

# PEMANFAATAN PANAS BUANG DARI KENDARAAN BERTENAGA DIESEL UNTUK MENJALANKAN SISTEM REFRIGERASI ABSORPSI: SEBUAH TINJAUAN

*Utilization of Exhaust Heat from Diesel Powered Vehicle for Absorption Refrigeration  
System: A Review*

**Dyah Arum Wulandari<sup>1\*</sup>, Nasywa Raihan Dhiyaulhaq<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta 13220, Indonesia.

<sup>2</sup> Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta 13220, Indonesia.

\*Email Korespondensi : [dyaharum@unj.ac.id](mailto:dyaharum@unj.ac.id)

Artikel Info - : Diterima : 31-05-2022; Direvisi : 30-06-2022; Disetujui: 03-07-2022

## ABSTRAK

Di Indonesia, pendinginan menggunakan *vapour absorption refrigeration system* atau sistem refrigerasi absorpsi uap bukanlah hal yang umum digunakan pada kendaraan. Sistem ini tidak seperti sistem refrigerasi kompresi uap yang menggunakan listrik untuk menjalankan kompresornya melainkan menggunakan panas pada generatornya. Penggunaan sistem refrigerasi absorpsi dianggap dapat diaplikasikan pada kendaraan yang menghasilkan panas buang yang berasal dari mesinnya. Artikel *review* ini membahas mengenai penggunaan panas buang dari beberapa metode transportasi untuk mendinginkan kabin atau produk lewat riset konseptual dengan meninjau literatur-literatur terkait. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa mesin bertenaga diesel dapat menghasilkan panas yang cukup untuk memberi tenaga pada sistem pendingin tersebut.

**Kata Kunci: Kendaraan, Panas Buang, Sistem Refrigerasi Absorpsi**

## ABSTRACT

*In Indonesia, refrigeration using Vapour Absorption Refrigeration System or absorption refrigeration system is still uncommon to be used in vehicles. This system is not like a vapor compression refrigeration system that uses electricity to run the compressor. Instead of it uses heat in the generator. The use of an absorption refrigeration system is considered to apply to vehicles that produce heat from the engine. This review article discusses the use of exhaust heat from several modes of transportation to cool the cabin or product through conceptual research by reviewing relevant literature. The results of this study indicate that a diesel-powered engine can generate sufficient heat to power the cooling system.*

**Keywords: Absorption Refrigeration System, Exhaust Heat, Vehicle**

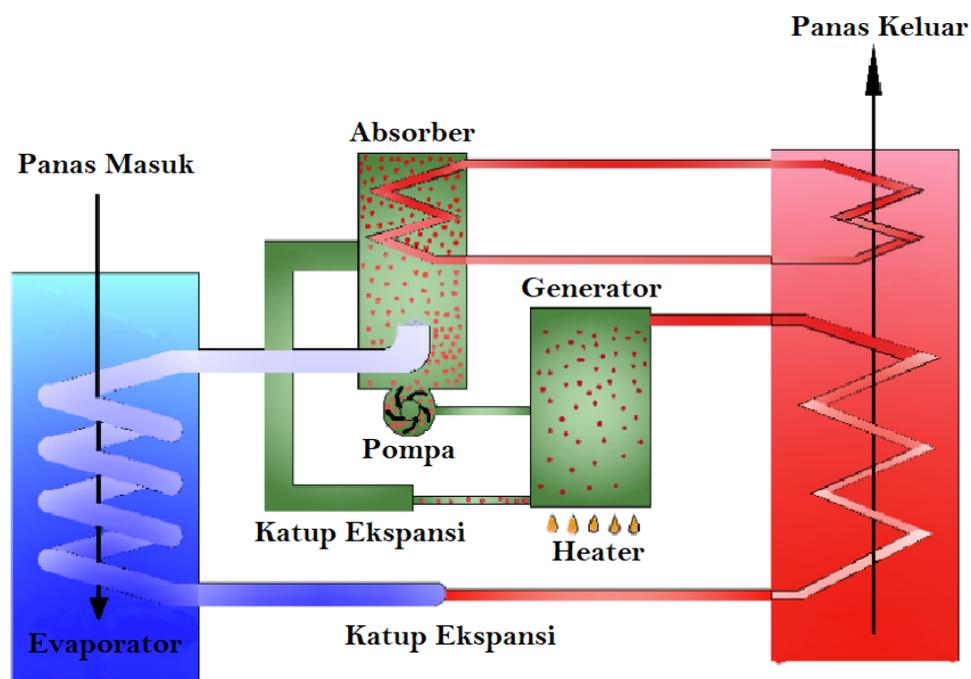
## 1. Pendahuluan

Penggunaan kendaraan sebagai mode transportasi sudah menjadi hal yang lumrah di berbagai sudut dunia baik bagi manusia ataupun barang agar dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya. Tujuan dari sistem refrigerasi adalah mempertahankan area yang didinginkan pada temperatur dibawah temperatur di sekelilingnya [1]. Bagi manusia, pendingin dalam kendaraan berguna untuk menimbulkan efek nyaman dalam berkendara. Sementara itu, bagi produk-produk seperti ikan, susu, dan sayur, pendinginan diperlukan agar produk tersebut tetap segar hingga sampai ke tujuan karena apabila semakin tinggi temperatur, semakin cepat pula penurunan mutu kesegaran [2].

Pendinginan pada ikan juga diperlukan untuk menghambat perkembangan bakteri yang dapat menyebabkan rusaknya kesegaran ikan. Dengan menggunakan sistem refrigerasi dan fluida kerja R-22 didapatkan hasil kapasitas ruang muat ikan bertambah dua kali lipat dan kualitas ikan meningkat serta nilai BEP akan lebih cepat tercapai [3].

Pendinginan pada kendaraan umumnya menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap dimana komponen kompresornya mengonsumsi tenaga dan bahan bakar mesin agar dapat melakukan pendinginan. Sekitar 60-65% energi dari bahan bakar mesin pembakaran dalam dibuang ke lingkungan [4], dimana sebagian besar panas yang dibuang tersebut merupakan gas panas dari knalpot. Panas buang yang terbuang sia-sia tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber pendingin untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja dari kendaraan [5]. Salah satunya adalah dengan menggunakan sistem pendinginan alternatif yakni sistem refrigerasi absorpsi yang dapat memanfaatkan panas buang dari kendaraan. Dengan menggunakan panas buang yang dikeluarkan dari mesin kendaraan untuk sistem refrigerasi absorpsi, mesin pun dapat dibebaskan dari beban yang dibutuhkan kompresor apabila menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap sehingga dapat menghemat bahan bakar.

