

# PROYEKSI POTENSI ENERGI SURYA SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN (STUDI WILAYAH AMBON DAN SEKITARNYA)

Deni Septiadi<sup>1,2</sup>, Pieldrie Nanlohy<sup>3,4</sup>, M. Souissa<sup>4</sup>, Francis Y. Rumlawang<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Program Doktor Sains Kebumihan, Bidang khusus Sains Atmosfer,  
FITB, Institut Teknologi Bandung

<sup>2</sup> Stasiun Klimatologi Siantan-Pontianak, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

<sup>3</sup> Program Doktor Sains Kebumihan, Bidang khusus Oseanografi,  
FITB, Institut Teknologi Bandung

<sup>4</sup> Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Pattimura, Ambon

<sup>5</sup> Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Pattimura, Ambon

## ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang melimpah akan energi surya dilihat dari letak yang potensial migrasi tahunan matahari. Pemanfaatan energi fosil sampai saat ini cukup mengkhawatirkan karena semakin menipisnya sumber energi disamping efek negatif yang ditimbulkannya akibat meningkatnya konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK). Peningkatan GRK akan memicu meningkatnya suhu permukaan dan menciptakan lingkungan tidak kondusif. Matahari sebagai sumber energi terbesar seharusnya dapat dimanfaatkan secara optimal untuk wilayah Indonesia. Diversifikasi energi merupakan langkah yang harus ditempuh untuk mendapatkan sumber lain sehingga mengurangi ketergantungan akan sumber fosil. Untuk mendapatkan gambaran riil akan energi surya tersebut perlu dilakukan analisis spasial distribusi potensi energi matahari untuk wilayah Indonesia keseluruhan dan Ambon secara khusus. Dengan melakukan kombinasi antara teknik Kriging dan metode iterasi Point Successive Over-Relaxation (PSOR) diharapkan memperlihatkan proyeksi pemetaan dengan resolusi yang lebih baik. Sebelumnya dilakukan optimalisasi data sekunder dengan model Curve Fitting.

**Kata kunci :** Energi surya, Diversifikasi, Kriging, PSOR, Curve Fitting

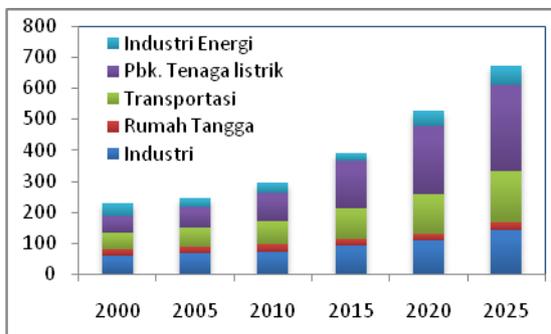
## ABSTRACT

Indonesia is a country which excessive energy resources of solar showed by potential position of solar annual migration. Until this time fossil energy consumption so apprehensively, its because decreasing of energy resources besides negative effect of increasing Greenhouse Gases concentrate, that is increasing of surface temperature and creates inconducive environment. Sun as the biggest energy resource should be use optimally for Indonesia area. Diversification of energy is a final step to get another resources so release us of dependently fossil resources. For real description of solar energy, it needs spatial analysis of potential distribution of solar energy for Indonesia area particularly Ambon. By using combination between Kriging technique and iteration methods, Point Successive Over-Relaxation (PSOR), hoped indicates mapping projection with better resolution. Early by optimalisize secondary data using Curve Fitting models.

**Keywords :** Solar energy, Diversification, Kriging, PSOR, Curve Fitting

**1. PENDAHULUAN**

Pemanfaatan energi fosil selama ini menimbulkan dampak negatif terutama meningkatnya kadar gas rumah kaca di atmosfer sehingga memicu terjadinya pemanasan secara global dan perubahan iklim. Ketika atmosfer semakin kaya akan gas-gas rumah kaca ini, ia semakin menjadi insulator yang menahan lebih banyak panas dari bumi (gelombang panjang) menuju atmosfer. Peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer menyebabkan meningkatnya radiasi yang terperangkap di atmosfer. Akibatnya, suhu rata-rata di seluruh permukaan bumi meningkat. Konsumsi berlebih bahan bakar seperti minyak, batu bara, dan gas alam yang terbuat dari sisa-sisa tanaman dan binatang purba oleh manusia menjadi penyebabnya.



