

Pembuatan *Cooling Box* Untuk Penyimpanan Vaksin Sinovac Berbasis *Thermoelectric*

Fahitha Salsabila¹, Bambang Puguh Manunggal², Ika Yuliani³

¹Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : fahitha.salsabila.tken18@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
Email : bambang.puguh@polban.ac.id

³Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
Email : ika.yuliyani@polban.ac.id

Abstrak

Dengan diadakannya vaksinasi nasional, maka proses pendistribusian vaksin yang dipakai sangatlah penting. Khususnya vaksin Sinovac dengan standar penyimpanan bertemperatur 2°C-8°C. Maka dibuatlah kotak pendingin yang mendukung proses pendinginan dengan mesin *thermoelectric* dengan material yang kuat, memiliki rugi-rugi perpindahan panas yang kecil, dan memenuhi standar pembuatan *vaccine carrier* menurut WHO. Adapun beberapa komponen yang perlu dibuat dalam pembuatan kotak pendingin ini adalah beberapa komponen tambahan berupa partisi dan wadah *fan*. Kotak pendingin yang dibuat terbuat dari material komposit dengan isolator berupa *polyurethane foam*, dan *styrofoam*. Menggunakan *aluminium foil* di dalam dinding penyimpanan agar perputaran dingin dalam ruang vaksin cepat. Hasilnya adalah sebuah kotak pendingin yang dapat digunakan untuk pendinginan menggunakan *thermoelectric* dengan ukuran keseluruhan 34 cm x 18 cm x 21 cm, untuk kapasitas penyimpanan vaksin sebesar 2.38 liter, dengan temperatur terendah mencapai 5.6°C. Nilai dari total beban transmisi jika dilakukan pengujian tanpa beban adalah sebesar 1.25 W dan total beban transmisi jika pengujian berbeban adalah sebesar 1.202 W. Dilihat dari hasil ini maka rugi-rugi dari kotak pendingin dapat dikatakan kecil. Dan dilihat dari aspek pembuatan, material penyusun, dan komponen tambahan, maka kotak yang dibuat dapat dikatakan memenuhi standar WHO untuk pembuatan *vaccine carrier*.

Kata Kunci

Kotak pendingin, *vaccine carrier*, *polyurethane foam*, komposit.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dengan dimulainya masa pandemi yang bermula pada bulan Maret tahun 2020, maka banyak sektor yang dibatasi kegiatannya termasuk dunia pendidikan. Terhitung lebih dari satu tahun hampir seluruh kegiatan belajar mengajar secara tatap muka diberhentikan.

Program vaksinasi yang dimulai pada bulan Januari 2021 dengan tahap 1 dan tahap 2 yang dilakukan secara serentak, diatur dengan surat Keputusan Direktur Jenderal Kesehatan nomor HK.02.02/4/1/2021.

Beberapa vaksin yang digunakan untuk proses vaksinasi ini, salah satunya adalah vaksin Sinovac. Dengan standar penyimpanan temperatur sebesar 2°C-8°C yang diatur dalam Petunjuk Teknis Vaksinasi Nasional.

Pada petunjuk teknis tersebut disebutkan pendistribusian ke daerah sulit, mengingat selama ini *vaccine carrier* masih banyak menggunakan *coldpack*

untuk media pendinginnya, dibuatlah kotak pendingin yang bisa mendukung untuk penggunaan mesin pendingin berupa *thermoelectric* dengan catu daya berupa baterai yang bisa *portable*. Dengan rugi-rugi perpindahan panas yang kecil dan memenuhi standar WHO untuk pembuatan *vaccine carrier*.

Adapun beberapa modifikasi dan perbedaan antara kotak pendingin yang dibuat dengan *vaccine carrier* yang sudah banyak dipasaran adalah dalam satu kesatuan kotak terdapat dua ruang berbeda dengan temperatur yang memiliki selisih tinggi tetapi tidak akan terjadinya kebocoran panas di dalamnya. Satu ruangan digunakan sebagai ruang penyimpanan baterai dan ruang lainnya digunakan sebagai ruang pendingin vaksin. Dimana kedua ruangan ini dipisahkan dengan sekat atau partisi yang terbuat dari bahan komposit yang dapat menahan panas atau dingin agar tidak menjalar ke ruangan sebelahnya.

