

## Simulasi Laju Penguapan Air Laut Secara Natural Menggunakan ANSYS Fluent

Hendrik V Sihombing, Himsar Ambarita, Horas S Siagian

Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Indonesia

[himsar@usu.ac.id](mailto:himsar@usu.ac.id)

### Abstract

The process of water evaporation from various reservoirs has been a particular concern over the last century. This is important as it forms the basis for calculating energy consumption in the water evaporation process and generally the loss of liquid mass in a reservoir. In this research, a transient simulation was conducted to determine the rate of seawater evaporation occurring in a reservoir or holding tank, assuming that the solar radiation absorbed by the tank is considered as heat flux. The simulation used the CFD (Computational Fluid Dynamics) multiphase method (Volume of Fluid) with Ansys Fluent software. The boundary conditions used in this simulation correspond to the geographical coordinates of 3°30'–3°43' North Latitude and 98°35'–98°44' East Longitude. From the simulation results, values for the mass transfer rate and heat transfer rate can be obtained, with an average rate over 1 hour being  $2.78671 \times 10^{-6}$  kg/s and 2049.18 J/s without a fan.

**Keyword:** Evaporation Rate, Seawater, Natural, 2D Simulation, Water Tank.

### Abstrak

Proses penguapan air untuk berbagai reservoir telah menjadi perhatian khusus abad terakhir ini. Hal ini penting dikarenakan dasar dalam perhitungan konsumsi energi pada proses penguapan air maupun umumnya kehilangan massa cairan di suatu reservoir. Pada penelitian ini dilakukan simulasi secara transient, yang bertujuan untuk mengetahui laju penguapan air laut yang terjadi pada sebuah reservoir atau bak penampung, dengan asumsi radiasi matahari yang dianggap telah diserap oleh bak sebagai fluks panas. Simulasi yang digunakan menggunakan metode CFD (*computational Fluid Dynamics*) multifasa (*Volume of Fluid*) dengan perangkat lunak Ansys Fluent. Kondisi batas yang digunakan pada simulasi ini dengan kondisi geografis 3°30'–3°43' Lintang Utara dan 98°35'–98°44' Bujur Timur. Pada hasil simulasi dapat diperoleh nilai laju perpindahan massa dan laju perpindahan panas, dengan nilai rata-rata laju selama 1 jam, untuk tanpa kipas  $2,78671 \times 10^{-6}$  kg/s dan 2049,18 J/s.

**Kata Kunci:** Laju Penguapan, Air Laut, Natural, Simulasi 2D, Bak Air.

### 1. PENDAHULUAN

Memprediksi laju penguapan air laut untuk berbagai reservoir air didalam ruangan dan diluar ruangan telah menarik kegiatan peneliti selama bertahun-tahun. Penting untuk merencanakan konsumsi energi di fasilitas kolam renang, menganalisa performansi dari alat desalinasi, dan memprediksi kehilangan massa cairan di reservoir, memprediksi laju

penguapan air laut dalam pembuatan garam. Pada tahun 1918 sebuah persamaan empiris digunakan untuk menghubungkan laju penguapan dengan perbedaan tekanan uap dan kecepatan angin. Ini masih direkomendasikan oleh ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers*) sebagai formula untuk mengestimasi penguapan. Sejak saat itu, telah dikembangkan hubungan empiris untuk penguapan di udara diam dan udara bergerak [1].

Penguapan (evaporasi) adalah perubahan suatu zat cair menjadi uap pada beberapa suhu dibawah titik didihnya. Sebagai contoh, air ketika ditempatkan pada wadah dangkal yang terbuka ke udara, tiba – tiba menghilang, kecepatan penguapan bergantung pada sejumlah permukaan yang terbuka, kelembaban udara dan suhu. Penguapan (evaporasi) terjadi dikarenakan diantara molekul– molekul yang dekat dengan permukaan zat cair tersebut selalu terdapat cukup energi panas untuk mengatasi gaya kohesi sesama molekul kemudian terlepas [2].