Sistem refrigerasi absorpsi merupakan sistem pendingin alternatif yang dianggap lebih hemat dibandingkan sistem refrigerasi kompresi dikarenakan kompresor pada sistem refrigerasi kompresi yang diganti dengan generator dan absorber. Persamaan keduanya adalah proses pendinginan dilakukan dengan menguapkan refrigerant di evaporator. Adapun perbedaan utama pada sistem refrigerasi kompresi dan sistem refrigerasi absorpsi adalah penggunaan energi mekanik untuk menggerakkan kompresor pada sistem refrigerasi kompresi, sementara sistem refrigerasi absorpsi menggunakan energi panas melalui proses kimia – fisika dan sejumlah kecil listrik untuk memompa cairan. Seperti terlihat pada Gambar 1 adalah skema mengenai sistem refrigerasi absorpsi dasar.



**Gambar 1.** Sistem Refrigerasi Absorpsi Dasar [12]

Apabila sistem refrigerasi kompresi menguapkan refrigeran pada suhu dan tekanan yang rendah, maka sistem refrigerasi absorpsi menggunakan panas untuk menguapkan refrigeran. Uap refrigeran diambil dari evaporator melalui absorpsi ke dalam cairan yang memiliki afinitas tinggi terhadap refrigeran. Kemudian refrigeran dikeluarkan dari larutan dengan penerapan panas dan temperaturnya

juga meningkat. Refrigeran dalam bentuk uap akan melewati kondensor di mana panas dibuang dan refrigeran dicairkan. Cairan ini akan dialirkan melalui evaporator pada tekanan yang diturunkan dan siklus akan berlangsung secara lengkap.

Refrigeran yang umum digunakan pada sistem refrigerasi absorpsi adalah campuran amonia-air atau campuran *lithium bromide*-air. Penghilangan gaya poros yang ada pada kompresor merupakan alasan utama kesuksesan secara ekonomis dari sistem refrigerasi absorpsi.

## 2. Metodologi Penelitian

Metode penelitian pada artikel ini merupakan penelitian konseptual hasil pemikiran melalui *review* literatur dari berbagai artikel-artikel mulai dari tahun 1997 hingga 2021 yang membahas mengenai penggunaan panas buang dari berbagai jenis kendaraan sebagai sumber panas sistem refrigerasi absorpsi. Tabel 1 di bawah ini memuat beberapa referensi yang berkaitan dengan hal tersebut.

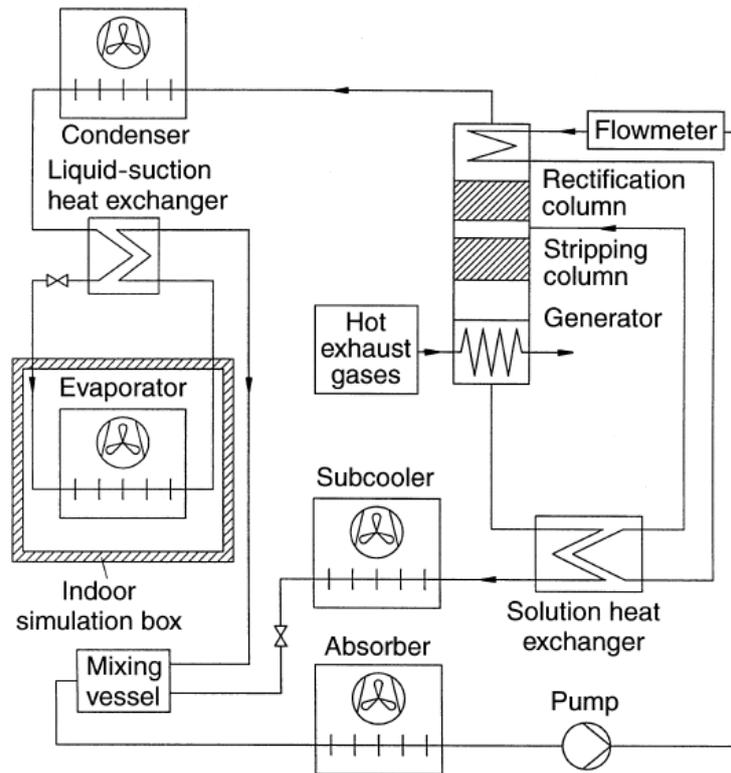
**Tabel 1.** Beberapa Referensi Yang Menggunakan Panas Buang Kendaraan Dengan Bahan Bakar Diesel Untuk Sistem Refrigerasi Adsorpsi

Nama Peneliti	Tahun	Pengaplikasian Sistem Pendingin	Bahan Bakar Kendaraan	Jenis Refrigerant	COP
Koehler, J. et al. [6]	1997	Kargo truk	Diesel	Amonia – air	0,23 – 0,3
Jiangzhou, S. et al. [7]	2003	Kabin lokomotif	Diesel	<i>Zeolite</i> – Air	0,2 – 0,3
Vicatos, G. et al. [8]	2008	Mobil	Diesel	Amonia – Air	0,08 – 0,09
Manzela, A. et al. [9]	2010	Mobil – kulkas	Bensin	Amonia – Air	0,01 – 0,04
Thakre, S. D. et al. [10]	2014	Kabin truk	Diesel	Amonia – Air	0,31 – 0,35
Cao, T. et al. [11]	2015	Kapal	Diesel	<i>Lithium Bromide</i> – Air	0,6
Bangotra, A. et al. [12]	2017	Mobil	Diesel	Amonia – Air	0,85 – 1,045
Yuan, H. et al. [13]	2018	Kapal ikan	Diesel	Amonia – Air – <i>Lithium Bromide</i>	0,18 – 0,24
				Amonia – Air	0,14 – 0,23
Kumar, M. et al. [14]	2019	Mobil	Diesel	Amonia – Air	0,136
Pentury, S. D. et al. [15]	2021	Kapal ikan	Diesel	Amonia – Air	0,53

