KOMPUTASI DISTRIBUSI SUHU DALAM KEADAAN MANTAP (STEADY STATE) PADA LOGAM DALAM BERBAGAI DIMENSI

Oleh:
Warsono, Supahar, Supardi, Denny Darmawan
Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta

ABSTRAK

Telah dilakukan komputasi mengenai distribusi suhu dalam keadaan mantap pada pada logam dalam berbagai dimensi. Dimensi satu berbentuk kawat, dimensi dua berbentuk plat dan dimensi tiga berbentuk kubus. Perhitungan suhu pada kisi-kisi dalam tiap dimensi dilakukan dengan metode numerik berbantuan program komputer.

Distribusi suhu dalam keadaan mantap memenuhi persamaan Laplace orde dua. Metode numerik yang digunakan untuk penyelesaian tersebut adalah metode diferensi terbagi hingga. Konvergensi dilakukan dengan menggunakan metode relaksasi berlebih berturutan (*successive over relaxation, SOR*) dengan parameter konvergensi w yang terletak pada jangkauan $1 \leq w < 2$. Pada kasus dimensi satu, logam yang dipilih berbentuk kawat dengann panjang 4 satuan, pada kasus dimensi dua dipilih logam berbentuk plat dengan ukuran 4 x 4 satuan dan pada kasus dimensi tiga dipilih logam berbentuk kubus dengan ukuran 4 x 4 x 4 satuan. Suhu logam pada berbagai tempat atau posisi pada ketiga dimensi dihitung berdasarkan kondisi batas yang ditentukan. Komputasi dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman MATLAB versi 5.3.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai suhu T pada kawat dari ujung ke ujung naik atau turun secara linear bergantung pada kondisi ujung batas. Pada plat logam, nilai suhu T di berbagai tempat besarnya bervariasi tergantung pada posisi (x,y) dan kondisi batas yang dipilih, yaitu $T(x=1,y)$, $T(x=5,y)$, $T(x,y=1)$ dan $T(x,y=5)$. Nilai suhu T pada logam berbentuk kubus bergantung pada posisi (x,y,z) dan enam kondisi batas yang ditentukan, yaitu $T(x=1,y,z)$, $T(x=5,y,z)$, $T(x,y=1,z)$, $T(x,y=5,z)$, $T(x,y,z=1)$, dan $T(x,y,z=5)$. Grafik hubungan antara suhu T dan posisi (x) pada kawat logam berbentuk garis lurus dengan pola naik atau turun bergantung pada kondisi batas. Grafik tiga dimensi mengenai hubungan antara suhu T dengan posisi (x,y) pada plat logam berbentuk permukaan jala dengan pola naik atau turun yang tidak linear. Pada kubus logam, grafik hubungan antara suhu T dengan posisi (x,y) untuk z tertentu berbentuk permukaan jala dengan pola linear di $z = 1$ dan $z = 5$, dan tidak linear di z yang lain.

Kata-kata kunci : *komputasi, distribusi suhu, keadaan mantap, dimensi*

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Fisika sebagai ilmu dasar mempunyai peranan yang sangat penting dalam pengembangan ilmu-ilmu terapan (teknik), seperti : teknik sipil, teknik elektro, teknik mesin, teknik kimia dan teknik-teknik lainnya. Penemuan-penemuan baru dalam ilmu fisika akan mempengaruhi konsep-konsep dasar yang digunakan dalam teknik. Sebaliknya kemajuan-kemajuan dalam bidang teknik akan mendorong kemajuan-kemajuan dalam ilmu fisika. Dapat dikatakan bahwa ilmu fisika dan ilmu teknik mempunyai hubungan timbal balik yang sangat erat.

Sebagian besar bidang teknik berhadapan dengan distribusi suhu dalam materi zat padat. Piranti-piranti teknik , seperti : mesin-mesin kalor, piranti elektronik, memerlukan pembuangan kalor ke lingkungan (pendinginan) untuk menjaga keawetannya. Proses pembuangan kalor dari reservoar suhu tinggi ke reservoar suhu rendah berkaitan erat dengan distribusi suhu. Oleh karena itu, kajian mengenai distribusi suhu pada zat padat (khususnya logam) akan sangat bermanfaat dalam memahami proses pembuangan kalor (pendinginan) dalam piranti-piranti teknik tersebut.

Persoalan distribusi suhu terkait dengan persamaan diferensial parsial. Penyelesaian persamaan ini biasanya tidak mudah dipecahkan dengan metode analitik, kecuali untuk masalah yang sederhana. Alternatif yang sangat mungkin untuk mengatasi kesulitan tersebut adalah dengan metode numerik. Tersedianya piranti komputer dan bahasa pemrograman akan sangat membantu dalam perhitungan numerik secara cepat dan teliti. Disamping itu juga dengan piranti tersebut dapat ditampilkan visualisasi grafik hasil perhitungannya.

B. Rumusan Masalah

Masalah-masalah dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana distribusi suhu pada kawat logam untuk kondisi batas yang ditentukan?
2. Bagaimana distribusi suhu pada plat logam untuk kondisi batas yang ditentukan?
3. Bagaimana distribusi suhu pada logam berbentuk kubus untuk kondisi batas yang ditentukan ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Menentukan distribusi suhu pada kawat logam untuk kondisi batas yang ditentukan.
2. Menentukan distribusi suhu pada plat logam untuk kondisi batas yang ditentukan.
3. Menentukan distribusi suhu T pada logam berbentuk kubus untuk kondisi batas yang ditentukan.

D. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan kajian bagi para pemerhati ilmu fisika pada umumnya dan pemerhati fisika komputasi pada khususnya. Selain itu penelitian ini juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber acuan dalam pengembangan ilmu-ilmu terapan (teknik) yang terkait dengan distribusi suhu.

LANDASAN TEORI

A. Pemodelan Matematis

Distribusi suhu dalam keadaan mantap (*steady state*) memenuhi persamaan Laplace orde dua. Jika suhu dinyatakan dengan *T*, posisi dinyatakan dengan (*x*,*y*,*z*), maka model matematisnya dinyatakan dengan persamaan :

$$\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \qquad (1)$$

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

$$\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \qquad (3)$$

Persamaan *(1)* berlaku untuk kasus dimensi satu, persamaan *(2)* berlaku untuk kasus dimensi dua, dan persamaan *(3)* berlaku untuk kasus dimensi tiga.

