

SKRIPSI

**PERANCANGAN DAN KAJIAN KELAYAKAN MESIN ES
TUBE KRISTAL BERBASIS REFRIGERAN SEKUNDER**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

I PUTU NOVENDRA TRISMANA PUTRA

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2025

SKRIPSI

**PERANCANGAN DAN KAJIAN KELAYAKAN MESIN ES
TUBE KRISTAL BERBASIS REFRIGERAN SEKUNDER**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

I PUTU NOVENDRA TRISMANA PUTRA
NIM. 2115234004

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengkaji kelayakan mesin es *tube* kristal yang menggunakan sistem pendingin berbasis refrigeran sekunder sebagai upaya pengembangan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Permintaan es kristal di daerah tropis seperti Bali meningkat signifikan, seiring pertumbuhan sektor pariwisata dan kuliner. Namun, produksi es kristal konvensional sering terkendala efisiensi energi dan dampak lingkungan dari penggunaan refrigeran primer yang memiliki potensi pemanasan global (GWP) tinggi.

Dalam penelitian ini, dilakukan desain sistem dan simulasi kinerja energi mesin menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor 2024 dan U-RefS V.1.11. Hasil menunjukkan bahwa sistem dengan refrigeran sekunder mampu meminimalisasi penggunaan refrigeran primer serta meningkatkan efisiensi termal melalui sirkulasi cairan pendingin dan pemanas secara terpisah (RSD dan RSP). Estimasi kinerja energi dengan refrigeran R-290 menunjukkan konsumsi energi 44,80 kWh per hari dengan produksi es mencapai 1.238 kg per hari.

Kata kunci: Mesin es *tube* kristal, refrigeran sekunder, efisiensi energi, desain termal, sistem pendingin, R-290, U-RefS, teknologi ramah lingkungan.

DESIGN AND FEASIBILITY STUDY OF SECONDARY REFRIGERANT-BASED CRYSTAL TUBE ICE MACHINE

ABSTRACT

This study aims to design and assess the feasibility of a crystal tube ice machine utilizing a secondary refrigerant-based cooling system as a technological advancement toward higher energy efficiency and environmental sustainability. The demand for crystal ice in tropical regions such as Bali has significantly increased in line with the development of the tourism and culinary sectors. However, conventional ice production systems often face challenges in energy efficiency and the environmental impact of primary refrigerants with high Global Warming Potential (GWP).

This research involves designing the system and simulating energy performance using Autodesk Inventor 2024 and U-RefS V.1.11 software. The results show that the secondary refrigerant system can minimize the use of high-GWP primary refrigerants and improve thermal efficiency through separate circulation of cold and hot secondary refrigerants (RSD and RSP). Energy performance estimation using R-290 refrigerant demonstrates a daily energy consumption of 44.80 kWh and an ice production output of 1,238 kg per day.

Keywords: *Crystal tube ice machine, secondary refrigerant, energy efficiency, cooling system, R-290, U-RefS, environmental sustainability.*

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	ii
Pengesahan oleh Pembimbing	iii
Persetujuan Dosen Penguji.....	iv
Pernyataan Bebas Plagiat	v
Ucapan Terima Kasih	vi
Abstrak dalam Bahasa Indonesia	viii
Abstract dalam Bahasa Inggris.....	ix
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	2
1.4.1 Tujuan umum	2
1.4.2 Tujuan khusus.....	3
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 masyarakat	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Sistem Refrigerasi.....	5
2.2 Siklus Kompresi Uap.....	6
2.3 Komponen Refrigerasi Kompresi Uap	8

2.3.1	Komponen utama	8
2.3.2	Komponen tambahan.....	11
2.4	Refrigeran	14
2.4.1	Refrigeran primer	15
2.4.2	Refrigeran sekunder	15
2.5	Mesin Es Kristal	16
BAB III METODE PENELITIAN		19
3.1	Jenis Penelitian	19
3.1.1	Rancangan prinsip kerja dan skematik mesin es <i>tube</i> kristal berbasis refrigeran sekunder	19
3.1.2	Mesin es <i>tube</i> kristal konvensional	20
3.2	Alur Penelitian	22
3.3	Lokasi dan Waktu Penelitian	24
3.4	Penentuan Sumber Data.....	24
3.5	Sumber Daya Penelitian	24
3.6	Instrumen Penelitian	25
3.7	Prosedur Penelitian	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Hasil penelitian	27
4.1.1	Desain prinsip kerja skematik mesin es <i>tube</i> kristal berbasis refrigeran sekunder	27
4.1.2	Desain konstruksi 3D mesin es <i>tube</i> kristal berbasis refrigeran sekunder	33
4.1.3	Kinerja energi mesin es <i>tube</i> kristal berbasis refrigeran sekunder	35
4.2	Pembahasan	38
4.2.1	Rancangan konstruksi mesin es <i>tube</i> kristal berbasis refrigeran sekunder	38
4.2.2	Bagian <i>freezer</i>	40
4.2.3	Bagian kondensing unit dan sistem sirkulasi refrigeran sekunder	46
4.3	Kajian kelayakan teknologi mesin ETKBRS	56
BAB V PENUTUP		59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	60

