

Studi Eksperimental Pendingin Absorpsi Amonia-Air Energi Surya

Experimental Study Of Solar Energy Ammonia-Water Absorption Refrigeration

¹F.A. Rusdi Sambada, ²I Gusti Ketut Puja

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Sanata Dharma

Kampus III Paingen Maguwoharjo Depok Sleman Yogyakarta

[¹rusdisambada@yahoo.co.id](mailto:rusdisambada@yahoo.co.id), [²ketut@usd.ac.id](mailto:ketut@usd.ac.id)

Abstrak

Pada pendingin absorpsi energi surya terdapat dua proses yakni proses desorpsi dan absorpsi. Proses desorpsi merupakan proses pemisahan amonia dari air, proses ini memerlukan energi surya. Pada proses desorpsi tidak terjadi kerja pendinginan. Proses absorpsi merupakan proses penyerapan kembali amonia oleh air, proses ini terjadi dari malam sampai pagi hari. Pada proses absorpsi terjadi proses pendinginan. Karena proses pendinginan hanya terjadi dari malam sampai pagi hari, maka umumnya sistem pendingin ini 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 absorpsi amonia-air energi surya untuk mengetahui temperatur pendinginan terendah yang dapat dihasilkan. Model pendingin amonia-air 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 sepanjang 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. Pada generator terdapat pipa celup agar proses absorpsi dapat berjalan dengan baik. Di antara generator dan evaporator terdapat keran yang dioperasikan terbuka dan tertutup secara manual. Variasi kondisi kerja sistem pendingin pada penelitian ini adalah variasi fluida pendingin kondensor dan evaporator yakni air dan udara. Variasi kondisi keran pemisah antara generator dan evaporator yakni kondisi selalu terbuka dan tidak selalu terbuka. Variabel yang diukur dalam penelitian ini adalah temperatur generator (T_1), temperatur kondensor (T_2), temperatur evaporator (T_3), tekanan generator (P_1), tekanan evaporator (P_2) dan intensitas energi surya (G). Hasil penelitian menunjukkan temperatur terrendah yang dapat dicapai adalah -5° .

Keywords: pendingin, absorpsi, desorpsi, amonia-air, energi surya

Pendahuluan

Kebutuhan akan sistem pendingin untuk pengawetan dan penyimpanan bahan makanan, hasil panen, obat-obatan dan keperluan lainnya dirasakan semakin meningkat. Namun sampai saat ini kebanyakan sistem pendingin yang ada bekerja dengan sistem kompresi uap yang membutuhkan energi listrik dan menggunakan refrigeran sintetik seperti R-11, R-12, R134a, R-502. Hal ini bisa menjadi masalah, karena sampai saat ini banyak desa, khususnya di daerah terpencil, yang belum memiliki jaringan listrik, sehingga sistem pendingin sederhana yang dapat bekerja tanpa membutuhkan energi listrik merupakan alternatif pemecahan permasalahan kebutuhan sistem pendingin di daerah-daerah tersebut. Selain itu refrigeran sintetik juga menimbulkan dampak negatif pada lingkungan, yaitu merusak lapisan ozon, yang tentu akan memperparah efek pemanasan global di bumi ini. Pada dasarnya penelitian ini bertujuan untuk menjajagi kemungkinan penerapan sistem pendingin absorpsi energi panas menggunakan refrigeran air untuk memenuhi