1.2. Cold Box

Pengertian *cool box* menurut Syani (2020) menjelaskan, "*cold storage* adalah ruangan atau

gudang yang dirancang khusus menggunakan kondisi suhu tertentu dan digunakan untuk menyimpan berbagai macam produk terutama produk cepat rusak (*perishable*) dengan tujuan untuk mempertahankan kesegaran”.

13. Standarisasi

Standarisasi untuk *cool box* pembawa vaksin atau *vaccine carrier* ini diatur dalam keputusan *World Health Organization* (WHO) dengan kode WHO/PQS/E004/CB01.2 yang dikeluarkan pada Mei tahun 2010. Dengan catatan kalau standarisasi ini dikhususkan untuk *vaccine carrier* dengan *coldpack* dan untuk yang diproduksi secara massal.

Tabel 1. Standarisasi WHO/PQS/E004/CB01.2

Standar WHO
Kapasitas kotak 5-20 liter
Bentuk yang dianjurkan adalah berbentuk kotak atau persegi panjang, ujung yang membulat diizinkan
Tutup segel (<i>lid seal</i>), segel harus pas dengan tutup.
Engsel terbuka 90° dan tidak terbuat dari material yang membutuhkan perawatan.
Adanya penahan tutup untuk mengurangi kerusakan akibat tekanan saat dibuka
Adanya <i>catches</i> yang berguna untuk mengunci tutup dan juga badan kotak agar tidak mudah terbuka.
Pegangan minimal dua untuk mempermudah mobilisasi
Material tidak boleh menggunakan plastik diklorinasi dan komposit dengan campuran resin epoxy.
Termal isolator menggunakan busa yang ramah lingkungan

14. Pemilihan Isolator Panas

Isolator panas merupakan suatu cara untuk mengurangi rugi-rugi perpindahan panas akibat adanya perbedaan temperatur dari dalam suatu ruangan atau tempat dengan lingkungan sekitarnya.

Pemilihan isolator panas disini dititik beratkan pada kondisi isolator panas yang memiliki densitas yang baik. Densitas sendiri merupakan jumlah zat yang terkandung dalam suatu unit volume. Densitas merupakan suatu besaran kerapatan massa benda yang dinyatakan dalam benda per satuan volume benda tersebut[1].

Berikut beberapa densitas dari material isolator panas yang banyak digunakan.

Tabel 2. Jenis Isolator Panas

No	Material	Densitas (kg/m ³)	Konduktivitas Termal (W/m.K)
1.	<i>Rock wool</i>	80-100	0.04
2.	<i>Wood wool</i>	360-570	0.07
3.	<i>Fiberglass</i>	1500	0.04
4.	<i>Polyurethane</i>	40	0.03
5.	<i>Styrofoam</i>	30	0.033

Adapun densitas dari isolator panas yang baik adalah bernilai > 30 kg/m³. Jika terlalu kecil maka kemampuan menahan panasnya kurang dan jika terlalu besar maka sifatnya akan terlalu keras dan akan menjadi pemberat. Maka dipilihlah *polyurethane* sebagai isolasi utama dan *styrofoam* sebagai isolator tambahan yang ditempatkan di dalam ruangan.

15. Beban Pendinginan

Pada suatu sistem pendinginan, perencanaan sebelum pemasangan sistem pendingin atau HVAC maka haruslah diperhitungkan beberapa sumber beban pendinginan yang terletak dalam suatu ruangan atau suatu tempat yang nantinya akan diturunkan temperaturnya. Tujuannya adalah agar sistem pendingin yang dipasang sesuai dengan kebutuhan. [5]

Pada pembuatan *cooling box* ini yang menjadi sumber dari panas atau dapat dikatakan sebagai sumber beban pendingin yaitu :

- Beban produk, dimana produk disini adalah produk vaksin Sinovac. Besar dari beban produk dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_{\text{produk}} = m \times C_p \times \Delta T \quad (1)[5]$$

Dengan Q_{produk} adalah jumlah dari beban produk (W); m adalah massa dari beban (kg) ; C_p merupakan panas spesifik (kJ/kg.K; dan ΔT adalah selisih temperatur luar dan dalam ruang vaksin.

