



Analisis Bahan Material Komponen Dan Pemanfaatan Hukum Termodinamika Dalam Desain Kulkas Yang Ramah Lingkungan

Dita Apriliyani¹, Hapyla Dharen², Binntang Akalla Junjunan³, Muhammad Aswaeni Muldea⁴

¹⁻⁴ Program Studi Fisika, Departemen Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia
Email: ditapriliani04@upi.edu¹, hapyladharen@upi.edu², bintangakallaj@upi.edu³,
aswaeni.muldea17@upi.edu⁴

Korespondensi penulis: ditapriliani04@upi.edu

Abstract: The issue of ozone depletion and surface global warming due to synthetic refrigerants has prompted educational laboratories employing cooling machines to seek environmentally friendly alternative refrigerants. Retrofitting involves replacing refrigerants (consumable substances serving as working fluids) with environmentally friendly alternatives. Refrigerators are essential household appliances that have a significant environmental impact. This paper addresses various aspects of environmentally friendly refrigerator design, encompassing the use of cutting-edge technology, routine maintenance, the utilization of waste heat, material recycling, and the selection of eco-friendly refrigerants. By focusing on energy efficiency and sustainable material usage, refrigerators can become more efficient and environmentally friendly. Through this comprehensive analysis, practical recommendations are emphasized for the eco-friendly use and maintenance of refrigerators.

Keywords: Refrigerator, Environmentally Friendly, Energy Efficiency, Cutting-Edge Technology, Routine Maintenance.

Abstrak: Isu tentang kerusakan ozon dan pemanasan global permukaan bumi akibat refrigeran sintetik, mendorong laboratorium Pendidikan yang menggunakan mesin pendingin, mencari alternatif jenis refrigeran yang ramah lingkungan. Retrofit merupakan penggantian refrigeran (bahan habis sebagai fluida kerja) dengan jenis refrigeran yang ramah lingkungan. Kulkas merupakan perangkat rumah tangga yang penting namun memiliki dampak lingkungan yang signifikan. Makalah ini membahas berbagai aspek perancangan kulkas yang ramah lingkungan, termasuk penggunaan teknologi terkini, perawatan rutin, pemanfaatan energi panas buangan, daur ulang bahan, dan pemilihan refrigeran yang ramah lingkungan. Dengan fokus pada efisiensi energi dan penggunaan bahan yang berkelanjutan, kulkas dapat menjadi lebih efisien dan ramah lingkungan. Melalui analisis komprehensif ini, penekanan diberikan pada saran praktis untuk penggunaan dan perawatan kulkas yang ramah lingkungan.

Kata kunci: Kulkas, Ramah Lingkungan, Efisiensi Energi, Teknologi Terkini, Perawatan Rutin.

PENDAHULUAN

Desain kulkas yang tidak ramah lingkungan dapat menimbulkan beberapa kerugian bagi lingkungan. Beberapa tahun yang lalu, ahli kimia atmosfer memperhatikan bahwa jumlah klorin dan brom meningkat di atmosfer. Dampak dari meluasnya lubang ozon sangat berbahaya bagi umat manusia. Penggunaan bahan pendingin yang merusak lapisan ozon masih menjadi permasalahan pada beberapa kulkas lama yang menggunakan bahan seperti klorofluorokarbon (CFC) dan hidrochlorofluorokarbon (HCFC) meskipun penggunaannya telah dilarang secara internasional. Bahan-bahan tersebut terbukti dapat merusak lapisan ozon di atmosfer. Mario Molina, seorang ilmuwan yang bekerja dengan Sherwood Rowland di departemen kimia di Universitas California, Irvine (UCI), melakukan penelitian tentang CFC sekitar tahun 1973. Molina mengetahui bahwa jumlah CFC di troposfer, enam hingga 10 mil di atas permukaan

bumi, kira-kira sama dengan jumlah CFC yang diproduksi manusia. Berbeda dengan senyawa lain yang keberadaannya di atmosfer tersapu oleh air hujan, CFC tidak larut dalam air, sehingga jumlah CFC relatif konstan. Setelah Roland dan Molina menemukan bahwa tidak ada proses lain yang dapat melarutkan CFC di troposfer, mereka berhipotesis bahwa CFC akan terus meningkat dan akhirnya mencapai stratosfer atas. Mereka juga menduga difusi CFC ke stratosfer terjadi sangat lambat. Menurut perhitungan mereka, diperlukan waktu antara 40 dan 150 tahun bagi senyawa yang dilepaskan di Bumi untuk mencapai “kematian”. Apa dampak radiasi UV-B dengan intensitas tinggi yang mencapai bumi? Para ahli mengatakan bahwa untuk setiap 10% penipisan lapisan ozon, radiasi UV-B dapat meningkat sebesar 20%. Jika terlalu banyak radiasi UV-B yang mencapai bumi, antara lain dapat menyebabkan kanker kulit, katarak, dan melemahkan pertahanan tubuh terhadap infeksi. Radiasi UV-B juga dapat mengurangi kemampuan banyak organisme dalam menyerap gas karbon dioksida (CO₂) gas rumah kaca, sehingga meningkatkan konsentrasi gas-gas tersebut di atmosfer dan berkontribusi terhadap pemanasan global. Selain itu, kulkas yang tidak efisien dalam penggunaan energinya akan menghabiskan konsumsi listrik yang lebih besar. Hal ini berarti emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil akan lebih besar (Sherry Rowland dan Mario Molina, 1974). Untuk itu, penggunaan sumber energi terbarukan perlu dipertimbangkan guna mengurangi dampak negatif tersebut. Beberapa kulkas juga masih menggunakan bahan isolasi seperti polistirena ekspanded (EPS) atau poliuretan (PU) yang dapat menghasilkan emisi berbahaya selama proses produksi dan sulit didaur ulang (Deswita, Aziz, dan Mainil, 2016). Oleh karena itu, desain kulkas yang ramah lingkungan perlu mempertimbangkan penggunaan bahan isolasi yang lebih ramah lingkungan seperti bahan daur ulang atau yang mudah didaur ulang. Kulkas dengan umur pakai yang pendek juga akan meningkatkan jumlah limbah elektronik karena lebih cepat dibuang. Jika hal ini menjadi umum, akan semakin banyak kulkas yang sulit didaur ulang. Oleh karena itu, desain kulkas yang ramah lingkungan perlu mempertimbangkan umur pakai yang lebih panjang serta kemampuan daur ulang yang lebih baik.