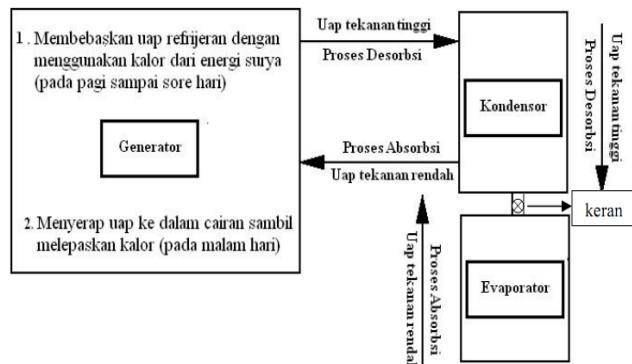
kebutuhan sistem pendingin di masyarakat terutama di daerah yang belum terdapat jaringan listrik. Dapat tidaknya suatu sistem pendingin diterapkan pada masyarakat ditentukan oleh beberapa hal. Hal pertama adalah bagaimana unjuk kerja yang dapat dihasilkan oleh sistem pendingin tersebut. Unjuk kerja suatu sistem pendingin dapat dilihat dari 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 masyarakat. Hal kedua yang juga penting adalah disain alat pendingin tersebut harus dapat dioperasikan dan dirawat sendiri oleh masyarakat pengguna serta dapat dibuat dengan teknologi dan bahan yang ada di daerah. Dalam penelitian ini unjuk kerja yang akan diteliti hanya temperatur terendah yang dapat dicapai. Penelitian dilakukan di Yogyakarta yang berada di 8° LS . secara eksperimental menggunakan model alat pendingin absorpsi amonia-air. Temperatur diukur menggunakan termokopel dengan alat penampil yang hanya dapat

mengukur temperatur terendah sebesar -5°C . Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah kepustakaan teknologi pendingin terutama sistem absorpsi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk membuat prototipe dan produk teknologi pendingin absorpsi yang dapat diterima masyarakat.

Beberapa penelitian pendingin adsorpsi menggunakan zeolit-air dengan energi surya yang pernah dilakukan diantaranya oleh Hinotani (1983) yang menggunakan zeolit-air mendapatkan kecenderungan harga COP sistem pendingin adsorpsi surya akan medekati konstan pada temperatur pemanasan 160°C atau lebih. Eksperimen sistem pendingin adsorpsi surya oleh Grenier (1983) menggunakan zeolit-air mendapatkan harga COP sebesar 0,12. Penelitian pendingin adsorpsi serupa oleh Pons (1986) dengan menggunakan zeolit-air juga pernah dilakukan tetapi COP yang dihasilkan hanya 0,1. pengetesan pada sistem pendingin adsorpsi surya menggunakan zeolit-air dengan kolektor plat datar dan kondensor berpendingin udara mendapatkan COP yang rendah sebesar 0,054 dilakukan oleh Zhu Zepei (1987). Pada penelitian tersebut modifikasi yang dilakukan adalah dengan memvakumkan sistem dan penggunaan kolektor datar tetapi hal ini tidak banyak menaikkan harga COP. Penelitian lain oleh Kreussler (1999) dengan pemanasan 150°C didapatkan energi pendinginan sebesar 250 kJ per kilogram zeolit. Pada penelitian tersebut sebuah penyimpan dengan volume 125 L dapat didinginkan menggunakan kolektor seluas 3 m^2 . Selanjutnya Ramos (2003) mendapatkan COP sebesar 0,25 dengan menggunakan kolektor parabola secara terpisah dari sistem pendingin sehingga setiap siklus pendinginan diperlukan proses pemvakuman secara manual. Sistem yang dipakai tidak menggunakan kondensor, namun penelitian tersebut mendapatkan kapasitas adsorpsi zeolit mencapai optimal dengan pemanasan tabung zeolit dengan temperatur pemanasan sebesar 250°C . Penelitian-penelitian tersebut di atas menggunakan zeolit yang diproduksi di Jerman, Slovnaft-Czech, dan Perancis.

