

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Sejumlah penelitian berbasis *modeling* untuk memprediksi suatu perpindahan kalor di dalam pipa telah banyak dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan. Behera (2013) dari National Institute of Technology Rourkela menganalisis pengaruh *counter flow* pada *Heat Exchanger* dari pipa spiral menggunakan *Ansys 13*. Material pipa spiral yang digunakan terbuat dari tembaga dengan fluida yang digunakan adalah air. Behera dalam melakukan penelitian ini menggunakan variasi temperatur fluida dan diameter pipa.

Kanade, dkk (2015) meneliti tentang efek dari *baffle* alumunium pada *Double Pipe Heat Exchanger (DPHE)*. *Baffle* diambil dalam bentuk geometri setengah lingkaran dan seperempat lingkaran yang diatur pada pipa bagian dalam DPHE. Parameter yang diteliti adalah total *Residence time*, penurunan tekanan, *heat transfer coefficient*, dan tingkat perpindahan panas. Pada kondisi yang sama, *heat exchanger* dengan *baffle* seperempat lingkaran memiliki laju perpindahan panas lebih tinggi dibanding pipa dengan *baffle* setengah lingkaran dan pipa tanpa *baffle*.

Akhtari, dkk (2013) dengan menggunakan *Ansys Fluent 12.1* melakukan penelitian terkait studi numerik pada *Heat Exchanger* dari a-A1203/air nanofluid yang mengalir melalui pipa ganda. Dalam penelitian ini Akhtari menganalisa pengaruh parameter seperti tingkat laju aliran volume, suhu nanofluid, dan konsentrasi nano partikel pada karakteristik perpindahan panas. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa performa *Heat Exchanger* meningkat seiring meningkatnya laju aliran volume serta konsentrasi partikel dan suhu inlet nanofluid.

Eyitayo, dkk (2013) melakukan perbandingan hasil penelitian berbasis eksperimental dan *modeling* untuk kasus aliran satu fasa pada pipa separator menggunakan metode *Reynold Stress Method*. Pengukuran dilakukan pada tiga posisi aksial yang berbeda. Hasil dari simulasi tersebut menunjukkan perbandingan yang cukup seragam. Metode CFD yang dilakukan menggunakan *software Ansys Fluent* mampu memprediksi pola aliran dengan benar dan dapat memberikan metode alternatif untuk mempelajari dinamika fluida di dalam pipa.

Shengwei, dkk (2014) dengan menggunakan *software Fluent* melakukan penelitian berbasis *modeling* tentang aliran gas pada pipa bercabang dengan sudut 42° . Hasil dari simulasi tersebut divalidasi dengan hasil percobaan eksperimental dan menunjukkan bahwa hasil simulasi dan eksperimental memiliki kecenderungan tren data yang konsisten. Perbedaan antara hasil simulasi dan eksperimen kurang dari 8%.

Sukamta (2011) melakukan pengukuran lokasi perpindahan panas dari uap kondensat yang mengalir berlawanan arah di dalam pipa kondenser horisontal dengan keliling distribusi temperatur sepanjang dinding tabung kondenser diukur untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas sekitar kondenser. Pipa annulus dengan bagian dalam pipa uji terbuat dari bahan tembaga ($d_{in} = 17,2$ mm, $d_{o} = 19$ mm) dan pipa uji bagian luar terbuat dari besi galvanis ($d_{in} = 108,3$ mm, $d_{o} = 114,3$ mm) dengan panjang kedua pipa 1,6 m. Suhu diukur dengan lima variasi laju aliran massa uap panas dengan perpindahan panas koefisien lokal yang dipengaruhi oleh radial dan aksial posisi inlet dan diikuti juga pada sisi atas dan bagian bawah.

Pada penelitian ini akan membandingkan hasil eksperimental dengan hasil *modeling* menggunakan *software ANSYS Fluent 15.0* guna memprediksi pola aliran, temperatur, dan kondensasi yang terjadi di dalam sistem perpipaan. Dalam penelitian ini ukuran pipa di samakan dengan hasil eksperimental dan memberikan parameter tekanan dan temperatur pada sistem.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Definisi Fluida

Fluida adalah suatu zat yang dapat mengalami perubahan bentuk secara continue bila terkena tekanan atau gaya geser walaupun relatif kecil atau bisa juga dikatakan suatu zat yang mengalir, fluida juga mencakup zat cair, air dan udara karena zat-zat ini dapat mengalir.

2.2.2. Aliran Fluida

Aliran pada fluida berbeda dengan zat padat hal tersebut dikarenakan kemampuannya untuk mengalir. Fluida lebih mudah untuk mengalir karena ikatan molekul pada fluida lebih kecil dibandingkan dengan ikatan molekul pada zat padat akibat fluida mempunyai hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan.

Beberapa jenis aliran sangat terpengaruh oleh bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds adalah bilangan tidak berdimensi yang penting digunakan untuk penelitian aliran fluida pada pipa. Adapun persamaan bilangan Reynolds untuk aliran di dalam pipa sebagai berikut:

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan : V = Kecepatan Fluida (m/s)

D = Diameter Dalam Pipa (m)

ρ = Massa Jenis Fluida (kg/m³)

μ = Viskositas Dinamik Fluida (kg/m.s) atau (N.s/m²)

Aliran fluida dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

a. Kondisi aliran terhadap waktu :

a. Aliran *Steady*

Suatu aliran dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu sehingga kecepatan konstan pada setiap titik (tidak mempunyai percepatan).

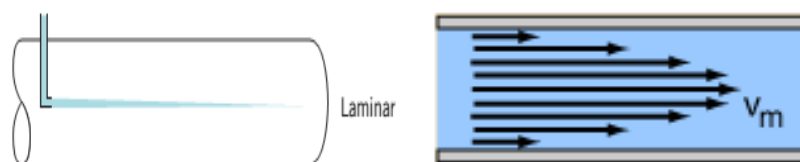
b. Aliran *Transient*

Suatu aliran dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.

b. Kondisi aliran terhadap pola aliran :

a. Aliran Laminar

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan–lapisan atau lamina–lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan Reynoldsnnya kurang dari 2300 ($Re < 2300$).

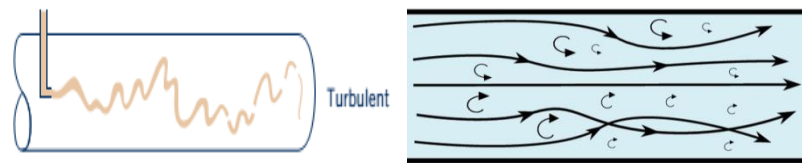


Gambar 2.1. Aliran Laminar

(Munson dkk, 2012)

b. Aliran Turbulen

Aliran dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dimana nilai bilangan Reynoldsnnya lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$).