Desain kulkas ramah lingkungan perlu mempertimbangkan penggunaan sumber energi bersih dan berkelanjutan serta teknologi pendinginan yang lebih efisien. Dengan memanfaatkan prinsip-prinsip termodinamika, desain kulkas ramah lingkungan dapat menciptakan sistem pendinginan yang lebih efisien dan berwawasan lingkungan. Selain itu, desain kulkas juga dapat mempertimbangkan integrasi teknologi terbarukan seperti panel surya atau pemulihan panas. Dengan mengintegrasikan sumber energi terbarukan, kulkas dapat mengurangi ketergantungan pada listrik konvensional, yang sering berasal dari pembangkit

listrik berbahan bakar fosil. Implementasi teknologi ini dapat merangsang pengembangan infrastruktur energi terbarukan (Haryanto & Alifil, 2020). Seiring dengan hukum termodinamika, keberlanjutan energi juga dapat ditingkatkan melalui penggunaan teknologi yang lebih efisien. Inovasi dalam kompresor dan sistem sirkulasi udara dapat mengurangi konsumsi energi tanpa mengorbankan kinerja pendinginan. Pemantauan dan pengaturan suhu yang cerdas, mungkin menggunakan sensor atau kecerdasan buatan, juga dapat mengoptimalkan penggunaan energi.

Penting untuk melibatkan konsumen dalam upaya keberlanjutan ini. Pendidikan mengenai manfaat produk ramah lingkungan dan cara penggunaan yang efisien dapat memberikan dampak positif pada penggunaan kulkas. Label energi yang jelas dan informatif dapat membantu konsumen membuat pilihan yang berkelanjutan. Peran produsen dalam mendukung produk yang ramah lingkungan juga dapat diperkuat melalui kebijakan perusahaan yang berkomitmen pada keberlanjutan. Peningkatan transparansi dalam rantai pasokan dan praktek produksi yang bertanggung jawab dapat menjadi nilai tambah bagi produsen. Selain itu, kolaborasi antara pemerintah, industri, dan organisasi lingkungan dapat memperkuat regulasi terkait keberlanjutan produk elektronik, termasuk kulkas. Dukungan dari pihak berwenang dapat menciptakan insentif bagi produsen untuk mengadopsi praktik yang lebih berkelanjutan. Dalam merancang kulkas yang ramah lingkungan, penting untuk mempertimbangkan siklus hidup lengkap produk, mulai dari bahan baku hingga akhir pemakaian. Dengan pendekatan holistik ini, dapat diciptakan solusi yang tidak hanya mengurangi dampak negatif pada lingkungan tetapi juga memberikan manfaat jangka panjang untuk keberlanjutan global.

METODE

Penelitian adalah suatu proses terstruktur yang menghimpun serta menganalisis data yang relevan untuk menjawab pertanyaan atau hipotesis penelitian (Khusaini, 2023). Di dunia akademik, terdapat beragam metode penelitian yang umumnya digunakan untuk menjawab pertanyaan penelitian. Dua jenis penelitian yang sering diadopsi adalah penelitian kepustakaan dan studi kasus. Metode penelitian kualitatif dengan pendekatan deskriptif. Penelitian ini bertujuan untuk menjawab rumusan masalah yang telah diidentifikasi, dengan fokus pada pemanfaatan RCA pada aplikasi konstruksi perkerasan jalan raya yang berkelanjutan (Fatiatun, Arsita Dwi, Alvina Chusnul, dan Nur Avifatun, 2022). Artikel "Penerapan Termodinamika Heating dan Cooling pada Dispenser" oleh Fatiatun, Arsita Dwi Pratiwi, Alvina Chusnul Wirdati, dan Nur Avifatun (2022) membahas penerapan hukum termodinamika pada dispenser

air. Mereka menggunakan metode kepustakaan untuk mengumpulkan dan menganalisis informasi yang mendukung pembahasan.

PEMBAHASAN

Kerusakan lapisan ozon adalah permasalahan global yang berdampak negatif terhadap kehidupan di Bumi. Dampaknya menyebar luas dan tidak mengenal batas yuridis suatu negara. United Nations Environment Programme (UNEP) memainkan peran penting dalam mengkoordinasikan respons internasional terhadap masalah ini. Mereka memfasilitasi kesepakatan internasional yang mengakui prinsip universal terkait kerusakan lapisan ozon. Konvensi Wina untuk perlindungan lapisan ozon pada tahun 1985 merupakan landasan penting yang menekankan perlunya kerjasama internasional dalam menangani isu ini. Selanjutnya, Protokol Montreal pada tahun 1987 menjadi langkah konkret yang mengatur penggunaan zat-zat yang dapat merusak lapisan ozon. Protokol ini memuat larangan-larangan yang diharuskan dilaksanakan oleh negara anggota. Contohnya adalah larangan terhadap penggunaan BPO (Bahan Penguraian Ozon) yang merusak, dengan mendorong penggantian mereka dengan bahan-bahan ramah lingkungan. Meskipun upaya internasional telah dilakukan, masih terdapat tantangan dalam implementasi peraturan ini. Beberapa perangkat, seperti beberapa kulkas, masih menggunakan bahan pendingin yang merusak lapisan ozon seperti CFC (Chlorofluorocarbon) dan HCFC (Hydrochlorofluorocarbon). Hal ini menunjukkan bahwa upaya untuk mengimplementasikan peraturan perlindungan lapisan ozon masih memerlukan langkah-langkah konkret yang lebih kuat serta kontrol yang lebih ketat.

A. Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses fisik di mana energi panas bergerak dari suatu objek ke objek lainnya yang memiliki perbedaan suhu (Nurhidayat et al., 2020). Teori perpindahan panas melibatkan tiga mekanisme utama: konduksi, konveksi, dan radiasi, yang menjelaskan bagaimana energi panas berpindah dari suatu tempat ke tempat lainnya.

