bebas dari plagiat. Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai Peraturan Mendiknas RI No.17 Tahun 2010 dan Perundang-undangan yang berlaku.

Badung, 27 Agustus 2024
Yang membuat pernyataan



Oka Triana Wisnawa
NIM. 2015234037

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penulisan skripsi ini, penulis mendapatkan bimbingan, petunjuk, bantuan, dan dorongan dari banyak pihak, baik secara moral maupun material. Penulis ingin menyampaikan terima kasih yang tulus kepada semua yang telah memberikan dukungan. Dengan rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang mendalam kepada:

1. Bapak I Nyoman Abdi, SE, M.eCom, selaku Direktur Politeknik Negeri Bali.
2. Bapak Dr. Ir. I Gede Santosa, M.Erg, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
3. Bapak I Kadek Ervan Hadi Wiryanta, ST., MT, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak Dr. Made Ery Arsana, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. I Made Rasta, M.Si selaku dosen pembimbing utama yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dorongan, dan semangat kepada penulis, sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan.
6. Ir. I Putu Sastra Negara, M.Si selaku dosen pembimbing kedua yang selalu memberikan dukungan, perhatian, semangat.
7. Bapak Prof. I Dewa Made Cipta Santosa, ST, M.Sc, Ph.D. Bapak I Dewa Gede Agus Tri Putra, ST, MT dan Bapak I Made Sudana, ST, M.Erg selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan saran dan nasehat, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan
8. Segenap dosen dan seluruh staf akademik serta PLP yang selalu membantu dalam memberikan fasilitas dan ilmu dalam penyelesaian Skripsi.
9. Kedua orang tua tercinta Bapak I Gede Sukadana Wisnawa dan Ibu Ni Nyoman Putri Ayu Sriwidari yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk perhatian, kasih sayang, semangat, serta doa demi kelancaran dan kesuksesan dalam menyelesaikan Skripsi ini.
10. Rekan Penulis yaitu Puteri Ananditya yang sudah memberikan segala dukungannya dalam berbagai bentuk selama penulisan skripsi ini berlangsung. Saya ucapkan terima kasih.
11. Teman-teman seperjuangan dalam menyelesaikan Skripsi tahun 2024 yang telah memberikan banyak masukan serta dukungan kepada penulis.

Badung 27 Agustus 2024
Oka Triana Wisnawa

ABSTRAK

Permintaan es tube kristal di Indonesia meningkat seiring dengan berkembangnya berbagai sektor, seperti minuman dan pengawetan makanan. Kebutuhan ini memicu perlunya teknologi produksi es yang lebih efisien dan hemat energi. Mesin es tube kristal yang ada seringkali belum mampu memenuhi permintaan dengan efisiensi energi yang optimal. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam desain mesin es tube kristal tipe flooded dengan bio refrigeran sekunder untuk mengatasi tantangan ini.

Penelitian ini mengkaji bagaimana merancang skematik dan model termodinamika mesin es tube kristal serta mengevaluasi performanya menggunakan program EES (*Engineering Equation Solver*). Studi ini bertujuan untuk mengembangkan inovasi yang dapat memberikan solusi bagi pelaku usaha kuliner. Fokusnya adalah menghasilkan desain mesin es kristal tipe *flooded* dengan bio refrigeran sekunder yang lebih efisien dalam konsumsi energi. Dengan demikian, mesin ini diharapkan mampu memproduksi es dengan lebih cepat dan lebih hemat energi. Inovasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dalam produksi es tube kristal.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa simulasi pemodelan mesin es tube kristal menggunakan *software* U-RefS adalah spesifikasi aktual maksimal dengan temperatur evaporator -30°C dan kondensor 40°C menggunakan refrigeran R404a. Pada kondisi ini, mesin berdaya 2 PK mampu memproduksi es sebanyak 241,08 kg per hari atau 5,88 kg per siklus (35 menit), dengan kapasitas maksimum mencapai 396,88 kg dalam 24 jam. Peningkatan temperatur evaporator dari -35°C hingga -20°C meningkatkan konsumsi daya dan COP (*Coefficient Of Performance*). Sistem ini juga mengoptimalkan operasional melalui siklus refrigerasi terpisah, dengan siklus primer menggunakan refrigeran yang berbahaya seperti amonia yang ditempatkan di lokasi terpisah untuk mengurangi risiko kebocoran dan kebakaran. Penggunaan heat exchanger meningkatkan efisiensi energi dengan memanfaatkan kalor yang terbuang, mengurangi beban kondensor, konsumsi daya, mempercepat proses defrost, serta meningkatkan kualitas es dan mengurangi downtime mesin, sehingga kontinuitas produksi es tetap optimal.

