

Rancang Bangun Alat Desalinasi Air Laut Sistem Vakum Alami Dengan Tenaga Surya

Himsar Ambarita

Universitas Sumatera Utara ; Jl. Dr. T. Mansur No.9, Medan, Telp; (061) 8214033

Jurusan Teknik Mesin, FT USU, Medan, Sumatera Utara

Email: himsar@usu.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan rancang bangun sistem desalinasi vakum menggunakan gaya grafitasi, dengan tahapan menganalisa penelitian terdahulu sebagai masukan untuk menghasilkan sistem desalinasi vakum yang baik. Selanjutnya merancang sistem desalinasi vakum dengan bantuan komputer menggunakan software solidwork, kemudian dibangun solar kolektor yang digunakan untuk memanaskan air yang ada didalam pipa tembaga yang diletakkan diatas plat hitam di dalam solar kolektor, untuk mensirkulasikan air didalam pipa digunakan pompa yang digerakkan oleh photovoltaic 100 Wp. Ditambahkan evaporator yang digunakan untuk menguapkan air laur dan kondensor untuk menerima aliran uap yang sudah diproduksi oleh evaporator. Kemudian terjadi proses kondensasi didalam kondensor dan hasil kondensat ditampung dalam satu tempat tersendiri didalam penampungan yang dinamakan air tawar. Pengujian dilakukan di kota medan pada pukul 8.00 sampai dengan pukul 16.00 secara keseluruhan sistem desalinasi vakum menggunakan solar kolektor bisa berjalan dengan baik. Tergantung dari intensitas matahari yang ada, bila intensitas matahari relatif tinggi maka hasil air tawar juga banyak sedangkan intensitas matahari yang relatif rendah akan menghasilkan air tawar yang sedikit, menurut pengujian yang sudah dilakukan selama 9 hari menghasilkan air tawar 900 ml. Dengan tekanan vakum rata-rata 35 cmHg pada sistem desalinasi.

Kata Kunci : Desalinasi Vakum, Solar Kolektor, Evaporator Kondensor

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan air bersih semakin meningkat dari hari ke hari yang disebabkan oleh faktor industrialisasi, motorisasi, dan peningkatan standar hidup umat manusia. Penelitian menunjukkan bahwa cadangan air bersih tidak akan mampu memenuhi kebutuhan penggunaan dikarenakan kurangnya ketersediaan air bersih. Hal ini sudah diperkirakan oleh *United Nation Organization* memprediksikan bahwa pada tahun 2025, hampir 1800 juta orang di seluruh dunia kekurangan kelangkaan air (Sharon and Reddy, 2015). Solusi yang paling potensial untuk masalah ini adalah desalinasi teknologi air laut. Sistem desalinasi bukanlah teknologi baru bagi manusia. Saat ini, desalinasi telah dilakukan di banyak wilayah di dunia untuk memenuhi kebutuhan mereka akan air tawar. Mereka termasuk negara-negara di Timur Tengah, negara-negara Arab, Amerika Utara, beberapa negara Asia, Eropa, Afrika, Amerika Tengah, Amerika Selatan dan

Australia (Eltawil *et al.*, 2009). Beberapa metodologi desalinasi seperti flash multi tahap, distilasi multi-efek, kompresi uap, osmosis reversal, dan elektrolisis telah digunakan. Sistem desalinasi konvensional yang sekarang beroperasi terutama didukung oleh bahan bakar fosil. (Kalogirou, 2005) melaporkan bahwa sekitar 10.000 ton bahan bakar fosil dibakar untuk sistem desalinasi listrik di dunia dalam setahun.

Fakta tersebut memotivasi peneliti untuk melakukan penelitian tentang sistem desalinasi berkelanjutan. Sistem desalinasi yang berkelanjutan harus memenuhi kebutuhan untuk menggunakan bahan bakar fosil yang lebih efisien atau dapat didukung oleh sumber energi terbarukan atau limbah panas (Subramani *et al.*, 2011). Sumber energi terbarukan yang biasa digunakan untuk sistem desalinasi daya adalah energi surya, tenaga angin, dan energi panas bumi. Diantaranya, energi matahari paling banyak digunakan. Menurut studi oleh (Eltawil *et al.*, 2009), sampai 57%.