**Gambar 1.**Proyeksi emisi CO<sub>2</sub> dari sektor energi Indonesia hingga tahun 2025 (sumber : NSS on CDM in Indonesia, 2001)

Energi matahari dijalarkan ke permukaan dan diradiasikan ke dalam ruang angkasa. Dalam perjalanannya ke permukaan, 30% energi matahari akan direfleksikan dan disebar kembali ke angkasa, memberikan bumi dan atmosfer albedo sekitar 30%, sementara itu sebanyak 19% diabsorpsi oleh atmosfer dan awan serta 51% diabsorpsi oleh permukaan [Ahrens, 2003].

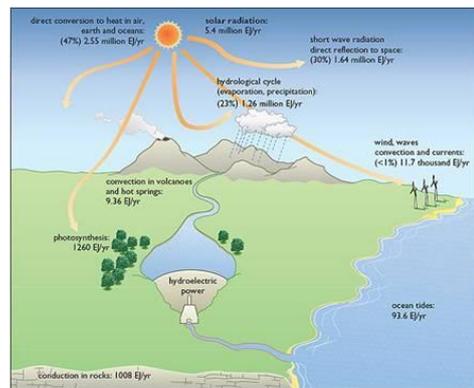
Pantulan kembali dari permukaan bumi ke angkasa berupa *energi panas-sinar inframerah (longwave radiation)*, energi panas tersebut sebagian besar tidak dapat menembus kembali lapisan gas-gas atmosfer hanya sebagian kecil yang dapat lolos keluar. Tidak semua gelombang panjang yang dipantulkan kembali oleh bumi dapat menembus atmosfer menuju angkasa luar

karena sebagian dihangat dan diserap oleh gas rumah kaca (GRK).

Di dalam inti matahari terjadi reaksi termonuklir atau reaksi rantai proton-proton (reaksi p-p), yaitu pada empat proton terjadi fusi membentuk inti baru yang mengandung dua proton dan dua neutron. Dari reaksi ini dapat dihasilkan energi sebesar 25 MeV atau 0,4 x 10<sup>-4</sup> erg. Energi akibat kehilangan sejumlah massa tersebut dapat dinyatakan dalam :

$$E = m \cdot c^2 \quad \dots 1$$

Dengan *c* adalah cepat rambat cahaya dan *m* adalah jumlah massa yang hilang. Dengan demikian kuantitas energi (*E*), jumlahnya akan semakin besar, sehingga total energi yang dihasilkan dari tak berhingga reaksi fusi yang terjadi pada inti matahari dalam tiap detiknya akan sangat besar.



**Gambar 2.** Matahari sebagai sumber energi (sumber : <http://openlearn.open.ac.uk>)

Posisi matahari dan kedudukan wilayah dipermukaan bumi memberikan pengaruh nyata terhadap potensi energi surya pada suatu wilayah. Potensi ini akan berubah tiap waktu, tergantung dari kondisi atmosfer, dan tempat (garis lintang) serta waktu (hari dalam tahun dan jam dalam hari).

Indonesia yang berada dalam wilayah khatulistiwa mempunyai potensi energi surya yang cukup besar sepanjang tahunnya. Energi surya sangat berpotensi untuk dimanfaatkan secara langsung sebagai sumber energi alternatif. Pemanfaatan energi surya ini dapat dilakukan secara termal maupun melalui

energi listrik. Pemanfaatan secara termal dapat dilakukan secara langsung dengan membiarkan objek pada radiasi matahari, atau menggunakan peralatan yang mencakup kolektor dan konsentrator surya.

