

satu kali produksi sehingga cara ini lebih ekonomis, praktis, dan efisien jika diperkenalkan pada daerah penghasil ubi kayu.

## SIMPULAN

Ada tiga simpulan penelitian yang dapat disebutkan berikut.

1. Perbedaan prosedur penepungan tidak berpengaruh terhadap kadar pati karena pati mempunyai sifat tidak larut dalam air dingin.
2. Ubi kayu yang diolah menjadi tepung ubi kayu selain menurunkan kadar air akan meningkatkan kadar pati tepung ubi kayu.
3. Prosedur penepungan cara III (pemarutan, pengeringan ampas) menghasilkan tepung dengan warna putih dan tidak beraroma ubi kayu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (1990). *Persyaratan Mutu Tepung Ubi Kayu No. 2464 Tahun 1990*. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- Soebiyanto PT. (1993). *HFS dan Industri Ubi Kayu Lainnya*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Winarno FG. (1993). *Pangan Gizi Teknologi dan Konsumen*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

## KOMPUTASI PENGUKURAN TEMPERATUR PADA BIDANG PERMUKAAN DENGAN METODE BEDA HINGGA

Oleh:  
**Masduki Zakarijah**  
Staf Pengajar FT UNY

### Abstract

*This research goal to heat transfer rate prediction on every node in surface line and the difference of temperature measurement between direct measurement and numerical analysis based on Matlab with finite difference technique. Object of this research is aluminium plate to take shape a plaid square with size 5 x 22 cm to divided in 75 node. The result of this research is heat transfer rate on every node in surface line between direct measurement and numerical analysis based on Matlab not difference of significance.*

*Key words: computation, temperature measurement, finite difference.*

## PENDAHULUAN

Temperatur merupakan salah satu faktor yang ikut menentukan kinerja dari suatu sistem elektronika, mulai dari komponen pasif, aktif maupun gabungan antar keduanya, terlebih pada komponen yang berbasis semikonduktor sebagai substrat. Hal ini terjadi karena pada komponen elektronika yang berbasis semikonduktor mempunyai karakteristik bahan yang sangat peka terhadap temperatur. Penggunaan silikon, germanium, galium arsenide sebagai substrat masing-masing mempunyai beberapa nilai

konstanta yang berkaitan dengan temperatur, antara lain konduktivitas thermal, titik lebur, dan ketergantungan temperatur pada mobilitas pembawa (Reka Rio Sumirato, 1985: 239-240).

Komponen elektronika yang mempunyai kemampuan daya yang relatif besar akan menghasilkan panas yang sebanding dengan daya yang dihasilkan komponen tersebut. Untuk menanggulangi temperatur yang berlebihan sebagai akibat dari bekerjanya suatu sistem elektronik, maka diupayakan suatu media penyalur panas sehingga dimungkinkan temperatur kerja komponen dalam suatu sistem elektronik akan menjadi stabil.

Salah satu media penyalur panas yang sering digunakan dalam perancangan sistem elektronik adalah pendingin yang terbuat dari bahan aluminium (Al). Bahan ini digunakan dengan pertimbangan bahwa aluminium murni mempunyai konduktivitas thermal yang cukup tinggi, yaitu sebesar  $204 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  (Holman, 1988: 581).

Terlepas dari perancangan sistem elektronik yang hendak direalisasikan, maka perhatian terhadap penyaluran/perpindahan panas merupakan salah satu faktor yang ikut menentukan kinerja suatu sistem elektronik secara keseluruhan, oleh karena itu diperlukan cara memprediksi besarnya temperatur yang dapat disalurkan melalui media pendingin.

Tujuan yang hendak dicapai adalah didapatkannya prediksi laju perpindahan panas dengan metoda beda hingga yang diselesaikan secara numerik. Dengan demikian prediksi perpindahan panas merupakan suatu usaha untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara bahan tersebut. Oleh karena penyelesaian secara numerik membutuhkan suatu kecermatan dan ketelitian, maka salah satu usaha untuk mengatasi hal tersebut dikerjakan dengan komputasi.