## 3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

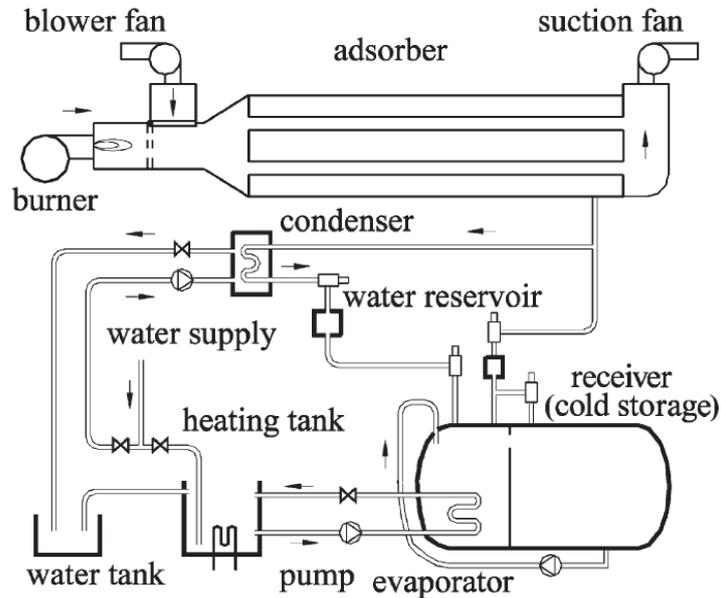
Berikut adalah hasil tinjauan dari masing-masing penelitian: Koehler, J. et al. mendesain, membangun, dan menguji coba prototipe *breadboard* untuk sistem refrigerasi absorpsi amonia-air pada truk dengan sumber panas yang berasal dari panas buang knalpot. Beban pendinginan yang dibutuhkan adalah 5 kW. Energi panas yang diperoleh dari knalpot dianalisis untuk mewakili kondisi mengemudi truk untuk lalu lintas kota, jalanan pegunungan, dan jalanan datar. Hasil COP yang diperoleh bervariasi dari 23 - 30%. Namun COP dapat ditingkatkan lebih dari 15 % dengan melakukan optimalisasi generator, *rectifier*, *absorber*, dan meningkatkan isolasi termal generator. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa panas buang truk ketika mengemudi pada lalu lintas kota terlalu rendah untuk sistem refrigerasi absorpsi karena truk sering berada dalam kondisi *idle* atau diam. Sementara itu, kondisi jalanan pada pegunungan memiliki variasi temperatur knalpot yang tinggi dibandingkan dengan jalanan yang datar, sehingga pendinginan truk menggunakan sistem refrigerasi absorpsi dianggap cocok untuk dijadikan alternatif untuk mengemudi jarak jauh pada jalanan yang datar [6]. Gambar 2 di bawah ini menunjukkan skema prototipe siklus absorpsi berpendingin udara yang digunakan untuk pendinginan dalam perjalanan. Kompresor uap yang bekerja dalam sistem pendingin kompresi uap digantikan oleh *absorber* dan generator ataupun *boiler* pada siklus pendingin absorpsi. Di dalam generator, campuran amonia

dan air dipanaskan. Titik didih amonia lebih rendah daripada air sehingga akan berevaporasi, terpisahkan *refrigerant* dari adsorben. Karena uap tersebut bukan gas amonia murni, maka harus dimurnikan dengan dialirkan melalui *stripping and rectification coloumn*. Tipe alat penukar kalor yang digunakan pada *rectification system* berupa *compact plate-fin heat exchangers*.



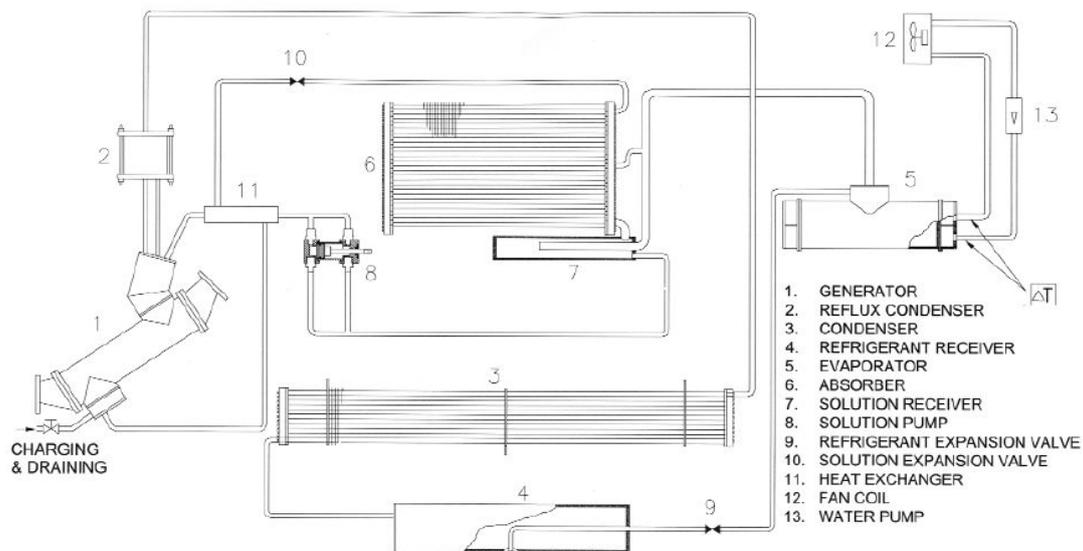
**Gambar 2.** Komponen Utama Yang Digunakan Pada Prototipe Siklus Absorpsi Berpendingin Udara Untuk Pendinginan Dalam Perjalanan [6].

