



JURNAL RONA TEKNIK PERTANIAN

ISSN : 2085-2614

JOURNAL HOMEPAGE : <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/RTP>



Potensi Pemanfaatan Membran Untuk Regenerasi Refrigeran Dari Absorber Pada Sistem Pendingin Absorpsi Lithium Bromide-H₂O

Bayu Rudiyanto¹⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Energi Terbarukan, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Jember
email: bayu_rudiyanto@yahoo.com

Abstrak

Sistem pendingin absorpsi mempunyai karakteristik yaitu untuk menghasilkan siklus pendinginan tidak menggunakan kompresor tetapi menggunakan energi panas. Pemanfaatan energi tingkat rendah atau panas untuk proses regenerasi pada generator tidak semua bisa dimanfaatkan bila temperatur kurang dari 85 °C. Oleh karena itu perlu dicari alternatif proses untuk memisahkan antara refrigeran dan absorban tanpa penggunaan panas yang tinggi. Salah satu teknik pemisahan yang sedang berkembang saat ini adalah teknologi membran, dimana prinsip kerjanya adalah dengan memindahkan pelarut dari larutan encer menjadi larutan pekat (*strong solution*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tekanan operasi sebesar 7 bar menunjukkan tingkat faktor rejeksi yang paling tinggi yaitu sebesar 0,96 tetapi massa fluks yang dihasilkan adalah paling rendah jika dibandingkan dengan tekanan operasi 7,2 bar dan 7,4 bar. Tekanan 7 bar dengan tingkat rejeksi 0.96 akan menghasilkan waktu pendinginan yang lama, selain itu tingkat faktor rejeksi akan berakibat besarnya beda tekanan uap antara ruang evaporator dan absorber yang akan mempengaruhi temperatur terendah yang dicapai.

Kata Kunci: Sistem pendingin absorpsi, energi panas, membran, rejeksi

Utilization Potential Of Membrane For Regeneration Refrigerant From Absorber On Lithium Bromide Absorption-H₂O Cooling System

Bayu Rudiyanto¹⁾

¹⁾ Department of Renewable Energy Engineering, Jember Polytechnic
Email: bayu_rudiyanto@yahoo.com

Abstract

The absorption refrigeration system has the characteristic is to produce cycle cooling not using compressor but using thermal energy. Utilization of low-level energy or heat to the regeneration process in the generator, not all can be used when the temperature is less than 85 °C. So it is necessary to find an alternative process for separating between the refrigerant and absorbent to help or do not use high heat. One of the emerging separation technique today is the membrane technology. The working principle of membrane technology in the separation solution is to remove the solvent from weak solution to strong solution. The results showed that the operating pressure of 7 bar indicates the level of the highest rejection factor is equal to 0.96 but the resulting mass flux is low when compared to the operating pressure of 7.2 bar and 7.4 bar. Pressure of 7 bar with a rejection rate of 0.96 will result in a longer cooling time, otherwise it will result in rejection factor levels vapor pressure difference between the evaporator and the absorber chamber that will affect the lowest temperature attained.

Keywords: Absorption refrigeration system, heat energy, membrane, rejection

PENDAHULUAN

Sistem pendingin absorpsi dikembangkan pada tahun 1850-an oleh Ferdinand Care dan menjadi sistem pendinginan utama saat itu sebelum kemunculan mesin pendingin kompresi uap pada tahun 1880-an yang berkembang sampai sekarang. Sistem pendinginan absorpsi mempunyai karakteristik tersendiri untuk menghasilkan efek pendinginan. Karakteristik tersebut adalah tidak menggunakan tenaga mekanik sebagai penggerak melainkan panas (*heat-operated cycle*), dan menggunakan refrigeran yang ramah lingkungan (*environmental friendly refrigerant*). Dua karakteristik tersebut menjadi keunggulan sistem pendingin absorpsi sehubungan dengan meningkatnya perhatian terhadap lingkungan dan semakin langkanya sumber energi komersial yang umum digunakan untuk menghasilkan tenaga mekanik. Sistem pendingin absorpsi selalu menggunakan dua jenis (pasangan) zat yang berbeda. Salah satu zat tersebut berfungsi sebagai penyerap (*absorber*) sedangkan zat lainnya berfungsi sebagai refrigeran (*refrigerant*). Pasangan refrigeran dan penyerap yang umum digunakan pada sistem pendingin absorpsi adalah $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ dan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$. Pada pasangan $\text{LiBr-H}_2\text{O}$, LiBr berfungsi sebagai penyerap dan air berfungsi sebagai refrigeran. Sedangkan pada pasangan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$, air berfungsi sebagai penyerap dan amonia berfungsi sebagai refrigeran.

