

SKRIPSI

**KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH KEMASAN *PHASE
CHANGE MATERIAL* TERHADAP LAJU PERUBAHAN FASE
*PHASE CHANGE MATERIAL***



Oleh
I KADEK SUDIANTARA

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

SKRIPSI

**KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH KEMASAN
PHASE CHANGE MATERIAL TERHADAP LAJU
PERUBAHAN FASE *PHASE CHANGE MATERIAL***



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh
I KADEK SUDIANTARA
NIM. 2115234027

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji pengaruh berbagai jenis bahan kemasan terhadap laju perubahan fase dari Phase Change Material (PCM) berbasis Virgin Coconut Oil (VCO) yang berfungsi sebagai media penyimpan energi panas laten. PCM memiliki kemampuan menyimpan dan melepaskan energi melalui perubahan fase, sehingga potensial meningkatkan efisiensi energi, terutama pada sistem pendinginan. Namun, proses perubahan fasenya relatif lambat sehingga diperlukan optimalisasi. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan tiga jenis kemasan aluminium, stainless steel, dan polypropylene masing-masing diisi dua liter VCO. Pengujian mencakup tahap pembekuan hingga 11°C dan pelelehan hingga 26–27°C, dengan pemantauan suhu menggunakan lima sensor termokopel yang terhubung ke data logger. Penelitian ini membuktikan bahwa konduktivitas termal bahan kemasan sangat memengaruhi kecepatan transisi fase PCM. Aluminium menghasilkan waktu transisi tercepat, diikuti stainless steel, dan polypropylene sebagai yang paling lambat. Oleh karena itu, aluminium direkomendasikan sebagai bahan kemasan yang paling efektif dalam mempercepat perubahan fase PCM dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi termal. Penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pemilihan material kemasan untuk sistem penyimpanan energi dan aplikasi pendinginan bangunan.

Kata kunci: Phase Change Material (PCM), Virgin Coconut Oil (VCO), energi panas laten, bahan kemasan, konduktivitas termal, efisiensi energi, sistem pendinginan.

EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF PACKAGING ON THE PHASE CHANGE RATE OF PHASE CHANGE MATERIAL

ABSTRACT

This study examines the effect of various packaging materials on the phase transition rate of Phase Change Material (PCM) based on Virgin Coconut Oil (VCO), which functions as a latent thermal energy storage medium. PCM is capable of storing and releasing energy during phase changes, making it a promising solution for improving energy efficiency, especially in cooling systems. However, its phase transition process tends to be slow, requiring optimization efforts. The experiment involved three types of packaging materials aluminum, stainless steel, and polypropylene each containing two liters of VCO. The testing included a freezing phase at 11°C and a melting phase at 26–27°C, with temperature monitored using five thermocouples connected to a data logger. The results showed that the thermal conductivity of the packaging materials significantly affected the PCM's phase transition speed. Aluminum provided the fastest transition, followed by stainless steel, while polypropylene had the slowest rate. Therefore, aluminum is recommended as the most effective packaging material to accelerate PCM phase change and improve thermal energy utilization. This research may serve as a reference for selecting packaging materials in thermal energy storage systems and cooling applications in buildings.

Keywords: Phase Change Material (PCM), Virgin Coconut Oil (VCO), latent thermal energy, packaging material, thermal conductivity, energy efficiency, cooling systems.

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	ii
Lembar Pengesahan	iii
Lembar Persetujuan	iv
Surat Pernyataan Bebas Plagiant.....	v
Ucapan Trima Kasih	vi
Abstrak	viii
<i>Abstract</i>	ix
Kata Pengantar	x
Dartar Isi.....	xi
Daftar Tabel	xiv
Daftar Gambar.....	xv
Daftar Lampiran	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan penelitian	3
1.4.1 Tujuan Umum	3
1.4.2 Tujuan Khusus.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.5.1 Manfaat Bagi Penulis	4
1.5.2 Manfaat Bagi Politeknik Negeri Bali	4
1.5.3 Manfaat Bagi Masyarakat	4
BAB II LANDASAN TEORI	5