Perpindahan panas pada dasarnya merupakan perpindahan energi yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur di antara benda atau material. Salah satu dari perpindahan energi tersebut adalah perpindahan panas secara konduksi, yaitu jika suatu benda terdapat gradien temperatur maka akan terjadi perpindahan energi dari temperatur tinggi ke temperatur rendah (Holman J.P., 1995: 1-2).

Salah satu cara untuk menghitung proses perpindahan panas dalam suatu media bidang permukaan adalah dengan bantuan persamaan difrensial parsial yang diselesaikan secara numerik. Titik berat pembahasannya terletak pada persamaan difrensial parsial eliptis dengan menggunakan 2 variabel bebas  $x$  dan  $y$ , yang diilustrasikan sebagai:

$$\frac{\delta^2 U}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 U}{\delta y^2} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

atau:

$$U_{xx} + U_{yy} = 0$$

Untuk menganalisis perpindahan panas pada keadaan *steady state* (tunak) dalam suatu koordinat ruang dua dimensi digunakan persamaan (1), hal ini diasumsikan bahwa dalam analisis laju perpindahan panas hanya ada satu variabel yang diobservasi yaitu perpindahan panas secara konduksi, sedangkan gangguan dari luar konduksi, yaitu konveksi dan radiasi diisolasi. Untuk memecahkan persamaan tersebut digunakan pembagian dengan jarak yang sama dalam sumbu kartesian sebesar *h* yang sejajar dengan sumbu *x* dan sumbu *y*. Oleh karena persamaan (1) merupakan persamaan diferensial orde 2, maka salah satu cara yang digunakan untuk menyelesaikan  $f''(x)$  adalah menggunakan deret yang dikembangkan oleh *Mc.Laurin* diformulasikan dalam bentuk:

$$f(x+h) = f(x) + h f'(x) + \frac{h^2}{2!} f''(x) + \frac{h^3}{3!} f'''(x) + \dots \dots\dots (2)$$

dari persamaan (2) dapat diambil persamaan untuk  $f'(x)$ ,  $f''(x)$ , dan seterusnya yang akan diubah ke dalam persamaan aljabar biasa. Setidaknya ada 3 cara untuk mendapatkan  $f'(x)$  yaitu: *forward difference* (Persamaan 3) *central difference* (Persamaan 4),

dan *backward difference* (Persamaan 5) (Soesianto, F., 1996).

Masing-masing adalah:

$$f'(x) = \frac{f(x+h) - f(x)}{h} \quad \dots\dots\dots (3)$$

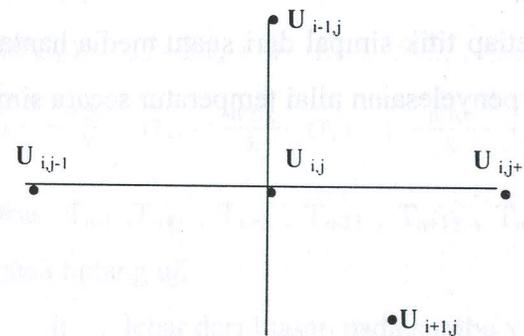
$$f'(x) = \frac{f(x+h) - f(x-h)}{2h} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$f'(x) = \frac{f(x) - f(x-h)}{h} \quad \dots\dots\dots (5)$$

dari perluasan persamaan (2) maka  $f''(x)$  dapat diketahui berdasar pada salah satu  $f'(x)$  yang telah tersedia, yaitu:

$$f''(x) = \frac{f(x+h) + f(x-h) - 2f(x)}{h^2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

dengan melihat  $f'(x)$  dan  $f''(x)$  terlihat bahwa untuk mencari derivatif dari  $f(x)$  dapat didekati dengan persamaan aljabar biasa. Sebagai ilustrasi, untuk menentukan nilai suatu titik tertentu dalam suatu kurva dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Ilustrasi Posisi  $U_{i,j}$  dalam Suatu Bidang

