

Perancangan Sistem Refrigerasi Dengan Motor Arus DC Pada Aplikasi Mini Truck Pengangkut Sayur Sayuran

I Gede Angga Wedana^{1*}, I Dewa Made Cipta Santosa¹, I Made Sugina¹

¹ Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas-MEP, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364, Indonesia

*Corresponding Author: wedanaangga@gmail.com

Abstrak: Penggunaan sistem refrigerasi berbasis kompresi uap menjadi salah satu alat yang sangat umum digunakan oleh masyarakat, Salah satunya adalah mesin refrigerasi untuk truk refrigerasi menggunakan tenaga surya sebagai energi utama, dimana sebelumnya masih menggunakan mesin diesel sebagai penggerak atau energi utama yang digunakan pada truk refrigerasi konvensional pada umumnya. Penelitian mengembangkan inovasi pada energi terbarukan pada truk refrigerasi dengan mengkombinasikan solar panel untuk mengangkut bahan baku makanan, baik itu ikan, daging, buah, dan sayur-sayuran. Perancangan ini meliputi proses pembuatan desain kontainer pada truk refrigerasi, perakitan sistem pendingin, serta mengkombinasikan penggunaan solar panel terhadap sistem. penelitian ini menunjukkan bahwa perancangan sistem refrigerasi container truk ini didapatkan total beban pendinginan sebesar 11.715 Btuh/h dengan Kerja kompresi dan Daya kompresor sebesar 618 watt dengan COP sebesar 1,8, kapasitas panel surya sebesar 1080 watt sehingga dipasang 5 buah panel surya dengan kapasitas 250WP. Dengan kapasitas baterai sebesar 800 A sehingga dipasang baterai sebanyak 8 buah yang memiliki kapasitas 100AH, dan kapasitas SCC yang di butuhkan sebesar 47 A

Kata Kunci: desain Kontainer Dingin, Truk Refrigerasi, Solar Panel, Sistem Hybrid

Abstract: The use of a steam compression -based refrigeration system is one of the very common tools used by the community, one of which is a refrigeration machine for refrigeration trucks using solar power as the main energy, which previously still used a diesel engine as the main driver or energy used in conventional refrigeration trucks on generally. Research develops innovations in renewable energy in refrigeration trucks by combining solar panels to transport food raw materials, be it fish, meat, fruit, and vegetables. This design includes the process of making container designs in refrigeration trucks, the cooling system assembly, and combines the use of solar panels to the system. This study shows that the design of this truck container refrigeration system obtained a total cooling load of 11,715 btuh/h with compression work and compressor power of 618 watts with a COP of 1.8, solar panel capacity of 1080 watts so that 5 solar panels with a capacity of 250wp . With a battery capacity of 800 A so that 8 batteries are paired with a capacity of 8AH, and the SCC capacity required is 47 A

Keywords: Cold Container design, Refrigeration Truck, Solar Panel, Hybrid System

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

Pendahuluan

Pada saat ini sistem refrigrasi kontainer truk sangat diperlukan karena sumber kebutuhan manusia tidak berada pada satu tempat saja. Selain itu sumber bahan baku harus melalui proses produksi yang lokasinya tidak selalu sama dengan lokasi konsumen.[1] Umumnya buah yang baru saja dipetik harus didinginkan pada suhu sekitar 2,2°C - 15 °C agar buah tidak cepat membusuk, karena meskipun sudah dipanen buah akan tetap melakukan respirasi. Penyimpanan pada suhu rendah dapat memperpanjang masa hidup jaringan - jaringan dalam buah karena aktivitas respirasi menurun dan menghambat aktivitas mikroorganisme. Penyimpanan dingin tidak membunuh mikroba, tetapi hanya menghambat aktivitasnya. [2,3] Maka kontainer berpendingin ini dirancang dengan bantuan teknologi mesin pendingin di dalamnya, sistem pendingin pada umumnya ditujukan untuk mendinginkan suatu ruangan sampai suhu yang cukup pada segala kondisi dan cuaca.[4]Refrigrasi adalah metode pengkondisian temperature ruangan agar suhu tetap berada dibawah temperature lingkungan, refrigrasi juga dapat dikatakan suatu proses pemindahan kalor dari suatu benda atau ruangan ke ruangan lainnya.[5] Daya listrik sistem referigerasi yang digunakan disuplai oleh solar panel yang diletakkan di atap kontainer.Sedangkan penelitian sebelumnya dinyatakan daya listrik sistem refrigrasi diambil dari generator truck pengangkut kontainer tersebut. [6,7,8]