Konduksi: Konduksi adalah proses perpindahan panas melalui suatu material atau medium tanpa perpindahan material itu sendiri (Suhada, 2023). Ini terjadi ketika partikel energi bergetar dan energi tersebut berpindah dari partikel yang satu ke partikel yang lain. Hukum Fourier tentang konduksi panas menggambarkan laju perpindahan panas dalam material yang sebanding dengan gradien suhu di antara kedua ujung material tersebut (Lubis et al., 2018).

Konveksi: Konveksi adalah perpindahan panas melalui pergerakan massa atau fluida. Ini terjadi ketika suatu zat cair atau gas bergerak dan membawa energi panas bersamanya. Ketika suatu cairan dipanaskan, molekul di dekat sumber panas menjadi lebih aktif, mengubah

kerapatannya, dan menghasilkan aliran konveksi (Hari, 2019). Ini sering terjadi dalam radiator atau dalam oven.

Radiasi: Radiasi adalah perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik. Benda-benda yang memiliki suhu di atas nol mutlak mengeluarkan radiasi elektromagnetik sebagai bentuk energi panas. Radiasi termal tidak memerlukan medium dan bisa terjadi bahkan di ruang hampa udara, seperti panas matahari yang mencapai Bumi melalui radiasi (Risko, 2023).

B. Komponen Penyusun Kulkas

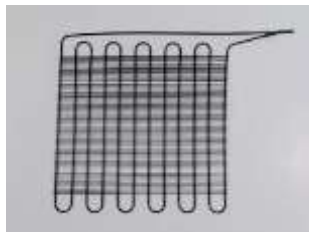
Kulkas adalah perangkat rumah tangga yang kompleks, terdiri dari berbagai komponen yang bekerja sama untuk menjaga suhu rendah di dalam ruang penyimpanan. Beberapa komponen kunci yang membangun kulkas termasuk kompresor, kondensor, evaporator, katup ekspansi, dan bahan isolasi (Magnus dan Marlott, 1996).

1. **Kompresor:** Ini adalah komponen yang bertanggung jawab untuk meningkatkan tekanan dan suhu gas refrigeran. Kompresor berperan dalam mengubah gas menjadi cairan yang kemudian didorong ke kondensor.



Gambar 1. Kompresor Kulkas

2. **Kondensor:** Kondensor merupakan bagian di mana gas bertekanan tinggi dikondensasikan menjadi cairan. Pada saat ini, panas dilepaskan dan diserap oleh udara sekitar kondensor, menyebabkan gas refrigeran mendingin.



Gambar 2. Kondensor Kulkas

3. **Evaporator:** Evaporator berada di dalam ruang kulkas. Cairan refrigeran mengalir ke evaporator setelah melewati katup ekspansi. Di dalam evaporator, cairan menguap dan menyerap panas dari udara dalam kulkas, sehingga menurunkan suhunya.



Gambar 3. Evaporator Kulkas

4. Katup Ekspansi: Komponen ini berperan dalam mengurangi tekanan dan suhu dari cairan refrigeran yang mengalir dari kondensor ke evaporator.



Gambar 4. Katup Ekspansi Kulkas

5. Bahan Isolasi: Bahan isolasi, seperti polistirena ekspanded (EPS) atau poliuretan (PU), digunakan untuk mempertahankan suhu dingin di dalam kulkas. Bahan ini terdapat di dinding kulkas, membantu menjaga suhu rendah dan mencegah panas dari lingkungan luar masuk ke dalam.

C. Prinsip Kerja Kulkas pada Hukum Termodinamika

Prinsip kerja kulkas didasarkan pada prinsip-prinsip termodinamika yang mengatur transfer panas dari daerah yang lebih dingin ke daerah yang lebih panas (Dincer, 2017). Kulkas beroperasi berdasarkan siklus termodinamika yang melibatkan perubahan tekanan, suhu, dan wujud fisik zat di dalamnya. Prinsip-prinsip hukum termodinamika, terutama hukum kedua termodinamika, menjelaskan bahwa panas alami mengalir dari daerah yang lebih panas ke daerah yang lebih dingin. Mesin kulkas menggunakan energi untuk memaksa aliran panas berlawanan, yaitu dari ruang dalam kulkas (yang diinginkan tetap dingin) ke ruang luar (yang lebih hangat) (Whitman, 2012). Proses ini melibatkan beberapa komponen utama, termasuk kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator.

Siklus refrigerasi pada kulkas dimulai dengan kompresi. Di dalam kompresor, gas refrigeran dikompresi, meningkatkan tekanan dan suhunya. Gas panas ini kemudian melewati kondensor, di mana panas dilepaskan ke udara di sekitarnya. Selama proses ini, gas berubah menjadi cair. Cairan refrigeran yang telah mendingin ini melewati katup ekspansi, di mana tekanannya turun secara tiba-tiba dan cairan berubah menjadi gas. Proses ini menyebabkan penurunan suhu dalam evaporator, yang terletak di dalam kulkas. Udara dalam kulkas mengalir melalui evaporator dan mendingin. Sementara udara dalam kulkas mendingin, panas dari ruang

dalam kulkas diambil oleh refrigeran. Prinsip hukum termodinamika menentukan bahwa meskipun ruang dalam kulkas menjadi lebih dingin, energi dari listrik diperlukan untuk menjaga siklus ini berjalan. Pada akhirnya, proses ini memungkinkan pendinginan di dalam kulkas.

D. Berdasarkan permasalahan yang dipaparkan Contoh desain kulkas yang tidak ramah lingkungan dan dampaknya adalah:

1. Kulkas dengan bahan pendingin CFC: Kulkas yang menggunakan bahan pendingin CFC memiliki dampak negatif pada lapisan ozon di atmosfer. Bahan pendingin ini dapat mencapai stratosfer dan merusak molekul ozon, yang menyebabkan penipisan lapisan ozon. Akibatnya, radiasi UV berbahaya dapat mencapai permukaan bumi, meningkatkan risiko kanker kulit, kerusakan tanaman, dan mengganggu ekosistem laut. Kulkas yang menggunakan bahan pendingin CFC (Chlorofluorocarbons) telah terbukti memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan, khususnya pada lapisan ozon di atmosfer. Penggunaan CFC telah dikaitkan dengan penipisan lapisan ozon, yang memiliki konsekuensi serius terhadap kesehatan manusia, tanaman, dan ekosistem (Mulyani, 2021). CFC adalah senyawa kimia yang awalnya banyak digunakan sebagai bahan pendingin dalam kulkas dan pendingin udara. Ketika CFC terlepas ke atmosfer, senyawa ini naik ke stratosfer. Di sana, sinar UV matahari memecah molekul CFC, melepaskan atom klorin. Atom klorin ini kemudian bereaksi dengan molekul ozon, merusaknya secara kimiawi. Setiap molekul klorin bisa merusak banyak molekul ozon, menyebabkan penipisan lapisan ozon (Cahyono, 2005).

