

# **STUDI PEMANFAATAN CLOSED CYCLE SALT GRADIENT SOLAR POND (CCSGSP) UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK DI PESISIR KABUPATEN GRESIK**

**Katherin I, Bambang L.W, Ridho H., M. Awan E.S.  
Jurusan Teknik Fisika FTI – ITS**

## **ABSTRAK**

The Closed Cycle Salt Gradient Solar Pond (CCSGSP) is one of the alternative energy resources that absorb and collect energy by convection heat transfer from sunshine at medium of brine fluid. The performance of the solar pond depends on weather condition and physical characteristic as well as chemical of brine. Because of that, it is needed a capable control model to make resulted supply energy from the solar pond be stable. The application of the solar pond as power plant needs instrumentation analysis, to know how far this system is capable to be implemented in the certain area. This paper proposed the study result of using CCSGSP as an electrical generation in the coastal area of Gresik. There were three modes of control that have been investigated, i.e. manipulating make-up water, manipulating brine water, and maintaining gradien solar pond seasonal.

*Keywords: closed cycle salt gradient solar pond, modes of control*

## **1. PENDAHULUAN**

Tingginya kebutuhan energi menuntut untuk menciptakan berbagai alternatif energi guna memenuhinya. Energi alternatif ini haruslah menggunakan sumber energi terbarukan agar tidak terjadi krisis dan kelangkaan energi, khususnya untuk kehidupan masyarakat yang terisolir. Salah satu sumber energi alternatif yang saat ini belum dikembangkan yakni *solar pond*, padahal Indonesia secara geografis memiliki potensi yang sangat besar untuk mengembangkan teknologi ini. Minimal ada dua parameter potensi untuk membangun solar pond, pertama karena Indonesia beriklim tropis yang memiliki curah matahari dengan intensitas yang cukup besar dan yang kedua karena Indonesia merupakan negara maritim yang dikelilingi oleh laut, sehingga ketersediaan bahan baku air garam sangat melimpah.

Solar pond merupakan tambak air garam yang mampu menyimpan radiasi matahari dan pada saat yang bersamaan mampu menyimpan energi panas untuk selang waktu yang lama. Kinerja solar pond sangat bergantung pada kondisi cuaca dan karakteristik fisik maupun kimia dari air asin. Penguapan dan curah hujan mempengaruhi salinitas dan kedalaman dari solar pond, selain itu hal ini juga mempengaruhi temperatur yang dihasilkan dari solar pond. Oleh karena itu perlu penanganan lebih lanjut dalam membuat solar pond yang menghasilkan energi lebih stabil.

Penelitian tentang analisa performansi solar pond telah banyak dilakukan sebelumnya. Xu (1990) meneliti tentang kestabilan dan dinamika proses solar pond. Berkaitan dengan penelitian ini juga dilakukan oleh Witte dan Newell (1985), Zangrando (1991) dan Schaladow (1985). Kemudian Wang dan Akbarzadeh (1982) juga telah memodelkan perilaku temperatur dalam solar pond. Selain itu Hull dkk (1989) juga telah melakukan penelitian secara detail mengenai performansi temperatur pada solar pond.

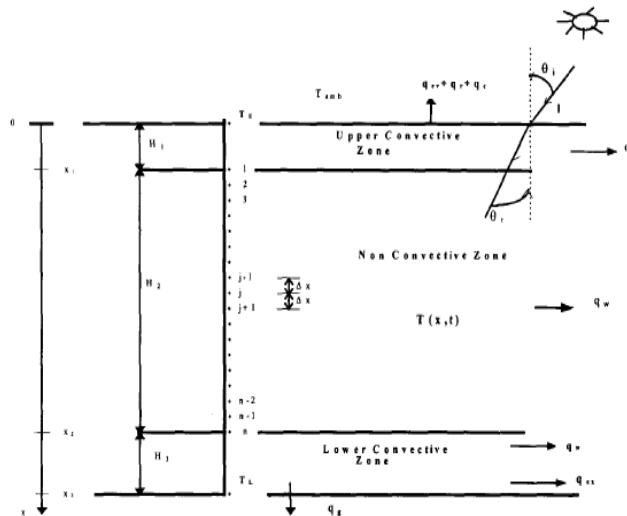
Pada area yang memiliki tingkat penguapan yang cukup tinggi, siklus garam pada solar pond dapat berhasil dengan menggantungkan pada proses penguapan alami dari air asin pada evaporation pond (EP) yang diikuti injeksi konsentrasi air asin tersebut ke dalam solar pond. Namun pada daerah dengan tingkat penguapan yang cukup rendah, siklus garam dipertahankan dengan memanipulasi proses evaporasi seperti menyemprotkan, drip system (dengan cara ditetaskan), dan teknik lainnya (Xu, 1993). Nielsen (1993) mempertimbangkan teknik *freezing* sebagai cara yang cukup potensial pada daerah-daerah khusus.