2.1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap	5
2.1.1 Cara kerja	5
2.1.2 Komponen Utama dari Refrigerasi Kompresi Uap	6
2.2 PCM (<i>Phase Change Material</i>)	8
2.2.1 Kategori Umum Bahan Perubahan Fase.....	9
2.3 VCO (<i>Virgin Coconut Oil</i>).....	12
2.4 Bahan Pengemasan PCM.....	13
2.4.1 Aluminium	13
2.4.2 Tembaga.....	17
2.4.3 Perak	22
2.4.4 Nikel	23
2.4.5 Polyethylene	24
2.4.6 Stainless Steel	25
2.4.7 Polypropylene	26
2.5 Perpindahan kalor.....	27
2.5.1 Konduksi	27
2.5.2 Konveksi.....	28
BAB III METODELOGI PENELITIAN.....	29
3.1 Jenis Penelitian.....	29
3.2 Alur Penelitian	30
3.3 Lokasi dan Waktu Penelitian	31
3.3.1 Lokasi Penelitian	31
3.3.2 Waktu Penelitian	32
3.4 Penentuan Sumber Data	32
3.5 Sumber Daya Penelitian.....	33
3.6 Instrumen Penelitian	36
3.7 Prosedur Penelitian	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38

4.1 Hasil penelitian	38
4.2 Pembahasan.....	42
4.2.1 Pembahasan Temperatur pengujian.....	43
4.2.2 Perhitungan Kalor Masuk PCM.....	55
BAB V PENUTUP.....	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel konduktivitas termal.....	17
Tabel 2. 2 Tabel koefisien perpindahan panas Konveksi.....	28
Tabel 3. 1 waktu pelaksanaan	32
Tabel 3. 2 Tabel pengambilan data untuk bahan kemasan PCM dari aluminium, stainless steel, dan polypropylene	33
Tabel 3. 3 Spesifikasi Kulkas frezeer.....	34
Tabel 4. 1 Data temperatur pengemasan PCM dari aluminium.....	41
Tabel 4. 2 Data temperatur pengemasan PCM dari stainless steel	41
Tabel 4. 3 Data temperatur pengemasan PCM dari polypropylene	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Cara kerja dan komponen utama dari siklus refrigrasi kompresi uap	5
Gambar 2. 2 Kompresor	6
Gambar 2. 3 Kondensor	7
Gambar 2. 4 Katup Ekspansi.....	7
Gambar 2. 5 Evaporator	8
Gambar 2. 6 Prinsip dasar material perubahan fase	9
Gambar 2. 7 jenis material perubahan fase	11
Gambar 2. 8 aluminium.....	14
Gambar 2. 9 Tembaga	19
Gambar 2. 10 Perak.....	23
Gambar 2. 11 Nikel.....	24
Gambar 2. 12 Polypropylene	26
Gambar 3. 1 Media Penelitian.....	29
Gambar 3. 2 Gambar ukuran pengemasan PCM.....	30
Gambar 3. 3 Alur penelitian.....	31
Gambar 3. 4 Lokasi Penelitian Politeknik Negeri Bali	32
Gambar 3. 5 Kulkas Frezeer.....	34
Gambar 3. 6 Data Logger.....	36
Gambar 4. 1 Gambar pembekuan PCM	38
Gambar 4. 2 Gambar pencairan PCM	39
Gambar 4. 3 Gambar PCM beku.....	40
Gambar 4. 4 Banyaknya cairan PCM dalam kemasan	40
Gambar 4. 5 Gambar aplikasi data logger.....	42
Gambar 4. 6 Gambar Grafik pembekuan PCM pada kemasan aluminium.....	43
Gambar 4. 7 Gambar grafik pencairan PCM pada kemasan aluminium.....	45
Gambar 4. 8 Gambar grafik pembekuan PCM pada kemasan stainless steel	46
Gambar 4. 9 Gambar grafik pencairan PCM pada pengemasan stainless steel	48
Gambar 4. 10 Gambar grafik pembekuan PCM pada kemasan polypropylene....	50

Gambar 4. 11 Gambar grafik pencairan PCM pada kemasan polypropylene.....	51
Gambar 4. 12 Gambar grafik pembekuan PCM pada ke-3 kemasan.....	52
Gambar 4. 13 Gambar grafik pencairan PCM pada ke-3 kemasan.....	53

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Aluminium	66
Lampiran 2 Data Stainless Steel	68
Lampiran 3 Data Polypropylene	72
Lampiran 4 Data Gabungan	81
Lampiran 5 Gambar Pengisian PCM	90
Lampiran 6 Gambar PCM VCO	90

