

Studi Eksperimental Pendingin Adsorpsi Amonia-CaCl₂ Energi Surya Experimental Study Of Solar Energy Ammonia-CaCl₂ Adsorbtion Refrigeration

¹I Gusti Ketut Puja, ²FA. Rusdi Sambada

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Sanata Dharma
Kampus III Paingan Maguwoharjo Depok Sleman Yogyakarta
ketut@usd.ac.id, rusdisambada@yahoo.co.id

Abstrak

Pada pendingin adsorpsi energi surya terdapat dua proses yakni proses desorpsi dan adsorpsi. Proses desorpsi merupakan proses pemisahan amonia dari CaCl₂, proses ini memerlukan energi surya dan terjadi dari pagi sampai sore hari. Pada proses desorpsi tidak terjadi kerja pendinginan. Proses adsorpsi merupakan proses penyerapan kembali amonia oleh CaCl₂, proses ini terjadi dari malam sampai pagi hari. Pada proses adsorpsi terjadi proses pendinginan. Karena proses pendinginan hanya terjadi dari malam sampai pagi hari, maka umumnya sistem pendingin ini tidak langsung digunakan untuk pendinginan bahan makanan, obat atau lainnya, melainkan digunakan untuk pembuatan es. Es yang dihasilkan digunakan untuk pendinginan bahan makanan, obat atau lainnya. Salah satu syarat agar sistem pendingin dapat digunakan untuk membuat es adalah temperatur pendinginan yang dicapai harus dibawah 0°C. Penelitian ini bertujuan membuat model pendingin adsorpsi amonia-CaCl₂ energi surya untuk mengetahui temperatur pendinginan terendah yang dapat dihasilkan. Model pendingin amonia-CaCl₂ yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari empat komponen utama yakni generator, kondensor, evaporator dan kolektor termal surya. Generator berupa pipa *stainlees steel* dengan diameter 10 cm dan penjang 200 cm. Kondensor terbuat dari *stainlees steel* dan berbentuk spiral dengan diameter pipa 25 mm, panjang pipa 7 m dan diameter spiral 60 cm. Evaporator terbuat dari pipa *stainlees steel* dengan diameter 10 cm dengan panjang 50 cm. Kolektor termal surya yang digunakan adalah jenis parabola silinder. Di antara generator dan evaporator terdapat keran yang dioperasikan terbuka dan tertutup secara manual. Variasi kondisi kerja sistem pendingin pada penelitian ini adalah variasi perbandingan massa amonia-CaCl₂ yakni sebesar: 0,2; 0,4 dan 0,6. Variabel yang diukur dalam penelitian ini adalah temperatur generator (T₁), temperatur kondensor (T₂), temperatur evaporator (T₃), tekanan generator (P₁), tekanan evaporator (P₂) dan intensitas energi surya (G). Hasil penelitian menunjukkan temperatur terendah yang dapat dicapai adalah 0°C dengan menggunakan perbandingan massa amonia-CaCl₂ sebesar 0,6.

Keywords: pendingin, adsorpsi, desorpsi, amonia-CaCl₂, energi surya

Pendahuluan

Kebutuhan akan sistem pendingin setiap hari makin meningkat, terutama untuk penyimpanan bahan makanan, hasil pertanian, obat-obatan dan sebagainya. Kebutuhan akan sistem pendingin ini belum diimbangi dengan pengembangan pemanfaatan sumber daya energi yang digunakan, kebanyakan sistem pendinginan yang ada saat ini bekerja dengan sistem kompresi uap menggunakan energi listrik dan refrijeran sintetik (R-11, R-12, R-22, R-134a, dan R-502). Belum semua daerah terutama didaerah terpencil memiliki jaringan listrik sehingga sistem pendingin menggunakan energi lain seperti energi surya diharapkan dapat menjadi jawaban atas persoalan tersebut. Salah satu sistem pendingin energi surya adalah sistem pendingin adsorpsi, sistem pendingin adsorpsi hanya memerlukan energi panas

untuk dapat bekerja. Selain energi panas dari surya energi panas yang diperlukan juga dapat berasal dari pembakaran kayu, arang, bahan bakar minyak dan gas bumi. Energi panas juga dapat berasal dari buangan proses industri, biomassa, biogas atau dari energi alam seperti panas bumi dan energi surya. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti kemungkinan penerapan sistem pendingin adsorpsi energi surya menggunakan refrijeran amonia untuk memenuhi kebutuhan sistem pendingin di masyarakat terutama di daerah yang belum terdapat jaringan listrik. Dapat tidaknya suatu sistem pendingin diterapkan pada masyarakat ditentukan oleh unjuk kerja yang dihasilkan. Unjuk kerja suatu sistem pendingin ditunjukkan oleh temperatur terendah yang dapat dicapai dan koefisien unjuk kerja (COP) yang dapat dihasilkan. Temperatur terendah dan COP yang dihasilkan harus dapat memenuhi kapasitas