B. Pemodelan Numeris

Model penyelesaian numeris untuk kasus distribusi suhu dalam keadaan mantap dapat dilakukan dengan mengubah persamaan diferensial parsial orde dua kedalam bentuk diskrit. Penggunaan metode diferensi terbagi hingga menghasilkan persamaan sebagai berikut (Chapra dan Canale,1991:318; Koonin, 1986:139):

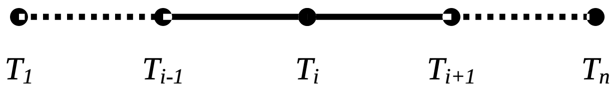
$$T_i = \frac{T_{i+1} + T_{i-1}}{2} \qquad (4)$$

$$T_{i,j} = \frac{T_{i-1,j} + T_{i,j-1} + T_{i,j+1} + T_{i+1,j}}{4} \qquad (5)$$

$$T_{i,j,k} = \frac{T_{i+1,j,k} + T_{i,j+1,k} + T_{i,j,k+1} + T_{i-1,j,k} + T_{i,j-1,k} + T_{i,j,k-1}}{6} \qquad (6)$$

Persamaan *(4)*, *(5)* dan *(6)* masing-masing untuk kasus dimensi satu (kawat), dimensi dua (plat) dan tiga (kubus).

Perhitungan nilai T_i pada persamaan *(4)* memerlukan dua nilai lain yang telah diketahui yaitu T_{i+1} dan T_{i-1}. Nilai suhu di titik-titik kedudukan dalam kawat dapat digambarkan dalam bentuk kisi-kisi seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



***Gambar 1**. Kisi-kisi yang menggambarkan distribusi suhu pada kawat logam dengan pendekatan diferensi terbagi hingga.*

Suhu T_1 dan T_n pada Gambar 1 adalah suhu pada bidang batas, yaitu suhu pada ujung-ujung kawat.

Persamaan (*4*) dapat ditulis kembali dalam bentuk yang sesuai dengan metode iterasi seperti berikut (Mathews, 1992 : 527):

$$T_i = T_i + r_i \tag{7}$$

dengan r_i adalah suku sisa (*residual*) yang mempunyai bentuk:

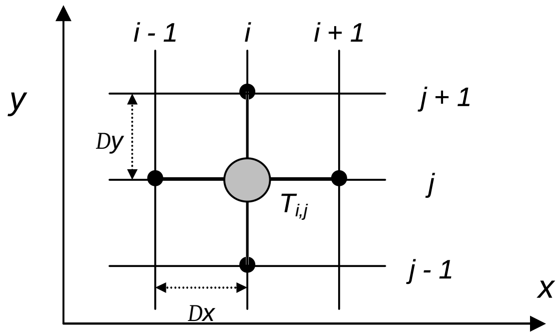
$$r_i = \frac{T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}}{2} \tag{8}$$

Untuk mempercepat konvergensi r_i menuju nol digunakan metode relaksasi berlebih berturutan (*Successive Over Relaxation, SOR*) yang mempunyai bentuk persamaan :

$$T_i = T_i + \omega\left[\frac{T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}}{2}\right] = T_i + \omega r_i \tag{9}$$

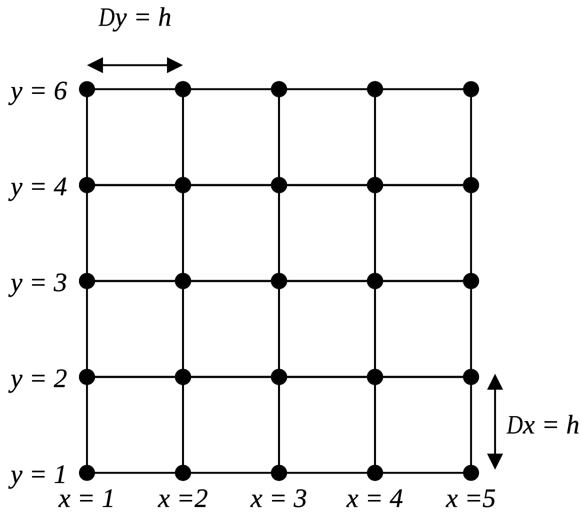
dengan *w* adalah parameter konvergensi yang mempunyai nilai : $1 \leq w < 2$.

Penyelesaian persamaan *(5)* memerlukan empat syarat batas, yaitu : *T(i=1, j), T(i=n,j) T(i, j*=1) dan *T(i, j=m)* sehingga akan diperoleh persamaan linear orde (*n-1*) x (m-*1*) (Hary Gunarto, 1993 : 35). Gambar 2 memperlihatkan sebuah kisi dua dimensi yang digunakan untuk menggambarkan persamaan *(5)* .



***Gambar 2.** Kisi dua dimensi yang menggambarkan distribusi suhu pada plat persegipanjang dengan pendekatan diferensi terbagi hingga.*

Distribusi suhu pada plat ditunjukkan oleh nilai suhu pada titik-titik kisi di dalam plat. Gambar 3 menunjukkan sebuah plat persegipanjang dengan ukuran 4 x 4 satuan yang dibagi menjadi 4 x 4 segmen selebar *h* dengan jumlah titik kisi 25 buah. Nilai suhu pada setiap titik kisi dihitung berdasarkan 4 nilai suhu pada titik kisi di sekitarnya.



Gambar 3. *Sebuah plat persegi panjang 4 x 4 satuan diisi dengan 25 titik kisi*

Penerapan metode iteratif dan SOR pada persamaan *(5)* diperoleh persamaan distribusi suhu sebagai berikut :

$$T_{i,j} = T_{i,j} + \omega\left[\frac{T_{i-1,j} + T_{i,j-1} + T_{i,j+1} + T_{i+1,j} - 4T_i}{4}\right] = T_{i,j} + \omega\, r_{i,j} \qquad (10)$$