Keputusan tentang pengelolaan garam dipengaruhi oleh analisis ekonomis dari metode yang diterapkan pada satu daerah. Alagao (1996) merekomendasikan 3 mode yang dapat dilakukan pada sistem CCSGSP, yaitu dengan injeksi murni, injeksi diikuti pengambilan air garam, dan pembilasan musiman. Indriawati dkk (2007) telah melakukan studi penggunaan sistem kontrol pada CCSGSP dan merekomendasikan bahwa mode pengendalian konsentrasi pada daerah atas tambak (UCZ) lebih baik dibandingkan mode pengendalian level pada UCZ. Namun demikian kedua mode kontrol tersebut

membutuhkan suplai air garam dengan kadar salinitas tinggi (garam) ke evaporation pond untuk dapat beroperasi secara terus menerus. Pada makalah ini, diajukan mode pengendalian konsentrasi pada bagian bawah tambak (LCZ) sebagai alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut. Sebagai studi kasus, daerah tambak pesisir Gresik dipilih menjadi obyek pengambilan data untuk melakukan simulasi solar pond. Daerah pesisir kabupaten Gresik yang sebagian besarnya dilingkupi oleh areal tambak garam masyarakat sangat relevan sekali untuk dimanfaatkan sebagai *solar pond power plant* (SPPP). Studi tentang pemanfaatan tersebut dipaparkan dalam makalah ini.

## 2. PEMODELAN CCSGSP

Dalam pemodelan, solar pond dibagi menjadi 3 layer seperti ditunjukkan pada gambar 1 yakni: *lower convective zone* (LCZ), *non-convective zone* (NCZ), dan *upper convective zone* (UCZ).



Gambar 1 Pembagian zona pada solar pond

UCZ merupakan daerah yang menerima radiasi matahari secara langsung. Fenomena yang terjadi pada daerah UCZ didominasi oleh fenomena konveksi pada air garam. Daerah UCZ memiliki salinitas yang rendah dan merata pada seluruh kedalamannya. Temperatur pada daerah UCZ juga terdistribusi secara merata pada seluruh kedalamannya.

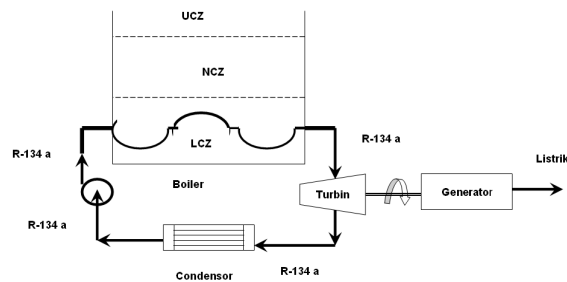
NCZ merupakan daerah penyanggah pada *solar pond*. Fenomena yang terjadi pada daerah NCZ didominasi oleh fenomena konduksi panas, sehingga fenomena konveksi dapat diabaikan. Daerah NCZ memiliki distribusi temperatur dan salinitas yang bervariasi sebagai fungsi kedalaman. Semakin meningkat kedalaman pada NCZ semakin besar nilai temperatur dan salinitasnya. Daerah NCZ dimodelkan terbagi dalam beberapa lapis yang memiliki kedalaman ( $\Delta x$ ) sama, masing – masing lapis ini memiliki nilai temperatur dan salinitas yang berbeda.

LCZ merupakan daerah yang paling dalam. Daerah LCZ didominasi oleh fenomena konveksi dan memiliki nilai temperatur dan salinitas yang konstan serta merata pada seluruh kedalamannya. LCZ merupakan daerah yang berfungsi sebagai *thermal storage* dari *solar pond*, dimana temperatur LCZ akan dimanfaatkan sesuai keperluannya.

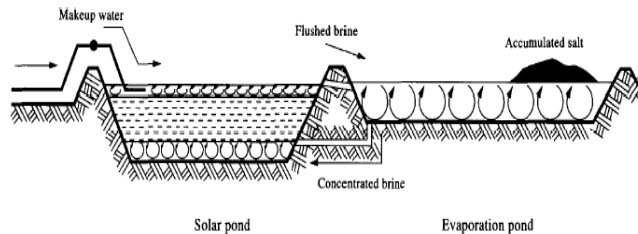
Proses difusi garam terjadi dari bawah atau LCZ ke permukaan atau NCZ. Dengan demikian pada saat yang sama ketika terjadi kenaikan salinitas pada UCZ, salinitas LCZ akan mengalami penurunan. Angin, penguapan dan siklus temperatur selanjutnya menaikkan salinitas UCZ (Hull et al, 1989). Salinitas LCZ harus dijaga agar cukup tinggi untuk mempertahankan gradien kestabilan kinerja solar pond pada temperatur yang tinggi. Mempertahankan salinitas termasuk juga dengan menambahkan konsentrasi air asin pada LCZ dan air segar atau air dengan salinitas rendah yang dialirkan pada UCZ. Karena perbedaan salinitas, maka panas yang diserap oleh solar pond dari cahaya matahari akan terjebak pada LCZ sehingga mengakibatkan temperatur dan salinitas di daerah tersebut (LCZ) lebih tinggi daripada UCZ. Dalam sistem pembangkit listrik, temperatur yang tinggi pada LCZ ini kemudian digunakan sebagai pemanas pada

evaporator hingga fluida yang terpanaskan kemudian bisa menggerakkan turbin, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.

Salah satu metode yang ditawarkan untuk memperatahkan gradien salinitas solar pond adalah dengan membuat sebuah silus garam tertutup menggunakan evaporation pond. Metode ini dikenal dengan *closed-cycle salt-gradient solar pond* (CCSGSP) dengan skema ditunjukkan pada gambar 3. Daerah yang diasumsikan sebagai EP dapat membangkitkan cukup tinggi konsentrasi air asin untuk *recycling* dan menjaga kestabilan dari solar pond. Alagao (1996) merekomendasikan 3 mode yang dapat dilakukan pada sistem CCSGSP, yaitu dengan injeksi murni, injeksi diikuti pengambilan air garam, dan pembilasan musiman.