Dan saat ini perkembangan motor listrik sangat pesat untuk mengganti motor bakar konvensional dalam dunia otomotif (transportasi). Sehingga sistem refrigerasi juga mengikuti perubahan ini dengan mengaplikasikan motor listrik-DC sehingga kompatibel dengan mobil listrik. Disamping itu juga teknologi ini dapat langsung menggunakan tenaga solar (photovoltaic) sehingga dapat lebih efisien dalam pengoperasiannya. Untuk itu maka dikombinasikan dengan tenaga surya. Dimana dapat membantu meringankan kerja mesin dan memanfaatkan energi terbarukan agar lebih ramah lingkungan. [9,10]

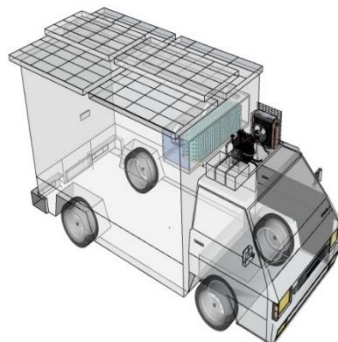
Teknologi yang akan dikembangkan pada produk penelitian ini mempunyai kebaruan, urgensi dan keunikan berupa penerapan khusus pada truk ringan baik bermesin konvensional maupun bermesin motor listrik yang sesuai dengan kondisi lingkungan dan jalanan di Indonesia. Kombinasi komponen dan sistem kontrol kelembaban dan temperatur yang digunakan lebih berorientasi untuk penghematan energi. Kontainer pendingin didesain agar dapat kontainer dengan isolasi tinggi, aliran sirkulasi udara dalam kontainer disimulasikan sehingga efektif dapat mendinginkan ruangan kontainer. Solar panel akan dipasang pada bagian atap kontainer dimana energi akan disuplai secara hybrid dari tenaga surya dan baterai mobil dengan sistem kontrol yang kompatibel dengan teknologi mobil listrik solar panel dirancang dengan efisiensi tinggi sehingga dengan ruang yang ada energi di suplai signifikan untuk kebutuhan operasional kontainer pendingin

Metode

Dalam perancangan kontainer pendingin yang akan di desain memiliki dimensi yang sama pada mobil truk konvensional pada umumnya, dimana desain yang akan digunakan bisa *universal* digunakan pada mobil *pick up* yang beroperasi di jalan sekarang ini, desain yang akan dibuat mengikuti *Chassis* kapasitas 1.300 cc.

Spesifikasi kontainer pendingin meliputi: Ukuran luar box: P. 250 cm, L. 175 cm, T. 160 cm

Lapisan dalam lantai *Fiberglass reinforced polyester* isolasi *polyurethane HG Dencity 40 kg/m³ dencity* tebal 10 cm, lantai dan dinding diberi konstruksi ringan sebagai perantara beban, sistem *press moulding panelling*, pintu belakang 1 (satu) model *wing*, instalasi *piping* 4 titik dengan lampu model led



Gambar 1. Desain Gambar Rancangan Refrigerasi dengan Motor Arus DC pada Aplikasi Mini Truk Refrigerasi

Hasil dan Pembahasan

Pada proses perancangan kontainer truck refrigerasi pengangkut sayur sayuran ini diawali dengan pembuatan desain dan perhitungan kapasitas komponen agar pada proses perakitan mendapatkan hasil yang baik dan penggunaan bahan serta kapasitas pendinginan bekerja dengan optimal.

Penentuan Dimensi Rancangan Truk Kontainer Dingin

Dimensi yang digunakan sebagai acuan perancangan ukuran tinggi, lebar dan panjang container truk pendingin mengikuti ukuran dari rangka jenis truk yang digunakan. Setelah menentukan dimensi rancangan rangka sasis mobil dengan membandingkan desain yang sudah ada sebelumnya berdasarkan dimensi tersebut, maka rancangan secara keseluruhan dilihat pada table berikut :

Tabel 1. Dimensi Ruang Kontainer

NO	Dimensi Rancangan	Ukuran
1	Tinggi Kontainer	1400 mm
2	Panjang Kontainer	2425 mm
3	Lebar Kontainer	1700 mm