Proses penguapan atau evaporasi adalah proses pemisahan uap air dalam bentuk murni dari suatu campuran berupa larutan (cairan) yang mengandung air dalam jumlah yang relatif banyak [3]. Penguapan merupakan hal yang layak dan sangat penting untuk di perhatikan, salah satunya adalah penting bagi pemilik kolam renang dikarenakan harus memprediksi dan mengestimasi besarnya kehilangan energi pada kolam yang diakibatkan terjadinya penguapan air pada kolam [4].

Penentuan laju penguapan juga merupakan bagian terpenting dalam proses permurnian air laut (desalinasi), salah satunya adalah untuk menentukan laju penguapan yang terjadi pada evaporator pada desalinasi surya sistem vakum alami yang dapat menentukan performansi alat desalinasi tersebut. Salah satu cara untuk menentukan laju penguapan yang terjadi adalah dengan menggunakan metode numerik dengan menggunakan perangkat lunak CFD untuk menjelaskan proses penguapan yang terjadi [5].

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah cabang dinamika fluida yang menyediakan cara yang paling efisien dalam waktu dan biaya untuk mensimulasikan suatu peristiwa aliran dalam kehidupan nyata dikarenakan dapat ditentukan dengan solusi numerik dari persamaan governing equation. Persamaan governing equation dinamika fluida Newtonian, yaitu persamaan Navier-Stokes, telah dikenal selama lebih dari 150 tahun. CFD dapat digunakan untuk banyak kasus, contohnya reaksi kimia, perpindahan massa, perpindahan panas, aliran fluida dan lainnya [6].

Perilaku udara sangat mempengaruhi terjadinya penguapan air, salah satunya yaitu suhu udara, kelembaban udara dan kecepatan udara pada permukaan air. Pada pengoperasian secara praktis dengan adanya ventilasi udara dapat mempengaruhi terjadinya penguapan air, dikarenakan keseimbangan antara udara dan permukaan air sangat sensitif sehingga penting untuk menjaga kualitas udara seperti kecepatan, suhu dan kelembaban yang masuk untuk mengestimasi besarnya laju penguapan yang terjadi [7]. Secara analogi, pada kondisi konveksi natural, perbedaan densitas dan tekanan uap dapat mempengaruhi terjadinya penguapan [8]. Untuk menghemat biaya dan waktu dalam melakukan penelitian maka studi numerik, atau analisa numerik dapat menjadi salah satu solusi atas permasalahan tersebut. Karena melibatkan fluida bidang Metode Perhitungan Fluida dapat digunakan untuk membantu pemodelan proses penguapan. Maka diusulkan penelitian tentang Simulasi CFD 2D Penguapan Air Laut Tanpa Kipas Dan Dengan Tambahan Kipas.

Dari hasil studi literatur yang dilakukan, fenomena proses penguapan air laut belum dijelaskan secara detail, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk

mendapatkan Gambaran fenomena seperti distribusi temperatur, tekanan maupun besarnya nilai laju penguapan air laut. Pada penelitian ini dilakukan simulasi 2D penguapan dengan cara menempatkan air pada suatu wadah, kemudian diuapkan dengan energi fluks panas sebagai panas matahari dan pada kondisi konveksi natural. Konsep dari sistem ini berdasarkan proses penguapan air pada suatu wadah terbuka kemudian menguap dengan bantuan radiasi dari matahari.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian memuat rancangan, subyek penelitian, prosedur, instrumen, dan teknik analisis data, serta hal-hal yang terkait dengan cara-cara penelitian. Terdapat dua unsur penting yang menjalankan penelitian ini. Pertama adalah perangkat lunak (*software*) yang menjadi alat utama untuk menjalankan semua proses simulasi. Perangkat lunak digunakan untuk membuat model 2D penguapan tanpa kipas dan tambahan kipas, membentuk mesh dari tiap bagian, mengatur kondisi dan metode perhitungan, melakukan perhitungan simulasi, dan mengelolah hasil simulasi. Perangkat lunak yang digunakan adalah Ansys Workbench.