Penipisan lapisan ozon merupakan masalah global yang serius karena lapisan ozon bertindak sebagai perisai alami Bumi, menyerap sebagian besar radiasi ultraviolet (UV) yang berbahaya dari matahari. Penipisan lapisan ozon dapat mengakibatkan peningkatan radiasi UV yang mencapai permukaan Bumi. Radiasi UV yang tinggi dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, seperti peningkatan risiko kanker kulit, gangguan sistem kekebalan tubuh, dan kerusakan mata (Irianti dan Nuranto, 2021). Selain itu, radiasi UV yang berlebihan dapat merusak tanaman dan mengganggu ekosistem laut.

2. Kulkas yang tidak efisien dalam penggunaan energi: Kulkas yang menggunakan teknologi yang usang atau tidak efisien dalam penggunaan energi akan mengonsumsi lebih banyak listrik. Ini berarti lebih banyak emisi gas rumah kaca akan dihasilkan dari pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil. Peningkatan emisi gas rumah kaca berkontribusi pada pemanasan global dan perubahan iklim yang tidak diinginkan. Kulkas yang tidak efisien dalam penggunaan energi memiliki dampak besar terhadap lingkungan karena

menyebabkan peningkatan konsumsi listrik. Dalam kasus ini, penggunaan teknologi yang usang atau kurang efisien akan menyebabkan kulkas menggunakan lebih banyak listrik daripada yang seharusnya untuk menjaga suhu yang diinginkan. Dampaknya tidak hanya pada tagihan listrik rumah tangga, tetapi juga pada lingkungan secara keseluruhan.

Konsumsi energi yang tinggi dari kulkas yang tidak efisien berarti bahwa pembangkit listrik, terutama yang masih mengandalkan bahan bakar fosil seperti batu bara atau minyak, harus meningkatkan produksi energi untuk memenuhi permintaan. Proses ini menghasilkan lebih banyak emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄), yang berkontribusi pada pemanasan global dan perubahan iklim yang tidak diinginkan. Emisi gas rumah kaca menyebabkan peningkatan efek rumah kaca, yang pada gilirannya mempercepat pemanasan global. Dampaknya meliputi peningkatan suhu global, perubahan pola cuaca yang ekstrim, dan pencairan es di kutub, yang berdampak pada kenaikan permukaan air laut. Selain itu, ini juga dapat mempengaruhi ekosistem, termasuk gangguan pada kehidupan satwa liar dan kerusakan pada tanaman dan lahan pertanian. Upaya untuk mengurangi dampak kulkas yang tidak efisien pada lingkungan dapat melibatkan penggunaan teknologi yang lebih efisien energi, peningkatan standar efisiensi energi, dan edukasi untuk mengedukasi masyarakat tentang pentingnya menggunakan peralatan rumah tangga yang ramah lingkungan.

3. Kulkas dengan bahan isolasi yang tidak ramah lingkungan: Beberapa kulkas menggunakan bahan isolasi seperti polistirena ekspanded (EPS) atau poliuretan (PU), yang dapat menghasilkan emisi gas berbahaya selama proses produksi dan juga sulit didaur ulang. Bahan-bahan ini dapat mencemari lingkungan dan berkontribusi pada masalah limbah yang sulit diurai. Bahan isolasi yang digunakan dalam kulkas, seperti polistirena ekspanded (EPS) atau poliuretan (PU), memiliki dampak lingkungan yang signifikan, baik selama proses produksi maupun setelah kulkas tidak terpakai (Verma dan Sight, 2019).

Dampak Penggunaan EPS dan PU pada Lingkungan:

1. Emisi Gas Berbahaya: Proses produksi EPS dan PU melibatkan penggunaan bahan kimia berbahaya seperti bahan pengembang dan bahan kimia lainnya. Selama produksi, emisi gas yang merugikan lingkungan dapat terjadi, termasuk gas rumah kaca dan senyawa organik volatil (VOCs), yang dapat menyebabkan polusi udara dan mengancam kesehatan manusia (Clini *et al.*, 2008).
2. Kesulitan Daur Ulang: Baik EPS maupun PU sulit untuk didaur ulang. EPS terutama sulit untuk didaur ulang karena ketidakmampuannya untuk terurai secara alami, sementara PU dapat memerlukan proses daur ulang yang kompleks dan mahal

(Vesilind, 2013). Akibatnya, banyak kulkas bekas yang mengandung bahan-bahan ini akhirnya berakhir di tempat pembuangan sampah, menyebabkan pencemaran lingkungan dan penumpukan limbah yang sulit terurai.

3. Kontribusi pada Masalah Limbah yang Sulit diurai: Kulkas yang mengandung bahan isolasi tidak ramah lingkungan dapat berkontribusi pada masalah limbah global. Karena bahan-bahan ini sulit diurai, mereka dapat berakhir di tempat pembuangan sampah yang akhirnya menyumbang pada masalah limbah global.
4. Kulkas dengan umur pakai pendek: Kulkas dengan umur pakai yang pendek menyebabkan peningkatan limbah elektronik. Jika kulkas dengan umur pakai pendek menjadi umum, maka akan ada peningkatan jumlah kulkas yang dibuang dan sulit didaur ulang. Limbah elektronik yang tidak terkelola dengan baik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan kerugian sumber daya alam. Kulkas dengan umur pakai pendek membawa konsekuensi serius pada lingkungan dan pembentukan limbah elektronik. Umur pakai yang singkat pada peralatan rumah tangga seperti kulkas, jika menjadi umum, dapat berkontribusi pada masalah limbah elektronik yang sulit ditangani.