Jiangzhou, S. et al. melakukan penelitian terhadap prototipe sistem refrigerasi absorpsi untuk kabin lokomotif menggunakan refrigeran *zeolite*-air dengan sumber panas yang berasal dari panas buang knalpot. Daya refrigerasinya adalah 5 kW dan hasil COP yang diperoleh adalah 20 - 30%. Peneliti menyatakan bahwa sistem tersebut memiliki sistem yang sederhana, dapat diandalkan, nyaman dikendalikan, dan menemui kebutuhan untuk mengondisikan udara kabin kemudi lokomotif [7]. Gambar 3 di bawah ini menggambarkan skema sistem pengujian siklus refrigerasi absorpsi *zeolite* – air. Temperatur gas yang tinggi dihasilkan dari pembakaran minyak dengan *burner* untuk menyimulasikan gas buang mesin pembakaran dalam, yang kemudian digunakan untuk memanaskan *adsorber*. Udara dipaksa masuk ke *adsorber* dan mendinginkannya dengan blower udara dan kipas hisap. Tangki yang berisi air panas untuk mengonsumsi kapasitas pendinginan. Daya keluaran sama dengan kapasitas pendinginan yang ditransfer ke tangki air pemanas oleh air dingin. Kapasitas pendinginan total sama dengan daya keluaran ditambah kapasitas pendinginan yang disimpan dalam refrigerator.



**Gambar 3.** Diagram Skema Sistem Pengujian Siklus Refrigerasi Absorpsi Zeolite – Air [7].

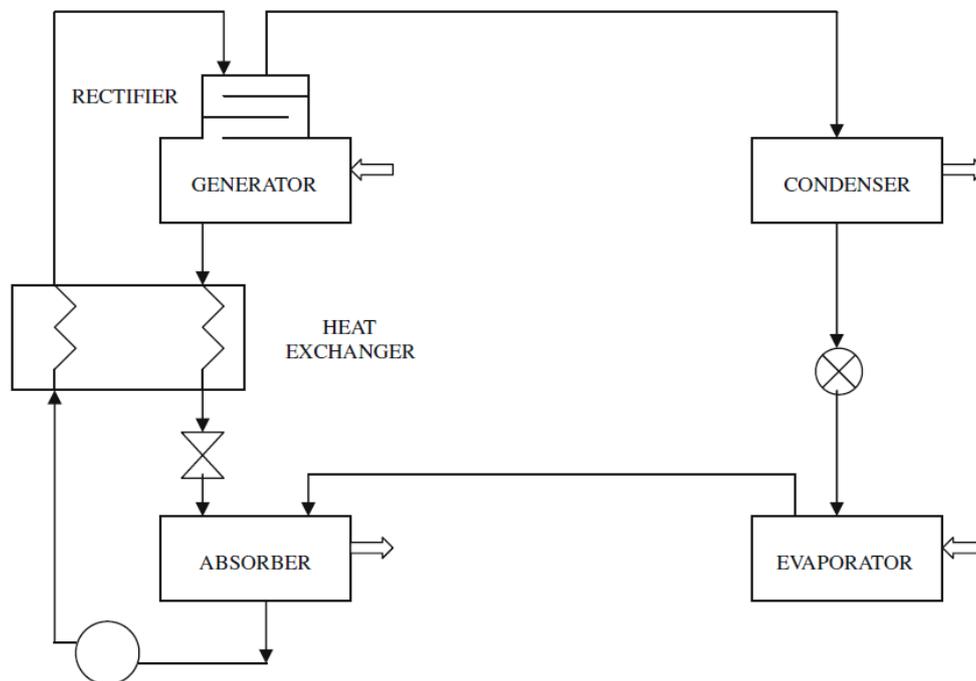
Vicatos, G. et al. mengembangkan prototipe sistem refrigerasi absorpsi amonia - air dengan sumber panas buang dari knalpot sebagai pendinginan mobil. Peneliti menyatakan bahwa meskipun pendinginan kendaraan menggunakan panas buang dari kendaraan itu sendiri dapat dilakukan, namun hasil COP dari prototipe yang dikembangkan memiliki nilai yang kecil, yakni 0,08 tanpa menggunakan *heat exchanger* dan 0,09 dengan menggunakan *heat exchanger*. Penggunaan *heat exchanger* dalam sistem dapat meningkatkan COP apabila refrigeran yang digunakan memiliki kemurnian yang tinggi [8].



**Gambar 4.** Diagram skema diagram sistem pendingin udara absorpsi [8].

Gambar 4 di atas menggambarkan skema diagram sistem pendingin udara absorpsi dengan menggunakan amonia-air. Nilai COP yang masih rendah mengindikasikan bahwa perlu adanya perbaikan terhadap siklus tersebut. Refrigeran yang tinggi tingkat kemurniannya akan memberikan efek refrigerasi yang besar, sementara penggabungan solusi penukar panas akan mengurangi input panas ke generator.

Manzela, A. et al. melakukan eksperimen dengan menghubungkan knalpot kendaraan pada sebuah kulkas untuk menenagai sistem pendinginnya menggunakan sumber energi dari panas buang kendaraan dan meneliti pengaruh pembukaan *throttle* pada bukaan sebesar 25%, 50%, 75%, dan terbuka sepenuhnya. Peneliti menyimpulkan bahwa penggunaan panas buang dari mesin pembakaran dapat menyediakan tenaga yang cukup untuk melakukan pendinginan, namun eksperimennya menghasilkan COP sebesar 4,9% untuk pembukaan *throttle* 25% dan 1,2% - 1,4% untuk pembukaan *throttle* lainnya sehingga apabila sistem pendingin tersebut ingin digunakan, perlu dilakukan penyempurnaan pada sistemnya. Penelitian juga menunjukkan bahwa mobil yang berkecepatan terlalu tinggi dapat mengakibatkan sistem pendingin tidak berfungsi karena menimbulkan panas berlebih yang menyebabkan kondensasi tidak terjadi pada kondensor. Selain itu hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa emisi karbon monoksida mengalami penurunan ketika sistem refrigerasi absorpsi dipasang ke kendaraan sementara emisi hidrokarbon mengalami kenaikan. Perubahan tersebut merupakan akibat dari modifikasi sistem knalpot. Meski begitu, pemasangan sistem refrigerasi absorpsi pada knalpot kendaraan tidak menimbulkan penurunan tekanan pada aliran gas buang karena daya keluaran mesin meningkat dan konsumsi bahan bakar berkurang secara signifikan dengan adanya perubahan pada komponen sistem pembuangan [9].