Jika suatu bidang dengan sumbu x dan sumbu y, masing-masing dibagi dengan nilai h, di mana nilai  $h = \Delta x = \Delta y$ , maka akan terjadi potongan-potongan seperti pada Gambar 2, dengan demikian persamaan (1) di atas menjadi :

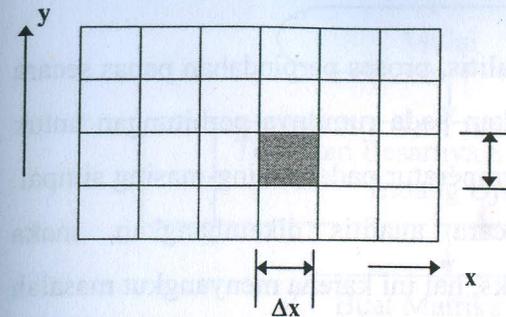
$$\left[ \frac{\delta^2 U}{\delta x^2} \right]_{i,j} + \left[ \frac{\delta^2 U}{\delta y^2} \right]_{i,j} = 0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

dengan  $i = 1, 2, \dots, m$  dan  $j = 1, 2, \dots, n$ , sehingga secara keseluruhan ada  $m \times n$  node (simpal).  $f(x,y)$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan (6) dan persamaan (7) menjadi persamaan (8).

$$U_{i-1,j} + U_{i+1,j} + U_{i,j-1} + U_{i,j+1} + (-4 U_{i,j}) = 0 \quad \dots\dots\dots (8)$$

dalammana  $U_{i-1,j}, U_{i+1,j}, U_{i,j-1}, U_{i,j+1}, U_{i,j}$  adalah posisi titik simpal.

Persamaan (8) menunjukkan bahwa aliran panas pada setiap simpal adalah nol pada keadaan tunak. Persamaan (8) merupakan persamaan untuk setiap titik simpal dari suatu media hantaran dan akan menghasilkan penyelesaian nilai temperatur secara simultan.



Gambar 2. Potongan-potongan h dari Suatu Bidang.

Untuk mendapatkan titik simpal dengan *convective boundary* digunakan persamaan (9), demikian pula untuk titik simpal dengan *insulated boundary* digunakan persamaan (10), serta titik *exterior corner* digunakan persamaan (11) (Pitts D.R., 1983: 59). Pada kasus penelitian ini Persamaan (9), Persamaan (10), dan Persamaan (11) telah disesuaikan dengan kondisi titik simpal pada bidang datar, masing-masing adalah:

$$\frac{1}{2} (T_{n-1} + 2 T_{n+1} + T_{n+3}) + \frac{h \Delta x}{k} (T_{\infty}) - \left\{ \frac{h \Delta x}{k} \right\} T_n = 0 \quad \dots\dots (9)$$

$$\frac{1}{2} (T_{n-15} + T_{n+15}) + T_{n-1} - 2 T_n = 0 \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$T_{n-1} + T_{n+15} + \frac{h \Delta x}{k} (T_{\infty}) - \frac{h \Delta x}{k} (T_{\infty}) - \left\{ \frac{h \Delta x}{k} + 2 \right\} T_n = 0 \quad \dots\dots (11)$$

dalammana  $T_{n-1}, T_{n+1}, T_{n+3}, T_{n-15}, T_{n+15}, T_n, T_{\infty}$  : posisi titik simpal pada bidang uji

$h$  : lebar dari luasan pada sumbu y

$\Delta x$  : panjang dari luasan pada sumbu x

**Kerangka Berpikir**

Penyelesaian secara analitis, proses perpindahan panas secara konduksi seringkali dihadapkan pada rumitnya perhitungan untuk menentukan besarnya nilai temperatur pada masing-masing simpal. Kalaupun penyelesaian secara analitis dikembangkan, maka hasilnya akan sangat kompleks, hal ini karena menyangkut masalah kuantitas simpal pada bidang uji. Akan tetapi permasalahan tersebut dapat didekati dengan teknik beda hingga. Salah satu alternatif dalam penyelesaian persoalan penentuan besarnya temperatur pada tiap-tiap simpal dalam proses perpindahan panas yang relatif tidak rumit adalah secara numerik.

