

## SIMULASI PROSES DESALINASI AIR LAUT MENGUNAKAN ENERGI LISTRIK MENJADI AIR

Ichwanul M. Karo Karo<sup>1</sup>, Sri Suryani<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Prodi Ilmu Komputasi Telkom University, Bandung

<sup>1</sup>[imkarokaro@gmail.com](mailto:imkarokaro@gmail.com), <sup>2</sup>[srisuryani@telkomuniversity.ac.id](mailto:srisuryani@telkomuniversity.ac.id),

### Abstrak

Desalinasi adalah suatu proses pengurangan kadar garam untuk memperoleh air mineral dari air laut. Dalam tugas akhir ini dipresentasikan model matematika dari proses desalinasi air laut dengan memanfaatkan energi listrik, memperhatikan aspek suhu, luas penampang, dan volume awal air laut. Model matematika yang dibangun meliputi laju peningkatan suhu dengan pendekatan persamaan kalor jenis, laju penguapan dengan pendekatan Irving langmuir, volume optimal air mineral yang diperoleh, laju kadar garam dan laju peningkatan volume dengan pendekatan volume gas ideal. Model matematika diverifikasi dengan prinsip hukum kekekalan volume dan dibandingkan dengan hasil implementasi desalinasi air laut di perusahaan dan selanjutnya dibangun simulasi desalinasi air laut. Dua liter air laut dengan energi listrik 150 kJ dapat dioptimalkan hingga 1,86 liter air mineral dengan waktu dididih 124,014 detik, dan lebih baik daripada implementasi perusahaan yang hanya mampu mengoptimalkan 5 per tujuh bagian dari air laut.

**Kata kunci :** desalinasi, model, simulasi, metode irving langmuir

### Abstract

Desalination is a processes reduce salinity to get mineral water from sea water. In this final project presented mathematics model from desalination sea water process using electrical energy, shown temperature aspect, wide container and initial volume of sea water. The desalination mathematics model is build temperature increase rate using spesific heat equation, water vaporization rate have the humidity level using Irving Langmuir equation, optimum mineral water volum gotten, the salinity rate increase and the volume increases of ideal gas model. The desalination mathematics model verified using volume balance method principle and compared with implementation result of desalination seawater in companies and next is build simulation of desalination seawater process. For two liter seawater with using 150 kJ electrical energy, can optimum up to 1,86 liter mineral water for the boil time 124,014 sekon and better than implementation result of companies, which just able 5 per 7 of seawater.

**Keywords:** desalination, model, simulation, irving langmuir method.

### 1. Pendahuluan

Kebutuhan manusia mengonsumsi air minum untuk memenuhi kebutuhan mencapai 2,5 liter per harinya tidak termasuk aktivitas lainnya [13], bahkan laju konsumsi air bersih dunia meningkat dua kali lipat setiap 20 tahun, melebihi dua kali laju pertumbuhan manusia, sementara jumlah air tawar yang tersedia di daratan hanya 10 persen. Desalinasi merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengurangi kandungan kadar garam terlarut dari air laut sehingga air dapat dikonsumsi secara langsung, namun dalam perkembangannya banyak yang tidak optimal dan beresiko tinggi, maka dianggap perlu untuk memodelkan proses desalinasi air laut dalam satu sistem secara utuh dan menganalisis faktor utama dalam prosesnya guna mengoptimalkan volume air mineral yang dihasilkan. Selama ini model desalinasi air laut berupa parsial seperti "Vapour Compression Flash seawater desalination system and its exergy analysis" [1], dan "studi pemanfaatan reaktor daya vk-300 tipe bwr untuk

proses desalinasi" [7]. Sehingga proses memodelkan serta membangun simulasi dilakukan menggunakan pendekatan persamaan Irving langmuir, gas ideal dan kalor jenis. Alasan menggunakan pendekatan persamaan Irving langmuir karena persamaan tersebut mengenai proses laju evaporasi air laut, sehingga dengan persamaan gas ideal dapat diperoleh model volume air mineral dan persamaan kalor jenis dapat mengetahui kalor yang optimal untuk proses desalinasi.