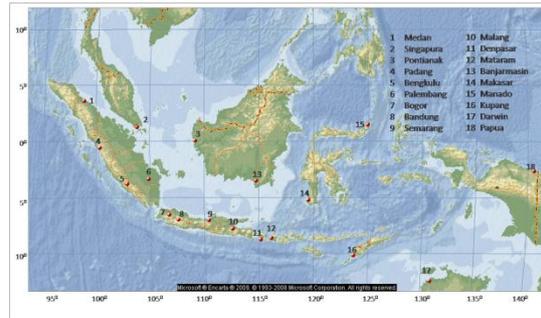
Informasi mengenai ketersediaan energi matahari merupakan hal penting dalam rangka mendukung usaha pemanfaatan energi matahari secara optimal. Pengetahuan mengenai besarnya radiasi matahari pada suatu lokasi merupakan hal yang penting dalam beberapa aplikasi energi matahari seperti desain arsitektur dan dan kenyamanan termal bangunan, sistem pemanfaatan energi matahari (*photovoltaic/PV*, *solar concentrator*, *solar collector*) dan lain-lain [Mubiru, 2008].

Perlu dilakukan diversifikasi pemanfaatan sumber energi selain fosil yang memiliki keterbatasan dan rentan memicu kerusakan lingkungan. Diversifikasi ini dapat dimulai dengan melakukan pendayagunaan energi matahari yang sangat potensial dan tak terbatas terutama untuk wilayah Indonesia.

## 2. DATA DAN METODE

### 2.1 Data

Penelitian ini menggunakan data harian radiasi matahari ( $M_j \cdot m^{-2} \cdot \text{hari}^{-1}$ ) dan lama penyinaran (jam) yang dikumpulkan dari enam belas (16) stasiun observasi permukaan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) serta data tambahan dari Singapura (Meteorological service Singapore) dan Australia (Darwin) yang didapat dari <http://www.bom.gov.au/> dengan periode bervariasi antara 1991-2006. Disamping itu digunakan pula data curah hujan bulanan rata-rata selama 30 tahun (1961-1990) yang didapat dari <http://www.worldweather.org/> untuk melihat pola klimatik beberapa wilayah di sekitar Ambon.



Gambar 3. Distribusi sebaran data penelitian

### 2.2 Metode

#### 2.2.1 Curve Fitting

Data yang terkumpul diolah dan dilakukan denoisasi serta optimalisasi menggunakan model Curve Fitting. Persamaan yang digunakan dalam optimasi data dengan model Curve Fitting adalah pendekatan matematik Polynomial pangkat ke-n:

$$P_n(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0, \quad a_n \neq 0 \quad \dots 2$$

Sebelumnya dilakukan denoisasi dengan dengan teknik Moving average yang menempatkan setiap nilai data dengan perataan dirinya sendiri. Jika observasi pada waktu  $t$  ditandai dengan notasi  $Y_t$ , dan  $l$  adalah positif integer, maka formulasi moving average adalah :

$$A_{l,t} = \frac{1}{l} (Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + \dots + Y_{t-l+1}) \quad \dots 3$$

#### 2.2.2 Model Estimasi Radiasi Matahari

Hubungan sudut jam matahari  $\omega$ , deklinasi  $\delta$ , lintang lokasi  $\phi$  :

$$\sin \alpha = \cos \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad \dots 4$$

Dengan definisi sudut deklinasi sebagai sudut antara sinar matahari dan garis tegak lurus terhadap sumbu polar pada bidang sinar matahari.

$$\delta = 23.45 \sin 360 \left[ \frac{(284+m)}{365} \right] \quad \dots 5$$

Dengan nilai deklinasi positif ketika matahari di utara ekuator dan negatif ketika di selatan ekuator.

Perubahan besaran radiasi dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$I_o(m) = I_{sc} [1 + 0.034 \cos(\frac{360m}{365})] \quad \dots 6$$

Dimana  $I_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$  (*solar constan*) dan  $m = \text{Julian day}$ .