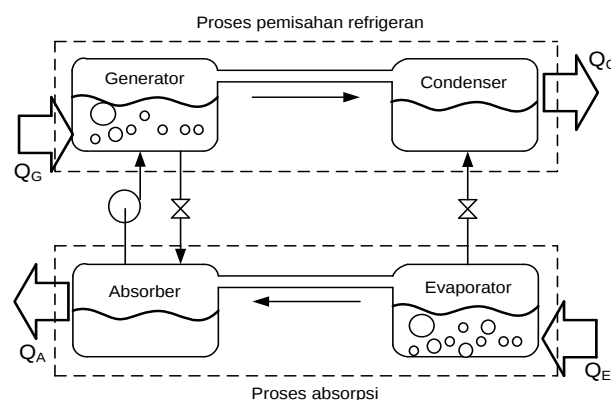
Panas merupakan bentuk energi utama yang digunakan pada siklus pendinginan absorpsi, yang berfungsi untuk meregenerasi refrigeran dari zat penyerapnya, yang berlangsung di generator. Penggunaan panas sebagai pengganti tenaga mekanik merupakan keunggulan karena panas sering dianggap sebagai bentuk energi berkualitas rendah (*low-grade energy*). Meskipun demikian, penggunaan panas untuk regenerasi refrigeran pada sistem pendingin absorpsi berlangsung pada suhu tinggi, sehingga seringkali menjadi kendala pengembangan sistem pendingin tersebut. Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dicari alternatif proses untuk memisahkan antara refrigeran dan absorban tanpa menggunakan panas yang tinggi. Salah satu teknik pemisahan yang sedang berkembang saat ini adalah teknologi membran. Prinsip kerja teknologi membran ini didalam pemisahan larutan adalah berdasarkan besar molekul. Penelitian ini bertujuan untuk melihat potensi penggunaan membran sebagai pengganti generator pada siklus refrigerasi absorpsi.

PERKEMBANGAN PEMANFAATAN MEMBRAN PADA SISTEM PENDINGIN ABSORPSI

Sistem pendingin absorpsi merupakan salah satu metode dalam teknik pendinginan dimana di dalam siklus pengoperasiannya dengan memanfaatkan panas (kalor) sebagai

sumber daya penggerak siklus pendinginan (*heat-operated cycle*). Siklus refrigerasi absorpsi dapat dijelaskan melalui skema pada Gambar 1. Komponen utama siklus refrigerasi absorpsi adalah generator, kondensor, katup ekspansi, evaporator, absorber, dan pompa sirkulasi. Larutan penyerap berkonsentrasi tinggi di absorber menyerap uap air dari evaporator sehingga menjadi larutan berkonsentrasi rendah, yang selanjutnya disirkulasikan ke generator oleh pompa sirkulasi. Panas diberikan ke generator untuk memisahkan kembali refrigeran tersebut dari larutan dengan proses penguapan. Larutan pekat disirkulasikan kembali ke absorber, sedangkan uap refrigeran diembunkan di kondensor sebelum dikembalikan ke evaporator, untuk kemudian diuapkan dengan menyerap panas di evaporator. Pemisahan refrigeran dari larutan di generator membutuhkan panas pada suhu yang cukup tinggi. Hal ini merupakan salah satu penyebab rendahnya COP (*coefficient of Performance*) siklus refrigerasi absorpsi, sebagaimana didefinisikan pada Persamaan 1.