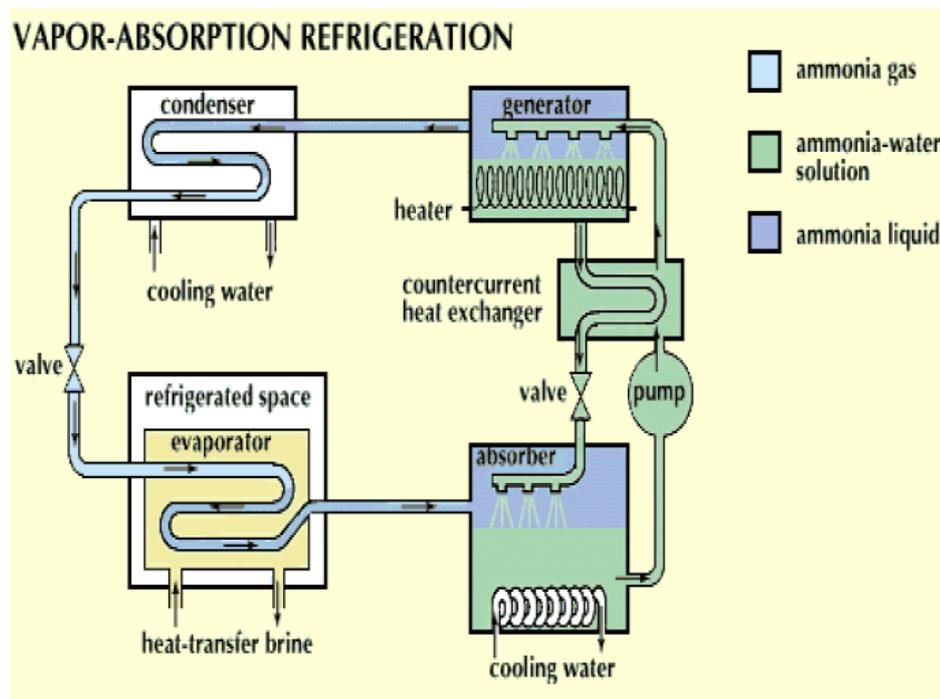


**Gambar 5.** Skema Sistem Refrigerasi *Absorption* Amonia - Air [9].

Gambar 5 di atas menggambarkan skema sistem refrigerasi *absorption* amonia – air dimana uap amonia tekanan tinggi masuk kondensator dan panas ditransfer ke lingkungan. Amonia cair meninggalkan kondensator dan melalui katup ekspansi hingga mencapai tekanan evaporator. Refrigeran yang masuk evaporator akan menerima panas dari sumber dingin akan berubah menjadi uap bertekanan rendah.

Sebaliknya uap amonia masuk *adsorber*, dimana larutan air dan konsentrasi rendah amonia menyerap refrigeran dan pada waktu yang bersamaan panas dipindahkan ke lingkungan. Larutan akan mempunyai konsentrasi amonia yang tinggi dan dipompa ke generator uap yang menerima panas dari sumber luar. Amonia akan berevaporasi, terpisah dari air dan mengalir ke kondensor untuk memulai siklus yang baru.

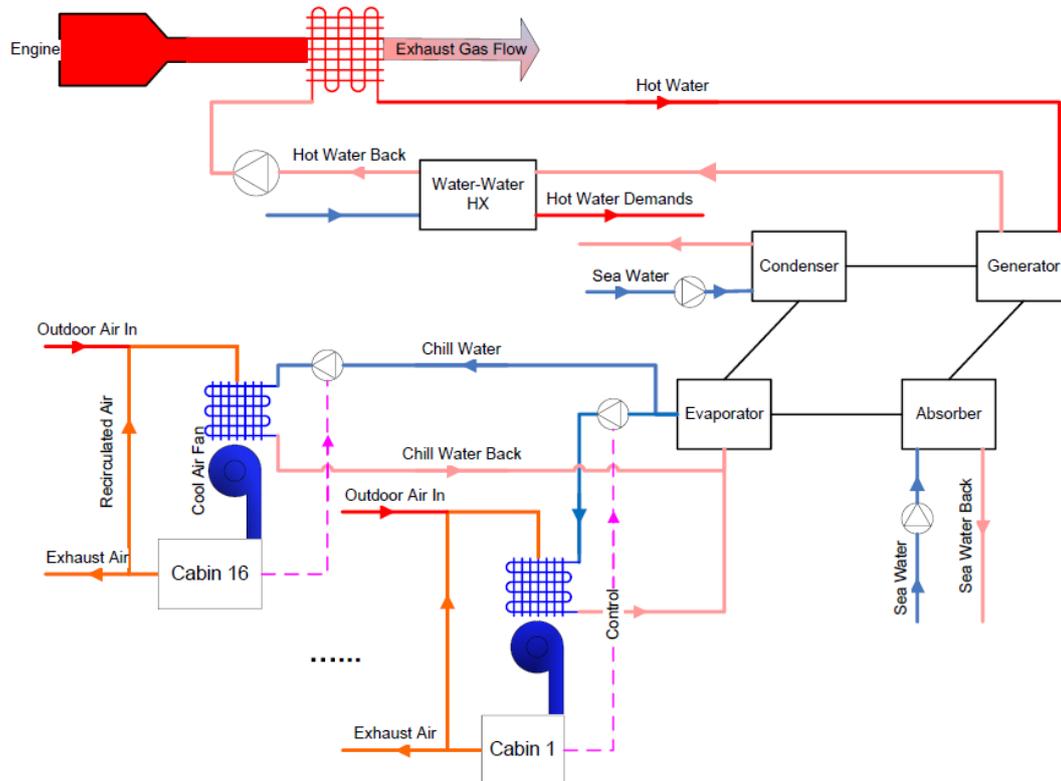
Penelitian yang dilakukan Thakre, S. D. et al. membahas mengenai pendinginan kabin truk menggunakan sistem refrigerasi absorpsi air-amonia menggunakan panas buang dari knalpot truk yang bertenaga solar. Hasilnya panas buang dari mesin yang berasal dari knalpot dapat digunakan untuk pendinginan absorpsi. Hasil COP-nya bervariasi dari 0,3528 ke 0,3113. *Input* yang diperlukan untuk menghasilkan COP 0,2 adalah 17,5 kW sementara panas buang yang tersedia adalah 34 kW [10].



