

# ANALISA DISTRIBUSI PANAS PADA ALAT PENGERING RUMPUT LAUT (STUDI KASUS PADA ALAT PENGERING RUMPUT LAUT DI SITUBONDO)

Basuki Widodo dan Retti Kartika B.  
Jurusan Matematika ITS  
Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111

**Abstract.** In Situbondo, seaweed drying is currently conducted traditionally. This process produces low quality seaweeds. An alternative way to cope this problem is to develop an hybrid power drying equipment utilizing heat energy from fuel and solar energy. The result of this drying depends on heat distribution. To understand the heat dispersion, one need to analyse temperature distribution in the drying equipment, in particular in the drying plate. Therefore, a model distribution on plate is developed when the heat in from solar and stove. The model is solved using Finite Different Method. The solution will be formulating to the central, side and corner of the plate. Computation with Matlab will be compared with the result of complements Fluent 6.0 software. The result show that the heat transfer occurs from one area in the plate to others areas due to temperature difference. The profile of the temperature distribution decreases and dispers vertically and horizontally to the edge and the bottom of the plate.

**Keywords:** plate, seaweed drying equipment, finite difference method, temperature distribution profile.

## 1. PENDAHULUAN

Situbondo merupakan salah satu kota di Jawa Timur yang menghasilkan rumput laut. Proses pengolahan rumput laut di daerah tersebut selama ini masih dilakukan secara sederhana, terutama pada proses pengeringan, sehingga diperoleh hasil yang belum memadai. Salah satu alternatif untuk memecahkan masalah ini adalah dengan mengembangkan alat pengering tenaga hibrida, dimana alat pengering tersebut dapat beroperasi dalam segala kondisi [4].

Keberhasilan proses pengeringan bergantung pada arah penyebaran panas sehingga udara yang dihasilkan mampu mengeringkan rumput laut sampai pada kondisi yang diinginkan. Untuk mengetahui arah penyebaran panas diperlukan analisa distribusi panas pada alat pengering tersebut. Analisa penyebaran panas ini memerlukan metode matematika. Salah satu metode penyelesaian yang dapat digunakan untuk pendekatan distribusi temperatur adalah dengan menggunakan meto-

de beda hingga atau *finite different method* [1].

Karena itu dalam makalah ini akan dikembangkan model matematika dari distribusi panas pada alat pengering rumput laut tenaga hibrida dan selanjutnya diselesaikan dengan menggunakan metode beda hingga.

Agar permasalahan tidak terlalu meluas, maka diambil beberapa batasan sebagai berikut.

- Sinar matahari sebagai sumber tenaga.
- Daerah analisis merupakan pelat persegi panjang pada kotak alat pengering. Sedangkan asumsi yang akan digunakan adalah:
  - Kolektor yang digunakan terbuat dari pelat datar (aluminium).
  - Performansi kolektor dalam keadaan tunak (*steady state*).
  - Permukaan pelat kolektor dianggap rata.
  - Aliran udara yang melalui kolektor dianggap satu arah.
  - Debu dan kotoran di atas kolektor diabaikan.

- f. Temperatur udara yang digunakan maksimal 323°K.
- g. Sifat-sifat bahan tidak berubah terhadap temperatur.
- h. Udara panas yang diterima rumput laut dengan udara panas yang dihasilkan oleh kolektor dianggap sama.

**2. PERUMUSAN MODEL**

Laju perpindahan kalor secara konduksi menurut Fourier berbanding dengan gradient suhu normal dan tetapan konduktivitas termal bahan

$$q_x = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \tag{2.1}$$

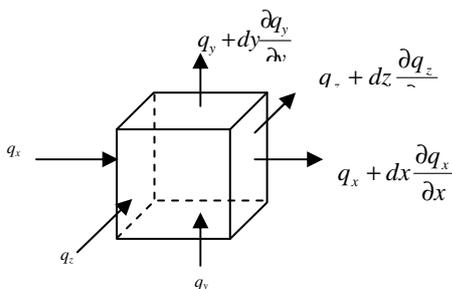
(Incropera dan De Witt, 1990) atau untuk *heat fluks* [2] adalah

$$q_x'' = \frac{q_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \tag{2.2}$$

Tanda minus menunjukkan bahwa perpindahan panas selalu ke arah turunnya temperatur.

