

Kapasitas Adsorbsi Karbon Aktif dan Alumina Aktif sebagai adsorben terhadap beberapa Refrigeran pada Siklus Adsorpsi

Himsar Ambarita^{1, a *}

¹Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater Kampus USU, Medan Indonesia
^aemail: himsar@gmail.com

Abstrak

Pemanfaatan siklus adsorpsi untuk melakukan refrigerasi merupakan salah satu aplikasi yang dapat digunakan untuk memanfaatkan energi surya. Latar belakang yang mendorong penelitian ini ada dua, yaitu Indonesia kaya akan energi surya dan konsumsi energi listrik untuk refrigerasi pada pengkondisian udara di kota-kota besar Indonesia sangat besar. Aplikasi siklus adsorpsi yang digerakkan energi surya untuk melakukan refrigerasi pada pengkondisian udara menjadi penelitian yang sangat menarik. Tetapi masih terdapat banyak masalah yang harus diselesaikan untuk dapat mengaplikasikan siklus adsorpsi untuk refrigerasi. Salah satu masalah yang menjadi fokus penelitian ini adalah rendahnya kapasitas adsorpsi pasangan adsorben dan refrigeran. Adsorben yang baik adalah yang dapat menyerap refrigeran sebanyak mungkin. Beberapa adsorben yang umum digunakan pada siklus adsorpsi adalah karbon aktif, silika gel, dan zeolit. Sementara refrigeran yang umum digunakan adalah methanol, etanol dan amonia. Pasangan yang disebutkan ini masih belum memberikan hasil yang memuaskan. Pada penelitian ini diusulkan menggunakan alumina aktif sebagai adsorben dan akan dibandingkan dengan karbon aktif. Sementara refrigeran yang digunakan adalah metanol, etanol, dan amonia. Sebuah peralatan pengujian telah dirancang bangun dengan massa adsorben sebesar 1 kg dan volume refrigeran sebanyak 1 liter. Proses desorpsi dilakukan dengan menjaga temperatur rata-rata adsorben sekitar 120°C dan proses adsorpsi terjadi pada temperatur lingkungan sekitar 30°C. Temperatur diukur dengan menggunakan sistem akuisisi data dan pemanasan dilakukan dengan radiasi lampu listrik. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh hasil bahwa alumina aktif dapat mengadsorpsi metanol, etanol, dan amonia masing-masing sebesar 350 mL, 300 mL, dan 240 mL. Sementara pada kondisi yang sama karbon aktif dapat mengadsorpsi metanol, etanol, dan amonia masing-masing sebanyak 300 mL, 275 mL, dan 210 mL. Kesimpulan yang didapat adalah alumina aktif mempunyai kapasitas adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan karbon aktif dan refrigeran yang terbaik adalah metanol. Maka pasangan alumina aktif dan metanol sangat baik digunakan sebagai pasangan adsorben dan refrigeran pada siklus adsorpsi.

Kata kunci : Siklus adsorpsi, Karbon aktif, Alumina aktif, Metanol, Etanol, Energi Surya

Latar belakang

Menurut data buku putih energi Indonesia tahun 2006 [1], diperkirakan rata-rata intensitas radiasi matahari yang jatuh pada wilayah permukaan pulau-pulau di Indonesia sekitar 4,8 kWh/m² setiap harinya. Energi ini dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik secara langsung (fotovoltaik) dan juga dalam bentuk termal. Karena efisiensi konversi energinya masih lebih baik dan harga peralatannya yang relatif lebih murah, maka pada penelitian ini difokuskan pada pemanfaatan energi surya secara termal.

Kemudian, sebagai negara yang beriklim tropis kota-kota besar di Indonesia umumnya membutuhkan pendingin (refrigerasi) untuk pengkondisian udara. Konsumsi energi listrik untuk pendingin dan pengkondisian udara pada

gedung-gedung komersial di kota-kota besar Indonesia dapat mencapai 60% [2].

Kedua fakta di atas, potensi energi surya yang cukup besar dan kebutuhan akan pendinginan yang cukup besar, menjadi latar belakang penelitian ini. Tema besar penelitian ini adalah menangkap energi radiasi surya dalam bentuk termal dan memanfaatkannya untuk menghasilkan pendinginan (refrigerasi). Siklus termodinamika yang akan digunakan untuk mengubah energi surya termal menjadi efek refrigerasi adalah siklus adsorpsi.