Kata kunci: es tube kristal, efisiensi energi, desain mesin, bio refrigeran sekunder, *Engineering Equation Solver (EES)*

***THERMODYNAMIC MODELING OF ENERGY
PERFORMANCE OF CRYSTAL TUBE ICE MACHINE –
FLOODED TYPE WITH ENERGY-EFFICIENT AND
ENVIRONMENTALLY FRIENDLY BIO-SECONDARY
REFRIGERANT***

ABSTRACT

The demand for crystal tube ice in Indonesia has increased alongside the growth of various sectors, such as beverages and food preservation. This demand has driven the need for more efficient and energy-saving ice production technology. Existing crystal tube ice machines often fail to meet the demand with optimal energy efficiency. Therefore, innovation in the design of flooded-type crystal tube ice machines with secondary bio refrigerants is needed to address this challenge.

This research examines the design schematics and thermodynamic model of crystal tube ice machines and evaluates their performance using the EES (Engineering Equation Solver) program. The study aims to develop innovations that provide solutions for culinary businesses. The focus is on creating a flooded-type crystal ice machine design with secondary bio refrigerants that are more energy-efficient. Thus, the machine is expected to produce ice more quickly and with lower energy consumption. This innovation is anticipated to enhance efficiency and sustainability in crystal tube ice production.

The research results show that the simulation of crystal tube ice machine production using the U-RefS program is most effective with an evaporator temperature of -30°C and a condenser temperature of 40°C using R404a refrigerant. Under these conditions, a 2 HP machine can produce 241.08 kg of ice per day or 5.88 kg per cycle (35 minutes), with a maximum capacity of 396.88 kg in 24 hours. Increasing the evaporator temperature from -35°C to -20°C increases power consumption and the Coefficient of Performance (COP). The system also optimizes operations through a separate refrigeration cycle, with the primary cycle using hazardous refrigerants like ammonia, placed in a separate location to reduce the risk of leaks and fire. The use of a heat exchanger enhances energy efficiency by utilizing waste heat, reducing the condenser load, power consumption, accelerating the defrost process, improving ice quality, and reducing machine downtime, thereby maintaining optimal ice production continuity.

Keywords: *ice tube crystals, energy efficiency, machine design, secondary bio refrigerants, Engineering Equation Solver (EES)*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadapan Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya, yang telah memungkinkan penulis menyelesaikan Skripsi ini dengan judul “Pemodelan Termodinamik Kinerja Energi Mesin Es Tube Kristal Tipe *Flooded – Bio* Refrigeran Sekunder yang Hemat Energi dan Ramah Lingkungan” tepat waktu. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan program Sarjana Terapan di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif sebagai bahan pembelajaran untuk penyempurnaan karya ilmiah di masa depan.

Badung, 27 Agustus 2024

Oka Triana Wisnawa

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT.....	v
UCAPAN TERIMAKASIH.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.4.1 Tujuan Umum	2
1.4.2 Tujuan Khusus	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.5.1 Manfaat bagi penulis	3
1.5.2 Manfaat bagi Politeknik Negeri Bali	3
1.5.3 Manfaat bagi pihak umum	3

BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1 Pengertian Refrigerasi	4
2.2 Refrigeran.....	4
2.2.1 Refrigeran primer	5
2.2.2 Refrigeran sekunder	5
2.3 Cara Kerja Siklus Kompresi Uap	5
2.4 Komponen Siklus kompresi Uap	8
2.4.1 Komponen utama	8
2.5 Mesin Es Kristal	16
2.6 Perhitungan Menentukan COP (Coefficient of Performance)	18
2.7 Termodinamika	19
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Jenis Penelitian.....	21
3.1.1 Skematik mesin es tube kristal.....	21
3.2 Alur Penelitian	24
3.3 Lokasi dan waktu penelitian.....	25
3.4 Penentuan Sumber Data	25
3.5 Sumber Daya Penelitian.....	25
3.6 Instrumental penelitian.....	26
3.7 Prosedur Penelitian.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Hasil Penelitian	28
4.1.1 Hasil rancangan model termodinamika mesin es tube kristal.....	28
4.1.2 Simulasi mesin es tube kristal tipe flooded – bio refrigeran sekunder berbasis program U-Refs.....	29
4.2 Pembahasan.....	32
4.2.1 Kinerja temperatur mesin es tube.....	33

