

## SIMULASI NUMERIK ALIRAN UDARA VENTILASI DUA DIMENSIONAL DENGAN METODE BEDA HINGGA

Eko Prasetya Budiana<sup>1</sup>, Budi Kristiawan<sup>1</sup>, Dhana Priyatna<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Staf Pengajar - Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik UNS

<sup>2</sup> Alumni Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik UNS

### **Keywords :**

*Computational Fluid Dynamics  
Numerical Simulation  
Ventilation Air Flow  
Alternating Direct Implicit  
Non – Staggered Grid*

### **Abstract :**

*In CFD (Computational Fluid Dynamics) Simulation, the designer has the capability to design and redesign a room over and over again, until the best and better design is found at a relatively low price and less time compared to a scale experimentation.*

*The main goal of this research is to simulate two dimensional ventilation's air flow in various ventilation systems. The algorithm consists of seven stages : set the initial and boundary conditions, calculate the temporary velocity  $u$  with ADI (Alternating Direct Implicit) method, calculate the temporary velocity  $v$  with ADI (Alternating Direct Implicit) method, calculate the pressure value with Line Gauss Seidel method, the final or real velocity value is obtained from correcting temporary velocity values  $u$  and  $v$  with pressure value derivation, write and save data.*

*From this research, the following observations were concluded : The computer code program which the writer built could generated two dimensional ventilation's air flow simulation, ADI (Alternating Direction Implicit) method with non-staggered grid can generate visually same simulation compared with SIMPLER method, and increasing the Reynolds number proves to increase the air circulation within a room space.*

### **PENDAHULUAN**

Sistem ventilasi pada bangunan menjadi salah satu topik penting dalam perancangan bangunan di masa kini. Di masa lalu sistem ventilasi bangunan hanya dibuat seperlunya tanpa memperhatikan aliran udara dalam bangunan tersebut, hal ini akan mengakibatkan sistem ventilasi tidak bekerja dengan baik dan meningkatnya penggunaan energi.

Dengan simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*), perancang bangunan dapat mendesain dan mendesain ulang kembali secara berulang – ulang sampai diperoleh rancangan ventilasi yang baik dengan biaya yang relatif lebih murah dan waktu yang lebih singkat dibandingkan percobaan dengan skala diperkecil.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode ADI (*Alternating Direction Implicit*) dengan *non staggered grid* untuk mensimulasikan aliran udara ventilasi dua dimensional.

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Simulasi numerik untuk aliran udara ventilasi yang dilakukan El Hadidi (1998) menggunakan formula SIMPLER (*Semi Implicit Method for Linked Equations Revised*). Metode SIMPLER adalah perbaikan dari metode SIMPLE (*Semi Implicit Method for Linked Equations*) yang tidak dapat memperkirakan dan mengoreksi nilai tekanan dan tingkat konvergensi yang sama. Dalam formula

SIMPLER, kecepatan diprediksi dengan menggunakan koreksi tekanan sama seperti formula SIMPLE. Perbedaan formula SIMPLER dengan formula SIMPLE adalah pada formula SIMPLER, tekanan langsung dihitung dan tidak dikoreksi.

Penelitian ini menggunakan dasar persamaan kontinuitas dan persamaan Navier - Stokes dan penyelesaian iterasi metode LBL (*Line By Line*). Ukuran *grid* yang digunakan bervariasi dari 30 x 30 sampai 48 x 36. Perangkat lunak yang digunakan adalah Visual Basic 5.0 dan Fortran Power Station 4.0. Hasil dari penelitian ini adalah pola vektor suhu dan kecepatan.

Lemos (1993) melakukan penelitian aliran fluida tak mampat 2 dimensi yang algoritmanya berdasarkan pendekatan beda hingga dari persamaan Navier – Stokes dan persamaan momentum dengan perangkat lunak Fortran 77. Penelitian ini terdiri dari dua bagian, pada bagian pertama nilai sementara diperoleh menggunakan pendekatan implisit atau eksplisit dari persamaan momentum dengan gradien tekanan sebelumnya. Pada bagian kedua, nilai kecepatan dan tekanan yang baru diperoleh dengan menggunakan metode iterasi. Penelitian ini dapat dilakukan sampai nilai bilangan Reynolds maksimal 10.000.