Gambar 2. Diagram skematik pemanfaatan solar pond



Gambar 3. Skema dari Closed-cycle salt-gradient solar pond (CCSGSP)

Distribusi temperatur dan salinitas pada UCZ

Simulasi distribusi temperatur dan salinitas diturunkan berdasarkan kesetimbangan energi dan kesetimbangan massa yang terjadi pada tiap-tiap zona pada *solar pond*. Pada daerah UCZ distribusi temperatur dinyatakan dengan persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial T_{z_1}}{\partial t} = \frac{\sum \Phi_{in} - \sum \Phi_{out}}{A_{z_1} z_1 \rho_{z_1} c_{z_1}} \tag{1}$$

dimana:

- $T_{z_1}$  : temperatur UCZ.
- $t$  : waktu.
- $\sum \Phi_{in}$  : merupakan total energi yang memasuki UCZ.
- $\sum \Phi_{out}$  : merupakan total energi yang meninggalkan UCZ.
- $A_{z_1}$  : luas UCZ.
- $z_1$  : kedalaman UCZ.
- $\rho_{z_1}$  : densitas air garam pada UCZ.
- $c_{z_1}$  : panas spesifik air garam pada UCZ.

Baik total energi yang memasuki UCZ ( $\sum \Phi_{in}$ ) maupun total energi yang meninggalkan UCZ ( $\sum \Phi_{out}$ ) terdiri dari beberapa besaran energi yang masing-masing dapat dinyatakan dalam persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$\sum \Phi_{in} = \Phi_{mw} + \Phi_I + \Phi_{cond} + \Phi_{vu} + \Phi_{rain} \tag{2}$$

$$\sum \Phi_{out} = \Phi_{of} + \Phi_{conv} + \Phi_{evap} + \Phi_{rad} \tag{3}$$

dimana:

$\Phi_{mw}$	: energi yang berkaitan dengan <i>make up water</i> .
$\Phi_I$	: energi yang berkaitan dengan radiasi matahari.
$\Phi_{cond}$	: energi yang berkaitan dengan konduksi.
$\Phi_{vu}$	: energi yang berkaitan dengan <i>velocity upward</i> .
$\Phi_{rain}$	: energi yang berkaitan dengan hujan.
$\Phi_{of}$	: energi yang berkaitan dengan <i>over flow</i> .
$\Phi_{conv}$	: energi yang berkaitan dengan konveksi.
$\Phi_{evap}$	: energi yang berkaitan dengan evaporasi.
$\Phi_{rad}$	: energi yang berkaitan dengan <i>back radiation</i> .

Untuk mengetahui besarnya energi pada masing-masing besaran di atas, maka perlu diturunkan suatu bentuk persamaan yang menunjukkan keterkaitan dengan besaran-besaran di atas. Bentuk persamaan dari masing-masing besaran energi di atas adalah sebagai berikut:

$$\Phi_{mw} = m_{mw} c_{p_{mw}} \Delta T_{mw} \quad (4a)$$

$$\Phi_I = A_{sp} I(0, t) T_R \sum_{i=1}^4 \frac{\eta_i \mu_i}{\cos(\theta_r)} \exp\left(-\frac{\mu_i x}{\cos(\theta_r)}\right) \quad (4b)$$

dengan

$$\eta_1 = 0,237; \mu_1 = 0,032 \text{ m}^{-1}; \eta_2 = 0,198; \mu_2 = 0,450 \text{ m}^{-1}$$

$$\eta_3 = 0,167; \mu_3 = 3 \text{ m}^{-1}; \eta_4 = 0,179; \mu_4 = 35 \text{ m}^{-1}$$

$T_R$  merupakan koefisien refraksi yang dinyatakan dengan persamaan :

$$T_R = 1 - \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_r)}{\sin^2(\theta_i + \theta_r)} - \frac{\text{tg}^2(\theta_i - \theta_r)}{\text{tg}^2(\theta_i + \theta_r)} \right]$$

$$\Phi_{cond} = A_{sp} h_{c_{ui}} [T(z_1) - T_U] \quad (4c)$$

$$\Phi_{rain} = m_{rain} c_p \Delta T_{rain} \quad (4d)$$

$$\Phi_{vu} = v(\Delta T / z_1) \rho c_p \quad (4e)$$

$$\Phi_{of} = m_{of} c_p \Delta T_{of} \quad (4f)$$

$$\Phi_{conv} = A_{sp} h_c (T_U - T_{amb}) \quad (4g)$$

$$\Phi_{rad} = A_{sp} h_r (T_U - T_{sky}) \quad (4h)$$

dimana:

$m_{rain}$	: massa air hujan.
$c_p$	: panas spesifik air hujan.
$\Delta T_{rain}$	: beda temperature antara air hujan dan air garam pada UCZ.
$A_{sp}$	: luas permukaan solar pond.
$I$	: intensitas cahaya matahari.
$\mu_i$	: extinction coefficient of transmission function.
$\eta_i$	: amplitude coefficient of transmission function.
$\theta_i$	: sudut datang
$\theta_r$	: sudut refraksi
$h_{cui}$	: koefisien perpindahan panas konveksi pada <i>upper interface</i> .