Menurut Ma, et al., (1998), panas untuk proses regenerasi di generator tidak semua bisa dimanfaatkan bila temperatur kurang dari 85°C . Penelitian lain yang dilakukan oleh Vargas et al. (2009) dengan menggunakan sistem pendingin absorpsi LiBr- H_2O *single-effect*, menunjukkan bahwa penggunaan panas dengan temperatur kurang dari 80°C pada proses regenerasi akan tidak efektif dan menghasilkan COP (*Coefficient of Performance*) yang bernilai rendah. Selanjutnya, Gu et al. (2006) juga melakukan penelitian untuk memperbaiki COP sistem pendingin absorpsi LiBr- H_2O dengan menggunakan sumber panas berupa kolektor surya dengan temperatur regenerasi antara 80°C - 93°C dan menghasilkan COP rata-rata sebesar 0,725. Kondisi sebaliknya dilakukan oleh Sumathy et al. (2002), menggunakan sistem pendingin absorpsi *two-stage* dengan menggunakan heater sebagai sumber panas dengan temperatur regenerasi antara 70°C - 85°C menghasilkan COP yang rendah yaitu 0,39. Selain itu, luas bidang kontak yang dibutuhkan untuk memisahkan uap air dari larutan LiBr- H_2O memerlukan generator yang besar (*bulky*) (Kim et al., 2008).

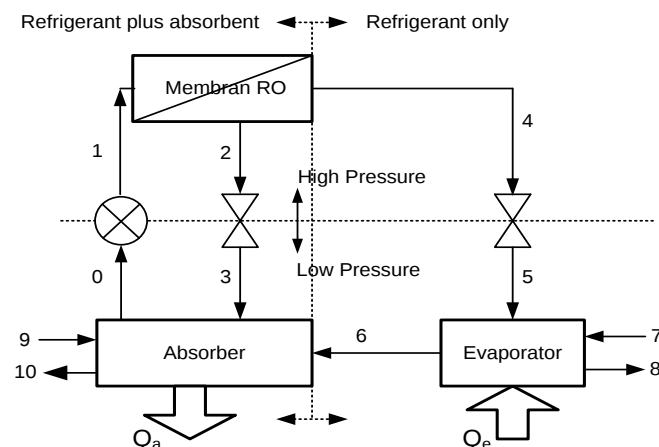


Gambar 1. Sistem pendingin absorpsi

$$COP_{abs} = \frac{\text{laju refrigerasi}}{\text{laju penambahan kalor pada generator}} = \frac{Q_G}{Q_G} \dots\dots\dots (1)$$

Sesuai dengan sifatnya yang dapat memisahkan refrigeran dari larutan pekatnya, membran dapat digunakan untuk menggantikan fungsi generator. Dengan demikian, sistem refrigerasi absorpsi tidak lagi memerlukan asupan panas untuk proses regenerasi refrigeran tersebut. Gambar 2 menunjukkan skema siklus refrigerasi absorpsi menggunakan membran sebagai pengganti generator. Penggunaan membran yang tepat juga dapat menghindari penggunaan kondensor pada siklus tersebut, karena pemisahan refrigeran pada membran tidak menyebabkan terjadinya perubahan fase sehingga refrigeran cair dapat langsung dialirkan ke evaporator.

Pemanfaatan teknologi membran pada sistem pendingin absorpsi sudah dilakukan oleh beberapa peneliti walaupun masih sebatas pada pengujian kinerja membran. Riffat dan Su (1998), menggunakan membran *reverse osmosis* (RO) sentrifugal dalam sebuah sistem pendingin untuk mengurangi pemakaian pompa tekanan tinggi. Hasil penelitian didapatkan bahwa untuk menghasilkan konsentrasi 64% larutan diperlukan kecepatan lebih besar dari 10.000 rpm pada $r = 50$ mm. Untuk menghitung COP sistem, dilakukan simulasi dengan mengambil temperatur evaporator (T_e) 5°C, T larutan (T_s) 40°C dan $r = 0,5$ m, sehingga didapatkan bahwa peningkatan putaran akan menurunkan besarnya COP pada sistem pendingin absorpsi. Sistem ini memiliki kekurangan yaitu memakai putaran tinggi sehingga energi mekanik yang digunakan juga relatif besar.