### 2.1. Persamaan Umum Untuk Aliran Fluida

Persamaan pembentuk aliran fluida dikenal dengan istilah *governing equations*. Untuk dapat membangun persamaan aliran fluida ini, maka fluida harus dibagi atas sejumlah elemen elemen kecil yang pergerakannya harus memenuhi hukum hukum fisika. Hukum hukum fisika yang menjelaskan aliran fluida dan distribusi temperatur ada 3 yaitu: Hukum kekekalan massa, Hukum kekekalan momentum, Hukum kekekalan energi.

#### 2.1.1. Hukum Kekekalan Massa

Pada prinsipnya fluida dan aliran fluida dapat dianggap tersusun atas elemen elemen kecil. Misalkan dari fluida, satu elemen yang ukurannya  $\delta x$  dan  $\delta y$  (pada kasus 2 dimensi  $\delta z = 1$ ) diambil untuk dianalisis. Jika massa jenis fluida adalah  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ) dan kecepatan fluida sejajar sumbu- $x$  adalah  $u$ , maka massa fluida yang masuk pada permukaan elemen disebelah kiri dapat dituliskan:  $\rho u \delta y$ . Sementara yang keluar dari permukaan kanan menjadi:  $(\rho u + (\partial \rho u / \partial x) \delta x) \delta y$ . Hal yang sama juga dapat dibuat untuk permukaan sebelah bawah dan atas elemen. Hukum kelestarian massa dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \sum_{in} \dot{m} - \sum_{out} \dot{m} \quad (1)$$

Jika masing masing dijabarkan menurut simbol yang ditampilkan pada gambar, maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \delta x \delta y) = \rho u \delta y + \rho v \delta x - \left( \rho u + \frac{\partial \rho u}{\partial x} \delta x \right) \delta y - \left( \rho v + \frac{\partial \rho v}{\partial y} \delta y \right) \delta x \quad (2)$$

Penyederhanaan persamaan ini akan menjadi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

### 2.1.2. Hukum Kekekalan Momentum

Hukum ini sering juga disebut dengan hukum kedua Newton dan untuk kasus 2 dimensi harus dijabarkan pada masing masing sumbu- $x$  dan sumbu- $y$ . Hukum kedua Newton pada arah sumbu- $x$  dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$\sum F_x = m \cdot a_x \quad (4)$$

Untuk kasus dua dimensi, gaya-gaya yang terdapat pada elemen fluida antara lain akibat tegangan normal, tegangan geser, tekanan dan gaya badan (*body force*).

Dengan mensubstitusi semua gaya pada gambar dan menggunakan definisi percepatan  $a_x = Du/Dt$ , dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\left[ p - \left( p + \frac{\partial p}{\partial x} \delta x \right) \right] \delta y + \left[ \sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} \delta x - \sigma x \right] \delta y + \left[ \tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \delta y - \tau_{yx} \right] + f_x \rho \delta x \delta y = m \frac{Du}{Dt} \quad (5)$$

Untuk fluida Newtonian, dapat disederhanakan menjadi sebagai berikut:

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial \rho u u}{\partial x} + \frac{\partial \rho u v}{\partial y} = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (6)$$

Jika fluida yang dianalisis dalam kondisi steady dan sifat fisik konstan, persamaan momentum ini dapat ditulis lebih sederhana lagi yaitu sebagai berikut:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (7)$$

Dan dengan cara yang sama untuk sumbu  $y$ , dapat diturunkan dan hasilnya adalah:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (8)$$

### 2.1.3. Hukum Kekekalan Energi

Bentuk matematis dari hukum kelestarian energi dituliskan sebagai berikut:

$$\dot{E} = \dot{Q} + \dot{W} \quad (9)$$

Persamaan energi:

$$\frac{\partial \rho c T}{\partial t} + \frac{\partial \rho c u T}{\partial x} + \frac{\partial \rho c v T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} k \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k \frac{\partial T}{\partial y} + \rho \dot{q} - p(\nabla \cdot V) + \mu \Phi \quad (11)$$

Dimana  $c$  (J/kg.K) adalah panas jenis fluida yang dibahas dan  $\Phi$  adalah fungsi disipasi, yang dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$\Phi = 2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \quad (12)$$