Pranowo dan Iswanto (1999) meneliti analisis numerik konveksi alami dalam kotak 2 dimensi. Penelitian ini menjelaskan solusi dari persamaan

Navier – Stokes 2 dimensi dengan variabel primitif pada *non staggered grid* dan diskritisasi beda hingga. Algoritma yang digunakan hampir sama dengan algoritma yang digunakan Ramaswamy (1988), perbedaannya adalah pada penelitian ini penyelesaian persamaan aljabarnya secara implisit sehingga langkah waktu yang digunakan bisa lebih besar sementara Ramaswamy menggunakan penyelesaian persamaan aljabarnya secara eksplisit sehingga langkah waktu yang digunakannya lebih kecil. Langkah algoritmanya menggunakan metode ADI (*Alternating Direction Implicit*) dan metode Line Gauss Seidel.

**DASAR TEORI**

Model matematis atau persamaan atur aliran udara tak mampat 2 dimensi terdiri dari persamaan kontinuitas, dan persamaan Navier – Stokes. Karena fluida dianggap sebagai fluida tak mampat maka densitas dan perpindahan panasnya diabaikan. Persamaan atur aliran udara tak mampat adalah sebagai berikut (Holaman 1994):

- Persamaan kontinuitas :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

- Persamaan Navier - Stokes :

➤ arah x :

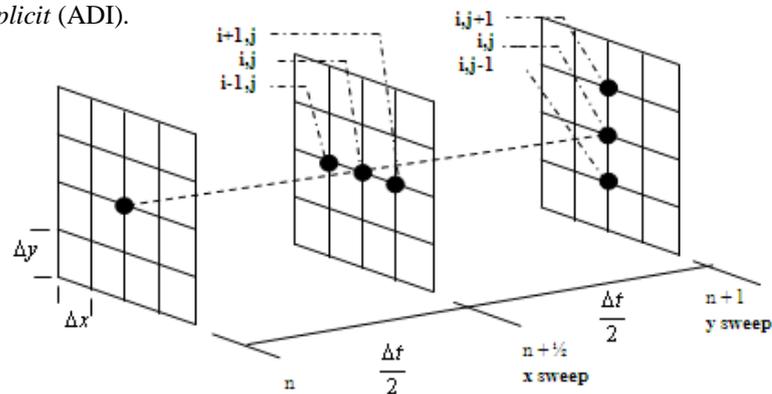
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\text{Re}} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \tag{2}$$

➤ arah y :

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\text{Re}} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \tag{3}$$

**Metoda Beda Hingga**

Metode penyelesaian yang digunakan pada penelitian ini adalah berdasarkan metode penelitian yang dilakukan Pranowo dan Istanto (1999) yaitu metode iterasi Line Gauss Seidel dan metode *Alternating Direction Implicit* (ADI).



Gambar 1. Sistem *grid* untuk metode ADI.

**Metode Line Gauss Seidel**

Pada metode ini, sebuah persamaan berubah menjadi 3 titik yang tidak diketahui, yaitu  $(i-1,j)$ ,  $(i,j)$  dan  $(i+1,j)$ . Sebagai contoh, Persamaan Laplace akan diselesaikan dengan metode ini (Hoffmann, 1989) :

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0 \tag{4}$$

diselesaikan dengan metode iterasi Line Gauss Seidel menjadi :

$$\frac{u_{i+1,j}^{k+1} - 2u_{i,j}^{k+1} + u_{i-1,j}^{k+1}}{\Delta x^2} + \frac{u_{i,j+1}^k - 2u_{i,j}^{k+1} + u_{i,j-1}^{k+1}}{\Delta y^2} = 0 \tag{5}$$

persamaan ini lalu dikalikan dengan  $\Delta x^2$ , sehingga menjadi :