Besar radiasi ekstraterrestrial antara matahari terbit sampai terbenam adalah :

$$H_o = I_{sc} \left( \frac{24}{\pi} \right) (1 + \dots 0.034 \cos(\frac{360m}{365})) (\cos \phi \cos \delta \sin \omega_{ss} + (\pi \omega_{ss} / 180) \sin \phi \sin \delta) \quad \dots 7$$

### 2.2.3 Analisis Kriging

Tinjau nilai  $z(u)$  pada titik  $u$ , estimator kriging :

$$Z_{SK}^*(u) - m = \sum_{i=1}^{n(u)} \lambda_i^{SK}(u) [Z(u_i) - m] \quad \dots 8$$

Dengan :

$\lambda$  adalah bobot setiap residu  $Z(u_i) - m$   
 $m$  adalah rata-rata stasionary  
 $n(u)$  jumlah data disekitar lokasi  $u$

Ketika variabel acak digunakan, akan memperlihatkan bahwa estimator kriging *unbias* :

$$\begin{aligned} E\{Z_{SK}^*(u) - Z(u)\} &= E\{Z_{SK}^*(u)\} - E\{Z(u)\} \\ &= E\left\{m + \sum_{i=u}^n \lambda_i^{SK}(u) [Z(u_i) - m]\right\} - m \\ &= E\left\{m + \sum_{i=u}^n \lambda_i^{SK}(u) [E\{Z(u_i)\} - m]\right\} - m \\ &= m + \sum_{i=u}^n \lambda_i^{SK}(u) [m - m] - m \\ &= 0 \quad \dots 9 \end{aligned}$$

Untuk meminimalkan error, maka dilakukan penurunan parsial varian error terhadap bobot dan menyamakan dengan nol:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_z^2(u)}{\partial \lambda_i^{SK}(u)} &= 2 \sum_{i=u}^{n(u)} \lambda_i^{SK}(u) C(u_i - u_j) - \\ 2C(u_i - u) &= 0 \quad i = 1 \dots n(u) \quad \dots 10 \end{aligned}$$

Sehingga persamaan Kriging dapat ditulis menjadi :

$$\sum_{i=u}^{n(u)} \lambda_i^{SK}(u) C(u_i - u_j) = C(u_i - u) \quad i = 1 \dots n(u) \quad \dots 11$$

### 2.2.4 Point Successive Over-Relaxation (Psor)

Resolusi pemetaan spasial diperhalus dengan metode iterasi Point Successive Over-Relaxation (PSOR). Berikut deskripsi persamaan model PSOR, pertama-tama tinjau iterasi Gauss Siedel :

$$\begin{aligned} u_{ij}^{k+1} &= \frac{1}{2(1+\beta^2)} [u_{i+1,j}^k + u_{i-1,j}^{k+1} + \\ &\beta(u_{i,j+1}^k + u_{i,j-1}^{k+1})] \quad \dots 12 \end{aligned}$$

Tambahkan  $u_{i,j}^k - u_{i,j}^k$  pada sisi kanan, sehingga :

$$\begin{aligned} u_{ij}^{k+1} &= u_{i,j}^k + \frac{1}{2(1+\beta^2)} [u_{i+1,j}^k + u_{i-1,j}^{k+1} + \\ &\beta(u_{i,j+1}^k + u_{i,j-1}^{k+1}) - 2(1 + \beta^2)u_{i,j}^k] \quad \dots 13 \end{aligned}$$

Proses solusi selanjutnya,  $u_{i,j}^k$  didekati dengan  $u_{i,j}^{k+1}$ , dilakukan perkalian dengan  $\omega$  yang merupakan faktor relaksasi :

$$\begin{aligned} u_{ij}^{k+1} &= u_{i,j}^k + \frac{\omega}{2(1+\beta^2)} [u_{i+1,j}^k + u_{i-1,j}^{k+1} + \\ &\beta(u_{i,j+1}^k + u_{i,j-1}^{k+1}) - 2(1 + \beta^2)u_{i,j}^k] \quad \dots 14 \end{aligned}$$

Dengan solusi konvergen :  $0 < \omega < 2$ .  
 Jika  $0 < \omega < 1$ , maka disebut di bawah relaksasi.

