

Produksi Kondensat pada Sistem Desalinasi Air Asin Berbasis Energi Surya

Munawar^{1*}, Muhammad Sami², Fachraniah³, Nasri⁴

^{1,2,3} Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe

⁴ Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

^{1*}munawar_rusli@pnl.ac.id (penulis korespondensi)

Abstrak— Penelitian ini bertujuan mempelajari kapasitas produksi sistem desalinasi air asin sebagai hasil implementasi teknik evaporasi hybrid berbasis energi surya. Penelitian dilakukan secara batch dengan beberapa variasi tekanan operasi dan konsentrasi awal air umpan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi kondensat meningkat seiring dengan makin rendahnya tekanan operasi desalinasi. Sebaliknya, kapasitas produksi berbanding terbalik dengan konsentrasi awal air umpan. Produksi air optimum terjadi pada tekanan operasi -30 cmHg, yaitu sebanyak 759 ml. Pada kondisi tersebut, laju produksi kondensat dapat ditingkatkan dari 21-27 ml/jam pada sistem atmosferik menjadi 150,3-154,2 mL/jam, pada sistem vakum.

Kata kunci— Air asin, desalinasi, evaporasi, hybrid, salinitas.

Abstract— This study aims to study the production capacity of a saltwater desalination system as a result of the implementation of a hybrid evaporation technique based on solar energy. The research was carried out in batch system with several variations of process pressure and initial concentration of feed water. The results showed that the condensate production increase due to a decreasing of desalination pressure. On the other hand, production capacity is inversely proportional to the initial concentration of feed water. Optimum water production occurs at a pressure of -30 cmHg, which is 759 ml. Under these conditions, the condensate production rate can be increased from 21-27 ml/h in an atmospheric system to 150.3-154.2 mL/h, in a vacuum system.

Keywords—desalination, evaporation, hybrid, saline water, salinity.

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan yang 70% wilayahnya merupakan daerah perairan. Garis pantai di negeri ini membentang sepanjang lebih dari 81 ribu kilometer persegi. Permasalahan khas wilayah tepi pantai umumnya adalah minimnya sumber air tawar, sehingga masyarakat di wilayah tersebut mengalami kesulitan air bersih. Menurut LIPI [1], hanya 66,54% dari 12.827 desa pesisir di Indonesia yang memiliki akses terhadap air bersih. Tidak jarang, warga pesisir mengalami krisis air, terutama di daerah yang jauh dari jangkauan sistem penyedia air bersih [2].

Air asin dan air payau, jika ditinjau dari segi kuantitasnya, merupakan sumber air masa depan yang sangat potensial, namun kualitasnya sangat buruk karena mengandung kadar garam atau padatan terlarut (TDS) sangat tinggi [3]. Karena itu, dibutuhkan penerapan teknologi pengolahan air asin yang dikenal sebagai proses desalinasi [4,5]. Salah satu metode desalinasi adalah secara evaporasi-kondensasi yang sering disebut distilasi.

Semua teknologi desalinasi type distilasi yang sudah berkembang sejauh ini, memiliki kelemahan yang nyaris sama, yaitu mahalnya biaya operasi, terutama biaya energi untuk penguapan liquid dan kondensasi uap, sehingga sering tidak layak digunakan untuk kawasan tertinggal. Persoalan lain sistem distilasi adalah rendahnya kapasitas produksi, terutama jika menggunakan energi surya. Persoalan kapasitas produksi ini juga menjadi kelemahan dalam sistem desalinasi lain, misalnya dalam sistem desalinasi dengan membran anorganik. Karena itu, dalam penerapan teknologi desalinasi dibutuhkan solusi inovatif untuk meningkatkan performansi sistem konvensional.