Distribusi salinitas berkaitan dengan dinamika pergerakan partikel-partikel garam yang terdapat pada *solar pond*, dimana distribusi salinitas pada daerah UCZ dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial C_U}{\partial t} = \frac{Q_{mw} C_{mw} - Q_{of} C_U}{A_{sp} z_1} + \frac{\kappa_{S_{U-1}} (C_{U-1} - C_U)}{\left(\frac{\delta}{2}\right) z_1} + \frac{v C_{U-1}}{z_1} \quad (5)$$

dimana:

- $\kappa_S$  : *solutal diffusivity* dari garam.
- $\delta = \Delta x$  : tebal lapis.
- $Q_{mw}$  : energi panas berkaitan dengan *make up water*.
- $C_U$  : salinitas air garam pada UCZ.
- $C_{U-1}$  : salinitas air garam pada *upper interface*.
- $v$  : kecepatan vertical partikel garam pada solar pond.

#### Distribusi temperatur dan salinitas pada NCZ

NCZ merupakan daerah penyanggah dari *solar pond* yang terbagi dalam beberapa lapis dengan ketebalan ( $\Delta x$  atau  $\delta$ ) yang sama. Secara keseluruhan penentuan distribusi temperatur dan salinitas pada daerah NCZ dibedakan atas tiga bagian yang meliputi :

- *Upper interface* : merupakan lapis yang berada di bawah batas (*interface*) antara daerah UCZ dengan NCZ.
- *Lower interface* : merupakan lapis yang berada di atas batas (*interface*) antara daerah NCZ dengan LCZ.
- Zona di antara *upper interface* dan *lower interface* : zona ini merupakan zona utama dari NCZ dan terbagi menjadi beberapa lapis dengan ketebalan yang sama.

Distribusi temperatur pada *upper interface* dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial T_{U-1}}{\partial t} = \frac{2K}{\delta^2 \rho_{U-1} C_{U-1}} (T_U - 2T_{U-1} + T_{U-2}) + \frac{\Phi_{U-1}}{\rho_{U-1} C_{U-1}} \quad (6)$$

$$\Phi_{U-1} = \Phi_{I_{U-1}} + \Phi_{V_{U-1}} \quad (6a)$$

dimana

- $K$  : koefisien konduktivitas termal.
- $\rho_{U-1}$  : densitas air garam pada *upper interface*.
- $T_{U-1}$  : temperatur pada *upper interface*.

Distribusi salinitas pada *upper interface* dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial C_{U-1}}{\partial t} = \frac{2}{\delta^2} \left[ \frac{C_U - C_{U-1}}{\frac{1}{\kappa_{S_{U-1}}}} + \frac{C_{U-2} - C_{U-1}}{\frac{1}{\kappa_{S_{U-2}}} + \frac{1}{\kappa_{S_{U-1}}}} \right] + v \frac{(C_{U-2} - C_U)}{\delta} \quad (7)$$

dimana

- $\kappa_{S_{U-1}}$  : *solutal diffusivity* pada upper interface.
- $C_{U-1}$  : salinitas pada *upper interface*.

Distribusi temperatur pada *lower interface* dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial T_{L+1}}{\partial t} = \frac{2K}{\delta^2 \rho_{L+1} C_{L+1}} (T_L - 2T_{L+1} + T_{L+2}) + \frac{\Phi_{L+1}}{\rho_{L+1} c_{p_{L+1}}} \quad (8)$$

$$\Phi_{I+1} = \Phi_{I+1} + \Phi_{V_{U_{L+1}}} \quad (8a)$$

Distribusi salinitas pada *lower interface* dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial C_{L+1}}{\partial t} = \frac{2}{\delta^2} \left[ \frac{C_L - C_{L+1}}{\frac{1}{\kappa_{S_{L+1}}} + \frac{1}{\kappa_{S_{L+2}}} + \frac{1}{\kappa_{S_{L+1}}}} + \frac{C_{L+2} - C_{L+1}}{\frac{1}{\kappa_{S_{L+2}}} + \frac{1}{\kappa_{S_{L+1}}}} \right] + v \frac{(C_L - C_{L+2})}{\delta} \quad (9)$$

Pada zona di antara *upper interface* dan *lower interface* terdapat beberapa lapis dengan ketebalan yang sama, sehingga penentuan distribusi temperatur dan salinitas pada zona ini dihitung pada tiap-tiap lapis. Namun demikian temperatur dan salinitas pada masing-masing lapis ini saling berkaitan dan merupakan fungsi dari lapis yang terdapat di sekitarnya. Distribusi temperatur pada lapis ke – i dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial T_i}{\partial t} = \frac{2K}{\delta^2 \rho_i C_i} (T_{i+1} + T_{i-1} + 2T_i) + \frac{\Phi_i}{\rho_i C_i} \quad (10)$$

$$\Phi_i = \Phi_I + \Phi_{VU} - \Phi_W \quad (10a)$$

Distribusi salinitas pada lapis ke – i dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = \frac{2}{\delta^2} \left[ \frac{(C_{i-1} - C_i)}{\frac{1}{\kappa_{S_{i-1}}} + \frac{1}{\kappa_{S_i}}} + \frac{(C_{i+1} - C_i)}{\frac{1}{\kappa_{S_{i+1}}} + \frac{1}{\kappa_{S_i}}} \right] + v \frac{C_{i-1} - C_{i+1}}{\delta} \quad (11)$$

dimana:

- i = lapis ke-i
- i+1 = lapis ke i+1
- i-1 = lapis ke i-1

#### Distribusi temperatur dan salinitas pada LCZ

Daerah/zona LCZ merupakan daerah penyimpan energi panas pada *solar pond*. Temperatur dan salinitas pada LCZ inilah yang akan dimanfaatkan sesuai dengan keperluan yang dikehendaki. Distribusi temperatur pada LCZ dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial T_L}{\partial t} = \frac{K(T_{L+1} - T_L)}{\frac{\delta}{2} z_3 \rho_L C_L} + \frac{\Phi_L}{\rho_L C_L} \quad (12)$$

$$\Phi_L = \Phi_I - \Phi_{loss} - \Phi_{extracted} \quad (12a)$$

$$\Phi_I = A_{sp} (I_{(L,t)} - I_{(H_2,t)}) \quad (12b)$$

$$\Phi_{loss} = \Phi_{ground} + \Phi_{VU} \quad (12c)$$

$$\Phi_{ground} = A_{sp} h_{ground} (T_L - T_{ground}) \quad (12d)$$

Distribusi salinitas pada LCZ dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial C_L}{\partial t} = \frac{2\kappa_{S_{L+1}}}{z_3 \delta} (C_{L+1} - C_L) + \frac{(C_{ep} v_i - C_L v_r - C_L v)}{z_3} \quad (13)$$

dimana

- $v_i$  : brine injection velocity
- $v_r$  : brine removal velocity
- $v$  : net vertical velocity

### **3. PEMBUATAN SIMULASI**

Nilai dari variabel densitas dari air garam yang terdapat pada *solar pond* merupakan fungsi dari temperatur dan salinitas pada tiap-tiap lapis dan zona. Hubungan antara densitas dengan temperatur dan salinitas dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \rho_m (1 - \alpha T + \beta C) \quad (14)$$

dimana:

- $\rho$  : densitas (kg. m<sup>-3</sup>).
- $\rho_m$  : densitas rata-rata (kg. m<sup>-3</sup>).
- $\alpha$  : koefisien ekspansi termal (C<sup>-1</sup>).
- $\beta$  : koefisien ekspansi garam (m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>)

Berdasarkan persamaan (14), maka dapat ditentukan besarnya densitas pada tiap-tiap lapis/zona sehingga dapat digunakan dalam perhitungan untuk menentukan temperatur pada tiap-tiap lapis.

Penyelesaian persamaan-persamaan dinamika dari *solar pond* tersebut diatas dilakukan menggunakan Metode Beda Hingga (*Finite Difference Methods*). Metode penyelesaian yang digunakan adalah *explicit methods* dimana nilai variabel untuk waktu mendatang ditentukan berdasarkan nilai variabel tersebut pada waktu sebelumnya. Penggunaan Metode Beda Hingga membutuhkan syarat kestabilan yang harus dijaga agar mampu memberikan hasil penyelesaian yang konvergen pada suatu nilai tertentu. Kriteria kestabilan ini mensyaratkan bahwa nilai koefisien dari parameter Persamaan Beda Hingga harus lebih besar atau sama dengan 0 (nol).

Penerapan kriteria kestabilan untuk persamaan distribusi temperatur dinyatakan sebagai berikut:

$$1 - \frac{(2)(\Delta t)(K)}{(\delta^2)(\rho)(c)} \geq 0 \quad (15)$$

Penerapan kriteria kestabilan untuk persamaan distribusi salinitas dinyatakan sebagai berikut:

$$1 - \frac{(2)(\Delta t)(\kappa_s)}{\delta^2} \geq 0 \quad (16)$$

Dengan memilih nilai  $\Delta t$  dan  $\delta$  yang sesuai maka stabilitas penyelesaian Persamaan Beda Hingga dapat dipertahankan sehingga diperoleh hasil yang konvergen.

Dinamika dari *solar pond* dapat diketahui dengan cara dibuatnya suatu perangkat lunak yang mampu melakukan prediksi terhadap karakteristik energi dari *solar pond*. Dengan demikian perilaku *solar pond* untuk waktu yang akan datang dapat diketahui berdasarkan output yang dihasilkan oleh perangkat lunak tersebut. Hasil simulasi dari perangkat lunak ini dapat dijadikan sebagai acuan awal bagi pengembangan *solar pond* di masa mendatang. Perangkat lunak dinamika *solar pond* ini disusun berdasarkan persamaan-persamaan distribusi temperatur dan salinitas sebagaimana dikemukakan pada bagian terdahulu. Penyusunan perangkat lunak *solar pond* dilakukan dengan menggunakan paket program Simulink yang tersedia di dalam program aplikasi Matlab yang mampu menyelesaikan Persamaan Beda Hingga.

Dalam rangka untuk memudahkan penyelesaiannya, maka penyusunan dinamika *solar pond* ini dibagi berdasarkan pada masing-masing zona. Hal ini akan memudahkan untuk mengetahui perilaku dinamika *solar pond* yang meliputi distribusi temperatur dan salinitas pada masing-masing zona.