Persamaan akhir menjadi :

$$u_{i,j}^{k+1} = (1 - \omega)u_{i,j}^k + \frac{\omega}{2(1+\beta^2)} [u_{i+1,j}^k + u_{i-1,j}^k + \beta(u_{i,j+1}^k + u_{i,j-1}^k)] \quad \dots 15$$

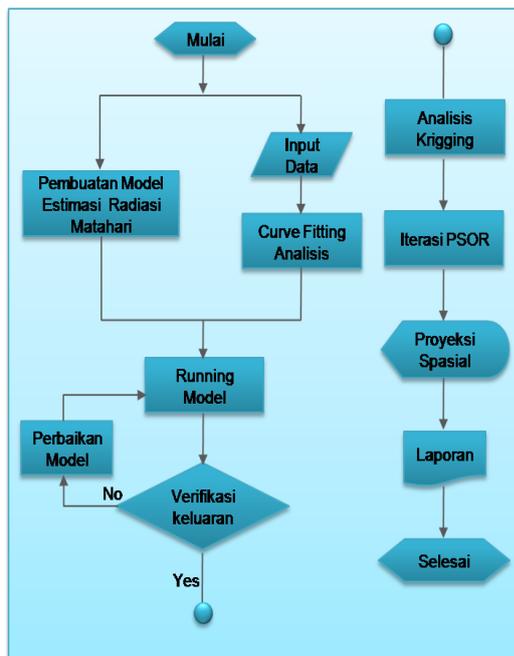
Untuk mendapatkan relaksasi optimum :

$$\omega_{opt} = \frac{2 - 2\sqrt{1-\alpha}}{\alpha} \quad \dots 16$$

$$\alpha = \left[ \frac{\cos\left(\frac{\pi}{JM-1}\right) + \beta^2 \cos\left(\frac{\pi}{JM-1}\right)}{1 + \beta^2} \right]^2 \quad \dots 17$$

### 2.2.4 Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir penelitian :



Gambar 4. Diagram alir kegiatan

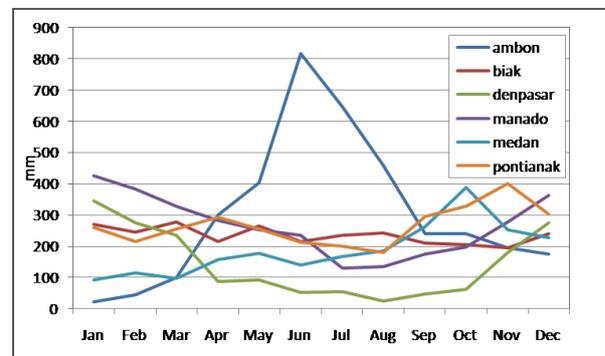
## 3. HASIL DAN ANALISIS

Radiasi matahari menciptakan fluks panas yang memainkan peranan penting

dalam sirkulasi global. Panas laten dilepaskan ketika terjadi kondensasi uap air menjadi butir awan atau sejumlah besar awan sepanjang proses konveksi pada Intertropical Convergence Zone (ITCZ) yang berada di atas wilayah Indonesia [Siregar, Septiadi dan Liong, 2008].

Di Kalimantan tepatnya Pontianak, radiasi matahari berbanding lurus dengan jumlah curah hujan. Radiasi yang besar tersebut bertanggung jawab terhadap konveksitas (updraft) suatu kolom udara yang menghasilkan pola cuaca/iklim [Septiadi, 2008].

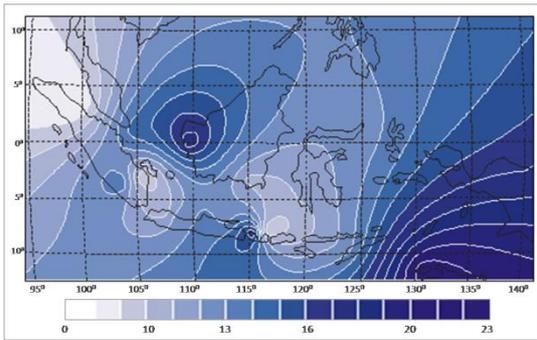
Ambon termasuk wilayah klimatik yang unik yang cukup berbeda dibanding wilayah lainnya di Indonesia. Pola hujannya merupakan pola lokal berbanding terbalik dengan tipe hujan monsun.