Sistem pendingin absorpsi pada umumnya terdiri dari 4 (empat) komponen utama yaitu : (1) absorber, (2) generator, (3) kondensor, (4) evaporator. Pada penelitian ini model pendingin absorpsi yang digunakan hanya terdiri dari tiga komponen utama yaitu, generator yang juga berfungsi sebagai absorber, evaporator dan kondensor seperti terlihat pada Gambar 1. Di antara evaporator dan kondensor terdapat keran pemisah. Siklus pendinginan absorpsi terdiri dari proses absorpsi (penyerapan) refrijeran (amonia) ke dalam absorber (air) dan proses pelepasan refrijeran dari absorber (proses desorpsi). Proses ini juga dapat dilihat pada Gambar 1. Proses desorpsi dan absorpsi terjadi pada absorber (generator). Pada proses desorpsi generator memerlukan energi panas untuk dapat menguapkan

amonia. Energi panas dapat berasal dari pembakaran kayu, batubara, minyak bumi, gas alam, panas bumi, biogas, dan sebagainya. Pada penelitian ini energi panas yang digunakan berasal dari energi surya. Proses kerja yang terjadi di dalam sistem pendingin absorpsi adalah sebagai berikut: energi panas dari energi surya memanasi generator sehingga menaikkan temperatur campuran ammonia-air yang ada dalam tabung generator. Karena amonia mempunyai titik didih yang lebih rendah dibanding air maka amonia akan menguap terlebih dahulu. Uap amonia ini akan mengalir dari generator menuju ke evaporator. Di dalam evaporator uap amonia akan mengalami pendinginan dan mengembun. Evaporator umumnya diletakkan di dalam kotak pendingin bersama bahan-bahan yang ingin didinginkan. Karena mendinginkan bahan-bahan yang terdapat di dalam kotak maka cairan amonia di dalam evaporator akan menyerap kalor dari bahan-bahan tersebut dan menguap. Uap amonia akan mengalir kembali ke dalam generator. Di dalam generator uap amonia tersebut diserap oleh air, proses ini disebut absorpsi. Siklus tersebut akan berlangsung terus-menerus jika ada sumber panas. Selama proses desorpsi pendinginan di dalam evaporator tidak dapat terjadi karena amonia masih bercampur dengan air di dalam generator.

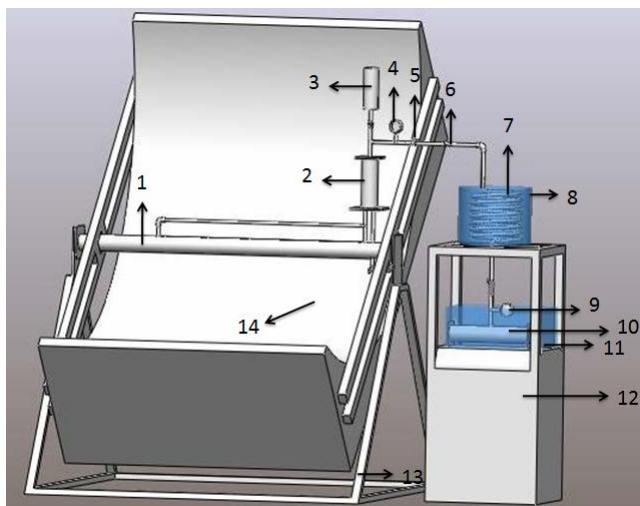


Gambar 1. Siklus pendingin absorpsi

Amonia (NH_3), adalah gas beracun dan tak bewarna dengan aroma yang khas. Amonia digunakan dalam banyak kasus sebagai larutan amonia dalam air, yakni dengan dilarutkan dalam air, amonia cair juga digunakan sebagai pelarut non-air untuk reaksi khusus. Sejak dikembangkannya proses Harber-Bosch untuk sintesis amonia di tahun 1913, amonia telah menjadi senyawa yang paling penting dalam industri kimia dan digunakan sebagai bahan baku banyak senyawa yang mengandung nitrogen. Amonia juga digunakan sebagai refrigeran (pada sistem pendingin), selain itu juga digunakan dalam pembuatan polimer dan bahan letupan. Selain memiliki aroma khas yang menyengat, beberapa sifat lain dari amonia adalah: titik beku $-77,74^{\circ}\text{C}$ dan titik didih $-33,5^{\circ}\text{C}$ pada tekanan udara sekitar. Beratnya lebih ringan dibanding