Penyusunan perangkat lunak model untuk dinamika *solar pond* dilakukan dengan menggunakan beberapa batasan atau asumsi sebagai berikut:

- Tidak terdapat perpindahan panas antara air garam di dalam *solar pond* dengan dinding *solar pond*.
- Pengaruh angin terhadap *solar pond* diabaikan sehingga tidak terdapat evaporasi oleh angin.
- Sinar matahari dianggap jatuh tegak lurus terhadap permukaan *solar pond*, sehingga sudut datang sinar matahari sama dengan sudut biasnya.
- Nilai *solutal diffusivity* dan konduktifitas termal dianggap konstan untuk zona yang sama, dan berbeda untuk zona yang lain.

Berdasarkan beberapa batasan atau asumsi diatas maka disusunlah beberapa nilai konstanta parameter untuk menjalankan simulasi pemodelan numerik dalam rangka memprediksi dinamika energi *solar pond* secara optimal untuk kondisi iklim di pesisir

Gresik. Untuk itu, maka parameter fisik yang dibutuhkan oleh model adalah hasil pengukuran parameter tersebut di lokasi tambak garam Gresik.

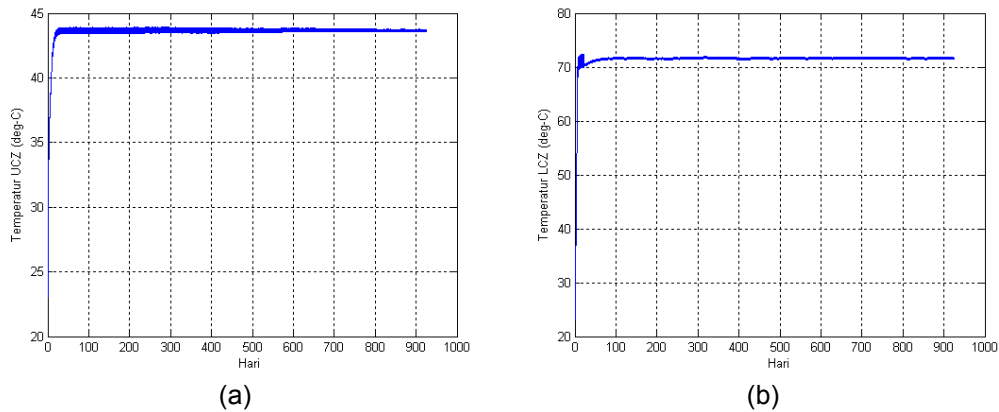
Ada tiga parameter fisik yang diukur yakni: intensitas matahari, temperatur lingkungan, dan temperatur tambak garam (*pond*). Pengukuran dilakukan mulai pukul 08.00 hingga 16.00 dengan interval waktu pengukuran setiap 3 jam sekali. Pengumpulan data dilakukan mulai tanggal 2 sampai Juni 2008 di areal tambak garam kabupaten Gresik. Dari hasil pengolahan data, diperoleh:

- nilai rata-rata intensitas matahari setiap harinya adalah  $I_0 = 519 \text{ Watt / m}^2$
  - nilai rata-rata temperatur lingkungan setiap harinya adalah  $T_L = 29,9 \text{ }^\circ\text{C}$
  - nilai rata-rata temperatur *pond* setiap harinya adalah  $T_L = 31,6 \text{ }^\circ\text{C}$
- Silmulasi dilakukan dengan menggunakan parameter input sebagai berikut :
- $Q_{\text{evaporasi}}$  berupa gelombang sinus dengan bias  $5,7870 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ , amplitudo  $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  dan periode 1 tahun (31.104.000 jam)
  - $Q_{\text{rain}}$  berupa gelombang pulsa dengan amplitudo  $1,7361 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ , periode 1 tahun, lebar pulsa 25 % periode (3 bulan) dan phase delay 18.144.000 jam (pada bulan ke-7)
  - $I_0$  berupa gelombang sinus dengan bias  $550 \text{ W/m}^2$ , amplitudo  $150 \text{ W/m}^2$ .

Pemanfaatan energi panas LCZ dilakukan setelah temperatur pada LCZ telah mencapai temperatur  $70^\circ\text{C}$ . Pada kajian ini, pemanfaatan energi panas LCZ dilakukan dengan memfungsikannya sebagai suatu *boiler* yang akan menguapkan fluida kerja (refrigerant) dalam suatu pipa. Refrigerant yang digunakan merupakan refrigerant yang mudah menguap sehingga ketika keluar dari LCZ akan memiliki fase uap dengan tekanan yang tinggi. Energi panas yang digunakan untuk menguapkan refrigerant ini diperoleh dari energi panas yang terdapat pada LCZ. Uap bertekanan tinggi digunakan untuk menggerakkan turbin yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik. Siklus yang digunakan untuk pembangkitan energi listrik adalah siklus Rankine. Refrigerant yang digunakan pada kajian ini adalah R 134a yang memiliki karakteristik sebagaimana dinyatakan pada bagian di atas (data parameter *solar pond*).