- Beban transmisi, adalah untuk menghitung laju perpindahan panas konduksi, baik melalui dinding, lantai atau alas, dan juga tutup. Untuk menghitungnya digunakan persamaan :

$$Q_{\text{transmisi}} = U \times A \times (T_o - T_i) \quad (2)[5]$$

Dimana $Q_{\text{transmisi}}$ adalah jumlah beban transmisi (W); U sebagai koefisien perpindahan panas total (W/m.K); A sebagai luas permukaan (m²) ; T_o temperatur luar dan T_i temperatur dalam ruangan (°C).

16. Perpindahan Panas Pada Cool Box

Perpindahan panas terjadi karena adanya kontak antar benda yang mengakibatkan perpindahan temperatur dari satu benda ke benda lainnya, ataupun dikarenakan adanya gradient panas. Gradien panas sendiri adalah peristiwa perubahan temperatur, tidak terpaku pada benda saja tetapi bisa juga pada lingkungan. [6]

- Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas melalui zat atau penghantar, tanpa disertai dengan perpindahan bagian-bagian zat atau perantara tersebut. Panas akan merambat melalui media dari sumber panas menuju daerah media yang bertemperatur lebih rendah.

Persamaan dasar konduksi adalah :

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3) [6]$$

Dengan q sebagai laju perpindahan panas (W); A sebagai luas permukaan (m^2); T sebagai temperatur ($^{\circ}C$); k sebagai konduktivitas termal ($W/m \cdot ^{\circ}C$); x sebagai ketebalan dari dinding (m).

- Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan panas yang terjadi dari satu bagian fluida kebagian lain –dalam hal ini lingkungan, ataupun sebaliknya karena adanya pergerakan fluida (Wuryanti, 2010).

Persamaan dasar dari konveksi adalah :

$$T_w > T_{\infty}$$

$$q = h \times A \times (T_w - T_{\infty}) \quad (4) [6]$$

Dengan q sebagai laju perpindahan panas (W); h sebagai koefisien perpindahan panas ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$); A sebagai luas perpindahan panas (m^2); T_w merupakan temperatur dinding ($^{\circ}C$) dan T_{∞} sebagai temperatur lingkungan ($^{\circ}C$).

- Radiasi

Radiasi adalah pertukaran panas tanpa perlu menggunakan media. Artinya tanpa adanya kontak termal pun panas akan tetap merambat. Karena tidak memerlukan media sebagai tempat perpindahan panas, maka radiasi bisa terjadi pada ruang hampa udara (vakum) (Wuryanti, 2010).

$$E = \epsilon \sigma T_s^4 \quad (5) [6]$$

Dengan E sebagai energi radiasi (W); T_s sebagai temperatur permukaan ($^{\circ}C$); Σ sebagai konstanta Stefan-Bolzman ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$); dan ϵ sebagai emisivitas.

1.7. Thermoelectric

Pada dasarnya *thermoelectric* ini terbuat dari bahan *Bismuth Telluride* (Bi_2Te_3), *Lead Telluride* ($PbTe$), dan *Silicon-Germanium* ($SiGe$). Tapi idealnya *thermoelectric* ini haruslah terbuat dari bahan yang memiliki konduktivitas listrik tinggi dan konduktivitas panas yang rendah. [2]

Prinsip kerja dari *thermoelectric* adalah dengan disusunnya dua elemen yang berbeda dan memiliki tingkat energi yang berbeda juga dan diberikan arus yang mengalir maka dua sisi dari modul *thermoelectric* tersebut akan menghasilkan perbedaan temperatur yang berbeda.

n-junction yang memiliki tingkat energi rendah, dan *p-junction* yang memiliki tingkat energi yang tinggi. Ketika elektron mengalir dari sisi *n* menuju *p* maka sisi tersebut akan terasa dingin, hal ini dikarenakan elektron mengalir dari tingkat energi yang rendah menuju tinggi.