Penulis [2] telah mengembangkan desalinator termal berbahan bakar biogas dan biomassa dengan modifikasi sistem feeding air umpan. Kinerja desalinator tergolong cukup baik, namun demikian, performansi sistem tersebut secara keseluruhan masih tergolong rendah, terutama karena tingginya konsumsi energi untuk produksi air. Sekalipun kapasitas produksi sistem tersebut masih dapat ditingkatkan, misalnya dengan penerapan kondisi vakum [6,7,8], akan tetapi,

konsumsi energi pada sistem tersebut masih tergolong besar. Beberapa peneliti telah mengusulkan sistem desalinasi hybrid, antara lain Siti Alimah dkk [9] yang melaporkan sistem hybrid multi effect distillation - reverse osmosis (MED-RO). Sistem ini bekerja sangat baik, tetapi membutuhkan biaya operasional dan perawatan yang tinggi.

Salah satu solusi menarik untuk aplikasi desalinasi termal adalah pemanfaatan energi surya [10]. Sistem evaporasi surya memang memiliki kapasitas produksi yang rendah dan waktu operasi terbatas. Namun dengan teknik tertentu, energi matahari dapat menjadi alternatif yang sangat potensial untuk dimanfaatkan dalam sistem ini, terutama di Indonesia, yang memiliki intensitas matahari yang melimpah [11]. Beberapa peneliti telah melakukan studi untuk meningkatkan kinerja desalinasi air laut sistem tenaga surya, antara lain Al-Kharabsheh dan Goswami [12]. Dalam penelitian mereka digunakan sistem vakum cara sederhana (secara gravitasi dan tekanan atmosfer). Sistem tersebut menghasilkan fluks produksi sebesar 6,5 kg/m².hari. Kusumadewi dkk [7] kemudian melakukan pengembangan dari sistem desalinasi air laut dalam kondisi vakum dengan menggunakan pompa vakum dan tray evaporator yang dapat membuat kondisi vakum lebih stabil dan meningkatkan efisiensi desalinator.

Penelitian yang diusulkan mencoba fokus pada upaya pengembangan sistem desalinasi termal. Kelemahan sistem tersebut umumnya terletak pada tingginya biaya operasional, atau masih rendahnya kapasitas produksi. Melalui penelitian ini, pengusul menggagas suatu sistem desalinasi hybrid yang memanfaatkan sumber energi terbarukan (energi surya) yang terintegrasi dalam sistem vakum. Sistem yang diusulkan ini akan mengimplementasikan teknologi evaporasi hybrid berbasis energi surya, yaitu teknik evaporasi yang memanfaatkan sumber panas surya dalam 2 (dua) arah, yaitu radiasi surya secara langsung (dari atas), serta hasil konversi energi surya dari panel surya (dari bawah). Penerapan teknik evaporasi hybrid ini diprediksi akan meningkat kapasitas produksi sistem desalinasi termal berbasis energi surya.

Penelitian ini bertujuan mempelajari unjuk kerja sistem desalinasi air asin sebagai hasil implementasi teknik evaporasi

hybrid berbasis energi surya. Tujuan khusus penelitian meliputi: (1) Mempelajari pengaruh salinitas air terhadap unjuk kerja sistem desalinasi hybrid; (2) Mempelajari pengaruh tekanan operasi terhadap unjuk kerja sistem desalinasi hybrid, serta; (3) Mempelajari unjuk kerja sistem dalam kondisi batch.

II. METODOLOGI PENELITIAN

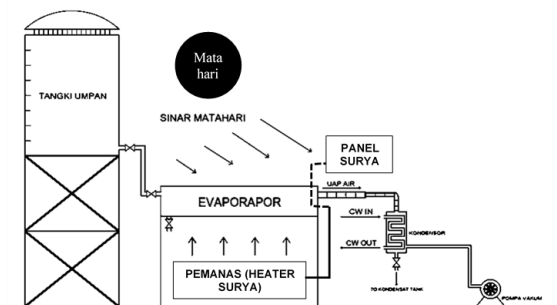
Penelitian ini dilaksanakan pada Laboratorium Pengolahan Air dan Limbah Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe. Penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahapan sebagai berikut: (1) Persiapan material dan fabrikasi sistem desalinasi, serta; (2) Percobaan desalinasi batch.

A. Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu prototype sistem desalinasi, pompa vakum, flow meter, timbangan analitik, pH meter, turbidity meter, konduktometer dan seperangkat alat titrasi. Bahan yang digunakan adalah NaCl, KMnO₄, asam oksalat, H₂SO₄ dan aquadest. Prototype desalinator terdiri dari evaporator (tipe hybrid), yang dirangkai dengan panel surya dan kondensor (Gambar 1).

B. Rancangan Percobaan

Penelitian ini dilakukan secara batch, dengan variable bebas berupa tekanan proses dan konsentrasi inisial larutan umpan. Studi batch ini dilakukan dengan rancangan percobaan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Prototype sistem desalinasi

Tabel 1. Rancangan percobaan studi desalinasi

| Tahapan penelitian | Variabel | Taraf | Spesifikasi |
|----------------------|-------------------|-------|----------------|
| Percobaan desalinasi | Sistem operasi | 1 | Batch |
| | Volume umpan | 1 | 1-2 L |
| | Waktu operasi | 5 | 1-5 jam |
| | Konsentrasi umpan | 5 | 50-300 mg/l |
| | Tekanan operasi | 3 | -30 - +76 cmHg |

Variabel respon pada percobaan tersebut adalah kapasitas produksi, serta kualitas produk air, mengacu kepada Kepmenkes RI No. 32 Tahun 2017, meliputi salinitas, warna, Total padatan tersuspensi (TDS), pH, dan kekeruhan (turbidity).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototype sistem desalinasi yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 3 (tiga) sub unit utama, yaitu evaporator, berfungsi sebagai unit pemanasan air umpan; panel surya, berfungsi sebagai penyedia energi listrik untuk pemanas (heater) di evaporator, serta; kondensor, berfungsi untuk mengkondensasikan uap yang masuk dari evaporator. Hasil fabrikasi prototype sistem desalinasi termal yang digunakan ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Prototype sistem desalinasi termal

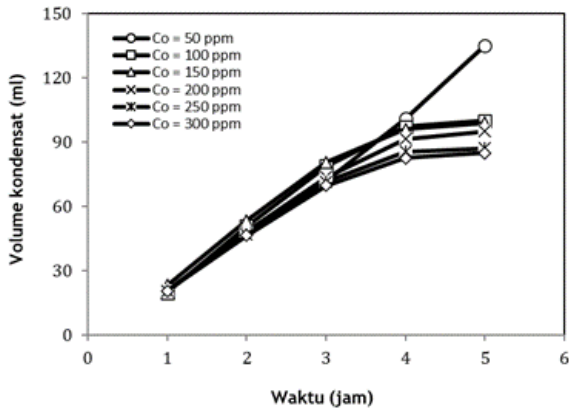
Pada sistem desalinasi termal yang dikembangkan ini, pemanasan air umpan pada unit evaporator berlangsung dari dua arah, yaitu pemanasan langsung dari bagian atas (direct heating), serta pemanasan dengan heater pada bagian bawah yang memperoleh supply energi dari unit photovoltaic (sel surya).

A. Percobaan Desalinasi

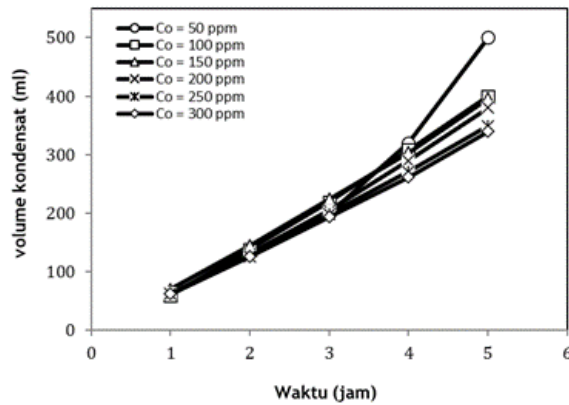
Percobaan desalinasi dilakukan pada Laboratorium Pengolahan Air dan Limbah Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe. Percobaan dilaksanakan pada kondisi cuaca cerah antara jam 09:00 WIB hingga 14.00 WIB (5 jam). Pengambilan sampel dan data penelitian dilakukan dengan interval waktu setiap 1 jam. Variabel utama penelitian adalah konsentrasi air umpan (artisial) dan tekanan operasi, yang masing-masing divariasikan antara 50 – 300 ppm, serta 76 cmHg (atmosferik) hingga -30 cmHg (vakum).