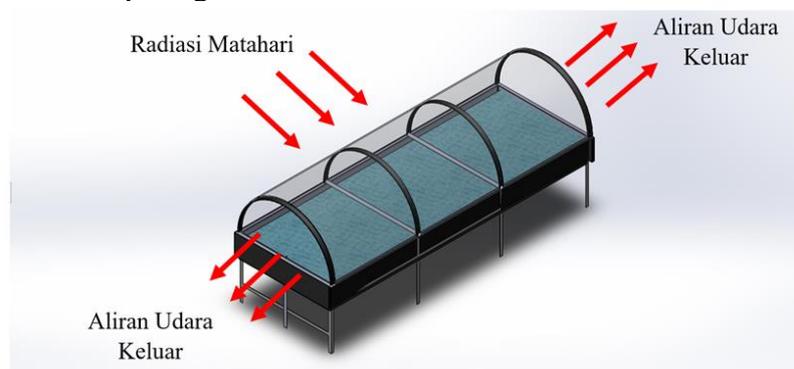
Jika pada aliran yang terjadi steady, tidak ada sumber panas, pengaruh disipasi dan kerja akibat tekanan diabaikan dan sifat fisik konstan, maka persamaan energi akan menjadi sangat sederhana, dituliskan sebagai berikut:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{k}{\rho c} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (13)$$

Persamaan inilah yang sering dipakai untuk mendapatkan distribusi temperatur.

## 2.2. Objek Penelitian

Pengujian pada penelitian ini yakni simulasi 2D untuk mengetahui laju penguapan air laut yang terjadi pada sebuah bak penampung dengan adanya pengaruh radiasi matahari dan juga adanya pengaruh tambahan kipas, permodelan menyerupai sebuah bak terbuka yang berisikan air dengan tambahan kipas maupun tidak, dengan panjang bak 300 cm, dan berisikan air dengan ketinggian air 20 cm. Energi panas dari radiasi matahari di anggap telah diserap oleh bak dan kemudian akan di serap air laut. Untuk sketsa permodelan pengujian dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



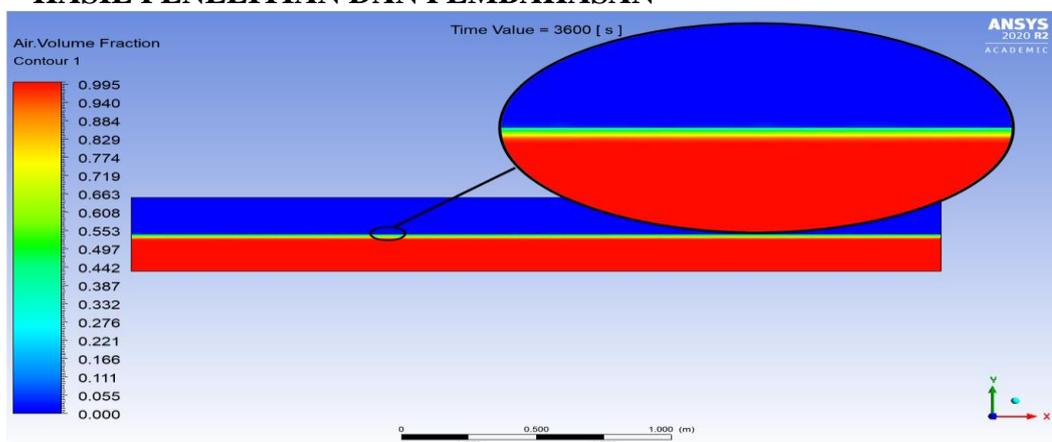
**Gambar 1.** Desain Penguapan Air Laut Sistem Natural

Di bawah ini adalah ukuran dimensi yang digunakan pada geometri simulasi 2D penguapan air laut tanpa kipas dan dengan tambahan kipas.