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan populasi energi rata-rata 7% per tahun, sedangkan pertumbuhan kebutuhan energi listrik mencapai 9,2% per tahun. Sumber energi tak terbarukan yang dominan digunakan di Indonesia adalah energi fosil, yang terdiri dari minyak bumi, gas alam, dan batubara. Penggunaan energi fosil ini memiliki dampak negative yang signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, seperti pencemaran udara, pencemaran air, dan perusakan lingkungan (Laila, 2016). Diketahui bahwa cara untuk memintigasi proses perubahan iklim saat ini di planet kita adalah pengurangan radikal emisi gas rumah kaca, yang dapat dilakukan dengan mengurangi konsumsi energi secara dramatis dan beralih ke sumber energi berkelanjutan. Menurut laporan status global PBB, pembangunan dan pengoperasian bangunan bersama-sama menyumbang 39% dari emisi karbon dioksida terkait energi. Selain itu, pengoperasian bangunan selama masa pakainya bertanggung jawab atas lebih dari 80% jejak karbonnya.

Energi yang dihabiskan untuk Mesin Pendingin telah meningkat dua kali lipat secara global sejak tahun 2000 meskipun ada peningkatan efisiensi energi peralatan mesin pendingin. Selain itu, permintaan mesin pendingin diperkirakan akan tumbuh dengan cepat di negara-negara berkembang, factor meningkatnya mesin pendingin salah satunya adalah pertumbuhan industri, seperti makanan, farmasi, dan otomotif mendorong permintaan mesin pendingin untuk menjaga temperatur yang optimal dalam berbagai aplikasi. Banyaknya permintaan mesin pendingin tidak luput juga akan kekurangan Salah satu kekurangan pada mesin pendingin adalah komsumsi energi, mesin pendingin memerlukan energi listrik untuk beroperasi, sehingga dapat meningkatkan biaya listrik dan komsumsi energi. Adapun pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh mesin pendingin seperti penipisan lapisan ozon dan perubahan iklim.

Dikarenakan pencemaran tersebut mengakibatkan perubahan iklim dan meningkatnya kebutuhan energi secara global telah mendorong pencarian solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi energi dalam bangunan. Saat ini sangat diperlukan efisiensi yang baik digunakan untuk penghematan energi, salah satu bentuk penghematan energi yang digunakan saat ini adalah PCM.

Bahan termal fase tunggal, yang dikenal sebagai Material Perubahan Fase (*Phase Change Material/PCM*), telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk penyimpanan energi termal, pengaturan temperatur, dan penghematan energi. PCM memiliki energi untuk menyerap dan melepaskan energi termal selama proses perubahan fase, sehingga dapat digunakan sebagai media penyimpanan energi termal yang efektif. PCM saat ini sudah menjadi fokus penelitian dan aplikasi berbagai bidang, terutama dalam pengelolaan energi dan teknologi bangunan. PCM bekerja berdasarkan prinsip perubahan fase dimana energi disimpan dalam panas laten. Ketika PCM dipanaskan, ia akan menyerap panas dan merubah dari fase padat menjadi fase cair dan sebaliknya ketika temperatur menurun. PCM akan melepaskan energi yang tersimpan saat kembali ke fase padat. Proses ini memungkinkan PCM untuk mengatur temperatur suatu ruangan dengan efisien. Namun, salah satu keterbatasan PCM adalah laju perubahan fase yang relative lambat, sehingga mempengaruhi kinerja dan efisiensi aplikasi yang menggunakan PCM. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk meningkatkan laju perubahan fase PCM.

Salah satu upaya untuk meningkatkan laju perubahan fase PCM adalah dengan cara memilih bahan pengemasan termal konduktivitas yang tinggi. Adapun material pengemasan yang memiliki termal konduktivitas yang tinggi adalah tembaga dan aluminium. Jika salah dalam memilih pengemasan PCM akan berdampak pada efisiensi energi dan perubahan fase akan semakin melambat.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang menjadi objek penelitian dalam proposal Kajian Eksperimental Pengaruh Bahan Pengemasan PCM Terhadap Laju Perubahan Fase PCM dapat dirumuskan Sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh bahan pengemasan dari stainless steel, aluminium, dan polypropylene terhadap laju perubahan fase PCM?
2. Bagaimana menentukan bahan pengemasan PCM yang lebih efektif .