$$u_{i+1,j}^{k+1} - 2u_{i,j}^{k+1} + u_{i-1,j}^{k+1} + \left(\frac{\Delta x}{\Delta y}\right)^2 (u_{i,j+1}^k - 2u_{i,j}^{k+1} + u_{i,j-1}^{k+1}) = 0 \tag{6}$$

jika rasio langkah adalah  $\beta = \frac{\Delta x}{\Delta y}$ , maka

Persamaan (6) menjadi :

$$u_{i+1,j}^{k+1} + u_{i-1,j}^{k+1} + \beta^2 u_{i,j+1}^k + \beta^2 u_{i,j-1}^{k+1} - 2(1 + \beta^2) u_{i,j}^{k+1} = 0 \tag{7}$$

$$u_{i-1,j}^{k+1} + 2(1 + \beta^2) u_{i,j}^{n+1} + U_{i+1,j}^{n+1} = -\beta^2 U_{i,j+1}^k - \beta^2 U_{i,j-1}^{k+1} \tag{8}$$

Metode ini relatif lebih cepat daripada metode Point Gauss – Seidel, tetapi metode ini membutuhkan waktu komputasi per- iterasi lebih banyak. Metode ini sangat efektif untuk kasus dimana nilai variabel berubah dalam satu arah.

**Metode ADI (*Alternating Direction Implicit*)**

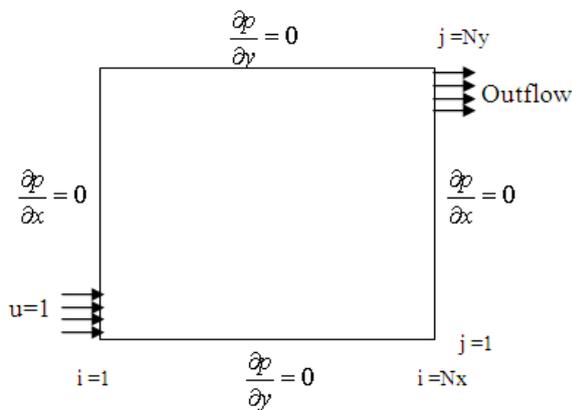
Metode ini akan lebih mudah jika dijelaskan melalui gambar berikut :

Metode ini dilakukan dengan dua langkah, yaitu yang pertama adalah menyelesaikan dulu penentuan nilai-nilai searah x saja atau dinamakan *x - sweep*, kemudian baru dilanjutkan dengan penentuan nilai - nilai searah sumbu y atau *y - sweep*. Sebenarnya tiap langkah yang dilakukan hanyalah setengah langkah dari  $n + 1$ , sehingga langkah-langkah tersebut menjadi : untuk *x - sweep* menggunakan langkah  $n + \frac{1}{2}$  dan kemudian *y - sweep* menggunakan setengahnya lagi sehingga pada akhirnya metode tersebut dilakukan tiap satu langkah kerja ( $n + 1$ ).

**Algoritma**

Algoritma yang digunakan merupakan variasi dari metode *Pressure Correction* (Patankar,1982). Pada algoritma ini kecepatan tingkat menengah ( $u^*$  dan  $v^*$ ) diperoleh dengan menyelesaikan persamaan Navier Stokes 2 dimensi tanpa menyertakan nilai tekanan, kecepatan tingkat menengah ini belum memenuhi persamaan kekekalan massa sehingga perlu dikoreksi. Tekanan dicari dengan menyelesaikan Persamaan Poisson, kemudian kecepatan  $u^*$  dan  $v^*$  dikoreksi dengan turunan tekanan yang baru diperoleh untuk mendapatkan kecepatan sesungguhnya ( $u^{n+1}$  dan  $v^{n+1}$ ).