**Tabel 1.** Spesifikasi geometri

Panjang	3000 mm
Tinggi Domain air	200 mm
Tinggi Domain udara	200 mm

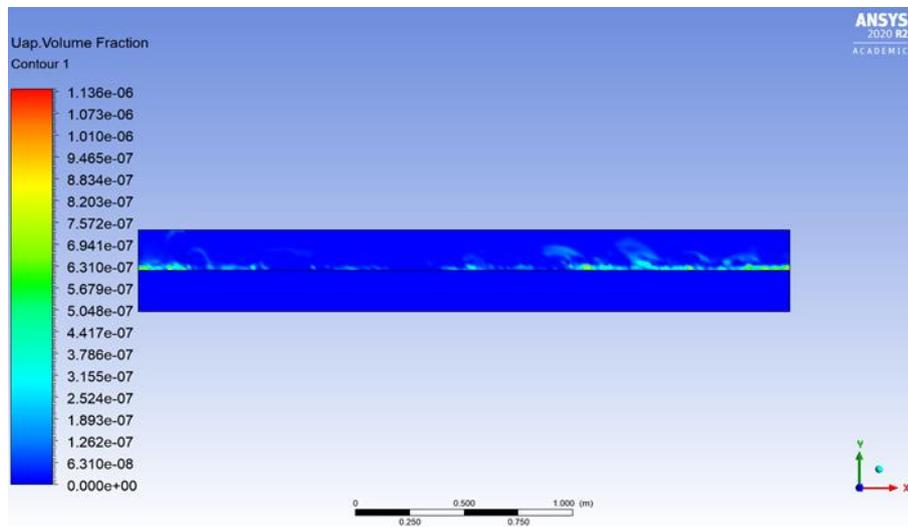
## 3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN



**Gambar 2.** Kontur fraksi domain air pada simulasi Ansys

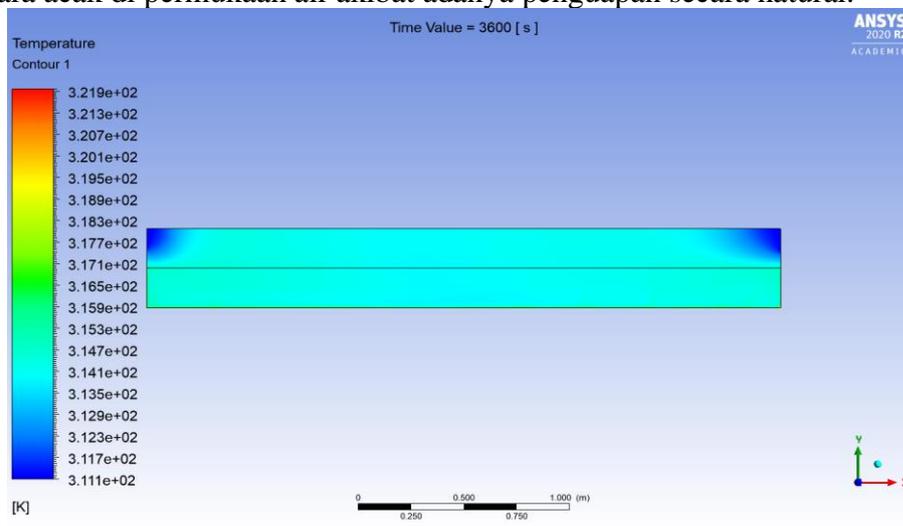
Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa domain air yaitu *Air. Volume Fraction* ditandai dengan kontur yang mengarah ke warna merah, sedangkan kontur yang mengarah ke arah warna

biru merupakan selain domain air yaitu campuran domain udara dan juga domain uap. Dapat dilihat bahwa terdapatnya warna kuning kehijauan yang merupakan permukaan domain air.



**Gambar 3.** Kontur fraksi domain uap pada simulasi Ansys

Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa domain uap yaitu *Uap. Volume Fraction* ditandai dengan kontur yang mengarah ke warna merah, sedangkan kontur yang mengarah ke arah warna biru merupakan selain domain uap yaitu campuran domain air dan juga domain udara. Dapat dilihat terdapatnya warna kehijauan yang merupakan domain uap yang terbentuk secara acak di permukaan air akibat adanya penguapan secara natural.

