

Simulasi termodinamik mesin es balok ekspansi langsung menggunakan refrigeran R-290 atau R-404A dengan kapasitas 2,5 kW

Muhammad Yulianas ^{1*}, I Made Rasta ², I Kadek Ervan Hadi Wiryanta ³

¹ Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali

² Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali

³ Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali

*Corresponding Author: julianasspeedo89@gmail.com

Abstrak: Perkembangan teknologi di bidang refrigerasi mengalami kemajuan seiring berkembangnya zaman. Salah satunya pada bidang industri adalah pembuatan es balok menggunakan Mesin Es Balok. Sebelumnya mesin es balok menggunakan zat refrigerant jenis ammonia sebagai refrigerannya. Namun zat ammonia memiliki sifat beracun dan sangat berbau tajam sehingga mulai jarang digunakan. Saat ini banyak muncul jenis refrigeran ramah lingkungan, sehingga mesin mesin refrigrasi sekarang sudah mulai menggunakan refrigeran ramah lingkungan contohnya menggunakan refrigeran R-404A. Selain itu juga muncul beberapa refrigeran ramah lingkungan lain seperti R-290 yang merupakan refrigeran natural sebagai refrigeran alternatif yang lebih ramah lingkungan. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan simulasi dengan menggunakan sebuah program bernama U-RefS V.1.11 yang dibuat pada sebuah program platform EES dengan memakai beberapa parameter data yang sudah disiapkan sebelumnya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kinerja mesin es balok dengan menggunakan refrigeran R-404A dan R-290 serta mendapat mengestimasi waktu dan kapasitas produksi es balok yang dihasilkan. Hasil yang didapat dari simulasi berupa beberapa data seperti ; kapasitas produksi, konsumsi daya, konsumsi energi, kapasitas pendinginan, COP, EER.

Kata Kunci: simulasi, mesin es balok, refrigeran, program U-RefS

Abstract: Technological developments in the field of refrigeration have progressed. One of them in the industrial sector is the manufacture of ice blocks using the Ice Block Machine. Previously, the block ice machine used a refrigerant type of ammonia as the refrigerant. However, ammonia is toxic and has a very strong smell, so it is rarely used. Currently, there are many types of environmentally friendly refrigerants appearing, so refrigeration machines have now started using environmentally friendly refrigerants, for example using R-404A refrigerant. In addition, several other environmentally friendly refrigerants have also emerged, such as R-290 which is a natural refrigerant as an alternative refrigerant that is more environmentally friendly. The method used is to perform a simulation using a program called U-RefS V.1.11 which is made on an EES platform program using several data parameters that have been prepared previously. The purpose of this study was to determine the performance of the ice block machine using refrigerants R-404A and R-290 and to estimate the production time and capacity of the resulting block ice. The results obtained from the simulation are in the form of several data such as; production capacity, power consumption, energy consumption, cooling capacity, COP, EER

Keywords: Simulation, Ice Block Machine, U-Refs Program

Informasi Artikel: Pengajuan Repository pada September 2022/ Submission to Repository on September 2022

Pendahuluan

Refrigerasi merupakan salah satu proses pendinginan suatu benda hingga mencapai pada temperatur berada di bawah temperatur lingkungan, proses ini sangat cocok untuk mendinginkan suatu barang untuk menjaga suhu. Perkembangan teknologi di bidang refrigerasi dan pengkondisian udara mengalami kemajuan dengan pesat seiring berkembangnya zaman [1]. Teknologi refrigerasi memberikan banyak keuntungan bagi manusia. Salah satu penggunaan sistem refrigerasi pada bidang industri adalah pembuatan es balok menggunakan Mesin Es Balok. Es Balok adalah sebuah es yang berbentuk balok dengan ukuran dan berat 12-60 kg/balok. [2] Sedangkan Mesin Es Balok merupakan alat yang digunakan untuk memproduksi es berbentuk balok. Di Indonesia kebutuhan es balok selalu meningkat pesat dan menjadi salah satu kebutuhan vital. Selain itu, es balok juga menjadi kebutuhan para nelayan yang menangkap ikan untuk menunjang kualitas ikan.