Diperkirakan, sistem desalinasi menggunakan energi matahari akan lebih populer di masa depan. Untuk mengembangkan sistem desalinasi yang berkelanjutan, bahkan negara-negara yang diketahui produsen bahan bakar fosil terbesar seperti Arab Saudi meningkatkan penggunaan energi matahari untuk menyalakan sistem desalinasi mereka. Inovasi pada sistem desalinasi yang didukung oleh energi terbarukan dan panas buangan telah dilaporkan oleh beberapa peneliti. (Gude *et al.*, 2012) melaporkan studi kelayakan dari desalinasi suhu rendah dua tahap yang baru. Hasilnya menunjukkan bahwa proses desalinasi dua tahap memiliki potensi untuk aplikasi skala kecil di daerah pedesaan yang mengalami kelangkaan air dan energi. Terungkap bahwa konsumsi energi spesifik dari sistem adalah 15000 kJ/kg air tawar. Sebuah sistem yang menggabungkan desalinasi distilasi multi efek dengan Siklus Rankine organik superkritis dan ejector telah diajukan oleh (Li *et al.*, 2012). Sistem yang diusulkan bekerja seperti gabungan panas, tenaga dan kondensasi. Kinerja termal sistem dianalisis secara teoritis dengan menggunakan program pemecah persamaan teknik. Hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi exergi keseluruhan mendekati 40% untuk konsentrasi garam 35 g/kg menggunakan sumber panas suhu rendah 150⁰C.

Sebuah studi analitik exergy tentang kinerja desalinasi dan sistem tenaga gabungan gabungan baru sebagai pemulihan panas yang dilaporkan oleh (Araghi *et al.*, 2016). Sistem yang diklaim bisa dioperasikan pada limbah panas dan cairan kerja organik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keseluruhan kinerja sistem yang diperkenalkan sebanding dengan sistem desalinasi gabungan energi termal dengan campuran amonia. Namun dalam hal desalinasi, sistem yang diusulkan menghasilkan lebih banyak air tawar. Studi eksperimental tentang proses pemisahan air dalam skala laboratorium dengan vakum evaporator menggunakan pipa panas (HP) yang dilaporkan oleh (Gao *et al.*, 2016). Sumber energi dingin, sumber panas pada suhu semprot dan aliran semprotan digunakan dalam studi parametrik. Pada pelat evaporator kerapatan fluks panas maksimum 32 W/cm² dapat dicapai. Pipa panas menyerap energi secara efektif dari sumber panas kelas rendah kemudian mentransfer energi ke tetesan yang sudah berkelebat, sehingga dapat mempertahankan atau bahkan menaikkan tingkat tetesan superheat selama proses penguapan. Hasil air tawar dipengaruhi oleh suhu sumber panas. Suhu sumber panas yang lebih tinggi adalah semakin panas yang dapat diperoleh

tetesan dan proses penguapan lebih cepat. Faktor penting lain dari hasil air tawar adalah suhu air pendingin. Studi eksperimental pada tanaman percontohan distilasi membran kontak langsung (DCMD) yang didorong oleh energi panas kelas rendah. Pengkondisian fouling dan energi yang dilaporkan oleh (Dow *et al.*, 2016). Unit desalinasi percontohan terletak di sebuah pembangkit listrik tenaga gas yang menyediakan sumber panas dengan suhu di bawah 40⁰C dan air limbah ke sistem DCMD dengan luas membran 0,67 m². Berdasarkan energi yang tersedia untuk pembangkit listrik berkapasitas 500 MW (pembangkit tenaga listrik) yang beroperasi terus menerus, potensi perawatan diperkirakan mencapai 8000 kilo liter/hari. Dan baru-baru ini Metode numerik dan eksperimental pada skala laboratorium unit desalinasi vakum alami. Untuk simulasi energi matahari pemanas listrik digunakan di dalam evaporator telah dilaporkan oleh (Ambarita., 2016).