Gambar 2. Skema sistem pendingin absorpsi menggunakan membran RO

Wang et al. (2009), menggunakan vakum membran destilasi dalam pemisahan LiBr-H₂O. Adapun parameter dari bahan membran yang digunakan adalah PVDF dengan ukuran pori 0,16 µm, modul membran *hollow fiber* yang terdiri dari sejumlah membran kapiler berpori hidropobik (*capillary porous membrane hydrophobic*) sebanyak 300 dan luas

membran $0,3 \text{ m}^2$. Penelitian dilakukan untuk melihat pengaruh dari temperatur pengumpanan (*feed temperature*), fluks pengumpanan (*feed flux*) dan tekanan pemvakuman (*vacuum pressure*) terhadap fluks permeat (*permeat flux*). Hasil menunjukkan bahwa fluks permeasi uap air meningkat dengan peningkatan suhu pengumpanan, kondisi serupa juga terjadi pada fluks pengumpanan terhadap fluks permeat. Kondisi sebaliknya terjadi pada tekanan vakum, semakin diturunkan tekanannya fluks permeat yang dihasilkan akan semakin menurun. Penelitian ini belum sampai pada penerapan atau aplikasi membran pada sistem absorpsi tetapi hanya melihat kinerja membran untuk proses pemisahan.

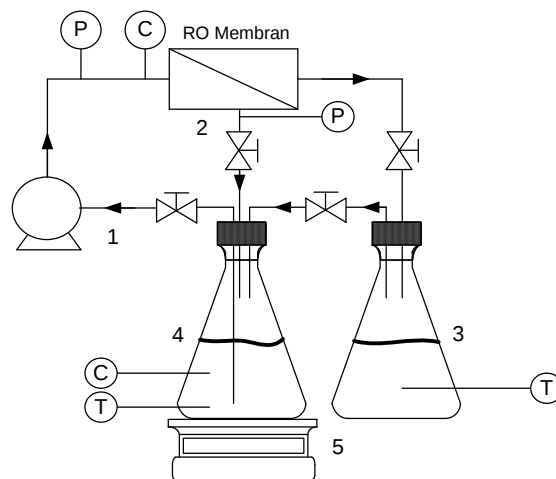
Ahmed dan Peter (2009) melakukan eksperimen untuk menganalisa karakteristik dan sifat membrane dengan bahan *polytetrafluoro ethylene* (PTFE) jenis hidropobik dengan pori diameter dan ketebalan berbeda yang digunakan untuk melakukan penyerapan uap air di absorber. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju alir larutan tidak memberikan pengaruh secara significant terhadap permeat fluks. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan tekanan uap yang akan melintasi membran. Sehingga dari hasil penelitian ini didapat kan karakteristik membran yang diinginkan untuk aplikasi di absorber adalah memiliki permeabilitas yang tinggi terhadap uap air, menggunakan membran hidropobik dengan tekanan tinggi untuk menghindari keterbasahan pada pori-pori membrane dan diharapkan tidak ada kondensasi kapiler uap air untuk menghindari pemblokiran pori-pori. Dari beberapa penelitian tentang pemanfaatan membran pada sistem pendingin absorpsi diatas, perlu kirannya dilakukan penelitian tentang pemanfaatan membran untuk pemisahan larutan pada sistem pendingin absorpsi dengan atau tidak menggunakan bantuan termal. Penggunaan membran untuk pemisahan larutan dengan bantuan termal yang rendah atau tidak menggunakan termal sama sekali. Diharapkan refrigeran yang dipisahkan dari larutan berada pada fase cair dan memiliki temperatur yang rendah, sehingga tidak perlu proses kondensasi, sehingga sistem ini memungkinkan tidak adanya komponen kondensor.