Mesin pendingin siklus adsorpsi mempunyai 3 komponen utama, yaitu generator, kondensor, dan evaporator. Generator sekaligus bertindak sebagai absorber dan solar kolektor. Generator ini berisi adsorben dan pada sebagian siklus, pada generator

terdapat refrigeran. Generator merupakan tempat terjadinya proses adsorpsi, yaitu proses terikatnya refrigeran ke dalam adsorben. Dapat dikatakan komponen ini adalah bagian yang paling penting dari mesin pendingin siklus adsorpsi. Pada saat ini, pasangan adsorben dan refrigeran yang umum digunakan adalah karbon aktif dan metanol.

Berdasarkan studi literatur dan penelitian awal yang sudah dilakukan [3,4,5,6] terdapat beberapa kelemahan dari siklus adsorpsi ini. Kelemahan utama ada pada generator. Di generator terdapat dua kelemahan utama, yaitu: pertama proses adsorpsi-desorpsi yang terjadi belum diketahui secara sempurna, kapasitas penyerapan adsorben yang rendah, dan perpindahan panas dari permukaan absorber ke dalam adsorben yang kurang baik. Sebagai catatan, pada siklus adsorpsi, proses desorpsi memanfaatkan energi surya yang berbentuk flux radiasi dan datang dari atas. Sementara proses perpindahan panas yang terjadi adalah konveksi alamiah, maka proses pemanasan ini akan berlawanan dengan efek konveksi alamiah. Hal inilah yang membuat proses perpindahan panas tidak berjalan secara baik pada generator.

Beberapa refrigeran yang umum digunakan pada siklus adsorpsi adalah amonia, etanol, metanol, dan air. Sementara adsorben yang sering digunakan dapat dibagi atas dua bagian, yaitu adsorben fisik dan adsorben kimia. Adsorben fisik terdiri dari karbon aktif, zeolit, dan silika gel. Sementara adsorben kimia yang sudah sering digunakan antara lain: *metal chlorides*, *salt and metal hydrates*, dan *metal oxides*. Sementara untuk meningkatkan performansi perpindahan panas dan meningkatkan kapasitas adsorpsi, beberapa peneliti [7,8] juga mencoba untuk membuat adsorben komposit, seperti mengkombinasikan karbon aktif dengan *metal chloride* atau silika gel dengan adsorben kimia. Sampai saat ini adsorben yang paling banyak digunakan adalah karbon aktif. Tetapi masih banyak usaha yang dilakukan untuk mencari alternatif bagi adsorben ini.

Pada penelitian ini akan diusulkan menggunakan adsorben alumina aktif sebagai pengganti karbon aktif. Sejauh studi literatur yang telah dilakukan, penulis belum pernah menemukan penelitian yang menggunakan alumina aktif sebagai adsorben yang telah dilaporkan. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mendapatkan kapasitas adsorpsi dari adsorben alumina aktif terhadap beberapa refrigeran dan perbandingannya dengan karbon aktif. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu perkembangan aplikasi siklus adsorpsi untuk refrigerasi pada pengkondisian udara di Indonesia.

Metodologi dan Alat Pengujian

Sebuah peralatan pengujian akan dirancang bangun dengan massa adsorben sebesar 1 kg dan volume refrigeran sebanyak 1 liter. Proses desorpsi dilakukan dengan menjaga temperatur rata-rata permukaan adsorben sekitar 120°C. Pemilihan temperatur ini didasarkan temperatur maksimum yang dapat dicapai pada solar kolektor jenis plat datar sebagai generator siklus adsorpsi. Sementara proses adsorpsi terjadi pada generator dengan temperatur lingkungan sekitar 30°C. Temperatur diukur dengan menggunakan sistem akuisisi data dan pemanasan dilakukan dengan radiasi lampu listrik. Adsorben yang digunakan adalah alumina aktif dan karbon aktif. Sementara refrigeran yang digunakan adalah amonia, etanol, dan methanol.

Generator dibuat berbentuk kotak persegi terbuat dari plat *stainless steel* dengan ukuran 280 mm × 250 mm × 50 mm. Adsorben kemudian dimasukkan ke dalam kotak ini dan kemudian ditutup dengan menggunakan peralatan las. Gambar 1 menunjukkan generator yang berisi karbon aktif sebelum ditutup dan Gambar 2 untuk generator yang berisi alumina aktif.