Dalam studi pemanas digunakan untuk menyediakan sumber panas konstan ke sistem. Sebuah studi simulasi pada unit desalinasi vakum alami dengan sumber panas variabel dari sistem yang sama seperti pada penelitian sebelumnya yang sudah dilaporkan (Ambarita., 2017). Untuk tes lapangan awal unit desalinasi solar vakum alami telah dilakukan menggunakan solar kolektor oleh (Setyawan *et al.*, 2017).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Komponen utama dari sistem ini adalah evaporator. Kinerja sistem desalinasi sangat dipengaruhi oleh tingkat penguapan pada evaporator. Bagian analisis dalam evaporator akan digunakan persamaan Massa konservasi di dalam evaporator yang menyebabkan:

$$\frac{d}{dt}(\rho V)_s = \rho_i \dot{V}_i - \rho_w \dot{V}_w - \rho_e \dot{V}_e \quad (1)$$

Dimana V [m³] adalah volume air laut di evaporator, dan \dot{V} [m³/s] laju aliran volume pada masing-masing sisi masuk dan sisi keluar evaporator. Akibat adanya penguapan, maka konsentrasi garam di dalam evaporator akan bertambah. Jika konsentrasi dinyatakan dengan C [%], maka perubahan konsentrasi garam di dalam tabung evaporator dapat dinyatakan dengan:

$$\frac{d}{dt}(\rho C V)_s = (\rho C)_i \dot{V}_i - (\rho C)_s \dot{V}_w \quad (2)$$

Dimana huruf s menyatakan sea water yang ada di evaporator.

Hukum kekekalan energi pada evaporator dapat didefinisikan sebagai banyaknya panas yang masuk dikurangi dengan panas yang keluar akan digunakan untuk menaikkan temperatur fluida di evaporator. Dalam bentuk persamaan menjadi:

$$\frac{d}{dt}(\rho_p VT)_s = \dot{Q}_{in} + (\rho_p T)_i \dot{V}_i - (\rho_p T)_s \dot{V}_w - \dot{Q}_e - \dot{Q}_{wall} \quad (3)$$

Pada persamaan ini C_p [J/kg.K] adalah panas jenis.

Laju penguapan (evaporasi) dari air laut di dalam evaporator (dinyatakan dengan huruf "s") ke dalam air murni di kondensor (dinyatakan dengan huruf "f") dapat dirumuskan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\dot{V}_e = A_{sur} \frac{\alpha_m}{\rho_f} \left[f(C_s) \frac{P(T_s)}{(T_s + 273)^{0.5}} - \frac{P(T_f)}{(T_f + 273)^{0.5}} \right] \quad (4)$$

Dimana \dot{V}_e [m³/s] dan [m²] adalah laju penguapan. Dimana A_s adalah luas permukaan air yang ada di evaporator. Parameter α_m adalah koefisien empirik yang diperoleh dengan cara eksperimen, nilainya $10^{-7} \leq \alpha_m \leq 10^{-6}$ [kg/m².Pa.s.K^{0.5}]. Tekanan uap sebagai fungsi temperatur dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$P(T) = 100 \times \exp \left[\frac{63.042 - 7139.6/(T + 273)}{-6.2558 \ln(T + 273)} \right] \quad (5)$$

Pada persamaan $f(C)$ adalah faktor koreksi yang dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$f(C) = 1 - 0.0054 C \quad (6)$$

Efisiensi pada sistem dihitung dengan persamaan berikut.

$$\eta_{net} = \frac{\rho_w V_w h_{fg}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (7)$$