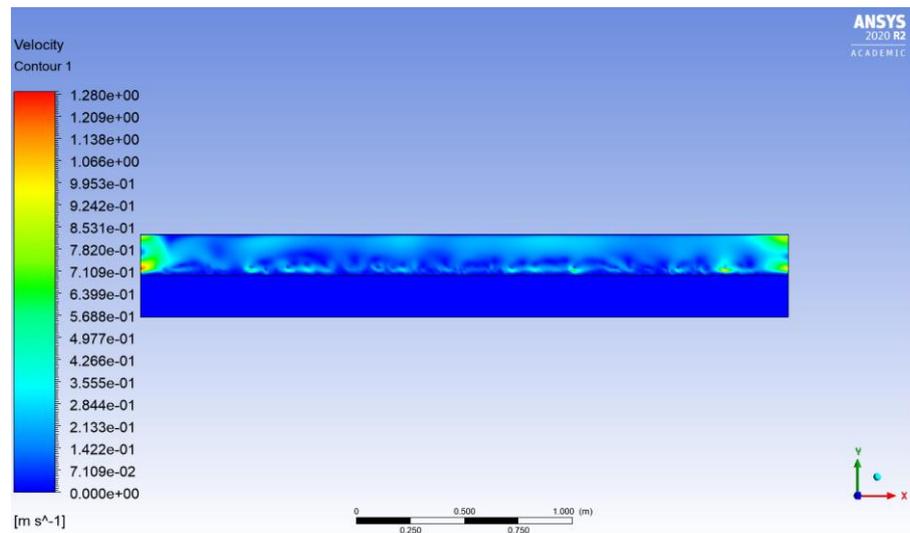


**Gambar 4.** Kontur distribusi temperatur pada simulasi tanpa kipas

Pada gambar 4 dapat dilihat kontur distribusi temperatur yang terjadi dengan kontur yang mengarah ke arah warna merah yang memiliki nilai temperatur yang lebih tinggi dari yang berwarna biru. Dapat dilihat distribusi temperatur tersebut merupakan konveksi yang terjadi secara natural.

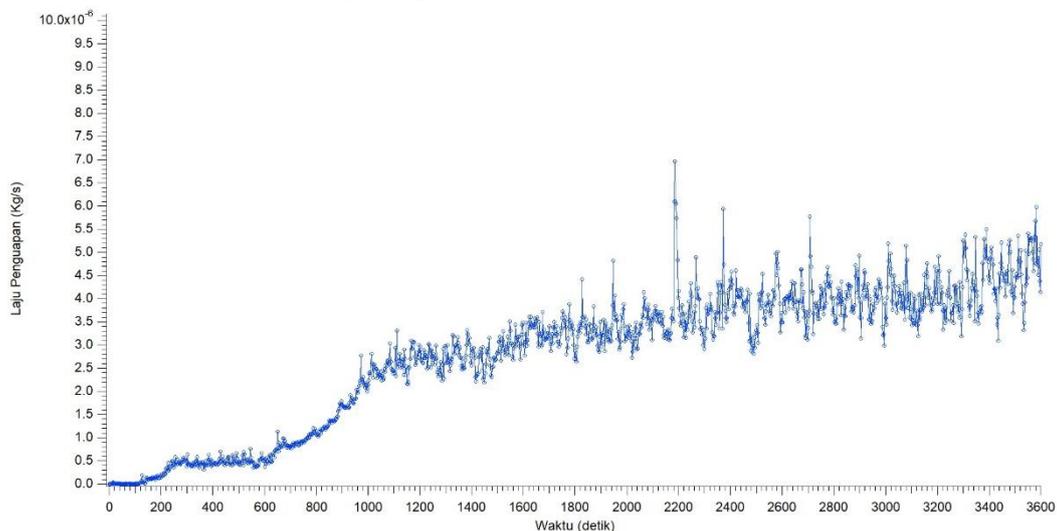
**Tabel 2.** Data Simulasi

Parameter	Nilai
Suhu Air	311.65 K
Radiasi	600 W/m <sup>2</sup>



**Gambar 5.** Kontur distribusi kecepatan pada simulasi Ansys

Pada gambar 5 dapat dilihat kontur distribusi kecepatan yang terjadi ditandai dengan kontur yang mengarah ke arah warna merah yang memiliki nilai kecepatan yang lebih tinggi daripada kontur yang berwarna biru. Adapun dapat dilihat distribusi kecepatan yang terjadi cenderung secara acak yang terdapat pada bagian domain udara yaitu kecepatan yang terdapat akibat adanya uap yang terbentuk. Adapun hasil simulasi laju penguapan air laut tanpa adanya kipas secara simulasi merupakan laju banyaknya massa uap yang terbentuk, maka dapat dilihat pada grafik dibawah ini.