1.3 Batasan Masalah

Pada saat melakukan penelitian yang mengangkat judul tentang Kajian Eksperimental Pengaruh Bahan Pengemasan PCM Terhadap Laju Perubahan Fase Pada PCM meliputi:

1. Pengujian dilakukan pada tiga bahan pengemasan yang berbeda yaitu dengan bahan pengemasan aluminium, stainless steel, polypropylene.
2. Pengujian dilakukan dengan cara berpatokan pada temperature PCM yang dimana pengujian ini dilakukan dua tahap yang pertama yaitu proses pembekuan sampai temperature PCM mencapai temperature 11°C dan yang kedua yaitu proses pencairan yang dimana pada proses ini dilakukan setelah proses pembekuan untuk mengetahui berapa lama temperature PCM ke temperature awal yaitu di temperature 26°C sampai 27°C.

1.4 Tujuan penelitian

Tujuan penelitian terdiri atas tujuan umum dan tujuan khusus yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

1.4.1 Tujuan Umum

1. Untuk memenuhi salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan Pendidikan Sarjana Terapan Prodi Teknologi Rekayasa Utilitas Teknik Mesin Politeknik Negri Bali
2. Untuk mengaplikasikan ilmu-ilmu yang diperoleh selama mengikuti perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negri Bali, baik secara teori maupun praktek.
3. Menguji dan mengembangkan ilmu pengetahuan yang telah diperoleh di bangku kuliah.

1.4.2 Tujuan Khusus

1. Dapat mengetahui pengaruh bahan pengemasan dari aluminium, stainless steel, dan polypropylene terhadap laju perubahan fase PCM.
2. Dapat menentukan bahan pengemasan PCM yang lebih efektif.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian pengemasan PCM ini diharapkan dapat bermanfaat bagi penulis, instansi Pendidikan khususnya di Politeknik Negeri Bali

1.5.1 Manfaat Bagi Penulis

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

1.5.2 Manfaat Bagi Politeknik Negeri Bali

Sebagai bahan Pendidikan atau ilmu pengetahuan dibidang refrigrasi di kemudian hari dan sebagai salah satu pertimbangan untuk dapat dikembangkan lebih lanjut.

1.5.3 Manfaat Bagi Masyarakat

Adapun manfaat dari penelitian pengemasan PCM ini adalah dapat membantu masyarakat sebagai referensi untuk memilih bahan pengemasan PCM yang efektif dan mendukung efisiensi energi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan terkait kajian eksperimental pengaruh PCM terhadap laju perubahan fase PCM, dapat kesimpulan yaitu:

Virgin Coconut Oil (VCO) sebagai bahan Phase Change Material (PCM) menunjukkan kinerja yang berbeda tergantung pada jenis kemasan yang digunakan. Aluminium menjadi bahan dengan performa terbaik karena mampu mempercepat proses perubahan fase, yaitu pembekuan selama 75 menit dan pencairan selama 261 menit, dengan energi perpindahan panas pada proses pembekuan sebesar 175,06 J/s dan nilai perpindahan panas pada proses pencairan sebesar 19,46 J/s. Di posisi selanjutnya, stainless steel membutuhkan waktu 132 menit untuk membekukan dan 468 menit untuk mencairkan PCM, dengan nilai energi perpindahan panas pada proses pembekuan sebesar 115,0006 J/s dan nilai perpindahan panas pada proses pencairan sebesar 36,74 J/s. Sementara itu, polypropylene menunjukkan performa paling lambat, dengan proses pembekuan lebih dari 390 menit dan pencairan melebihi 1000 menit, serta energi perpindahan panas pada proses pembekuan sebesar 139,0473 J/s dan nilai pada proses pencairan sebesar 37,453824 J/s . Perbedaan ini dipengaruhi oleh tingkat konduktivitas termal masing-masing bahan, di mana aluminium memiliki konduktivitas paling tinggi, disusul oleh stainless steel, dan yang paling rendah adalah polypropylene. Pemilihan bahan kemasan PCM perlu disesuaikan dengan tujuan penggunaannya, baik dari segi efisiensi perubahan fase maupun ketahanan terhadap suhu. Aluminium merupakan pilihan paling optimal karena konduktivitas termalnya yang tinggi memungkinkan perpindahan panas berlangsung cepat, sehingga mempercepat proses perubahan fase dan mendukung kinerja sistem penyimpanan energi termal. Stainless steel bisa menjadi opsi jika dibutuhkan keseimbangan antara ketahanan material dan kecepatan fase. Sementara itu, polypropylene lebih cocok untuk aplikasi yang

memerlukan penyimpanan suhu rendah dalam durasi lama, meskipun kurang efisien dalam proses pelepasan dan penyimpanan panas.