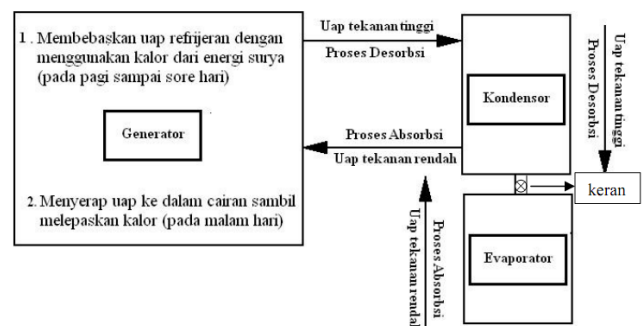
pendinginan (laju pendinginan) yang diperlukan di masyarakat. Pada penelitian ini unjuk kerja yang akan diteliti hanya pada temperatur terendah yang dapat dihasilkan sistem pendingin. Penelitian ini diharapkan dapat menambah kepustakaan teknologi pendingin dan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk diterapkan di masyarakat.

Penelitian sistem pendingin adsorpsi dengan menggunakan refrijeran amoniak-air dengan penggerak energi panas bumi yang menghasilkan temperatur pemanasan 90°C - 145°C di Meksiko untuk pendingin hasil pertanian menghasilkan kapasitas pendinginan sebesar 10,5 kW (Ayala,1994). Modifikasi sistem ini dengan menggunakan refrijeran amoniak-litium nitrat ($\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$) menghasilkan temperatur pendinginan 0°C - 10°C . Penelitian dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja pendingin adsorpsi kecil dengan pasangan refrijeran (i) air-litium chlorida dan (ii) air-litium chlorida/litium bromida (dengan perbandingan berat 1:1). Hasil penelitian tersebut menunjukkan untuk temperatur evaporator yang sama refrijeran air-LiBr/LiCl memerlukan temperatur pemanasan yang lebih kecil (Grover,1998). Penelitian pendingin adsorpsi menggunakan refrijeran litium bromida-air menunjukkan jika campuran refrijeran yang digunakan semakin jenuh maka temperatur sumber panas yang digunakan dapat semakin tinggi tanpa resiko terjadinya kristalisasi. Dengan semakin tingginya temperatur sumber panas yang digunakan maka temperatur pendinginan yang dihasilkan dapat semakin rendah (Best,2007). Penelitian pendingin adsorpsi menggunakan refrijeran air-litium bromida dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan kondisi kerja pada unjuk kerja yang dihasilkan. Hasil yang didapat menunjukkan parameter yang penting adalah temperatur pemanasan dan perbandingan laju aliran. Semakin tinggi temperatur pemanasan semakin tinggi unjuk kerja yang dihasilkan. Laju aliran yang lebih besar memerlukan temperatur generator yang lebih tinggi (Eisa, 2007). Studi untuk mengetahui karakteristik alat pendingin energi surya pada sebuah prototipe menghasilkan COP sebesar 19%. Pengujian dilakukan dengan menghitung energi yang diberikan dandihasilkan tiap komponen alat pada beberapa variasi kondisi kerja (Ali, 2002). Beberapa penelitian pendingin adsorpsi menggunakan zeolit-air mendapatkan bahwa harga COP sistem pendingin adsorpsi surya menggunakan zeolit-air akan mendekati konstan pada temperatur pemanasan 160°C atau lebih oleh Hinotani (1983). Eksperimen yang dilakukan dengan sistem pendingin adsorpsi surya menggunakan zeolit-air dan mendapatkan harga COP sebesar 0,12 (Grenier,1983). Penelitian pendingin adsorpsi zeolit-air tetapi COP yang dihasilkan hanya 0,1 (Pons, 1986). Pengetesan pada sistem pendingin adsorpsi surya menggunakan zeolit-air dengan kolektor plat