Gambar 2.2. Aliran Turbulen

(Munson dkk, 2012)

c. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen, nilai bilangan Reynoldsnnya antara 2300 sampai dengan 4000 ($2300 < Re < 4000$).



Gambar 2.3. Aliran Transisi

(Munson dkk, 2012)

2.2.3. Pola Aliran Fluida Dua Fasa

Pola aliran fluida adalah gambaran dari suatu aliran fluida yang membentuk suatu pola tertentu, pola aliran ini dapat digunakan sebagai parameter untuk mengetahui keadaan suatu aliran fluida. Aliran dua fasa, distribusi aliran pada masing-masing fasa *liquid* dan uap menjadi aspek yang penting. Distribusi masing-masing alirannya memiliki karakteristik yang dapat dilihat pada pola aliran dua fasa.

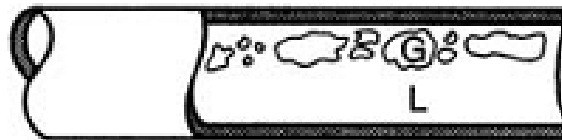
Pola aliran fluida dua fasa pada pipa horisontal cenderung memiliki karakteristik yang lebih rumit dibanding dengan pola aliran pada pipa vertikal. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh gaya gravitasi yang menyebabkan fluida yang memiliki massa jenis lebih berat akan cenderung berada di posisi

bagian bawah pipa dan fluida yang memiliki massa jenis lebih ringan cenderung berada diatas.

Ada beberapa pola aliran dalam pipa horisontal, yaitu:

a. *Bubbly flow*

Dalam aliran terdapat penyebaran gelembung gas kecil seragam dalam zat cair menyeluruh. Gelembung terbentuk pada bagian atas pipa. Pola aliran ini terjadi pada aliran fluida yang memiliki laju aliran massa uap tinggi.



Gambar 2.4. *Bubly Flow* (Pietro, 2007)

b. *Plug flow*

Dalam aliran ini gelembung-gelembung akan berdesakan dan membentuk gelembung yang lebih besar yang bentuknya mirip dengan peluru.



Gambar 2.5. *Plug Flow* (Pietro, 2007)

c. *Stratified flow*

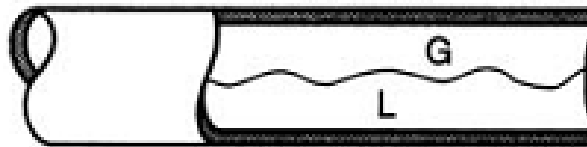
Dalam aliran ini terjadi pemisahan fasa karena perbedaan massa jenis dan gaya gravitasi, dimana fasa gas mengalir pada bagian atas pipa dan fasa cair mengalir pada dasar pipa.



Gambar 2.6. *Stratified Flow* (Pietro, 2007)

d. *Wavy flow*

Pola aliran ini terjadi karena naiknya kecepatan aliran uap yang berada di bagian atas pipa yang mengakibatkan garis batas uap-liquid terganggu dan terbentuk gelombang.



Gambar 2.7. *Wavy Flow* (Pietro, 2007)

e. *Slug flow*

Pola ini terjadi ketika kecepatan uap terus meningkat dan mengakibatkan gelombang yang signifikan pada garis batas uap-liquid sehingga liquid akan menempel pada bagian atas pipa dan terbentuklah busa (*foamy slug*).

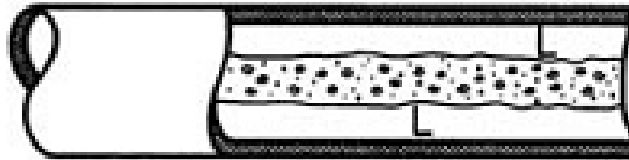


Gambar 2.8. *Slug Flow* (Pietro, 2007)

f. *Annular flow*

Dalam aliran ini, aliran gas terdistribusi diantara lapisan cairan yang mengalir disekitar dinding pipa dimana butiran air mengalir bersama fase gas. Pada pipa horisontal tebal lapisan cairan pada dasar

pipa lebih tebal dari pada bagian atas pipa, hal tersebut dikarenakan pengaruh gravitasi.



Gambar 2.9. *Annular Flow* (Pietro, 2007)

2.2.4. Kondensasi

Kondensasi adalah perubahan wujud dari uap menjadi cairan. Proses kondensasi melibatkan perpindahan kalor dan massa secara simultan. Banyak faktor yang mempengaruhi koefisien perpindahan kalor selama proses kondensasi, seperti sifat fisis dan kimia uap, sifat embun, dan geometri saluran. Berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhinya, proses kondensasi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Jenis kondensasi: *Homogenous, heterogeneous, dropwise, film* atau *direct contact*.
- Kondisi uap: Satu komponen, multi komponen dengan semua komponen mampu terkondensasi, multi komponen termasuk komponen tidak mampu terkondensasi, dll.
- Geometri sistem: *Plane surface, external, internal*, dll.

Dari klasifikasi diatas sangat mungkin ada kategori dari metode klasifikasi yang berbeda terjadi *overlaps*, artinya pada kategori proses kondensasi yang satu masih berhubungan dengan kategori proses kondensasi yang lain (Ghiaasiaan, 2008).

Temperatur jenuh suatu zat dapat diketahui dengan mencari titik embun (*dew point temperature*). Apabila temperatur uap berada di titik *dew point temperature* (T_{dp}) maka akan terjadi kondensasi (Yunus dkk, 2006). *Dew point temperature* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T_{dp} = T_{\text{sat}@P_v} \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan,

P_v = Tekanan uap

2.2.5. Komputasi Dinamika Fluida

Komputasi Dinamika Fluida atau *Computational Fluid Dynamics (CFD)* adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi pola aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika atau model matematika.

Pada umumnya proses perhitungan untuk aliran fluida diselesaikan dengan menggunakan persamaan energi, momentum dan kontinuitas. Persamaan yang digunakan adalah persamaan Navier-Stokes, persamaan ini ditemukan oleh G.G. Stokes di Inggris dan M. Navier di Perancis sekitar tahun awal tahun 1800. Adapun persamaan-persamaannya (Versteeg, 1995) adalah sebagai berikut:

- a. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

- b. Persamaan Momentum

Momentum pada sumbu X:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re_r} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right)$$

Momentum pada sumbu Y

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right)$$

Momentum pada sumbu Z

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Re_r} \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right)$$

c. Persamaan Energi

$$\begin{aligned} \frac{\partial(E_r)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_r)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_r)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_r)}{\partial z} = & -\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} - \\ & \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} - \frac{1}{Re_r Pr_r} \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + \frac{1}{Re_r} \left(\frac{\partial}{\partial x} (u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + \right. \\ & w\tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y} (u\tau_{xy} + v\tau_{yy} + w\tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + \\ & \left. w\tau_{zz}) \right) \end{aligned}$$

Dengan: x = Koordinat Sumbu X

y = Koordinat Sumbu Y

z = Koordinat Sumbu Z

u = Komponen Kecepatan U

v = Komponen Kecepatan V

w = Komponen Kecepatan W

t = Waktu

ρ = Densitas

E_t = Energi Total

P = Tekanan

q = *Heat Flux*

Re_e = Bilangan Reynold

Pr_r = Bilangan Prandtl

Pada dasarnya *CFD* mengganti persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. Persamaan yang asalnya kontinu (memiliki jumlah sel tak terhingga) diubah menjadi model diskrit (jumlah sel terhingga).