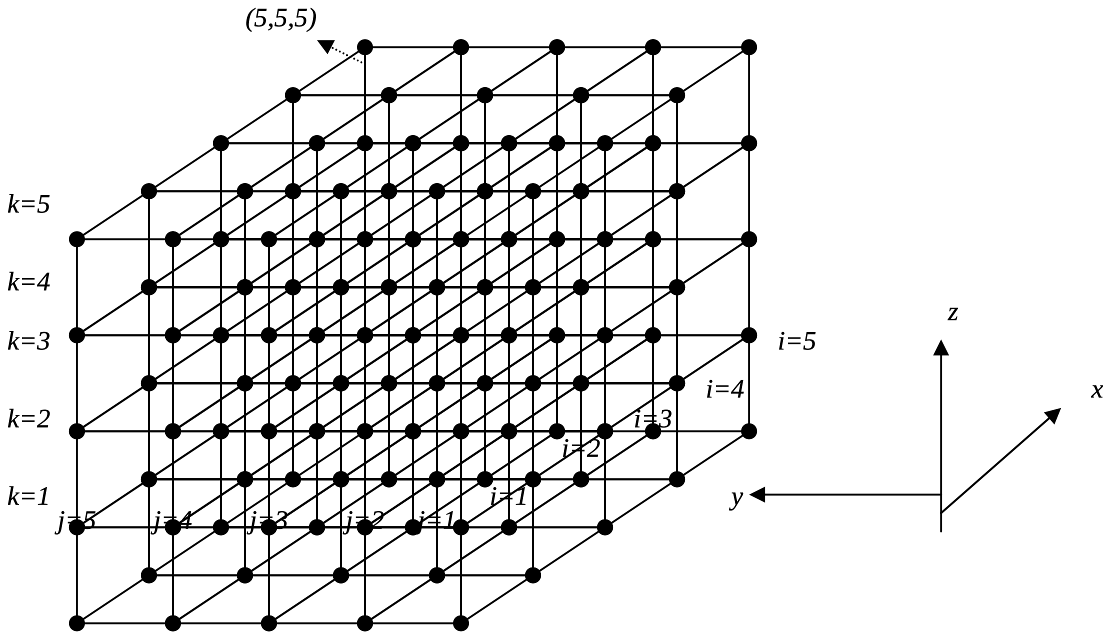
dengan suku sisa :

$$r_{i,j} = \left[\frac{T_{i-1,j} + T_{i,j-1} + T_{i,j+1} + T_{i+1,j} - 4T_i}{4}\right] \qquad (11)$$

dan parameter konvergensi (Mathews, 1992 : 528) :

$$\omega = \frac{4}{2 + \sqrt{4 - \left[cos\left(\frac{\pi}{n-1}\right) + cos\left(\frac{\pi}{m-1}\right)\right]^2}} \qquad (12)$$

Persamaan *(6)* menunjukkan bahwa untuk menentukan nilai suhu pada suatu titik kisi di dalam kubus diperlukan enam nilai suhu di titik kisi yang lain. Titik-titik kisi pada kubus dengan ukuran 4 x 4 x 4 satuan ditunjukkan pada Gambar 4. Jumlah keseluruhan titik kisi pada gambar tersebut ada 125 buah.



Gambar 4. *Kisi-kisi pada kubus berukuran 4 x 4 x 4 satuan dengan jumlah 125 buah*

Penggunaan metode iteratif dan SOR menghasilkan distribusi suhu pada kubus dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$
\begin{aligned}
T_{i,j,k} &= T_{i,j,k} + \omega\, r_{i,j,k} \\
&= T_{i,j,k} + \omega \left[\frac{T_{i+1,j,k} + T_{i,j+1,k} + T_{i,j,k+1} + T_{i-1,j,k} + T_{i,j-1,k} + T_{i,j,k-1} - 6T_{i,j,k}}{6} \right] \qquad (13)
\end{aligned}
$$

Penyelesaian persamaan distribusi pada kubus logam memerlukan 6 kondisi batas,yaitu:

T(i=1,j,k) **à** terletak di sisi muka kubus dari Gambar 4

T(i=n,j,k) **à** terletak di sisi belakang kubus dari Gambar 4

T(i,j=1,k) **à** terletak di sisi kanan kubus dari Gambar 4

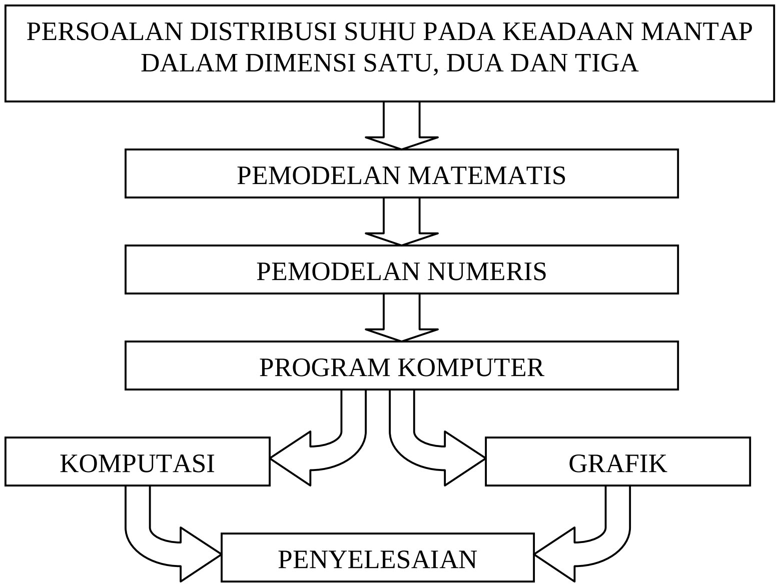
T(i,j=n,k) **à** terletak di sisi kiri kubus dari Gambar 4

T(i,j,k=1) **à** terletak di sisi bawah kubus dari Gambar 4

T(i,j,k=n) **à** terletak di sisi atas kubus dari Gambar 4

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan distribusi suhu keadaan mantap pada logam dalam berbagai dimensi mencakup tiga langkah yaitu : pemodelan matematis, pemodelan numeris dan pembuatan program komputer untuk menghitung dan membuat grafik mengenai distribusi suhu pada logam dalam dimensi satu (kawat), dimensi dua (plat) dan dimensi tiga (kubus). Secara skematis metode penelitian ditunjukkan pada Gambar 5.