Dalam pembuatan ini modul *thermoelectric* disusun dengan beberapa komponen tambahan yang dapat meningkatkan kinerjanya. Diantaranya *fan* di kedua sisi, *heatsink* di kedua sisinya juga. Berikut

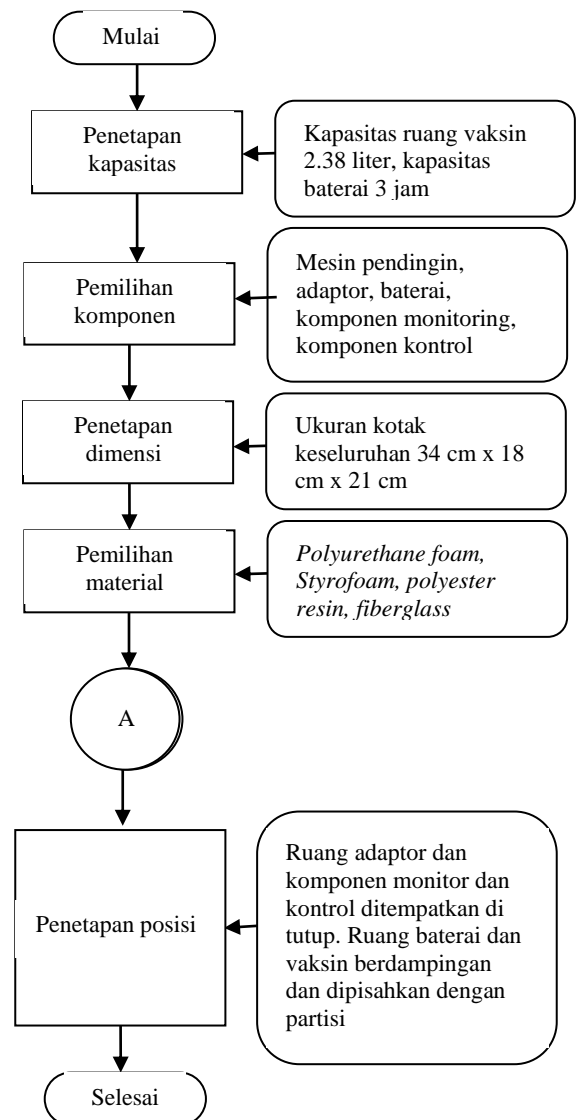
gambaran mengenai mesin pendingin yang digunakan.