4.2.2 Kinerja energi mesin es tube	34
4.2.3 Kapasitas produksi mesin es tube mesin es tube.....	36
4.2.4 Inovasi rancangan mesin es tube kristal tipe flooded bio refrigeran sekunder	36
BAB V PENUTUP.....	38
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA	40

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu pelaksanaan	17
Tabel 4.1 Tabel hasil simulasi termodinamika	23

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar skematis siklus refrigerasi kompresi uap	6
Gambar 2.2 Gambaran skematis siklus refrigerasi	7
Gambar 2.3 Kompresor	9
Gambar 2.4 kompresor semihermetik	9
Gambar 2.5 kompresor terbuka.....	10
Gambar 2.6 Kondensor	11
Gambar 2.7 Katup Ekspansi.....	12
Gambar 2.8 Copper Tube Aluminium Finned Evaporator.....	13
Gambar 2.9 Evaporator Bare Tube	14
Gambar 2.10 Evaporator Plate Surface	14
Gambar 2.11 Filter Dryer	15
Gambar 2.12 Akumulator.....	15
Gambar 2.13 Ice Flake Machine	16
Gambar 2.14 Ice Block Machine	17
Gambar 2.15 Ice Tube Machine.....	18
Gambar 3. 1 Model Skematik Mesin Es Tube Kristal Tipe.....	14
Gambar 3. 2 Skema mesin es tube kristal FRS	15
Gambar 3. 3 Diagram alur penelitian	16
Gambar 3. 4 Enginnering Equation Solver	18
Gambar 3. 5 Icon Enginnering Equation Solver	18
Gambar 4.1 Gambar skematik es tube kristal tipe flooded – bio refrigeran sekunder	20
Gambar 4.2 Tampilan simulasi menggunakan aplikasi U-RefS V.1.11	21
Gambar 4.3 Tampilan simulasi menggunakan aplikasi U-RefS V.1.11	22
Gambar 4.4 Tampilan simulasi diagram window turunan 2 menggunakan aplikasi	

U-RefS V.1.11.....	22
Gambar 4.5 Tampilan simulasi diagram window turunan 3: load calculation	23
menggunakan program U-RefS V.1.11.....	23
Gambar 4.6 Grafik temperatur kondensor terhadap Q evaporator.....	25
Gambar 4.7 Grafik temperatur kondensor terhadap Q kondensor	25
Gambar 4.8 Grafik temperatur evaporator terhadap konsumsi daya	26
Gambar 4.9 Grafik temperatur evaporator terhadap COP	27

DAFTAR LAMPIRAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bisnis yang berkaitan dengan es sangat berkembang di Indonesia, terutama dalam bisnis minuman yang dijual oleh pedagang kecil, restoran, serta untuk keperluan pengawetan bahan makanan seperti daging dan ikan, yang memanfaatkan es sebagai alat pendingin. Jenis es yang tersedia di pasar sangat beragam, mulai dari bentuk kubus, tabung, serpihan, hingga balok. Tingginya permintaan dari masyarakat mendorong setiap pabrik untuk terus berinovasi dengan mempercepat proses produksi pada mesin-mesin mereka. (Wijaya, 2019). Oleh karena itu, muncul gagasan untuk menyempurnakan mesin es kristal yang ada, agar dapat memproduksi es dengan lebih cepat dan efisien dalam penggunaan energi. Pengembangan ini akan melibatkan penggunaan evaporator banjir dan refrigeran sekunder untuk meningkatkan efisiensi produksi es kristal, sehingga lebih ramah lingkungan.

Flooded evaporator adalah jenis evaporator yang digunakan dalam sistem yang umumnya disebut sebagai sistem "*chiller*". Evaporator yang umumnya berbentuk bejana jenis barel atau drum secara harfiah memiliki arti dibanjiri dengan zat pendingin. Evaporator itu dipenuhi sampai tingkat tertentu dan pipa yang membawa media yang didinginkan berjalan bolak-balik melewati zat pendingin. Permasalahan yang diangkat dalam skripsi ini adalah bagaimana menghasilkan skematik dan model termodinamika mesin es tube kristal serta mengetahui performa dari mesin es tube kristal dengan pemodelan melalui program EES (*Engineering Equation Solver*).