Tabel 2. Luas Dinding

NO	Obyek	Meter		Jumlah	Luas (m ²)	Keterangan
		Panjang	Tinggi			
1	D.Selatan	2,425	1,4	1	3,39	-
2	D.Utara	2,452	1,4	1	3,39	-
3	D.Barat	1,7	1,4	1	2,38	-
4	D.Timur	1,7	1,4	1	2,38	-
	Pintu	1	1,1	1	1,1	Pengurangan akibat adanya pintu
	Luas Dinding Selatan				1,28	

Tabel 3. Temperatur rancangan

	Temperatur bola kering	Perubahan temperatur harian	Temperatur bola basah	Kelembaban relatif	Perbandingan kelembaban rata-rata sepanjang hari
Di dalam ruangan	2°C			90%	0,0105 kg/kg'
	32°C	30°C			0,020 kg/kg'

Perhitungan Beban Pendinginan

a. Temperatur Udara Luar

Temperatur udara pada suatu saat tertentu dapat diperkirakan dengan formula :

$$t_o = t_{o,rancangan} - \frac{\Delta t}{2} + \frac{\Delta t}{2} \cos 15 (\tau - \gamma)$$

Temperatur udara luar sesaat pada pukul 11.00, 12.00, 13.00, 14.00, dan 15.00 t_o rancangan = 32°C dan Δt = 8°C. Maka persamaan : $t_o = 32 - 4 + 4 \cos 15 (\tau - 2) = 28 + 4 \cos 15 (\tau - 2)$ pada waktu penyinaran matahari secara berturut – turut $\tau = -1, \tau = 0, \tau = 1, \tau = 2,$ dan $\tau = 3,$ sehingga Pukul 11, $t_o = 30,8^\circ\text{C}$; Pukul 12, $t_o = 31,5^\circ\text{C}$; Pukul 13, $t_o = 31,9^\circ\text{C}$; Pukul 14, $t_o = 32^\circ\text{C}$; Pukul 15, $t_o = 31,9^\circ\text{C}$

Kalor Sensible daerah perimeter (tepi)

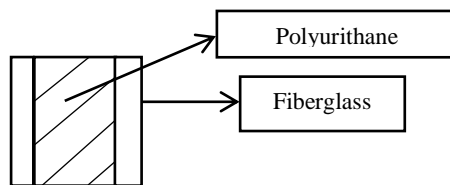
1. Infiltrasi beban kalor sensible

$$\{ (\text{Volume ruangan (m}^3) \times \text{jumlah penggantian ventilasi alamiah, Nn}) + \text{jml udara luar} \} \times \frac{0,24 \text{ kcal/kg}^\circ}{\text{Volume spesifik}} \times \Delta t \text{ ruangan (}^\circ\text{C)} : \text{Volume ruangan} = 5,77 \text{ m}^3; \text{Jumlah penggantian ventilasi} = 1; \text{Udara Luar Masuk} = 18 \text{ m}^3/\text{h}; \text{Jumlah udara luar} = 18 \text{ m}^3/\text{h} \times 6 = 108 \text{ m}^3/\text{h}; \Delta t \text{ ruangan} = 30^\circ\text{C}$$

$$Q = \{ (5,77 \text{ m}^3 \times 1) + 108 \text{ m}^3/\text{h} \} \times \frac{0,24 \text{ kcal/kg}^\circ}{0,892 \text{ m}^3/\text{kg}} \times 30^\circ\text{C} = 877,33 \text{ kcal/h}$$

2. Beban kalor sensible melalui dinding

Beban kalor sensible melalui dinding (dengan lapisan fiberglass dan polyurithane)



Gambar 2. Bagian lapisan dinding container

Luas dinding (m²) x koefisien transmisi kalor dari (dinding atau atap), K (kcal/h m²jam. °C) x (selisih temperature ekivalen dari raiasi matahari °C): Luas dinding = 3,39 m²; $K_{Fiberglass} = 0,036 \text{ kcal/h m}^2\text{jam.}^\circ\text{C}$; $K_{Polyurithane} = 0,034 \text{ kcal/h m}^2\text{jam.}^\circ\text{C}$; $R_{so(udara\ luar)} = 0,05 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$; $R_{si(udara\ dalam)} = 0,125 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$; $R_t = 0,05 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal} + 0,125 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$; $R_t = 0,175 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$

$$K_{Rt} = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0,175} = 5,71 \text{ kcal / m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

$$\text{Koefisien dinding} = 0,036 + 0,34 + 5,71 = 6,08 \text{ kcal/ m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Δt ekivalen radiasi matahari = 2,4°C

$$Q = 3,39 \text{ m}^2 \times 6,08 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C} \times 2,4^\circ\text{C} = 49,466 \text{ kcal/h}$$