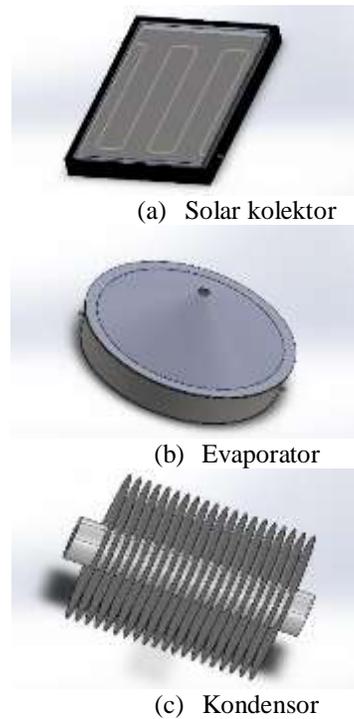
Dimana h_{fg} [MJ/kg] adalah panas laten penguapan air dan Q_{in} total energi matahari yang diterima oleh kolektor surya selama percobaan. Ini dihitung dengan menggunakan

$$Q_{in} = \int I A dt \quad (8)$$

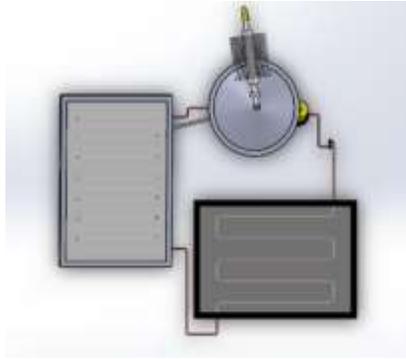
Dimana I [W/m²] adalah intensitas sinar matahari.

3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah perancangan alat desalinasi vakum, yang meliputi analisa hasil air tawar yang di produksi menggunakan desalinasi vakum yang sebelumnya telah dilakukan rancang bangun oleh (Nababan *et al.*,2017) menggunakan energi listrik dan analisis perhitungan telah dilakukan oleh (Ambarita H., 2016). Sedangkan dalam penelitian ini dikembangkan sistem desalinasi yang baik dalam pemanfaatan energi matahari dengan menggunakan solar kolektor dengan total luasan 3 m². Dalam proses perancangan penelitian ini dibantu menggunakan perangkat komputer dan sebelumnya telah dilakukan pengamatan pada sistem desalinasi vakum penelitian terdahulu. Sedangkan dalam pengerjaan disain ini menggunakan software *solidwork* yang mampu menyerupai bentuk sebenarnya. Yang digambarkan pada gambar dibawah ini.

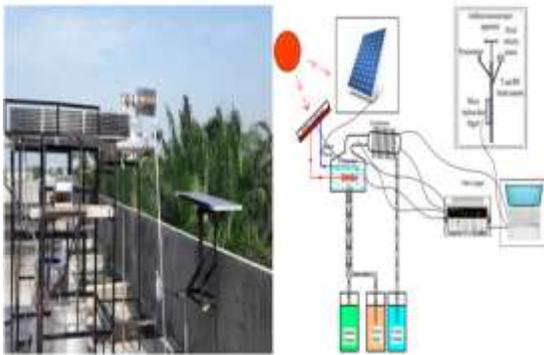


Gambar 1. Disain Komponen alat Desalinasi Surya



Gambar 2. Disain skema alat desalinasi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 3. Sistem desalinasi