B. Kapasitas Produksi

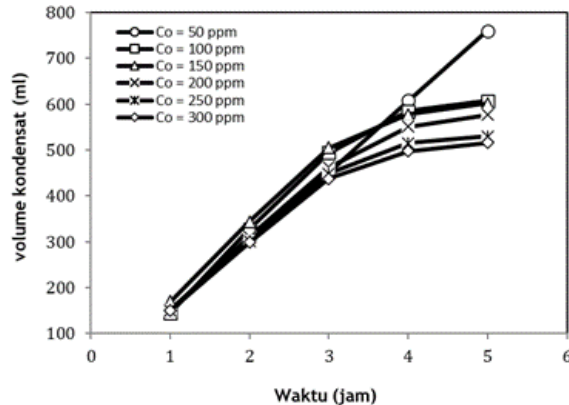
Laju produksi air meningkat seiring dengan makin rendahnya tekanan operasi desalinasi. Hal ini di sebabkan oleh penurunan titik didih air asin yang berbanding lurus dengan tekanan sistem. Penurunan titik didih akan mempercepat penguapan air, sehingga laju produksi kondensat meningkat. Produksi air terhadap waktu pada berbagai variasi tekanan operasi ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Volume kondensat untuk berbagai variasi konsentrasi awal umpan: pada tekanan operasi 76 cmHg (atmosferik)



Gambar 4 Volume kondensat untuk berbagai variasi konsentrasi awal umpan: pada tekanan operasi -15 cmHg (vakum)

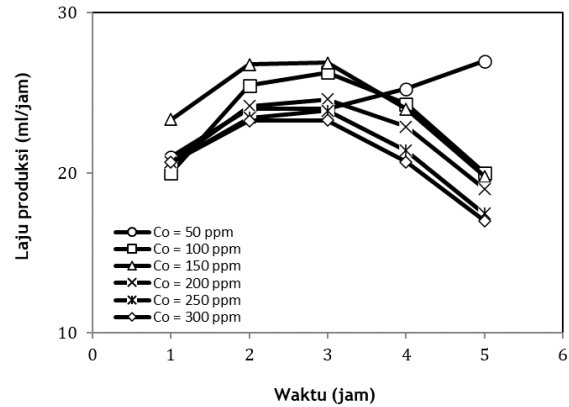


Gambar 5. Volume kondensat untuk berbagai variasi konsentrasi awal umpan: pada tekanan operasi -30 cmHg (vakum)

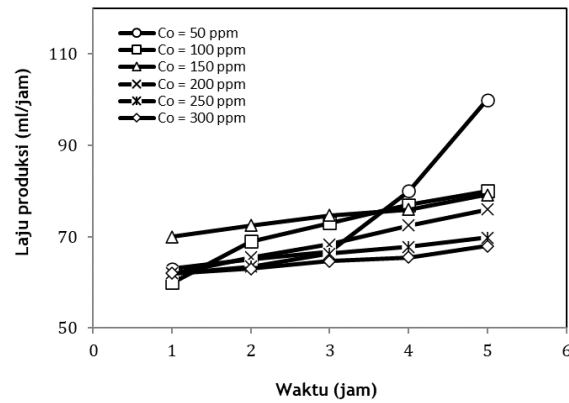
Data-data Gambar 3 tersebut menunjukkan bahwa produksi air optimum terjadi pada tekanan operasi -30 cmHg, dan konsentrasi inisial 50 mg/l. Pada kondisi tersebut, laju produksi kondensat dapat ditingkatkan dari 21-27 ml/jam pada sistem atmosferik menjadi 150,3-154,2 mL/jam, atau meningkat lebih dari 7 kali lipat, pada sistem vakum (Gambar 4). Fakta ini sejalan dengan beberapa studi terdahulu, seperti Munawar dan Lubis [8], Munawar & Majuar [6] yang melakukan studi desalinasi termal berbasis biomassa, serta Kusumadewi dkk [7] yang melakukan studi desalinasi termal berbasis energi surya dengan sistem *solar still*.