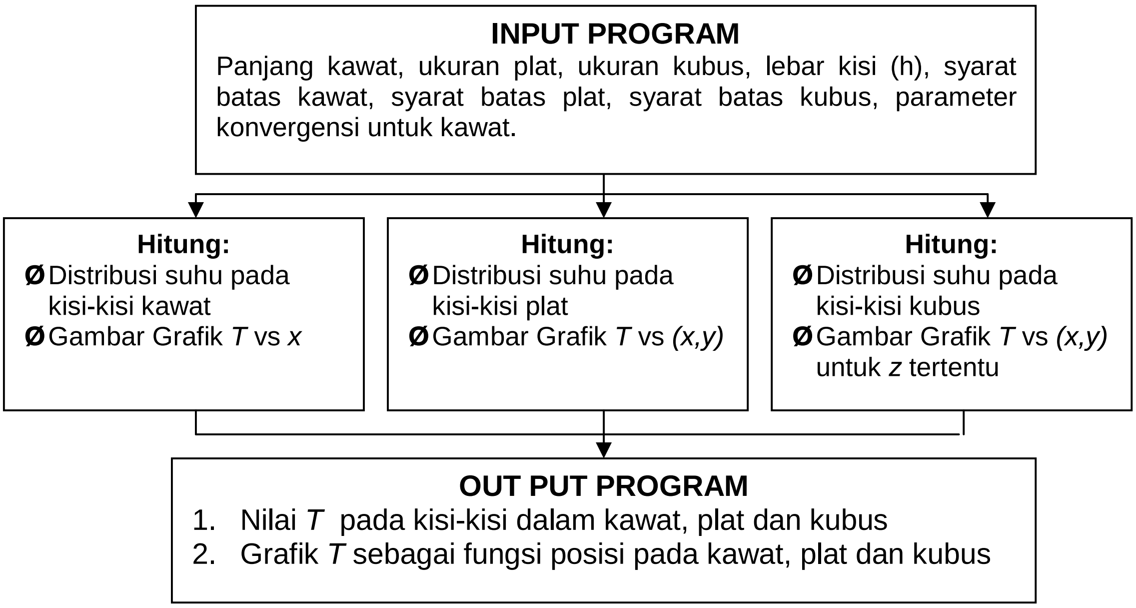


***Gambar 5**. Skema Metode Penelitian*

Model matematis yang sesuai dengan persoalan distribusi suhu dalam keadaan mantap adalah persamaan Laplace dalam koordinat Kartesian baik untuk dimensi satu, dimensi dua maupun dimensi tiga. Model matematis ditunjukkan pada persamaan *(1)*, *(2)* dan *(3)*.

Model numeris yang digunakan adalah penggabungan metode diferensi terbagi hingga, metode iteratif dan SOR. Model numeris untuk masing-masing dimensi dinyatakan dalam persamaan *(9)*, *(10)* dan *(13)*.

Setelah model numeris diperoleh, selanjutnya dibuat program komputer untuk menghitung nilai suhu pada tiap-tiap kedudukan dalam kawat, plat dan kubus. Untuk keperluan komputasi diperlukan masukan program berupa : ukuran kawat, ukuran plat, ukuran kubus, lebar segmen (lebar kisi), kondisi batas atau syarat batas dan parameter konvergensi (khususnya untuk kawat). Ukuran kawat dipilih panjang 4 satuan, plat 4 x 4 satuan dan kubus 4 x 4 x 4 satuan. Besar lebar kisi untuk arah x, y dan z dipilih sama yaitu sebesar h. Kondisi batas untuk masing-masing bentuk logam dipilih 4 macam yang digunakan sebagai bahan perbanding. Parameter konvergensi w untuk penyelesaian kasus dimensi satu dipilih pada jangkauan antara 1 dan 2 yang menghasilkan konvergensi paling cepat. Untuk dimensi dua dan tiga digunakan rumus parameter pada persamaan *(12)*. Program komputer yang digunakan dalam penelitian ini adalah program *MATLAB* versi 5.3. Grafik distribusi suhu digambarkan dalam bentuk hubungan antara suhu dengan posisi. Pada kawat, grafik ditampilkan dalam bentuk dua dimensi sedangkan pada plat dan kubus ditampilkan dalam bentuk tiga dimensi. Secara garis besar program komputer ditampilkan dalam bentuk diagram alur pada Gambar 6.



Gambar 6. *Diagram Alur Program Komputer*

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

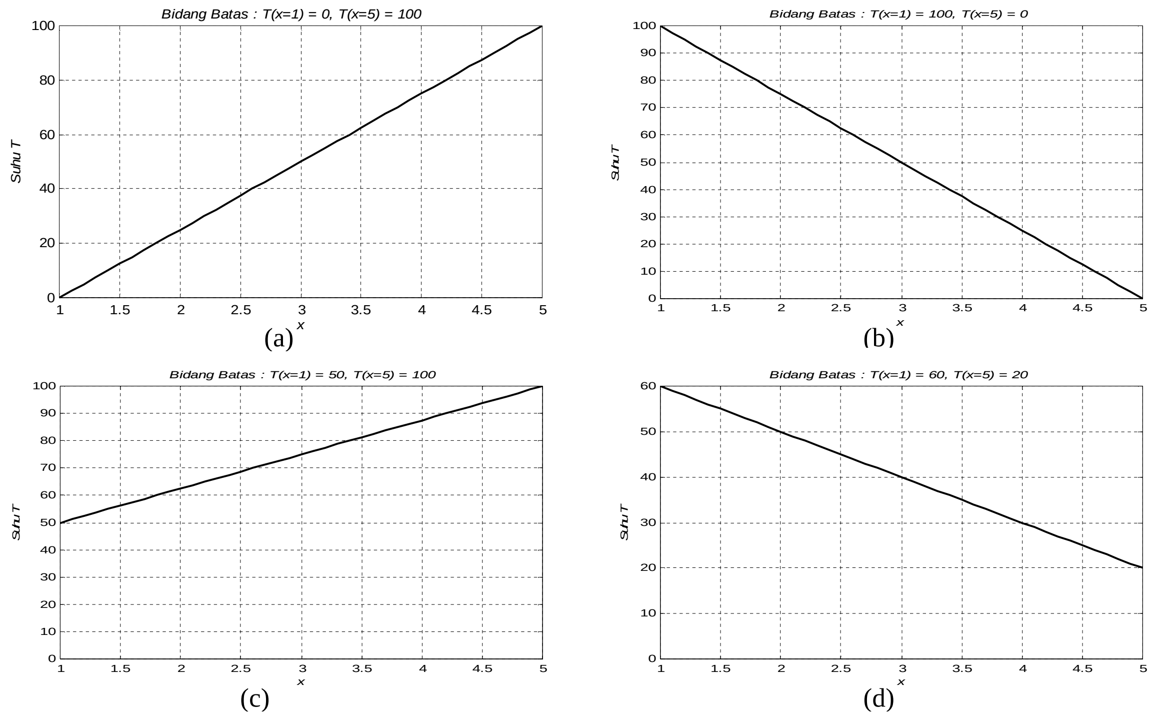
A. Distribusi Suhu Keadaan Mantap Pada Kawat Logam

Hasil komputasi distribusi suhu untuk masukan : panjang kawat (*l*) 4 satuan, lebar kisi (*h*) 0,5 dan empat kondisi batas yang berbeda, nilai numeriknya disajikan pada Tabel 1 dan grafiknya ditampilkan pada Gambar 7.