3. Perhitungan beban kalor tersimpan dari ruangan dengan penyegaran udara (pendinginan) terputus-putus. (infiltrasi beban kalor sensible + beban kalor sensible melalui dinding) x factor beban kalor tersimpan

$$Q = (877,33 \text{ kcal/h} + 49,466 \text{ kcal/h}) \times 20\% = 887,22 \text{ kcal/h}$$

$$Q = \text{Total kalor sensible daerah parameter (tepi)} = 877,33 \text{ kcal/h} + 49,466 \text{ kcal/h} + 887,22 \text{ kcal/h} = 1.814 \text{ kcal/h}$$

4. Beban kalor laten daerah perimeter

1) Beban kalor laten oleh infiltrasi

$$\text{Vol. Ruang (m}^3\text{)} \times \text{jml Ventilasi alamiah Nn} \times \frac{597,3 \text{ kcal/kg}}{0,892 \text{ m}^3/\text{kg}} \times \Delta t \text{ (kg/kg')}$$

$$Q = \{ 5,77 \text{ m}^3 \times 1 \times \frac{597,3 \text{ kcal/kg}}{0,892 \text{ m}^3/\text{kg}} \times (0,020 - 0,0105) \text{ kg/kg' } \} : 60$$

$$Q = 0,661 \text{ kcal/h}$$

5. Beban kalor sensible daerah interior

1) koeffisien transmisi dari partisi langit langit

$$L. \text{Kompartemen m}^2 \times K. \text{Kompartemen kcal/h}^\circ\text{C} \times \Delta t \text{ ruang}$$

Koeffisien transmisi pada partisi langit"

$$\text{Luas langit''} = 4,12 \text{ m}^2$$

$$K \text{ Langit''} = 2,86 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C} \times 30^\circ\text{C}$$

$$\Delta t \text{ ruang} = 30^\circ\text{C}$$

$$Q = 4,12 \text{ m}^2 \times 2,86 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C} \times 30^\circ\text{C}$$

$$Q = 353,49 \text{ kcal/h}$$

6. Koeffisien transmisi dari pintu

$$L. \text{Kompartemen m}^2 \times K. \text{Kompartemen kcal/h}^\circ\text{C} \times \Delta t \text{ ruang}$$

$$\text{Tebal pintu} = 5 \times 2 = 10 = 0,10 \text{ m}$$

$$R_{SO}(\text{udara luar}) = 0,05 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$R_{Si}(\text{udara dalam}) = 0,125 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$R = 1,67 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$R_{Pintu} = r \text{ pintu} \times \text{tebal pintu} = 1,67 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ\text{C/kcal} \times 0,10 \text{ m} = 0,167 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$R_t = R_{SO} + R_{Pintu} + R_{Si} = 0,05 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ\text{C/kcal} + 0,167 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ\text{C/kcal} + 0,125 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$= 0,342 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$K = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0,342} = 2,92 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$$

$$\text{Luas Pintu} = 1,1 \text{ m}^2$$

$$K \text{ pintu} = 2,92 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$$

$$\Delta t \text{ ruangan} = 32^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C} = 30^\circ\text{C}$$

$$Q = 1,1 \text{ m}^2 \times 2,92 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C} \times 30^\circ\text{C} = 96,36 \text{ kcal/h}$$

7. Koeffisien transmisi dari partisi dinding

$$L. \text{Kompartemen m}^2 \times K \text{ kompartemen kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C} \times \Delta t \text{ ruangan } ^\circ\text{C}$$

a. Dinding bagian selatan

$$\text{Luas} = 3,39 \text{ m}^2; K_{\text{dinding}} = 0,7 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}; \Delta t \text{ ruangan} = 30^\circ\text{C}$$

$$Q = 3,39 \text{ m}^2 \times 0,7 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C} \times 30^\circ\text{C} = 71,19 \text{ kcal/h}$$

b. Dinding bagian timur

$$\text{Luas} = 1,28 \text{ m}^2; K_{\text{dinding}} = 0,7 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}; \Delta t \text{ ruangan} = 30^\circ\text{C}$$

$$Q = 1,28 \text{ m}^2 \times 0,7 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C} \times 30^\circ\text{C} = 26,88 \text{ kcal/h}$$

c. Dinding Bagian Barat

$$\text{Luas} = 2,39 \text{ m}^2; K_{\text{dinding}} = 0,7 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}; \Delta t \text{ ruangan} = 30^\circ\text{C}$$