Dalam proses perpindahan panas, analisa hukum kekekalan energi memegang peranan penting. Pada penerapan hukum kekekalan energi dibutuhkan identifikasi volume kontrol, yaitu luasan atau bagian dari daerah atau ruang yang dibatasi oleh suatu permukaan kontrol dimana ada energi atau zat yang melewatinya.

Di dalam kontrol volume sendiri mempunyai energi eksternal ( $E_g$ ) dan energi internal ( $\dot{E}_{st}$ ). Energi eksternal adalah manifestasi dari beberapa proses konversi energi, termasuk energi panas, kimia listrik, nuklir dan lain-lain. Sedangkan energi internal adalah energi yang tersimpan oleh benda itu sendiri ( energi panas ).



Gambar 1. Elemen kecil bahan dalam koordinat kartesius

Dari hukum kekekalan energi [3], dimana

Laju energi panas + jumlah flux energi yang melewati permukaan = Power, maka diperoleh persamaan konservasi energi untuk kontrol volume tertentu adalah sebagai berikut

$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_g - \dot{E}_{out} = \dot{E}_{st}, \text{ dengan } \dot{E}_{st} = \frac{dE_{st}}{dt}, \tag{2.3}$$

dengan

$\dot{E}_{in}$  : laju energi termal yang memasuki volume kontrol yang dirumuskan

$$\dot{E}_{in} = q_x + q_y + q_z$$

$\dot{E}_g$  : laju pembangkit energi termal dari volume kontrol yang dirumuskan

$$\dot{E}_g = \dot{q}.dx.dy.dz$$

$\dot{E}_{out}$  : laju pembangkit energi termal dan mekanik yang keluar dari volume kontrol yang dirumuskan

$$\dot{E}_{out} = q_{x+dx} + q_{y+dy} + q_{z+dz}$$

$\dot{E}_{st}$  : laju pertambahan atau pengurangan energi yang tersimpan dalam volume kontrol yang dirumuskan

$$\dot{E}_{st} = \rho.c_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} .dx.dy.dz .$$

Sehingga dari penjabaran di atas, diperoleh

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( -k \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( -k \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho.c_p \frac{\partial T}{\partial t} \tag{2.4}$$

Persamaan di atas merupakan persamaan umum konduksi panas.

Dengan mendefinisikan  $\alpha = \frac{k}{\rho.c_p}$  dengan  $\alpha$

adalah diffusivity termal, maka persamaan konduksi [5] menjadi

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \tag{2.5}$$

**3. PENYELESAIAN MODEL**

**3.1. Penyelesaian dengan Metode Beda Hingga**

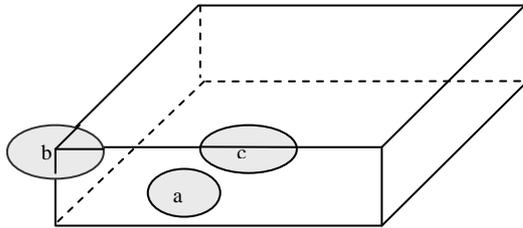
Persamaan konduksi panas pada koordinat kartesius adalah

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} .$$

Pada keadaan *steady state*, bidang dua dimensi dan tidak ada energi internal, maka didapatkan persamaan

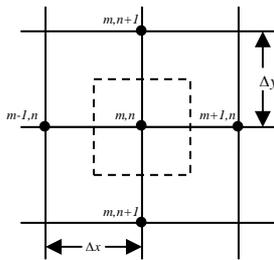
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (3.1)$$

Pada alat pengering rumput laut, penyelesaiannya terbagi dalam 3 kasus, seperti pada Gambar 2



Gambar 2. Skema model dasar sistem yang akan diselesaikan dalam bentuk dua dimensi.

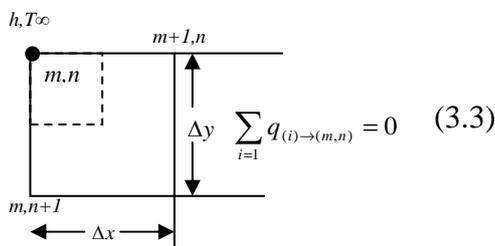
a. Pada kasus a (node pada daerah tengah pelat).



$$\Delta y^2 T_{m+1,n} + \Delta y^2 T_{m-1,n} + \Delta x^2 T_{m,n+1} + \Delta x^2 T_{m,n-1} - 2(\Delta x^2 + \Delta y^2) T_{m,n} = 0 \quad (3.2)$$

Gambar 3. Bentuk molekul untuk persamaan node pada daerah pelat pusat.

b. Pada kasus b (node terletak pada pojok pelat), dimana bagian atas terjadi kontak dengan udara luar.