datar dan kondensor berpendingin udara mendapatkan COP yang rendah sebesar 0,054 modifikasi yang dilakukan dengan memvakumkan sistem dan penggunaan kolektor datar tidak banyak menaikkan harga COP (Zhu Zepei, 1987). Sedangkan penelitian yang dengan pemanasan 150°C didapatkan energi pendinginan sebesar 250 kJ per kilogram zeolit (Kreussler, 1999). Sebuah penyimpan dengan volume 125 L dapat didinginkan menggunakan kolektor seluas 3 m^2 . Dengan menggunakan kolektor parabola secara terpisah dari sistem pendingin sehingga setiap kali diperlukan proses pemvakuman berhasil mendapatkan COP sebesar 0,25 (Ramos, 2003). Sistem yang dipakai Ramos tidak menggunakan kondensor, Ramos juga mendapatkan kapasitas adsorpsi zeolit mencapai optimal dengan pemanasan tabung zeolit sebesar 250°C . Penelitian-penelitian tersebut menggunakan zeolit yang diproduksi di Jerman, Slovnaft-Czech, dan Perancis.

Dasar Teori

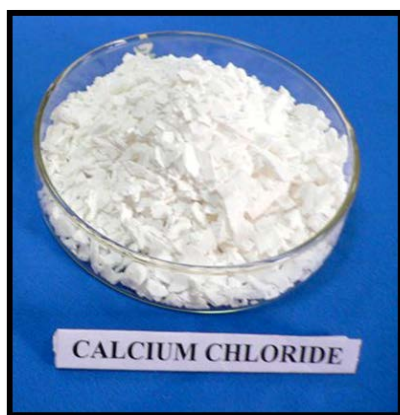
Sistem pendingin adsorpsi umumnya terdiri dari 3 (tiga) komponen utama yaitu: (1) generator, (2) kondensor dan (3) evaporator. Siklus pendinginan adsorpsi terdiri dari proses adsorpsi (penyerapan) refrijeran kedalam adsorber dan proses pelepasan refrijeran dari adsorber (proses desorpsi) proses ini dapat dilihat pada Gambar 1. Proses adsorpsi dan desorpsi terjadi pada generator. Pada proses desorpsi generator memerlukan energi panas dalam penelitian ini sebagai sumber energi panas digunakan energi surya. Refrijeran yang digunakan pada penelitian ini adalah amonia. Pada sistim pendingin adsorpsi dengan refrijeran amonia diperlukan bahan lain sebagai adsorber misalnya CaCl_2 . Adsorber berfungsi untuk menyerap uap amonia pada sistem pendingin agar proses pendinginan bahan (makanan dan obat) dapat berlangsung.



Gambar 1. Siklus pendingin adsorpsi

Energi surya digunakan untuk menaikkan temperatur campuran uap amoniak- CaCl_2 yang ada di dalam generator. Uap amoniak ini akan mengalir dari generator menuju evaporator melalui kondenser. Di dalam kondenser uap amoniak mengalami pendinginan. Evaporator umumnya diletakkan di dalam kotak pendingin. Di dalam kotak pendingin

tersebut diletakkan bahan-bahan yang akan didinginkan. Karena mendinginkan bahan maka cairan amoniak dalam evaporator akan menguap dan mengalir kembali ke dalam generator. Di dalam generator uap amoniak tersebut diserap oleh CaCl_2 , proses ini disebut adsorpsi. Siklus tersebut akan berlangsung terus selama ada sumber panas. Selama proses desorpsi pendinginan di dalam evaporator tidak dapat terjadi karena seluruh amoniak berada di dalam generator, oleh karenanya proses pendinginan tidak berlangsung secara kontinyu (*intermitten*).



Gambar 2. Kalsium klorida (CaCl_2)

Kalsium Klorida (CaCl_2)

Kalsium klorida (CaCl_2) adalah senyawa ionik yang terdiri dari unsur kalsium (logam alkali tanah) dan klorin. Sifatnya tidak berbau, tidak berwarna, solusi tidak beracun, yang digunakan secara ekstensif di berbagai industri dan aplikasi di seluruh dunia. Senyawa kimia ini adalah produk sampingan dari proses yang disebut *Solvay*, atau juga dikenal sebagai proses amonia-soda. Ini adalah proses utama yang digunakan oleh industri dalam memproduksi kalsium karbonat dimana kalsium karbonat direaksikan dengan asam klorida, sehingga menghasilkan kalsium klorida. Kalsium klorida dibuat dari campuran antara larutan asam klorida dengan kalsium hidroksida. Di Amerika kalsium klorida (CaCl_2) biasa digunakan untuk meleburkan es di jalan pada musim salju. Dengan menekan titik beku, kalsium klorida digunakan untuk mencegah terbentuknya es dan meleburkan es. Proses ini melibatkan konversi kalsium klorida menjadi air garam baik karena menyerap uap air atau air dari gas yang perlu dikeringkan. Kalsium klorida ini juga sering digunakan pada kolam yang kadar kalsium dalam airnya relatif sedikit. Penggunaan kalsium klorida membantu meningkatkan kadar kalsium air, dan juga dapat meminimalkan potensi korosi pada pompa. Kalsium klorida juga dicampurkan dengan beton dengan tujuan untuk memperkuat campurannya sebagaimana untuk membantu dalam pembangunan cepat (*fast track*) saat pengaturan awal suatu pembangunan. Namun tidak dianjurkan digunakan pada beton bertulang karena senyawanya mengandung

