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 di dalam sistem tersebut. Mazumder (2012) melakukan analisa aliran *single* dan *multiphase* pada pipa tipe elbow untuk mengetahui karakteristik profil tekanan yang terjadi. Pola karakteristik aliran yang diamati ada pada 6 titik berbeda dengan memberikan variasi 3 jenis kecepatan udara dan 3 jenis kecepatan air. Profil tekanan dan kecepatan pada 6 titik menunjukkan peningkatan pada tekanan di geometri elbow dengan penurunan tekanan pada sisi outlet karena fluida yang meninggalkan elbow.

Behera (2013) menganalisis pengaruh *counter flow* pada *heat exchanger* dari pipa spiral menggunakan aplikasi *CFD Ansys Fluent 13.* Material pipa spiral yang digunakan terbuat dari tembaga dengan fluida yang digunakan adalah air. Variasi yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah temperatur fluida dan diameter pipa.

Akhtari dkk (2013) menggunakan aplikasi *CFD Ansys Fluent 12.1* melakukan penelitian terkait studi numerik pada *heat exchanger* dari a-A1203/air nanofluid yang mengalir melalui pipa elbow ganda. Dalam penelitian ini analisa dilakukan pada 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* berbanding lurus dengan peningkatan laju aliran volume serta konsentrasi partikel dan suhu inlet nanofluid.

Kanade dkk (2015) meneliti tentang efek dari *baffle* alumunium pada *double pipe heat exchanger*. *Baffle* diambil dalam bentuk geometri setengah lingkaran dan seperempat lingkaran yang diatur dalam pipa *heat exchanger* bagian dalam. Parameter yang diteliti dalam penelitian ini adalah total *Residence time*, penurunan tekanan, *heat exchanger coefficient*, dan tingkat perpindahan panas. Pada kondisi

yang sama, *heat exchanger* dengan *baffle* seperempat lingkaran memiliki laju peprindahan panas lebih tinggi dibanding pipa dengan *baffle* setengah lingkaran dan pipa tanpa *baffle*.

Banyak penelitian berbasis *modeling* yang telah dilakukan untuk memprediksi suatu fenomena aliran fluida di dalam pipa. Khususnya penelitian yang dilakukan menggunakan aplikasi *CFD Ansys Fluent*. Penelitian ini akan melanjutkan penelitian terdahulu dengan kasus yang berbeda, yakni menggunakan aplikasi *CFD Ansys Fluent 15* akan melakukan simulasi pada pipa kosentrik horisontal dengan pendinginan searah pada ruang anular dengan kondisi batas yang digunakan adalah laju aliran massa inlet air pendingin, tekanan outlet *steam* dan air pendingin, temperatur inlet dan outlet *steam* dan air pendingin, dengan variasi laju aliran massa inlet *steam*. Selanjutnya akan dilakukan validasi dengan hasil penelitian berbasis eksperimental untuk kasus yang sama yang dilakukan oleh Sukamta dkk (2015).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Definisi Fluida

Fluida adalah suatu zat yang tidak mampu menahan tekanan geser tanpa berubah bentuk. Fluida akan selalu berubah bentuk apabila mengalami tekanan geser. Berbeda dengan zat padat yang akan menunjukkan reaksi deformasi yang terbatas ketika menerima atau mengalami suatu gaya geser.

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, akibatnya 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 adalah sebagai berikut (Yunus A. Cengel dan John M. Cimbala, 2006).

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} \quad \text{.....(2.1)}$$

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)

Berdasarkan kondisinya terhadap waktu, aliran fluida dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

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.

Berdasarkan pola alirannya, aliran fluida dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu :

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 Reynoldssnya 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 percampuran 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 Renoldsnya 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 Reynoldssnya 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.

Untuk aliran dua fasa, distribusi aliran pada masing-masing fasa *liquid* dan uap menjadi aspek yang penting. Distribusi masing-masing alirannya memiliki karakeristik yang dapat dilihat pada pola aliran dua fasa.

