

## ***Kaji Distribusi Temperatur Pada Peralatan Pengasapan Pisang Sale Dengan Metode Matematis Gauss Jordan***

**Ratna Sary<sup>1</sup>, Uly Muzakir<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala

<sup>2</sup>Program Studi Pendidikan Matematika, STKIP Bina Bangsa Getsempena,  
Email : <sup>1</sup>ratnasary@gmail.com, <sup>2</sup>ully@stkipgetsempena.ac.id

### **Abstract**

The processing of “pisang sale” that exist in today's society is traditionally done by putting a banana in the embers of charcoal. Fumigation with burning in the open space takes a long time to cure the bananas which ranged from 20-24 hours with inversion every  $\pm 4$  hours. Drying equipment system consisting of a combustion chamber, heating ducts, drying cabinets and chimneys is necessary for the utilization of the heat of combustion energy can be used optimally. an equipment system that has more than one dimension is very difficult to do the heat transfer. Therefore, a numerical method of choice to resolve this case, which concerns the system with the properties of complex physical and unevenness boundary conditions. This method usually requires a lot of time, especially if it manually, but with the development of technology computerized numerically settlement is very easy and fast with computer software. The results of mathematical calculations using Gauss Jordan models, then the calculated temperature value obtained for  $T_2 - T_9$  are respectively 95.635; 86.991; 81.338; 77.024; 73.733; 71.186; 68.819; 67,273°C. Calculation of more, complicated or complex, numerical solutions by computational methods into a very appropriate choice. So that the results can be obtained in a short time.

**Keywords :** temperature, gauss jordan, numerical, pisang sale, heating

### **1. PENDAHULUAN**

Pisang Sale merupakan jenis makanan yang dibuat dari buah pisang yang diawetkan dengan cara pengasapan. Pisang sale ini memiliki rasa dan aroma yang khas. Daya tahan (keawetan) jenis makanan ini cukup tinggi bahkan bisa bertahan sampai berbulan-bulan, tergantung pada cara pembuatan dan pembungkusannya. Proses pengolahan pisang sale yang ada di masyarakat saat ini dilakukan secara tradisional dengan meletakkan pisang di atas bara kayu. Pengasapan dengan pembakaran ditempat terbuka membutuhkan waktu yang lama untuk mengasapkan pisang yaitu berkisar 20 – 24 jam dengan pembalikan setiap  $\pm 4$  jam sekali.

Agar pemanfaatan energi panas hasil pembakaran digunakan secara maksimal diperlukan suatu sistem peralatan pengeringan yang terdiri dari ruang bakar, saluran pemanas, lemari pengeringan cerobong asap.

### **2. KAJIAN PUSTAKA**

Persoalan yang melibatkan model matematika banyak muncul dalam berbagai disiplin ilmu pengetahuan, seperti dalam bidang fisika, kimia, ekonomi, atau pada persoalan rekayasa (engineering), seperti Teknik Sipil, Teknik Mesin, Elektro, dan sebagainya. Seringkali model matematika tersebut muncul dalam bentuk yang tidak ideal alias rumit. Model matematika yang rumit ini adakalanya tidak dapat diselesaikan dengan metode analitik yang sudah umum untuk mendapatkan solusi sejatinya (exact solution).

Yang dimaksud dengan metode analitik adalah metode penyelesaian model matematika dengan rumus-rumus aljabar yang sudah baku (lazim).