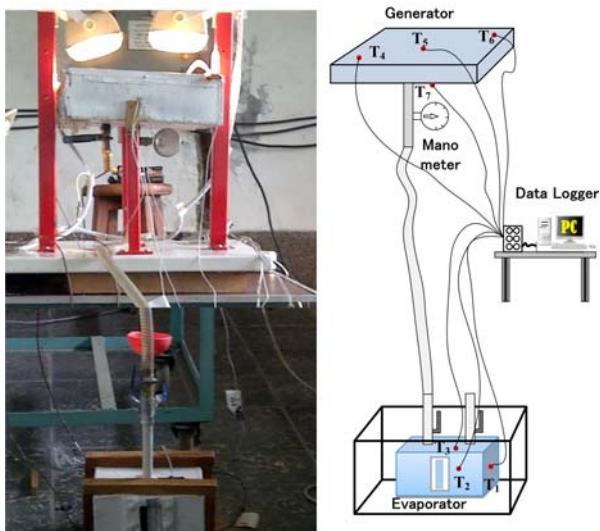
Gambar 1 Generator yang berisi karbon aktif



Gambar 2 Generator yang berisi alumina aktif

Masing-masing generator ini akan dipasangkan dengan 3 jenis refrigeran yang berbeda yang diisi ke dalam evaporator dan kemudian diisolasi. Untuk mengetahui besarnya kapasitas adsorpsi, pada evaporator dibuat ukuran yang menyatakan volume refrigeran. Tekanan diukur dengan sebuah manometer *vacuum* dan diamati setiap jam. Sementara temperatur diukur dengan menggunakan termokopel type J dengan toleransi $\pm 0,004 \times T$. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan sistem akuisisi data dengan *data logger* Agilent 3497A *multi channels*.

Pada pengujian ini digunakan 7 termokopel, dengan pembagian 4 mengukur temperatur generator dan 3 mengukur temperatur evaporator. Posisi termokopel, generator, evaporator, dan sistem akuisisi data ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Peralatan eksperimen

Hubungan antara kapasitas adsorpsi dengan tekanan dan temperatur dari pasangan adsorben dan refrigeran dapat dinyatakan dengan persamaan Dubinin-Astakhov (D-A).

$$x = x_0 \exp \left[-k \left(\frac{T}{T_s} - 1 \right)^n \right] \quad (1)$$

Dimana x [kg/kg adsorben] adalah kapasitas adsorpsi yang dinyatakan dengan massa refrigeran yang diadsorpsi oleh adsorben atau kg refrigeran per kg adsorben. Sementara x_0 , k , dan n adalah koefisien yang sangat spesifik pada pasangan adsorben dan referigeran. Koefisien ini bisa berbeda meskipun adsorben mempunyai jenis yang sama tetapi berbeda sumber atau merek dagangnya. Misalnya pasangan karbon aktif yang terbuat dari

kayu dan karbon aktif yang terbuat dari cangkang kelapa sawit dengan metanol yang sama dapat mempunyai koefisien yang berbeda. T (K) adalah temperatur adsorpsi dan T_s (K) adalah temperatur saturasi dari refrigeran.

Pada penelitian ini, parameter yang akan dibandingkan adalah kapasitas maksimum refrigeran yang dapat diadsorpsi oleh adsorben atau tidak membangun persamaan D-A. Perbandingan kemudian akan diubah menjadi kalor maksimum yang dapat diserap oleh pasangan adsorben dengan refrigeran yang diuji. Pada saat pengujian, volume refrigeran yang dapat diadsorpsi akan diukur dengan melakukan pengamatan pada gelas ukur yang terdapat pada evaporator. Besarnya volume ini akan diubah menjadi kalor yang dapat diserap oleh evaporator atau disimbolkan dengan Q_e [kJ]. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kalor ini adalah:

$$Q_e = \rho V L \quad (2)$$

Dimana ρ [kg/m³] adalah massa jenis refrigeran, V [m³] adalah volume refrigeran yang diadsorpsi, dan L [kJ/kg] adalah panas latent penguapan refrigeran. Sifat fisik yang digunakan pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Sifat fisik refrigeran

Refrigeran	ρ [kg/m ³]	L [kJ/kg]	$\rho \times L$ [MJ/m ³]
Amonia	681	1368	932
Etanol	789	842	665
Metanol	791	1102	872

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa untuk volume yang sama, maka refrigeran yang paling banyak menyerap kalor adalah amonia kemudian disusul metanol dan etanol. Berdasarkan data ini, maka yang seharusnya refrigeran yang terbaik adalah amonia. Tetapi kapasitas refrigeran yang dapat diadsorpsi masih tergantung pada adsorben yang digunakan. Maka pada penelitian ini, akan dilakukan pengujian, untuk mendapatkan kapasitas dan jumlah panas yang dapat diserap oleh pasangan adsorben dan refrigeran.