Ada tiga teknik solusi numerik aliran yang berbeda, yaitu *finite difference*, *finite element* dan *finite volume methods*. Beberapa metode diskritisasi yang digunakan untuk memecahkan persamaan-persamaan diferensial parsial (Versteeg, 1995) diantaranya adalah:

a. Metode Beda Hingga (*finite difference method*)

Dalam metode ini area aliran dipisahkan menjadi satu set poin *grid* dan fungsi kontinyu (kecepatan, tekanan, dan lainnya) didekati dengan nilai-nilai diskrit dan fungsi-fungsi ini dihitung pada titik-titik *grid*. Turunan dari fungsi didekati dengan menggunakan perbedaan antara nilai fungsi pada titik lokal *grid* dibagi dengan jarak *grid*.

b. Metode Elemen Hingga (*finite element method*)

Metode adalah teknik numerik untuk menemukan solusi perkiraan ke batas nilai masalah untuk persamaan diferensial parsial. Metode ini membagi masalah besar menjadi lebih kecil dan sederhana yang disebut elemen hingga.

Persamaan sederhana yang memodelkan seluruh kasus kemudian disusun menjadi sebuah sistem persamaan yang lebih luas. Persamaan konservasi kekekalan massa, momentum, dan energi ditulis dalam bentuk yang tepat untuk setiap elemen, dan hasil dari set persamaan aljabar untuk bidang aliran diselesaikan secara numerik.

c. Metode Volume Hingga (*finite volume method*)

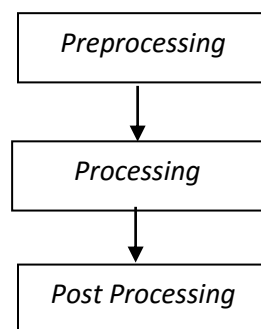
Finite volume method adalah metode untuk mewakili dan mengevaluasi persamaan diferensial parsial dalam bentuk aljabar. Metode ini sama seperti *finite difference method* dan *finite element method*, nilai-nilai dihitung di tempat terpisah pada geometri yang di *mesh*. Metode ini mengacu pada volume kecil disekitar *node* pada *mesh*.

Dalam metode ini, volume integral dalam persamaan diferensial yang memiliki istilah divergensi dikonversi ke *surface integrals* menggunakan teori divergensi.

Metode diskritisasi yang dipilih pada umumnya menentukan kestabilan dari program numerik/*CFD* yang dibuat atau program *software* yang ada.

2.2.6. Proses *CFD*

Kode *CFD* disusun dengan menggunakan algoritma numerik yang dapat mengatasi masalah aliran fluida. Secara garis besar proses kerja pada FLUENT dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *preprocessing*, *processing*, dan *post processing*.



Gambar 2.10. *Flowchart* proses FLUENT®

2.2.6.1. *Preprocessing*

Tahap *preprocessing* merupakan tahap awal dari proses *CFD*, pada tahap ini akan dilakukan beberapa proses sebagai berikut :

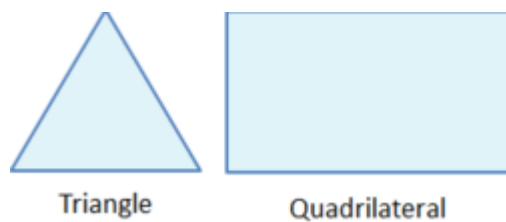
- a. Definisi geometri dari benda kerja.

Pada proses ini akan dilakukan proses pemodelan dari benda kerja. Proses pemodelan bisa langsung menggunakan *software CFD*, tetapi untuk benda kerja yang rumit bentuknya sebaiknya menggunakan *software assembly* seperti SolidWork.

- b. Pembuatan *grid (mesh)* atau disebut sebagai *meshing*.

Meshing adalah proses membagi komponen yang akan dianalisis menjadi elemen-elemen kecil atau diskrit. Semakin baik kualitas *mesh* maka akan semakin tinggi tingkat konvergensinya.

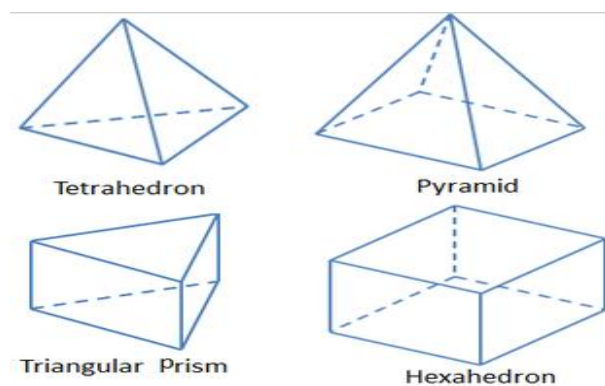
Secara umum bentuk sel dari proses *meshing* dibagi menjadi dua jenis, yaitu dua dimensi dan tiga dimensi. Untuk sel dua dimensi terdapat dua jenis bentuk sel yaitu Triangle dan Quadrilateral.



Gambar 2.11. Bentuk Sel Dua Dimensi

(https://en.wikipedia.org/wiki/Types_of_mesh)

Bentuk sel tiga dimensi terbagi kedalam empat jenis, yaitu Tetrahedron, Pyramid, Triangular Prism, Hexahedron.