1.2 Saran

Dari hasil kajian eksperimental, disarankan agar pemilihan bahan kemasan PCM mempertimbangkan sifat konduktivitas termalnya. Aluminium menjadi pilihan utama karena terbukti mempercepat perubahan fase dan meningkatkan efisiensi sistem penyimpanan energi panas. Stainless steel dapat digunakan jika dibutuhkan keseimbangan antara kecepatan perubahan fase dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan, sementara polypropylene lebih sesuai untuk aplikasi penyimpanan suhu rendah dalam waktu lama, seperti distribusi makanan beku atau vaksin. Untuk penelitian selanjutnya, dianjurkan mengeksplorasi variasi desain kemasan seperti bentuk, ukuran, dan ketebalan, serta kemungkinan kombinasi material logam lainnya, disertai uji berulang guna memastikan stabilitas performa PCM dan kemasan dalam penggunaan jangka panjang.

Disarankan juga agar pada tahap pengujian pembekuan dilakukan penyetelan kompresor mesin pendingin agar tetap beroperasi secara kontinu tanpa siklus mati–hidup otomatis. Hal ini bertujuan untuk menjaga proses penurunan suhu berlangsung stabil dan mempercepat pencapaian suhu target pembekuan. Pada tahap pencairan, penggunaan pendingin ruangan (AC) direkomendasikan untuk menjaga kestabilan temperatur lingkungan, sehingga hasil pencairan lebih terkontrol dan pengaruh suhu eksternal dapat diminimalkan. Selain itu, integrasi sistem pemantauan suhu berbasis sensor otomatis yang terhubung ke data logger akan meningkatkan akurasi pengukuran dan mempermudah analisis data. Dengan pengaturan sistem yang lebih presisi, diharapkan penelitian selanjutnya dapat menghasilkan data yang lebih valid, konsisten, serta memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai pengaruh bahan kemasan terhadap laju perubahan fase PCM.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Hasbi, G., Budiarto, U., & Amiruddin, W. (2016). Analisa Unjuk Kerja Desain Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Pada Kapal Ikan Ukuran 5 Gt Di Wilayah Rembang. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(4), 768–778.
- Amiruddin, A., & Lubis, F. A. (2018). Analisa Pengujian Lelah Material Tembaga Dengan Menggunakan Rotari Bending Fatigue Machine. *Jurnal Ilmiah “MEKANIK” Teknik Mesin ITM*, 4(2), 93–99. <https://jurnal.mesin.itm.ac.id/index.php/jm/article/view/79/68>
- Astika, I. M. (2019). Phase Change Materials for Building Applications: A Review. *Prosiding SNTTM XVII*, 9, 5.
- Covert, R. a., & Tuthill, A. H. (2000). Stainless Steels : An Introduction to Their Metallurgy and Corrosion Resistance. *Dairy, Food and Environmental Sanitation*, 20(7), 506–517.
- Dewa, Y. (2021). Rancang Bangun Chassis Tubular Prototype Car Ethanol Berbahan Alumunium 6061. *Universitas Muhammadiyah Ponorogo.*, 4(80), 4.
- Edukasi.okezone, (2022), rumus kimia logam nikel dan manfaatnya, <https://edukasi.okezone.com/read/2022/09/17/624/2669442/rumus-kimia-logam-nikel-dan-manfaatnya>. Diakses pada 19 Juli 2025
- Elbakyan, L., & Zaporotskova, I. (2025). Polypropylene Modified with Carbon Nanomaterials: Structure, Properties and Application (A Review). *Polymers*, 17(4), 1–28. <https://doi.org/10.3390/polym17040517>
- Fitrian, E. B. (2021). Paulus Civil Engineering Journal Identifikasi Sebaran Nikel Laterit dan Volume Bijih Nikel Menggunakan Korelasi Data Bor. *Paulus Civil Engineering Journal*, 3(1), 113. <http://ojs.ukipaulus.ac.id/index.php/pcej>
- Google Maps, (2025), Lokasi Politeknik Negeri Bali, <https://maps.app.goo.gl/e4MsvAv4kDZVY3nh6>. Diakses pada 19 Juli 2025
- Hidayat, T., Nasra, E., & Teknik Pertambangan, Ms. (2014). Penentuan Kadar Perak (Ag) Dalam Batuan Termineralisasi Menggunakan Metode Ekstraksi Pelarut Kelat Ditizon Dengan Variasi Ph Dan Waktu Di Wilayah Tambang Galian Rakyat Bukit Gunjo Jorong Tanjung Bungo Kec. Bonjol Kab. Pasaman. *Bina Tambang*, 1(1), 41–52. <https://ejournal.unp.ac.id/index.php/mining/article/view/3439>
- Holman, J. . (n.d.). *Heat Transfer*.