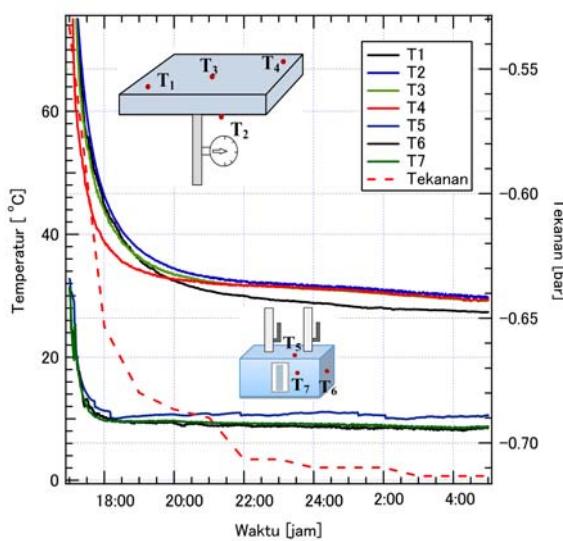
Karena tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan kapasitas adsorpsi, maka proses perpindahan panas tidak akan dianalisis.

Hasil dan Diskusi

Pada penelitian ini, adsorben yang digunakan ada dua, yaitu karbon aktif dan alumina aktif dan

refrigeran yang digunakan ada 3, yaitu amonia, etanol, dan metanol. Maka total pengujian yang dilakukan ada 6 pasangan adsorben dengan refrigeran. Sebagai catatan, sebuah siklus adsorpsi dapat dibagi atas dua bagian, yaitu proses adsorpsi dan proses desorpsi. Adsorpsi adalah proses penyerapan refrigeran ke dalam adsorben. Sebagai kebalikannya, desorpsi adalah proses pelepasan refrigeran dari adsorben. Pada proses adsorpsi generator yang awalnya panas, akan turun suhunya dan tekanannya akan turun. Sebagai akibatnya refrigeran akan menguap di evaporator dan masuk ke dalam adsorben. Proses penguapan inilah yang menghasilkan efek pendinginan (refrigerasi).

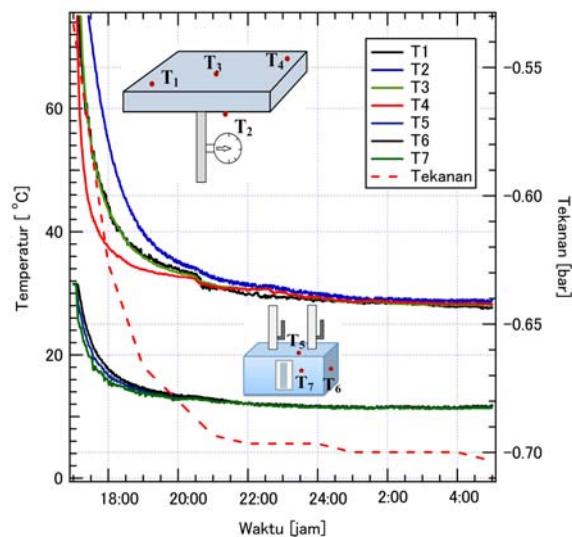
Temperatur dan tekanan pada peralatan pengujian pada saat terjadi proses adsorpsi pada pasangan karbon aktif dengan Amonia ditampilkan pada Gambar 4. Pada gambar dapat dilihat temperatur pada generator (T_1 , T_2 , T_3 , dan T_4) akan turun karena didinginkan oleh udara luar dengan cara konveksi natural. Sebagai akibatnya tekanan di dalam generator akan turun, pada gambar ditunjukkan dengan garis merah putus-putus. Karena tekanan turun, maka amonia akan menguap di evaporator dan proses pendinginan dimulai. Temperatur di evaporator (T_5 , T_6 , dan T_7) akan turun, karena penguapan refrigeran. Pada pengujian ini temperatur yang dapat dicapai adalah sekitar 10°C .