Tabel 1. Nilai numerik distribusi suhu untuk empat kondisi batas yang berbeda

i	*x*	Kondisi Batas			
		$T(x=1) = 0^o$ C $T(x=5) = 100^o$ C	$T(x=1) = 100^o$ C $T(x=5) = 0^o$ C	$T(x=1) = 50^o$ C $T(x=5) = 100^o$ C	$T(x=1) = 60^o$ C $T(x=5) = 20^o$ C
1	1	0	100.0000	50.0000	60.0000
2	1,5	12.5000	87.5000	56.2500	55.0000
3	2,0	25.0000	75.0000	62.5000	50.0000
4	2,5	37.5001	62.4999	68.7500	45.0000
5	3,0	50.0000	50.0000	75.0000	40.0000
6	3,5	62.5000	37.5000	81.2500	35.0000
7	4,0	75.0000	25.0000	87.5000	30.0000
8	4,5	87.5000	12.5000	93.7500	25.0000
9	5,0	100.0000	0	100.0000	20.0000
w		1.457	1.457	1.457	1.457
Iterasi		19	19	18	18

Tabel 1 menunjukkan bahwa suhu pada titik-titik kisi sepanjang kawat nilainya naik atau turun tergantung pada syarat batas yang dipilih. Secara umum, kenaikan atau penurunan suhu sepanjang kawat bersifat linear. Hal ini diperjelas lagi oleh bentuk grafik *T* sebagai fungsi *x* pada Gambar 7 yang berupa garis lurus.



Gambar 7. *Grafik Hubungan antara T dengan x dengan syarat batas :*
(a). T(x=1) = 0, T(x=5) = 100, (b). T(x=1) = 100, T(x=5) = 0
(c). T(x=1) = 50, T(x=5) = 100. (d). T(x=1) =6 0, T(x=5) = 20

Hubungan linear antara suhu *T* dengan posisi *x* dapat dijelaskan dari persamaan *(1)* yang merupakan persamaan Laplace dimensi satu. Pada persamaan tersebut, turunan kedua *T* terhadap *x* bernilai nol. Ini berarti turunan pertama *T* terhadap *x* bernilai konstan.

$$\frac{\partial T}{\partial x} \approx \frac{dT}{dx} = kons\,tan$$
$$T = ax + b \qquad (14)$$

Persamaan *(14)* merupakan persamaan garis lurus yang menunjukkan bahwa hubungan antara suhu dan posisi bersifat linear.

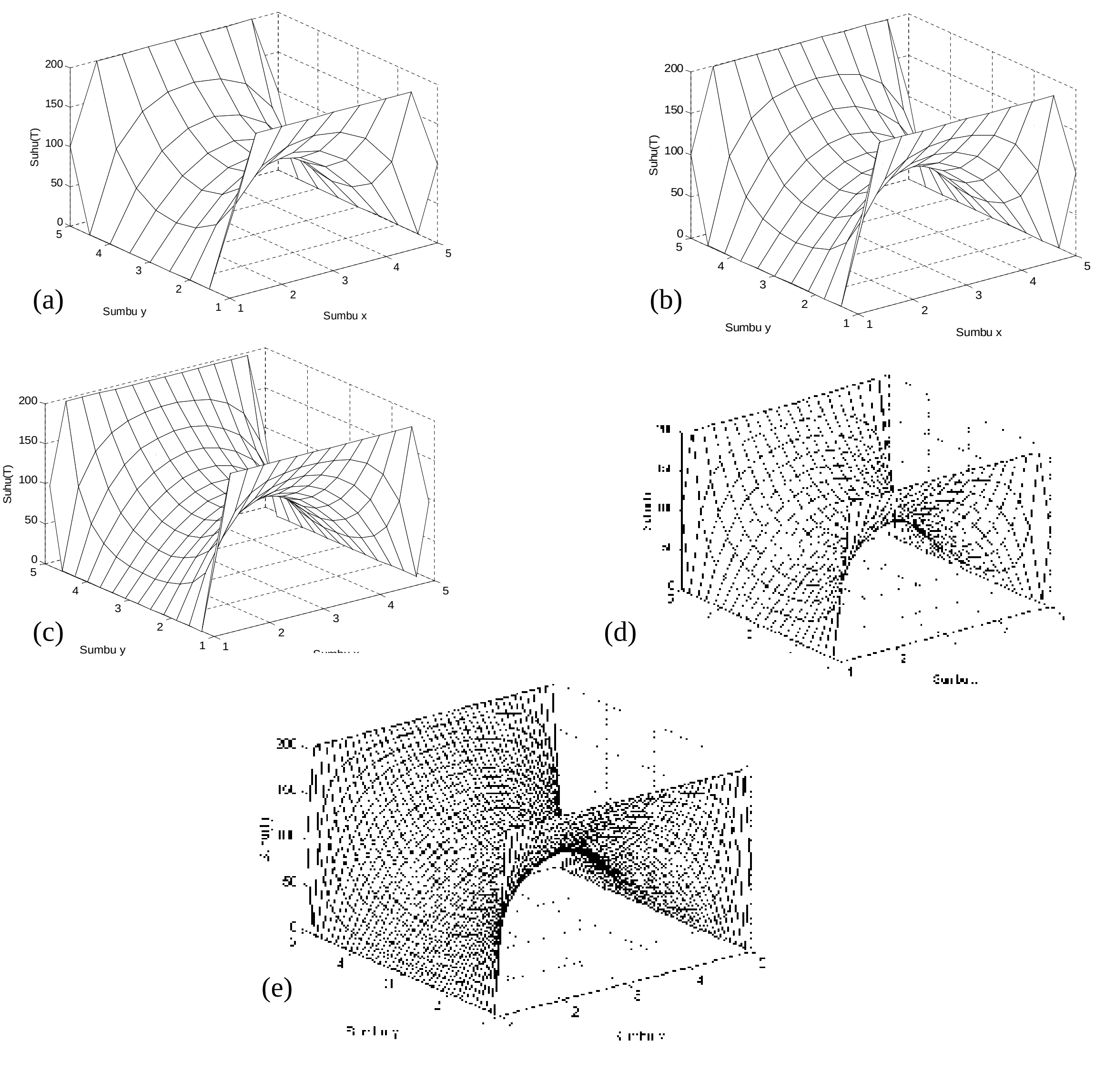
B. Distribusi Suhu Keadaan Mantap Pada Plat Logam

Perhitungan nilai suhu pada plat logam dengan ukuran 4 x 4 satuan, syarat batas $T(i{=}1,j) = T(i{=}n) = 0^o$ *C*, $T(i,j{=}1) = T(i,j{=}5) = 200$ dan nilai $h = 0{,}5$, $h = 0{,}4$, $h = 0{,}3$, $h = 0{,}2$ dan $h = 0{,}1$ ditunjukkan dalam bentuk grafik pada Gambar 8. Nilai distribusi suhu pada titik-titik kisi plat untuk $h = 0{,}5$ ditampilkan pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2, distribusi suhu pada plat logam nilainya bervariasi tergantung pada syarat batas dan tidak menunjukkan hubungan linear. Grafik pada Gambar 8 menunjukkan bahwa makin kecil nilai *h*, makin halus grafiknya.