Berdasarkan hasil perancangan alat desalinasi vakum maka dalam penelitian ini dibagun sebuah alat desalinasi yang sudah dirakit seperti gambar 3 yang sebelah kiri merupakan hasil assembli dari beberapa komponen dalam pembuatan desalinasi vakum, sedangkan yang kanan merupakan skema sistem desalinasi. Dalam pembuatan sistem desalinasi vakum ini yang pertama dilakuakan pembuatan solar kolektor yang terdiri dari beberapa lapisan isolator seperti aluminium komposit panel setebal 4 mm, sterofoam setebal 2 cm, rockwool setebal 5 cm, plat aluminium setebal 0,8 mm. Kemudian perpindahan panas dilakukan secara konveksi dengan pipa tembaga berdiameter 5/6 in. Kemudian diatas pipa diberi jarak 5 cm untuk akrilik dengan tebal 2 mm seperti terlihat pada gambar 2a. Setelah kolektor selesai maka tahap berikutnya membuat evaporator dengan diameter 80 cm dengan tinggi badan 15 cm berbahan stainless steel 304 dengan tutup yang berbentuk kerucut dengan tinggi 20 cm berbahan stainless steel terlihat pada gambar 2b. Kemudian tahap berikutnya

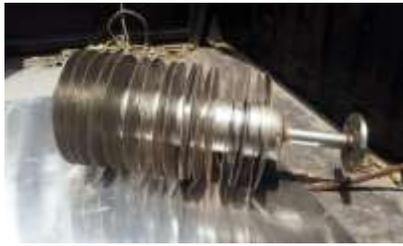
membuat kondensor dengan panjang 50 cm dengan diameter 4 in berbahan stainless steel 304 dengan sirip (fin) sebanyak 20 buah berbahan aluminium terlihat pada gambar 2c. Kemudian dilakukan penggabungan alat secara menyeluruh. Untuk melakukan pengujian eksperimental ini, pertama yang dilakukan membuat sistem desalinasi vakum secara keseluruhan, dengan cara mengisi penuh air laut ke dalam sistem desalinasi (evaporator, alat penukar kalor tube-in-tube dan kondensor). Dimana masing-masing katup pada pipa penampungan (pipa dalam alat penukar kalor) dibuka, sehingga air laut di evaporator akan jatuh karena gaya grafitasi melalui pipa pengumpan, sehingga membentuk ruang vakum pada sistem desalinasi. Secara sistematik air laut di dalam evaporator dipanaskan oleh koil pemanas dengan fluida air ditransfer dari kolektor surya. Karena tekanan di evaporator berada di bawah atmosfer dan mendekati hamparan absolut, air akan mudah menguap dengan temperatur rendah. Uap yang dihasilkan oleh evaporator akan naik kedalam kondensor yang memiliki temperatur yang lebih rendah. Di dalam kondensor, uap akan terkondensasi karena perbedanan temperatur (Temperatur lebih rendah). Dimana kondensor dibantu dalam proses pendinginan dari udara sekitar yang berbatasan langsung dengan kondensor dan sirip-sirip yang mengelilingi kondensor sehingga perpindahan panas konveksi alami semakin besar karena luasan kondensor yang bertambah karena ditambahkan sirip.