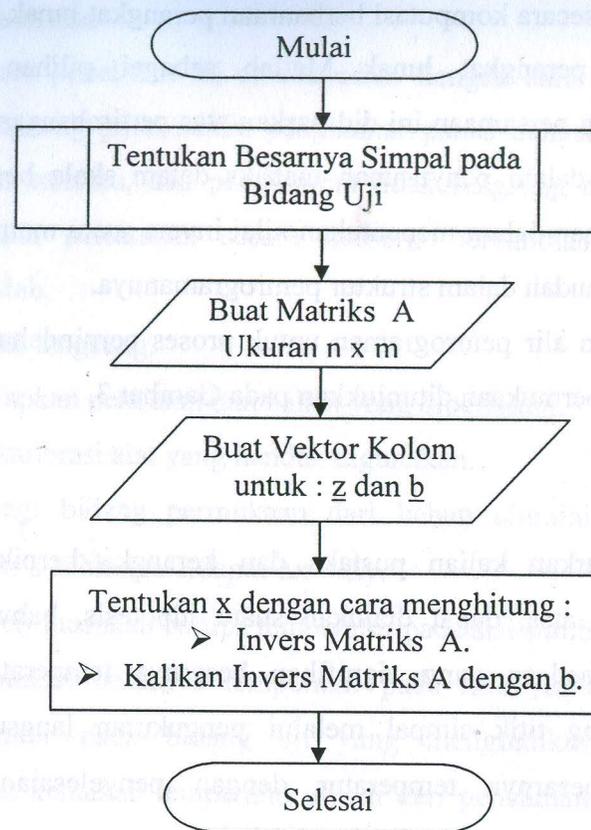
Gambar 2 diperlihatkan pendekatan distribusi temperatur dengan menggunakan simpal berhingga. Kuantitas simpal dalam suatu bidang uji sangat menentukan tingkat kompleksitas persamaan yang diselesaikan. Secara umum persamaan simpal dapat dituliskan:

$$A \cdot \underline{z} = \underline{b} \dots\dots\dots (12)$$

dalam mana  $A$  = matriks ukuran  $n \times m$  (besarnya tergantung simpal yang digunakan dalam bidang uji).

$\underline{z}$  = vektor kolom dari suatu matriks.

$\underline{b}$  = vektor kolom dari suatu matriks.



Gambar 3. Diagram Alir Pencarian Nilai Temperatur pada Titik Simpall (z)

Permasalahan mendasar dalam penyelesaian penentuan besarnya temperatur dalam tiap-tiap simpal pada perpindahan panas sesungguhnya terletak pada: penyiapan matriks  $A$ , mencari invers dari matriks  $A$ , dan mengalikan invers  $A$  dengan  $\underline{b}$ . Oleh karena itu untuk memudahkan persoalan di atas dilakukan dengan

penyelesaian secara komputasi berbantuan perangkat lunak Matlab. Penggunaan perangkat lunak Matlab sebagai pilihan dalam menyelesaikan persamaan ini didasarkan atas pertimbangan: relatif lebih mudah dalam penyusunan matriks dalam skala besar, ada beberapa pilihan dalam menentukan nilai invers suatu matriks, dan relatif lebih mudah dalam struktur pemrogramannya.

Diagram alir pemrograman untuk proses perpindahan panas pada bidang permukaan ditunjukkan pada Gambar 3.

### Hipotesis

Berdasarkan kajian pustaka dan kerangka berpikir yang dituliskan di atas, dapat diajukan suatu hipotesis, bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan besarnya temperatur pada masing-masing titik simpal melalui pengukuran langsung dan penentuan besarnya temperatur dengan penyelesaian secara numerik berbantuan perangkat lunak Matlab.

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan yaitu: komputer P-233 32MHz, perangkat lunak Matlab, multimeter SANWA YX 360 TR, pengukur temperatur, lempengan logam aluminium berukuran 5x 22 cm sebagai media penghantar panas.