Pola aliran fluida multifasa 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*

(www.thermalfluidscentral.org)

b. *Plug flow*

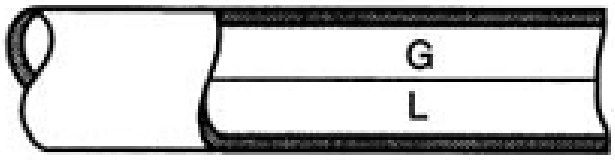
Dalam aliran ini gelembung-gelembung akan berdesakan dan membentuk gelembung yang lebih besar yang bentuknya mirip dengan peluru.

Gambar 2.5. *Plug Flow*

(www.thermalfluidscentral.org)

c. *Stratified flow*

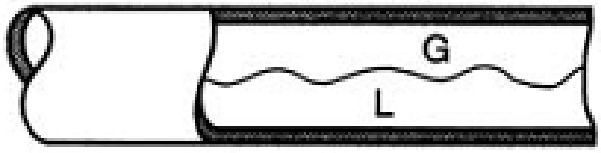
Dalam aliran ini terjadi pemisahan fasa karena perbedaan massa jenis dan gaya gravitasi, dimana fasa gas mengalir pada bagian atas pipa dan fasa cair mengalir pada dasar pipa.



Gambar 2.6. *Stratified Flow*
(www.thermalfluidscentral.org)

d. *Wavy flow*

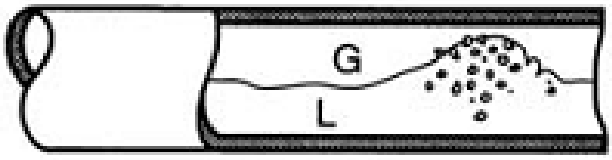
Pola aliran ini terjadi karena naiknya kecepatan aliran uap yang berada di bagian atas pipa yang mengakibatkan garis batas uap-*liquid* terganggu dan terbentuk gelombang.



Gambar 2.7. *Wavy Flow*
(www.thermalfluidscentral.org)

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 *(forthy slug)*.

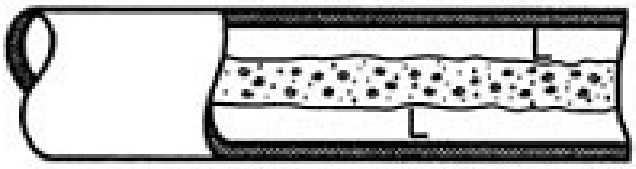


Gambar 2.8. *Slug Flow*
(www.thermalfluidscentral.org)

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*
(www.thermalfluidscentral.org)

2.2.4 Kondensasi

Kondensasi adalah perubahan wujud dari uap menjadi cairan. Kondensasi terjadi apabila temperatur uap berada dibawah temperatur jenuh dari uap tersebut, tetapi dapat juga terjadi bila sebuah uap dikompresi (tekanan ditingkatkan) sehingga menjadi cairan. Cairan hasil kondensasi disebut kondensat.

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 memungkinkan 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 pada *dew point temperature*

(Tdp) maka akan terjadi kondensasi berikut (Yunus A. Cengel dan John M. Cimbala, 2006). *Dew point temperature* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

Tdp = $T_{sat@Pv}$ ……(2.2)

dengan,

Pv = 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 Inggirs dan M. Navier di Perancis sekitar awal tahun 1800. Adapun persamaan-persamaannya adalah sebagai berikut (Yunus A. Cengel dan John M. Cimbala, 2006).

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 :

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

Momentum pada sumbu Y :

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

Momentum pada sumbu Z :

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

c. Persamaan Energi

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

Dengan : x = Koordinat Sumbu X

y = Koordinat Sumbu Y

z = Koordinat Sumbu Z

u = Komponen Kecepatan ke arah sumbu X

v = Komponen Kecepatan ke arah sumbu Y

w = Komponen Keceptan ke arah sumbu Z

t = Waktu

ρ = Densitas

E_t = Energi Total

P = Tekanan

q = *Heat Flux*

R_e = Bilangan Reynolds

P_r = Bilangan Prandtl

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

Ada tiga teknik solusi numerik (metode diskritisasi) aliran yang berbeda, yaitu *finite diffrence, finite element* dan *finite volume methods.* Metode diskritisasi dipilih pada umumnya untuk menentukan kestabilan dari program numerik/*CFD*

yang dibuat atau program *software* yang ada. Beberapa metode diskritisasi yang digunakan untuk memecahkan persamaan-persamaan diferensial parsial, diantaranya adalah (H.K. Versteeg dan W. Malalasekera, 1995):