DAFTAR PUSAKA	61
LAMPIRAN	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Contoh aplikasi sistem refrigerasi	5
Tabel 3.1 Waktu pelaksanaan	24

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skematik siklus refrigerasi kompresi uap	6
Gambar 2.2	Diagram p-h siklus kompresi uap.....	7
Gambar 2.3	Kompresor.....	9
Gambar 2.4	Kondensor	10
Gambar 2.5	Alat ekspansi	10
Gambar 2.6	Evaporator	11
Gambar 2.7	Akumulator.....	12
Gambar 2.8	<i>Liquid receiver</i>	12
Gambar 2.9	<i>Fan Motor</i>	13
Gambar 2.10	<i>Heat exchanger</i>	13
Gambar 2.11	<i>Oil Separator</i>	14
Gambar 2.12	Refrigeran primer	15
Gambar 2.13	<i>Ice flake machine</i>	16
Gambar 2.14	<i>Ice block machine</i>	17
Gambar 2.15	<i>Ice tube machine</i>	18
Gambar 3.1	Skematik mesin es <i>tube</i> berbasis refrigeran sekunder.....	20
Gambar 3.2	Skematik mesin es <i>tube</i> kristal konvensional.....	21
Gambar 3.3	Diagram alir penelitian.....	23
Gambar 3.4	Autodesk inventor 2024	25
Gambar 3.5	Perangkat lunak U-Refs	26
Gambar 4.1	Sirkulasi refrigeran primer	28
Gambar 4.2	Proses pendinginan dan pemanasan refrigeran sekunder	29
Gambar 4.3	Proses <i>Freezing</i>	30
Gambar 4.4	Proses <i>Draining after freezing</i>	31
Gambar 4.5	Proses <i>Defrost</i>	32
Gambar 4.6	Proses <i>Draining after defrost</i>	33
Gambar 4.7	Mesin ESTBRS tampak depan.....	34
Gambar 4.8	Mesin ESTBRS tampak samping.....	34

Gambar 4.9 Jendela 1 R-290.....	35
Gambar 4.10 Jendela 2 R-290.....	36
Gambar 4.11 Jendela 3 R-290.....	36
Gambar 4.12 Jendela 1 R-404A.....	37
Gambar 4.13 Jendela 2 R-404A.....	37
Gambar 4.14 Jendela 3 R-404A.....	37
Gambar 4.15 Tampak 3D sistem <i>freezer</i>	38
Gambar 4.16 Tampak 3D kondensing unit dan sistem sirkulasi refrigeran sekunder	39
Gambar 4.17 <i>Feeding chamber</i>	40
Gambar 4.18 Tabung <i>freezer es tube</i>	41
Gambar 4.19 Pipa cetakan es <i>tube</i>	42
Gambar 4.20 Pisau pemotong es <i>tube</i>	44
Gambar 4.21 Pisau pemotong es <i>tube</i> tampak samping.....	44
Gambar 4.22 Tabung pisau pemotong dan tangki air baku.....	45
Gambar 4.23 <i>Heat recovery heat exchanger</i>	47
Gambar 4.24 <i>Evaporator shell and tube</i>	48
Gambar 4.25 Kondensor.....	49
Gambar 4.26 Panel kontrol.....	51
Gambar 4.27 Tangki RSD dan RSP.....	53
Gambar 4.28 Kerangka konstruksi bagian <i>freezer</i>	55
Gambar 4.29 Kerangka kondensing unit dan sistem distribusi refrigeran sekunder	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	: Pandangan depan dan samping kiri mesin ETKBRS	62
Lampiran 2	: Pandangan belakang dan samping kanan mesin ETKBRS	63
Lampiran 3	: Pandangan sudut 1 mesin ETKBRS	64
Lampiran 4	: Pandangan sudut 2 mesin ETKBRS	65
Lampiran 5	: Pandangan sudut 3 mesin ETKBRS	66
Lampiran 6	: Pandangan sudut 4 mesin ETKBRS	67
Lampiran 7	: Bagian <i>freezer</i>	68
Lampiran 8	: Bagian <i>feeding chamber</i>	69
Lampiran 9	: Bagian tabung <i>freezer</i>	70
Lampiran 10	: Tabung pisau pemotong dan tangki air baku es	71
Lampiran 11	: Tabung cetakan es	72
Lampiran 12	: Pisau pemotong es	73
Lampiran 13	: Kerangka <i>freezer</i> unit	74
Lampiran 14	: Kerangka kondensing unit dan sistem sirkulasi refrigeran sekunder	75
Lampiran 15	: Bagian dalam <i>freezer</i>	76