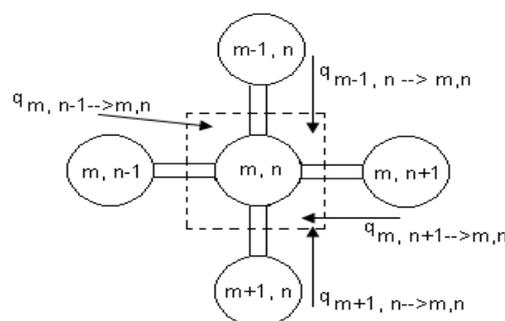
Perbedaan utama antara metode numerik dengan metode analitik terletak pada dua hal. Pertama, solusi dengan menggunakan metode numerik selalu berbentuk angka. Bandingkan dengan metode analitik yang biasanya menghasilkan solusi dalam bentuk fungsi matematik yang selanjutnya fungsi matematik tersebut dapat dievaluasi untuk menghasilkan nilai dalam bentuk angka. Kedua, dengan metode numerik, kita hanya memperoleh solusi yang menghampiri atau mendekati solusi sejati sehingga solusi numerik dinamakan juga solusi hampiran (approxomation) atau solusi pendekatan, namun solusi hampiran dapat dibuat seteliti yang kita inginkan. Solusi hampiran jelas tidak tepat sama dengan solusi sejati, sehingga ada selisih antara keduanya. Selisih inilah yang disebut dengan galat (error).

### ***Pendekatan Metode Numerik dengan Finite Difference***

Sebelum menguraikan persamaan differensial dalam bentuk diskrit, terlebih dahulu menentukan pembagian daerah variabel menjadi sejumlah titik-titik diskrit. Perhitungan tingkat pendekatan, mengharuskan kita untuk memilih besaran dari jarak antara titik-titik diskrit secara kasar menjamin ketelitian yang dikendaki. Sebenarnya pada setiap problem fisik mempunyai ciri tersendiri, dan jika bentuk solusi belum diketahui maka digunakan besaran variabel diskrit yang sekecil mungkin.

Persamaan diselesaikan dengan menggunakan parameter jarak grid yang besar, dan kemudian parameter jarak grid diganti dengan yang lebih kecil, kemudian hasil perhitungan tadi dibandingkan. Jika perbedaan hasil masih terlalu besar, maka parameter grid perlu diperkecil lagi. Demikian seterusnya sehingga ketelitian yang dikehendaki dapat diperoleh. Setelah pemilihan besaran, kita menentukan cara-cara mendapatkan pola finite difference. Sistem dua dimensi pada gambar dibawah ini dilakukan dengan membagi sistem manjadi bujur sangkar-bujur sangkar sedemikian sehingga bagian-bagian mempunyai ukuran  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  dan pilih titik-titik simpul (nodal) dengan indeks dua angka (m, n). Indek m menunjukkan titik simpul dalam arah sumbu y dan indek n dalam arah sumbu x. Jika  $\Delta x = \Delta y$  maka:

$$T_{m+1, n} + T_{m-1, n} + T_{m, n+1} + T_{m, n-1} - 4T_{m, n} = 0$$



Gambar 1 Pola Finite-difference dua dimensi

### ***Eliminasi Gauss Jordan***

Berbagai metode dapat dilakukan untuk mencari penyelesaian sistem persamaan linier, diantaranya dengan menggunakan metode eliminasi Gauss Jordan. metode ini hampir sama dengan metode eliminasi Gauss. hanya berbeda pada langkah-langkahnya saja. Pada Eliminasi Gauss atau Gauss Jordan, sistem persamaan harus diubah terlebih dahulu kedalam bentuk matriks.

Lalu bagaimana membuat program komputer untuk mencari solusi persamaan sistem linier?Code yang begitu banyak dari program tersebut sebenarnya hanyalah pelengkap saja.

Untuk validasi input persamaan, menghitung jumlah persamaan, keperluan user interface dan yang paling banyak adalah untuk mengkonversikan dari bentuk teks ke dalam bentuk matriks. setelah bentuk matriks jadi, hanya perlu beberapa baris code untuk memprosesnya dengan eliminasi gauss jordan menjadi matriks yang sudah dapat dibaca variabel-variabelnya.

### **3. METODOLOGI PENELITIAN**

Perpindahan panas pada suatu sistem peralatan terutama yang berdimensi lebih dari satu rumit untuk dilakukan. Oleh karena itu, metode numerik menjadi pilihan untuk menyelesaikan kasus ini, yang menyangkut sistem dengan sifat-sifat fisik yang kompleks dan syarat batas yang tidak seragam. Pemakaian metode ini biasanya memerlukan banyak waktu terutama apabila dilakukan secara manual, tetapi dengan semakin berkembangnya teknologi komputerisasi maka penyelesaian secara numerik sudah sangat mudah dan cepat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak (*software*) komputer.