Harapan dari studi kasus ini yaitu untuk membantu pelaku usaha kuliner dengan memberikan inovasi baru. Dengan tujuan menghasilkan rancangan dan pemodelan kinerja mesin es kristal tipe *flooded* bio refrigeran sekunder yang dapat memproduksi lebih cepat dan mengkonsumsi daya yang lebih efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Pembahasan dalam skripsi ini, terdapat beberapa aspek penting yang perlu diselesaikan, yaitu:

1. Bagaimana pemodelan termodinamika kinerja mesin es *tube* kristal tipe *flooded-bio* refrigeran sekunder menggunakan program EES?
2. Bagaimana keunggulan mesin es tube kristal tipe *flooded-bio* dengan mesin es tipe dx (*dry expansion*) yang ada saat ini?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memastikan bahwa pembahasan dalam skripsi ini tetap fokus dan sesuai dengan topik yang telah ditetapkan, penulis membatasi permasalahan sebagai berikut:

1. Pemodelan termodinamika mesin es tube kristal tipe *flooded-bio* refrigeran sekunder (Mesin es tube kristal FRS).
2. Pemodelan kinerja energi mencakup COP (*Coefficient of Performance*), konsumsi daya
3. Pemodelan kinerja sistem dilakukan dengan menggunakan metode simulasi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini meliputi tujuan umum dan tujuan khusus, yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1.4.1 Tujuan Umum

- a. Memenuhi syarat untuk kriteria kelulusan di Jurusan Teknik Mesin.
- b. Mengaplikasikan materi yang telah dipelajari selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

1.4.2 Tujuan Khusus

- a. Untuk dapat memahami termodinamika kinerja mesin es tube kristal tipe *flooded-bio* refrigeran sekunder menggunakan program EES.
- b. Untuk dapat mengetahui inovasi mesin es tube kristal tipe *flooded-bio* dengan mesin es tipe dx (*dry expansion*) yang ada saat ini.

1.5 Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat dari penelitian ini untuk penulis, Politeknik Negeri Bali, dan masyarakat umum::

1.5.1 Manfaat bagi penulis

- a. Meningkatkan pengetahuan dan keterampilan penulis di bidang refrigerasi.
- b. Mengembangkan kemampuan penulis dalam pemahaman alat refrigerasi.

1.5.2 Manfaat bagi Politeknik Negeri Bali

Bagi perguruan tinggi, kegiatan ini adalah wujud nyata dari pelaksanaan tri dharma perguruan tinggi yang ketiga. Selain itu, kepercayaan dan keyakinan masyarakat terhadap kapabilitas industri Politeknik Negeri Bali dalam bidang rekayasa teknologi terus berkembang. Hal ini mencerminkan peningkatan reputasi dan kontribusi perguruan tinggi dalam dunia industri serta menunjukkan dampak positif dari upaya peningkatan kualitas dan inovasi yang dilakukan.

1.5.3 Manfaat bagi pihak umum

- a. Memberikan informasi yang bermanfaat bagi mahasiswa dan praktisi yang ingin mempelajari sistem refrigerasi.
- b. Menjadi bahan referensi bagi penelitian-penelitian selanjutnya terkait dengan sistem refrigerasi.
- c. Mendorong pengembangan sistem refrigerasi yang lebih efisien dan efektif.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan pemodelan mesin es tube kristal serta produksinya yang dilakukan dengan aplikasi U-RefS V.1.11, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Pemodelan kapasitas produksi dan kinerja energi mesin es tube kristal menggunakan simulasi program U-RefS menunjukkan bahwa kondisi optimal tercapai pada temperatur evaporator -30°C dan kondensor 40°C dengan refrigeran R-404A. Dalam kondisi ini, mesin berdaya 2 PK mampu memproduksi 275,52 kg es tube kristal per hari, atau sekitar 6,72 kg per siklus (35 menit), dengan kapasitas maksimum mencapai 451,82 kg dalam 24 jam jika seluruh kapasitas pendinginan ditransfer secara efisien ke cetakan es. Peningkatan temperatur evaporator dari -35°C hingga -20°C menyebabkan peningkatan konsumsi daya dan koefisien performa (COP), dengan COP naik sebesar 28,8% atau 7,2% per kenaikan 5°C . Namun, peningkatan COP ini tidak sebanding dengan peningkatan kapasitas pendinginan karena konsumsi daya yang lebih tinggi. Kondisi operasi ini dipilih karena memberikan hasil produksi, COP, penurunan temperatur defrost, dan temperatur panen es tube kristal yang paling optimal, dengan temperatur panen terbaik tercapai pada -20°C .
2. Keunggulan mesin es tube dengan siklus refrigerasi terpisah terletak pada pengoptimalan operasional melalui dua siklus yang berbeda, yaitu siklus refrigeran primer dan sekunder. Siklus primer, yang menggunakan refrigeran berbahaya seperti amonia, ditempatkan di lokasi terpisah dari siklus sekunder yang digunakan untuk produksi es. Ini mengurangi risiko kebocoran dan kebakaran. Selain itu, penggunaan heat exchanger dalam sistem meningkatkan efisiensi energi dengan memanfaatkan panas laten untuk memanaskan refrigeran cair sebelum masuk ke evaporator. Hal ini mengurangi beban kerja kondensor dan konsumsi daya. Heat exchanger juga