(a) Solar kolektor



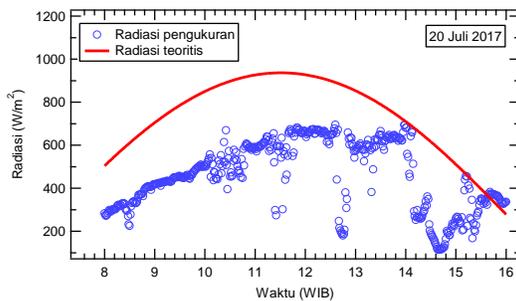
(b) Evaporator



(c) Kondensor

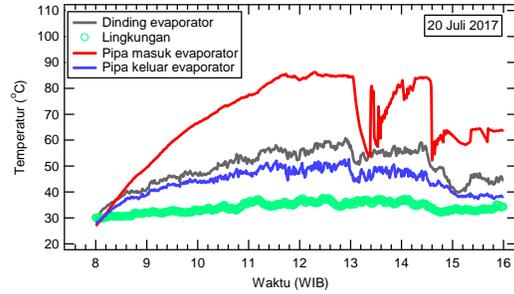
Gambar 4. Gambar alat setelah didesain

Gambar 4 merupakan hasil dari rancangan yang sudah diperhitungkan dari hasil mengamati penelitian terdahulu yang didesain menggunakan software *solidwork*. Setelah itu membuat benda jadi menurut disain yang sudah ditetapkan dan dilakukan serangkaian pengujian alat sistem desalinasi vakum, dengan hasil pengujian yang telah dilakukan selama 9 hari maka didapat air tawar hasil proses desalinasi terendah pada tanggal 14 juli yaitu sebesar 600 ml dan hasil tertinggi berada tanggal 20 Juli sebesar 1400 ml dari hasil pengujian selama 9 hari. Dari serangkaian proses pengujian akan diambil hasil yang terbaik untuk ditampilkan pada gambar dibawah. Karena selama pengujian hasil air tawar tiap hari berubah-ubah tidak tetap karena banyak faktor yang mempengaruhinya, diantaranya naik-turunnya temperatur karena cuaca tidak menentu, kelembaban relatif udara, intensitas radiasi matahari dan suhu lingkungan.



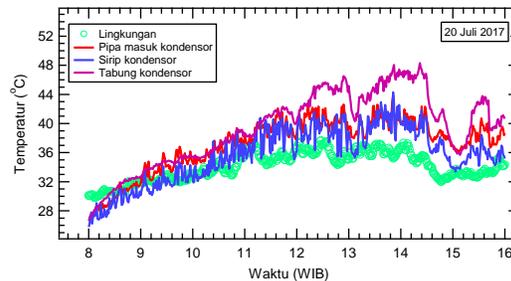
Gambar 5. Radiasi teoritis dan radiasi pengukuran

Pada gambar 5 merupakan kurva radiasi pengukuran dengan HOBO berada dibawah garis kurva radiasi perhitungan secara teoritis. Angka tersebut menunjukkan bahwa radiasi matahari terukur lebih rendah dari pada teoritis. Ini karena radiasi matahari terhalang oleh awan yang berada diatas langit.



Gambar 6. Temperatur pada sisi tutup, alas, dan dinding evaporator.

Pada gambar 6 menunjukkan suhu evaporator selama pengujian mengalami kenaikan karena intensitas radiasi semakin tinggi pada siang hari pada jam 11.00 sampai jam 12.00 dan mulai mengalami penurunan pada jam 13.00 karena intensitas matahari yang diterima oleh solar kolektor yang dilanjutkan kedalam evaporator semakin mendekati sore hari semakin kecil. Pada gambar 6 juga ditemukan fenomena panas pada pipa masuk evaporator cukup melonjak tinggi yang ditunjukan pada garis warna merah, ini karena mendapatkan energi dari solar kolektor yang mampu menyerap radiasi matahari. Dari sini dapat dibuktikan bahwa hasil dari perancangan sistem desalinasi vakum bisa berjalan karena evaporator mendapat tambahan energi yang bisa memaksimalkan kinerja jadi evaporator yang didukung oleh *photovoltaic* untuk menggerakkan pompa yang digunakan mentransfer energi ke evaporator yang digunakan untuk menguapkan air laut menjadi air tawar.



Gambar 7. Temperatur kondensor

Gambar 7 Menunjukkan temperatur kondensor selama pengujian dengan menggunakan energi matahari. Untuk membuat perbandingan antara intensitas radiasi matahari terhadap kenaikan temperatur pada kondensor dan suhu lingkungan. Dimana rata-rata mengalami kenaikan suhu selama proses pengujian ini, karena suhu sangat berpengaruh terhadap laju kondensasi

didalam kondensor. Sebagai masukan, bahwa temperatur pada kondensor harus lebih rendah dari pada epevaporator untuk terjadinya proses kondensasi. Untuk itu maka ditambahkan sirip untuk memperluas area perpindahan panas dibantu juga dengan kecepatan udara, dengan rata-rata kecepatan udara selama eksperimen rata-rata 2 M/s untuk menurunkan temperatur pada kondensor.