### 2. Pendekatan Model

Model merupakan representasi sistem nyata secara sederhana dengan maksud menekan resiko dan biaya logistik. Secara umum proses desalinasi air laut dibedakan menjadi dua *Multistage Flash Distillation System* (MFDS) dan *RO system*. Dalam membangun model desalinasi air laut digunakan pendekatan beberapa persamaan yakni.

**2.1 Metode Irving Langmuir**

Metode Irving langmuir adalah salah satu metode untuk menghitung laju penguapan setiap meter luas permukaan air per detik (evaporation flux). Menurutny jumlah molekul-molekul air yang hilang karena penguapan sama dengan jumlah molekul uap air di udara yang menabrak permukaan air saat terjadi kesetimbangan, dengan kesetimbangan tersebut laju penguapan akan sama dengan proses kondensi, sehingga secara matematis ditulis

$$\frac{dU}{dt} = (P_v - P_p) \sqrt{\frac{m}{2\pi \cdot R \cdot T}} \quad (1)$$

Dengan  $\frac{dU}{dt}$  adalah laju aliran massa uap dalam luas penampang tertentu per satu detik, U merupakan massa uap, P<sub>v</sub> adalah tekanan titik didih pada temperatur tertentu dalam satuan pascal, dan diperoleh dari

$$P_v = 133.22 \cdot 10^{\frac{8.0713 - \frac{1730.63}{233.246 + T_b}}{.}} \quad (2)$$

Dengan T<sub>b</sub> temperatur dalam celcius, P<sub>p</sub> adalah tekanan parsial uap zat yang diperoleh dari tabel phsycometric dengan pascal (P<sub>a</sub>). m merupakan berat molekul air yang bernilai 0.018 kg/mol dan R merupakan konstanta gas ideal atau konstanta Mendeleev senilai 8.314 Joules/(mol Kelvin).

**2.2 Persamaan Kalor Jenis**

Kalor didefinisikan sebagai energi panas yang dimiliki oleh suatu zat. Salah satu penghasil kalor adalah energi listrik, sehingga semakin besar energi listrik yang diberikan maka semakin besar suhu yang dihasilkan. Menganut persamaan kalor jenis yang didefinisikan dengan

$$\Delta T = \frac{Q}{m \cdot c} \quad (3)$$

Q kalor yang dibutuhkan dalam joule, m merupakan massa zat, c adalah kalor jenis dengan nilai 3900 Joule/Kg.C dan ΔT adalah perubahan suhu.

**2.3 Persamaan Gas Ideal**

Proses penguapan yang berupa zat, selanjutnya akan dikonversi menjadi volume air, dalam hal ini mengabaikan waktu proses kondensi, sehingga untuk memperoleh volume air dari proses penguapan dilakukan pendekatan persamaan gas ideal yakni

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (4)$$

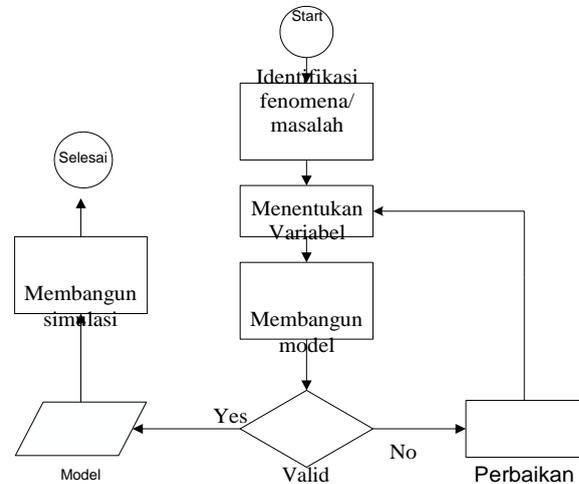
Dimana V adalah volume air, n jumlah mol yang diperoleh dari

$$n = \frac{m}{Mr} \quad (5)$$

dengan m adalah massa zat, Mr adalah massa molekul relatif, dan P adalah selisih tekanan titik didih dengan tekanan uap parsial.