METODE PENELITIAN

Skema sistem pendingin absorpsi menggunakan membran reverse osmosis (RO) pada penelitian ini terlihat pada Gambar 3. Membran RO digunakan sebagai alat untuk memisahkan antara refrigeran dan absorban, sebagai pengganti proses regenerasi pada sistem absorpsi konvensional. Prinsip kerja dari membran RO ini adalah larutan lemah (*weak solution*) dialirkan dengan pompa sehingga dengan tekanan tertentu larutan akan menembus pori-pori membran sehingga antara refrigeran dan absorban (*strong solution*) akan terpisah. Membran RO yang digunakan pada penelitian ini dibuat oleh Dow Filmtech TW30-1812-50,

dimana membran ini didesain untuk memisahkan larutan garam atau desalinasi untuk menghasilkan air tawar.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan bahan yaitu larutan LiBr-H₂O dengan konsentrasi 30% dengan tekanan kerja 7, 7,2 dan 7,4 bar. Tahapan pengujian I dianggap sebagai proses regenerasi pada sistem pendingin absorpsi yaitu dilakukan dengan melewati larutan lemah (*weak solution*) menuju membran RO, dimana di dalam membran larutan akan dipisahkan menjadi larutan kuat (*strong solution*) dimana larutan ini berfungsi sebagai retentat dan air sebagai permeat. Selanjutnya permeat ditampung di dalam gelas erlen meyer yang difungsikan sebagai evaporator dan retentat juga ditampung di dalam gelas erlen meyer yang lain dan difungsikan sebagai absorber di dalam sistem pendingin. Tahapan pengujian II dianggap sebagai proses refrigerasi, dimana pada tahapan ini dilakukan setelah menutup semua katup yang menghubungkan antar peralatan pada sistem. Setelah itu dilakukan pembukaan katup yang menghubungkan antara evaporator dan absorber. Pada proses ini akan dicatat perubahan temperatur di ruang absorber dan evaporator serta massa uap air yang mampu dipindahkan dari evaporator menuju absorber. Perubahan massa uap yang berpindah dilakukan menggunakan timbangan digital merk AND GF-300 dengan akurasi 0,01 gram.



Gambar 3. Skema sistem pendingin absorpsi: 1. Pompa ; 2. Membran RO; 3. Evaporator; 4. Absorber; 5. Timbangan digital

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hubungan Faktor Rejeksi R dan Fluks Permeat

Pengaruh tekanan operasi terhadap fluks permeat dan faktor rejeksi R dari larutan yang dipompakan ke membran yaitu fluks permeat mengalami kenaikan dengan naiknya tekanan operasi. Hal ini dijelaskan dengan menggunakan persamaan berikut :

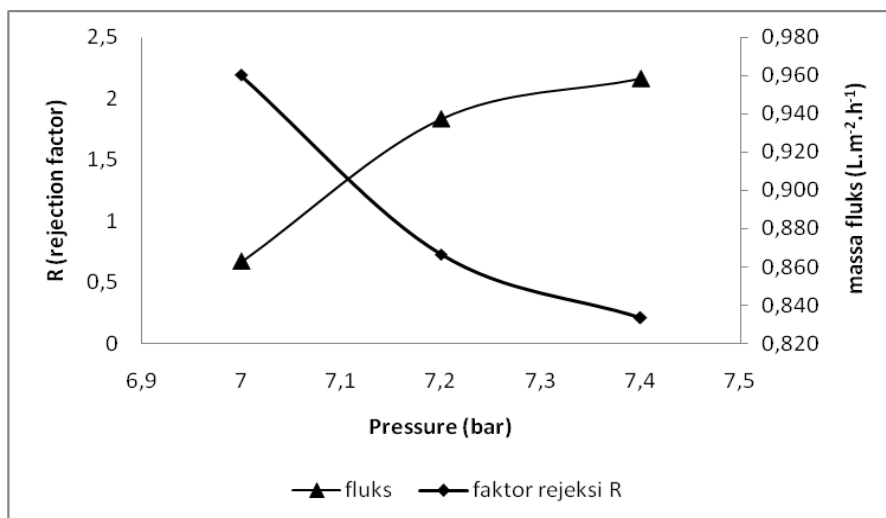
$$J_w = A(\Delta P - \Delta \pi) \dots\dots\dots (2)$$