mempercepat proses defrost, meningkatkan kualitas es dengan mencegah pemanasan berlebih, serta mengurangi downtime mesin dengan membuat proses defrost lebih efisien, sehingga menjaga kontinuitas produksi es.

5.2 Saran

Mengacu pada keterbatasan penelitian dan kesimpulan yang telah disampaikan, peneliti selanjutnya disarankan untuk:

1. Menggunakan program perangkat lunak U-RefS V.1.11 untuk simulasi termodinamika lumayan mudah digunakan karena pada U-RefS V.1.11 dapat langsung menghitung siklus refrigerasi dan kapasitas produksi dan langsung mendapat hasilnya
2. Penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi oleh peneliti berikutnya untuk mengembangkan karya ilmiah dengan topik yang serupa, misalnya dengan merancang atau memperbaiki desain mesin es tube kristal untuk mencapai hasil rancangan yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Firli, M. (2016). *Komponen Utama Refrigerasi Kompresi Uap*. Retrieved from Scribd: <https://www.scribd.com/doc/310261758/Komponen-Utama-Refrigerasi-Kompresi-Uap>.
- Huang, T., & Chen, C. (2021). *Dynamic characteristics and energy efficiency of refrigeration systems using thermostatic expansion valve*. *Energy Reports*, 7, 3546-3554.
- Kim, J., & Lee, S. (2019). *The application of capillary tubes in small-scale refrigeration systems: A comprehensive review*. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(12), 5943-5954.
- Kim, S., & Park, C. (2020). *Advances in evaporator technology for refrigeration applications: A review*. *International Journal of Refrigeration*, 117, 310-322.
- Li, S., & Zhou, Y. (2023). *Comparative study on the control performance of electronic expansion valves in air conditioning systems*. *Energy Conversion and Management*, 284, 117-124.
- Naoval, E., Alfana, H., Pangripto Pramudantoro, T., & Lukitobudi, A. R. (2023). *Kaji Eksperimental Perbandingan Performansi Antara Calcium Chloride Dan Magnesium Chloride Sebagai Refrigeran Sekunder Pada Sistem Brine Cooling*.
- Narendra, I G. N. 2023. *Perancangan Dan Pembuatan Mesin Es Balok Kristal Tipe Cetakan Celup Dengan Teknologi Penyimpanan Energi Termal Berbasis Pcm*. Proyek Akhir. Politeknik Negeri Bali, Badung-Bali.
- Rasta, I.M. and Suamir, I.N. (2018). *The role of vegetable oil in water based phase change materials for medium temperature refrigeration*. *Journal of Energy Storage*, 15, 368–378.
- Suamir, I. N. (2016). *Refrigrasi dan Tata Udara*. Badung - Bali: Politeknik Negeri Bali.

- Subagia, I W. A. 2022. Kajian termodinamik kinerja AC split: studi kasus pada bangunan pendidikan dengan menerapkan program komputer. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology*. 3 :36-42.
- Warokka, Adriyan, and Silvy Dollorossa Boedi. "Termodinamika Teknik." (2020).
- Sun, J., & Li, J. (2020). *Influence of refrigerant flow rate on the heat transfer performance of an evaporator using thermostatic expansion valve*. *Applied Thermal Engineering*, 173, 115-123.
- Wang, J., Li, H., & Sun, Y. (2022). Optimization of evaporator design for enhanced energy efficiency in refrigeration systems. *Applied Thermal Engineering*, 183, 116249.
- Zhang, Y., & Wang, X. (2022). *Performance analysis of electronic expansion valve in variable refrigerant flow systems*. *International Journal of Refrigeration*, 137, 29-38.
- Zhou, L., & Zhang, Y. (2021). Heat transfer performance and pressure drop characteristics of evaporators in refrigeration systems. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 13(4), 1025-1033.