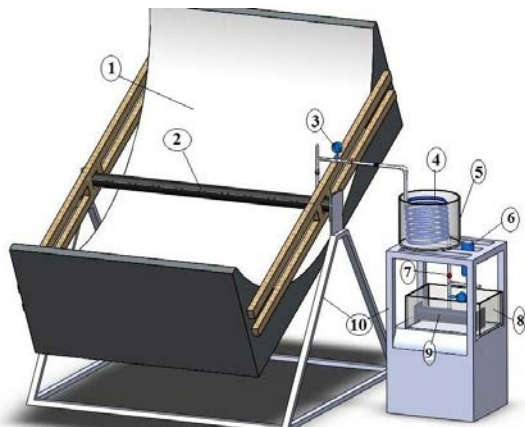
ion klorida yang bersifat korosif terhadap kerangka baja. Karena sifat higroskopisnya, kalsium klorida anhidrat harus disimpan dalam tempat kedap udara. Higroskopi adalah kemampuan suatu zat untuk menyerap molekul air dari lingkungannya melalui adsorpsi. Suatu zat disebut higroskopis jika zat itu mempunyai kemampuan menyerap molekul air dengan baik. Contoh zat-zat higroskopis adalah madu, gliserin, etanol, metanol, asam sulfat pekat, dan natrium hidroksida (soda kaustik) pekat. Kalsium klorida merupakan zat yang sangat higroskopis, sehingga kalsium klorida akan larut dalam molekul-molekul air yang diserapnya. Karena bahan-bahan higroskopis memiliki *afinitas* (daya serap) yang kuat terhadap kelembapan udara, biasanya disimpan di wadah tertutup. Karena sifat daya serapnya yang cukup baik dan bisa digunakan untuk menyerap amonia (NH_3) tanpa mengakibatkan reaksi kimia yang berbahaya, maka CaCl_2 dapat digunakan sebagai bahan adsorber untuk penelitian ini.

Amonia (NH_3)

Amonia adalah senyawa kimia dengan rumus kimia NH_3 . Senyawa ini didapati berupa gas dengan aroma tajam yang khas. Walaupun amonia memiliki sumbangan penting bagi keberadaan nutrisi di bumi, amonia sendiri adalah senyawa kaustik dan dapat merusak kesehatan. Administrasi Keselamatan dan Kesehatan Pekerjaan Amerika Serikat (AS) memberikan batas 15 menit bagi kontak dengan amonia dalam gas berkonsentrasi 35 ppm (*part-per million*) volume, atau 8 jam untuk 25 ppm volume. Kontak dengan gas amonia berkonsentrasi tinggi dapat menyebabkan kerusakan paru-paru dan bahkan bisa mengakibatkan kematian. Sekalipun amonia di AS diatur sebagai gas tak mudah terbakar, amonia masih digolongkan sebagai bahan beracun jika terhirup, dan pengangkutan amonia berjumlah lebih besar dari 3.500 galon (13,248 L) harus disertai surat ijin. Amonia yang digunakan secara komersial dinamakan *amoniam anhidrat*. Istilah ini menunjukkan tidak adanya air pada bahan tersebut. Karena amonia mendidih di suhu $-33,35^\circ\text{C}$, cairan amonia harus disimpan dalam tekanan tinggi atau temperatur amat rendah. Walaupun begitu, kalor penguapannya amat tinggi sehingga dapat ditangani dengan tabung reaksi biasa di dalam sungkup asap. "Amonia rumah" atau *amonium hidroksida* adalah larutan NH_3 dalam air. Dasar teori pembuatan amonia dari nitrogen dan hydrogen ditemukan oleh Fritz Haber (1908), seorang ahli kimia dari Jerman. Sedangkan proses industri pembuatan amonia untuk produksi secara besar-besaran ditemukan oleh Carl Bosch, seorang insinyur kimia juga dari Jerman. Beberapa sifat amonia diantaranya adalah mempunyai titik beku $-77,74^\circ\text{C}$ dan titik didih $-33,35^\circ\text{C}$. Pada suhu dan tekanan udara sekitar berfase gas dan tidak berwarna, berat jenisnya lebih