$$Q = 2,39 \text{ m}^2 \times 0,7 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C} \times 30^\circ\text{C} = 50,19 \text{ kcal/h}$$

d. Dinding Bagian Utara

$$\text{Luas} = 3,39 \text{ m}^2; K_{\text{dinding}} = 0,7 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}; \Delta t \text{ ruangan} = 30^\circ\text{C}$$

$$Q = 3,39 \text{ m}^2 \times 0,7 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C} \times 30^\circ\text{C} = 71,19 \text{ kcal/h}$$

$$Q = \text{koeffisien transmisi dinding} = \text{Dinding selatan} + \text{Dinding timur} + \text{Dinding barat} + \text{Dinding utara}$$

$$Q = 71,19 \text{ kcal/h} + 26,88 \text{ kcal/h} + 50,19 \text{ kcal/h} + 71,19 \text{ kcal/h} = 219,45 \text{ kcal/h}$$

8. Beban kalor sensible karena adanya sumber kalor interior

a. Tambahan kalor laten oleh sumber penguapan interior

$Jml\ sayur\ kubis \times\ kalor\ sensible\ sayur\ kubis\ (kcal/jam.sayur) \times\ factor\ klompok$

$$Q = 500 \times 0,94, kcal/h.sayur\ kubis \times 0,897 = 421,59\ kcal/h$$

b. Lampu Neon

$jml \times\ peralatan, Kw \times\ kalor\ sensible\ pralatan, kcal / Kw \times\ factor\ penggunaan\ pralata$

$$Q = 1 \times 0,045 Kw \times 1000 kcal/kW \times 1 = 45\ kcal/h$$

$$\text{Beban sensible adanya sumber kalor interior} = \text{sayur} + \text{neon} = 421,59\ kcal/h + 45\ kcal/h = 466,59\ kcal/h$$

Beban kalor sensible interior

$Q = \text{koefisien transmisi dari partisi langit-langit} + \text{koefisien transmisi dari partisi pintu} + \text{koefisien transmisi dari partisi dinding} + \text{beban kalor sensible karena adanya sumber kalor interior}$

$$Q = 353,49\ kcal + 96,36\ kcal/h + 219,45\ kcal/h + 466,59\ kcal/h = 1,135\ kcal/h$$

9. Beban kalor laten daerah interior

1. Tambahan kalor laten oleh sumber penguapan interior

$Jml\ sayuran\ kubis \times\ kalor\ laten\ sayuran\ kubis\ (kcal/jam) \times\ factor\ kelompok$

$$Q = 500 \times 1,00\ kcal/h.sayur\ kubis \times 0,897 = 448,5\ kcal/h$$

9. Beban kalor sensible

1. Beban kalor sensible ruangan total

$$Q = \text{Beban kalor sensible tepi} + \text{Beban kalor sensible interior} = 877,33\ kcal/h + 1,135\ kcal/h = 2.012\ kcal/h$$

2. Kenaikan beban oleh kebocoran saluran udara

$$Q = \text{beban kalor sensible ruangan total} \times \text{factor kebocoran saluran udara} = 2.012\ kcal/h \times 0,2 = 402,4\ kcal/h$$

$Q\ \text{Beban kalor sensible} = \text{Beban kalor sensible total} + \text{kenaikan beban oleh kebocoran saluran udara}$

$$Q_{total} = 2.012\ kcal/h + 402,4\ kcal/h = 2.414\ kcal/h$$

1. Beban kalor laten

1. Beban kalor laten ruangan total

$$Q = \text{Beban kalor laten daerah tepi} + \text{Beban kalor laten daerah interior}$$

$$= 0,661\ kcal/h + 448,5\ kcal/h = 449,16\ kcal/h$$

2. Kenaikan beban oleh kebocoran saluran

$$Q = \text{Beban kalor laten ruangan total} \times \text{factor kebocoran} = 449,16\ kcal/h \times 0,2 = 89,832\ kcal/h$$

$Q\ \text{Beban kalor laten} = \text{Beban kalor laten ruangan total} + \text{kenaikan oleh kebocoran}$

$$Q_{total} = 449,16\ kcal/h + 90,882\ kcal/h = 540.04\ kcal/h$$

$\text{Beban pendinginan total} = \text{Beban kalor sensible} + \text{beban kalor laten total}$

$$= 2.414\ kcal/h + 540,04\ kcal/h = 2.954\ kcal/h = 11.715\ Btuh/h$$

Berdasarkan hasil dari perhitungan beban pendinginan pada container truck dengan desain suhu dala 2°C , RH= 50% didapat beban atau panas pendingin total sebesar 2.954 kcal/h atau 11.715 Btuh/h.