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 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)*

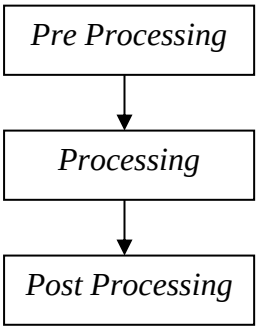
   Finite volume method adalah metode untuk mewakili dan mengevaluasi persamaan diferensial parsial dalam bentuk aljabar. Metode ini sama seperti *finite difference method* dan *finite element method*, nilai-nilai dihitung di tempat terpisah pada geometri yang di *mesh*. Metode ini mengacu pada volume kecil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

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

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 *pre processing*, *processing*, dan *post processing*.



Gambar 2.10. *Flowchart* proses FLUENT®

2.2.6.1 *Pre Processing*

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

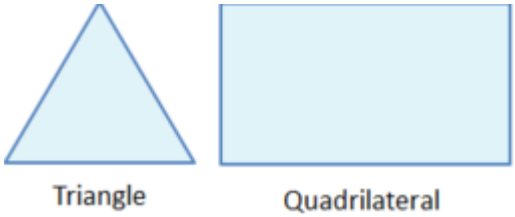
a. Definisi geometri dari benda kerja.

   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 (Yusra, 2008). Semakin baik kualitas *mesh* maka akan semakin tinggi tingkat konvergensinya.

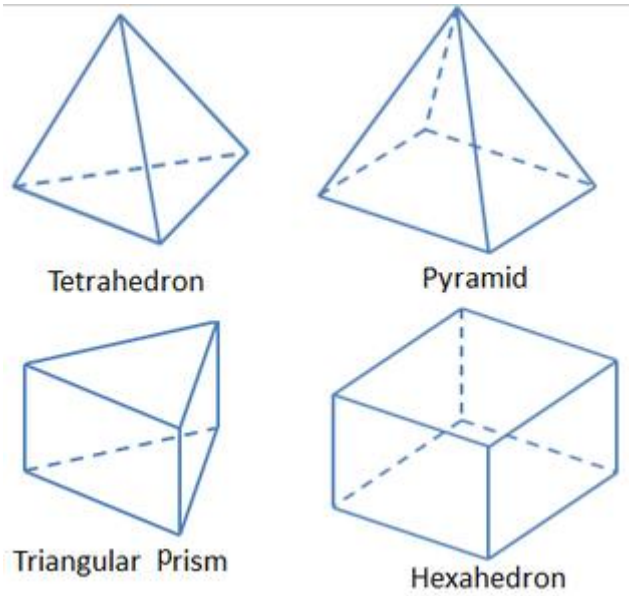
   Secara umum bentuk sel dari proses *meshing* dibagi menjadi dua jenis, yaitu dua dimensi dan tiga dimensi. Untuk sel dua dimensi terdapat dua jenis bentuk sel yaitu Triangle dan Quadrilateral.



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.