Dampak Umur Pakai Pendek pada Lingkungan:

1. Peningkatan Limbah Elektronik: Umur pakai pendek pada kulkas atau peralatan elektronik lainnya menyebabkan peningkatan jumlah peralatan yang dibuang. Akibatnya, limbah elektronik bertambah secara signifikan, yang memerlukan pengelolaan khusus karena komponen-komponen dalam elektronik cenderung sulit untuk didaur ulang (Prasad dan Vithanage, 2019).
2. Kesulitan Daur Ulang: Banyak komponen dalam kulkas tidak mudah untuk didaur ulang, terutama jika umur pakai singkat menjadi tren umum. Sirkuit, komponen elektronik, dan bahan isolasi yang sulit diurai menyebabkan kesulitan dalam proses daur ulang, yang pada gilirannya berkontribusi pada akumulasi limbah elektronik (Hieronymi, 2013).
3. Dampak Lingkungan dan Kesehatan: Limbah elektronik yang tidak terkelola dengan baik dapat mencemari lingkungan, mengancam kesehatan manusia, dan mengakibatkan kerugian sumber daya alam. Senyawa kimia berbahaya yang terdapat dalam komponen elektronik dapat mencemari tanah dan air jika tidak dikelola dengan benar.
5. Kulkas dengan komponen elektronik yang sulit didaur ulang: Beberapa kulkas menggunakan komponen elektronik yang sulit atau mahal untuk didaur ulang. Ini dapat menyebabkan limbah elektronik yang sulit untuk diproses dan dapat merusak lingkungan jika tidak dibuang dengan benar. Bahan berbahaya dalam komponen elektronik juga dapat mencemari

tanah, air, dan udara jika tidak dikelola dengan baik. Kulkas dengan komponen elektronik yang sulit untuk didaur ulang membawa konsekuensi serius pada lingkungan dan pengelolaan limbah elektronik. Komponen-komponen tersebut cenderung menyulitkan proses daur ulang dan memperbesar dampak negatif terhadap lingkungan jika tidak dikelola secara benar.

Dampak Komponen Elektronik Sulit Didaur Ulang:

1. Kesulitan Dalam Proses Daur Ulang: Beberapa komponen elektronik dalam kulkas, seperti sirkuit tercetak (printed circuit board/PCB), kabel-kabel kompleks, dan bagian-bagian yang terbuat dari material campuran sulit untuk dipisahkan (Hieronymi, 2013). Hal ini membuat proses daur ulang menjadi mahal dan sulit dilakukan.
2. Potensi Pencemaran Lingkungan: Bahan berbahaya, seperti timbal, merkuri, kadmium, dan bahan kimia berbahaya lainnya dapat ditemukan dalam komponen-komponen elektronik tersebut. Jika kulkas yang tidak terkelola dengan baik dibuang ke tempat pembuangan sampah biasa, bahan-bahan beracun ini dapat mencemari tanah, air, dan udara.
3. Kerugian Sumber Daya Alam: Pengelolaan limbah elektronik yang tidak efisien mengakibatkan kerugian sumber daya alam karena komponen elektronik yang sulit didaur ulang menjadi limbah yang tidak dapat dimanfaatkan kembali (Prasad dan Vithanage, 2019).

Dampak dari desain kulkas yang tidak ramah lingkungan adalah penipisan lapisan ozon, peningkatan emisi gas rumah kaca, kontribusi pada perubahan iklim, pencemaran lingkungan, kerugian sumber daya alam, dan masalah limbah elektronik. Semua ini dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, kesehatan manusia yang buruk, dan kerugian ekonomi jangka panjang. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan dan mendorong desain kulkas yang lebih ramah lingkungan untuk mengurangi dampak negatif tersebut.

B. Untuk membuat desain kulkas yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan termodinamika, berikut adalah beberapa langkah yang dapat diikuti:

1. Isolasi termal yang baik: Pastikan kulkas memiliki isolasi termal yang baik untuk mencegah kebocoran panas ke dalam kulkas.

Menggunakan prinsip termodinamika untuk merancang kulkas ramah lingkungan melibatkan penerapan beberapa langkah penting. Salah satunya adalah memastikan bahwa kulkas memiliki isolasi termal yang baik untuk mencegah kebocoran panas ke dalam kulkas.

Isolasi Termal yang Efisien

1. Pemilihan Bahan Isolasi yang Tepat: Untuk memastikan efisiensi termal yang maksimal, pemilihan bahan isolasi seperti polistirena expanded (EPS) atau poliuretan (PU) bisa menjadi pilihan yang baik. Kedua bahan ini memiliki sifat isolasi yang baik dan dapat membantu menjaga suhu di dalam kulkas tetap stabil tanpa banyak kehilangan energi.
2. Penempatan dan Desain yang Tepat: Desain kulkas juga penting. Pastikan bahan isolasi terletak dengan benar di sekitar dinding kulkas dan bagian lain yang kritis. Penempatan yang tepat akan membantu mengurangi kebocoran panas masuk ke dalam kulkas.
3. Pengurangan Kebocoran: Pastikan semua celah dan sambungan di kulkas ditutup dengan rapat untuk menghindari kebocoran udara yang dapat mempengaruhi isolasi termal.
4. Perhitungan dan Uji Efisiensi: Menggunakan prinsip termodinamika dalam perhitungan dan uji efisiensi isolasi termal dapat membantu memastikan bahwa kulkas dirancang untuk mempertahankan suhu yang diinginkan dengan menggunakan energi yang minimal.



Gambar 5. Isolasi Termal



Gambar 6. Contoh Pengaplikasian Isolasi Termal

2. Pemilihan refrigeran yang ramah lingkungan: Hindari penggunaan refrigeran yang berpotensi merusak lapisan ozon atau memiliki potensi pemanasan global. Pilih refrigeran yang ramah lingkungan seperti hidrokarbon alami (R290 atau propana) atau HFC dengan GWP (Global Warming Potential) yang rendah.

Pemilihan refrigeran yang ramah lingkungan merupakan langkah penting dalam merancang kulkas yang mendukung keberlanjutan lingkungan. Memahami efek gas rumah kaca dan degradasi lapisan ozon dari refrigeran adalah krusial dalam menjaga lingkungan.