**3. Desain Proses**

Pada bagian ini, dijelaskan tentang alur kerja simulasi proses desalinasi air laut, meliputi identifikasi masalah, variabel yang digunakan, pemodel dan pembuatan simulasi sebagaimana pada Gambar 1.



**Gambar 1 Flow Chart**

Proses menentukan varibel dilakukan dengan trial dan learning sehingga akan senantiasa menganalisis tingkat error dari model. Proses membangun model meliputi empat hal yakni

1. Model persamaan differensial pada laju peningkatan suhu dengan Energi listrik.
2. Model persamaan differensial pada laju pengupan air laut.
3. Model persamaan differensial laju penambahan volume air
4. Model persamaan differensial laju peningkatan kadar garam.

Setelah memperoleh model, maka akan diverifikasi dan divalidasi dengan teorema kekekalan massa dan uji t untuk dua populasi yang dibandingkan dengan hasil implementasi suatu perusahaan. Proses terakhir ialah membangun simulasi desalinasi dari model persamaan yang diperoleh.

**4. Hasil dan Analisis**

Pada tahapan ini akan dibangun model untuk proses desalinasi dengan berbagai pendekatan serta menganalisis antar faktor dominan.

**4.1 Model Laju Peningkatan Suhu**

Dengan pendekatan persamaan (3) akan dibangun model laju peningkatan suhu, karena persamaan (3) belum tepat untuk menyatakan laju peningkatan suhu sehingga kedua ruas dibagi dengan waktu, maka diperoleh

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{Q}{m \cdot c \cdot \Delta t} \quad (6)$$

$\Delta t$  adalah selisih waktu proses dengan waktu permulaan, karena waktu permulaan bernilai 0 dan  $\lim_{T \rightarrow 0} \Delta t = dt$ , maka persamaan (6) menjadi

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q}{m \cdot c \cdot t} \tag{7}$$

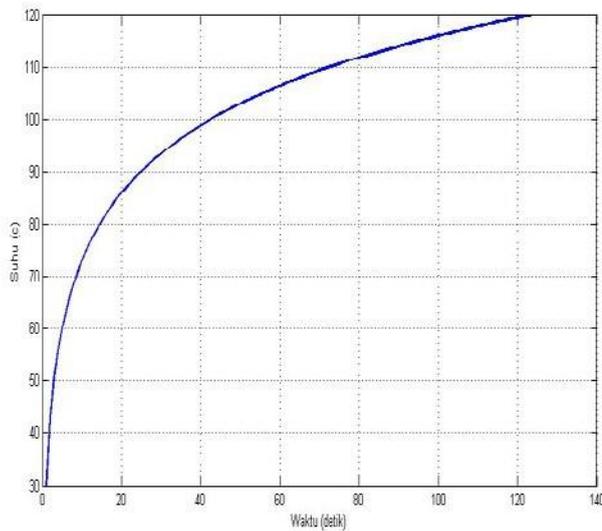
Dengan  $\frac{dT}{dt}$  adalah laju peningkatan suhu ( $^{\circ}\text{C}/\text{detik}$ ). Proses selanjutnya dicari solusi dari persamaan (7) dengan mengintegrasikan kedua ruas, dengan asumsi suhu awal air laut  $T(0) = 30$ , maka model persamaan untuk peningkatan suhu adalah