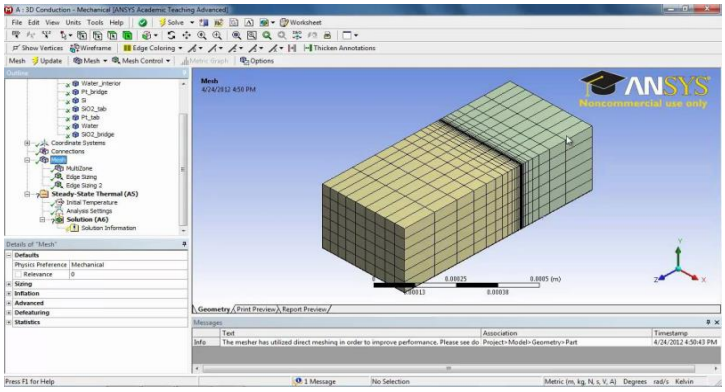
Gambar 2.12. Bentuk Sel Tiga Dimensi

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

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

a. *Structured mesh*

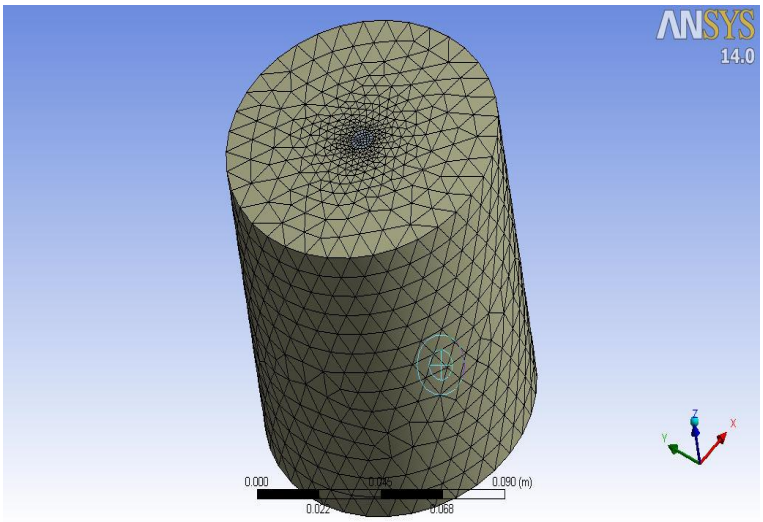
   Structured mesh adalah *meshing* terstruktur,dapat dikenali dari konektivitas *mesh* yang teratur dan rapi. Adapun *mesh* yang biasa menggunakan *structured mesh* adalah Quadrilateral di 2D dan Hexahedra di 3D.



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*

(www.cfd-online.com)

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 akan 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, temperature fluida (apabila mengaktifkan persamaan energi), tekanan *gauge* pada sisi masuk, arah aliran, dan besaran turbulensi.

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

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 correcion* 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.

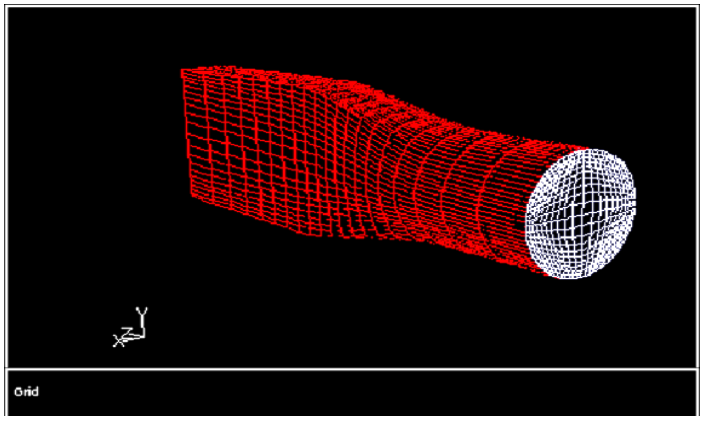
2.2.6.3 *Post Processing*

Post processing merupakan tahapan terakhir dari proses *CFD*, pada tahapan ini akan ditampilkan hasil dari proses perhitungan dari kondisi batas dan metode

solver yang digunakan. Dalam *post processing* dapat memberikan tampilan grafis yang menunjukkan *mesh*, kontur, vektor dan *pathline*.