Gambar 2.12. Bentuk Sel Tiga Dimensi

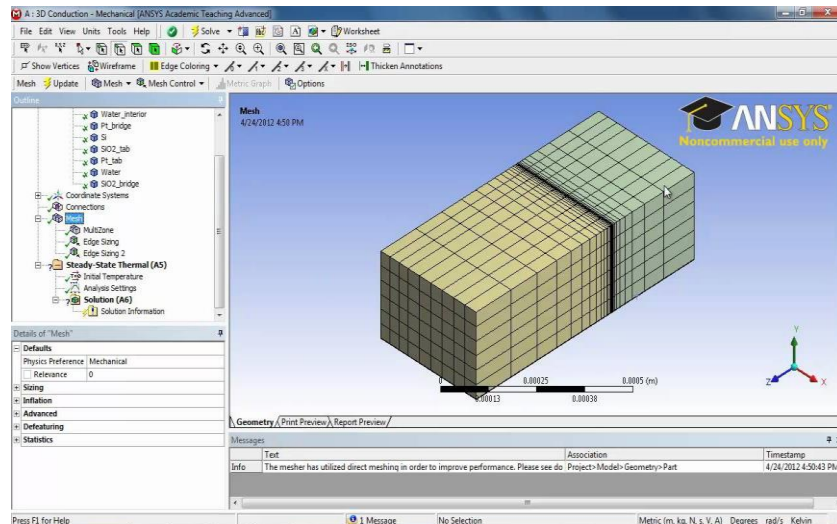
(https://en.wikipedia.org/wiki/Types_of_mesh)

Dalam proses *meshing* terdapat klasifikasi *mesh* yang terbagi ke dalam tiga jenis, yaitu:

a. *Structured mesh*

Structured mesh adalah *meshing* terstruktur dapat dikenali dari konektivitas *mesh* yang teratur dan rapi. Adapun *mesh* yang biasa

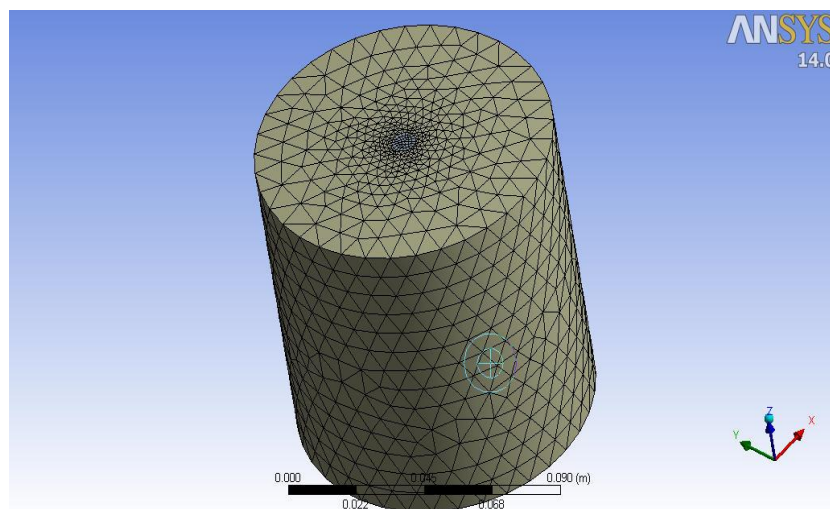
menggunakan *structured mesh* adalah *Quadrilateral* di 2D dan *Hexahedra* di 3D.



Gambar 2.13. *Structured Mesh*

b. Unstructured mesh

Unstructured mesh merupakan *mesh* yang konektivitas *mesh*nya tidak beraturan. *Mesh* ini biasanya menggunakan *triangle* pada 2D dan *tetrahedra* pada 3D.



Gambar 2.14. *Unstructured Mesh*

(<http://www.cfd-online.com/Forums/ansys-meshing/126893-structured-mesh-stirred-tank.html>)

c. *Hybrid mesh*.

Struktur mesh yang ketiga adalah *Hybrid mesh* yang merupakan kombinasi dari *Unstructured mesh* dan *Structured mesh*.

2.2.6.2 Processing

Processing merupakan proses kedua dari *CFD*, didalam tahap ini akan dilakukan penentuan kondisi batas (*boundary condition*) dan pemilihan metode inisiasi. Dalam penentuan kondisi batas dapat dimasukkan nilai dari parameter-parameter yang dibutuhkan. Adapun parameter yang termasuk kondisi batas adalah:

a. *Velocity inlet*

Digunakan untuk mendefinisikan kecepatan aliran dan besaran skalar lainnya pada sisi masuk aliran. Kondisi batas ini hanya digunakan untuk aliran inkompresibel.

b. *Mass flow inlet*

Pada kondisi batas ini harus dimasukkan data laju aliran massa atau fluks massa, temperatur fluida (apabila mengaktifkan persamaan energi), tekanan *gauge* pada sisi masuk, arah aliran, dan besaran turbulen.

c. *Pressure inlet*

Pada *Pressure inlet* akan dimasukkan data tekanan total (*absolute*), tekanan *gauge*, temperatur, arah aliran, dan besaran turbulen.

d. *Pressure outlet*

Pada Kondisi batas ini dipakai pada sisi keluar fluida dan data tekanan pada sisi keluar diketahui atau minimal dapat diperkirakan mendekati sebenarnya. Pada kondisi batas ini harus dimasukkan nilai tekanan statik, temperatur aliran balik (*backflow*), dan besaran turbulen aliran balik.

e. *Outflow*

Kondisi batas ini digunakan apabila data aliran pada sisi keluar tidak diketahui. Data pada sisi keluar diekstrapolasi dari data yang ada pada aliran sebelum mencapai sisi keluar.

f. *Pressure far-field*

Kondisi batas ini digunakan untuk memodelkan aliran kompresibel, besaran yang harus dimasukkan nilainya adalah tekanan *gauge*, bilangan March, temperatur aliran, arah aliran dan besaran turbulensi pada sisi keluar.

g. *Inlet vent* dan *outlet vent*

Kondisi batas ini digunakan untuk model saluran masuk/keluar aliran dimana terdapat peralatan ventilasi di sisi luar saluran masuk/keluar yang dapat menimbulkan kerugian tekanan pada aliran. Data yang harus dimasukkan pada kondisi batas ini sama dengan data pada kondisi batas *pressure inlet/pressure outlet*, hanya terdapat tambahan data untuk kerugian tekanan.

h. *Intake fan* dan *exhaust fan*

Kondisi batas ini digunakan untuk model saluran masuk/keluar aliran dimana terdapat *fan/blower* di sisi luar saluran masuk/keluar untuk menghembus/menghisap fluida di dalam saluran. Data yang harus dimasukkan pada kondisi batas ini sama dengan data pada kondisi batas *pressure inlet/pressure outlet*, hanya terdapat tambahan data untuk kenaikan tekanan setelah melewati *fan/blower* (*pressure-jump*).

i. Dinding (*wall*)

Kondisi batas ini digunakan sebagai dinding untuk aliran fluida dalam saluran atau dapat disebut juga sebagai dinding saluran. Kondisi batas ini digunakan juga sebagai pembatas antara daerah fluida (cair dan gas) dan padatan.