udara. Amonia memiliki sifat basa, larutan amonia yang pekat mengandung 28%-29% amonia pada suhu 25°C. Amonia bersifat korosif terhadap tembaga dan timah. Amonia umum digunakan sebagai bahan pembuat obat-obatan, amonia yang dilarutkan dalam air dapat digunakan untuk membersihkan berbagai perkakas rumah tangga. Amonia juga digunakan sebagai campuran pembuat pupuk untuk menyediakan unsur nitrogen bagi tanaman. Dalam penggunannya, diperlukan kehati-hatian karena konsentrasi yang tinggi dari amonia sangat berbahaya bagi kesehatan.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan



Gambar 2. Skema alat penelitian

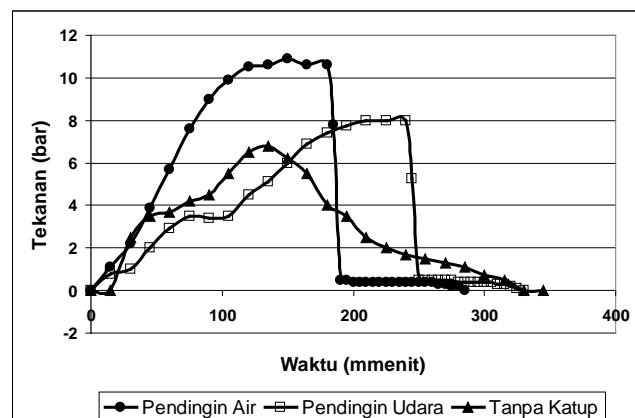
Komponen pada alat penelitian (Gambar 2) adalah generator (1), pipa celup (2), torong pengisian (3), manometer P₁ (4), keran atau katup pemisah (5), penghubung (6), kondensor (7), kotak pendingin kondensor (8), dalam penelitian ini kondensor didinginkan air, manometer P₂ (9), evaporator (10), kotak pendingin tempat bahan-bahan yang akan didinginkan atau tempat membuat es (11), rangka pendukung evaporator (12), rangka pendukung, generator dan kolektor (13), reflektor (14). Generator ini mempunyai tinggi 200 cm dan berdiameter 10 cm sedangkan katup fluida satu arah mempunyai tinggi 30 cm dan berdiameter 10 cm. Dalam penelitian ini variabel-variabel yang diukur adalah temperatur generator (T₁), temperatur kondensor (T₂), temperatur evaporator (T₃), temperatur kotak pendingin (T₄), tekanan manometer P₁ dan P₂, radiasi energi surya yang datang (G) dan waktu pencatatan data (t). Pada penelitian ini divariasikan 3 (tiga) kondisi kerja alat. Variasi pertama adalah kondisi pendingin evaporator menggunakan air (variasi ini disebut variasi pendingin air), pada variasi ini evaporator didinginkan air saat proses pemanasan generator berlangsung (proses desorpsi). Pada proses absorpsi, evaporator tidak terendam air. Pada variasi ini katup pemisah dioperasikan buka-tutup secara manual yakni dalam

kondisi terbuka saat proses desorpsi, kemudian ditutup saat tekanan sudah maksimum dan dibuka kembali saat akan melakukan proses absorpsi (proses pendinginan). Variasi kedua disebut variasi pendingin udara. Variasi kedua ini sama dengan variasi pertama, bedanya adalah evaporator tidak pernah didinginkan air baik saat proses desorpsi maupun saat proses absorpsi. Variasi ketiga disebut dengan variasi tanpa katup. Variasi ketiga ini sama dengan variasi kedua, bedanya katup pemisah antara evaporator dan kondensor selalu dalam kondisi terbuka, sehingga seolah-olah tidak menggunakan katup.

Langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut: pertama sistem divakumkan dengan menggunakan pompa vakum. Setelah vakum alat diisi dengan campuran amonia-air dengan konsentrasi 30%. Kemudian alat dipanasi dengan menggunakan energi surya, proses ini adalah proses desorpsi. Setelah tekanan maksimum dilakukan proses absorpsi.

