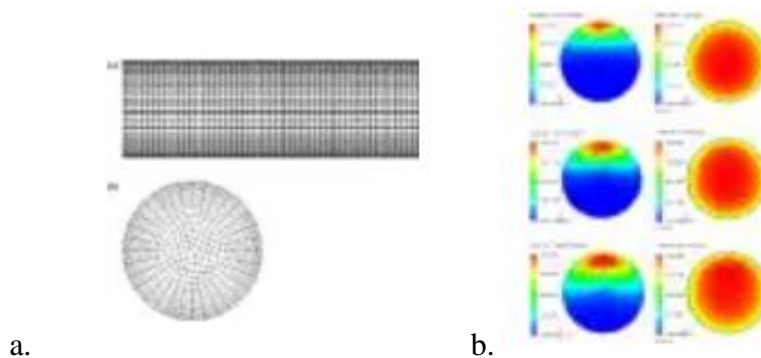


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Ekambara dkk (2008) melakukan penelitian tentang simulasi CFD aliran gelembung dua fase pada pipa horizontal. Hasil penelitian yang dilakukan yaitu aliran gelembung pada pipa horizontal dengan panjang 50,3 mm dan dimodelkan menggunakan volume rata-rata persamaan aliran multifase. Dengan kecepatan superfisial bervariasi air adalah 3,5 – 5,1 m/s dan gas 0,2- 1,0 m/s, dan fraksi volume gas rata-rata bervariasi dalam kisaran 4-16 %. Hasil menunjukkan bahwa fraksi volume maksimal pada dinding pipa bagian atas, peningkatan laju aliran gas pada laju aliran dapat meningkatkan fraksi volume lokal dan aliran cenderung membentuk aliran turbulen.



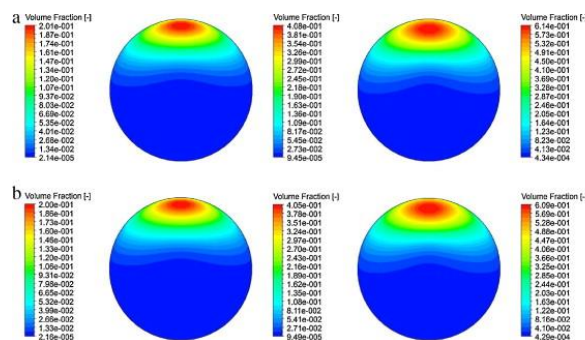
Gambar 2.1 (a) *Meshing* (b) *Volume fraction* pada pipa horizontal
(Ekambara, dkk, 2008)

Sanders dkk (2012) melakukan penelitian tentang permodelan CFD aliran gelembung air-udara pada pipa horizontal terhadap pengaruh dari gelembung menyatu dan terpisah. Dengan hasil penelitian yaitu dengan menggunakan program CFD kode CFX 5.7 untuk menggambarkan evolusi temporal dan spasial populasi gas gelembung. Kecepatan aliran dibandingkan terhadap data eksperimen

dalam pipa horizontal, dengan kecepatan superfisial gas 0,25- 1,34 m/s dan kecepatan superfisial air 3,74-5,1 m/s, dan Volume fraksi rata-rata 4-21. Variasi lokal diprediksi berada dalam perbandingan yang baik dengan hasil pengukuran eksperimen.

Saidi. M (2009) melakukan penelitian tentang simulasi CFD aliran gelembung dua fase pipa horizontal. Hasil penelitian yang dilakukan yaitu dengan menggunakan pipa horizontal dalam diameter 38,1 mm dan panjang 2.000 mm dimodelkan menggunakan FLUENT dalam program CFD dengan kecepatan superfisial liquid bervariasi pada 1,56 m/s dan kecepatan superfisial gas bervariasi dalam kisaran 0,15-0,8 m/s. Fraksi volume gas rata-rata bervariasi dalam kisaran 4% sampai 16%. Data eksperimen yang diperoleh menggunakan *k-epsilon* ukuran gelembung yang terjadi konstan sebesar 1 mm, dengan meningkatnya kecepatan superfisial udara adalah bahwa ia cenderung membentuk aliran pipa turbulen sepenuhnya.