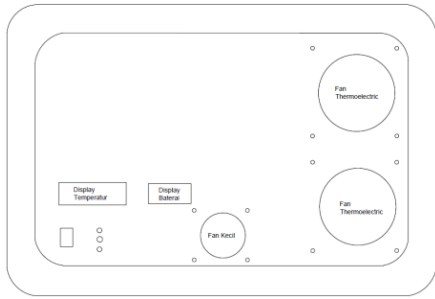


Gambar 1. Rangkaian Mesin Pendingin

2. METODOLOGI

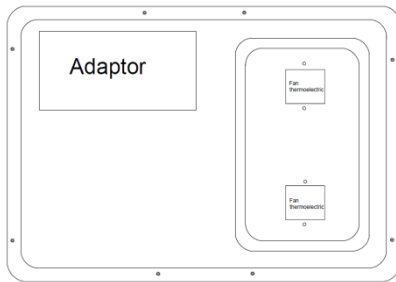
2.1. Perancangan





Gambar 2. Skema Rancangan Penempatan Komponen Pada

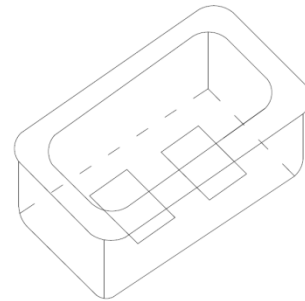
Tutup Tampak Atas



Gambar 3. Skema Rancangan Penempatan Komponen Pada
Tutup Tampak Bawah

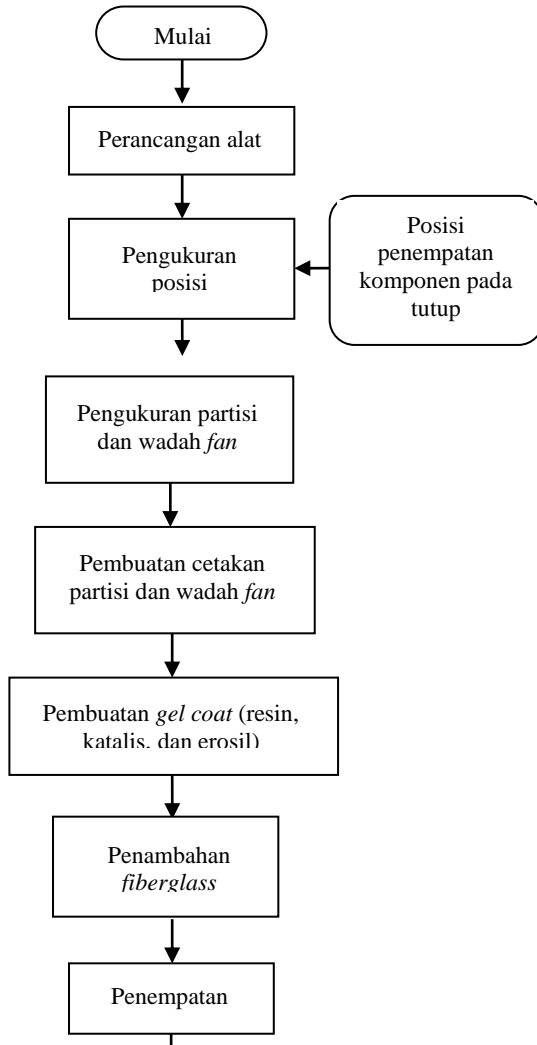


Gambar 4. Skema Partisi Pemisah



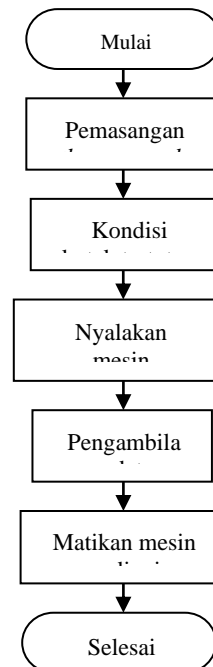
Gambar 5. Skema Wadah Fan

22. Pembuatan Alat



Gambar 6. Produk Nyata

23. Pengujian

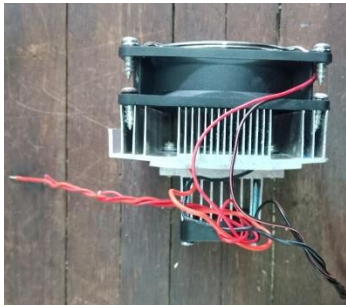


3. HASIL PERANCANGAN, PEMBUATAN, DAN PENGUJIAN

3.1. Hasil Perancangan

- **Subsistem I (Pendingin)**

Hasil rancangan dari mesin pendingin adalah sebuah perangkat dengan merangkai sebuah modul *thermoelectric* yang disusun secara paralel dengan *fan* disisi panas berukuran 12 cm x 12 cm, *heatsink* disisi panas berukuran 12 cm x 10 cm, *fan* disisi dingin dengan ukuran 4 cm x 4 cm, dan *heatsink* disisi dingin dengan ukuran 4 cm x 4 cm.



Gambar 7. Rangkaian Mesin Pendingin

Penggunaan sepasang mesin pendingin dengan konstruksi diatas merupakan hasil dari uji coba dengan kapasitas ruang vaksin sebesar 2.38 liter. Dari data pengujian menggunakan kotak pendingin, didapatkan hasil paling rendah sebesar 5.6 °C dalam kurun waktu 90 menit. Temperatur diperkirakan dapat turun jika waktu pengujian diperpanjang.

Penempatannya sendiri ditempatkan di tutup dengan bagian dingin menjorok kedalam ruang penyimpanan vaksin. Sebagai penahan dibuatlah wadah vaksin yang terbuat dari komposit. Untuk menghalangi panas yang merambat dari *heatsink* panas ke wadah *fan* maka dipermukaan wadah *fan* ditutup dengan EVA *foam* setebal 0.5 cm.

Adapun tuntutan dalam perancangan mesin pendingin ini adalah sisi panas harus diusahakan memiliki temperatur serendah mungkin agar sisi dingin menghasilkan temperatur yang lebih rendah pula. Adapun cara pendinginannya dapat menggunakan media udara (*fan*) atau media fluida pendingin (air).

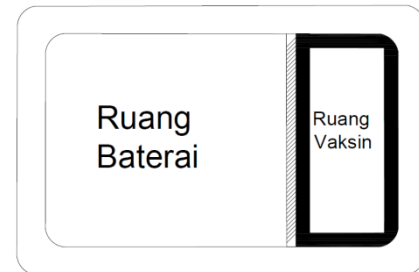
- **Subsistem II (Kotak Pendingin)**

Kotak pendingin yang menjadi pokok bahasan disini pada dasarnya menggunakan kotak pendingin yang berada di pasaran dan dengan menghitung kapasitas yang dibutuhkan maka dipilihlah metode perombakan.