j. *Symmetry* dan *axis*

Kondisi batas simetri digunakan apabila model geometri kasus yang bersangkutan dan pola aliran pada model tersebut simetri. Kondisi batas ini juga dapat digunakan untuk memodelkan dinding tanpa gesekan pada aliran viskos. Sedangkan kondisi batas *axis* digunakan sebagai garis tengah (*centerline*) untuk kasus 2D *axisymmetry*.

k. *Periodic*

Kondisi batas periodik digunakan untuk mengurangi daya komputasi pada kasus tertentu. Kondisi batas ini hanya dapat digunakan pada kasus yang mempunyai medan aliran dan geometri yang *periodic*, baik secara translasi atau rotasi.

l. *Cell zone fluid*

Kondisi batas ini digunakan pada bidang model yang didefinisikan sebagai fluida. Data yang dimasukkan hanya material fluida. Dapat didefinisikan sebagai media berpori.

m. *Cell zone solid*

Kondisi batas ini digunakan pada bidang model yang didefinisikan sebagai padatan. Data yang harus dimasukkan hanya material padatan. Dapat didefinisikan *heat generation rate* pada kontinum *solid* (opsional).

n. *Porous Media*

Porous zone merupakan pemodelan khusus dari zona fluida selain padatan dan fluida. Kondisi batas ini digunakan dengan cara mengaktifkan pilihan *porous zone* pada panel fluida. Digunakan untuk memodelkan aliran yang melewati media berpori dan tahanan yang terdistribusi, misalnya: *packed beds, filter papers, perforated plates, flow distributors, tube banks*.

o. Kondisi batas internal

Selain kondisi batas yang telah disebutkan di atas, masih terdapat beberapa kondisi batas lagi yang dapat dikelompokkan menjadi kelompok kondisi batas internal. Yang termasuk dalam kondisi batas internal adalah: *fan, radiator, porous jump, interior*. Kondisi batas ini digunakan untuk bidang yang berada di tengah medan aliran dan tidak mempunyai ketebalan.

Kondisi batas *fan, radiator, dan porous jump* digunakan untuk memodelkan adanya *fan, radiator, atau media berpori* di tengah-tengah aliran, sehingga tidak perlu dibuat model *fan atau radiator*, cukup dengan menentukan kenaikan tekanan yang terjadi setelah melewati alat tersebut. Sedangkan kondisi batas *interior* digunakan untuk bidang yang kedua sisinya dilewati oleh fluida.

Proses selanjutnya adalah pemilihan metode inisiasi, dalam metode inisiasi terdapat beberapa metode solusi, adapun jenis dari metode solusi adalah sebagai berikut:

a. SIMPLE

SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equation) merupakan metode yang menggunakan hubungan antara kecepatan dan tekanan untuk mendapatkan nilai konservasi massa dan nilai bidang tekan (Ansys User Guide,2013)

Dalam metode ini persamaan kecepatan dikoreksi untuk menghitung satu set baru fluks konservatif. Persamaan momentum yang telah terdiskritisasi dan koreksi kecepatan diselesaikan secara implisit dan koreksi kecepatan diselesaikan secara eksplisit, hal ini adalah alasan disebutnya “Semi-Implisit Metode”

b. SIMPLEC

SIMPLEC (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equation-Consistent). Metode ini pada dasarnya merupakan modifikasi dari metode SIMPLE, metode ini merupakan prosedur numerik yang biasa digunakan dalam *CFD* untuk memecahkan persamaan Navier Stokes.

Pada metode SIMPLEC metode SIMPLE sedikit dilakukan variasi dimana persamaan momentum dimanipulasi untuk memungkinkan koreksi kecepatan SIMPLEC dihilangkan untuk menghilangkan nilai yang kurang penting, pada dasarnya SIMPLEC mencoba untuk mencegah efek *dropping velocity* dan faktor koreksi lainnya.

c. PISO

PISO, (Pressure Implicit With Splitting Of Operators). metode ini didasarkan pada tingkatan yang lebih tinggi dari hubungan pendekatan antara faktor koreksi tekanan dan kecepatan. Untuk meningkatkan efisiensi perhitungan, metode piso menggunakan dua faktor koreksi tambahan, yaitu *neighbor correction* dan *skewness correction*.

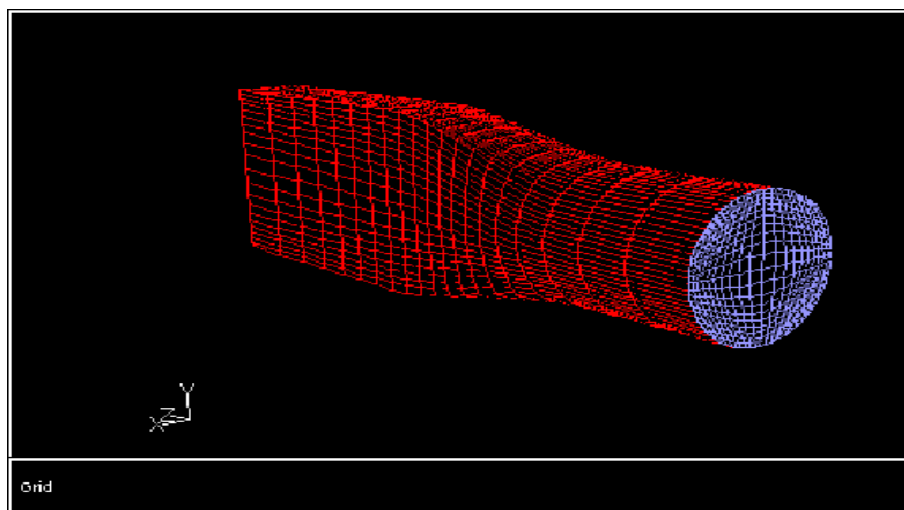
Neighbor correction adalah proses iterasi yang disebut sebagai koreksi momentum atau *neighbor correction*. Dengan tambahan *neighbor correction* maka Control Processing Unit (CPU) pada komputer mengalami penambahan waktu untuk melakukan proses *solver* iterasi, akan tetapi akan menurunkan nomor iterasi yang dibutuhkan untuk mencapai konvergensi. *Skewness correction* adalah proses penghitungan ulang untuk gradien koreksi tekanan yang digunakan untuk memperbarui koreksi fluks massa.