Konsentrasi awal air umpan secara konsisten juga memperlihatkan pengaruh signifikan terhadap kapasitas produksi air. Semakin tinggi konsentrasi air umpan, semakin

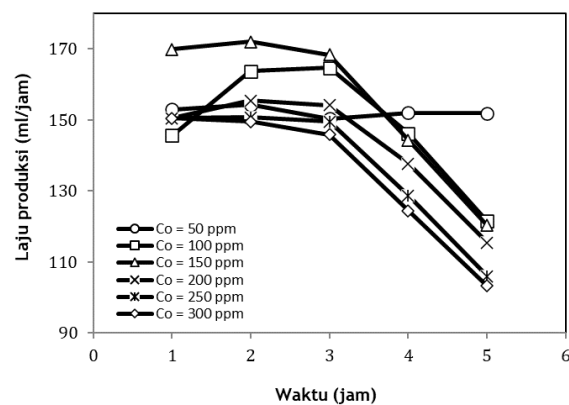
turun kapasitas produksi (Gambar 4). Hal ini diperkirakan terjadi karena efek sifat koligatif larutan air asin. Secara umum, diketahui bahwa kenaikan konsentrasi larutan akan menaikkan titik didih larutan tersebut. Hal tersebut dengan sendirinya akan mengurangi kapasitas produksi air.



Gambar 6. Kapasitas produksi untuk berbagai variasi konsentrasi awal umpan: pada tekanan operasi 76 cmHg (atmosferik)

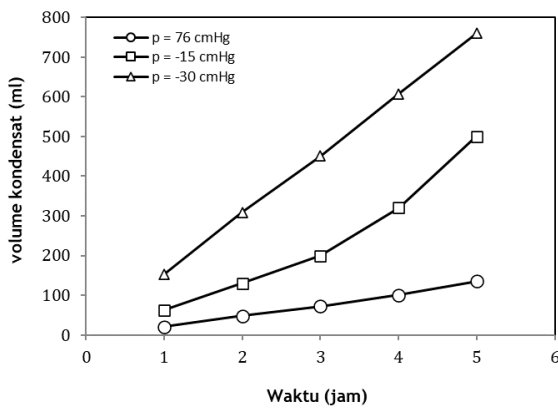


Gambar 7 Kapasitas produksi untuk berbagai variasi konsentrasi awal umpan: pada tekanan operasi -15 cmHg (vakum)



Gambar 8. Kapasitas produksi untuk berbagai variasi konsentrasi awal umpan: pada tekanan operasi -30 cmHg (vakum)

Produksi air optimum yang dihasilkan oleh sistem desalinasi yang dikembangkan adalah 759 ml, atau meningkat 5,62 kali lebih tinggi dari kondisi atmosferik (Gambar 5). Hasil tersebut masih lebih baik dari yang dilaporkan Ambarita [13], yang menggunakan kolektor dan panel surya, dan menghasilkan 900 ml air dalam 9 hari.