Dimana : J_w = fluks permeat mi lewat membran; A = koefisien permeabilitas permeat; ΔP = Tekanan operasi atau perbedaan tekanan pada dua sisi membran; $\Delta \pi$ = Perbedaan tekanan osmosis larutan pada dua sisi membran

Kenaikan perbedaan tekanan pada dua sisi membran, sehingga $(\Delta P - \Delta \pi)$ semakin besar, sehingga akan menyebabkan kenaikan fluks permeat. Sedangkan R (faktor Rejeksi) akan mengalami penurunan dengan adanya kenaikan tekanan operasi. Dimana persamaan untuk faktor rejeksi (R) adalah

$$R = \frac{c_f - c_p}{c_f} = 1 - \frac{c_p}{c_f} \dots\dots\dots (3)$$

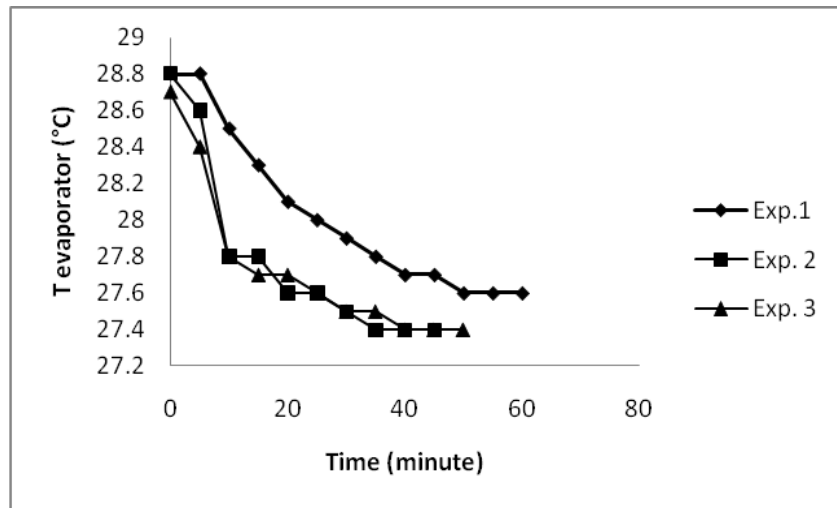
Hasil percobaan yang dilakukan pada konsentrasi larutan 30% dengan perbedaan tekanan operasi terhadap fluks permeat dan faktor rejeksi (R) di sajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh ekanan Operasi terhadap faktor rejeksi (R) dan fluks permeat (gr/s)

2. Perubahan suhu evaporator

Hasil pengujian perbedaan tekanan operasi pada proses pemisahan (*separation*) memberikan pengaruh yang besar terhadap kemurnian dari permeat yang dihasilkan seperti yang dijelaskan pada Gambar 4 dan ditunjukkan oleh nilai faktor rejeksi. Penurunan faktor rejeksi yang dipengaruhi oleh tekanan operasi memberikan pengaruh terhadap penurunan temperatur evaporator. Gambar 5 memberikan penjelasan tentang perubahan temperatur evaporator selama waktu penyerapan (absorpsi).



Gambar 5. Perubahan temperatur evaporator terhadap lama waktu penyerapan

Gambar 5, Exp.1, faktor rejeksi sebesar 0,96 memberikan pengaruh terhadap lamanya waktu penyerapan uap air oleh absorber sehingga akan berdampak terhadap lamanya waktu pendinginan yaitu selama 60 menit dengan temperatur awal evaporator 28,8 °C dan 27,6 °C temperatur akhir a. Exp.2, faktor rejeksi yang didapatkan adalah 0,84. Temperatur yang mampu dicapai adalah 27,4 °C dengan temperatur awal 28,8 °C dengan lama waktu pendinginan adalah 45 menit. Exp.3, faktor rejeksi yang didapat adalah 0,87. Temperatur yang mampu dicapai adalah 27,4°C dengan temperatur awal 28,7°C dengan lama waktu pendinginan 50 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa temperatur pendinginan yang dicapai belum maksimum, kondisi ini dipengaruhi oleh suhu lingkungan yang masih terlalu tinggi dan peralatan yang tidak diberi isolasi sehingga panas hilang tinggi.