Perbedaan suhu antara pipa masuk kondensor dan dinding kondenser menunjukkan bahwa proses kondensasi terjadi pada permukaan bagian dalam kondensor. Disini kondensat akan mengalir di tempat tersendiri sebagai produk luaran sistem desalinasi yaitu air tawar. Dalam percobaan ini, total air tawar yang dihasilkan oleh sistem desalinasi vakum adalah 900 ml.

5. KESIMPULAN

Telah dilakukan rancang bangun sistem desalinasi vakum dengan menggunakan solar kolektor datar, dengan luas solar kolektor 3 m² dan ditambahkan sebuah pompa untuk mengalirkan air panas yang sudah dipanaskan oleh solar kolektor, yang akan dimasukkan ke dalam evaporator secara terus-menerus menggunakan *photovoltaic* yang digerakkan oleh sinar matahari. Dengan tekanan vakum 35 cmHg, eksperimen dilakukan pada pukul 8.00 sampai dengan pukul 16.00 secara keseluruhan sistem desalinasi vakum menggunakan solar kolektor bisa berjalan dengan baik. Tergantung dari intensitas matahari yang ada, bila intensitas matahari tinggi maka hasil air tawar juga banyak sedangkan intensitas matahari yang rendah akan menghasilkan air tawar yang sedikit, menurut pengujian yang sudah dilakukan selama 9 hari menghasilkan air tawar 900 ml.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Eko Yohanes Setyawan, Ridho Erlanda Siregar, Agistya Dewi, Dodi Suhendra, Faisal Afif dan Fattih Diwa Handalan atas bantuan dalam pengambilan data dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ambarita, H., 2017. Numerical study on natural vacuum solar desalination system with varying heat source temperature, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 180, 012024.

Ambarita, H., 2016. Study on the performance of natural vacuum desalination system using

low grade heat source, Case Studies in Thermal Engineering 8, 346–358.

- Araghi, A. H., Khiadani, M., and Hooman, K., 2016. A novel vacuum discharge thermal energy combined desalination and power generation system utilizing R290/R600a, Energy 98, 215-224.
- Dow, N., Gray, S., Li, J., Zhang, J., Ostarcevic, E., Liubinas, A., Atherton, P., Roeszler, G., Gibbs, A., and Duke M., 2016. Pilot trial of membrane distillation driven by low grade waste heat: Membrane fouling and energy assessment, Desalination 391, 30-42.
- Eltawil, M. A., Zhengming, Z., and Yuan, L., 2009. A review of renewable technologies integrated with desalination systems, Renewable Sustainable Energy Reviews 13, 2245–62.
- Gao, W., Wang, D., Xu, C., and Li, C., 2016. Experimental study on water separation process in a novel spray flash vacuum evaporator with heat-pipe, Desalination 386, 39-47.
- Gude, V. G., Nirmalakhadan, N., Deng, S., and Maganti, A., 2012. Feasibility study of a new two-stage low temperature desalination process, Energy Conversion and Management 56, 192-198.
- Li, C., Goswami, D.Y., Shapiro, A., Stefanakos, E.K., and Demirkaya, G., 2012. A new combined power and desalination system driven by low grade heat for concentrated brine, Energy 46, 582-595.
- Nababan F.C., H. Ambarita, 2017. Rancang Bangun Alat desalinasi air laut sistem vakum natural dengan media evaporator dan kondensor yang dimodifikasi flange, cylinder, 3 1
- Setyawan, E. Y., Napitupulu, N. A., Siagian, P., and Ambarita, H., 2017. Field tests of a natural vacuum solar desalination system using hybrid solar collector, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 237, 012012.
- Sharon, H., and Reddy, K. S., 2015. A review of solar energy driven desalination technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews 41, 1080-1118.
- Subramani, A., Badruzzaman, M., Oppenheimer, J., and Jacangelo, J.G., 2011. Energy minimization strategies and renewable energy utilization for desalination: a review, Water Res 45, 1907–20.