Pilihan Refrigeran yang Ramah Lingkungan

1. Hindari Refrigeran yang Merusak Lapisan Ozon: Beberapa refrigeran, seperti CFCs (Chlorofluorocarbons) dan HCFCs (Hydrochlorofluorocarbons), telah terbukti merusak

lapisan ozon. Oleh karena itu, menghindari penggunaan refrigeran-referenan tersebut menjadi penting untuk menjaga keseimbangan lapisan ozon.

2. Pilih Refrigeran dengan Potensi Pemanasan Global Rendah: Global Warming Potential (GWP) adalah parameter penting yang menilai kemampuan gas untuk menyebabkan pemanasan global. Memilih refrigeran dengan GWP yang rendah membantu mengurangi dampak pemanasan global. Contohnya adalah hidrokarbon alami seperti R290 atau propana, yang memiliki GWP yang rendah.
3. Pertimbangkan HFC dengan GWP Rendah: Beberapa HFC (Hydrofluorocarbons) memiliki GWP yang relatif rendah. Memilih HFC dengan nilai GWP yang rendah juga merupakan alternatif yang lebih baik dibandingkan dengan refrigeran yang memiliki dampak lingkungan yang lebih besar.
3. Pemanfaatan energi panas secara efisien: Gunakan sistem pemanfaatan energi panas yang efisien untuk memperoleh pendinginan dalam kulkas. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah pemanfaatan siklus termodinamika kompresi dan ekspansi. Dalam siklus kompresi, refrigeran dikompresi untuk meningkatkan tekanan dan suhu, kemudian dikondensasikan dan didinginkan dengan bantuan penukar panas, dan akhirnya diperluas untuk menurunkan tekanan dan suhu, menghasilkan pendinginan.

Pemanfaatan energi panas secara efisien dalam merancang kulkas adalah langkah penting untuk menciptakan perangkat yang ramah lingkungan. Salah satu metode efisien yang banyak digunakan adalah siklus termodinamika kompresi dan ekspansi.

Proses Siklus Kompresi dalam Kulkas:

1. Kompresi Refrigeran: Proses dimulai dengan memampatkan refrigeran. Kompresor bertanggung jawab untuk meningkatkan tekanan dan suhu gas refrigeran.
2. Kondensasi dan Penukaran Panas: Gas refrigeran bertekanan tinggi dikondensasikan di kondensor. Selama kondensasi, gas melepaskan panas dan kehilangan energi, mengubahnya menjadi cairan dan mendinginkannya. Penukar panas membantu dalam proses ini dengan membuang panas ke udara di sekitarnya.
3. Ekspansi dan Penurunan Tekanan: Cairan refrigeran yang telah dikondensasi kemudian melewati katup ekspansi. Di sini, tekanan dan suhu refrigeran turun secara drastis, dan refrigeran kembali menjadi gas yang kemudian digunakan untuk mendinginkan kulkas.
4. Pendinginan: Gas refrigeran yang diperluas mengalir ke evaporator di dalam kulkas. Proses evaporasi terjadi di dalam evaporator, di mana refrigeran menyerap panas dari dalam kulkas dan mendinginkannya. Udara di dalam kulkas pun menjadi dingin.

Keunggulan Efisiensi

Menerapkan siklus kompresi dan ekspansi ini dalam desain kulkas memungkinkan penggunaan energi dengan efisien. Proses ini mengubah energi panas menjadi pendinginan dengan menggunakan refrigeran sebagai media perantara.

Kontribusi pada Kulkas Ramah Lingkungan

Dengan menggunakan siklus kompresi yang efisien, kulkas dapat bekerja dengan lebih sedikit konsumsi energi, menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Ini berkontribusi pada kulkas yang lebih ramah lingkungan karena menggunakan energi yang lebih sedikit tanpa mengorbankan kinerja pendinginan.

4. Pemanfaatan energi panas buangan: Manfaatkan energi panas buangan dari kompresor kulkas untuk keperluan lain, seperti pemanasan air atau pemanasan ruangan. Dengan cara ini, Anda dapat memanfaatkan energi yang sebelumnya terbuang untuk mengurangi konsumsi energi secara keseluruhan.

Pemanfaatan energi panas buangan dari kompresor kulkas adalah salah satu strategi yang cerdas dan berkelanjutan dalam merancang kulkas yang lebih efisien. Mengarahkan panas buangan ke keperluan energi lainnya adalah cara yang efektif untuk mengurangi pemborosan energi dan mengoptimalkan penggunaan energi secara keseluruhan.

Langkah-langkah dalam Pemanfaatan Energi Panas Buangan:

1. Identifikasi dan Pengalihan Energi: Energi panas yang dihasilkan oleh kompresor kulkas dapat diidentifikasi dan dialirkan menuju pemanfaatan energi lain. Sebuah sistem perlu dirancang untuk menangkap dan memanfaatkan panas yang dikeluarkan oleh kompresor.
2. Sistem Pemanfaatan Energi: Menggunakan penukar panas atau sistem yang sesuai untuk mengalirkan energi panas buangan ke dalam sistem pemanas air atau pemanas ruangan. Ini memungkinkan energi tersebut untuk digunakan secara produktif dalam kebutuhan lain di rumah, seperti air panas untuk mandi atau untuk pemanasan ruangan.
3. Efisiensi dan Kesesuaian Desain: Penting untuk merancang sistem yang efisien dan aman untuk memanfaatkan energi panas buangan. Sistem ini harus dirancang untuk memastikan bahwa transfer panas terjadi dengan efektif tanpa mengganggu fungsi utama dari kulkas itu sendiri.

Manfaat dari Pemanfaatan Energi Panas Buangan:

- Reduksi Konsumsi Energi: Dengan memanfaatkan energi yang sebelumnya terbuang, keseluruhan konsumsi energi rumah tangga dapat dikurangi. Ini berkontribusi pada efisiensi energi secara keseluruhan.

- Pengurangan Dampak Lingkungan: Dengan mengurangi konsumsi energi, pemanfaatan energi panas buangan membantu mengurangi dampak lingkungan, karena penggunaan energi yang lebih sedikit menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah.
 - Penghematan Biaya: Menggunakan energi panas buangan untuk keperluan lain dapat mengurangi tagihan energi, karena energi yang sebelumnya terbuang sekarang dimanfaatkan secara produktif.
5. Perancangan yang efisien: Desain kulkas dengan perhatian khusus pada efisiensi energi. Pertimbangkan faktor-faktor seperti ukuran dan tata letak kulkas, pintu yang rapat, pengaturan suhu yang tepat, dan penggunaan teknologi terkini seperti lampu LED untuk mengurangi konsumsi energi.