ringan daripada berat jenis udara (berat jenis uap amonia adalah 0.6 dan udara sama dengan 1), Baunya sangat menyengat. Amonia memiliki sifat basa, larutan amonia yang pekat mengandung 28% - 29% amonia pada suhu 25°C. Amonia memiliki kemampuan menetralkan asam dan saat dilarutkan dalam air akan membentuk amonium bermuatan positif (NH_4^+) dan ion hidroksida bermuatan negatif (OH^-). Di laboratorium banyak digunakan sebagai pereaksi analisis, baik kualitatif maupun kuantitatif. Dalam rumah tangga bisa digunakan dalam campuran pembersih sendok garpu perak dan barang logam lainnya. Dalam P3K (Pertolongan Pertama Pada Kecelakaan) amonia digunakan untuk obat sengatan serangga untuk menetralkan asam racunnya. Dalam aneka industri amonia digunakan sebagai bahan dasar pembuatan asam nitrat, Na-karbonat, pupuk ZA, pengisi mesin pendingin (pengganti *freon*), pengawet lateks, dan lain-lain. Zat ini juga digunakan sebagai campuran pembuat pupuk untuk menyediakan unsur nitrogen bagi tanaman.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan



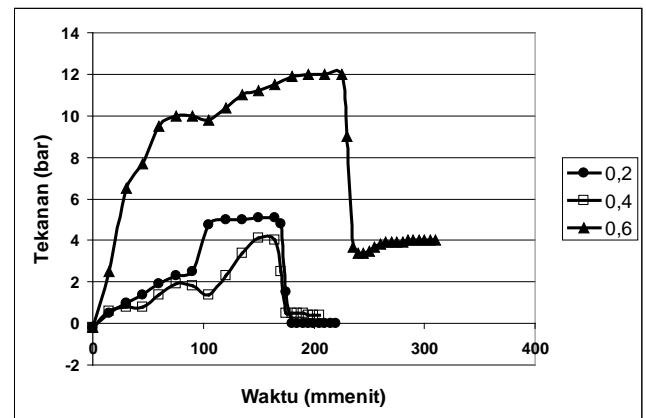
Gambar 3. Skema alat penelitian

Komponen pada alat penelitian (Gambar 3) adalah reflektor (1), generator (2), manometer P_1 (3), kondensor (4), kotak pendingin kondensator (5), dalam penelitian ini kondensator didinginkan air, torong pengisian (6), keran (7), kotak pendingin tempat bahan-bahan yang akan didinginkan atau tempat membuat es (8), evaporator (9) dan rangka pendukung evaporator (10). Generator ini mempunyai tinggi 200 cm dan berdiameter 10 cm. Dalam penelitian ini variabel-variabel yang diukur adalah temperatur generator (T_1), temperatur kondensator (T_2), temperatur evaporator (T_3), temperatur kotak pendingin (T_4), tekanan manometer P_1 , radiasi energi surya yang datang (G) dan waktu pencatatan data (t). Pada penelitian ini divariasikan 3 (tiga) variasi perbandingan massa amonia dengan CaCl_2 yakni sebesar 0,2; 0,4 dan 0,6. Amonia murni diperoleh dengan cara mendestilasi cairan amonia yang dapat diperoleh di toko-toko kimia. Asumsi yang digunakan

adalah kelarutan amonia murni dalam air sebesar 30g/100 ml. Langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut: pertama alat divakumkan menggunakan pompa vakum, pada generator dimasukkan adsorber (CaCl_2) sebanyak 6 kg dan ammonia gas, kemudian alat dipanasi dengan energi surya menggunakan reflektor.

Hasil dan Pembahasan

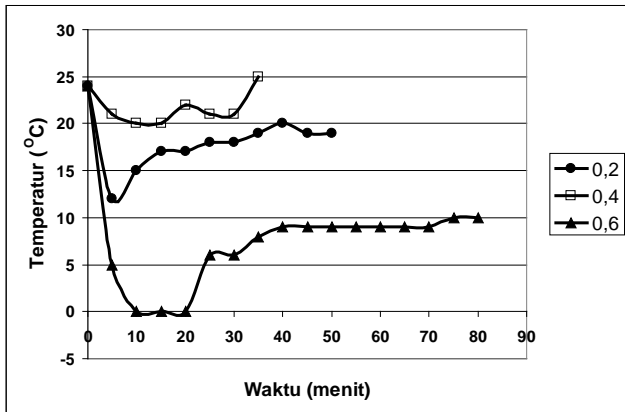
Hasil penelitian dari tiga variasi perbandingan massa amonia- CaCl_2 yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4 sampai Gambar 11.