Gambar 5. Curah hujan rata-rata 30 tahun (1961-1990)

Gambar 6 memperlihatkan hasil pemetaan spasial distribusi radiasi rata-rata bulanan secara keseluruhan area penelitian. Dua sebaran distribusi terbesar terdapat di Kalimantan (Pontianak) dan Australia (Darwin).

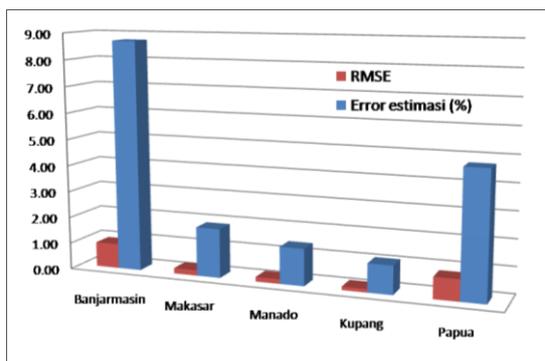
Secara keseluruhan wilayah Indonesia menerima radiasi matahari yang cukup tinggi rata-rata  $12,38 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ . Hal ini dikarenakan posisi matahari yang cenderung tegak lurus terhadap ekuatorial.



**Gambar 6.** Distribusi spasial karakteristik radiasi Indonesia

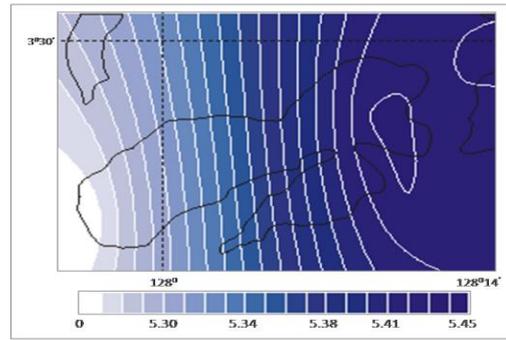
Hasil estimasi model pemetaan secara spasial memperlihatkan akurasi yang cukup baik sebagaimana ditunjukkan pada gambar 7 yang merupakan sampling error lima wilayah penelitian : *Banjarmasin, Makasar, Manado, Kupang, dan Papua*.

Error estimasi (%) berkisar antara 1,07-8,72% dimana rata-rata error 3,56% yang masih dibawah ambang error 5%. Sementara itu RMSE memperlihatkan kisaran antara 0,13-0,94 dengan rata-rata 0,45. Dengan demikian model cukup memberikan hasil estimasi pemetaan yang cukup baik.



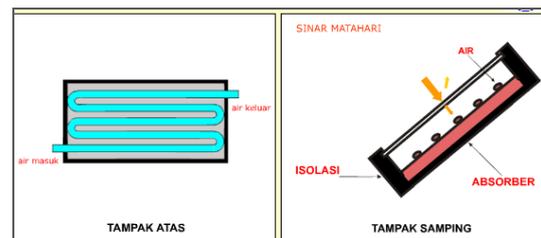
**Gambar 7.** Sampling error estimasi pemetaan spasial

Untuk mendapatkan proyeksi spasial potensi surya wilayah Ambon dilakukan penyempitan ruang dengan meningkatkan resolusi dan melihat kisaran terendah radiasi matahari. Hal ini untuk melihat kemungkinan terburuk dalam penyediaan sumber energi.