Analisis terhadap kinerja siklus refrigerasi absorpsi menggunakan membran dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 4. Selanjutnya, perbandingan antara penggunaan panas pada generator terhadap penggunaan membran sebagai penggantinya dapat dianalisis dengan menggunakan Hukum II Termodinamika, yang disebut dengan analisis eksergi.

$$COP_{abs} = \frac{Q_s}{W_{pump}} = \frac{\dot{m}_s(h_g - h_s)}{W_{pump}} \dots\dots\dots (4)$$

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian pengembangan potensi penggunaan membran pada sistem pendingin absorpsi menunjukkan bahwa studi awal ini memberikan informasi bahwa membran RO akan mampu diaplikasikan ke dalam sistem pendingin absorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tekanan operasi sebesar 7 bar menunjukkan tingkat faktor rejeksi yang paling

tinggi yaitu sebesar 0,96 tetapi massa fluks yang dihasilkan adalah paling rendah jika dibandingkan dengan tekanan operasi 7,2 bar dan 7,4 bar. Tekanan 7 bar dengan tingkat rejeksi 0,96 akan menghasilkan waktu pendinginan yang lama, selain itu tingkat faktor rejeksi akan berakibat besarnya beda tekanan uap antara ruang evaporator dan absorber yang akan mempengaruhi temperatur lebih rendah yang mampu dicapai.

Saran yang dapat disampaikan adalah alat yang dirancang ini belum maksimal dalam menurunkan suhu pada bagian evaporator, sehingga masih diperlukan disain ulang yang lebih maksimal, sehingga suhu pada bagian evaporator dapat diturunkan lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, H.H.A., and P. Schwerdt. 2009. Characteristics of the membrane utilized in a compact absorber for Lithium-water absorption chiller. *Int J Refrig*, 32: 1886-1896.
- Cengel, Y A. and M. A. Boles. 2002. *Thermodynamics, An Engineering Approach*. Second Edition. New York: Mc Graw Hill.
- Gu, Y.X., and Y.Y. Wu. 2008. Experimental research on a new solar pump- free Lithium bromide absorption refrigeration system with a second generator. *Sol. Energi* 82, 33-42.
- Kim, Y.J., Y.K. Joshi., and A.G. Fedorov. 2008. An absorption based miniatur heat pump system electronic cooling. *Int J Refrig*, 31, 23-33.
- Ma Weibin, Xia Wenhui, and Yu Chuanbo. 1998. Industrial application of the two-stage LiBr/H₂O absorption chiller. *Refrigeration* 04: 40-43.
- Moran, M., N. Howard., and N. Shapiro. 1988. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. Singapore: John Wiley and Sons.
- Riffat, S.B., and Y.H. Su. 1998. Analysis of using centrifugal reverse osmosis in absorption refrigeration system. *Journal of the Institute of Energy*, LXXI: 158-162.
- Singer, S.F. 1992. My adventure in the ozone layer dalam Lehr, J.H. *Rational reading on environmental Concern*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Sumanthy, K., Z.C. Huang., and Z.F. Li. 2002. Solar absorption cooling with low grade heat source: a strategy of development in South China. *Sol. Energy* 72: 155-165.
- Talbi, M.M., and B. Agnew. 2000. Exergy analysis: an absorption refrigerator using lithium bromide and water as the working fluid. *App. Therm. Eng.* 20: 619-630.
- Vargas, J.V.C., J.C. Ordonez., E. Dilay., and, J.A.R. Parise. 2009. Modeling, simulation and optimization of a solar collector driven water heating and absorption cooling plant. *Sol Energy* 83 (8): 1232-1244.
- Wang, Z.S., Z. Ghu., G.S. Fen., and Yun Li. 2009. Application of vacuum membrane distillation to lithium bromide absorption refrigeration system. *Int J Refrig*, 32: 1587-1596.
- Yumrutas, R., and K. Mehmet. 2002. Exergy analysis of vapor compression refrigeration sistem. *Int. J. Exergy* 2: 266-272.