Perpindahan panas yang terjadi diperalatan pengasapan pisang terdiri dari tiga modus perpindahan panas yaitu radiasi diruang bakar, konduksi dipelat seng dinding saluran dan konveksi akibat aliran massa gas panas didinding saluran. Mayoritas perpindahan panas yang terjadi diperalatan pengasapan pisang ini adalah konveksi alamiah sehingga analisa perpindahan panas yang dihitung adalah konveksi dan laju aliran massa gas asap dari pembakaran kayu.

Analisa koefisien konveksi pada dinding pelat miring dan pelat vertikal pada pengarah awal dan saluran seperti yang diperlihatkan pada gambar diatas dihitung pada temperatur film berdasarkan temperatur pengukuran. Jenis saluran yang terdapat pada peralatan ini adalah jenis saluran sempit dimana temperatur fluida dengan dinding pelat disaluran sama sesuai dengan hasil pengukuran.

Sebagai input temperatur awal untuk proses simulasi digunakan data temperatur hasil pengukuran pada peralatan pengasapan pisang, yang dimulai pada pengarah awal aliran, permukaan saluran dan sepanjang saluran. Data input simulasi proses aliran udara pemanas pada proses pengasapan melalui pengarah awal aliran dan saluran udara pemanas meliputi :

- Temperatur masuk ke pengarah awal
- Temperatur inlet saluran
- Temperatur outlet saluran
- Temperatur dan koefisien konveksi dinding saluran
- Temperatur lemari pengasapan

Pendefinisian kondisi operasi:

Aliran udara bebas dianggap beroperasi pada :

- Keadaan stedy
- Tekanan fluida : 101350 Pascal
- Percepatan gravitasi : 9,81 m/s

Pendefinisian kondisi batas :

a. Kondisi batas pada daerah saluran tepi :

Udara :

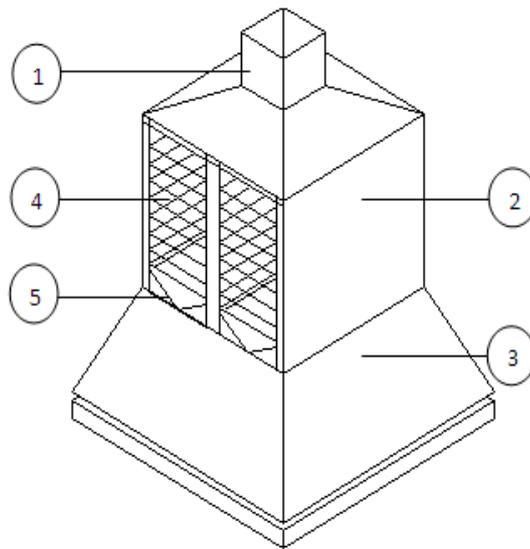
- Temperatur inlet : 110 °C
- Konduktivitas Thermal : 0.032 W/m.K
- Densitas : 0.946 Kg/m<sup>3</sup>
- Panas spesifik : 1.011 Kj/Kg.
- Temperatur outlet : 67 °C

b. Kondisi batas pada daerah lemari pengasapan :

- Temperatur Rak 1 = 90 °C
- Temperatur Rak 2 = 84 °C
- Temperatur Rak 3 = 80 °C
- Temperatur Rak 4 = 76 °C
- Temperatur Rak 5 = 73 °C
- Temperatur Rak 6 = 71 °C
- Temperatur Rak 7 = 66 °C
- Temperatur Rak 8 = 61 °C

### **Peralatan Pengasapan**

Peralatan pengasapan pisang ini terdiri dari 5 bagian utama, seperti diperlihatkan pada gambar 1.