Sherman dkk (2011) melakukan penelitian tentang prediksi distribusi gelembung pada pipa horizontal hasil penelitian yang telah dilakukan ialah dalam penelitian ini distribusi fase internal aliran gelembung air-udara pada pipa horizontal dengan diameter pipa bagian dalam 50,3 mm telah di prediksi menggunakan model keseimbangan populasi. Distribusi radial diprediksi fraksi lokal gas hampa, kecepatan aliran dan konsentrasi antarmuka telah divalidasi terhadap data percobaan hasil numerik menunjukkan bahwa fraksi kekosongan gas dan konsentrasi luas antarmuka memiliki struktur internal yang unik dengan puncak maksimum yang berlaku dekat dinding atas pipa karena efek daya apung.

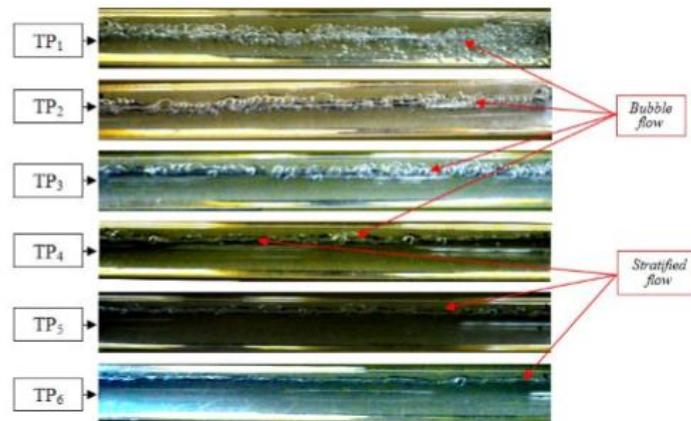


Gambar 2.2 Kontur penampang distribusi fraksi hampa waktu rata-rata di $L/D=253$
(Sherman dkk, 2012)

Arnandi dkk (2010) melakukan sebuah penelitian tentang studi eksperimental koefisien perpindahan kalor aliran gelembung udara-air searah dalam pipa koil helik horizontal. Adapun hasil penelitiannya yaitu dengan menggunakan pipa koil yang terbuat dari pipa tembaga berdiameter dalam 7,02 mm, dengan panjang 1700 mm, diameter coil 150 mm, jarak koil 30 dan 50 mm. Kecepatan superfisial air divariasi 0,302 m/s dan 0,388 m/s, dan kecepatan superfisial udara 0-0,0694 m/s. Laju aliran masa air panas dipertahankan konstan pada 0,05 kg/s dan temperatur masuk 40 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien perpindahan kalor naik dengan bertambahnya kecepatan superfisial air dan udara dan turun dengan bertambahnya jarak koil.

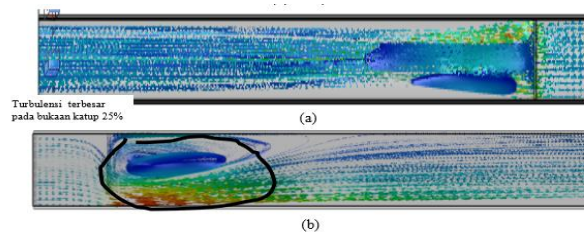
Putro (2007) melakukan penelitian penelitian tentang pengembangan korelasi perpindahan kalor aliran gelembung air-udara berlawanan arah dalam pipa yang dipanaskan. Hasil penelitian yang dilakukan dengan mengalirkan air dari atas dan udara dari bawah dalam bentuk aliran gelembung. Seksi uji terdiri atas pipa tembaga dengan D_1 24 mm panjang 800 mm dililit dengan elemen pemanas listrik sepanjang pipa. Ujung atas dan bawah pipa tembaga disambung dengan pipa transparan untuk mengetahui pola aliran yang terjadi. Dinding dipasang termokopel pada lima titik sepanjang pipa tembaga, sedangkan termokopel pada sumbu pipa di ujung titik sepanjang pipa tembaga, dengan menggunakan korelasi empiris berlaku pada kondisi gas (x) 0,000058 sampai 0,000116, dan fraksi hampa 0,0462 sampai 0,1021, serta fluk kalor listrik 1627,189 W/m² sampai 11398,62 W/m².

Korawan (2015) melakukan penelitian tentang pola aliran dua fase air-udara pada pipa horizontal dengan variasi kecepatan superfisial air. Hasil penelitian yang dilakukan yaitu pola aliran yang teramati adalah *bubble flow*, *slug flow* dan *stratified flow*. Semakin besar nilai U_{sl} mengakibatkan semakin panjang *bubble region* yang terjadi. Dan semakin besar nilai U_{sl} mengakibatkan terjadinya pergeseran perubahan pola aliran dimana pada U_{sl} rendah terjadi perubahan *bubble flow* menjadi *stratified* dan U_{sl} tinggi terjadi perubahan dari *bubble flow* menjadi *slug flow*.