Gambar 4. Tekanan sistem terhadap waktu dari ketiga variasi

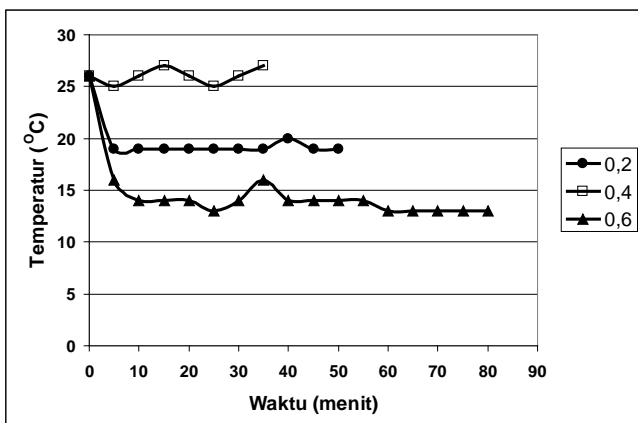
Gambar 4 memperlihatkan perubahan tekanan yang terjadi pada sistem dari ketiga variasi saat proses desorpsi (pemanasan) dan proses adsorpsi (pendinginan) terhadap waktu. Besar kenaikan tekanan dalam sistem selama proses pemanasan sangat tergantung pada intensitas radiasi surya yang datang. Terlihat variasi perbandingan massa amonia- CaCl_2 0,6 mengalami kenaikan temperatur yang terbesar. Hal tersebut disebabkan intensitas energi surya saat pengambilan data variasi ini cukup baik. Hubungan antara kenaikan tekanan sistem dengan intensitas energi surya yang datang pada setiap variasi dapat dilihat pada Gambar 7, 8 dan 9. Dari Gambar 7, 8 dan 9 terlihat intensitas energi surya terbesar memang terjadi saat pengambilan data variasi perbandingan massa amonia- CaCl_2 0,6. Intensitas radiasi surya saat pengambilan data variasi perbandingan massa amonia- CaCl_2 0,2 sebenarnya tidak jauh berbeda dengan variasi perbandingan massa amonia- CaCl_2 0,6 (Gambar 7) tetapi dengan massa amoniak yang lebih sedikit maka tekanan sistem sulit untuk naik. Intensitas radiasi surya saat pengambilan data variasi perbandingan massa amonia- CaCl_2 0,4 terlihat sangat tidak konstan (Gambar 8) sehingga tekanan sistem yang dihasilkan merupakan yang terendah. Setelah proses pemanasan selesai dilakukan penutupan katup. Pembukaan katup

untuk memulai proses adsorpsi dilakukan saat temperatur generator sudah kembali dingin. Pada Gambar 4 terlihat proses adsorpsi untuk semua variasi berlangsung cepat.



Gambar 5. Temperatur evaporator (T_3) terhadap waktu pada proses adsorpsi dari ketiga variasi

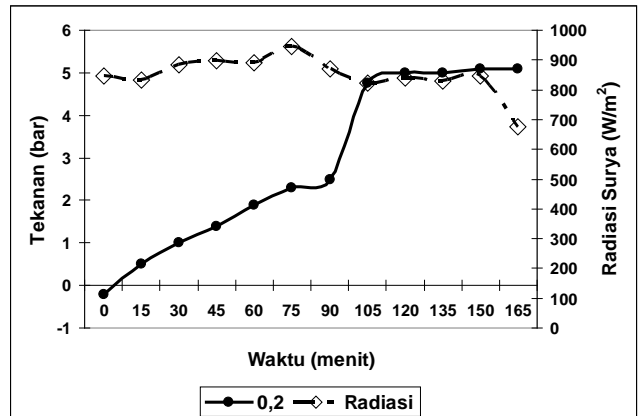
Gambar 5 memperlihatkan temperatur pada evaporator saat dilakukan proses adsorpsi. Terlihat temperatur evaporator pada variasi perbandingan massa amonia- CaCl_2 0,6 turun dengan cepat dan dapat mencapai 0°C . Temperatur evaporator pada variasi perbandingan massa amonia- CaCl_2 0,2 dan 0,4 juga turun dengan cepat, tetapi hanya mencapai 12°C dan 20°C . Hal ini disebabkan tekanan sistem pada proses pemanasan untuk variasi perbandingan massa amonia- CaCl_2 0,2 (5 bar) dan variasi perbandingan massa amonia- CaCl_2 0,4 (4 bar) tidak sebesar tekanan sistem untuk variasi perbandingan massa amonia- CaCl_2 0,6 (12 bar). Semakin tinggi tekanan sistem saat proses desorpsi (pemanasan) semakin banyak amoniak yang dapat terkumpul (mengembun) di evaporator.