Kotak yang dipakai berukuran 34 cm x 18 cm x 21 cm. Dengan kapasitas yang dimampatkan. Untuk

bagian dalam kotak sendiri hanya digunakan untuk ruang penyimpanan vaksin dan ruang baterai. Sedangkan komponen lain ditempatkan di tutup bertujuan untuk membuat kotak pendingin lebih *compact* dari yang direncanakan di awal.

Untuk skema perancangan penempatan komponen diatas tutup dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3. Sedangkan untuk perancangan ruang dalam dapat dilihat pada gambar dibawah :



Gambar 8. Skema Perancangan Ruang Dalam

Adapun ruang baterai berukuran 26.5 cm x 20.5 cm x 20 cm. Ruang baterai disesuaikan agar baterai dengan kapasitas yang sesuai bisa masuk dengan benar. Adapun ruang vaksin sendiri dengan kapasitas 2.38 liter dengan isolasi tambahan berupa styrofoam yang ditutupi dengan aluminium.

Isolator panas yang digunakan adalah *polyurethane foam* untuk isolasi dinding secara keseluruhan, dan *styrofoam* yang digunakan untuk isolasi tambahan yang ditempatkan di dalam ruang penyimpanan vaksin. Selain itu, *styrofoam* tersebut dilapisi *aluminium foil* yang berfungsi sebagai penghantar kalor yang baik sehingga perputaran udara dingin dalam ruang vaksin lebih cepat dan dapat mempertahankan temperatur rendah meskipun mesin mati.

3.2. Pembuatan

- **Subsistem I (Pendingin)**

Pada pembuatan satu mesin pendingin ini yang diperlukan adalah bahan-bahan seperti *heatsink*, *fan*, dan modul *thermoelectric*. Sedangkan untuk komponen pengikat digunakan sekrup dengan panjang yang berbeda. Disesuaikan dengan kebutuhan.



Gambar 9. Sekrup

• **Subsistem II (Kotak Pendingin)**

Untuk mempermudah dari tahapan pembuatan dari *cool box* ini, penulis menggunakan *cool box* yang sudah ada dipasaran dan merombaknya sesuai dengan kebutuhan. Dikarenakan bahan yang digunakan pada *cool box* yang berada di pasaran sudah memenuhi standar dari WHO dan tidak jauh berbeda dengan yang direncanakan.

Adapun pembuatan disini adalah tahapan perombakan agar kotak pendingin agar sesuai dengan kapasitas yang dibutuhkan. Pertama-tama adalah tahapan pengukuran. Pengukuran disini adalah pengukuran untuk penempatan mesin pendingin dan juga beberapa komponen diluar baterai. Adaptor, led arduino, saklar, dan juga *display* dari kapasitas baterai ditempatkan didalam tutup. Berguna untuk memadatkan pemakaian ruang kotak, sehingga kotak terlihat lebih kecil dibanding yang seharusnya.

Selanjutnya adalah pengukuran untuk pembuatan partisi atau dinding pemisah dari ruang penyimpanan vaksin dan juga ruang baterai. Partisi ini dibuat dari resin *polyester* BQTN dengan campuran erosil dan juga *fiberglass*, dan untuk isolasi dindingnya menggunakan busa *polyurethane*.

Pembuatan partisi ini dimulai dengan pengukuran ukuran partisi yang akan dibuat dan dibuatkan cetakannya. Cetakan disini menggunakan papan HMR (*high moisture resistance*), yang sekali pakai berguna untuk menekan harga dan juga waktu pembuatan.

Dilanjutkan dengan pembuatan bahan pembuat partisi. Dimulai dengan mencampurkan resin *polyester* BQTN dengan erosil. Erosil berguna memberikan warna putih pada resin yang awalnya berwarna bening. Selanjutnya diusapkan keatas cetakan lalu ditambahkan *fiberglass* jenis *chopped strain mat*, yang memiliki potongan kasar. Tunggu sampai kering.

Setelah kering selama kurang lebih 2 jam,

selanjutnya dipasang kepada kotak pendingin. Diberi jarak atau ruang untuk penempatan *polyurethane*. Setelahnya dimasukan *polyurethane* cair kedalam ruang tersebut dan tunggu hingga mengembang dan memenuhi ruang tersebut.