#### 4. HASIL SIMULASI

Simulasi dinamika *solar pond* dilakukan berdasarkan pada nilai konstanta beberapa parameter tersebut di atas. Ada dua buah model hasil simulasi yang dipaparkan dalam makalah ini, yaitu model open loop (tidak digunakan EP) dan model closed cycle (digunakan EP). Model open loop maupun model closed cycle menerapkan pengaliran make up water sehingga level solar pond dijaga tetap. Dari kedua model tersebut, respon temperatur yang dihasilkan pada lapisan UCZ dan lapisan LCZ solar pond adalah sama seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Respon temperatur pada kondisi mantap cenderung stabil dengan osilasi kecil sebagai akibat perubahan intensitas matahari. Nilai temperatur UCZ berosilasi di sekitar  $44^\circ\text{C}$ . Nilai temperatur LCZ pada saat awal belum stabil sebagai akibat pengambilan panas dari LCZ oleh refrigerant. Pada kondisi mantap, temperatur LCZ stabil di  $71.5^\circ\text{C}$ .

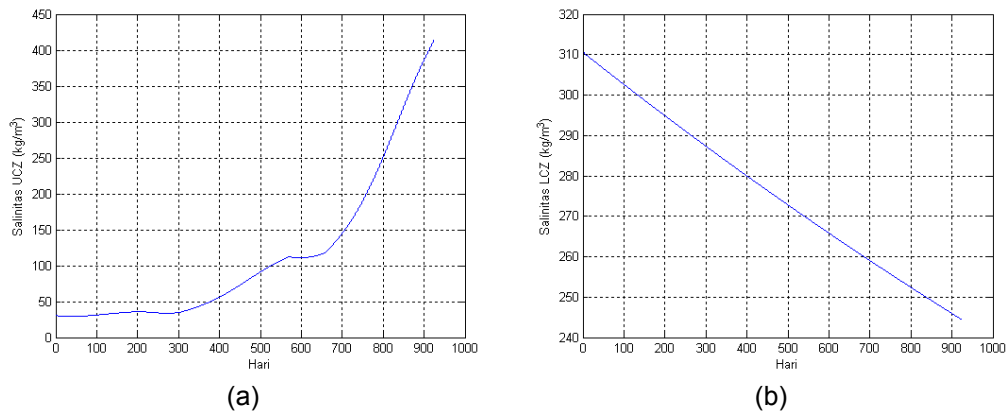


Gambar 5. Temperatur UCZ (a) dan LCZ (b)

Respon salinitas UCZ dan LCZ pada saat model open loop ditunjukkan pada gambar 6. Salinitas UCZ cenderung naik sedangkan salinitas LCZ cenderung turun. Hal ini sebagai akibat perpindahan massa garam dari bagian bawah ke bagian atas solar pond.

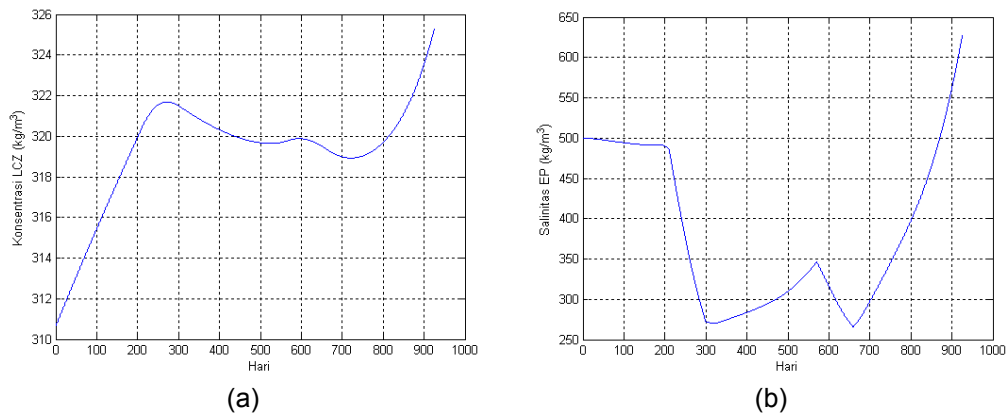


Jika kondisi ini terus berlanjut, maka akan menyebabkan sistem solar pond tidak berfungsi lagi, dengan ditandai hasil simulasi menjadi tidak stabil (pada hari ke-3200). Energi listrik yang dihasilkan adalah 0.452 kW, stabil pada hari ke-21.