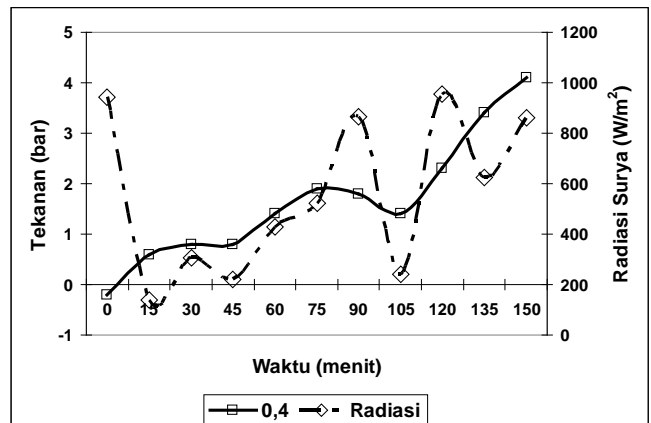
Grafik 6. Temperatur kotak pendingin (T_4) terhadap waktu pada proses adsorpsi dari ketiga variasi.

Dampak dari temperatur terendah evaporator yang dapat dicapai dapat dilihat pada temperatur dalam kotak pendingin (Gambar 6). Temperatur dalam kotak pendingin untuk variasi perbandingan massa

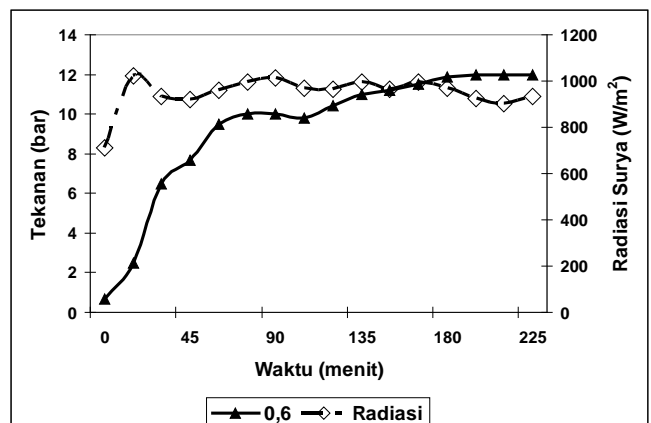
amonia- CaCl_2 0,6 dapat mencapai 13°C , sedangkan temperatur kotak pendingin pada variasi yang lain lebih tinggi.



Gambar 7. Tekanan sistem dan radiasi surya terhadap waktu pada proses desorpsi untuk variasi perbandingan amonia- CaCl_2 sebesar 0,2



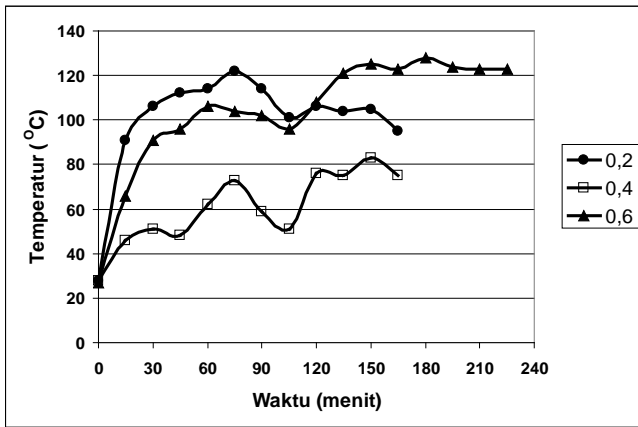
Gambar 8. Tekanan sistem dan radiasi surya terhadap waktu pada proses desorpsi untuk variasi perbandingan amonia- CaCl_2 sebesar 0,4