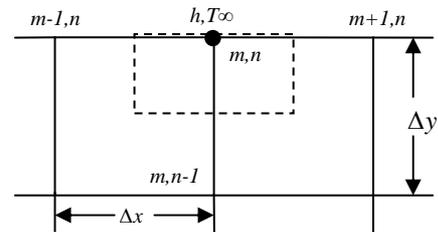
Gambar 4. Bentuk molekul untuk persamaan node dengan kondisi batas konveksi pada sudut luar.

Total laju energi termal pada kasus dinyatakan sebagai penjumlahan laju e-

nergi termal secara konduksi dan secara konveksi.

$$(\Delta y)^2 T_{m+1,n} + (\Delta x)^2 T_{m,n-1} + \left( h \frac{\Delta x}{k} (\Delta y)^2 + h \frac{\Delta y}{k} (\Delta x)^2 \right) T_{\infty} - \left( (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + h \frac{\Delta x}{k} (\Delta y)^2 + h \frac{\Delta y}{k} (\Delta x)^2 \right) T_{m,n} = 0 \quad (3.4)$$

c. Pada kasus c (node terletak pada pinggiran pelat), dimana pada daerah ini juga terjadi kontak dengan udara luar yang berbatas dengan kondisi konveksi.



Gambar 5. Bentuk molekul untuk persamaan node dengan kondisi batas konveksi pada pinggiran plat.

$$(\Delta y)^2 T_{m-1,n} + 2(\Delta x)^2 T_{m,n-1} + (\Delta y)^2 T_{m+1,n} - 2 \left( (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + h \frac{(\Delta x)^2 \Delta y}{k} \right) T_{m,n} + 2h \frac{(\Delta x)^2 \Delta y}{k} T_{\infty} = 0 \quad (3.5)$$

Persamaan (3.2), (3.4), dan (3.5) merupakan persamaan-persamaan node penyelesaian dari permasalahan pendekatan distribusi temperatur pada pelat.

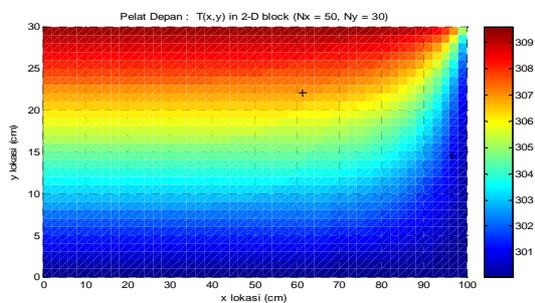
### 3.1.1. Aplikasi dengan Pemrograman Matlab 7.0

Distribusi temperatur pada pelat depan atau belakang alat pengering ditunjukkan pada Gambar 6. Pelat depan dan belakang alat pengering berukuran panjang 200 cm dan lebar 30 cm. Pada Gambar 6 disajikan dalam bentuk setengah bagian dari pelat yang simetri terhadap sumbu y, dimana posisi  $x$  lokasi = 0 merupakan titik tengah (titik simetri) dari pelat, dan  $x$  lokasi = 100 cm adalah ujung tepi dari pelat tersebut.

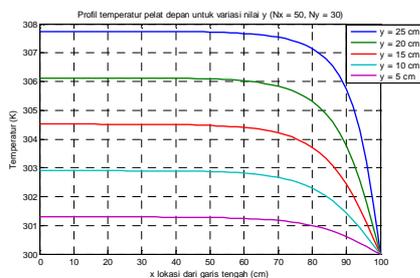
Distribusi temperatur yang terjadi pada pelat berjalan mulai dari temperatur tertinggi pada bagian atas pelat hingga me-

ngalami penurunan pada bagian bawah dan sisi tepi dari pelat. Temperatur terbesar ada pada daerah sentral ( $x=0$ ) dan pada posisi paling atas. Hal ini ditunjukkan dengan warna merah, kemudian temperatur akan menyebar ke bagian lain dari pelat dengan ditandai oleh perubahan warna hingga kondisi temperatur yang paling rendah.