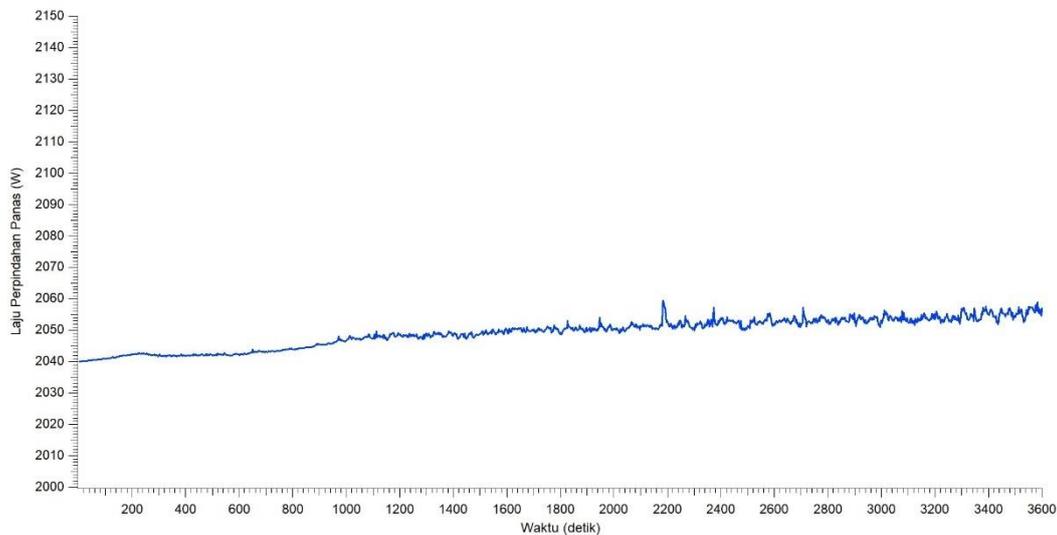


**Gambar 6.** Grafik laju penguapan air laut

Pada gambar 6 laju penguapan air laut tanpa kipas. Dimana terdapat nilai minimum laju penguapan air laut saat 5 menit pertama simulasi yaitu dengan nilai sekitar  $1,68 \times 10^{-7}$  kg/s, untuk nilai maksimum terdapat saat 1 jam terakhir dengan nilai sekitar  $4,51 \times 10^{-6}$  kg/s, dan untuk nilai rata-rata yaitu  $2,78671 \times 10^{-6}$  kg/s. Dapat diketahui bahwa semakin lama simulasi berlangsung maka laju penguapan juga akan mengalami kenaikan.

### 4.3.3 Laju Perpindahan Panas Tanpa Kipas

Adapun hasil simulasi laju perpindahan panas pada penguapan air tanpa kipas secara simulasi,



**Gambar 7.** Grafik laju perpindahan panas

Pada gambar 7 laju perpindahan panas pada penguapan air laut tanpa kipas terdapat nilai-nilai kenaikan selama 1 jam simulasi. Dimana terdapat nilai minimum laju perpindahan panas saat 5 menit pertama simulasi yaitu dengan nilai 2041,48 W atau 2041,48 J/s, untuk nilai maksimum terdapat saat akhir simulasi dengan nilai 2055,28 J/s, dan untuk nilai rata-rata yaitu 2049,18 J/s. Dapat diketahui bahwa semakin lama simulasi berlangsung maka laju perpindahan panas juga akan mengalami kenaikan.