Keterangan gambar:

1. Cerobong
2. Lemari Pengasapan
3. Ruang Pembakarang
4. Rak-rak
5. Pengarah aliran udara panas

Gambar 2. Peralatan pengasapan

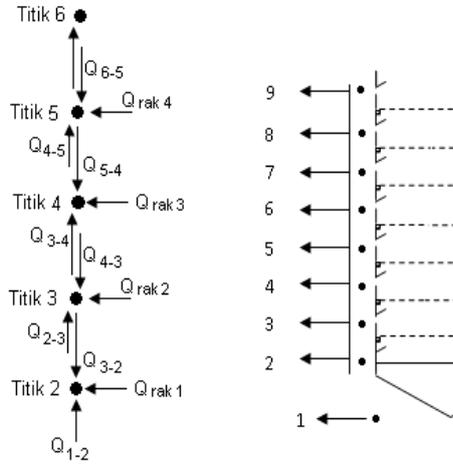
Lemari pengasapan adalah tempat untuk meletakkan pisang yang akan diasapkan. Lemari pengasapan ini berukuran 100 x 100 x 100 cm. Saluran aliran gas asap yang terdapat pada bagian tengah dan tepi lemari. Pada dinding saluran terdapat lubang dan pengarah aliran masuknya gas asap ke dalam lemari pengasapan untuk mengasapi pisang.

Cerobong memiliki dimensi 100 x 100 cm. Pada bagian atasnya terdapat lubang yang berukuran 30 x 30 cm yang berfungsi sebagai lubang keluaran aliran fluida panas dan uap hasil pengeringan, sekaligus agar aliran udara didalam lemari dapat mengalir dengan baik.

### **Penentuan Persamaan-Persamaan Nodal pada Saluran tepi**

Langkah pertama adalah membagi-bagi sistem dan menggantikan bahan diantara titik-titik simpul dengan batang khayali, yang mempunyai konduktivitas termal yang sama

dengan bahan tersebut. Ada 9 titik pada saluran tepi lemari pengasapan yang berjarak sama yaitu sebesar  $L=0,1$  m.



Maka persamaan keseimbangan panas untuk masing-masing simpul menurut keadaan kondisi batasnya dapat ditulis seperti berikut:

$$\begin{aligned} \text{Titik 2} \rightarrow Q_2^1 &= Q_{1-2} + Q_{3-2} + Q_{\text{rak } 1-2} = 0 \\ &= h \cdot A \cdot (T_1 - T_2) + h \cdot A \cdot (T_3 - T_2) + h \cdot A \cdot (T_{\text{rak } 1} - T_2) = 0 \\ &= T_1 - 3T_2 + T_3 + T_{\text{rak } 1} = 0 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama diperoleh untuk titik lain :

$$\begin{aligned} \text{Titik 3} \rightarrow Q_3^1 &= T_2 - 3T_3 + T_4 + T_{\text{rak } 2} = 0 \\ \text{Titik 4} \rightarrow Q_4^1 &= T_3 - 3T_4 + T_5 + T_{\text{rak } 3} = 0 \\ \text{Titik 5} \rightarrow Q_5^1 &= T_4 - 3T_5 + T_6 + T_{\text{rak } 4} = 0 \\ \text{Titik 6} \rightarrow Q_6^1 &= T_5 - 3T_6 + T_7 + T_{\text{rak } 5} = 0 \\ \text{Titik 7} \rightarrow Q_7^1 &= T_6 - 3T_7 + T_8 + T_{\text{rak } 6} = 0 \\ \text{Titik 8} \rightarrow Q_8^1 &= T_7 - 3T_8 + T_9 + T_{\text{rak } 7} = 0 \\ \text{Titik 9} \rightarrow Q_9^1 &= T_8 - 3T_9 + T_{\text{out}} + T_{\text{rak } 8} = 0 \end{aligned}$$