Perhitungan kapasitas komponen refrigrasi

a Desain/rancangan temperature evaporating

Temperature ruangan yang diinginkan 2°C

maka ditentukan temperature evaporasi = $2^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$ dimana 15°C merupakan angka (data empire) losses perpindahan panas sehingga temperature evaporator = $2^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C} = -13^{\circ}$

b. Perancangan temperature kondensing

Temperature lingkungan = 30°C

Beda temperature = 25°C (data empire)

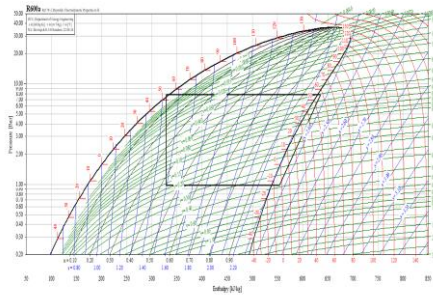
Temperature kondensing = Temperature lingkungan + Beda temperature = $30^{\circ}\text{C} + 25^{\circ}\text{C} = 55^{\circ}\text{C}$

P-H Diagram

Setelah mengetahui temperature evaporasi dan kondensasi selanjutnya perhitungan P-H Diagram dengan menggunakan temperature dan tekanan evaporasi dan kondensasi. Pada perhitungan P-H Diagram kali ini menggunakan *software coolpack*. Diketahui : Temperatur evaporasi = -13°C ; Temperatur kondensasi = 55°C ; Temperatur Subcooling $\Delta T_{sc} = 2\text{ k}$; Temperatur Superheat $\Delta T_{sh} = 10\text{ k}$

Temperature evaporasi dan temperature kondensasi didapat setelah melakukan perhitungan dan tekanan didapat dari *software coolpack*

a. P-H Diagram



Gambar 3. P-H Diagram

Tekanan refrigerant R-600a pada saat suhu -13° = 0,969 Bar. Tekanan 0,969 Bar dan tekanan refrigerant R-600a pada saat suhu 55° C = 7.814 Bar, didapat dari software coolpack

b. State point

Point	T [°C]	P [bar]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg K]
1	-13.000	0.969	0.385279	553.623	2.3613
2	57.900	7.814	0.050888	635.663	2.3613
3	57.900	7.814	0.050888	635.663	2.3613
4	53.000	7.814	N/A	328.673	N/A
5	-13.000	0.969	N/A	328.673	N/A
6	-3.000	0.969	0.385276	553.623	2.3613
15	N/A	7.814	N/A	328.673	N/A

Gambar 4. state point

Pada state point, nilai-nilai seperti : temperatur, enthalpy, pressure and density semuanya tersedia pada table state point. Masing-masing penomoran pada table state point dapat dilihat dari gambar P-H Diagram sebelumnya.

Sehingga didapat data sebagai berikut : $h_1 = 553.623$ kJ/kg yaitu enthalpy pada titik 1 pada state point diagram P-H; $h_{2s} = 635.663$ kJ/kg yaitu enthalpy pada titik 3 pada state point diagram P-H; $h_3 = 328.673$ kJ/kg yaitu enthalpy pada titik 4 pada state point diagram P-H; $h_4 = 328.673$ kJ/kg yaitu enthalpy pada titik 5 pada state point diagram P-H

Koefisien Prestasi Refrigerasi

Pada perancangan mesin container truck kapasitas 500 kg menggunakan refrigerant R-600a dimana temperature evaporasi yang direncanakan -13° C dan temperature kondensasinya sebesar 55° C.

Untuk dapat mengetahui nilai COP diperlukan perhitungan data-data sebagai berikut :

a. Nilai h_2

Untuk mencari nilai h_2 sebagai berikut ;

$$\eta = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{635.663 - 553.623}{h_2 - 553.623}$$

$$0,65 = \frac{82.04}{h_2 - 553,623}$$

$$\frac{82.04}{h_2 - 553,623} = 0,65$$

$$h_2 = 126,21 + 553,623 = 679,833 \text{ kJ/kg}$$

b. Refrigeran efek

Maka efek refrigeran atau efek pendinginan yang dihasilkan evaporator pada container truck pengangkut sayuran ini dapat dihitung sebagai berikut :