$$T(t) = 30 + \frac{Q \cdot \ln(t)}{c \cdot m} \tag{8}$$

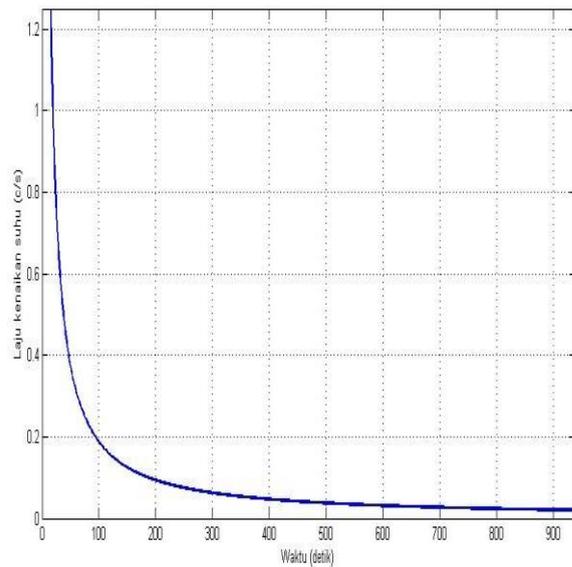
Model Persamaan (8) mengalami kondisional, karena pada waktu 0 detik belum terjadi pemanasan dan  $\ln(0)$  invalid input maka

$$T(t) = \begin{cases} 30, & t = 0 \\ 30 + \frac{Q \cdot \ln(t)}{c \cdot m}, & t \leq t_{\text{didih}} \end{cases} \tag{9}$$

Apabila ditinjau hubungan suhu dengan waktu, dengan beberapa parameter yang digunakan dalam pengujian suhu awal air laut ( $T$ )  $30^{\circ}\text{C}$ , titik didih  $120^{\circ}\text{C}$ , kalor jenis ( $c$ )  $3900 \text{ Joule}/\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ , kalor yang digunakan  $150 \text{ kJ}$ , volume air laut awal  $2 \text{ liter}$  atau setara dengan  $2,060 \text{ kg}$ , maka lamanya waktu yang diperlukan untuk mencapai titik didih adalah  $124.016 \text{ detik}$ , maka kenaikan suhu setiap detik, seperti gambar berikut sampai titik didih



**Gambar 1(a) Hubungan peningkatan suhu dengan waktu**



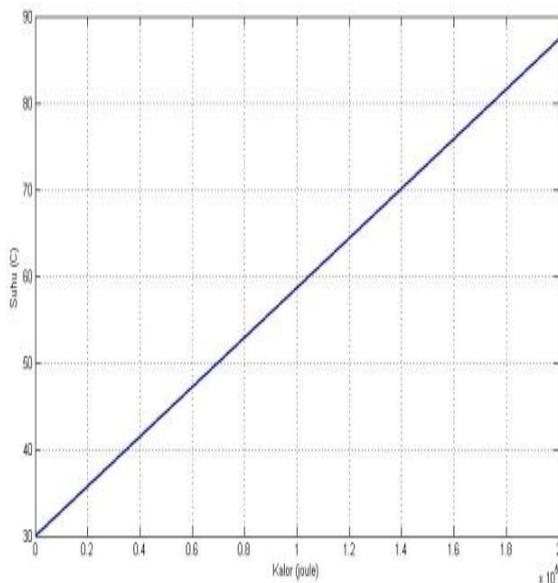
**Gambar 1(b) Hubungan laju peningkatan suhu dengan waktu**

Gambar 1(a) mengidentifikasi bahwa peningkatan suhu setiap detiknya akan meningkat mendekati eksponensial hingga mengalami stagnansi pada titik didih, karena suhu berbanding lurus dengan kalor. Sedangkan Gambar 1(b) mengidentifikasi penambahan suhu setiap detiknya cenderung menurun hingga mendekati titik didih air laut, hal ini memiliki keterkaitan yang sangat besar dengan laju suhu pada proses desalinasi, disaat suhu semakin meningkat dan mengalami kejenuhan, maka laju peningkatan suhu pula menurun hingga tidak terjadi lagi peningkatan suhu pada air laut.