Tabel 2. *Distribusi suhu pada plat untuk h = 0,5 dan syarat batas T(i=1,j) = T(i=n) = 0^o C, T(i,j=1) = T(i,j=5) = 200*

x \ y	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1,0	100.00	0	0	0	0	0	0	0	100.00
1,5	200.00	100.00	61.40	45.59	41.18	45.59	61.40	100.00	200.00
2,0	200.00	138.60	100.00	79.78	73.53	79.78	100.00	138.60	200.00
2,5	200.00	154.41	120.22	100.00	93.38	100.00	120.22	154.41	200.00
3,0	200.00	158.82	126.47	106.62	100.00	106.62	126.47	158.82	200.00
3,5	200.00	154.41	120.22	100.00	93.38	100.00	120.22	154.41	200.00
4,0	200.00	138.60	100.00	79.78	73.53	79.78	100.00	138.60	200.00
4,5	200.00	100.00	61.39	45.59	41.18	45.59	61.40	100.00	200.00
5,0	100.00	0	0	0	0	0	0	0	100.00
Nilai *w* =1.4465									
Jumlah iterasi = 18									



Gambar 8*. Grafik distribusi suhu terhadap posisi untuk : (a).h = 0,5 ; (b). h = 0,4 (c). h = 0,3 ; (d). h = 0,2 dan (e). h = 0,1.*

Komputasi nilai suhu untuk nilai jarak antar kisi h = 0,2 dan empat syarat batas yang berbeda yaitu :

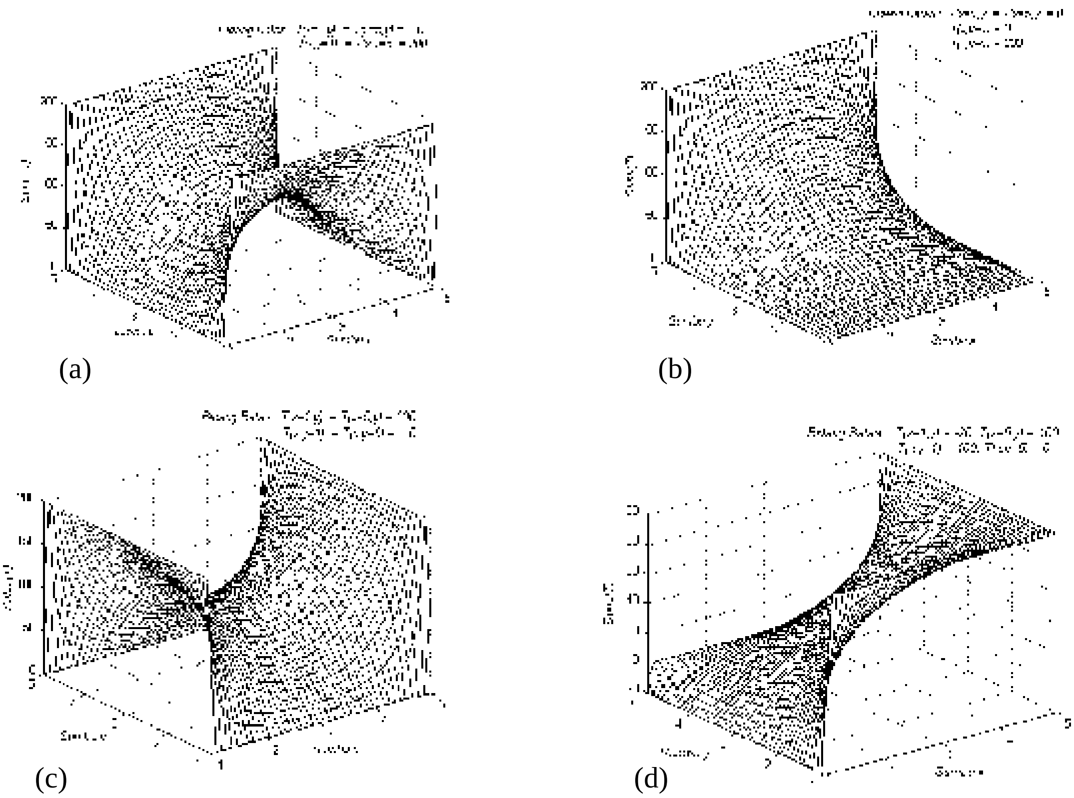
(a). $T(i=1,j) = T(i=n) = 0^o$ C; $T(i,j=1) = T(i,j=5) = 200^o C$

(b). $T(i=1,j) = T(i=n) = 0^o$ C; $T(i,j=1) = 0$, $T(i,j=5) = 200^o C$

(c). $T(i=1,j) = T(i=n) = 200^o$ C, $T(i,j=1) = T(i,j=5) = 0^o C$

(d). $T(i=1,j) = -20^o$ C, $T(i=n) = 100^o$ C; $T(i,j=1) = 100^o$ C , $T(i,j=5) = 0^o$ C

diperoleh grafik hubungan antara suhu dengan posisi seperti Gambar (9).