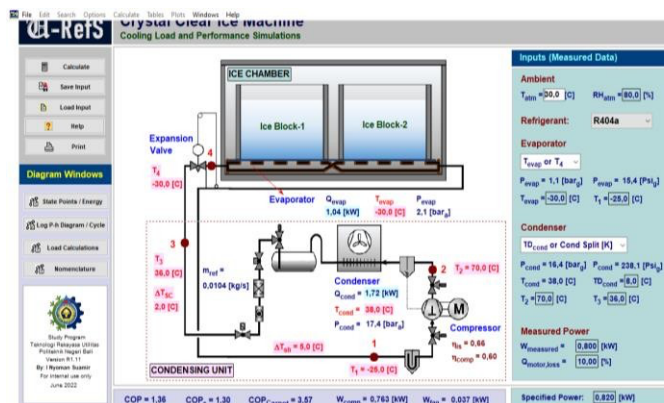
Penggunaan es balok sebagai bahan pengawet ikan membantu menjaga kualitas ikan agar terjaga hingga beberapa hari kedepan. Mengingat begitu banyak keuntungan yang bisa diperoleh dari es balok, tentu saja es balok berpotensi menjadi ladang bisnis paling menguntungkan [3].

Jika sebelumnya mesin es balok masih menggunakan refrigeran jenis ammonia dimana Zat ammonia (simbol kimia NH_3 , nama komersial R717) adalah material berbentuk gas pada tekanan atmosfer dan merupakan bahan yang ideal sebagai refrigeran dengan sifat ramah lingkungan karena memiliki nilai 0 untuk *ozone depletion potential* (ODP) dan *global warming potential* (GWP). [4] Tetapi ammonia memiliki kelemahan yaitu memiliki sifat beracun dan sangat berbau tajam dan dalam penggunaannya pun lebih rumit, [5] Karena prosesnya yang lebih rumit seiring berkembangnya mesin pendingin di industri, zat pendingin pun ikut berkembang, namun saat ini masih ada industri yang menggunakan ammonia sebagai zat refrigerannya. Tetapi saat ini kebanyakan mesin pendingin sudah menggunakan zat pendingin yang ramah lingkungan seperti R404A dan R290. Refrigeran R404a pada umumnya digunakan pada temperature menengah dan temperatur rendah dalam ruang lingkup comersial refrigerasi, dengan menggunakan oli jenis POE (Polyol Ester). Pada Aplikasi R404a pada dunia refrigerasi adalah untuk cold storage, supermarket, ice mesin. [6] R404A telah disetujui oleh banyak pabrikan kompresor pendingin , digunakan dalam peralatan pendingin baru, seperti display makanan dan penyimpanan berpendingin, ruang penyimpanan berpendingin, mesin es, transportasi berpendingin, dan proses pendinginan.[7] Sedangkan refrigeran R-290 adalah jenis propana refrigeran dari keluarga hidrokarbon, Refrigeran R290 memiliki nilai ODP nol dan nilai GWP yang sangat kecil. Karena refrigeran R-290 diperoleh langsung dari gas yang dicairkan. [8] Namun, refrigeran R-290 masih memiliki kendala yaitu belum dapat diterapkan dalam skala besar karena memiliki index pendinginan yang rendah yakni 83 sehingga R-290 memiliki sifat mudah terbakar dan meledak-ledak yang belum bisa ditemukan solusinya menjadi hambatan untuk popularitasnya.[9]

Maka untuk mengetahui bagaimana kinerja mesin es saat menggunakan refrigeran R-404A atau R-290 dilakukan simulasi. Sebelumnya sudah ada program simulasi yang dibuat untuk mengetahui kinerja pada sistem pengkondisian udara (AC) untuk bangunan atau gedung yang bernama U-CoolS, tetapi itu hanya dapat digunakan untuk mengetahui kinerja pada AC saja. [10] Sehingga diperlukan program baru untuk mengetahui bagaimana kinerja mesin Es balok menggunakan kedua jenis refrigerant tersebut, maka di buatlah program U-RefS ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja mesin es balok dengan menggunakan refrigeran R-404A dan R-290 serta dapat mengestimasi waktu dan kapasitas produksi es balok yang dihasilkan. Hasil yang didapat dari simulasi berupa beberapa data seperti ; kapasitas produksi, konsumsi daya, konsumsi energi, kapasitas pendinginan, COP, EER.

Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah tentang simulasi termodinamik pada mesin es balok sistem ekspansi langsung yang menggunakan refrigeran R-290 dan refrigeran R-404A. dimana bertujuan untuk mengetahui hasil kinerja dan hasil produksi mesin es balok yang menggunakan refrigeran R-290 serta saat menggunakan refrigeran R-404A. dimana bertujuan untuk mengetahui hasil kinerja dan hasil produksi mesin es balok yang menggunakan refrigerant R290 serta saat menggunakan refrigerant R404A. Pada simulasi kali ini software yang digunakan adalah software bernama U-Ref berbasis platform program EES (*Engineering Equation Solver*) professional versi 11.112-3D tahun 2021.



Gambar 1. Tampilan Program U-RefS

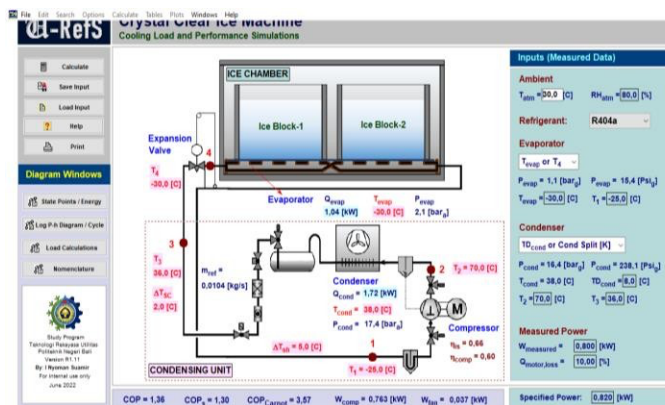
Program aplikasi ini dikembangkan untuk memberikan perangkat lunak yang memadai dan modern bagi civitas akademika pada Program Studi TRU-MEP (Teknologi Rekayasa Utilitas – Mekanikal Elektrikal dan Plambing) Politeknik Negeri Bali dalam melakukan kajian numerik kinerja sistem mesin es balok. Bahasa yang digunakan adalah bahasa Inggris dengan tujuan membiasakan pengguna pada istilah-istilah bidang Refrigerasi dan AC yang secara umum masih menggunakan Bahasa Inggris. Walaupun demikian, program dibuat atraktif dan sederhana sehingga dapat memberikan kemudahan bagi pengguna. Pada software tersebut beberapa parameter data yang digunakan untuk melakukan simulasi diantaranya :

1. Temperatur di sekeliling [$^{\circ}\text{C}$]
2. Kelembaban relatif [RH]
3. Jenis refrigeran yang digunakan
4. Evaporator [T_1 / T_{evap}]
5. Kondenser [$T_2 / T_3 / T_{\text{cond}}$]
6. Kapasitas daya kompresor [Kw]
7. Temperatur ruang es [$^{\circ}\text{C}$]
8. Ukuran dimensi mesin es [m]
9. Ukuran dimensi es balok [m]
10. Temperatur air yang digunakan [$^{\circ}\text{C}$]
11. Ukuran dinding mesin es [m]
12. Konstruksi ruang es
13. Waktu produksi [h]

Program U-RefS V.1.11 menerapkan metode simulasi perhitungan cepat (*instant calculation*), dengan tujuan simulasi cukup interaktif dan dapat dilakukan dengan lebih cepat. Perhitungan cepat dapat langsung dilakukan dengan memasukkan data-data input yang diperlukan. Secara umum parameter data yang digunakan untuk simulasi dimasukkan kedalam beberapa diagram window yang terdapat pada program U-RefS ini. Berikut adalah struktur program U-RefS V.1.11 yang terdiri dari lima diagram window diantaranya :

1. Diagram window utama : simulasi kinerja temperatur dan energy

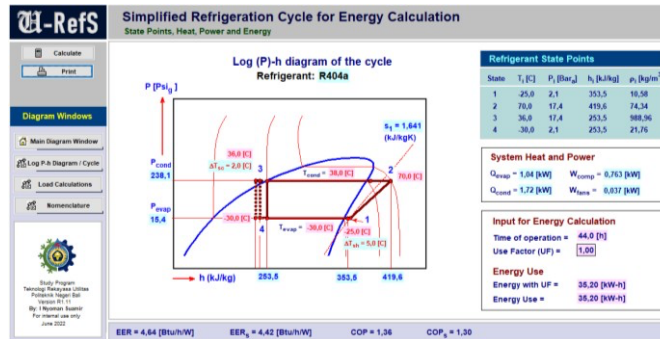
Secara umum diagram window utama terdiri atas: (i) bagian menu navigasi dan pengelolaan input serta kalkulasi; (ii) Bagian input data; (iii) Bagian yang menampilkan hasil perhitungan dilengkapi dengan gambar skematik dari sistem mesin es balok. Semua input data pada proses perhitungan cepat atau instant calculation dilakukan melalui diagram window utama ini. Sedangkan output atau hasil perhitungan cepat sebagian ditampilkan pada diagram window utama dan sebagian disajikan pada diagram window turunan.