Titik-titik diatas dapat dibuat persamaan numeric dalam bentuk eliminasi adalah:

$$\begin{aligned} Q_2^1 = f_1 &= T_1 - 3T_2 + T_3 + T_{\text{rak } 1} = 0 \dots\dots\dots (1) \\ Q_3^1 = f_2 &= T_2 - 3T_3 + T_4 + T_{\text{rak } 2} = 0 \dots\dots\dots (2) \\ Q_4^1 = f_3 &= T_3 - 3T_4 + T_5 + T_{\text{rak } 3} = 0 \dots\dots\dots (3) \\ Q_5^1 = f_4 &= T_4 - 3T_5 + T_6 + T_{\text{rak } 4} = 0 \dots\dots\dots (4) \\ Q_6^1 = f_5 &= T_5 - 3T_6 + T_7 + T_{\text{rak } 5} = 0 \dots\dots\dots (5) \\ Q_7^1 = f_6 &= T_6 - 3T_7 + T_8 + T_{\text{rak } 6} = 0 \dots\dots\dots (6) \\ Q_8^1 = f_7 &= T_7 - 3T_8 + T_9 + T_{\text{rak } 7} = 0 \dots\dots\dots (7) \\ Q_9^1 = f_8 &= T_8 - 3T_9 + T_{\text{outlet}} + T_{\text{rak } 8} = 0 \dots\dots (8) \end{aligned}$$

Dimana  $T_1 = T_{\text{inlet tepi}} = 110^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{outlet}} = 67$  dan Temperatur masing-masing rak adalah:  $90^\circ\text{C}$ ,  $84^\circ\text{C}$ ,  $80^\circ\text{C}$ ,  $76^\circ\text{C}$ ,  $73^\circ\text{C}$ ,  $71^\circ\text{C}$ ,  $68^\circ\text{C}$ ,  $66^\circ\text{C}$ .

Dengan memasukkan parameter-parameter yang diketahui maka persamaan (1) s/d (8) dapat disederhanakan menjadi persamaan-persamaan baru yaitu:

$$\begin{aligned} -3T_2 + T_3 &= -200 \dots\dots\dots (9) \\ T_2 - 3T_3 + T_4 &= -84 \dots\dots\dots (10) \\ T_3 - 3T_4 + T_5 &= -80 \dots\dots\dots (11) \\ T_4 - 3T_5 + T_6 &= -76 \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_5 - 3T_6 + T_7 &= -73 && \dots\dots\dots (13) \\ T_6 - 3T_7 + T_8 &= -71 && \dots\dots\dots(14) \\ T_7 - 3T_8 + T_9 &= -68 && \dots\dots\dots (15) \\ T_8 - 3T_9 &= -133 && \dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

**4. HASIL PEMBAHASAN**

Persamaan (9) s/d (16) dengan menggunakan Metode Eliminasi Gauss Jordan, dinyatakan koefisien-koefisien dan ruas sebelah kanan sebagai sebuah matriks yang diperluas:

$$\left( \begin{array}{cccccccc|c} -3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -200 \\ 1 & -3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -84 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -80 \\ 0 & 0 & 1 & -3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -76 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -3 & 1 & 0 & 0 & -73 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -3 & 1 & 0 & -71 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -3 & 1 & -68 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -3 & -133 \end{array} \right)$$

Lalu normalisasikan baris pertama dengan membaginya dengan elemen pivot, -3, menjadi:

$$\left( \begin{array}{cccccccc|c} 1 & -0,333 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 66,667 \\ 1 & -3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -84 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -80 \\ 0 & 0 & 1 & -3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -76 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -3 & 1 & 0 & 0 & -73 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -3 & 1 & 0 & -71 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -3 & 1 & -68 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -3 & -133 \end{array} \right)$$

Suku  $T_2$  dapat dieliminasi dari baris kedua dengan mengurangkan 1 kali baris pertama dari baris kedua (brs2-1 x brs1). Dengancaraserupa, akanakan mengeliminasi suku  $T_2$  dan  $T_3$  dari baris ketigadanseterusnya. Makadiperolehmatriksakhir:

$$\left( \begin{array}{cccccccc|c} 1 & -0,333 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 66,667 \\ 0 & -2,667 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -150,667 \\ 0 & 0 & -7,001 & 2,667 & 0 & 0 & 0 & 0 & -364,027 \\ 0 & 0 & 0 & -18,336 & 7,001 & 0 & 0 & 0 & -896,103 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -48,01 & 18,336 & 0 & 0 & -2234,631 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -125,69 & 48,01 & 0 & -5643,341 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -329,06 & 125,69 & -14190,261 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -861,49 & -57955,241 \end{array} \right)$$