Hasil dan Pembahasan

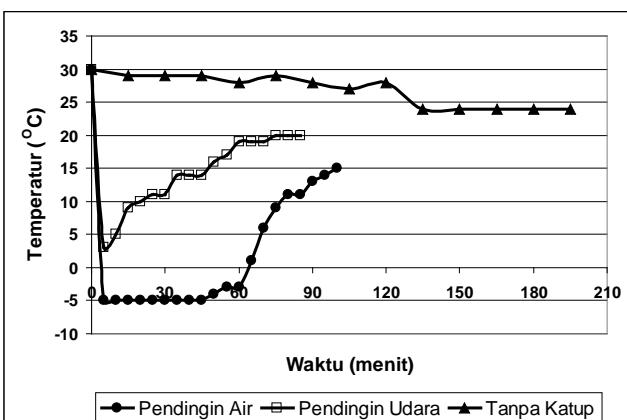
Hasil penelitian dari tiga variasi kondisi alat yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3 sampai Gambar 10.



Gambar 3. Tekanan sistem terhadap waktu dari ketiga variasi

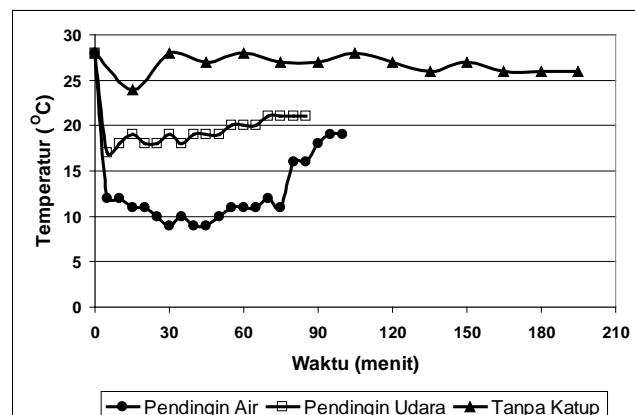
Gambar 3 memperlihatkan perubahan tekanan yang terjadi pada sistem dari ketiga variasi saat proses desorpsi (pemanasan) dan proses absorpsi (pendinginan) terhadap waktu. Besar kenaikan tekanan dalam sistem selama proses pemanasan sangat tergantung pada intensitas radiasi surya yang datang. Terlihat variasi pendingin air 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 6, 7 dan 8. Dari Gambar 6, 7 dan 8 terlihat intensitas energi surya terbesar memang terjadi saat pengambilan data variasi pendingin air.

Intensitas radiasi surya saat pengambilan data variasi pendingin udara dan variasi tanpa katup terlihat sangat tidak konstan (Gambar 7 dan 8). Setelah proses pemanasan selesai dilakukan penutupan katup pada variasi pendingin air dan variasi pendingin udara, sedangkan pada variasi tanpa katup tidak dilakukan penutupan katup. Pembukaan katup untuk memulai proses absorpsi untuk variasi pendingin air dan udara dilakukan saat temperatur generator sudah kembali dingin. Pada Gambar 3 terlihat proses absorpsi untuk variasi pendingin air dan udara berlangsung cepat sedangkan untuk variasi tanpa katup proses absorpsi berlangsung lebih lama. Lamanya proses absorpsi pada variasi tanpa katup disebabkan karena temperatur generator masih tinggi.