Gambar 2. Tampilan diagram window utama

2. Diagram window turunan 1 : siklus energi, panas dan daya sistem

Diagram window turunan 1 adalah diagram siklus refrigerasi sederhana untuk perhitungan energi seperti yang disajikan pada Gambar 3 Mirip dengan diagram window utama, diagram window ini juga dilengkapi dengan menu navigasi dan pengelolaan input walaupun tidak selengkap pada diagram window utama. Bagian lain dari diagram window turunan 1 ini merupakan tampilan output hasil dari perhitungan cepat (instant calculation). Tampilan dari diagram window dilengkapi dengan diagram log (P)-h dari siklus refrigerasi. Siklus refrigerasi pada diagram log (P)-h berkorelasi dengan posisi pengamatan yang disajikan pada gambar skematik sistem mesin es balok (dapat dilihat pada Diagram Window Utama). Jenis refrigeran yang digunakan dalam sistem mesin es balok juga disajikan

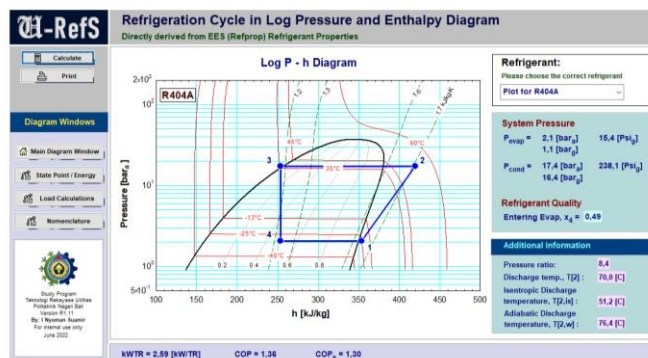


Gambar 3. Tampilan diagram window turunan 1

3. Diagram window turunan 2 : siklus refrigerasi dalam P-h Diagram

Diagram window turunan 2 merupakan siklus refrigerasi dalam bentuk P-h diagram. Diagram window ini menampilkan hasil dalam bentuk P-h diagram, berdasarkan simulasi menggunakan parameter pada diagram window utama. Sama seperti diagram window utama dan diagram window sebelumnya diagram window turunan 2 juga dilengkapi dengan bagian menu navigasi, yang membedakan ialah tidak adanya menu input pada diagram turunan 2, hanya menampilkan bagian menu navigasi dengan menu output saja.

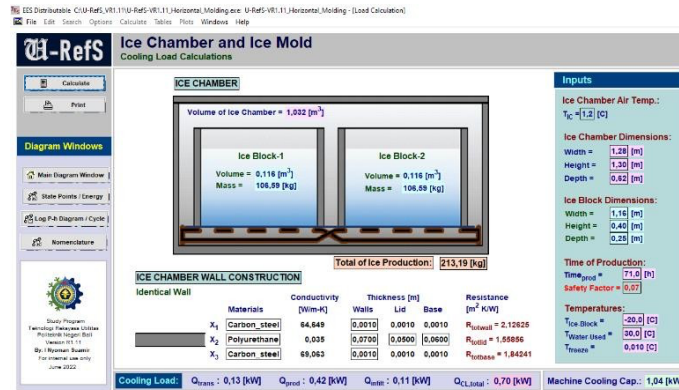
Pada bagian menu navigasi sama seperti diagram turunan sebelumnya, pada bagian output ditampilkan diagram P-h diagram yang sudah dilengkapi dengan garis titik point 1-4. Selain itu juga ditampilkan COP, COPs dan konsumsi daya spesifik [kW/TR], tekanan sistem evap dan kondenser, kualitas refrigeran, dan beberapa informasi tambahan seperti ; *pressure ratio, discharge temperature, isentropic discharge temperature, adiabatic discharge temperature*. Pada diagram window 2 cukup memlih jenis refrigeran yang digunakan untuk melihat diagram P-h yang didapat.