Dari matrik diatas kita peroleh:

- $-861,49T_9 = -57955,241$   $\rightarrow T_9 = 67,273$
- $-329,06T_8 + 125,69T_9 = -14190,261$   
 Substitusikan nilai  $T_9$  kedalam persamaan diatas  $\rightarrow T_8 = 68,819$
- $-125,69T_7 + 48,01T_8 = -5643,341$   $\rightarrow T_7 = 71,186$

- $-48,01T_6 + 18,336T_7 = -2234,631$   $\rightarrow T_6 = 73,733$
- $-18,336T_5 + 7,001T_6 = -896,103$   $\rightarrow T_5 = 77,024$
- $-7,001T_4 + 2,667T_5 = -364,027$   $\rightarrow T_4 = 81,338$
- $-2,667T_3 + T_4 = -150,667$   $\rightarrow T_3 = 86,991$
- $T_2 - 0,333T_3 = 66,667$   $\rightarrow T_2 = 95,635$

Dari Matlabkitaperoleh (verifikasihasil):

```

Command Window
      1      -3      1      0      0      0      0      0
      0      1      -3      1      0      0      0      0
      0      0      1      -3      1      0      0      0
      0      0      0      1      -3      1      0      0
      0      0      0      0      1      -3      1      0
      0      0      0      0      0      1      -3      1
      0      0      0      0      0      0      1      -3
>> C=[-200; -84; -80; -76; -73; -71; -68; -133]
C =
-200
-84
-80
-76
-73
-71
-68
-133
>> B=inv(A)*C
B =
95.6680
87.0039
81.3437
77.0271
73.7376
71.1858
68.8197
67.2732

```

### 5. KESIMPULAN

Dari perhitungan matematis dengan menggunakan model matematika Gauss Jordan, maka nilai temperatur yang dihitung diperoleh untuk  $T_2$  s/d  $T_9$  berturut-turut adalah 95,635; 86,991; 81,338; 77,024; 73,733; 71,186; 68,819; 67,273°C.

Untuk perhitungan yang lebih banyak, rumit atau kompleks, memang solusi numeric dengan metode komputasi menjadi pilihan yang sangat tepat. Sehingga hasil dapat diperoleh dalam waktu singkat.

### DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Koestoer, Raldi ; Zulkifli, (1998), Perpindahan Kalor konveksi, Laboratorium Perpindahan kalor, Jurusan Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta.

[2] Bejan, A, (1993), Heat Transfer, Jhon Wiley & Sons, Inc, Kanada

[3] Harahap, F, (1979), Pengering Gabah, Pusat Teknologi Pembangunan ITB, Bandung.

[4] Holman, J.P, (1981), Perpindahan Kalor, Penerbit Erlangga, Jakarta.

[5] Kreith, F, (1996), Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas, Edisi Ketiga, Terjemahan Prijono, A, Penerbit Erlangga, Jakarta.

[6] Reynolds, Perkins, (1989), Termodinamika Teknik, Terjemahan Filino Harahap, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.

[7] Suharto, Ir., 1991, Teknologi Pengawetan Pangan, Penerbit Rineka Cipta, Jakarta.

[8] Chapra Steven C., Canale Raymond P., 1991, Metode Numerik Untuk Teknik: Dengan Penerapan pada Komputer Pribadi, penerjemah: S. Sardy dan pendamping: Lamyarni I.S., Cetakan I, Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta

[9] H.K. Versteeg and W. Malalasekera, 1995, An Introduction to Computational Fluid Dynamic The Finite Volume Method, John Wiley & Sons Inc. New York.