Plot besarnya temperatur terhadap lokasi jarak sepanjang sumbu  $x$  pada pelat depan atau belakang ditunjukkan pada Gambar 7. Pada gambar tersebut hanya menyajikan hasil plot dengan jarak vertikal (searah sumbu  $y$ ) sepanjang 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, dan 25 cm dari dasar pelat.



Gambar 6. Profil distribusi temperatur pada pelat depan.



Gambar 7. Profil temperatur sepanjang sumbu- $x$  untuk beberapa nilai  $y$  pada pelat depan.

Pada pelat depan atau belakang dengan jarak 5 cm searah vertikal dari dasar pelat ( $y=5$ ) dan di posisi sentral ( $x=0$ ) menunjukkan bahwa besarnya temperatur adalah sekitar  $301,3^\circ$  K atau dapat ditulis sebagai  $T(0,5) = 301,3$ . Sepanjang posisi  $y=5$  cm ini temperatur berjalan mulai dari posisi sentral ( $x=0$ ) selanjutnya mengalami penurunan temperatur hingga menuju pelat bagian tepi (posisi  $x=100$ ). Pola grafik  $y=5$  ini ditunjukkan pada Gambar 7 dengan

warna grafik ungu. Penurunan temperatur dengan pola seperti grafik  $y=5$  juga terjadi pada posisi 10 cm, 15 cm, 20 cm dan 25 cm dari dasar pelat. Jika kita plot untuk pelat samping yang berukuran  $300 \times 30$  cm, juga mengalami hal yang sama dengan pelat depan, hanya nilai temperatur tiap posisi tertentu adalah berbeda karena panjang pelat depan dengan belakang juga berbeda.

Sehingga secara kualitatif, antara pelat depan dengan pelat samping menunjukkan *trendline* yang sama, yaitu terjadi penyebaran temperatur dengan pola penurunan temperatur ke arah sisi pelat sebelah samping dan sisi pelat sebelah bawah.

### 3.2. Penyelesaian dengan Fluent 6.0

Fluent merupakan salah satu paket program *Computational Fluid Dynamic* (CFD) yang mampu memodelkan perpindahan kalor pada suatu geometri. CFD memerlukan secara relatif beberapa asumsi yang membatasi dan memberikan deskripsi yang lengkap dari medan aliran semua variabel. Secara umum kerangka kerja CFD meliputi formulasi-formulasi persamaan transport yang berlaku, formulasi kondisi batas yang sesuai, pemilihan dan pengembangan kode-kode komputasi untuk mengimplementasikan teknik numerik yang digunakan. Suatu kode CFD terdiri dari tiga elemen utama yaitu *pre-processor*, *solver* dan *post processor*.

#### 3.2.1. Tahap Pre-processor

Langkah awal dari proses penyelesaian memerlukan alat bantu pembuat model geometri dan *grid generator*. Dalam hal ini digunakan *software* Gambit 2.1 untuk memodelkan geometri sekaligus membentuk grid beserta menentukan kondisi batas (*boundary conditions*) yang diinginkan. Hasil dari proses pre-processor ini ditunjukkan pada Gambar 8.

Pada Gambar 8 menunjukkan model dasar sistem dalam bentuk dua dimensi beserta hasil diskritisasinya. Untuk memperkecil jumlah grid yang dipakai maka kondisi batas untuk sisi sebelah kiri

memakai tipe simetri. Artinya model dibuat simetri terhadap sumbu  $y$ , dengan ukuran panjang setengah dari panjang pelat sesungguhnya, yaitu 100 cm untuk pelat depan atau 150 untuk pelat samping dan lebar 30 cm. Dengan *interval size* 0.5, maka terbentuk suatu geometri dengan grid yang berukuran 200x60 untuk pelat depan atau berukuran 300x60 untuk pelat samping.

Sisi atas pelat menggunakan jenis kondisi batas tipe *mass flow inlet*, yang merupakan daerah masuknya udara panas ke daerah pelat. Sedangkan sisi kanan dan bawah menggunakan jenis kondisi batas tipe *wall* (dinding).