2.2.6.3. Post Processing

Post processing merupakan tahapan terakhir dari proses *CFD*, pada tahapan ini akan ditampilkan hasil dari proses perhitungan kondisi batas dan metode *solver* yang digunakan. Dalam *post processing* dapat memberikan tampilan grafis yang menunjukkan *mesh*, kontur, vektor dan *pathline*.

a. Displaying Mesh

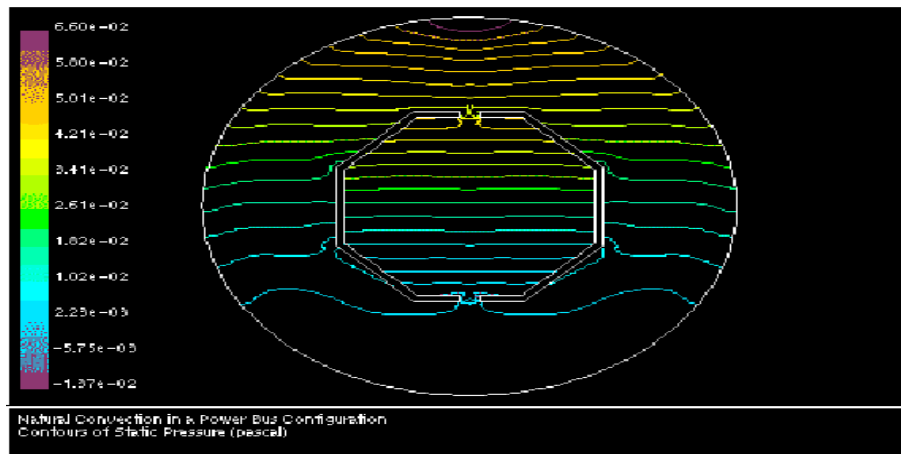
Displaying Mesh digunakan untuk menampilkan *mesh* pada model yang sedang dikerjakan pada saat *setup* kondisi batas atau pada saat memeriksa *solution*.



Gambar 2.15. Contoh *Displaying Mesh*
(Ansys User Guide, 2013)

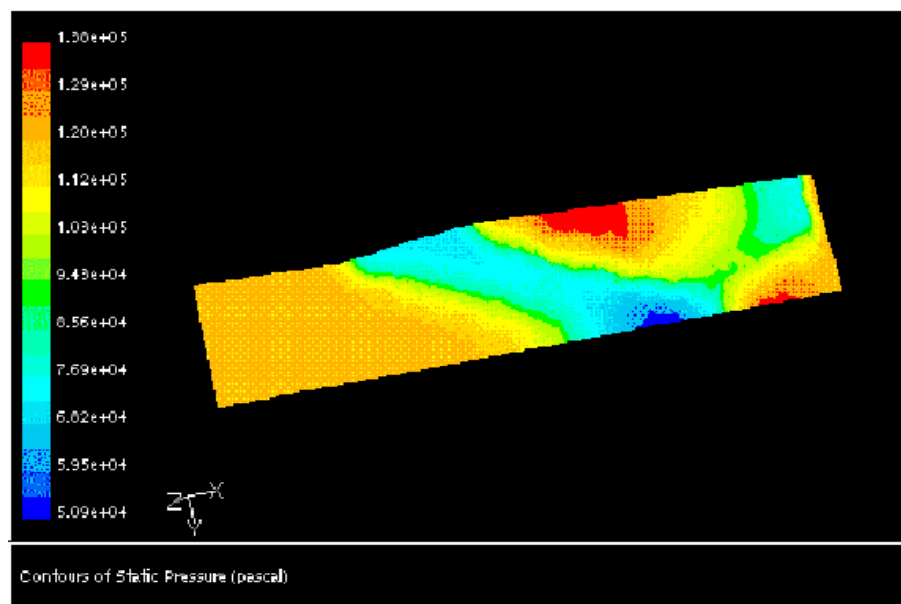
b. Displaying Contours and Profiles

Pada menu *display* ini akan ditampilkan bentuk kontur dan profil dari model yang sedang diteliti. Kontur dan profil yang ditampilkan dapat berupa tekanan, temperatur ataupun kecepatan.



Gambar 2.16. Contoh Tampilan Kontur Tekanan Statik

(Ansys User Guide, 2013)

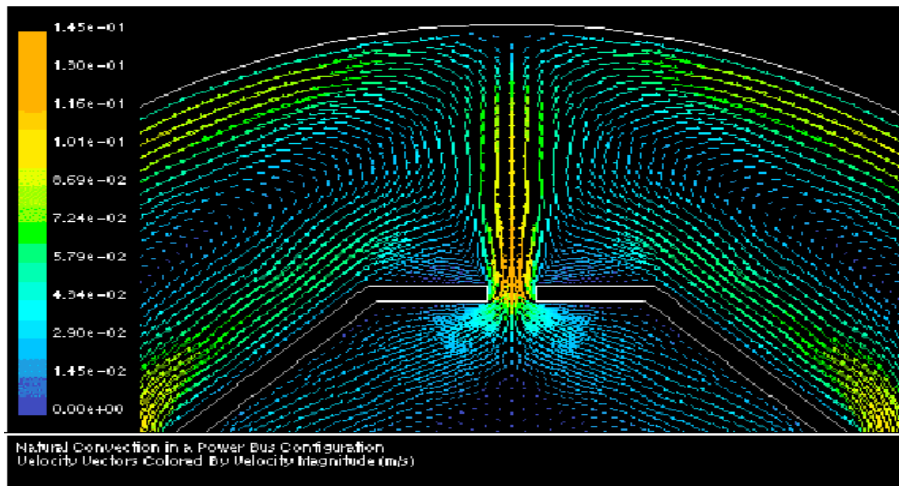


Gambar 2.17. Contoh Tampilan Kontur Tekanan Statik Dalam Bentuk *flat*

(Ansys User Guide, 2013)

c. *Displaying Vectors*

Pada menu *display* ini akan ditampilkan bentuk vektor dari model yang sedang diteliti. vektor yang ditampilkan dapat berupa tekanan, temperatur ataupun kecepatan.

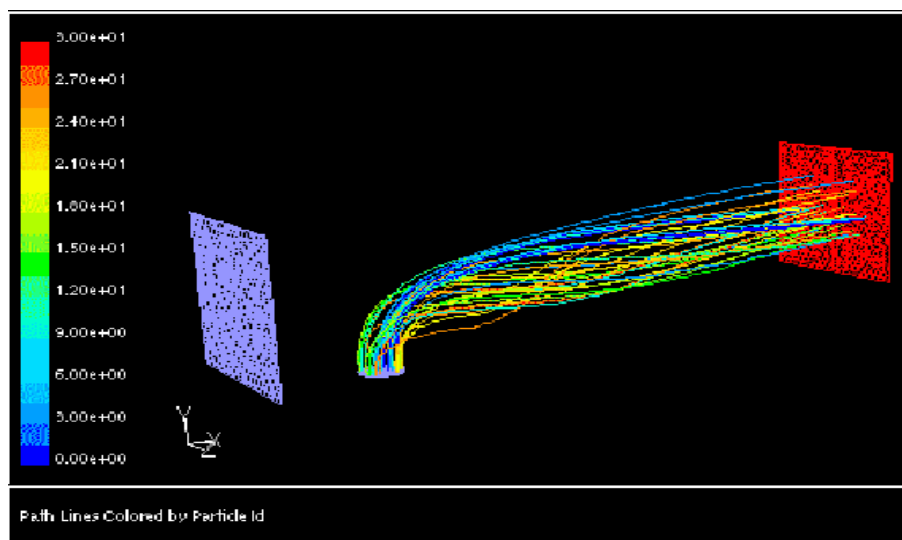


Gambar 2.18. Contoh Tampilan Vektor Kecepatan

(Ansys User Guide, 2013)

d. *Displaying Pathlines*

Pathlines digunakan untuk memvisualisasikan aliran partikel tak bermassa yang menjadi domain permasalahan.