Apabila ditinjau suhu terhadap kalor dengan beberapa parameter yang digunakan dalam pengujian ini adalah suhu awal air laut awal ( $T$ )  $30^{\circ}\text{C}$ , Kalor jenis ( $c$ )  $3900 \text{ Joule}/\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ,  $150 \text{ kJ}$ ,  $170 \text{ kJ}$  dan  $200 \text{ kJ}$  selama  $10 \text{ detik}$  dengan massa air laut  $2.060$  atau setara dua liter sehingga diperoleh

**Tabel 3 Hubungan Kalor dengan Suhu**

No	Kalor (kJ)	Suhu Akhir dalam 10 detik ( $^{\circ}\text{C}$ )	Waktu yang diperlukan untuk $120^{\circ}\text{C}$ (detik)
1	0	30	-
1	150	72.9908	124,014
2	170	78.7229	70,337
3	200	87.3210	37,162



**Gambar 3 Hubungan kalor terhadap suhu**

Gambar 3 mengikuti model linier, setiap peningkatan kalor akan selalu diikuti oleh kenaikan suhu, dengan catatan variabel yang lainnya konstan. Implikasinya pada proses desalinasi adalah kompleksitas waktu untuk mendidihkan air laut akan mengikuti  $T(n) = O(n)$ . Tentu kondisi volume air laut yang bervariasi tentu memberikan analisis tersendiri terhadap kalor, volume air laut yang semakin besar dengan kalor yang diberikankonstanta, maka akan semakin lama waktu untuk mendidihnya apabila volume air laut ditingkatkan dari volume air laut awalnya

**4.2 Model Persamaan Laju Penguapan Air Laut**

Dengan pendekatan persamaan (1), akan dibangun model laju penguapan. Persamaan (1) haruslah dimodifikasi untuk menyesuaikan dengan kebutuhan menghitung laju penguapan air laut terhadap waktu ( $\frac{dU^*}{dt}$ ) dengan satuan kg/s, sehingga persamaan (1) dikali dengan luas penampang (A) karenanya menjadi faktor dominan dalam proses penguapan, dan dibagi selisih waktu antara waktu didih dan waktu proses ( $\Delta t$ ), maka diperoleh persamaan laju penguapan

$$\frac{dU^*}{dt} = \frac{A}{\Delta t} \cdot (P_v - P_p) \sqrt{\frac{m}{2\pi \cdot R \cdot T}} \quad (10)$$

Proses penguapan terjadi saat waktu lebih besar dari waktu didih, dan sebelum saat tersebut belum terjadi penguapan maka model (10) menjadi

$$\frac{dU^*}{dt} = \begin{cases} 0, & t \leq t_{didih} \\ \frac{A}{t} \cdot (P_v - P_p) \sqrt{\frac{m}{2\pi \cdot R \cdot T}}, & t > t_{didih} \end{cases} \quad (11)$$

Solusi dari persamaan (11), kedua ruas harus diintegrasikan, dengan  $U(0)=0$ , dan tekanan titik didih sama dengan tekanan uap parsial, maka

$$U(t) = A \cdot \ln(t) \cdot (P_v - P_p) \sqrt{\frac{m}{2\pi RT}} \quad (12)$$

Jumlah uap yang dihasilkan setiap detiknya tentunya akan terus berkurang dengan terjadinya proses kondensi menjadi volume air, memperhatikan kondisi tersebut, maka model persamaan laju penguapan matematika ditulis sebagai berikut

$$U(t) = A \cdot \ln(t) \cdot (P_v - P_p) \sqrt{\frac{m}{2\pi RT}} - V(t) \quad (13)$$

Mengacu prinsip persamaan (11), maka persamaan (13) juga mengalami rekondisi sehingga model diperoleh