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ekonomi, teknologi, dan budaya pada saat ini telah menyebabkan peningkatan kebutuhan manusia, yang tidak terbatas pada kebutuhan utama dan kebutuhan pribadi. Pemuasan kebutuhan pribadi ini merupakan kebutuhan penting bagi kelompok tertentu untuk menyamakan kepuasannya dengan kebutuhan dasar. Seiring perkembangan ekonomi yang berkembang terutama di kota-kota besar, berbagai bidang seperti sektor manufaktur, industri, dan perdagangan eceran di Indonesia sudah menjadi perusahaan usaha besar. Pada sisi lain, gaya hidup juga berubah dari tradisional ke modern, yang menyebabkan perubahan pada belanja konsumen. Bentuk Bentuk usaha yang mengalami perkembangan pesat adalah Es Kristal (Pratama et al., 2023).

Bali adalah wilayah di Indonesia yang mempunyai daya tarik wisatawan yang luar biasa. Keindahan alam, kekayaan budaya, dan berbagai tempat wisata yang terkenal membuat Bali menjadi tujuan utama bagi para wisatawan, baik domestik maupun mancanegara. Seiring perkembangan sektor pariwisata, berbagai peluang usaha yang mendukung aktivitas wisata di Bali, salah satunya menjadi usaha penjualan es kristal. Penjual es kristal ini memanfaatkan peluang dari tingginya permintaan akan minuman segar serta dingin di tengah iklim tropis Bali yang panas, selain menjadi pendingin minuman segar, es kristal bisa digunakan menjadi pengawet bahan makanan seperti daging, ikan dan bahan-bahan lainnya. Sekarang ini banyak para penjual es kristal kewalahan dengan permintaan pasar karena waktu produksi es yang relatif lambat menghasilkan suatu pesanan tidak seimbang saat produksi es kristal.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mendesain mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder, dengan harapan dapat meningkatkan efisiensi sistem pendinginan, mengurangi konsumsi energi, serta mengurangi dampak negatif terhadap

lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas maka permasalahan yang akan dibahas dalam perancangan dan kelayakan mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder :

1. Bagaimana desain konstruksi dan proses produksi es pada mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder
2. Bagaimana kajian kelayakan teknologi mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder.
3. Bagaimana kinerja energi mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penulisan skripsi penulis hanya membahas mengenai perancangan dan kajian kelayakan mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder. Berdasarkan rumusan masalah di atas maka batasan masalah dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Penulis hanya membahas desain konstruksi dan proses produksi es pada mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder
2. Kajian kelayakan difokuskan pada aspek teknologi, sedangkan kajian dampak lingkungan dan analisis ekonomi secara detail tidak dibahas.
3. Estimasi kinerja energi hanya dihitung untuk mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder dengan refrigeran primer jenis R-290 dan R-404A.

1.4 Tujuan

Tujuan yang penulis harapkan dari penyusunan skripsi yang bertemakan kajian pembangunan mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder, memiliki 2 tujuan yaitu :

1.4.1 Tujuan umum

Adapun tujuan umum dari pembuatan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk memenuhi salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Prodi Teknologi Rekayasa Utilitas Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

- b. Untuk mengaplikasikan ilmu – ilmu yang di peroleh selama mengikuti perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali, baik secara teori maupun praktek.
- c. Menguji dan mengembangkan ilmu pengetahuan yang telah diperoleh di bangku kuliah dan diterapkan ke dalam penulisan skripsi ini.

1.4.2 Tujuan khusus

Adapun tujuan khusus dari pembuatan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. Dapat menentukan desain kontruksi dan proses produksi es pada mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder.
- b. Dapat menentukan kajian kelayakan teknologi mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder
- c. Dapat menentukan estimasi kinerja mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil perancangan mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder ini di harapkan dapat bermanfaat bagi penulis, instansi pendidikan khususnya di Politeknik Negeri Bali

1.5.1 Manfaat bagi penulis

Hasil perancangan alat ini sebagai sarana untuk menerapkan dan mengembangkan ilmu-ilmu yang di dapat selama mengikuti perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas di Politeknik Negeri Bali baik secara teori maupun praktek. Selain itu merupakan syarat dalam menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

1.5.2 Manfaat bagi Politeknik Negeri Bali

Sebagai bahan pendidikan atau ilmu pengetahuan di bidang refrigerasi di kemudian hari dan sebagai salah satu pertimbangan untuk dapat di kembangkan lebih lanjut