a. Displaying Mesh

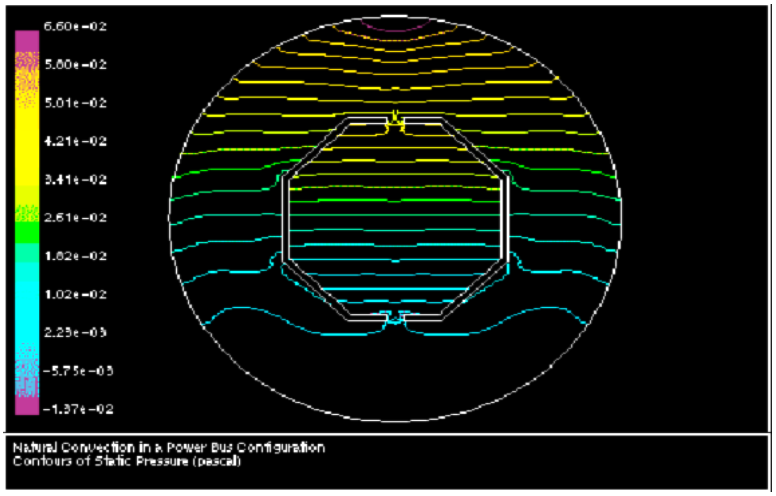
Displaying Mesh digunakan untuk menampilkan *mesh* pada model yang sedang dikerjakan pada saat *setup* kondisi batas atau pada saat memeriksa *solution*.



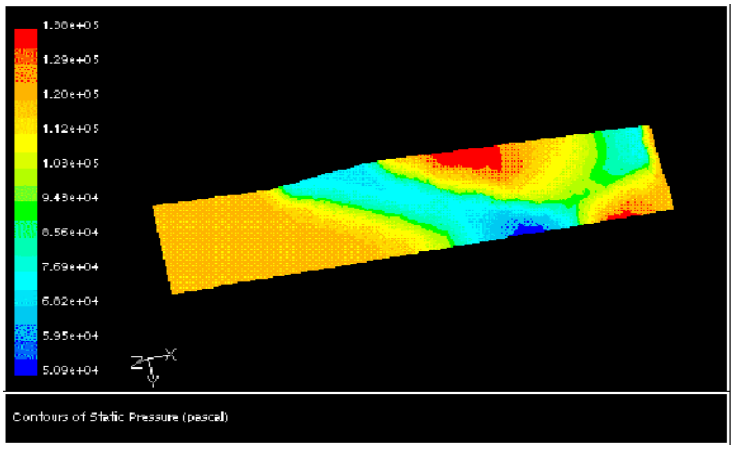
Gambar 2.15. Contoh *Displaying Mesh*
(Ansys User Guide, 2013)

b. Displaying Contours dan *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.



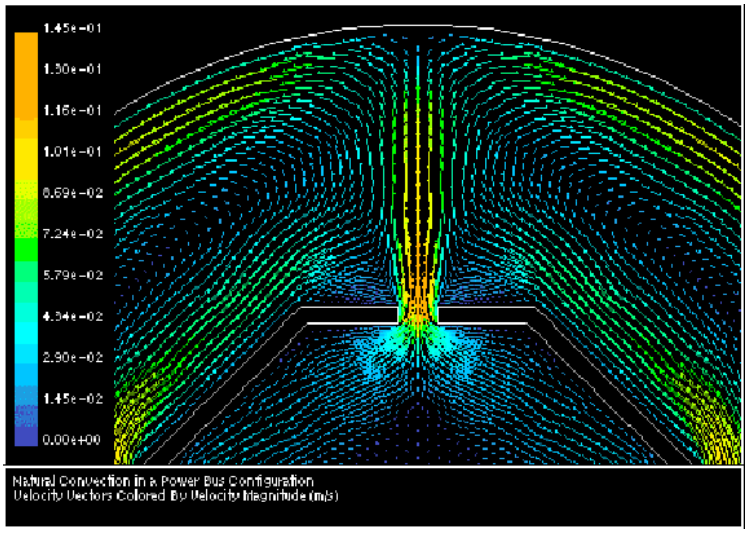
Gambar 2.16. Contoh Tampilan Kontur Tekanan Statik
(Ansys User Guide, 2013)