Refrigeran efek = $(h_1 - h_4) = (553,623 \text{ kJ/kg} - 328.673 \text{ kJ/kg}) = 224,96 \text{ kJ/kg}$

c. Laju aliran masa

Q_{in} = Hasil beban pendinginan yaitu 11,715 Btu/h di konfersikan ke kJ/s menjadi 1,103 kJ/s

Diketahui : $\dot{m} = \frac{Q_{in}}{\text{refrigerant effect}} = \frac{1,103 \text{ kJ/s}}{224,96 \text{ kJ/kg}} = 0,0049 \text{ kg/s}$

d. Kerja kompresi dan Daya kompresor

Kerja kompresi yang harus dilakukan oleh kompresor container truck sayuran ini dapat kita ketahui sebagai berikut :

Kerja kompresi = $(h_2 - h_1) = (679,833 \text{ kJ/kg} - 553,623 \text{ kJ/kg}) = 126,21 \text{ kJ/kg}$

$W_k = \dot{m} (h_2 - h_1) = 0,0049 \text{ kg/s} (679,833 \text{ kJ/kg} - 553,623 \text{ kJ/kg}) = 0,618 \text{ Kw} = 618 \text{ watt}$

e. Pelepasan kalor dan daya kondensor

Pelepasan kalor = $(h_2 - h_3) = (679,833 \text{ kJ/kg} - 328.673 \text{ kJ/kg}) = 351,16$

Setelah menghitung perhitungan diatas maka nilai COP didapat sebagai berikut :

$COP = \frac{Q_{in}}{W_k} = \frac{1,103 \text{ kJ/s}}{0,618 \text{ kJ/s}} = 1,8$

Penentuan Komponen Refrigerasi

a. Kompresor

Jadi dipilih kompresor dengan spesifikasi 1 PK = 750 wat yang mendekati perencanaan

b. Evaporator

Pemilihan evaporator menggunakan persamaan

$Q_h = U \times A \times \Delta T = 1103 \text{ watt (beban total)}$

$U_{\text{evap}} = 450 \text{ w/m}^2\text{k (heat transfer coefficients evap tipe finetube)}$

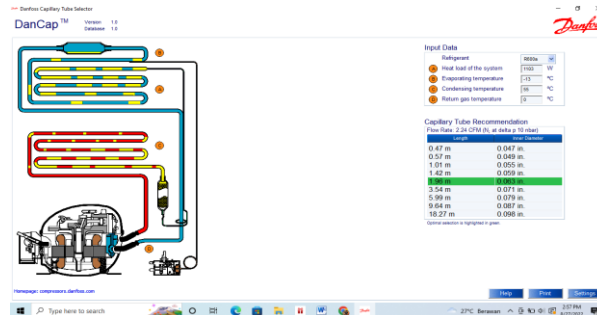
$\Delta T = 30^\circ\text{C} = 303,15 \text{ K}$

$2^\circ\text{C} = 275,15 \text{ K}$

$= 303,15 \text{ K} - 275,15 \text{ K} = 28 \text{ K}$

$A = \text{Dimensi luas bagian evaporator yang dibutuhkan yaitu} = \frac{Q_h}{U \times \Delta T} = \frac{1103}{450 \times 28} = 0,087 \text{ m}^2$

c. Pipa kapiler



Gambar 5. Input data pada aplikasi Danfoss Capillary Tube selector

Adapun panjang dan diameter pipa yang direkomendasikan dengan beban total 1103 watt, temperatur evaporasi serta kondensasi sebesar -13°C dan 55 °C adalah 1,96 m dengan diameter 0,063 inch.

d. Kondensor

$Q_h = Q_{in} + W_k = 1103 \text{ watt} + 618 \text{ watt} = 1.721 \text{ watt}$

$U = 450 \text{ W/m}^2.\text{K} ; \Delta T = 28 \text{ K} ; A = \text{Dimensi luas bagian permukaan kondensor.}$

Maka dimensi kondensor yang dibutuhkan yaitu : $A = \frac{Q_h}{U \times \Delta T} = \frac{1.721}{450 \times 28} = 0,136 \text{ m}^2$

Penentuan kapasitas panel surya

a. Diketahui energy konsumsi kompresor 1 PK = 750watt

Jadi : 750watt x 5 jam = 3750 wh; 3.750wh : 1000 = 3,75 kwh

b. Menentukan total energy yang dibutuhkan memperhitungkan kerugian (sebesar30%)