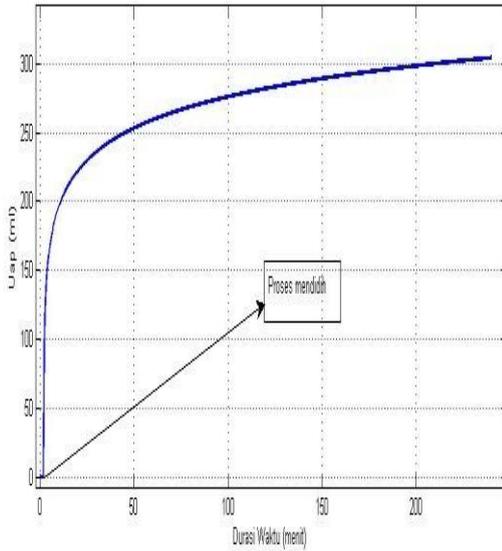
$$U(t) = \begin{cases} 0, & t \leq t_{didih} \\ A \cdot \ln(t) \cdot (P_v - P_p) \sqrt{\frac{m}{2\pi RT}} - V(t), & t > t_{didih} \end{cases}$$

Dengan kondisi yang sama saat hubungan suhu terhadap waktu, tekanan atmosfer 1 atm, kelembapan 75 %, massa molekul air 0.018 kg/mol, luas penampang wadah yang digunakan 0,2 m<sup>2</sup> maka hubungan waktu dengan volume uap yang dihasilkan dari model yang dibangun diperoleh hasil uap sebagai berikut

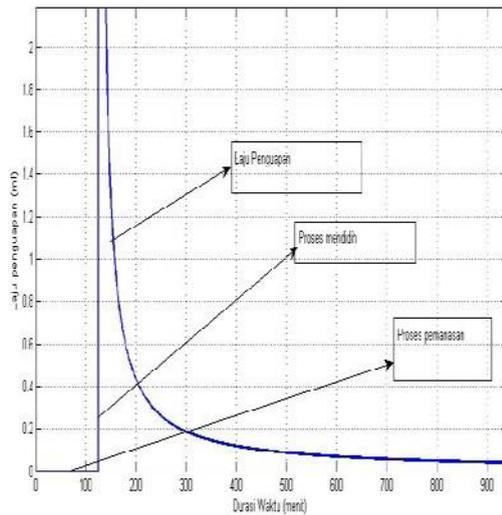
**Tabel 4 Hubungan Volume Uap terhadap waktu**

No	Waktu (detik)	Volume Uap (ml)
1	124	0
2	125	0.4217
3	126	20.5215
4	127	32.7189
5	128	41.3584
6	129	48.0535
7	130	53.5206

Tabel 4 mengidentifikasi bahwa debit uap yang dihasilkan dari proses penguapan terjadi setelah setelah detik 125 artinya dibawah atau sama dengan detik 125 tidak terjadi penguapan, hal tersebut senada dengan informasi di Gambar 4(a). Selain itu akan peningkatan debit uap mengalami stakanisasi pada periode waktu tertentu, hal ini disebabkan karena debit volume air laut yang hendak diuapkan sudah dalam keadaan jenuh.



Gambar 4(a) Hubungan uap terhadap waktu



Gambar 4(b) Hubungan laju penguapan terhadap suhu

Gambar 4(b) memberikan tiga informasi penting dalam proses penguapan, pertama bernilai nol dimana sedang terjadi proses pemanasan air laut, sehingga laju penguapan bernilai nol. Grafik lurus terhadap sumbu y, memberikan informasi bahwa tengah terjadi proses mendidih dan yang terakhir adalah proses penguapan yang terjadi setelah detik ke 125.

Penguapan hanya dapat terjadi apabila tekanan titik didih lebih besar dari tekanan udara, jika tidak,  $U(t)$  tidak bernilai 0, maka faktor kelembapan perlu diperhatikan dalam proses desalinasi. Begitupula luas penampang pada proses desalinasi air laut, yang berbanding lurus dengan debit uap yang dihasilkan hal ini juga relevan dengan teori penguapan.