**Gambar 6.** Siklus Absorpsi Amonia - Air [10]

Gambar 6 di atas menggambarkan skema sistem refrigerasi *absorption* amonia – air. Meskipun hasil COP yang diperoleh rendah, akan tetapi karena menggunakan kembali panas buang sebagai *input* maka itu bukanlah hal yang penting untuk dipermasalahkan.

Cao, T. et al. melakukan desain kapal kargo dan penelitian terhadap performa sistem refrigerasi absorpsi dengan sumber energi dari panas buang mesin pada kapal tersebut. Desain sistem pendingin tersebut dilakukan simulasi berdasarkan cuaca dingin Baltimore, cuaca panas Miami, dan cuaca panas ekstrem Abu Dhabi. Sistem pendingin bertenaga panas buang menunjukkan COP pendinginan 0.6 dan mengurangi konsumsi bahan bakar dan pengurangan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 62% daripada menggunakan sistem normal. Ditemukan juga bahwa perbedaan lokasi dapat mempengaruhi performa sistem. Konsumsi bahan bakar dan pengurangan emisi CO<sub>2</sub> meningkat hingga 68% pada kondisi yang lebih panas (Abu Dhabi), sementara menurun hingga 38% pada kondisi yang lebih dingin (Baltimore). Penerapan sistem pendingin siklus penyerapan tenaga panas limbah di kapal pesiar dapat menghemat energi total sebesar 8,23%. Tantangan terhadap sistem pendingin absorpsi pada aplikasi kapal juga diatasi dengan menyarankan solusi potensial [11].



**Gambar 7.** Skema Sistem Pendingin Absorpsi Yang Bertenaga Panas Buang [11]

Gambar 7 di atas adalah skema sistem pendingin absorpsi yang bertenaga panas buang yang mempunyai jalur siklus yang sama dengan air pendingin dan udara. Fluida kerja yang digunakan adalah  $H_2O/LiBr$  ABC.

Bangotra, A. et al. melakukan penelitian tentang bagaimana bentuk generator yang ideal agar dapat melakukan sistem pendinginan absorpsi menggunakan sumber panas dari panas buang mesin diesel untuk mendinginkan mobil. Panas yang dibutuhkan mobil kecil untuk menguapkan refrigeran adalah 5 kW sehingga desain dari generator harus memiliki kapasitas yang sama. Hasil COP-nya adalah 0.85 dan 1.045. Memastikan bahwa tidak ada udara yang bisa masuk atau keluar dan melakukan penggelapan kaca mobil dapat meningkatkan pendinginan dalam mobil [12].

Yuan, H. et al. melakukan penelitian sistem refrigerasi absorpsi menggunakan panas buang untuk kapal ikan dan membandingkan performa sistem yang menggunakan senyawa *ternary* (amonia - air - *lithium bromide*) dengan yang menggunakan senyawa biner (amonia - air). Peneliti menemukan hasil penggunaan senyawa *ternary* dapat mengurangi area perpindahan panas sebesar 16% dan dapat mengurangi ukuran *rectifier* yang dibutuhkan. Selain itu sistem yang menggunakan senyawa *ternary* dapat beroperasi pada tekanan rendah dengan kapasitas pendinginan sebesar 6,3 – 9,2 kW dan menghasilkan suhu pendinginan kurang dari  $-15,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Hasil dari penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa sistem yang menggunakan senyawa *ternary* memiliki COP bernilai 0,18 – 0,24 dibandingkan dengan 0,14 – 0,23 yang dihasilkan senyawa biner. Senyawa *ternary* juga memiliki nilai ECOP (*electric COP*, didapat dari nilai  $Q_{ref}$  dibagi dengan nilai konsumsi listrik di seluruh sistem, W) yang lebih tinggi, yakni sebesar 4,6 – 7,0 dibandingkan dengan 4,1 – 6,0 yang dihasilkan oleh sistem senyawa biner. Sistem senyawa *ternary* juga mengalami kehilangan panas yang lebih rendah yang menandakan bahwa sistem senyawa *ternary* memiliki efisiensi konversi energi yang lebih tinggi. Peneliti juga menyatakan bahwa penggunaan sistem refrigerasi absorpsi dapat mengurangi penggunaan listrik, penggunaan bahan bakar, serta emisi  $CO_2$  yang dihasilkan [13].