Gambar 6. Pengaruh tekanan operasi terhadap kapasitas Produksi air pada kondisi optimum

C. Kualitas Produk Air

Produk air (kondensat) yang dihasilkan dari sistem desalinasi yang dikembangkan dianalisis secara rutin pada berbagai kondisi operasi. Parameter kualitas air yang digunakan mengacu kepada baku mutu air untuk keperluan hygiene sanitasi menurut Kepmenkes RI No. 32 tahun 2017, meliputi salinitas, total padatan tersuspensi (TDS), pH, dan kekeruhan (turbidity). Hasil-hasil pengujian pada kondisi optimum sistem menunjukkan hasil yang cukup baik, karena semua parameter tersebut sudah memenuhi baku mutu tersebut (Tabel 2).

Tabel 2. Kualitas produk air

| Tekanan operasi (cmHg) | Waktu (jam) | TDS (ppm) | Turbidity (NTU) | pH | Salinitas (%) |
|------------------------|-------------|-----------|-----------------|---------|---------------|
| 76 | 1 | 25,9 | 0,51 | 8,11 | 0 |
| | 2 | 25,7 | 0,58 | 7,89 | 0 |
| | 3 | 25,9 | 0,59 | 7,83 | 0 |
| | 4 | 26,2 | 0,59 | 7,81 | 0 |
| | 5 | 25,5 | 0,59 | 7,77 | 0 |
| -15 | 1 | 30,9 | 0,70 | 8,14 | 0 |
| | 2 | 30,5 | 0,77 | 7,92 | 0 |
| | 3 | 30,4 | 0,76 | 7,86 | 0 |
| | 4 | 30,2 | 0,74 | 7,83 | 0 |
| | 5 | 28,6 | 0,71 | 7,79 | 0 |
| -30 | 1 | 32,2 | 0,75 | 8,18 | 0 |
| | 2 | 31,8 | 0,82 | 7,96 | 0 |
| | 3 | 31,7 | 0,82 | 7,90 | 0 |
| | 4 | 31,2 | 0,78 | 7,87 | 0 |
| | 5 | 29,4 | 0,74 | 7,82 | 0 |
| Baku mutu* | | 1000 | 25 | 6,5-8,5 | 0 |

*Kepmenkes RI, No. 32 tahun 2017

Efisiensi penyisihan tertinggi dicapai pada parameter salinitas, dengan efisiensi 100% pada setiap kondisi operasi (Tabel 3). Sedangkan TDS dan kekeruhan mencapai penyisihan optimum pada tekanan operasi -30 cmHg, dengan efisiensi penyisihan masing-masing antara 96,6-97,3% dan 90,1-93,8%. Secara keseluruhan, penyisihan parameter mutu air dalam sistem berbasis energi surya sedikit lebih baik dari yang dilaporkan Lubis dan Munawar [8] serta Munawar dan Majuar [6].

Tabel 3. Efisiensi penyisihan parameter mutu air

| Tekanan operasi (cmHg) | Waktu (jam) | TDS (%R) | Turbidity (%R) | Salinitas (%R) |
|------------------------|-------------|----------|----------------|----------------|
| 76 | 1 | 97,2 | 93,8 | 100,0 |
| | 2 | 97,2 | 93,0 | 100,0 |
| | 3 | 97,2 | 92,9 | 100,0 |
| | 4 | 97,2 | 92,9 | 100,0 |
| | 5 | 97,3 | 92,9 | 100,0 |
| -15 | 1 | 96,7 | 91,5 | 100,0 |
| | 2 | 96,7 | 90,7 | 100,0 |
| | 3 | 96,7 | 90,8 | 100,0 |
| | 4 | 96,8 | 91,0 | 100,0 |
| | 5 | 96,9 | 91,4 | 100,0 |
| -30 | 1 | 96,6 | 90,9 | 100,0 |
| | 2 | 96,6 | 90,1 | 100,0 |
| | 3 | 96,6 | 90,1 | 100,0 |
| | 4 | 96,7 | 90,6 | 100,0 |
| | 5 | 96,9 | 91,0 | 100,0 |