Gambar 2.17. Contoh Tampilan Kontur Tekanan Statik Dalam Bentuk *Flat*
(Ansys User Guide, 2013)

c. *Displaying Vectors*

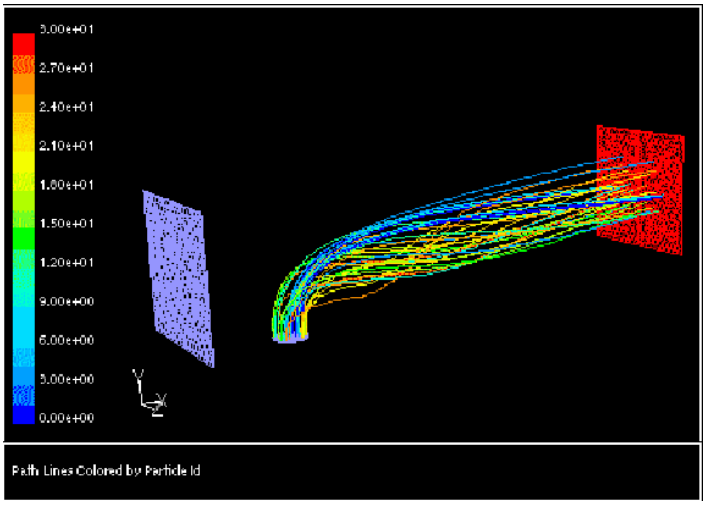
Pada menu *display* ini akan ditampilkan bentuk vektor dari model yang sedang diteliti. Vektor yang ditampilkan dapat berupa tekanan, temperatur ataupun kecepatan.



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)