Gambar 4. Tampilan diagram window turunan 2

4. Diagram window turunan 3 : siklus perhitungan beban pendinginan

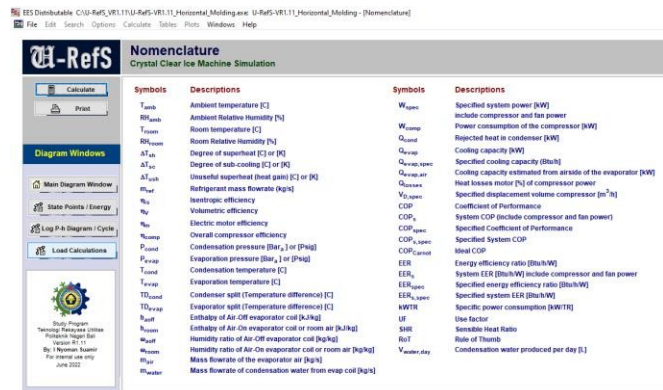
Diagram window turunan 3 merupakan siklus perhitungan beban pendinginan mesin es balok seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8. Hampir sama seperti diagram window utama dan diagram window sebelumnya diagram window turunan 3 juga dilengkapi dengan bagian menu navigasi, bagian input dan bagian output, yang membedakan ialah pada bagian input dan output hasil perhitungan cepat / calculation.



Gambar 5. Tampilan diagram window turunan 3

5. Diagram window turunan 4 : tata nama atau Nomenclature

Diagram window turunan 4 merupakan tata nama atau Nomenclature. Pada bagian window ini berisi penjelasan deskripsi mengenai istilah atau symbol yang terdapat pada software atau program U-Refs ini. Terdapat beberapa istilah atau symbol yang digunakan pada program ini, dan pada bagian Nomenclature ini kita dapat mengetahui deskripsi mengenai satuan, simbol yang digunakan pada program U-refs ini.



Gambar 6. Tampilan diagram window turunan 3

Hasil dan Pembahasan

Simulasi termodinamik dalam pengembangan mesin es balok kristal ekspansi langsung dengan menggunakan sebuah distributable program U-RefS V.1.11 yang dibuat pada sebuah program platform EES (Engineering Equation Software) selesai dilakukan. Simulasi di dalam program U-RefS V.1.11 dapat dilakukan dengan berbagai refrigeran. Tetapi dalam penelitian ini simulasi dilakukan berdasarkan sistem refrigerasi kompresi uap dengan menggunakan dua jenis refrigeran, yaitu R-404A merupakan refrigeran yang umum digunakan pada berbagai mesin es namun kurang ramah lingkungan dan R-290 merupakan refrigeran natural sebagai refrigeran

alternatif yang lebih ramah lingkungan. Hasil-hasil penelitian disajikan berupa hasil simulasi kinerja energi dan simulasi kapasitas produksi dari mesin es balok kristal ekspansi langsung.

Berdasarkan hasil perhitungan simulasi dengan menggunakan program U-refs pada mesin es balok menggunakan jenis refrigeran R-290 dan R-404 didapatkan perbandingan kinerja mesin saat menggunakan refrigeran R-290 dan R-404A dengan kapasitas 2,5 kW. Didapatkan kinerja mesin es balok sebagai berikut ;

1. EER

Pada Tabel 1 dapat dilihat hasil output EER dari program U-RefS yang didapat dari simulasi menggunakan masing masing jenis refrigeran yakni R-290 dan R-404A. Hasil output simulasi yang menampilkan data EER dapat dilihat pada diagram window turunan 1 : *state point / energy*.

Tabel 1. EER mesin es balok dengan kedua jenis refrigeran

No	Jenis Refrigeran	EER
1	R-404A	4,64 Btu/h/W
2	R-290	5,76 Btu/h/W

Persamaan hasil simulasi EER juga dapat dihitung dengan rumus:

$$EER = \frac{Q_{evap} \cdot |3412 \cdot \frac{Btu/h}{kW}|}{W_{comp} \cdot 1000}$$

2. COP

Pada Tabel 2 didapatkan COP dari masing masing jenis refrigeran yang digunakan yakni R-290 dan R-404A. Hasil output simulasi yang menampilkan data COP dapat dilihat pada diagram window turunan 1 : *state point / energy* .