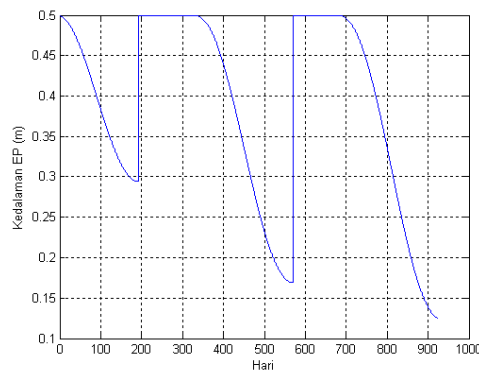


Gambar 6. Salinitas UCZ (a) dan LCZ (b) pada model open loop

Pada simulasi *closed cycle*, air garam dari EP dialirkan ke LCZ dengan kecepatan sebesar  $v_i = 3 \cdot 10^{-9}$  m/s. Nilai salinitas dari UCZ sama dengan kondisi open loop (gambar 6a). Respon salinitas dari LCZ dan EP ditunjukkan pada gambar 7. Salinitas pada LCZ cenderung naik dan turun sebagai akibat suplai air garam dari EP. Salinitas LCZ cenderung naik saat suplai air garam dari EP memiliki salinitas lebih besar dari EP. Sebaliknya, salinitas EP turun menyebabkan salinitas LCZ turun. Penurunan salinitas EP disebabkan karena air hujan yang turun pada hari ke-200 hingga hari ke-300, dan pada hari ke-560 hingga 660. Selanjutnya saat memasuki musim kemarau, salinitas naik kembali menjadi tidak stabil sebagai akibat level EP terus menurun seperti yang ditunjukkan pada gambar 8. Akibat salinitas UCZ yang terus naik dan kedalaman EP yang terus turun, maka sistem solar pond tidak berfungsi lagi, dengan ditandai hasil simulasi menjadi tidak stabil (pada hari ke-1940). Energi listrik yang dihasilkan adalah 0.44 kW, stabil pada hari ke-21.



Gambar 7. Salinitas LCZ (a) dan EP (b) pada model closed cycle



Gambar 8. Kedalaman EP pada model closed cycle

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi di atas, maka dapat disimpulkan bahwa di daerah pesisir Gresik, penerapan solar pond tanpa EP menghasilkan performansi yang lebih baik dalam hal penyediaan energi dibandingkan penerapan closed cycle solar pond dengan EP. Energi yang dihasilkan adalah 0,44 kW selama sekitar 6 tahun untuk model closed cycle, dan 0,452 kW selama sekitar 10 tahun untuk model open loop. Ada dua hal penyebab pada model closed cycle, yaitu ketinggian EP dan salinitas UCZ. Oleh karena itu, perlu diterapkan sistem kontrol yang mengatur kedalaman EP dan salinitas UCZ dengan memanipulasi aliran makeup water yang semula konstan.

### Daftar Pustaka

- Alagao F.B, Akbarzadeh.A, Johnson P.W, *The Design, Construction, and Initial Operation of A Closed Cycle Salt Gradient Solar Pond*, **Solar Energy**, Vol. 53, No. 4, pp. 343 – 351, 1994.
- Alagao F.B, *Simulation of The Transient Behaviour of A Closed Cycle Salt Gradient Solar Pond*, **Solar Energy**, Vol. 56, No. 3, pp. 245 – 260, 1996.
- Akdeniz, H.A., Jour. of Solar Energy Institute of Ege University (1989), 1, 1, 93-103.
- Bryant, H. C. and Colbeck I. A solar pond for London Solar Energy 19, 321-322 (1977)
- Bansal N.K. and A. Boettcher, Deutsche Sonnenform (1982), 4, 264
- Giestas M, Pina H, Joyce A, *The Influence of Radiation on Solar Pond Stability*, **Int. Journal Heat Mass Transf**, Vol. 39, No. 18, pp. 3873 – 3885, 1996.
- Hull J. R., Nielsen C. E. and Golding P. Salinity Gradient Solar Ponds. CRC Press, Boca Raton, Fla. (1989)
- Hull J. R. and Nielsen C. E. Steady state analysis of the rising pond. Solar Energy 42, 3655377 (1989)
- Incropera F. P. and Dewitt D. P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 3rd edn, Wiley, New York (1990)
- Kayal, R., Jour. of Solar Energy Institute of Ege University (1992), 1, 4, 95-102.
- Khalil R.A, Jubran B.A, Faqir N.M, *Optimization of Solar Pond Electrical Power Generation System*, **Energy Convers. Mgmt**, Vol. 38, No. 8, pp. 787 – 798, 1997.
- Knapp H. V. Evaporation and transpiration. In Handbook of Applied Meteorology, Houghton D. D. (Ed.), pp. 537-554. Wiley, New York (1985)
- Mills, D.R., I.M. Basset, and G.H. Derrick, Solar Energy, (1986), 39, 1999.
- Nielsen C. E. Brine concentration by freezing. In Proc. 3<sup>rd</sup> ht. Conf.-Progr. Solar Ponds, El Paso, Tex., pp. 141-147 (1993)
- Ouni M, Guizani A, Belguith A, *Simulation of The Transient Behaviour of a Salt Gradient Solar Pond in Tunisia*, **Renewable Energy**, Vol. 14, No. 1-4, pp. 69 -76, 1998.
- Subahkar D, Srinivasa S.M, *Saturated Solar Ponds 1: Simulation Procedure*, **Solar Energy**, Vol. 50, No. 3, pp. 275 – 282, 1993.
- Sherman B.S, Imberger J, *Control of A Solar Pond*, **Solar Energy**, Vol. 46, No. 2, pp. 71 – 81, 1991.
- Subahkar D, Srinivasa S.M, *Saturated Solar Ponds 1: Parametric Studies*, **Solar Energy**, Vol. 50, No. 4, pp. 307 – 329, 1993.
- Tabor H.Z, Doron B, *The Beith Ha'arava 5 MW(e) Solar Pond Power Plant (SPPP) – Progress Report*, **Solar Energy**, Vol. 45, No. 4, pp. 247 – 253, 1990.
- Wang Y.F, Akbarzadeh A, *A Study on The Transient Behaviour of Solar Ponds*, **Energy**, Vol. 7, No. 12, pp. 1005 – 1017, 1982.
- Ward, J.C., Canada, Sharing the Sun Solar Energy Conference, Winnepeg, 1976