Perancangan kulkas yang efisien adalah kunci untuk mengurangi konsumsi energi secara keseluruhan. Dalam merancang kulkas, ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan guna memastikan efisiensi energi yang optimal.

Faktor-Faktor Perancangan yang Efisien:

1. Ukuran dan Tata Letak Kulkas: Memilih ukuran yang sesuai dengan kebutuhan rumah tangga. Kulkas yang lebih besar cenderung mengonsumsi lebih banyak energi, sehingga pemilihan ukuran yang sesuai akan membantu mengurangi konsumsi energi secara keseluruhan. Tata letak yang memastikan sirkulasi udara yang baik juga dapat membantu penggunaan energi yang lebih efisien.
2. Pintu yang Rapat: Pintu kulkas yang rapat dapat mencegah kebocoran udara dingin, memungkinkan kulkas untuk menjaga suhu dalam dengan lebih efektif. Ini akan mengurangi kerja kompresor untuk menjaga suhu yang stabil di dalam kulkas.
3. Pengaturan Suhu yang Tepat: Menjaga suhu kulkas pada tingkat yang diperlukan tanpa pendinginan berlebihan adalah kunci untuk mengurangi konsumsi energi. Pengaturan suhu yang terlalu rendah akan menyebabkan kulkas bekerja lebih keras dan mengonsumsi lebih banyak energi.

Manfaat dari Perancangan yang Efisien:

- Pengurangan Konsumsi Energi: Dengan memperhatikan faktor-faktor perancangan yang efisien, kulkas dapat bekerja dengan konsumsi energi yang lebih rendah.
- Penghematan Biaya: Efisiensi energi berarti tagihan listrik yang lebih rendah bagi pemilik kulkas, menghasilkan penghematan biaya jangka panjang.
- Kontribusi pada Lingkungan: Konsumsi energi yang lebih rendah berarti emisi karbon yang lebih rendah, berkontribusi pada upaya perlindungan lingkungan.

6. Daur ulang dan penggunaan bahan daur ulang: Gunakan bahan daur ulang dalam pembuatan kulkas untuk mengurangi dampak lingkungan. Misalnya, gunakan komponen yang dapat didaur ulang seperti baja daur ulang dan plastik daur ulang.

Penggunaan bahan daur ulang dalam pembuatan kulkas adalah langkah yang sangat penting dalam mendukung keberlanjutan lingkungan. Daur ulang bahan untuk produksi kulkas membantu mengurangi dampak lingkungan dan memperpanjang siklus hidup material, mengurangi limbah dan penggunaan sumber daya baru.

Penggunaan Bahan Daur Ulang dalam Kulkas:

1. **Baja Daur Ulang:** Menggunakan baja daur ulang dalam rangkaian kulkas dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan baku baru, yang pada gilirannya mengurangi dampak penambangan dan pengolahan mineral. Baja daur ulang, jika digunakan dalam komponen kulkas seperti rak atau struktur dalam, membantu memperkuat keberlanjutan produksi.
2. **Plastik Daur Ulang:** Pemanfaatan plastik daur ulang, misalnya untuk panel atau bagian eksternal kulkas, dapat membantu mengurangi jumlah plastik baru yang diproduksi. Menggunakan plastik daur ulang dalam komponen kulkas mengurangi jejak karbon dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang diperlukan untuk memproduksi plastik baru.
3. **Promosi Penggunaan Bahan Daur Ulang:** Mempromosikan penggunaan bahan daur ulang di seluruh rantai pasokan kulkas akan memberikan dampak yang lebih besar dalam mendukung praktik keberlanjutan. Ini termasuk kolaborasi dengan produsen bahan baku dan pemasok untuk memastikan penggunaan bahan daur ulang yang lebih luas.

Manfaat Penggunaan Bahan Daur Ulang:

- **Pengurangan Limbah:** Daur ulang bahan untuk kulkas membantu mengurangi limbah yang masuk ke tempat pembuangan sampah, mengarah pada pengurangan dampak lingkungan negatif.
- **Konservasi Sumber Daya:** Menggunakan bahan daur ulang berarti mengurangi kebutuhan akan sumber daya alam baru, membantu melestarikan sumber daya alam.
- **Peningkatan Siklus Hidup Material:** Dengan menggunakan bahan daur ulang, siklus hidup material diperpanjang, meminimalkan penggunaan sumber daya dan energi yang dibutuhkan untuk produksi bahan baru.

7. Perawatan rutin: Lakukan perawatan rutin pada kulkas untuk memastikan efisiensi pengoperasian yang optimal. Bersihkan penukar panas, pastikan pintu kulkas rapat, dan pastikan suhu yang diatur sesuai dengan kebutuhan.

Perawatan rutin pada kulkas sangat penting untuk memastikan bahwa kulkas beroperasi dengan efisiensi optimal. Langkah-langkah perawatan ini tidak hanya membantu menjaga kualitas kulkas, tetapi juga meningkatkan efisiensi energi dan umur pakai kulkas.

Langkah-Langkah Perawatan Rutin:

1. Bersihkan Penukar Panas: Membersihkan penukar panas atau kondensor secara berkala membantu mencegah penumpukan debu dan kotoran yang dapat menghambat aliran udara. Penukar panas yang bersih memungkinkan kulkas untuk membuang panas dengan lebih efisien.
2. Periksa Pintu Kulkas: Memastikan bahwa pintu kulkas rapat sangat penting. Pemeriksaan secara berkala dapat membantu mengidentifikasi apakah ada kebocoran yang dapat menyebabkan kebocoran udara dingin. Ini juga membantu dalam memastikan kulkas tidak perlu bekerja lebih keras untuk menjaga suhu yang diinginkan.
3. Pengaturan Suhu yang Tepat: Memeriksa dan memastikan pengaturan suhu kulkas sesuai dengan kebutuhan. Suhu yang terlalu rendah akan meningkatkan konsumsi energi tanpa alasan yang jelas, sementara suhu yang terlalu tinggi mungkin tidak cukup untuk menjaga makanan tetap segar.
4. Cek Kondisi Kulkas: Pemeriksaan kondisi umum kulkas, seperti kebocoran air, suara yang tidak biasa, atau masalah operasional lainnya, adalah langkah penting. Mengidentifikasi masalah sejak dini memungkinkan tindakan pencegahan atau perbaikan sebelum menjadi lebih serius.