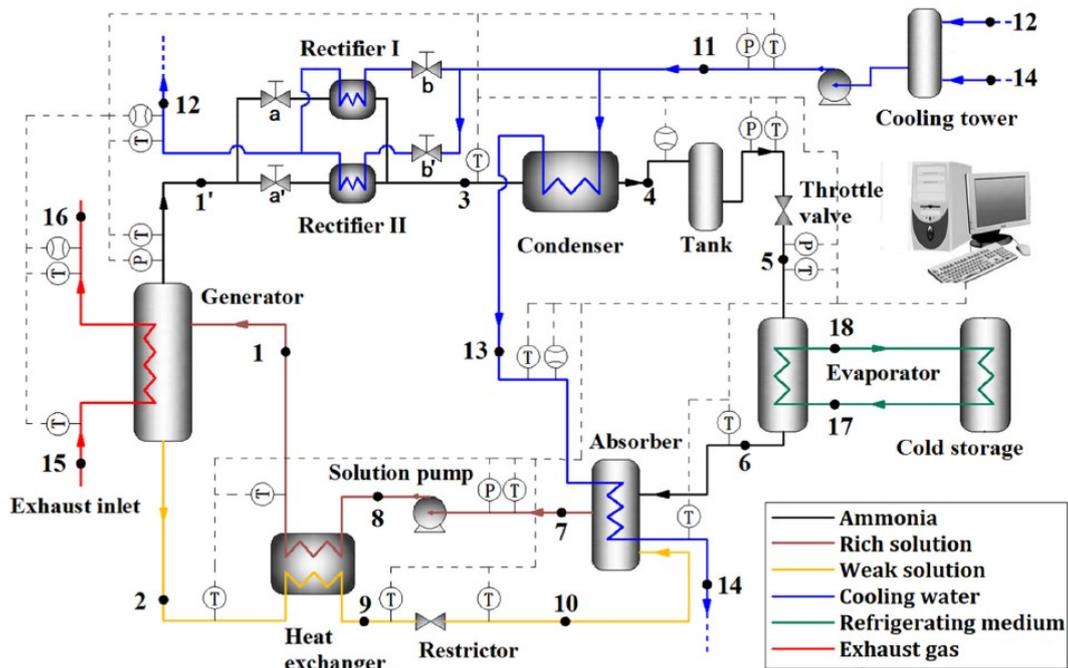
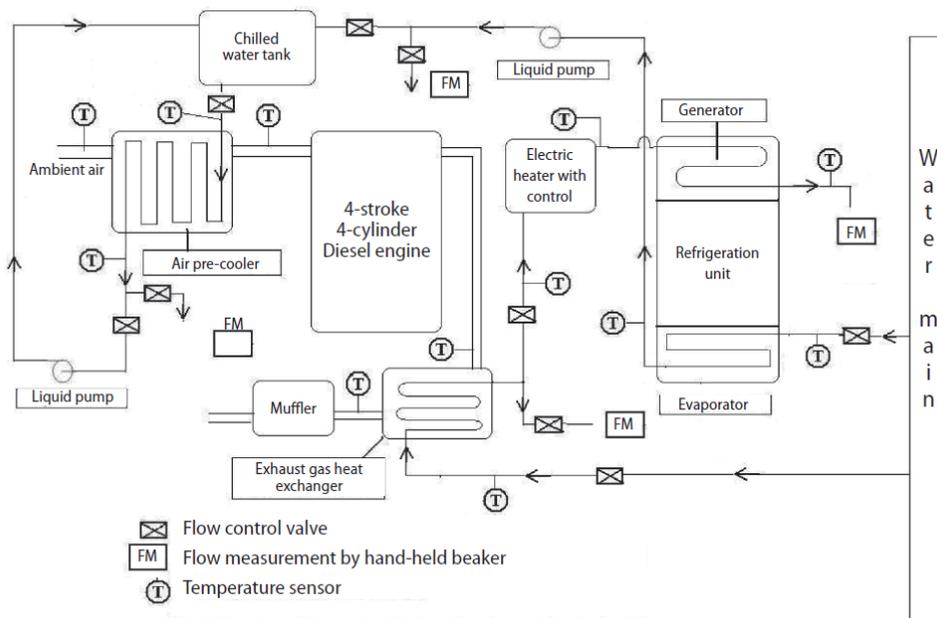


Fig. 1. Schematic of the absorption refrigeration cycle using binary ammonia–water and ternary ammonia–water–lithium bromide mixtures.

**Gambar 8.** Skema Sistem Pendingin Absorpsi Menggunakan *Binary* Amonia – Air Dan *Ternary* Campuran Amonia – Air – *Lithium Bromide* [13]

Gambar 8 di atas adalah skema sistem pendingin absorpsi yang diteliti oleh Yuan, H. et al. dimana sistem yang menggunakan campuran amonia – air – *lithium bromide* menghasilkan nilai kapasitas pendinginan, COP dan ECOP yang lebih tinggi serta kehilangan panas yang lebih rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem ini mempunyai nilai efisiensi konversi energi yang lebih tinggi.

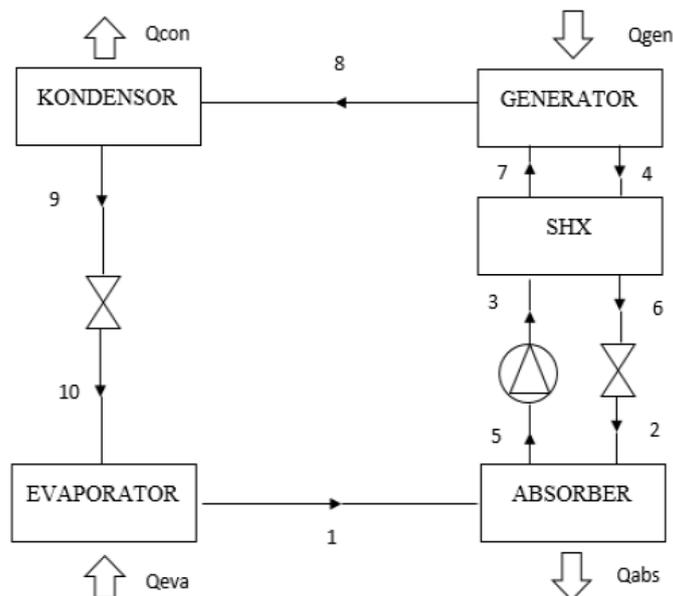


**Gambar 9.** Skema Diagram Pengujian [14]

Gambar 9 di atas adalah diagram pengujian yang terdiri dari mesin Diesel yang dikopel dengan dinamometer dan sistem pendingin absorpsi yang dilakukan oleh Kumar, M. et al. Penelitiannya melakukan analisa mengenai sistem refrigerasi absorpsi dengan sumber tenaga panas buang yang berasal dari knalpot kendaraan mesin diesel menggunakan refrigeran amonia dan air. COP maksimum yang dihasilkan adalah 0,136 dan sistem tersebut dapat menghasilkan efek pendinginan sebesar 2.2 kW. Penelitian ini juga menyatakan bahwa pendinginan akan lebih optimal apabila generator terletak sejajar dengan knalpot untuk gas buang yang memiliki suhu lebih tinggi [14].

Pentury, S. D. et al. memanfaatkan panas buang yang berasal dari gas buang motor induk kapal motor (KM) Alalunga bertenaga diesel sebagai *input* dari sistem pendingin absorpsi dengan refrigeran amonia-air. Panas yang dihasilkan oleh motor induk dengan pemakaian bahan bakar sebesar 42 kg/hr untuk menjalankan sistem pendingin absorpsi adalah 415064 kJ/hr sementara energi yang dibutuhkan adalah sebesar 528 kJ/hr sehingga panas buang tersebut dapat digunakan untuk menjalankan sistem pendingin absorpsi uap yang menghasilkan COP sebesar 53% [15].