Tabel 2. Hasil COP mesin es balok dengan kedua jenis refrigeran

No	Jenis Refrigeran	COP
1	R-404A	1,36
2	R-290	1,69

Berdasarkan hasil nilai COP yang didapat, nilai COP dengan menggunakan refrigerant R-404A lebih kecil dibandingkan saat menggunakan refrigeran R-290. Selain itu nilai COP juga dapat dihitung dengan persamaan rumus ;

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}}$$

3. Kosumsi Energi

Pada Tabel 3 ditampilkan data konsumsi energi pada mesin es balok dengan menggunakan refrigeran R-290 dan R-404A. Hasilnya saat simulasi menggunakan refrigeran R-404A diperoleh konsumsi energi sebesar 31,90 kWh, sedangkan ketika simulasi menggunakan R-290 konsumsi energi yang diperoleh adalah 25,99 kWh. Dapat dikatakan konsumsi energi saat menggunakan refrigeran R-290 lebih rendah dibanding saat menggunakan refrigeran R-404A.

Tabel 3. Konsumsi energi mesin es balok dengan kedua jenis refrigeran

No	Jenis Refrigeran	Konsumsi energi
1	R-404A	31,90 kW-h
2	R-290	25,99 kW-h

Hasil konsumsi energy mesin es dapat dilihat pada diagram window turunan 1 : *state point / energy*, dengan memasukkan input data yang ada pada window diagram utama dan diagram window turunan 3 : *load calculation*. Selain itu persamaan rumus yang digunakan adalah.

$$E_{anl,instPower,100\%} = W_{measured} + time_{ice, hours}$$

4. Kapasitas Pendinginan

Pada Tabel 4 menunjukkan hasil simulasi perhitungan kapasitas pendinginan mesin es balok menggunakan kedua jenis refrigeran R-290 dan R-404A, hasilnya kapasitas pendinginan mesin dengan R-404A dan R-290 sama, yakni 2,66 kW. Kapasitas pendinginan atau *cooling capacity* dapat dilihat pada diagram window turunan 3: *load calculation*. Kapasitas pendinginan yang dihasilkan berdasarkan simulasi relatif lebih tinggi dibandingkan spesifikasi pabrikan dari sistem refrigerasinya. Dimana untuk mesin refrigerasi yang digunakan pada mesin es balok ini memiliki spesifikasi kapasitas pendinginan sebesar 2,5 kW.

Tabel 4. Hasil perhitungan kapasitas pendinginan mesin dengan kedua jenis refrigeran

No	Jenis Refrigeran	kW
1	R-404A	2,66 kW
2	R-290	2,66 kW

Selain dengan program kapasitas pendinginan mesin juga dapat dihitung dengan persamaan rumus ;

$$Q_{tot, Ice} = Q_{trans} + Q_{water, Ice} + Q_{inf, IC} + S_{Ftot} \cdot (Q_{trans} + Q_{water, Ice} + Q_{inf, IC})$$

5. Konsumsi Daya

Berdasarkan Tabel 5 konsumsi daya spesifik yang didapat dari hasil simulasi dengan dua jenis refrigeran R-290 dan R-404A menggunakan program U-RefS adalah 2,08 kW/TR untuk jenis refrigeran R-290 dan 2,59 kW/TR untuk jenis refrigeran R-404A. hasil konsumsi daya spesifik dapat dilihat pada diagram window turunan 2 atau dapat dilihat pada Gambar 4.18.

Tabel 5. hasil konsumsi daya spesifik mesin es balok dengan kedua jenis refrigeran

No	Jenis Refrigeran	kWTR
1	R-404A	2,59 kW/TR
2	R-290	2,08 kW/TR

Selain menggunakan simulasi hasil konsumsi daya spesifik juga dapat diperoleh dengan rumus berikut:

$$kWTR = \frac{W_{comp}}{Q_{evap, TR}}$$

6. Kapasitas produksi

Kapasitas produksi mesin es balok yang dihasilkan berdasarkan perhitungan menggunakan program U-RefS dengan menggunakan jenis refrigeran R-290 dan R-404A mendapatkan kapasitas produksi yang sama, yakni sebanyak 215 kg dengan waktu produksi selama 15,6 jam. Simulasi untuk mendapatkan hasil kapasitas

produksi dilakukan pada menu diagram window turunan 3 : *load calculation*, input data yang dimasukkan sama baik saat menggunakan refrigerant R-290 maupu refrigerant R-404A berikut input data yang dimasukkan ;

