

**PENGARUH HEAT TRANSFER DAN MASS TRANSFER TERHADAP  
KEBERHASILAN REMOVAL TOTAL DISSOLVED SOLID (TDS)  
AIR PAYAU PADA EVAPORASI RUANG TERTUTUP**

Oleh : Setyo Purwoto \*)

**Abstrak :**

*Heat transfer* (perpindahan kalor) dari radiasi sinar matahari yang diterima oleh air payau, yang kemudian molekul air mengalami *mass transfer* (perpindahan massa) ke udara di atasnya akan mengalami kondensasi dalam ruang kaca tertutup.

Dengan mengacu pada formulasi aliran massa kondensat menggunakan sudut  $\phi$  sebesar  $60^\circ$  untuk intensitas radiasi matahari  $446 \text{ W/m}^2$  pada posisi geografis  $7^\circ 23' \text{ LS}$  dan  $112^\circ 47' \text{ BT}$  (wilayah Sidoarjo) dengan luasan bak evaporasi  $3.600 \text{ cm}^2$  dengan durasi penyinaran selama 7 jam dimana kebutuhan kalor air untuk menjadi uap sebesar  $536 \text{ kalori/gram}$  dapat meremoval Total Dissolved Solids (TDS) sebesar  $99,31 \%$ .

**Pendahuluan**

**Evaporasi paksa**

Evaporasi paksa dapat dilakukan dalam ruang tertutup yang terbuat dari kaca bening. Pemanfaatan kalor radiasi matahari merupakan *heat transfer* yang ditangkap untuk kemudian dilanjutkan dengan proses *mass transfer* molekul air.

Dengan mengacu pada formulasi aliran massa kondensat menggunakan sudut Kaca merupakan benda padat yang tembus sinar matahari. Kaca bening dapat meneruskan sinar sebesar 80-90%, sedangkan untuk kaca warna gelap akan lebih banyak menyerap panas dari penyinaran. Menurut Soelasmono (1988), besarnya panas yang diserap dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Q_r = A G a \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

$Q_r$  = jumlah panas yang diserap kaca

$A$  = luas permukaan kaca

$G$  = intensitas sinar matahari

$a$  = koefisien absorpsi kaca

Absorbtivitas warna hitam bisa mencapai 0,9 untuk 'sumber radiasi surya' (Holman, 1988). Kaca biasa mentransmisi radiasi dengan mudah pada panjang gelombang di bawah  $2 \mu\text{m}$ . Pada dasarnya, kaca tak tembus radiasi panjang gelombang di atas  $4 \mu\text{m}$ . Dalam prakteknya semua radiasi suhu rendah yang dipancarkan benda dalam ruang (rumah ) kaca bersifat panjang gelombang yang panjang, oleh sebab itu akan tetap terkurung dalam rumah kaca. Jadi di dalam rumah kaca akan melewati lebih banyak radiasi masuk dari pada yang ke luar,

akibatnya memberikan efek pemanasan dalam ruang kurung. Energi yang tertampung dalam ruang kaca akan dibuang melalui konveksi keluar lewat dinding luar rumah kaca.

**Total Dissolved Solids (TDS) dalam Air Payau**

Penyebab kekeruhan air payau adalah tingginya kadar Total Dissolved Solids (TDS) dalam air. Contoh beberapa sample dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Tipe Komposisi Air Payau**

Kandungan ion (mg/L)	Sampel Air payau			
	1	2	3	4
Sodium $\text{Na}^+$	886	125	630	900
Kalsium $\text{Ca}^{++}$	118	316	116	250
Magnesium $\text{Mg}^{++}$	72	69	15	70
Klorida $\text{Cl}^-$	131	67	1054	1450
Sulfat $\text{SO}_4^{2-}$	1943	900	115	590
Bikarbona $\text{HCO}_3^-$	473	357	78	210
Kesadahan $\text{CaCO}_3$	590	1073	354	912
<b>TDS</b>	<b>3648</b>	<b>1800</b>	<b>2076</b>	<b>3475</b>
pH	7,6	7,9	8,1	7,3
Suhu ( $^\circ\text{C}$ )	21	21	21	21
COD	10	7,9	-	7