Gambar 2.19. Contoh Tampilan *Pathlines*

(Ansys User Guide, 2013)

2.2.7. Software CFD

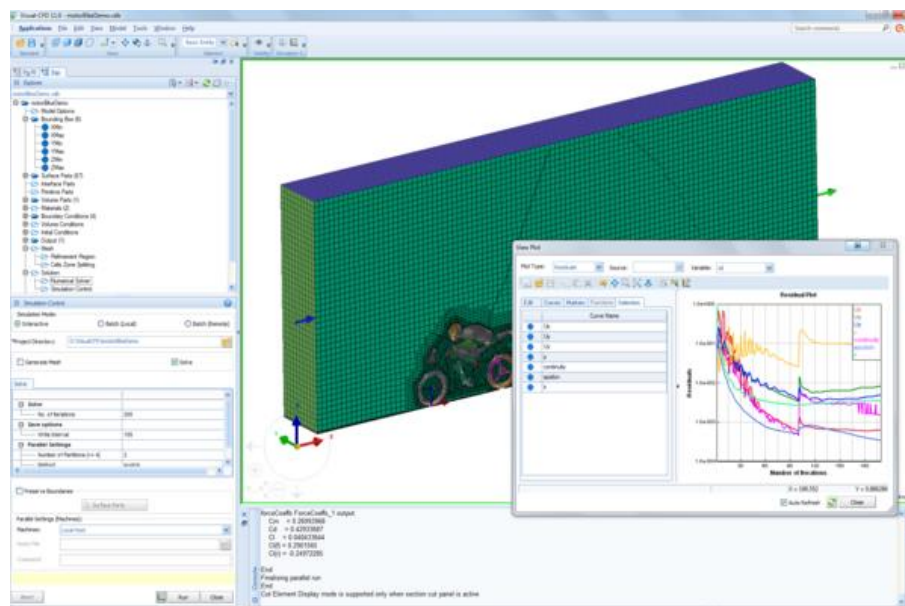
Dalam dunia teknik dan sains sangat banyak *software CFD* yang digunakan, diantaranya adalah sebagai berikut:

a. OpenFOAM

OpenFOAM® (Open Field Operation and Manipulation) adalah *CFD* Toolbox gratis yang bersifat non-komersil, karena merupakan paket perangkat lunak open source yang diproduksi oleh OpenCFD Ltd. [OpenFOAM](#) memiliki basis pengguna yang cukup besar pada bidang keteknikan dan sains, baik dari organisasi komersial maupun akademik. OpenFOAM memiliki berbagai pilihan fitur untuk memecahkan permasalahan apa pun dari aliran fluida yang kompleks yang melibatkan reaksi kimia, turbulensi dan perpindahan panas, dinamika struktur padat dan elektromagnetik



Gambar 2.20. Logo OpenFOAM®



Gambar 2.21. Preview OpenFOAM®

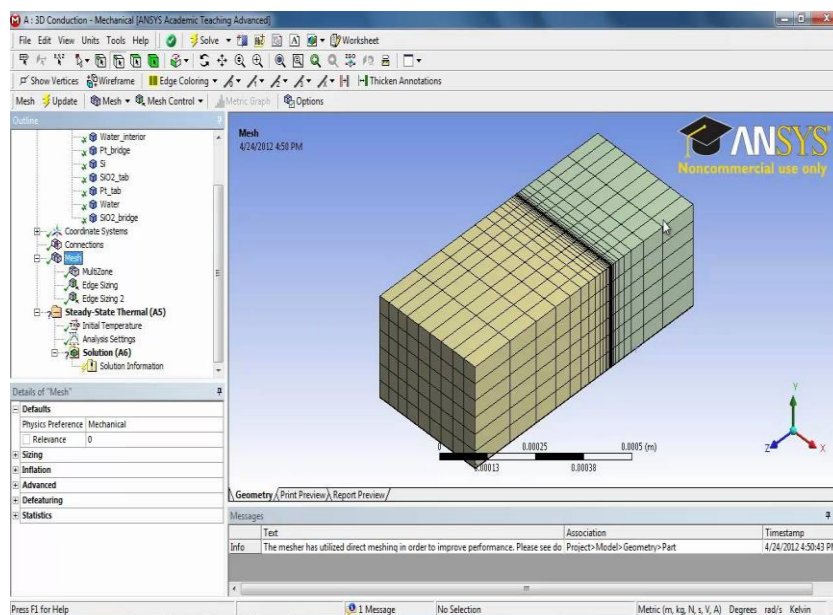
b. FLUENT

FLUENT adalah salah satu dari jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga. FLUENT dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh* (*grid*) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah, karena FLUENT menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap.

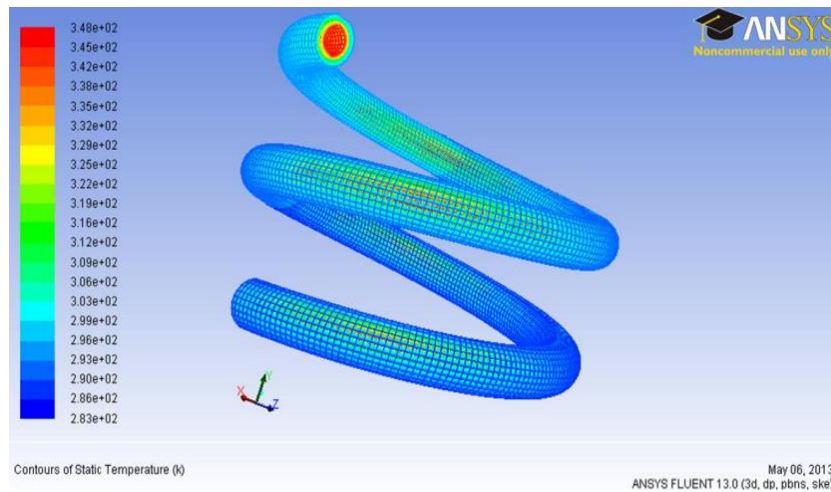
FLUENT didukung oleh jenis *mesh* tipe *2D triangular-quadrilateral*, *3D tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge*, dan *mesh* campuran (*hybrid*). FLUENT juga memungkinkan untuk memperhalus atau memperbesar *mesh* yang sudah ada.