IV. KESIMPULAN

Penelitian pengembangan sistem desalinasi termal yang mengimplementasikan teknologi evaporasi hybrid berbasis energi terbarukan, yaitu energi surya, telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi kondensat meningkat seiring dengan makin rendahnya tekanan operasi desalinasi. Sebaliknya, kapasitas produksi berbanding terbalik dengan konsentrasi awal air umpan. Produksi air optimum terjadi pada tekanan operasi -30 cmHg, yaitu sebanyak 759 ml. Pada kondisi tersebut, laju produksi kondensat dapat ditingkatkan dari 21-27 ml/jam pada sistem atmosferik menjadi 150,3-154,2 mL/jam, atau meningkat sekitar 7 kali lipat, pada sistem vakum.

Sistem desalinasi yang dikembangkan juga dapat meningkatkan kualitas air asin sehingga memenuhi baku mutu air hygiene sanitasi merujuk kepada Kepmenkes RI No. 32 tahun 2017, khususnya untuk parameter-parameter salinitas, TDS, pH, dan kekeruhan..

REFERENSI

- [1] LIPI, (2008), Indonesia Negeri Tropis, Tapi Krisis Air Bersih di Kawasan Pesisir Terjadi? [online]. Available: <http://lipi.go.id>.
- [2] Munawar, Elwina, Helmi, "Unjuk Kerja Unit Desalinasi Berbasis Energi Biomassa", *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, Vol. 1, No. 1, September 2017, hal. 76-78.
- [3] G. Yuan, Z. Wang, H. Li, X. Li, "Experimental Study of A Solar Desalination System Based on Humidification-Dehumidification Process", *Desalination*, 277, 2011, p. 92-98.
- [4] R. Deng, L. Xie, H. Lin, J. Liu, W. Han, "Integration of Thermal Energy and Seawater Desalination", *Energy*, 36, 2010, p. 4368-4374.
- [5] G. Tchobanoglous, F.L. Burton, H.D. Stensel H.D., *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th Edition, Metcalf & Eddy, Inc., McGraw-Hill Inc., NY.
- [6] Munawar, E. Majuar, "The Biomass-based Desalinator Performance in a Vacuum System", International Conference on Science and Innovated Engineering (I-COSINE), in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 536, 2019.
- [7] R.A. Kusumadewi, S. Notodarmojo, Q. Helmy, "Desalinasi Air Asin dengan Proses Distilasi Menggunakan Energi Matahari dalam Kondisi Vakum", *Makalah Tesis Magister*, FTSL – ITB.
- [8] A.M. Lubis, Munawar, "Desalinasi Air Payau Dengan Teknik Evaporasi Surya dan Biomassa", *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, Vol. 3, No. 1, 2019, p. A117-A120.
- [9] S. Alimah, S. Ariyanto, J. Mellawati, Budiarto, (2011), "Desalinasi Hybrid MED-RO Sebagai Opsi Pasokan Air Bersih di Provinsi Kepulauan Babel", *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, Vol. 13, No. 1, Juni 2011.
- [10] I.H. Yilmaz, M.S. Soylemez, "Design and Computer Simulation on Multi Effect Evaporation Seawater Desalination System Using Hybrid Renewable Energy Sources in Turkey", *Desalination*, 291, 2012, p. 23-40.

- [11] K. Astawa, "Pengaruh Penggunaan Pipa Kondensat sebagai Heat Recovery pada Basin Type Solar Still terhadap Efisiensi", *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram*, Vol. 2, No. 1, hal. 34-41.
- [12] Al-Kharabsheh, D.Y. Goswami, "Analysis of An Innovative Water Desalination System Using Low-Grade Solar Heat", *Desalination*, 156, 2003, p. 323-332.
- [13] H. Ambarita, "Rancang bangun alat desalinasi air laut sistem vakum alami dengan tenaga surya", *Jurnal Flywheel*, Vol. 9, No. 1, pp. 37-42, Feb. 2018.