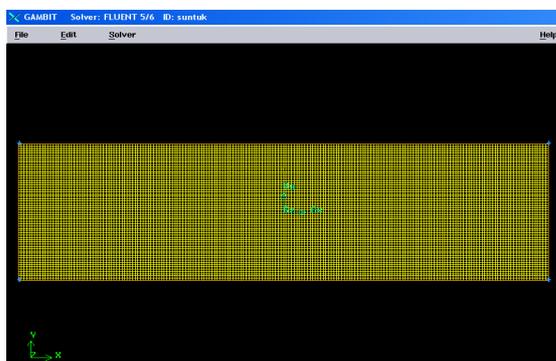
### 3.2.2. Tahap Solver

Model solver digunakan untuk menentukan pendekatan model matematis yang dipakai untuk menyelesaikan permasalahan dari model geometri yang telah ditentukan variabel syarat batasnya.

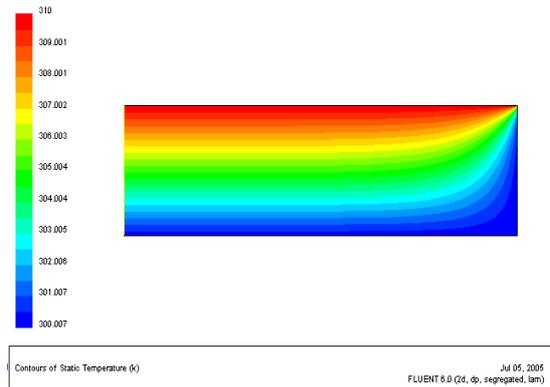
### 3.2.3. Tahap Post-processor

Post-processor merupakan proses simulasi atau penampilan dari semua variabel-variabel serta besaran-besaran lainnya yang telah ditentukan dan syarat batas sesuai dengan permasalahan.

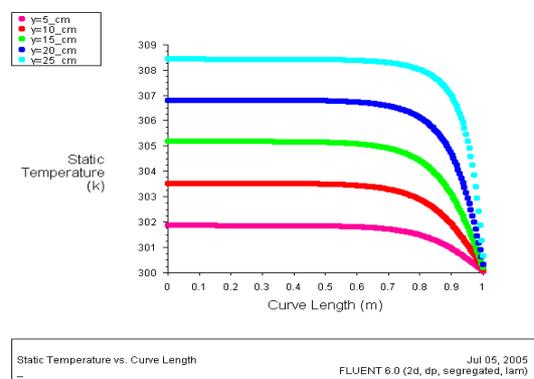
Distribusi temperatur yang terjadi pada pelat depan tampak dalam Gambar 9 Temperatur tertinggi berada pada sisi atas pelat, dimana daerah ini merupakan daerah masuknya udara panas. Kemudian udara panas akan mengalir ke dalam area pelat.



Gambar 8. Model sistem dan grid pada pelat alat pengering



Gambar 9. Profil distribusi temperatur pada pelat depan dengan menggunakan Fluent 6.0.



Gambar 10. Profil temperatur sepanjang sumbu- $x$  untuk beberapa nilai  $y$  pada pelat depan dengan menggunakan Fluent 6.0.

Setelah melewati batas atas pada pelat, udara yang mengalir ini mengalami penurunan temperatur ke arah sumbu- $y$  negatif dan ke arah sumbu- $x$  positif. Perubahan warna yang terjadi pada tiap daerah menunjukkan besarnya temperatur yang berubah dari daerah bertemperatur tinggi menuju daerah bertemperatur rendah.

Pola kontur temperatur jika diilustrasikan dalam grafik temperatur terhadap sisi plat secara horizontal (searah sumbu- $x$ ) akan diperoleh seperti pada Gambar 10 dan menyajikan hasil plot dengan jarak vertikal (searah sumbu  $y$ ) sepanjang 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm dan 25 cm dari dasar pelat yang ditunjukkan oleh masing-masing warna pada inset.

Pada pelat depan atau belakang dengan jarak 5 cm searah vertikal dari dasar plat ( $y=5$ ) dan di posisi central ( $x=0$ ) menunjukkan bahwa besarnya temperatur

adalah sekitar  $301^{\circ}$  K. Sepanjang posisi  $y=5$  ini temperatur berjalan mulai dari posisi sentral ( $x=0$ ) selanjutnya mengalami penurunan temperatur hingga menuju pelat bagian tepi (posisi  $x=100$ ). Pola grafik  $y=5$  ini ditunjukkan pada Gambar 10 dengan warna grafik magenta. Penurunan temperatur dengan pola seperti grafik  $y=5$  juga terjadi pada posisi 10 cm, 15 cm, 20 cm, dan 25 cm dari dasar pelat.