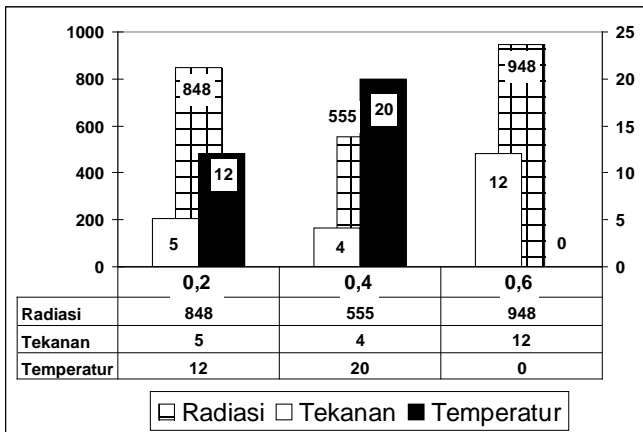
Gambar 9. Tekanan sistem dan radiasi surya terhadap waktu pada proses desorpsi untuk variasi perbandingan amonia- CaCl_2 sebesar 0,6

Gambar 10 memperlihatkan temperatur generator saat dilakukan proses desorpsi (pemanasan). Temperatur generator sangat tergantung pada

intensitas radiasi surya yang datang. Terlihat temperatur generator pada variasi perbandingan massa amonia-CaCl₂ 0,6 dapat mencapai 125°C sedangkan dua variasi yang lain hanya sekitar 114°C dan 86°C.



Gambar 10. Temperatur generator (T₁) terhadap waktu pada proses adsorpsi dari ketiga variasi



Gambar 11. Hubungan antara radiasi surya rata-rata dengan tekanan desorpsi maksimum dan temperatur terendah evaporator yang dapat dicapai pada proses adsorpsi

Gambar 11 memperlihatkan hubungan antara radiasi surya rata-rata (W/m²) dengan tekanan desorpsi maksimum (bar) dan temperatur terendah evaporator yang dapat dicapai (°C) pada proses adsorpsi untuk ketiga variasi yang dilakukan secara umum

Kesimpulan

Temperatur evaporator terendah yang dapat dihasilkan adalah 0° C menggunakan variasi perbandingan amonia-CaCl₂ sebesar 0,6

Ucapan Terima kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada DP2M Dikti yang telah membiayai penelitian ini melalui program Hibah Bersaing 2012 (tahun III) serta kepada saudara Martinus Nopi, Eko Febri Damar

Sasongko dan Puji Agung Sudrajat yang telah membantu penelitian ini.

Referensi

Ali R., Ghalban E. (2002), *Operational Results of an Intermittent Absorption Cooling Unit*, *International Journal of Energy Research* 26 (9):825-835 (2002)

Ayala R., Frias J. L., Lam L., Heard C. L., Holland F. A. (1994), *Experimental assessment of an ammonia/lithium nitrate absorption cooler operated on low temperature geothermal energy. Heat recovery systems & CHP ISSN 0890-4332 CODEN HRSCEQ*, 1994, vol. 14, no4, pp. 437-446 (5 ref.)

Best, R., Holland, F.A. (2007), *A study of the operating characteristics of an experimental absorption cooler using ternary systems*, *International Journal of Energy Research*, Volume 14 Issue 5, Pages 553 – 561 2007

Eisa M.A.R., Holland, F.A. (2007), *A study of the operating parameters in a water-lithium bromide absorption cooler*, *International Journal of Energy Research*, Volume 10 Issue 2, Pages 137 – 144 2007

Grenier, Ph. (1983), *Experimental Result on a 12 m³ Solar Powered Cold Store Using the Intermittent Zeolite 13x-Water Cycle*. Solar World Congress, Pergamon Press, pp. 353-358, 1984

Grover G.S, Devotta S., Holland F.A. (1998), *Performance of an experimental absorption cooler using aqueous lithium chloride and lithium chloride/lithium bromide solutions*, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 1989, 28 (2), pp 250–253

Hinotani, K. (1983), *Development of Solar Actuated Zeolite Refrigeration System*. Solar World Congress, Vol.1, Pergamon Press, pp. 527-531.

Kreussler, S (1999), *Experiments on Solar adsorption refrigeration Using Zeolite and Water*. Laboratory for Solar Energy, University of Applied Sciences Germany.

Pons, M. 1986. *Design of solar powered solid adsorption ice-maker*. ASME J. of Solar Engineering, 108, 327-337

Ramos, M. 2003. *Evaluation Of A Zeolite-Water Solar Adsorption Refrigerator*. Sweden, Goteborg: ISES Solar World Congress

Zepei, Z. 1987. *Testing of a Solar Powered Zeolite-Water Refrigeration*, Bangkok: M. Eng. Thesis. AIT