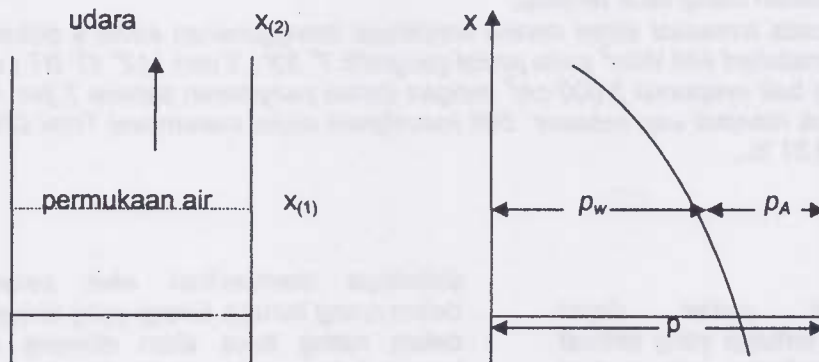
Sumber : (Heitman, 1990)

\*) Dosen Teknik Lingkungan FTSP Universitas PGRI Adi Buana Surabaya

### Mass Transfer (Difusi Uap Air) ke Udara

Air yang telah mendapatkan kalor akibat *heat transfer* akan menguap ke atas di atas permukaan air. Uap yang terjadi akan berdifusi di udara. Pada keadaan tunak, gerakan air ke atas ini mesti diimbangi oleh difusi udara ke bawah sehingga konsentrasi pada setiap posisi  $x$  (dalam Gambar 1) adalah tetap. Tetapi permukaan air tidak mungkin

terdapat netto udara ke bawah. Akibatnya harus ada gerakan massa limbak ke atas untuk mengimbangi difusi ke bawah tersebut (Holman, 1988). Namun dalam Harto (1993), ditandaskan bahwa selama tidak terjadi kejenuhan, maka penguapan akan tetap berlangsung. Selama kondisi tekanan total dianggap konstan dan sistem dianggap isothermal, maka sistem berada dalam keadaan tunak.



Gambar 1. Difusi Uap Air ke Udara (Holman, 1988)

Dalam siklus perubahan fasa air sangat erat hubungannya dengan perubahan perubahan : cair menjadi uap, uap menjadi cair. Dalam hal ini fenomena perpindahan kalor kondensasi terjadi dari penguapan muka air bergerak ke atas hingga menyentuh dinding kaca. Karena permukaan kaca bersuhu lebih rendah maka terjadilah kondensasi pada kaca tersebut. Oleh pengaruh gravitasi, embun akan mengalir ke bawah. Jika permukaan itu basah karena zat cair akan terbentuklah film yang halus dan proses ini disebut *kondensasi film* (Holman, 1988). Jika zat cair tidak membasahi permukaan maka yang terbentuk adalah tetesan tetesan yang jatuh dari permukaan secara random. Peristiwa ini disebut kondensasi tetes. Terbentuknya kondensasi film dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kondensasi film (Holman, 1988)

### Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah : Berapa besarnya removal TDS dalam air payau yang terjadi akibat *heat transfer* dan *mass transfer* oleh intensitas radiasi matahari dalam ruang kaca terkurung.