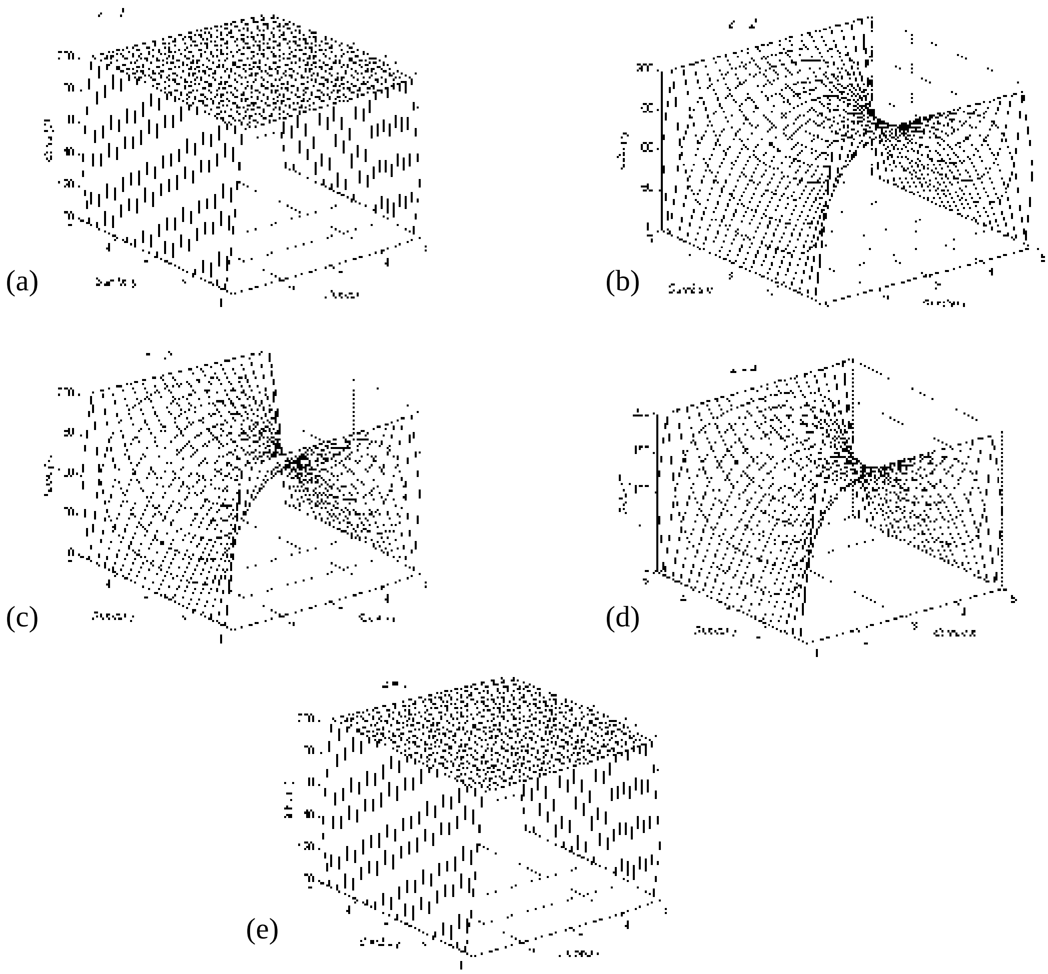
***Gambar 9**. Grafik Hubungan antara suhu dan posisi untuk empat syarat batas berbeda*

Grafik pada Gambar 9 menunjukkan bahwa hubungan antara suhu T dengan posisi (x,y) tidak bersifat linear.

C. Distribusi Suhu Keadaan Mantap Pada Logam Berbentuk Kubus

Komputasi distribusi suhu pada logam berbentuk kubus (dimensi tiga) dapat dilakukan secara serempak pada titik-titik kisinya dengan menggunakan persamaan *(13)* dan enam syarat batas yang dipilih. Nilai suhu pada posisi (x,y) untuk nilai z tertentu dapat ditampilkan dalam bentuk numerik dan grafik tiga dimensi. Gambar 10 menampilkan grafik hubungan antara suhu dengan posisi (x,y) untuk z tertentu (z =1 sampai z = 5) dari sebuah kubus berukuran 4 x 4 x 4 satuan dengan $h = 0,2$ pada berbagai bidang batas.

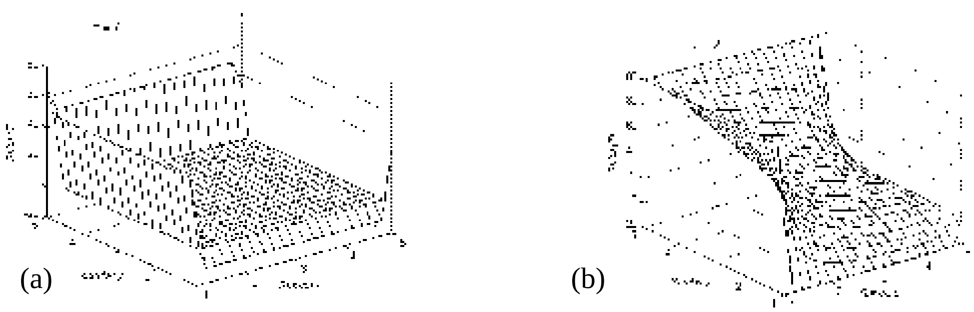
<u>Bidang Batas :</u> *T(x = 1,y,z) = T(x = 5,y,z) = 0; T(x,y = 1,z) = T(x,y = 5,z) = 200; T(x ,y,z =1) = T(x ,y,z = 5) = 200;*

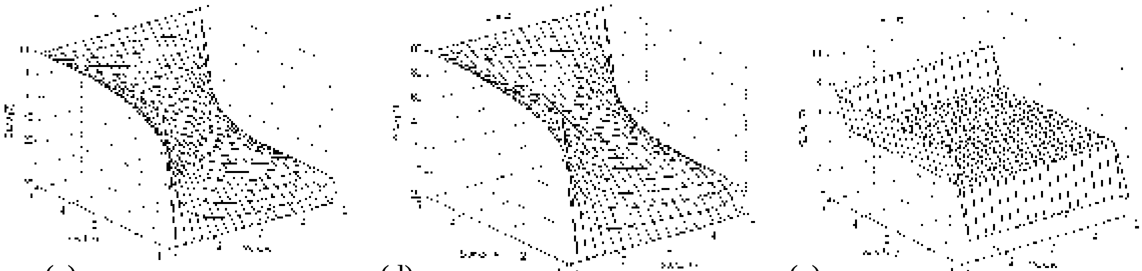


Gambar 10. *Distribusi suhu untuk bidang batas T(x = 1,y,z) = T(x = 5,y,z) = 0; T(x,y = 1,z) = T(x,y = 5,z) = 200; T(x ,y,z =1) = T(x ,y,z = 5) = 200; untuk : (a) z =1, (b) z = 2, (c) z = 3, (d) z = 4 dan (e) z = 5.*

<u>Bidang Batas :</u>

T(x = 1,y,z) = 100 ; T(x = 5,y,z) = 0;
T(x,y = 1,z) = - 20 ; T(x,y = 5,z) = 100;
T(x ,y,z =1) = 0 ; T(x ,y,z = 5) = 50;