#### 4. ANALISA PERBANDINGAN HASIL ANTARA MENGGUNAKAN MATLAB 7.0 DENGAN FLUENT 6.0

Hasil dari pemograman Matlab dan Fluent yang telah dipaparkan di atas, menunjukkan bahwa profil distribusi temperatur yang disajikan dalam bentuk kontur maupun plot sepanjang sumbu- $x$  adalah identik. Secara kualitatif, profil distribusi temperatur pada plot temperatur sepanjang sumbu- $x$  untuk beberapa nilai  $y$  adalah sama, yaitu terjadi penurunan temperatur dari daerah bertemperatur tinggi menuju daerah bertemperatur rendah, atau secara visual pada gambar adalah kearah sumbu- $x$  positif dan kearah sumbu- $y$  negatif.

Kecenderungan *trendline* demikian terjadi berdasarkan prinsip perpindahan panas secara konduksi. Banyaknya panas atau kalor yang diterima sisi bagian atas pelat adalah sama pada posisi secara horizontal atau pada gambar penyelesaian adalah posisi  $y=30$  cm. Panas tersebut akan mengalami perpindahan energi dari suatu daerah ke daerah lainnya akibat perbedaan temperatur antara daerah-daerah tersebut. Pada prinsip perpindahan panas secara konduksi, persamaan laju konduksi satu dimensi pada keadaan *steady state* adalah sebanding dengan koefisien konduksi termal bahan, luas permukaan dan perubahan temperatur arah aliran panas.

Dalam hal ini, panas yang diterima pelat, koefisien konduksi termal bahan dan luas permukaan seluruh area pelat adalah sama. Sehingga perubahan temperatur akan berbanding lurus dengan perubahan panjang aliran panas. Panas pada sisi bagian atas pelat akan menjalar dari titik te-

ngah (daerah simetri atau posisi  $x=0$ ) dengan temperatur maksimum ( $310^{\circ}$ K) menuju daerah temperatur minimum ( $300^{\circ}$ K), yaitu pada daerah sisi bagian tepi dan sisi bagian bawah. Sisi bagian tepi dan bawah ini merupakan kondisi batas dengan tipe dinding (*wall*), dimana temperatur yang diberikan adalah  $300^{\circ}$ K. Dari kondisi pelat yang demikian, jarak aliran panas dari titik simetri menuju *wall* akan semakin panjang, artinya perubahan temperatur ( $\Delta T$ ) harus semakin besar pula. Ini terjadi baik secara horizontal (searah sumbu- $x$ ) maupun secara vertikal (searah sumbu- $y$ ). Pada grafik-grafik hasil penyelesaian,  $T$  adalah temperatur pada posisi tertentu dan bukan merupakan perubahan temperatur. Perubahan temperatur didefinisikan sebagai selisih antara temperatur pada titik posisi tertentu dengan temperatur yang diberikan pada kondisi batas. Sehingga jika perubahan temperaturnya ( $\Delta T$ ) besar, maka temperatur pada daerah tertentu akan mengecil. Kondisi demikian yang menyebabkan profil distribusi temperatur pada hasil penyelesaian cenderung menuju ke arah *wall*, baik bawah maupun tepi dari pelat.

#### 5. PENUTUP

Diperoleh kesimpulan bahwa profil distribusi temperatur yang dihasilkan menurun dan menyebar baik searah horizontal maupun vertikal menuju daerah bagian tepi dan bagian bawah pelat. Secara kualitatif hal ini sudah sesuai dengan apa yang terjadi pada distribusi panas pada alat pendingin rumput laut yang sebenarnya.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Holman, J.P. (1993), *Perpindahan Kalor*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [2] Incropera, F.P., and De Witt, D.P. (1990), *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, Singapore.
- [3] Versreeg, H.K. dan Malalasekera. (1995), *An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method*, Longman Scientific and Technical, New York.

- [4] Widodo, B. (2004), *Penerapan Manajemen dan Teknologi Tepat Guna pada Proses Pengolahan Rumput Laut Menjadi Aneka Olahan*, Program Kerjasama Idamantek 2004, Kementerian Riset dan Teknologi R.I., Pemda Situbondo dan LPPM - Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [5] Wirdiandoko, I. M. (2001), *Analisa Proses Perpindahan Panas pada Kabel Pejal Penghantar Arus Listrik dengan Metode Beda Hingga*, Tugas Akhir, Jurusan Matematika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
-