Gambar 2.22. Logo Ansys FLUENT®



Gambar 2.23. Preview Ansys FLUENT®



Gambar 2.24. *Preview Postprocessing Ansys FLUENT®*

FLUENT memiliki struktur data yang efisien dan lebih fleksibel, karena FLUENT ditulis dalam *bahasa C*. FLUENT juga dapat dijalankan sebagai proses terpisah secara simultan ada klien *desktop workstation* dan computer server.

FLUENT sering digunakan karena memiliki kelebihan sebagai berikut:

1. FLUENT mudah untuk digunakan
2. Model yang realistic (tersedia berbagai pilihan solver)
3. Diskritisasi atau *meshing* model yang efisien (dalam GAMBIT)
4. Cepat dalam penyajian hasil (bisa dengan paralel komputer)
5. Visualisasi yang mudah untuk dimengerti

Dalam dunia industry, FLUENT sering digunakan untuk desain suatu sistem fluida, juga untuk mencari sumber atau analisis kegagalan suatu sistem fluida. klasifikasi penggunaan FLUENT dalam dunia industri (secara umum): Aerospace, Otomotif, Biomedical, Proses kimia, Semikonduktor, Pertambangan, Petrokimia, Polimer, Pembangkit tenaga, Turbomachinery.

c. XFlow

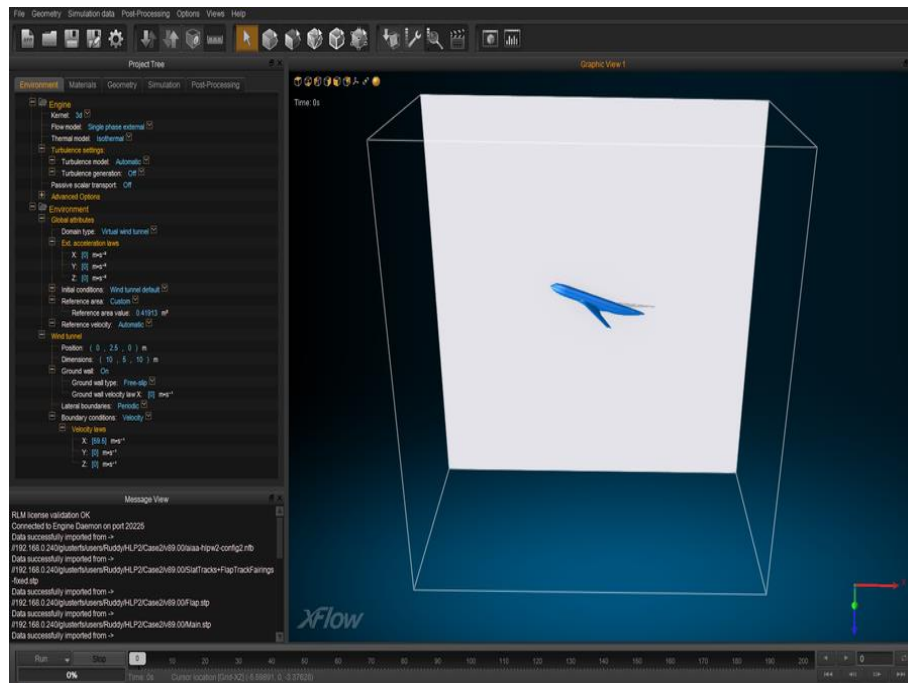
XFlow adalah salah satu *software CFD* yang dirancang khusus untuk perusahaan yang membutuhkan akurasi data pada simulasi aliran, contohnya

pada kasus *transient aerodynamic*, pengelolaan alir, proses kimia, otomotif, mikrofluida, dan interaksi struktur fluida.

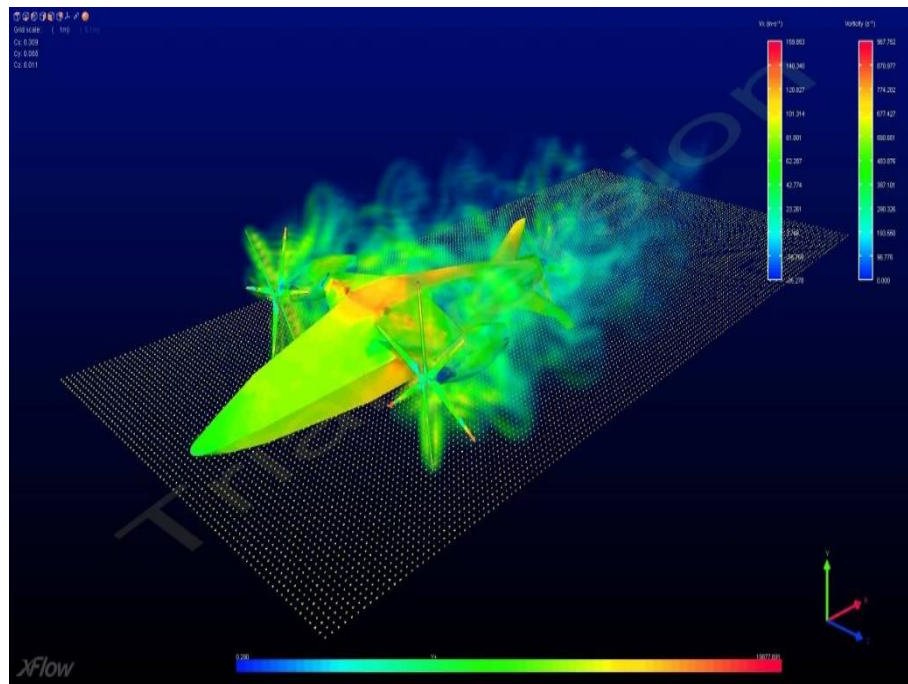


Gambar 2.25. Logo XFlow®

Dalam mekanika statistik *non-ekuilibrium*, persamaan Boltzmann yang ada pada XFlow mampu memproduksi batas hidrodinamik dan juga dapat melakukan *modeling* yang rumit untuk aplikasi *aerospace*. XFlow memiliki proses *meshing* yang lebih baik dibandingkan dengan beberapa *software CFD* lainnya. Tampilan dari XFlow juga lebih simpel dibandingkan dengan *software CFD* lainnya.



Gambar 2.26. Preview tampilan XFlow®



Gambar 2.27. *Preview Postprocessing XFlow®*