1. Temperatur udara ruang es [$^{\circ}\text{C}$] : 1,2 $^{\circ}\text{C}$
2. Dimensi ruang es
 - Panjang : 1,30 m
 - Lebar : 1,28 m
 - Tinggi : 0,66 m
3. Dimensi es balok
 - Panjang : 1,17 m
 - Lebar : 0,40 m
 - Tinggi : 0,25 m
4. Waktu produksi [jam] : 15,6 jam
5. Temperature es balok : -20 $^{\circ}\text{C}$
6. Temperatur air yang digunakan : 30 $^{\circ}\text{C}$

Data atau output yang dihasilkan dari simulasi kapasitas produksi berdasarkan data input yang sudah dimasukkan adalah:

1. Q_{trans} : 0,15 kW
2. Q_{prod} : 1,92 kW
3. Q_{infiltr} : 0,41 kW
4. $Q_{\text{CL,total}}$: 2,66 kW
5. Kapasitas pendinginan mesin : 2,66 kW
6. Total produksi es balok [kg] : 215,02 kg

Simpulan

Kinerja mesin es balok kristal menggunakan jenis refrigeran R-290 lebih baik dibandingkan menggunakan refrigeran R-404A. Simulasi dilakukan dengan parameter operasional yang sama dan jumlah produksi es balok yang dihasilkan sama. Dengan kapasitas dan waktu produksi es balok yang sama, konsumsi daya dan energi mesin es balok kristal dengan menggunakan refrigeran R-290 lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan refrigeran R-404A. Dapat dikatakan mesin es balok kristal yang menggunakan refrigeran R-290 bisa disebut lebih hemat energi dibandingkan dengan menggunakan R-404A. Kapasitas produksi dari mesin es balok hasil simulasi adalah sebesar 0,331 ton es balok per hari. Kapasitas produksi ini berhubungan dengan ukuran cetakan, mesin dan waktu produksi es balok dan dalam simulasi diiterasi sampai diperoleh *cooling load* sama dengan *cooling capacity*.

Ucapan Terima Kasih

Dengan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa. Dalam penyusunan Skripsi dan artikel ini, penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk dan bantuan serta dorongan dari berbagai pihak baik yang bersifat moral maupun material. Penulis secara khusus mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada dosen pembimbing 1 dan dosen pembimbing 2 atas bantuan, bimbingan serta arahan. Begitu pula kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan artikel ini.

Referensi

- [1] Raidinata A. Sipayung , Himsar Ambarita , Taufiq B. Nur , Andianto Pintoro., “Rancang Bangun Solar Cold Storage Dengan Kapasitas 10 Kilogram”, Jurnal Dinamis., 7. (3) : 11-15, 2019
- [2] Catharrina Dyah Ayu, “cara membuat es balok” retrieved from : <https://tukangriview.com/cara-membuat-es-batu-tanpa-listrik/>, 2019.

- [3] Astro, “Deskripsi dan pengertian Mesin Es Balok”, artikel astromesin.com, 2018
- [4] Arif Rahman Hakim, “Isu Lingkungan dan Keamanan ammonia sebagai refrigerasi produk kelautan dan perikanan”, retrieved from : <http://www.mekanisasikp.web.id/2021/09/isu-lingkungan-dan-keamanan-amonia.html>
- [5] Andry, “bahaya zat ammonia sebagai zat pendingin”, artikel indotara.com, 2018
- [6] Sutrisno, Azharudin, Ferry Irawan, “Analisis Perbandingan Kinerja Menggunakan Refrigeran R-134A dan Refrigeran R-404A pada Mesin Bar Ice Cream Manual Maker”, Jurnal Teknologi Pendingin dan Tata Udara Politeknik Sekayu (PETRA)., Vol 1, No. 1, Oktober 2015
- [7] Polarin, “refrigeran R-404A”, retrieved from : <https://polarin.co.id/product/refrigerant-r404a/> , 2016
- [8] Triaji Pangripto Pramudantoro, “Pengaruh Variasi Massa Pengisian R290 Sebagai Refrigeran Pengganti R22 Pada Kinerja Freezer”, Prosiding Seminar Nasional XII “Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi, 2017, no. 505.
- [9] Xiamen Yuda. 2019. “Perbandingan kinerja antara refrigeran R-290 dan refrigeran R22”. retrieved from: <http://id.fluorined-chemical.com/news/performance-comparison-bet>
- [10] I Nyoman Suamir, Simulasi kinerja temperatur dan energi sistem AC domestik dan komersial kapasitas kecil dengan Program U-Cools V.1.11, Bali, 2021