### Metode

Evaporasi air payau dalam ruang kaca tertutup didasarkan atas prinsip *heat transfer* dan *mass transfer* yang berlangsung dalam 3 tahapan, yaitu : (1). mula mula air sampel mengalami pemanasan oleh adanya *heat transfer* dari radiasi sinar matahari. (2). air yang telah mengalami kenaikan suhu oleh peristiwa yang pertama tersebut mengalami perubahan dan perpindahan fasa (*mass transfer*) menjadi uap. Uap yang terbentuk akan naik ke udara di atasnya dan terperangkap dalam ruang kaca yang tertutup rapat, kemudian (3). terjadilah proses film kondensasi pada dinding kaca, dan akhirnya film kondensasi membentuk tetesan air sebagai kondensat. Agar tetesan air hasil kondensasi yang terbentuk tidak jatuh kembali ke bak penguap, maka tetesan air yang terjadi dialirkan dengan cara dinding (atap) kaca dibuat miring (slope). Di bagian bawah

dipasang talang sebagai penampung hasil pengembunan, dan dari sinilah produk (hasil) desalinasi diperoleh. Padatan terlarut (TDS) dari air sampel akan mengalami perubahan (penurunan) setelah mengalami kondensasi hasil evaporasi menurut proses di atas.

**Pelaksanaan Penelitian**

**1. Kriteria disain didasarkan atas *heat transfer* dan *mass transfer* fasa uap.**

Teori ini berfungsi untuk memprediksi hasil evaporasi akibat radiasi matahari yang didasarkan atas intensitasnya pada lokasi dimana penelitian dilakukan. Adapun besarnya intensitas matahari diukur dengan menggunakan *piranometer* dengan satuan  $W/m^2$  menurut insolasi pada posisi geografis setempat. Penelitian dilakukan di Sidoarjo yang posisi geografisnya  $7^{\circ}23'LS$  dan  $112^{\circ}47'BT$ . Menurut data BMG Juanda, pada bulan Mei intensitas radiasi matahari dalam rata rata bulanan sekitar  $376 W/m^2$  dengan durasi penyinaran selama 12 jam per hari. Sebagai kriteria disain, digunakan data intensitas matahari pada salah satu hari pada bulan Mei, yaitu sebesar  $347,8 W/m^2$ . Dengan demikian kalor hasil radiasi dari matahari dapat dihitung secara teoritis sebagai berikut:

Jika kaca bening diasumsikan meneruskan radiasi kalor 80% akan diperoleh hasil penguapan air sebanyak:

$$0,8 \times 347,8 W/m^2 = 278,24 W/m^2$$

$$= 278,24 \times 860 \text{ kal/jam.m}^2 = 239.286 \text{ kal/jam.m}^2$$

Karena penguapan 1 gram air diperlukan energi kurang lebih 586 kalori, maka air diperkirakan teruapkan sebanyak:

$$\frac{239.286 \text{ kal / jam.m}^2}{586 \text{ kal / gr}} = 408 \text{ gr / m}^2 \cdot \text{jam}$$

Untuk pemanasan selama 7 jam (dari jam 08.00 hingga jam 15.00) maka volume air yang berhasil diuapkan sebanyak:

$$7 \times 408 \text{ gr/m}^2 = 2.856 \text{ gr/m}^2$$

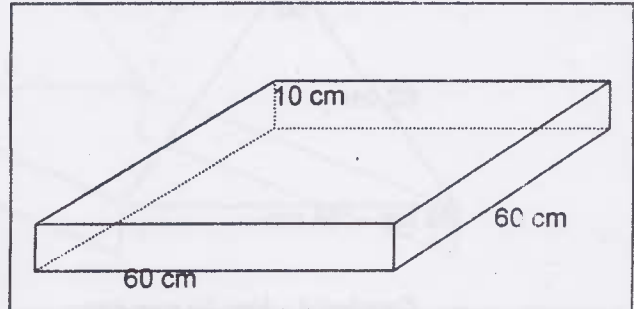
Jika bak penguap berdimensi luas (60 X 60)  $cm^2$  didapatkan volume air sebanyak:  $(0,6 \times 0,6) m^2 \times 2.856 \text{ gr/m}^2 = 1.028 \text{ gr} = 1.028 \text{ ml}$