### Jalan Penelitian

Proses penelitian ini dilaksanakan dengan cara pengukuran secara langsung pada media penghantar panas dengan perlakuan temperatur tertentu, dan pengukuran tidak langsung dengan cara penyelesaian persamaan secara numeris berbantuan perangkat lunak Matlab.

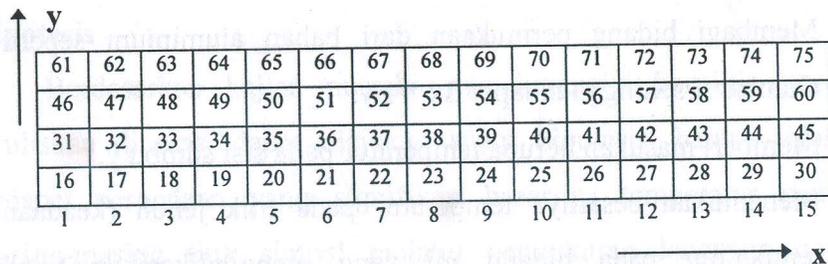
Pengukuran langsung.

- 1) Menyiapkan peralatan dan bahan yang diperlukan.
- 2) Mengkalibrasi alat yang hendak digunakan.
- 3) Membagi bidang permukaan dari bahan aluminium seperti Gambar 4 sehingga didapat  $\Delta x = \Delta y$ .
- 4) Memberi masukan berupa temperatur pada sisi sumbu y.
- 5) Menentukan besarnya temperatur pada titik jenuh (keadaan temperatur pada bidang uji yang mengindikasikan tidak terdapat kenaikan temperatur akibat dari pencatutan bidang uji dengan sumber temperatur).
- 6) Mengukur besarnya temperatur pada titik simpal.

Pengukuran berbantuan perangkat lunak Matlab.

- 1) Menyiapkan komputer PC.
- 2) Membuat kotak seperti pada Gambar 4 sehingga didapat  $\Delta x = \Delta y$ .

- 3) Menganalisis masing-masing titik simpal menggunakan persamaan (8).
- 4) Menyiapkan matrik dengan ukuran 75 x 75.
- 5) Implementasi diagram alir dalam Gambar 3 menjadi program dengan mematuhi ketentuan-ketentuan yang berlaku pada perangkat lunak Matlab.
- 6) Menampilkan besarnya temperatur pada masing-masing pengukuran pada titik simpal dari hasil komputasi.



Gambar 4. Pembagian Titik Simpall pada Bidang Datar

### Keterbatasan

Keterbatasan dalam penelitian ini, terutama pada aspek pengukuran langsung pada benda uji, hal ini karena temperatur sekitar pengukuran berfluktuasi  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 24^{\circ}\text{C} - \pm 27^{\circ}\text{C}$ ) pada rentang temperatur antara pagi dan siang hari. Dengan demikian pengukuran secara langsung pada masing-masing titik simpal mengalami variasi hasil pengukuran.

Cara mengatasi fluktuasi temperatur tersebut, terlebih dahulu dilakukan penjajakan pengukuran temperatur pada bidang datar dalam kurun waktu tertentu. Hal ini dilakukan untuk mencari titik konstan temperatur sumber pada rentan waktu tersebut.

Besarnya titik simpal dalam penelitian ini berjumlah 75 titik yang berarti bahwa matriks A yang terbentuk berukuran 75 x 75. Sumber panas disimulasikan pada sisi yang paling dekat titik simpal 1, 16, 31, 46, dan 61. Secara analitik titik simpal 1 - 15 sama dengan titik simpal 61 - 75, dan titik simpal 16 - 30 sama dengan titik simpal 46 - 60 sehingga besar matriks yang terbentuk menjadi 45 x 45. Akibat lain dari penyederhanaan Matriks A adalah beban komputasi menjadi semakin berkurang tanpa merubah tujuan dan substansi dalam analisis secara numerik berbantuan perangkat lunak Matlab.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