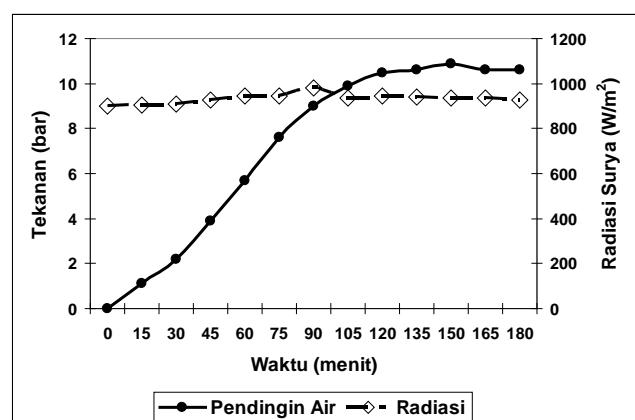


Gambar 4. Temperatur evaporator (T_3) terhadap waktu pada proses absorpsi dari ketiga variasi

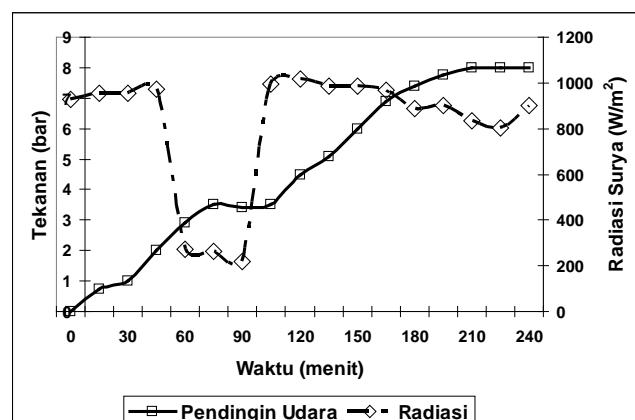
Gambar 4 memperlihatkan temperatur pada evaporator saat dilakukan proses absorpsi. Terlihat temperatur evaporator pada variasi pendingin air turun dengan cepat dan dapat mencapai -5°C , sehingga terbentuk bunga es pada evaporator (Gambar 11). Temperatur evaporator pada variasi pendingin udara juga turun dengan cepat, tetapi hanya mencapai 3°C . Hal ini disebabkan tekanan sistem pada proses pemanasan untuk variasi pendingin udara (8 bar) tidak sebesar tekanan sistem untuk variasi pendingin air (11 bar). Semakin tinggi tekanan sistem saat proses desorpsi (pemanasan) semakin banyak amoniak yang dapat terkumpul (mengembun) di evaporator. Hasil terburuk didapatkan pada variasi tanpa katup. Temperatur terendah evaporator pada variasi tanpa katup hanya dapat mencapai 24°C . Hal ini disebabkan selain tekanan sistem saat proses desorpsi tidak tinggi (7 bar) juga disebabkan proses absorpsinya berjalan lambat, sehingga temperatur tidak dapat turun dengan cepat. Dampak dari temperatur terendah evaporator yang dapat dicapai dapat dilihat pada temperatur dalam kotak pendingin (Gambar 5). Temperatur dalam kotak pendingin untuk variasi pendingin air dapat mencapai 9°C , sedangkan temperatur kotak pendingin pada variasi yang lain lebih tinggi.



Gambar 5. Temperatur kotak pendingin (T_4) terhadap waktu pada proses absorpsi dari ketiga variasi

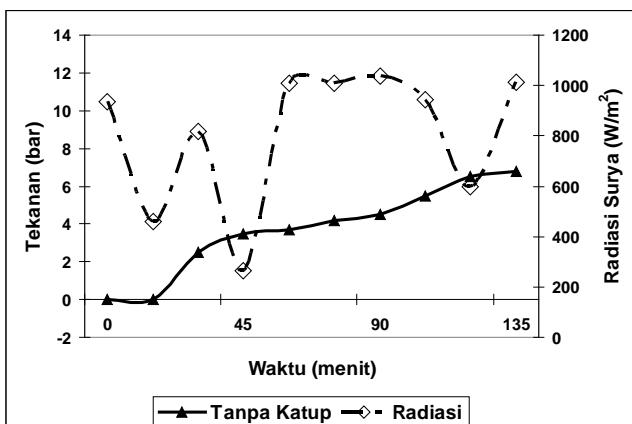


Gambar 6. Tekanan sistem dan radiasi surya terhadap waktu pada proses desorpsi untuk variasi pendingin evaporator menggunakan air