Dengan demikian air baku yang berhasil diuapkan diperlukan ketebalan:

$$1.028 \text{ cm}^3 / (60 \times 60) \text{ cm}^2 = 0,286 \text{ cm}$$

Dengan harga toleransi 50%, 75%, dan 100% maka tebal air setinggi: 0,43 cm, 0,5 cm dan 0,58 cm

Berdasarkan perancangan di atas, bak evaporasi dibuat dengan dimensi: panjang = 60 cm, lebar = 60 cm, tinggi = 5 cm seperti gambar berikut:



**Gambar 3. Bak Evaporasi**

Untuk menghitung (menentukan) ketinggian ujung atap, maka formulasi yang digunakan adalah formulasi aliran massa total uap air mengikuti persamaan:

$$m_{w(tot)} = \frac{D p M_w A}{R_o T (x_2 - x_1)} \ln \frac{p - p_{w2}}{p - p_{w1}}$$

(Holman, 1988) .....(2)

Tampak bahwa agar laju aliran uap ( $m_w$ ) besar, maka jarak antara muka air terhadap dinding penangkap uap ( $x_2 - x_1$ ) harus sekecil mungkin, dengan memperhatikan sudut kemiringan atap terhadap horisontal  $\phi$  mengikuti persamaan:

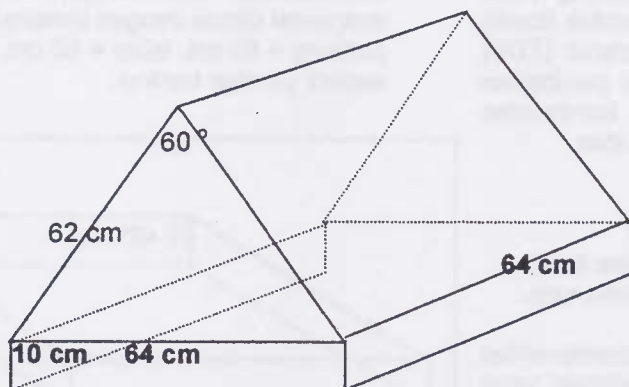
$$\bar{h} = C \left[ \frac{\rho_f (\rho_f - \rho_v) k_f^3 g \sin \phi h_{fg}}{\mu_f L (T_g - T_w)} \right]^{1/4}$$

(Holman, 1988).....(3)

Mengacu pada rumusan koefisien perpindahan kalor menurut persamaan di atas, maka kemiringan atap ditentukan oleh nilai  $\sin \phi$ . Makin besar sudut kemiringan atap terhadap horisontal ( $\phi$ ) semakin besar pula nilai  $h$  (angka kondensasi).

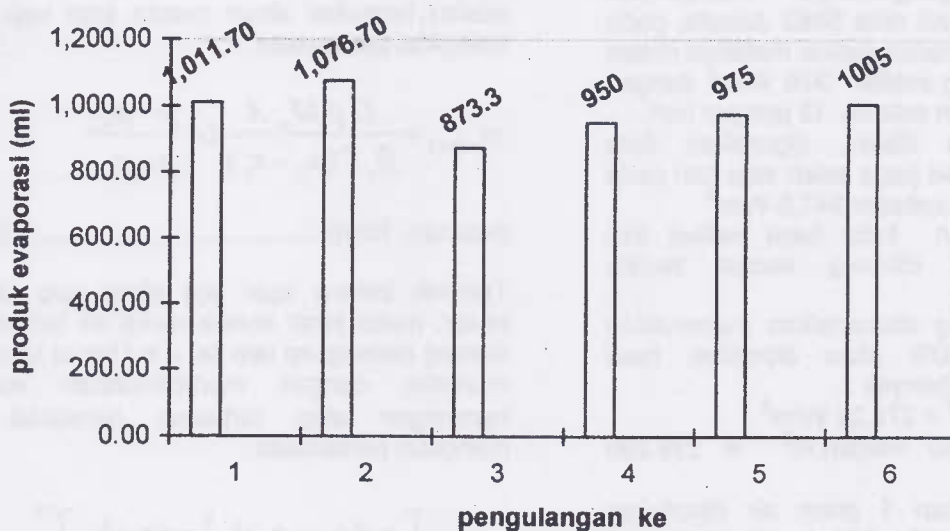
Agar tidak terjadi kondensasi tetes, maka sudut  $\phi$  dipilih  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ , dan  $60^{\circ}$  yang mempunyai harga  $\sin \phi$  sebesar 0,5; 0,7; dan 0,87. Perbedaan sudut  $\phi$  akan berpengaruh pada luas atap (area kondensasi).