$3750 \text{ wh} \times 1.3 = 4.875 \text{ wh/hari}$

c. Kapasitas daya panel surya

Total daya panel surya = $4.875 \text{ wh/h} \times \left(\frac{1 \text{ kw/m}^2}{4.51 \text{ kwh/m}^2/\text{hari}} \right) = 4.875 \times 0,2217 = 1080 \text{ watt}$

d. Menentukan Jumlah panel

Misal kapasitas panel surya yang sudah disiapkan sebesar 250wp

Maka: $\frac{1080}{250} = 4,32$ (dibulatkan menjadi 5 panel)

Menentukan kapasitas baterai

Energi yang disimpan oleh batrai akan sama dengan energy yang dapat disediakan oleh panel surya yaitu 4.875 wh/hari. Jika kerugian baterai 10% (atau efesiensi baterai 90%) dept of discharge (DoD) baterai 40% dan system tegangan baterai 12V dan waktu otonomi baterai beroperasi 1 hari maka: Kapasitas baterai = $4.875/0.9/0.6/12 = 800$ AH

Menentukan SCC (*Solar Charger Controller*)

Kapasitas arus SCC ditentukan berdasarkan data arus hubungan singkat panel surya yaitu $I_{SC} = 7.21$ A dan dikalikan dengan factor keamanan 1.3. Kapasitas SCC = jumlah panel x I_{SC} x 1.3 = $5 \times 7,21 \times 1.3 = 46,86$ (dibulatkan jadi 47 A)

Simpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perancangan sistem refrigrasi container truk ini didapatkan total beban pendinginan sebesar 11.715 Btuh/h dengan Kerja kompresi dan Daya kompresor sebesar 618 watt dengan COP sebesar 1,8, kapasitas panel surya sebesar 1080 watt sehingga dipasangkan 5 buah panel surya dengan kapasitas 250WP. Dengan kapasitas baterai sebesar 800 A sehingga dipasangkan baterai sebanyak 8 buah yang memiliki kapasitas 100AH, dan kapasitas SCC yang di butuhkan sebesar 47 A

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih atas bantuan, bimbingan, arahan dan dukungan dari Bapak Dosen pembimbing 1 dan pembimbing 2 sehingga penelitian ini dapat selesai dengan baik. Juga teman sejawat yang telah memberikan masukan serta dukungan dan juga seluruh Dosen dan staf akademik yang telah membantu memberikan fasilitas dan ilmunya dalam penyelesaian penelitian ini

Referensi/ Reference

- [1] Yudanto, H.E 2019 Analisis Pemuatan Reefer Container Melalui Angkutan Laut di Terminal Petikemas Semarang. Skripsi. Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang
- [2] Irawan, F. dan Wibowo, T. 2018. Rancang Bangun Mesin Showcase Buah. *Jurnal PETRA*. 5 (2): 14-16
- [3] Amin Z., Adha M. 2017. Sistem Pengontrol Temperatur dan Kelembaban Otomatis untuk Ruang Penyimpanan Buah. *Jurnal METAL*. Vol.01 No.02. Hal.78
- [4] Haryowidagdo, H. 2017. Kajian Teknis dan Ekonomis Perancangan Reefer Kontainer Berbasis Teknologi Phase Change Material untuk Aplikasi di Kapal. Tugas Akhir. Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya
- [5] Elfiano E., Aldio R.Z.,Lazrisyah S. 2021. *Design and Analysis of Thermal Showcase Mini As a Belerage Cooler Using a Thermoelectric Module*. *Jurnal of renewable Energi & Mechanics (REM)*. Vol.04. No 01. Hal.15.
- [6] Bimantara Yusuf S. 2018. *Perancangan Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Cascade Untuk Aplikasi Hybrid Reefer Container*. Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2017
- [7] Dekko, N. A. 2020. Aplikasi Solar Panel Roof Sebagai Alternatif Energi Refeer Container Yard PT. Terminal Peti Kemas Surabaya. Surabaya: Teknik Sistem Perkapalan ITS
- [8] Nugroho F.A. dkk. 2020. Sistem Pengisian Baterai Aki Pada Automated Guided Vehicle Menggunakan Solar Panel. *e-Proceeding of Engineering*. 7 (3): 2.
- [9] Purwoto, Bambang H. dkk. 2020. Efisiensi penggunaan panel surya sebagai sumber energi alternative. Vol.18 No. 01. Hal. 10-14
- [10] Rizal C ,2017 Penggunaan solar sel sebagai pembangkit tenaga surya. Dosen Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Palembang. Vol 7 No. 02. Hal 7-17