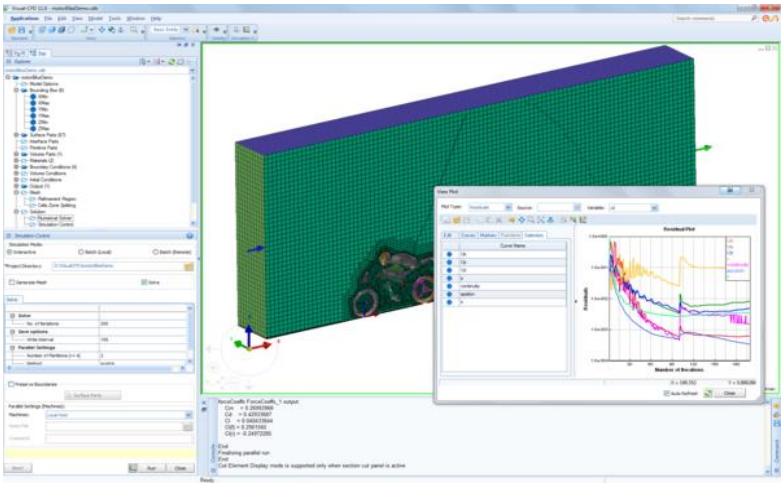
2.2.7 *Software CFD*

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®



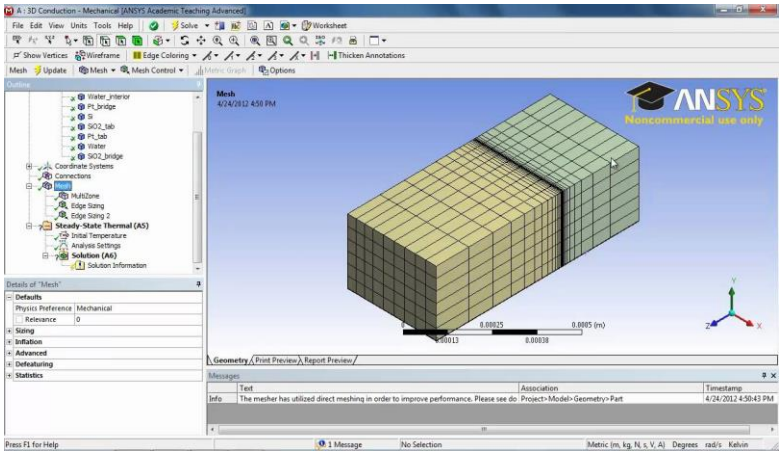
Gambar 2.21. *Preview* OpenFOAM®

b. FLUENT®

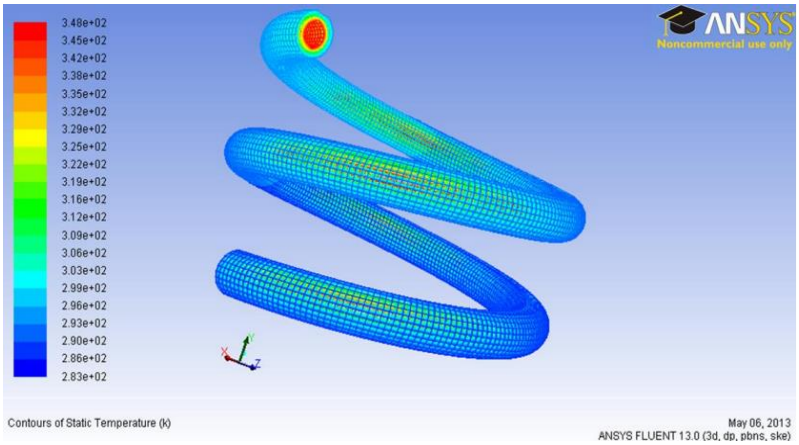
FLUENT® adalah salah satu dari jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga. FLUENT® dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh (grid)* yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah, karena FLUENT® menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap.

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 Post-processing* 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

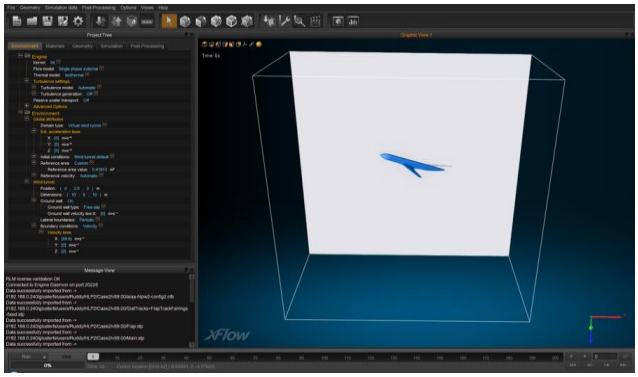
Dalam dunia industry, FLUENT® sering digunakan untuk desain suatu sistem fluida, juga untuk mencari sumber atau analsis kegagalan suatu sistem fluida. klasifikasi penggunaan FLUENT® dalam dunia industri (secara umum): Aerospace, Otomotif, Biomedical, Proses kimia, Semikonduktor, Pertambangan, Petrokimia,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

c. XFlow®

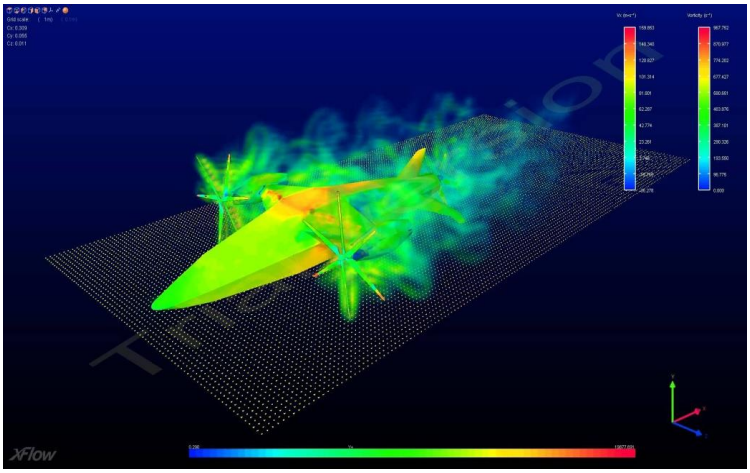
XFlow® adalah salah satu *software CFD* yang dirancang khusus untuk perusahaan yang membutuhkan akurasi data pada simulasi aliran, contohnya pada kasus *transient aerodynamic*, pengelolaan alir, proses kimia, otomotif, mikrofluida, dan interaksi struktur fluida.

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®