1.5.3 Manfaat bagi masyarakat

Adapun manfaat dari mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder ini adalah dapat membantu para pedagang atau wirausaha dibidang kuliner dan sektor lainnya untuk menyegarkan minuman dan mengawetkan makanan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berlandaskan hasil perancangan mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder, yaitu :

1. Gambar skematik dan gambar tiga dimensi sudah dilakukan. Gambar tiga dimensi menggunakan software *autodesk inventor 2024*. Pada gambar tiga dimensi dapat dilihat bagaimana rancangan dan penempatan komponen pada konstruksi yang di desain.
2. ETKBRS menerapkan teknologi refrigeran sekunder yang sistemnya terdiri atas pompa sirkulasi, sistem pemipaan dan tangki penyimpanan. Sistem refrigerasi primer (dengan siklus kompresi uap) menggunakan kompresor untuk memompa refrigeran primer (seperti HC, CO₂, NH₃) melalui kondensor dan evaporator. Sistem refrigerasi primer digunakan untuk mendinginkan refrigeran sekunder di heat exchanger. Sedangkan refrigeran sekunder dipompa ke *freezer* di tabung produksi es *tube* kristal. Refrigeran sekunder ini mendinginkan tabung *freezer* yang menghasilkan es. Refrigeran primer tetap berada di sirkuit terpisah, hanya digunakan untuk mendinginkan refrigeran sekunder. Refrigeran sekunder menjadi media dingin utama yang bersentuhan langsung dengan area pembentukan es.
3. Estimasi kinerja energi mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder sudah diperoleh. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan program U-RefS V.1.11 terhadap mesin es *tube* kristal 5 PK berbasis refrigeran sekunder, dapat disimpulkan bahwa penggunaan refrigeran R-290 memberikan kinerja yang lebih efisien dibandingkan R-404A. Meskipun kedua refrigeran menghasilkan jumlah es yang sama per siklus (33.63 kg), R-290 mampu menghasilkan total es harian yang lebih tinggi sebesar 1238 kg, dibandingkan R-404A yang menghasilkan 1223 kg. Selain itu, R-290 menunjukkan konsumsi energi yang

lebih rendah, yaitu 44.80 kWh per hari, dibandingkan R-404A yang mengonsumsi 47.60 kWh per hari.

5.2 Saran

Berlandaskan beberapa keterbatasan yang ditemui serta simpulan yang telah dijabarkan, maka penulis dapat memberikan saran untuk peneliti berikutnya, yakni:

1. Memanfaatkan program *autodesk inventor* dalam merancang desain tiga dimensi lumayan praktis untuk diaplikasikan karena pada *autodesk inventor* dapat memvisualisasikan, mensimulasikan alat yang akan dibuat/dibangun.
2. Peneliti berikutnya bisa menerapkan penelitian ini sebagai pedoman atau acuan dalam pelaksanaan pengembangan karya ilmiah yang memiliki tema serupa yakni, membangun atau menyempurnakan desain mesin es *tube* kristal berbasis refrigeran sekunder agar mendapatkan hasil rancangan yang lebih maksimal dan bisa diterapkan dalam bentuk rancang bangun.

DAFTAR PUSAKA

- Naoval E., Alfana H., Pramudantoro T. P., Lukitobudi A. R. 2023. *Kaji Eksperimental Perbandingan Performansi Antara Calcium Chloride Dan Magnesium Chloride Sebagai Refrigeran Sekunder Pada Sistem Brine Cooling. Prosiding 14th Industrial Research Workshop and National Seminar*. 14 (1): 35-45.
- Firli, M. 2016. *Komponen Utama Refrigerasi Kompresi Uap*. Retrieved from Scribd:[https://www.scribd.com/doc/310261758/Komponen-Utama Refrigerasi-Kompresi-Uap](https://www.scribd.com/doc/310261758/Komponen-Utama-Refrigerasi-Kompresi-Uap). Diakses pada tanggal 7 Januari 2025
- Suamir, I. N. 2016. *Refrigrasi dan Tata Udara*. Badung - Bali: Politeknik Negeri Bali.
- Pratama, A. R., Anwar, S. M., & Hasbi, A. R. 2023. *Pengaruh Persepsi Harga, Promosi Penjualan, Dan Citra Merek Terhadap Loyalitas Pelanggan Es Kristal Pluto Mineral Di Kota Palopo. Jesya*. 6 (2): 1702–1715.
- Prasetyo, Y., Winarno, B., Nur, R. A., & Nur, M. H. 2022. *Electrical Safety System on Ice Tube Machine. International Journal of Science, Engineering, and Information Technology*. 07 (1): 3–6.
- Ridhuan, K., & Juniawan, I. G. A. 2014. *Pengaruh Media Pendingin Air Pada Kondensor Terhadap Kemampuan Kerja Mesin Pendingin. Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. 3 (2), 1–6.