**Domain dan Syarat Batas**



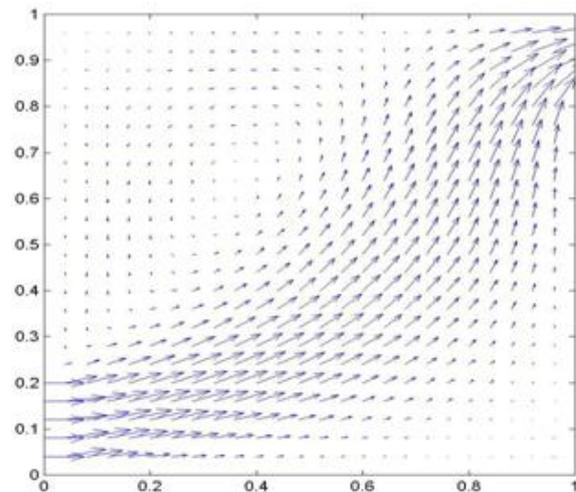
Gambar 2 . Domain dan syarat batas.

Domain yang digunakan pada penelitian ini adalah sebuah kotak dua dimensional dimana kondisi batasnya berupa dinding. Dinding sebelah kiri bawah terdapat saluran masuk dengan ukuran 1/5 dari tinggi dinding dan dinding sebelah kanan atas terdapat saluran keluar dengan ukuran 1/5 dari tinggi dinding. Keterangan mengenai kondisi batas seperti terlihat pada Gambar 2.

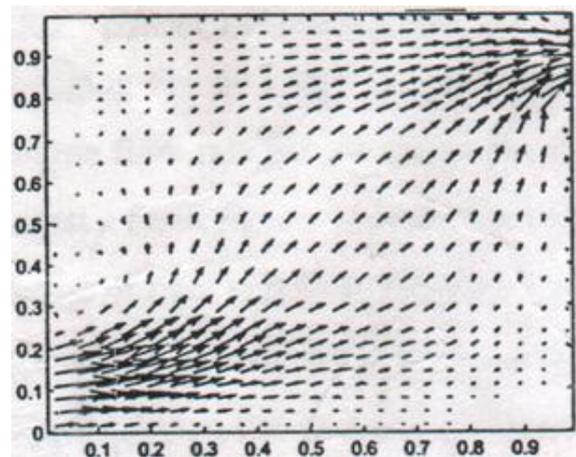
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil penelitian dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh El Hadidi (1998). Pola vektor kecepatan hasil penelitian El Hadidi (1998) yang digunakan sebagai pembanding adalah

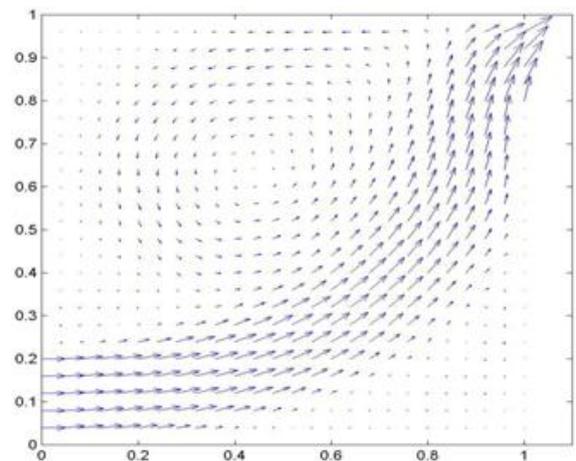
pola vektor kecepatan pada kasus aliran dengan  $Re = 100$  dan  $Re = 1.000$  dan aspek rasio  $h_{in} = h_{out} = \frac{h}{5}$



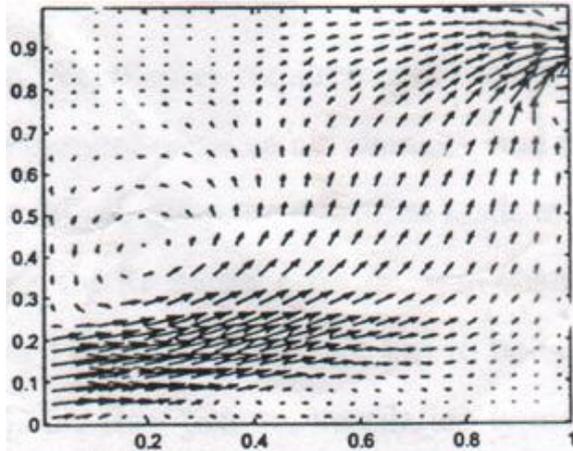
Gambar 3. Vektor kecepatan untuk  $Re = 100$ .