### 4.3 Model Persamaan Laju Penambahan Volume Air

Pendekatan persamaan (4) digunakan untuk membangun model laju peningkatan volume air, akan tetapi belum tepat untuk menyatakan laju penambahan volume setiap detiknya, maka kedua sisi dibagi dengan selisih waktu antara waktu didih dan waktu proses ( $\Delta t$ ), hal ini dilakukan untuk menyamai dimensi laju peningkatan volume, dan diperoleh

$$\frac{dV}{\Delta t} = n \cdot R \cdot \frac{T}{P \cdot \Delta t} \quad (15)$$

Proses uap menjadi air dimulai setelah waktu didih, yang artinya model hanya memanfaatkan waktu didih, sehingga  $\Delta t$  diganti dengan waktu didih, maka persamaan (15) mengalami perubahan sebagai berikut

$$\frac{dV}{dt} = n \cdot R \cdot \frac{T}{P \cdot t} \quad (16)$$

Volume air terbentuk setelah melewati waktu titik didih, dengan demikian persamaan (16) mengalami kondisi

$$\frac{dv}{dt} = \begin{cases} 0, & t \leq t_{didih} \\ n \cdot R \cdot \frac{T}{P \cdot t}, & t > t_{didih} \end{cases} \quad (17)$$

Dalam kondisi penguapan, suhu dan tekanan senantiasa berubah, sehingga digunakan persamaan (9) untuk memperoleh  $T$ , dan dengan menggunakan  $(P_v - P_p)$  diperoleh  $P$ , dan setiap detiknya akan

terus diperbaharui menggunakan Hukum Gay Lussac-Amontons.

Solusi persamaan (17) diperoleh dengan mengintegrasikan kedua sisinya dengan  $V(0) = 0$  maka diperoleh volume setiap detiknya

$$V(t) = n \cdot R \cdot \frac{T}{P} \cdot \ln(t) \quad (18)$$

Mengacu prinsip terbentuknya persamaan (17), maka persamaan (18) juga mengalami kondisional sehingga model yang diperoleh

$$V(t) = \begin{cases} 0, & t \leq t_{didih} \\ n \cdot R \cdot \frac{T}{P} \cdot \ln(t), & t > t_{didih} \end{cases} \quad (19)$$

Dengan demikian, maka volume air laut setiap waktunya juga akan terus berubah hingga mencapai titik jenuh yakni *brine*, secara matematika dapat dimodelkan

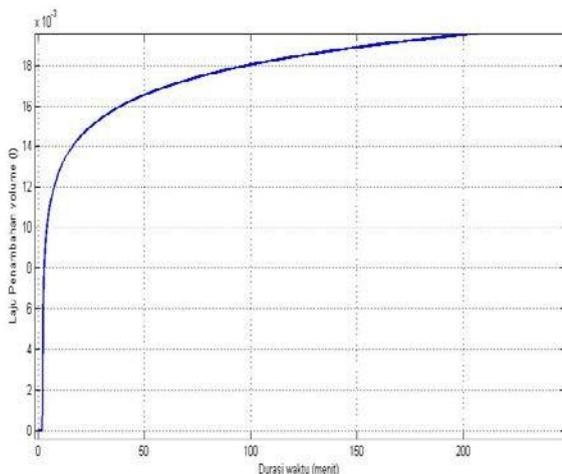
$$V_{air\ laut\ sisa}(t) = V_{air\ laut} - U(t) \quad (20)$$

Dengan perlakuan yang sama dengan kondisi uap terhadap waktu dan jumlah mol yang diberikan 0.11 mol, maka informasi dari persamaan yang diperoleh

Tabel 5 Hubungan Volume air terhadap waktu

No	Waktu (detik)	Volume air (liter)
1	124	0
2	125	0.0264
3	126	1.2829
4	127	2.0455
5	128	2.5856
6	129	3.0042
7	130	3.3460

Dari Tabel 5, dapat disimulasikan dalam bentuk grafik diperoleh



Gambar 5 Laju penambahan volume terhadap waktu

Laju peningkatan volume air terhadap waktu bersifat eksponensial. Implikasinya, kejenuhan brine terjadi sampai dengan volume air mineral yang dihasilkan optimal. Waktu untuk memperoleh volume air mineral optimal digunakan persamaan (14) dan persamaan (22) secara berkebalikan terhadap waktu.