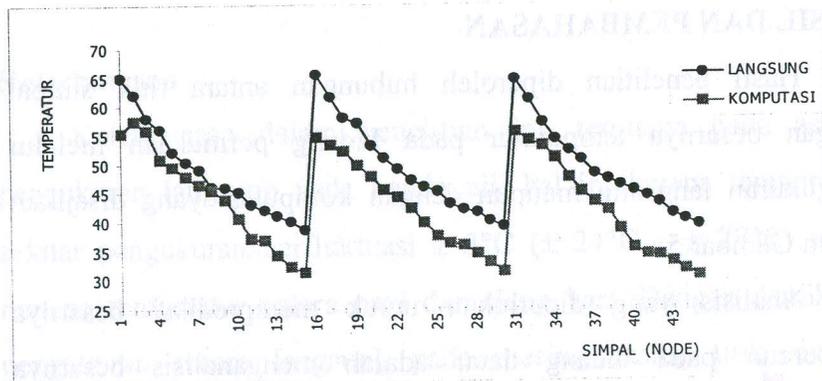
Hasil penelitian diperoleh hubungan antara titik simpal dengan besarnya temperatur pada bidang permukaan melalui pengukuran langsung maupun dengan komputasi yang disajikan dalam Gambar 5.

Analisis yang diperlukan untuk memprediksi besarnya temperatur pada bidang datar adalah menganalisis besarnya temperatur pada tiap-tiap titik dengan menggunakan persamaan

difrensial parsial eliptik secara numerik. Formula yang digunakan adalah Persamaan (8), Persamaan (9), Persamaan (10), dan Persamaan (11).

Setelah didapatkan matriks A ukuran 45 x 45 selanjutnya dicari besarnya nilai temperatur pada masing-masing simpal dengan persamaan (12). Hasil yang diperoleh ditunjukkan seperti pada Gambar 5.

Grafik dalam Gambar 5 diperlihatkan hubungan antara pengukuran langsung dengan komputasi, besarnya temperatur antar keduanya mempunyai nilai dengan kecenderungan saling mengikuti pada masing-masing titik simpal, dengan demikian setiap perubahan pengukuran pada masing-masing titik simpal akan diikuti dengan perubahan nilai temperatur pada pengukuran langsung dan komputasi.



Gambar 5. Hasil Pengukuran Langsung dan Komputasi

Interpretasi dari grafik pada gambar 5 menunjukkan bahwa antara pengukuran temperatur secara langsung pada proses perpindahan panas pada bidang permukaan dengan analisis secara numerik berbantuan perangkat lunak Matlab secara signifikan tidak terdapat perbedaan. Hal ini menunjukkan bahwa prediksi temperatur pada bidang permukaan dapat dilakukan dengan analisis secara numerik yang berdasarkan pada kondisi temperatur awal.

Untuk keperluan yang lebih luas, analisis secara numerik berbantuan perangkat lunak Matlab dapat digunakan memprediksi temperatur suatu titik simpal pada bidang permukaan dengan berbagai ragam variasi titik simpal, dengan catatan bahwa pengaruh radiasi dan konveksi dari proses perpindahan panas diisolasi, sehingga laju perpindahan panas benar-benar sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi pada bahan.

### Diskusi

Laju perpindahan panas pada bidang permukaan merupakan aplikasi dari konsep perpindahan panas pada suatu bahan. Oleh karena itu di dalam kenyataannya laju perpindahan panas sangat dipengaruhi bahan yang digunakan, hal ini terkait dengan beberapa parameter yang berhubungan dengan kelajuan. Parameter-parameter tersebut antara lain: koefisien perpindahan panas,

konduktivitas panas, dan luasan daerah pada penentuan titik-titik simpal.

Terdapat 3 hal pokok dalam proses perpindahan panas, yaitu dengan: konduksi, konveksi, dan radiasi. Dalam penelitian ini pengambilan data dilakukan dengan pengukuran secara langsung dengan mengasumsikan bahwa faktor konveksi dan radiasi dari benda uji ditiadakan. Analisis secara numerik dalam penelitian ini telah meniadakan aspek-aspek yang berkaitan dengan konveksi dan radiasi.