Untuk pembuatan wadah dari mesin pendingin hampir sama seperti pembuatan partisi. Dimulai dari pembuatan cetakan, lalu membuat dinding luar dari campuran resin dan juga erosil, dan ditambahkan dengan *fiberglass*. Hanya saja untuk isolasi wadah ini tidak menggunakan *polyurethane*.

33. Pengujian

Pada pengujian ini dilakukan dua kali dengan beban dan tanpa beban. Beban sendiri menggunakan *dummy load* berupa air yang dimasukkan ke dalam botol *vial* dengan kapasitas 10 ml. Menyerupai dengan botol vaksin Sinovac multidosis.

Pertama-tama adalah pemasangan thermocouple, bertujuan untuk pengambilan data berupa temperatur dalam ruang vaksin. Pastikan kondisi kotak tertutup rapat dan tidak ada celah untuk masuk atau keluarnya kalor.

Selanjutnya adalah sambungkan catu daya berupa adaptor dengan rangkaian mesin pendingin.

Pengambilan data, data yang diambil berupa temperatur dalam ruang vaksin, dan temperatur dinding luar setiap 5 menit percobaan.

Kesesuaian data adalah jika temperatur dalam ruang vaksin sudah mencapai range yang diinginkan, antara 2-8°C, dengan selisih temperatur antara dinding ruang penyimpanan vaksin dan dinding luar penyimpanan vaksin yang membesar seiring berjalannya waktu.

Jika sesuai maka matikan mesin pendingin, dan jika tidak sesuai maka kotak pendingin dibuka dan temperatur ruang penyimpan vaksin dinaikkan agar sama dengan temperatur lingkungan. Setelah itu, maka pengujian diulangi lagi.

Hasil dari pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Pengujian Tanpa Beban

Tanpa beban		
Waktu (WIB)	T _{dalam} (°C)	T _{luar} (°C)
17.25	25.5	25.9
17.30	11.6	26.4
17.35	10.5	26.2
17.40	9.8	24.7
17.45	9.2	25.7
17.50	8.7	25.6
17.55	8.5	25.3
18.00	8.3	24
18.05	8	24.2
18.10	7.7	24.8
18.15	7.4	25
18.20	7.1	24.9
18.25	6.8	24.3
18.30	6.5	24.9

18.35	6.2	25
18.40	6.1	24.1
18.45	5.9	24.9
18.50	5.6	25.2

Tabel 4. Hasil Pengujian Berbeban

Berbeban		
Waktu (WIB)	Waktu (WIB)	Waktu (WIB)
13.38	13.38	13.38
13.43	13.43	13.43
13.48	13.48	13.48
13.53	13.53	13.53
13.58	13.58	13.58
14.03	14.03	14.03
14.08	14.08	14.08
14.13	14.13	14.13
14.18	14.18	14.18
14.23	14.23	14.23
14.28	14.28	14.28
14.33	14.33	14.33
14.38	14.38	14.38
14.43	14.43	14.43
14.48	14.48	14.48
14.53	14.53	14.53
14.58	14.58	14.58
15.03	15.03	15.03

34. Perhitungan Beban Transmisi

Dari data diatas didapatkan beban transmisi sebesar

Tabel 5. Hasil Perhitungan Beban Transmisi

Jenis pengujian	Jumlah beban transmisi (W)
Tanpa beban	1.25
Berbeban	1.202

Menggunakan persamaan (2) dimana beberapa data dari nilai konduktivitas termal tiap material adalah :

Tabel 6. Tabel Konduktivitas Termal Material

Material	Konduktivitas Termal (W/m.K)
Poliester	0.05
Polyurethane	0.03
Styrofoam	0.033
Aluminium foil	236
Koefisiensi Konveksi (W/m ² .K)	
F ₀	3.46
F ₁	1.42

35. Analisa

Pada pengujian tanpa beban dengan total beban pendingin sebesar 2.31 W yang terdiri dari 1.25 W beban transmisi dan 1.06 W beban produk. Mendapatkan hasil setelah pendinginan selama 90 menit adalah temperatur dalam ruang vaksin sebesar 5.6 °C dengan temperatur luar ruang vaksin sebesar 25.5 °C . Dilihat dari selisih temperatur dalam dan luar ruang vaksin dapat menjadi salah satu faktor penanda bahwa rugi-rugi yang terjadi dalam kotak ini kecil. Ditambah dengan emperatur luar ruang vaksin hampir

sama dari waktu ke waktu.