## 4. KESIMPULAN

Hasil menunjukkan distribusi temperatur pada permukaan bak penampung secara simulasi, ditunjukkan dengan perbedaan kontur warna. Nilai temperatur air sebesar 311.65 K. Adapun nilai rata-rata laju penguapan yang terjadi selama 1 jam dengan perhitungan secara simulasi pada penguapan air laut konveksi natural adalah  $2,78671 \times 10^{-6}$  kg/s. Adapun nilai rata-rata laju perpindahan panas yang terjadi selama 1 jam dengan perhitungan secara simulasi pada penguapan air laut tanpa kipas adalah 2049,18 J/s.

## 5. REFERENSI

- [1] Vinnichenko. N. A., Uvarov. A. V., Vetukov. D. A., Plaksina. Y. Y. (2011) *Direct Computation of Evaporation Rate at the Surface of Swimming Pool*. Russian Foundation of Basic Reserch Under Grant 1-2.
- [2] Fadli, A., Nil, F., (2010) Model Alat Desalinasi Dengan Evaporasi Dan Kondensasi Menjadi Satu Sistem Ruangan. *Environmental Engineering of Civil Engineering and Planning*. Institute of Technology Sepuluh Nopember Surabaya, 3-4.
- [3] Hartanto, W. (2017) Analisa Pengaruh Frekuensi Gelombang Ultrasonik Terhadap Karakteristik Pengeringan Menggunakan Metode Ultrasonik Chill Drying. *MALANG*, 23-24.
- [4] Smith, C., Lof, G., Jones, R. (1994) *Measurement And Analysis Of Evaporation From An Inactive Outdoor Swimming Pool*. Elsevier Science Ltd. USA, 2.

- [5] Ambarita. H. (2018) Kajian Numerik Penguapan Pada Evaporator Desalinasi Air Laut Sistem Vakum Alami. *Talenta Conference Series: Energy and Engineering*, 2-3.
- [6] Sayma. A. (2009) *Computational Fluid Dynamics*. Ventus Publishing Aps, 8-12.
- [7] Li. Z., Heiselberg, P. (2005) *CFD Simulation for Water Evaporation and Airflow Movement in Swimming Baths*. DEPT. OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING. AALBORG UNIVERSITY, 7-9.
- [8] M. Moghiman, and A. Jodat, (2007) Effect of air velocity on water evaporation rate in indoor swimming pools, *Iran J Mech Eng* 8-1, 19-30.
- [9] Incropera F.P.(2001) *Fundamentals Of Heat and Mass Transfer*, 7th ed, New York : John Wiley & Sons
- [10] Holman, J. (1988) *Perpindahan Kalor, Edisi Ke-enam* . Penerbit Erlangga: Jakarta
- [11] Jansen, Ted J. (1995) *Teknologi Rekayasa Surya*. Prof. Wiranto Arismunandar, Penerjemah. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- [12] Ambarita, Himsar. (2011). *Perpindahan Panas Konveksi dan Pengantar Alat Penukar Kalor*. Medan : Departemen Teknik Mesin FT USU
- [13] Mc. Cabe, W. L. D. Horriot, and J. C. Smith. (1985) *Unit Operation Of Chemical Engineering. Fourth Edition*. Mc. Graw Hill Internasional Book Company. New York
- [14] Earle, R. L. (1982) *Unit Operation In Food Processing*. Ellis Howard Limited. England
- [15] Ambarita, H. (2017) *Perpindahan Panas dan Massa Penyelesaian Analitik dan Numerik*". Malang: Inteligencia Media, 1-8.
- [16] *Ansys 2020 R2 Helps Users Collaborate on Multiphysics Simulation*"
- [17] Çengel, Y. A., Ghajar, A. J. (2015) *Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications, Fifth Edition*. New York: McGraw-Hill Education, 839-843.
- [18] Tuakia, F. (2008) *Dasar-dasar CFD Menggunakan FLUENT*. Informatika, Bandung.
- [19] Maryanto. (2019) *Investigasi Simulasi 3 Dimensi Karakteristik Aliran Pada Model Geometri Pompa Hidram Menggunakan Computational Fluid Dynamics*. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- [20] Liu dan Husain, T.T. (2012) *Discretization: An Enabling Technique*. Arizona: Departement of Computer Science and Engineering-arizona state University.