Dalam skala yang lebih luas laju perpindahan panas dapat diprediksikan terlebih dahulu besarnya temperatur pada masing-masing simpal sebelum dilakukan pengukuran.

### Implikasi

Jika dalam penelitian ini dapat dikerjakan prediksi laju perpindahan panas pada bidang permukaan, maka untuk skala yang lebih luas konsep tentang komputasi perpindahan panas pada berbagai ragam bahan dapat dikerjakan, sepanjang kaidah-kaidah komputasi dipenuhi.

Ada beberapa hal yang perlu mendapat perhatian sehubungan dengan komputasi pada laju perpindahan panas, antara lain: kemampuan prosessor dan kapasitas memori dalam perangkat keras, kapasitas optimum yang diperbolehkan oleh Matlab untuk

mengeksekusi besar matrik yang diproses, dan besarnya *floating operation (flops)*.

### SIMPULAN

Simpulan dari penelitian ini adalah pada proses perpindahan panas, laju temperatur pada masing-masing titik simpal dalam bidang permukaan dapat diprediksi dengan analisis secara numeris berbantuan perangkat lunak Matlab.

Visualisasi laju perpindahan panas dalam bidang permukaan dapat dilihat pada besarnya temperatur yang dihasilkan pada masing-masing titik simpal, dimulai dari titik simpal 1 sampai dengan 15, titik simpal 16 sampai dengan 30, dan seterusnya sampai dengan titik simpal 45.

Dianjurkan untuk menghitung proses perpindahan panas tidak hanya dalam bidang dua dimensi saja, akan tetapi dalam bidang berdimensi tiga dengan koordinat yang lazim dipakai.

Penyelesaian persamaan difrensial parsial eliptik yang berujung pada persamaan (12) jika didapatkan banyak nilai 0 (nol) di dalam penyusunan matriks, dimungkinkan komputasinya dengan teknik Matriks jarang.

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. (1997). *The Student Edition of MATLAB*. Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Etter. (1993). *Engineering Problem Solving With Matlab*. Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Holman J.P. (1994). *Perpindahan Kalor*. Erlangga, Jakarta.
- Kreyszig Erwin. (1988). *Advance Engineering Mathematics*. John Wiley & Son, Singapore.
- Pitts Donald R., Sissom Leighton E. (1983). *Theory and Problem of Heat Transfer*. Schaum's Outline Series, Singapore.
- Reka Rio S., Iida Mashamori. (1983). *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Erlangga, Jakarta.
- Soesianto F. (1996). *Teknik Komputasi*. Yogyakarta: Tidak diterbitkan.

## VISUALISASI ALIRAN UDARA DI SEKITAR SAYAP PESAWAT TERBANG

Oleh:  
**Yosaphat Sumardi**  
Staf Pengajar FMIPA UNY

### Abstract

*This research is performed with objectives: (1) to show the patterns of velocity field contour of airflow around the wings of subsonic plane, (2) to show factors that influence these patterns, and (3) to explain their application in flight engineering. The patterns of velocity field contour of airflow are visualized by using numerical method in Femlab software. Varying the velocity of airflow, the angle of attack, and the cross section form of wings shows the visualization of these patterns. The results of research show that the patterns of velocity field contour of airflow around the wings of subsonic plane may be circulation form. Factors that influence these patterns of contour are the velocity of airflow, the attack angle of wings, and the cross section form of wings. These three factors determine lift coefficient and drag coefficient. In commercial flight it is used airfoil wings that are equipped by rear flaps on the trail edge of wings. These rear flaps can be lowered or raised to adjust the cross section of airfoil. The slot setting in the leading edge of wings can reduce the drag coefficient. Accordingly, fuel efficiency and flight safety can be controlled.*

*Key words: visualization, airflow, wings of plane.*

### PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan yang pesat pada perangkat keras/lunak komputer, berkembang pula pendekatan baru dalam bidang fisika komputasi. Dalam fisika telah dikenal fisika teori dan fisika eksperimen. Fisika teori berhubungan dengan pengembangan dan penerapan teori yang seringkali menekankan perhitungan