**4.4 Model Persamaan Laju Peningkatan Kadar Garam**

Model untuk laju peningkatan kadar garam pada proses desalinasi air laut diperoleh dengan memanfaatkan laju peningkatan volume. Data kadar garam hasil desalinasi dari 10 liter air laut yang dikutip dari berbagai sumber ialah

Tabel 1 Jumlah kadar garam dari volume brine

No	Volume Sisa (liter)	Kadar Garam (gr/l)
1	10	35
2	9	38,89
3	8	43,75
4	7	50
5	6	58,33

Asumsi kadar garam air laut umumnya 35 gr/l dan brine umumnya hingga 500 gr/l. Dari data Tabel 1 dan memanfaatkan persamaan (20), maka laju peningkatan kadar garam dapat dimodelkan dengan

$$M(t) = \frac{35 \frac{gr}{l} \cdot V_{air laut}}{V_{air laut} - V(t)} \quad (21)$$

Dimana  $M(t)$  kadar garam sehingga dari persamaan (21) dan informasi kadar maksimum brine, maka diperoleh model untuk mengoptimalkan volume air mineral yakni

$$V_{air} = \frac{465}{500} V_{air laut} \quad (22)$$

**5. Simpulan**

Model persamaan matematika pada proses desalinasi air laut dibangun dari laju peningkatan suhu sebagaimana pada persamaan (7) dan (9), laju penguapan dengan persamaan (11) dan (14), laju peningkatan suhu sebagaimana persamaan (17) dan (19) dengan volume optimal 465/500 dari volume air laut.

**Daftar Pustaka:**

- [1] Chou, Qiao-li., Cong-zhuo, Jin & Peng-ceng, Shu. (2014). *Vapour Compression Flash seawater desalination system and its exergy analysis*, American Elsevier Publishing Co.,Inc., New York, (pp 75-83)
- [2] Committee on advancing desalination technology. (2005). *Desalination : a National Perspective*, Washington, D.C : National academy of sciences.
- [3] Dym, C. (2004). *Principles of Mathematical Modelling*, (pp 1-10).
- [4] Fleming,G., 1975, *Computer Simulation Techniques in Hydrology*, American Elsevier Publishing Co.,Inc., New York, pp 25-52.
- [5] Hiranandani, T.S., Tunggul, Sutanhaji A. (2014). *Rancang Bangun dan Uji Kinerja Alat Desalinasi Sistem Penyulingan menggunakan Panas Matahari dengan Pengaturan Tekanan Udara* Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem Vol. 12 No.1
- [6] Jewett, S. (n.d). *Phisysics for Scientists and Engineers 6th, California*.
- [7] Karliana, I., Sumijanto, Dhandhang. (2008). *Studi Pemanfaatan Reaktor Data VK 300 Tipe BWR untuk Proses Desalinasi*, 12(1), (pp 1-6).
- [8] Law,A.M., and Kelton,W.D., 1991, *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw Hill,Inc., Singapore, pp 1-7, 106-116.
- [9] Mananoma, T. (2008). *Pemodelan Sebagai Sarana dalam mencapai Solusi Optimal*,8(3) 184-192.
- [10] Phillips, D.T., Ravindran.A.,& Solberg. J. (1976). *Operations Research Principles and Practice*, (pp 1-11,359 - 367).

- [11] Rozan, F. *Kimia*. Retrieved from <http://www.academia.edu/6392351/Kimia>
- [12] Taha, H. A. (1992). *Operation Research-An Introduction*, (pp 1-10).
- [13] Wijayanti, E., Sari, R.K., & Harto, A.W. (2006). Analisis Perancangan Kogenerasi pada GT-MHR (Gas Turbine Modular Helium Reactor) untuk Desalinasi Air laut Menggunakan Proses
- Proses MED-TVC, *Prosiding Seminar Nasional ke-12 Teknologi dan Keselamatan*, (pp 1-12). Yogyakarta.
- [14] Wood, Jasse H, Charles W. Keenan & Donald C.Kleinfelter.(1995). *Kimia untuk Universitas*, Jakarta : Erlangga.