Gambar 10 di bawah ini adalah skema kerja sistem pendingin adsorpsi yang memanfaatkan panas buang motor induk di kapal motor Alalunga.



**Gambar 10.** Skema Kerja Sistem Pendingin Adsorpsi [15]

#### 4. Kesimpulan

Penggunaan panas buang yang berasal dari mesin kendaraan sebagai sumber panas sistem refrigerasi absorpsi untuk mendinginkan kabin atau bahkan produk yang dibawa oleh kendaraan seperti truk dan kapal ikan dapat dilakukan apabila sumber panas tersebut melebihi dari panas yang dibutuhkan untuk sistem refrigerasi. Mesin dengan bahan bakar diesel memiliki COP yang lebih tinggi dibandingkan yang berbahan bakar mesin akibat tenaga yang dihasilkannya jauh lebih besar sehingga panas buang yang dihasilkan lebih banyak. Namun dapat dilakukan desain bentuk generator agar dapat menyesuaikan kapasitas kW yang dihasilkan oleh kendaraan. Pemilihan bahan refrigeran menggunakan senyawa terner seperti amonia-air-lithium bromide pun dapat meningkatkan efisiensi sehingga pendinginan dapat lebih maksimal. Faktor lain seperti menggunakan penggelap kaca mobil dan memastikan tidak ada udara yang masuk dan keluar pun dapat memaksimalkan pendinginan. Cuaca dan medan jalanan yang ditempuh juga dapat mempengaruhi performa sistem sehingga kedua variabel tersebut perlu dipertimbangkan apabila sistem refrigerasi absorpsi ingin digunakan. Tetapi, penggunaan

sistem refrigerasi absorpsi bersifat ramah lingkungan dibandingkan dengan sistem refrigerasi kompresi karena penggunaan bahan bakar yang dibutuhkan untuk kompresor tidak lagi diperlukan pada sistem refrigerasi absorpsi. Meskipun penggunaan sistem refrigerasi absorpsi belum umum di Indonesia, diharapkan kedepannya pendinginan menggunakan sistem refrigerasi absorpsi akan lebih umum agar panas buang dari kendaraan dapat dimanfaatkan sehingga dapat memaksimalkan efisiensi kendaraan.

## 5. Daftar Pustaka

- [1] M.J. Moran, H.N., Shapiro, D.D. Boettner, and M.B. Bailey, "Fundamentals of Engineering Thermodynamics, Seventh Edition", *European Journal of Engineering Education*, Hoboken, 2010. <https://doi.org/10.1080/03043799308928176>
- [2] G. Sanger, "Mutu kesegaran ikan tongkol (*Auxis tazard*) selama penyimpanan dingin", *Warta Wiptek*, vol. 35, pp. 39-43, 2010.
- [3] H. S. Kiryanto, and H. Supriyanto, "Analisis Teknis dan Ekonomis Perencanaan Sistem Pendingin Ruang Palkah Ikan Dengan Sistem Kompresi Uap Menggunakan Refrigerant R22", *Jurnal Teknik Kapal*, vol. 8, no.1, pp. 6-11, 2011.
- [4] D.D. Battista, M.Mauriello, and R. Cipollone, "Waste heat recovery of an ORC-based power unit in a turbocharged diesel engine propelling a light duty vehicle" *Applied Energy*, vol. 152, pp. 109-120, 2015.
- [5] R. Cipollone, D.D. Battista, A. Perosino, and F. Bettoja, "Waste heat recovery by an organic Rankine cycle for heavy duty vehicles (No. 2016-01-0234)", *SAE Technical Paper*, 2016.
- [6] J. Koehler, W. J. Tegethoff, D. Westphalen, and M. Sonnekalb, "Absorption refrigeration system for mobile applications utilizing exhaust gases", *Heat and Mass Transfer*, vol. 32, no. 5, pp. 333-340, 1997.
- [7] S. Jiangzhou, R. Z. Wang, Y. Z. Lu, Y. X. Xu, J. Y. Wu, and Z. H. Li, "Locomotive driver cabin adsorption air-conditioner", *Renewable Energy*, vol. 28, no.11, pp. 1659-1670, 2003.
- [8] G. Vicatos, J. Gryzagoridis, and S. Wang, "A car air-conditioning system based on an absorption refrigeration cycle using energy from exhaust gas of an internal combustion engine", *Journal of Energy in Southern Africa*, vol. 19, no. 4, pp. 6-11, 2008.
- [9] A. A. Manzela, S. M. Hanriot, L. Cabezas-Gómez, and J. R. Sodré, "Using engine exhaust gas as energy source for an absorption refrigeration system", *Applied energy*, vol. 87, no. 4, pp. 1141-1148, 2010.
- [10] S. D. Thakre, P. D. Malwe, R. L. Raut, and A. A. Gawali, "Cooling of a truck cabin by vapour absorption refrigeration system using engine exhaust", *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 3 no. 5, pp. 816-822, 2014.
- [11] T. Cao, H. Lee, Y. Hwang, R. Radermacher, and H. H. Chun, "Performance investigation of engine waste heat powered absorption cycle cooling system for shipboard applications", *Applied Thermal Engineering*, vol. 90, pp. 820-830, 2015.
- [12] A. Bangotra, "Design-analysis of generator of vapour absorption refrigeration system for automotive air-conditioning" *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 6, pp. 121-125, 2017.
- [13] H. Yuan, J. Zhang, X. Huang, and N. Mei, "Experimental investigation on binary ammonia–water and ternary ammonia–water–lithium bromide mixture-based absorption refrigeration systems for fishing ships", *Energy Conversion and Management*, vol. 166, pp. 13-22, 2018.
- [14] M. Kumar and R. K. Das, "Experimental analysis of absorption refrigeration system driven by waste heat of diesel engine exhaust" *Thermal Science*, vol. 23, no.1, pp. 149-157, 2019.
- [15] S. D. Pentury, G. S. Norimarna, P. Ciptoadi, and E. W. Wairisal, "Pemanfaatan Panas Buangan Motor Induk Untuk Menjalankan Sistem Pendingin Pada KM Alalunga", *Jurnal Teknik Mesin, Elektro, Informatika, Kelautan dan Sains*, vol. 1, no. 1, pp. 39-45, 2021.