- Imron, S. (2021). . *Kajian Experimental Perpindahan Panas Pada Shell and Tube Berisi Phase Change Material (PCM)*. univesitas lampung..pdf.
- JANARKO, Y. D. (2017). *ANALISA KINERJA PHASE CHANGE MATERIAL DENGAN WADAH BERBAHAN LOGAM UNTUK REEFER CONTAINER*. 11(1), 92–105.
- Laila, L. (2016). *Pemanfaatan Sistem Pengondisian Udara Pasif dalam Penghematan Energi*. 1–7.
- MacroEnter, (2016), Pengertian Polypropylene, <https://www.macroenter.com/blog/what-is-polypropylene/> . Diakses pada 19 juli 2025
- M'Evalina, G., Sapei, L., M'Wahjudi, & N'Suseno. (2016). *Virgin Coconut Oil*.
- Mesin, P., Kompresi, P., Sunter, J., Raya, P., Agung, S., & Jakarta, P. (2018). *UJI PRESTASI REFRIGERAN R22 Program Studi Teknik Mesin , Fakultas Teknik*. 74–81.
- Nurhafid, A., Jokosisworo, S., & Budiarto, U. (2017). Analisa Pengaruh Perbedaan Feed Rate Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impak Aluminium 6061 Metode Pengelasan Friction Stir Welding. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(2), 473–481.
- Peng, G., Dou, G., Hu, Y., Sun, Y., & Chen, Z. (2020). Phase change material (PCM) microcapsules for thermal energy storage. *Advances in Polymer Technology*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/9490873>
- Rianto, D. (2015). Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Putaran Fan Kondensor Terhadap Laju Pendinginan Mesin AC Split 1 PK. *Tahun*, 9(1), 10–15.
- Rumus kimia, 2015, Pengertian Perak, <https://www.rumuskimia.net/2015/12/rumus-kimia-perak.html?m=0> Diakses pada 19 Juli 2025
- SaThierbach, K., Petrovic, S., Schilbach, S., Mayo, D. J., Perriches, T., Rundlet, E. J. E. J. E. J., Jeon, Y. E., Collins, L. N. L. N., Huber, F. M. F. M., Lin, D. D. H. D. H., Paduch, M., Koide, A., Lu, V. T., Fischer, J., Hurt, E., Koide, S., Kossiakoff, A. A., Hoelz, A., Hawryluk-gara, L. A., ... Hoelz, A. (2015). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. In *Proceedings of the National Academy of Sciences* (Vol. 3, Issue 1). <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpj.2015.06.056%0Ahttps://academic.oup.com/bioinformatics/article-abstract/34/13/2201/4852827%0Ainternal-pdf://semisupervised-3254828305/semisupervised.ppt%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.str.2013.02.005%0Ahttp://dx.doi.org/10.10>

Tangkudung, A. G., & Kaseger, J. Y. (2024). *Hilirisasi Nikel sebagai Nilai Tambah dalam Penguatan Perekonomian Indonesia*. 5(10), 3946–3955.

Teknik jaya, (2020), karakteristik aluminium, <https://teknikjaya.co.id/aluminium/>. Diakses pada 19 Juli 2025

Ummah, M. S. (2019). ANALISIS PENGARUH ELEKTROPLATING PERAK (Ag) PADA TEMBAGA (Cu) TERHADAP KARAKTERISTIK ELEKTRIK AIR LAUT SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK TERBARUKAN. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI

Veva, M. R. A., Fitri, S. P., & Wardhana, E. M. (2023). Analisis Karakteristik dan Sifat Termofisika Phase Change Material (PCM) Berbasis Salt Hydrate Kalsium Klorida dengan Zat Aditif untuk Aplikasi Sistem Refrigerasi Hybrid pada Reefer Container. *Jurnal Teknik ITS*, 12(3). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v12i3.121983>

YULIAN, A. M. (2019). *KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS MINYAK KELAPA.pdf*.