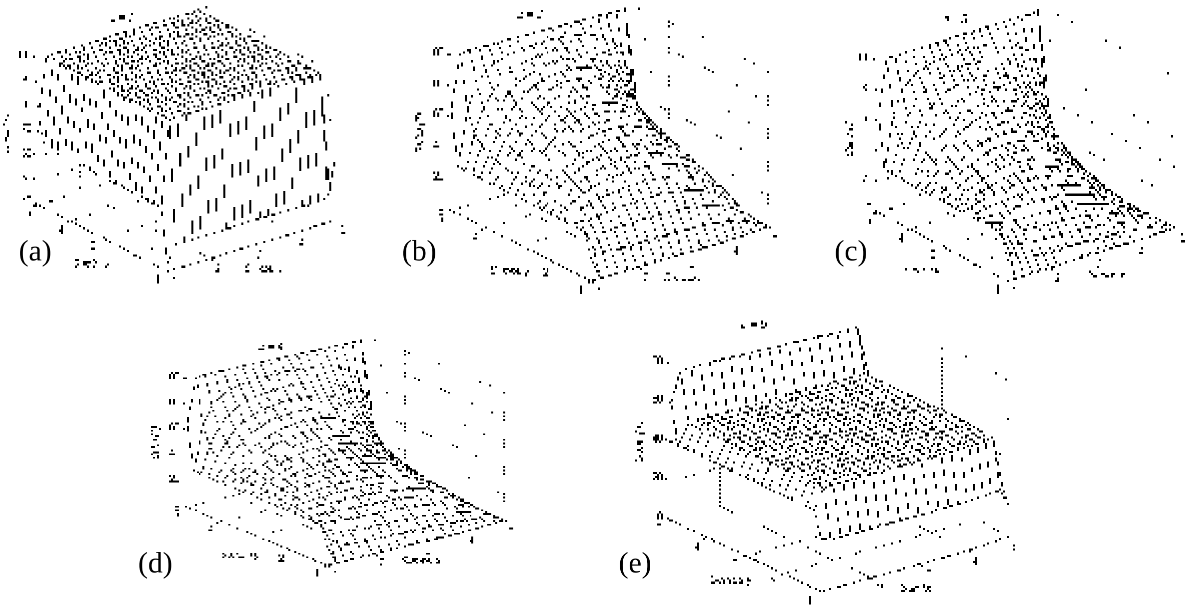


(c) (d) (e)

Gambar 11. *Distribusi suhu untuk syarat batas T(x = 1,y,z) = 100 ; T(x = 5,y,z) = 0; T(x,y = 1,z) = - 20 ; T(x,y = 5,z) = 100;T(x ,y,z =1) = 0 ; T(x ,y,z = 5) = 50; untuk : (a) z =1, (b) z = 2, (c) z = 3, (d) z = 4 dan (e) z = 5.*

Bidang Batas :

T(x = 1,y,z) = 30 ; T(x = 5,y,z) = 0;
T(x,y = 1,z) = 0 ; T(x,y = 5,z) = 100;
T(x ,y,z =1) = 100 ; T(x ,y,z = 5) =50;



(a) (b) (c) (d) (e)

Gambar 12. *Distribusi suhu untuk syarat batas T(x = 1,y,z) = 30 ; T(x = 5,y,z) = 0; T(x,y = 1,z) = 0 ; T(x,y = 5,z) = 100; T(x ,y,z =1) = 100 ; T(x ,y,z = 5) =50; untuk : (a) z =1, (b) z = 2, (c) z = 3, (d) z = 4 dan (e) z = 5.*

Berdasarkan grafik pada Gambar 10, 11 dan 12 tampak bahwa distribusi suhu pada nilai *z* tertentu membentuk pola jala. Untuk *z* = 1 dan *z* = 5 hubungan suhu dengan posisi bersifat linear, sedangkan untuk posisi di luar daerah tersebut tidak linear. Pola grafik diluar daerah *z* = 1 dan *z* = 5 mirip dengan grafik pada plat. Hal ini dapat dipahami karena untuk nilai z tertentu bidangnnya berdimensi dua.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Distribusi suhu pada kawat dari ujung ke ujung dapat naik atau turun secara linear bergantung pada kondisi ujung batas. Grafik hubungan antara suhu T dan posisi (x) berbentuk garis lurus dan memenuhi persamaan linear.
2. Distribusi nilai suhu pada plat logam di berbagai tempat besarnya bervariasi tergantung pada posisi (x,y) dan kondisi batas yang dipilih. Pola hubungan antara suhu dengan posisi tidak bersifat linear. Grafik tiga dimensi mengenai hubungan antara suhu T dengan posisi (x,y) pada plat logam berbentuk permukaan jala dengan pola naik atau turun yang tidak linear.
3. Distribusi nilai suhu pada logam berbentuk kubus bergantung pada posisi (x,y,z) dan enam kondisi batas yang ditentukan. Pola hubungan antara suhu dengan posisi tidak bersifat linear kecuali di daerah batas bawah dan atas dari posisi z. Grafik hubungan antara suhu T dengan posisi (x,y) untuk z tertentu berupa permukaan jala dengan pola linear di z = 1 dan z =5, dan tidak linear di z yang lain.

B. Saran-Saran

1. Perlu dilakukan penelitian serupa dengan metode numerik lain, misalnya dengan metode iterasi Gauss-Seidel.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang komputasi distribusi suhu keadaan mantap dalam koordinat bola dan silinder.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai distribusi suhu yang bergantung pada waktu (non steady state).

DAFTAR PUSTAKA

Chapra, S.C., dan Canale, R.P.1991. *Metode Numerik Untuk Teknik (Terjemahan S.Sardy dan Lamyarni I.S.)*. Penerbit Universitas Indonesia : Jakarta.

Hanselman, D. dan Littlefield, B. 1997. *MATLAB Bahasa Komputasi Teknis*. Penerbit ANDI : Yogyakarta.

Harijono Djojodihardjo. 2000. *Metode Numerik.* PT Gramedia Pustaka Utama : Jakarta.

Hary Gunarto. 1993. *Simulasi dalam Fisika*. Fakutas Pascasarjana UGM : Yogyakarta.

Koonin, S.E. 1986. *Computational Physics*. Addison-Wesley Pubh. Comp, Inc. : California

Mathews, J.H. 1992. *Numerical Methods For Mathematics, Science, and Engineering*. Prentice Hall : Englewood Cliffs.

Palm III, W.J. 2001. *Introduction To MATLAB 6 For Engineers*. McGraw-Hill Int.Ed. : Singapore.

Thomas Wahyu DH dan Y. Wahyu AP. 2004. *Analisis dan Disain Sistem Kontrol dengan MATLAB*. Penerbit ANDI : Yogyakarta.