Gambar 4 Temperatur pada saat adsorpsi pada pasangan karbon aktif dengan amonia

Temperatur dan tekanan pada peralatan pengujian pada saat terjadi proses adsorpsi pada pasangan karbon aktif dan etanol ditampilkan pada Gambar 5. Fenomena yang sama dengan Gambar 4 juga terjadi. Tetapi temperatur yang terjadi di evaporator adalah sekitar 12°C . Hal ini terjadi

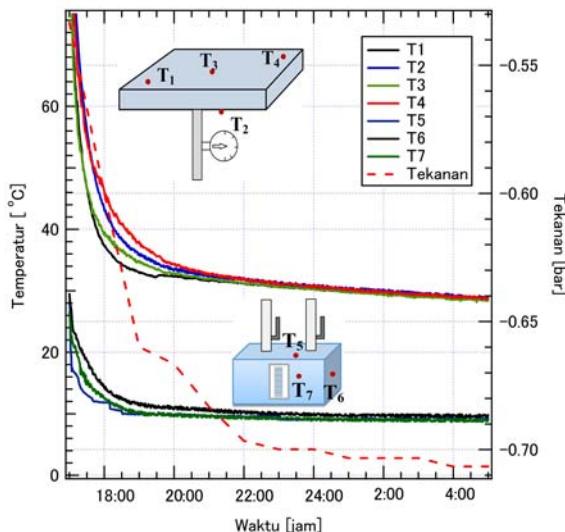
karena kalor yang dapat diserap oleh etanol lebih kecil daripada amonia. Dalam hal ini dapat dikatakan sebagai pendingin pasangan karbon aktif dengan amonia lebih baik daripada pasangan karbon aktif dengan etanol.



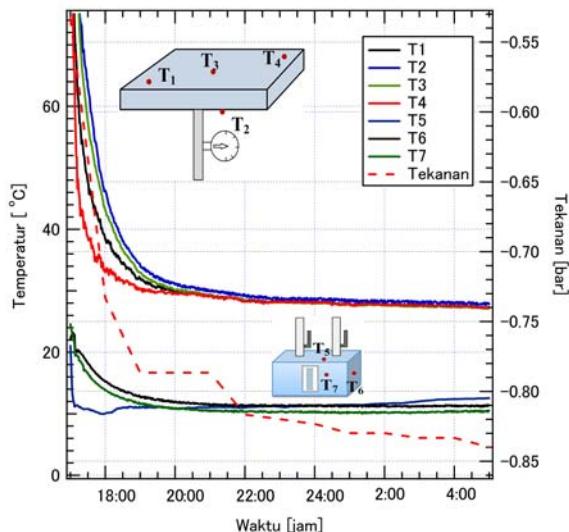
Gambar 5 Temperatur pada saat adsorpsi pada pasangan karbon aktif dengan etanol

Temperatur dan tekanan pada peralatan pengujian pada saat terjadi proses adsorpsi pada pasangan karbon aktif dengan metanol ditampilkan pada Gambar 6. Temperatur terendah yang dapat dicapai di evaporator adalah kurang dari 10°C atau lebih baik daripada etanol dan amonia. Hal ini dapat terjadi karena kalor yang dapat diserap oleh metanol lebih banyak daripada etanol dan amonia. Maka pasangan karbon aktif dengan metanol lebih baik daripada pasangan karbon aktif dengan amonia dan pasangan karbon aktif dengan etanol.