Atap ruang kaca sebagaimana Gambar 4.



Gambar 4 : Atap Ruang Kaca

### Hasil Penelitian



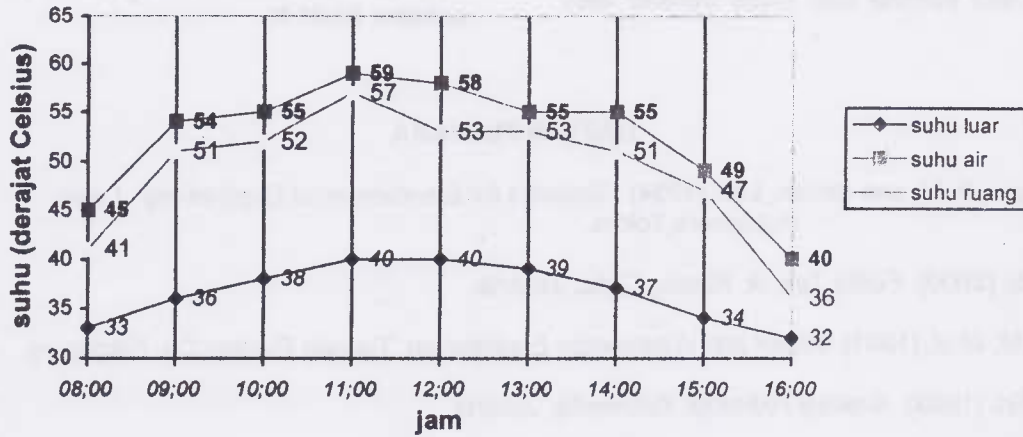
Gambar 5. Produk Evaporasi Hasil *Heat Transfer* dan *Mass Transfer*

Gambar 5 merupakan data empiris pada kondisi percobaan :

Ukuran bak evaporasi	: 60 cm X 60 cm (luas = 3.600 cm <sup>2</sup> )
Bahan bak evaporasi	: kaca hitam ( <i>rayban</i> ) 70 %
Durasi penyinaran	: 08.00 –15.00 (7 jam)
Intensitas cahaya matahari (rata rata)	: 446 W/m <sup>2</sup>
Sudut atap rumah kaca	: 60°
Geometris rumah kaca	: prisma
Ketebalan air baku	: 0,42 cm (volume 1.500 ml)
Lokasi penelitian	: Perumahan Magersari Permai Sidoarjo
Posisi geografis	: 7° 23' LS dan 112° 47' BT
Kondisi cuaca	: tidak berawan
Posisi bidang miring prisma	: membujur ke timur/barat (mata angin)

Adapun salah satu ilustrasi fenomena temperatur yang terjadi dalam ruang kaca

akibat *heat transfer* radiasi matahari disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan Temperatur dengan Waktu Penyinaran