Pada pengujian berbeban dengan total beban pendinginan sebesar 10.64 W yang terdiri dari beban transmisi sebesar 1.202 W dan beban produk sebesar 9.44 W. Hasil yang didapatkan setelah 90 menit pendinginan adalah temperatur dalam ruang vaksin sebesar 6.3 ° C dan temperatur luar ruang vaksin sebesar 25.4 °C . Sama halnya dengan pengujian tanpa beban, pengujian dengan beban ini memiliki selisih yang besar antara temperatur dalam dan luar ruangan, Dengan temperatur luar ruangan yang sama.

Dalam segi pembuatan kotak pendingin yang mengacu pada standar WHO dengan kode WHO/PQS/E004/CB01.2, sebagian besar standar terpenuhi. Dengan beberapa tambahan yang belum dibahas dalam standarisasi WHO seperti penggunaan *thermoelectric* sebagai sumber pendingin, penggunaan daya listrik sebagai catu daya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari hasil penyusunan diatas didapatkan kesimpulan :

1. Sistem pendingin yang digunakan adalah *thermoelectric* dengan tipe TEC1-12706 yang dipasang paralel dengan *fan* dan juga *heatsink*. Jumlah *thermoelectric* yang digunakan ada dua buah dengan masing masing menggunakan 12 volt dan 6 ampere.
2. Ukuran keseluruhan dari kotak pendingin adalah 34 cm x 18 cm x 21 cm. Dengan kapasitas ruang baterai sebesar 26.5 cm x 20.5 cm x 20 cm. Dan kapasitas penyimpanan vaksin sebesar 2.38 liter.
3. Material yang digunakan untuk pembuatan kotak pendingin sendiri adalah menggunakan resin jenis *polyester* yang bersertifikat *food grade* dengan penguat berupa *fiberglass*. Isolasi panas menggunakan busa *polyurethane* dan *styrofoam* yang ditempatkan di dalam ruang pendingin dengan ditutupi dengan *aluminium foil*, bertujuan agar perputaran dingin di dalam ruang vaksin semakin cepat tetapi tidak ada kebocoran panas dari dalam ruang vaksin.
4. Dari hasil perhitungan beban transmisi yang merupakan beban yang disebabkan karena adanya perbedaan temperatur antara luar dan dalam ruangan, didapatkan hasil bahwa nilai beban transmisi pada percobaan tak berbeban sebesar 1.25 W. Dan untuk pengujian berbeban nilai beban transmisi yang didapatkan adalah 1.202 W. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa rugi-rugi perpindahan panas yang terjadi pada kotak

pendingin kecil.

4.2. Saran

1. Menggunakan isolasi lain yang diperkirakan memiliki daya tahan panas yang lebih baik. Untuk styrofoam bisa menggunakan styrofoam dengan tingkat kepadatan yang lebih tinggi dibanding yang sekarang dipakai.
2. Menggunakan komponen yang lebih ringan dan tidak memakan banyak tempat. Seperti baterai yang pada saat ini menggunakan accumulator bisa diganti menggunakan baterai lithium.
3. Untuk menahan dari air, maka disarankan membuat tas anti air khusus untuk kotak atau dibuat tudung dari bahan yang serupa dengan penyusun dinding.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]Boesono, H., Saraswati, M., & Setiyanto, I. (2018). *ANALISIS PENGGUNAAN FOAM POLYURETHANE PADA KAPAL IKAN 5 GT SEBAGAI DAYA APUNG CADANGAN DI PT. JELAJAH SAMUDERA INTERNASIONAL KABUPATEN JEPARA*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [2]Jatmiko, A. W. (2014). *Kotak Pendingin Berbasis Thermoelectric*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- [3]Organization, W. H. (2010). PQS Performance Specification.
- [4](2021). *Petunjuk Teknis Pelaksanaan Vaksinasi Dalam Rangka Penanggulangan Pandemi Corona Virus Disease 2019 (COVID-19)*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- [5]Pranata, A. A. (2016). *Perhitungan Beban Pendingin Vaksin Septivet Pada Cold Storeage Di Pusvetma Surabaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- [6]Wuryanti, S. (2010). *Perpindahan Panas*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.