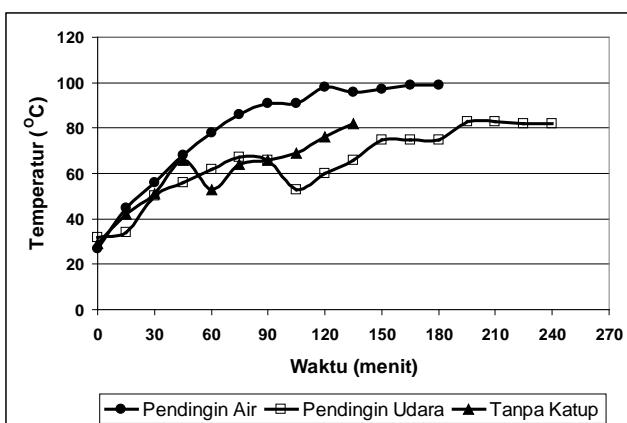


Gambar 7. Tekanan sistem dan radiasi surya terhadap waktu pada proses desorpsi untuk variasi pendingin evaporator menggunakan udara

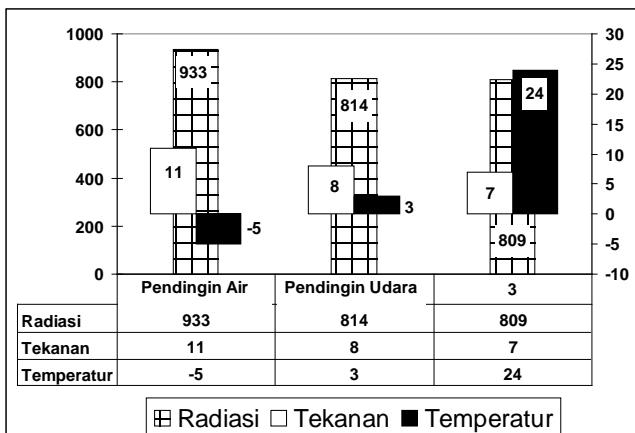
Gambar 9 memperlihatkan temperatur generator saat dilakukan proses desorpsi (pemanasan). Temperatur generator sangat tergantung pada intensitas radiasi surya yang datang. Terlihat temperatur generator pada variasi pendingin air dapat mencapai 100°C sedangkan dua variasi yang lain hanya sekitar 80°C .



Gambar 8. Tekanan sistem dan radiasi surya terhadap waktu pada proses desorpsi untuk variasi katup pemisah selalu terbuka (tanpa katup)



Gambar 9. Temperatur generator (T_1) terhadap waktu pada proses absorpsi dari ketiga variasi



Gambar 10. Hubungan antara radiasi surya rata-rata dengan tekanan desorpsi maksimum dan temperatur terendah evaporator yang dapat dicapai pada proses absorpsi

Gambar 10 memperlihatkan hubungan antara radiasi surya rata-rata (W/m^2) dengan tekanan desorpsi maksimum (bar) dan temperatur terendah evaporator yang dapat dicapai ($^\circ\text{C}$) pada proses absorpsi untuk ketiga variasi yang dilakukan secara umum.



Gambar 11. Bunga es di evaporator saat proses absorpsi mencapai temperatur -5°C pada variasi pendingin evaporator menggunakan air

Kesimpulan

Temperatur pendinginan terendah yang bisa dicapai pada penelitian ini adalah -5°C pada variasi kondensor dan evaporator berpendingin air

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 Agustinus Supriyono, Ricardo Redy Hanawijaya dan Petrus Damianus Bayu Dwi Wicaksono yang telah membantu penelitian ini.

Referensi

- 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
- Hinotani, K. 1983. *Development of Solar Actuated Zeolite Refrigeration System*. Solar World Congress, Pergamon Press, pp. 527-531
- Kreussler, S. 1999. *Experiments on Solar adsorption refrigeration Using Zeolite and Water*. Germany: University of Applied Sciences, Laboratory for Solar Energy
- 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