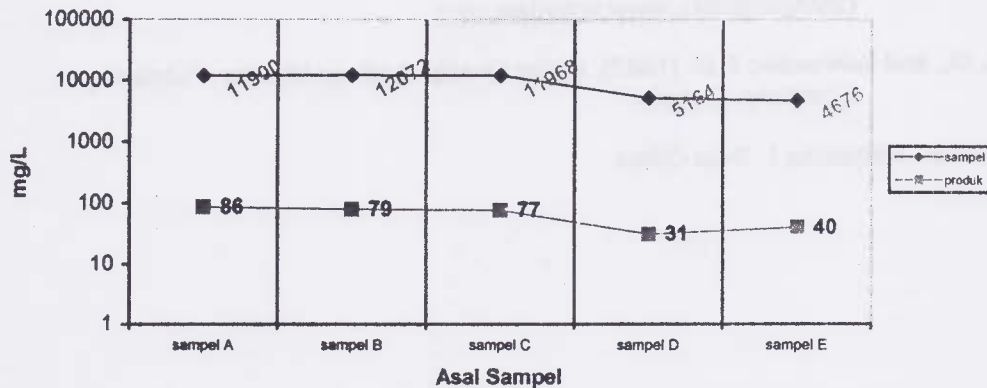
Mengacu pada removal TDS (Tabel 2) memberikan gambaran bahwa molekul molekul air yang berhasil lepas dari sistemnya hampir tidak diikuti oleh padatan terlarut yang

terkandung didalamnya. Hal ini dibuktikan dengan besarnya removal TDS, yaitu 99,31%.

Tabel 2. *Removal* TDS Hasil Evaporasi

Asal sampel	TDS (mg/L)		Removal (%)
	Bahan baku	produk	
Sampel A	11900	86	99,28
Sampel B	12072	79	99,35
Sampel C	11968	77	99,36
Sampel D	5164	31	99,40
Sampel E	4676	40	99,14
Rata rata			99,31

Removal TDS dalam bentuk grafik tampak pada Gambar 7 berikut :



Gambar 7. *Removal* TDS Hasil Evaporasi

### Kesimpulan

Removal TDS dalam air payau yang terjadi akibat *heat transfer* dan *mass transfer* oleh

intensitas radiasi matahari  $446 \text{ W/m}^2$  pada posisi geografis  $7^\circ 23' \text{ LS}$  dan  $112^\circ 47' \text{ BT}$  dalam ruang kaca terkurung sebesar **99,31 %**.

### DAFTAR PUSTAKA

- Berthouex, P. M. and Brown, L.C. (1994). *Statistics for Environmental Engineering*. Lewis Publishers, Tokyo.
- Daryanto (2000). *Fisika Teknik*, Rineka Cipta, Jakarta.
- Fair, G.M. et al. (1981). *Water and Wastewater Engineering*. Toppan Printing Co, Singapore.
- Harto, Sri. (1993). *Analisis Hidrologi*. Gramedia, Jakarta.
- Heitmann, H.G. (1990). *Saline Water Processing*. VCH Publisher, New York.
- Holman, J. P. (1988). *Heat Transfer*. McGraw-Hill Publishing.
- Kern, D.Q. (1988). *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill Publishing, Singapore.
- Montgomery, J. M. (1985). *Water Treatment Principles and Design*. A Wiley-Interscience Publishing, Singapore.
- Peavy, H.S., Rowe, D.R., Tchobanoglous, G. (1985). *Environmental Engineering*. McGraw-Hill Publishing, Toronto.
- Pitts, D.R., Sissom, L.E., (1987). *Heat Transfer*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Sanks, R. L. (1982). *Water Treatment Plant Design*. Butterworths, England
- Soelasmono, K., (1988). Pengaruh Angin Terhadap Penghapusan Panas Pada Kaca. PUSLIT, ITS, Surabaya.
- Soewarno (2000). *Hidrologi Operasional Jilid I*. Citra Aditya Bakti, Bandung.
- Potter, M. (2004). New Technology for Point of Use Desalination. *Solar Dew*. New York City (26/April/2004). [www.solar dew.com](http://www.solar dew.com).
- Tchobanoglous, G., and Schroeder, E.D. (1987). *Water Quality*. Addison-Wesley Publishing Company, Canada.
- Triatmodjo, B. (1996). *Hidraulika I*. Beta Offset.