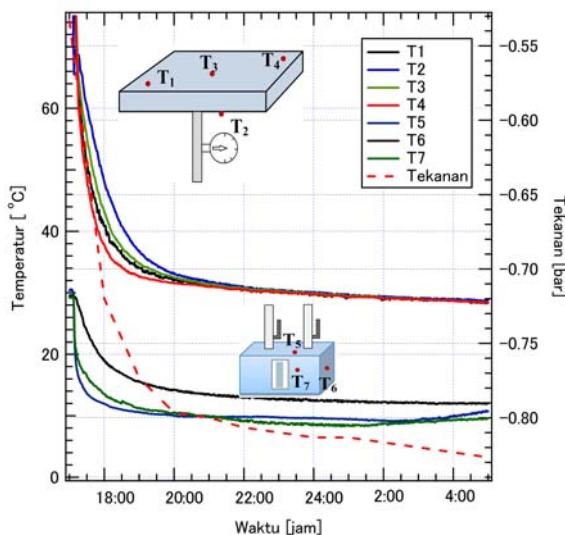
Pengujian untuk adsorben alumina aktif dengan pasangan masing-masing refrigeran juga telah dilakukan. Temperatur dan tekanan pada peralatan pengujian pada saat terjadi proses adsorpsi pada pasangan alumina aktif dengan metanol ditampilkan pada Gambar 7. Pada gambar dapat dilihat bahwa temperatur di evaporator juga turun dan dapat mencapai temperatur kurang dari 10°C . Perbandingan dengan Gambar 4 menunjukkan bahwa tekanan generatör dengan adsorben alumina aktif adalah lebih kecil dibanding dengan karbon aktif. Hal ini akan mengakibatkan adsorpsi amonia dengan alumina aktif akan lebih banyak daripada dengan karbon aktif.



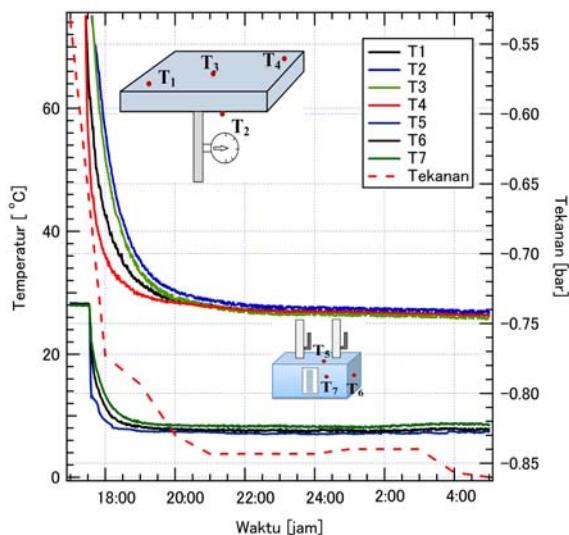
Gambar 6 Temperatur pada saat adsorpsi pada pasangan karbon aktif dengan metanol



Gambar 8 Temperatur pada saat adsorpsi pada pasangan alumina aktif dengan etanol



Gambar 7 Temperatur pada saat adsorpsi pada pasangan alumina aktif dengan amonia



Gambar 9 Temperatur pada saat adsorpsi pada pasangan Alumina aktif dan Metanol

Temperatur dan tekanan pada peralatan pengujian pada saat terjadi proses adsorpsi pada pasangan alumina aktif dan etanol ditampilkan pada Gambar 8. Trend yang sama dengan Gambar 5 juga terjadi. Tetapi temperatur yang terjadi di evaporator adalah kurang dari 12°C. Tekanan kerja di generator (ditunjukkan dengan garis merah putus-putus) relatif lebih rendah. Fakta-fakta ini menunjukkan bahwa alumina aktif masih lebih baik daripada karbon aktif jika dipasangkan dengan refrigeran etanol.

Temperatur dan tekanan pada peralatan pengujian pada saat terjadi proses adsorpsi pada pasangan alumina aktif dengan metanol ditampilkan pada Gambar 9. Temperatur terendah yang dapat dicapai di evaporator dapat mencapai kurang dari 9°C. Tekanan di generator juga relatif lebih rendah. Hal ini mengakibatkan metanol yang diserap oleh alumina aktif lebih banyak. Maka kalor yang dapat diserap di evaporator akan lebih banyak. Maka pasangan alumina aktif dengan metanol lebih baik daripada karbon aktif dengan metanol.