**Gambar 8.** Kisaran radiasi terendah untuk wilayah Ambon

Kisaran radiasi terendah untuk wilayah Ambon berkisar antara 5-5,4 MJ.m<sup>2</sup>.hari<sup>-1</sup>. Aplikasi pemanfaatan energi surya dapat dilakukan dengan mengembangkan kolektor datar dan konzentor untuk mengumpulkan energi radiasi surya sedemikian sehingga energi termal yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara lebih praktis untuk berbagai proses. Kolektor datar surya terdiri dari *cover* (penutup) transparan, absorber dan insulator.



**Gambar 9.** Kolektor surya

Dengan mengasumsikan kolektor memerlukan panas untuk proses balancing sebesar 3000 W, suhu kolektor 80<sup>0</sup>C, suhu lingkungan 30<sup>0</sup>C, koefisien pindah panas keseluruhan 5 W/m<sup>2</sup>, efisiesnsi optik 0.8 maka untuk wilayah ambon didapat jumlah panas yang dapat dihasilkan per satuan luas adalah 99,6 W/m<sup>2</sup> dengan luas kolektor yang diperlukan 30 m<sup>2</sup>.

Namun dengan perhitungan rata-rata radiasi normal luas kolektor yang diperlukan tentu menjadi lebih kecil dan efisien lagi. Apalagi Ambon merupakan wilayah perawanan yang tidak terlalu banyak (signifikan) dibanding wilayah lain di Indonesia seperti Kalimantan sehingga

radiasi yang masuk tidak mengalami proses atenuasi oleh berbagai partikel kondensasi pembentuk awan. Sehingga pemanfaatan energi surya merupakan alternatif yang cukup menjanjikan.

#### 4. KESIMPULAN

Sebagai wilayah yang dilalui garis khatulistiwa, Indonesia menerima radiasi yang cenderung tegak lurus dibanding wilayah lain dimuka bumi. Sehingga memberikan kontribusi dalam pemanfaatan energi surya.

Optimalisasi data sekunder menggunakan model Curve Fitting memperkecil noise dan kesalahan dalam *data gathering*. Selanjutnya dengan melakukan kombinasi analisis Kriging dan Point Successive Over-Relaxation (PSOR), didapatkan resolusi yang cukup baik dalam melihat secara spasial karaktersistik dan distribusi energi matahari.

Hasil estimasi model pemetaan secara spasial memperlihatkan akurasi yang cukup baik. Error estimasi rata-rata 3,56% yang masih dibawah ambang error 5%, sementara itu RMSE rata-rata 0,45. Dengan demikian model memberikan hasil estimasi pemetaan yang cukup baik.

Pemanfaatan aplikasi energi surya menggunakan kolektor datar dan konsentrator untuk mengumpulkan energi radiasi surya dengan tingkat sebaran radiasi terendah wilayah Ambon setidaknya-tidaknya dihasilkan 99,6 W/m<sup>2</sup> panas dengan luas kolektor yang diperlukan 30 m<sup>2</sup>.

Dengan estimasi model tersebut di atas, Ambon merupakan wilayah yang cukup potensial untuk pengembangan energi alternatif pengganti energi fosil yang memberikan banyak kekurangan dan efek negatif bagi lingkungan.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

1. Ahrens, C. Donald. [2003], *Meteorology Today*, An introduction to weather, climate, and environment. Thomson learning, Inc. Amerika.
2. Anonim. [2001]. Ministry of Environment, Republic of Indonesia. *National Strategy Study on Clean Development Mechanism in Indonesia*.
3. Mubiru, J. and Banda, E.J.K.B. [2008]. Estimation of monthly average daily global solar irradiation using artificial neural network, *Solar Energy* 82, 181-187.
4. Septiadi, 2008. *Aplikasi Softcomputing Pada Prediksi Curah Hujan Di Kalimantan*, Jurnal Meteorologi dan Geofisika, Vol.9 No.2 November 2008, ISSN : 1411-3082 hal 65-71.
5. Siregar, P., Septiadi, D., Liong, T. (2008). Weather/Climate Model in Indonesia and Terrestrial Effects of Solar Activity. *Proceedings of the International Symposium on Climate and weather of the sun-earth system*. November 24-26, 2008. Jakarta, Indonesia Hal 1-6.