Gambar 4. Vektor kecepatan untuk  $Re = 100$  (El Hadidi).



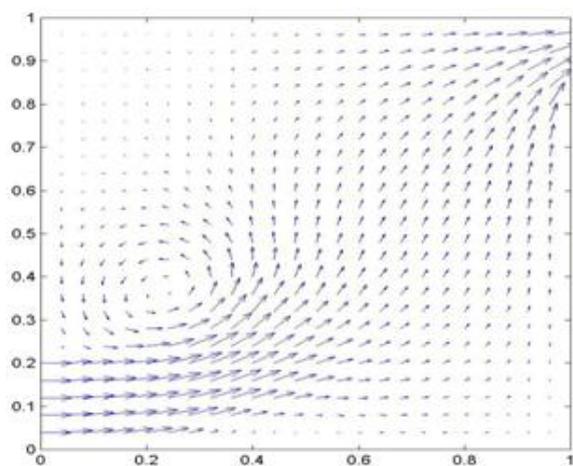
Gambar 5. Vektor kecepatan untuk  $Re = 1.000$  untuk ( $t = 7$  s).



Gambar 6. Vektor kecepatan untuk  $Re = 1.000$  (El Hadidi).

Pada Gambar 3 dan 4 terlihat bahwa pola aliran udara yang terbentuk memiliki karakteristik yang sama, dalam penelitian ini menggunakan grid  $51 \times 51$  sedangkan penelitian El Hadidi tidak diterangkan jumlah *grid*-nya.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa pola vektor kecepatan memiliki pola putaran udara yang lebih besar daripada pola vektor kecepatan Gambar 5 (El Hadidi). Hal ini disebabkan karena pada penelitian yang dilakukan El Hadidi tidak dijelaskan besarnya waktu yang digunakan. Vektor kecepatan pada Gambar 5 menggunakan waktu  $t = 7$  detik, karena setelah 7 detik tidak terjadi perubahan pola aliran udara sehingga dapat disimpulkan bahwa keadaan *steady* telah tercapai. Jika digunakan waktu  $t = 1$  detik maka gambar pola aliran ditunjukkan pada Gambar 7. Disini terlihat bahwa pola aliran dan besarnya pola aliran udara yang berputar memiliki karakteristik yang hampir sama dengan Gambar 6 (El Hadidi).



Gambar 7. Vektor kecepatan untuk  $Re = 1.000$  untuk ( $t = 1s$ ).

## KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Kode program yang penulis rancang dapat bekerja sesuai dengan tujuan awal yaitu menghasilkan simulasi numerik aliran udara ventilasi dua dimensi.
2. Metode ADI (*Alternating Direction Implicit*) dengan *non-staggered grid* yang menjadi acuan dasar program yang dikembangkan ternyata dapat menghasilkan simulasi yang pola alirannya hampir sama secara visual dengan yang dilakukan El Hadidi (1998) dengan metode SIMPLER.

## DAFTAR PUSTAKA

El Hadidi, 1998, *A Computational Study of Flow in Mechanically Ventilated Space*.

Hoffmann, K.A., 1989, *Computational Fluid Dynamics for Engineers, A Publication of Engineering Education System*, Texas, USA.

Holman, J.P., 1994, *Perpindahan Kalor*, Erlangga, Jakarta, Indonesia.

Lemos, C.M., 1994, "FD Flow: A Fortran-77 Solver for 2-D Incompressible Fluid Flow", *Computers & Geosciences*, Vol. 20, pp. 265 - 261.

Pranowo dan Iswanto, 1999, *Analisis Numerik Konveksi Alami dalam Kotak 2D dengan Primitive Variabel pada Grid Kolokasi*.

Ramaswamy, 1983, "Finite Element Solution for Advection and Natural Convection Flows", *International Journal of Computers & Fluids*, Vol. 16.