Manfaat dari Perawatan Rutin:

- Efisiensi Energi: Kulkas yang terjaga dengan baik dan dirawat secara rutin akan beroperasi dengan lebih efisien, menghasilkan konsumsi energi yang lebih rendah.
- Umur Pakai yang Lebih Lama: Perawatan yang teratur membantu memperpanjang umur pakai kulkas, mengurangi kebutuhan untuk penggantian yang sering.
- Kualitas Makanan yang Lebih Baik: Kulkas yang bekerja dengan baik akan memastikan makanan tetap segar lebih lama.

KESIMPULAN

Dalam konteks perancangan dan perawatan kulkas yang ramah lingkungan, kesimpulan yang dapat ditarik melibatkan beberapa aspek krusial. Pertama, perancangan kulkas harus ditekankan pada efisiensi, menggabungkan bahan daur ulang dan refrigeran yang ramah lingkungan. Pemanfaatan teknologi terkini, seperti lampu LED dan sensor suhu, menjadi langkah cerdas untuk mengurangi konsumsi energi. Perawatan rutin juga memegang peranan penting dalam memastikan operasional kulkas yang efisien, termasuk membersihkan penukar panas, menjaga rapatnya pintu kulkas, dan mengatur suhu secara optimal. Mengintegrasikan energi panas buangan untuk keperluan lain menjadi strategi yang berpotensi mengurangi konsumsi energi keseluruhan. Terakhir, pemanfaatan bahan daur ulang dalam konstruksi kulkas mendukung prinsip keberlanjutan, mengurangi dampak lingkungan, dan meminimalkan pemborosan sumber daya. Keseluruhan, pendekatan holistik ini memberikan pandangan yang komprehensif dalam menciptakan kulkas yang tidak hanya efisien secara energi tetapi juga ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono, W. E. (2005). Pengaruh penipisan ozon terhadap kesehatan manusia. *Semnas Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA*, 208-214.
- Clini, C., Musu, I., & Gullino, M. L. (2008). *Sustainable development and environmental management*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Hari, B. S. (2019). *Belajar Sains di Dapur*. Penerbit Duta.
- Hieronymi, K., Kahhat, R., & Williams, E. (Eds.). (2012). *E-waste management: From waste to resource*. Routledge.
- Irianti, T. T., & Nuranto, S. (2021). *Antioksidan dan kesehatan*. Ugm Press.
- Khusaini, F. (2023). BAB 3 PERBEDAAN JENIS PENELITIAN KEPUSTAKAAN DAN STUDI KASUS. *METODE PENELITIAN KEPUSTAKAAN (LIBRARY RESEARCH)*, 25.
- Lubis, N. F., Sari, R., & Viridi, S. (2018). Pemodelan Satu-Dimensi Perambatan Panas Bahan Butiran Dalam Proses Sangrai.
- Mulyani, A. S. (2021). Pemanasan global, penyebab, dampak dan antisipasinya.
- Nurhidayat, W., Aprilia, F., Wahyuni, D. S., & Nana, N. (2020). Etno Fisika berupa implementasi konsep kalor pada tari mojang priangan. *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 6(1), 138-141.
- Schroeder, D. V. (1999). *An introduction to thermal physics*.

- Suhada, A. (2023). Analisa Berbagai Jenis Logam Konduktivitas Termal Dengan Menggunakan Aplikasi Solidworks. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, 3(5), 256-263.
- Verma, S., & Singh, H. (2019). Why and which insulation materials for refrigerators!. *International Institute of Refrigeration (IIR)*. doi, 10.
- Whitman, B., Johnson, B., Tomczyk, J., & Silberstein, E. (2012). *Refrigeration and air conditioning technology*. Cengage Learning.
- Arnas, Y., Ismail, K. G. S. M., Kurniawati, Z., Kurnianto, B., & Wibowo, I. H. (2021). Pelatihan perawatan / service AC untuk masyarakat sekitar Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. 1(1), 90–99.
- Enscore, N., & Xyz, P. T. (2022). Usulan Perbaikan Penjadwalan Produksi Inner Liner Pada Kulkas dengan Menggunakan Metode. 3(2), 30–33.
- Faozan, I., Studi, P., Mesin, T., Teknik, F., Mercu, U., & Jakarta, B. (2015). ANALISIS PERBANDINGAN EVAPORATOR KULKAS (LEMARI ES) DENGAN MENGGUNAKAN REFRIGERANT R-22 DAN R-134A. 04(3), 99–105.
- Fatiatun, F., Pratiwi, A. D., Wirdati, A. C., & Avifatun, N. (2022). Penerapan Termodinamika Heating Dan Colling Pada Dispenser. *Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat UNSIQ*, 9(2), 146–150. <https://doi.org/10.32699/ppkm.v9i2.2658>
- Haryanto, & Alifil. (2020). Project commissioning pada industrial ice block maker trainer di laboratorium tata udara. *Jurnal PETRA*, 7(1), 23–34.
- Mohammad Shaik H, Kolla, Srinivas. (2021) Themodynamic Analysis of Eco-Friendly Rerigerent Mixtures as an Alternative to HCF-134a in house old refrigerator
- Rokhim, A. A., & Endahwati, L. (2023). Pemanfaatan Energi panas menggunakan Termoelektrik Generator dengan Variasi Peltier. 14(1), 19–23.
- Widiarto, E., Wismono, A. A., Muqorrobin, M., & Triyani, E. (2022). PERBAIKAN AC SPLIT BAGI KARANG TARUNA RW III KELURAHAN SUMURBOTO KECAMATAN. 3(2), 561–566.
- Yusuf, M., & Wisnujati, A. (2017). Analisis Performa Sistem Pendingin Ramah Lingkungan Untuk Kabin Mobil City Car Menggunakan Modul Termo Electric Cooler Terhadap Konsumsi Bahan Bakar. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6(2), 178–184. <https://doi.org/10.24127/trb.v6i2.580>