Kapasitas adsorpsi karbon aktif dan alumina aktif untuk masing-masing refrigeran telah diukur. Hasilnya adalah untuk alumina aktif dapat

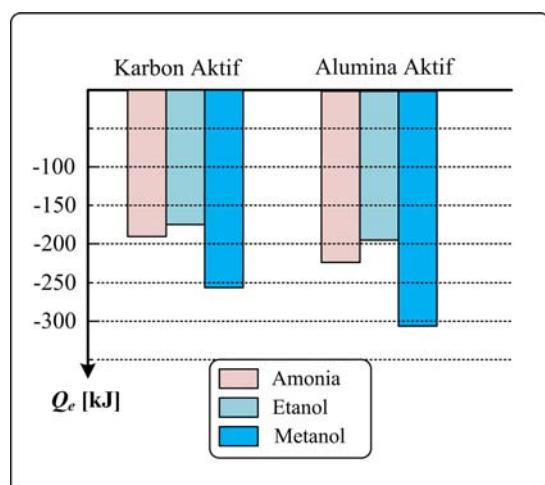
mengadsorpsi metanol, etanol, dan amonia masing-masing sebesar 350 mL, 300 mL, dan 240 mL. Sementara pada kondisi yang sama karbon aktif dapat mengadsorpsi metanol, etanol, dan amonia masing-masing sebanyak 300 mL, 275 mL, dan 210 mL. Kapasitas adsorpsi ini ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Kapasitas adsorpsi masing-masing adsorben

Refrigerant	Adsorbent	
	Karbon aktif	Alumina aktif
Amonia	210 mL	240 mL
Etanol	275 mL	300 mL
Metanol	300 mL	350 mL

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa alumina aktif mempunyai kapasitas penyerapan yang lebih baik daripada karbon aktif untuk semua refrigeran. Sementara pada masing-masing refrigeran, metanol mempunyai sifat yang lebih baik dibanding amonia dan etanol. Kesimpulan yang dapat ditarik di sini adalah kapasitas penyerapan yang terbaik adalah pasangan alumina aktif dengan metanol sebesar 350 mL/kg alumina aktif.

Kapasitas penyerapan pada Tabel 2 akan diubah menjadi kalor penyerapan di evaporator dengan menggunakan Persamaan (2) dan data pada Tabel 1. Kalor yang dapat diserap pada evaporator untuk masing-masing pasangan adsorben dan refrigeran ditampilkan pada Gambar 10. Pada gambar dapat dilihat bahwa yang terbaik adalah pasangan alumina aktif dengan metanol dengan kapasitas penyerapan panas di evaporator sebesar 305 kJ/kg alumina aktif.



Gambar 10 Kalor yang dapat diserap masing-masing pasangan

Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian kapasitas adsorpsi dari karbon aktif dan alumina aktif sebagai adsorben terhadap amonia, etanol, dan metanol sebagai refrigeran. Kesimpulan utama yang didapat adalah alumina aktif mempunyai kapasitas adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan karbon aktif dan refrigeran yang terbaik adalah metanol. Maka pasangan alumina aktif dan metanol sangat baik digunakan sebagai pasangan adsorben dan refrigeran pada siklus adsorpsi.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Republik Indonesia dalam skema Hibah Fundamental – BOPTN Tahun Anggaran 2014. Nomor: 1084/UN 5.1.R/KEU/2014 tanggal 17 Februari 2014. Penulis mengucapkan Terima Kasih atas dukungan dana yang diberikan.

Referensi

- [1]. Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia ,(2006), Buku Putih Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025, Jakarta.
- [2]. Himsar Ambarita, (2010) Producing cooling from solar energy by using adsorption cycle with activated carbon and methanol pair, Jurnal Dinamis Teknik Mesin USU II (9).
- [3]. L.W. Wang, R.Z. Wang, R.G. Oliveira, (2009), A review on adsorption working pairs for refrigeration, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 518-534.
- [4]. Jhon Purba, Himsar Ambarita, Ilmi Abdullah (2012) Pengaruh temperatur pemakaman absorber terhadap daya serap refrigeran siklus adsorpsi, Jurnal Cylinder Teknik Mesin Unika Atmajaya Jakarta I (2).
- [5]. M. Pons and J.J. Guillemot, (1986) Design of an experimental solar-powered, solid-adsorption ice maker, Transactions of the ASME, Journal of Solar Energy Engineering 108, pp 332-337.
- [6]. N.M. Khattab (2004) A novel solar-powered adsorption refrigeration module, Applied Thermal Engineering 24, 2747-2760.
- [7]. Lee CH, Park SH, Choi SH, Kim YS, Kim SH, (2005), Characteristics of non-uniform reaction blocks for chemical heat pump, Chem Eng Sci. 60, 1401-1409.

- [8]. Han JH, Lee KH, (2001), Gas permeability of expanded graphite-metallic salt composite, App Therm Eng 21 (4), 453-463.