Gambar 2.3 Visualisasi pola aliran pada kecepatan $U_{sl} = 0,55 \text{ m/s}$ (Korawan, 2015)

Rahman dkk (2012) melakukan penelitian tentang simulasi karakteristik *bubble* sebagai indikasi awal terjadinya fenomena kavitasi dengan menggunakan sinyal vibrasi pada pompa sentrifugal dengan menggunakan CFD. Dari hasil simulasi diketahui tekanan pada daerah impeller meningkat dari eye impeller ke daerah sisi keluar aliran fluida pada impeller dan semakin kecil bukaan katup pada pipa masuk maka tekanan pada daerah impeller semakin menurun karena kecepatan aliran fluida yang meningkat, tekanan menurun.



Gambar 2.4 Pola aliran disekitar katup pada bukaan katup 25 % (a) tampak samping (b) tampak atas (Rahman, 2012)

Tzotzi (2010) melakukan penelitian tentang pengaruh properti pada pola aliran gas-cair dua fasa pada pipa horizontal dan pipa bawah. Adapun hasil penelitian menunjukkan penurunan tegangan permukaan dari 72 mN/m (air) ke 35 mN/m (dengan menggunakan butanol) hasil penurunan gas dari tingkat yang lebih besar diperlukan untuk terjadinya gangguan pertama untuk tingkat cairan yang sama.

Sadatomi dkk (2010) melakukan pengujian tentang pengaruh tegangan dua fasa gas-cair pada pipa horizontal berdiameter kecil. Adapun hasil pengujian sifat cair dan diameter pipa berpengaruh kuat pada transisi pola aliran, terutama dalam masa transisi aliran *slug* dan *bubble*. Sifat cair tidak mempengaruhi begitu banyak pada penurunan tekanan gesekan, tetapi berpengaruh kuat pada gaya gesekan antar muka $j_L = 2$ m/s.

Sukamta dkk (2010) melakukan penelitian tentang identifikasi pola aliran dua fasa Uap-Kondensat berdasarkan pengukuran beda tekanan pada pipa horizontal. Adapun hasil penelitian yang dilakukan yaitu pola aliran yang teridentifikasi pada aliran dua fasa air-uap air (kondensat) dari hasil kondensasi uap pada pipa horizontal ini meliputi pola aliran stratified, wavy, plug, pre-slug, dan slug dan dari sinyal grafik gradien tekanan berdasarkan variasi debit uap yang masuk diketahui bahwa semakin tinggi debit uap masuk dengan laju air pendingin yang dianggap tetap, sinyal gradien tekanan disepanjang pipa kondensat juga semakin meningkat secara umum.



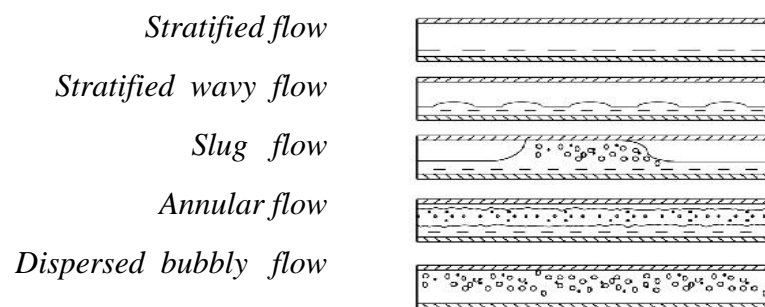
Gambar 2.5 Fenomena gradien tekanan untuk $Q_{\text{uap}} = 0,005456701 \text{ m}^3/\text{s}$ pada $2,75 \text{ m}^3/\text{s}$ (Sukamta, 2010)

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Pola Aliran pada pipa horizontal

Pola aliran (*flow regime*) dalam aliran dua fasa mempunyai arti yang sangat penting, karena hal ini menentukan bagaimana meramalkan perilaku aliran fluida. Perilaku campuran antara cair-gas mengandung banyak hubungan yang saling terkait yang diperlukan dalam penyelesaian model analisa atau korelasi yang digunakan dalam persamaan konversi dua fase (*two-phase conversion equation*).

Pengkajian terhadap pola aliran dua fasa masih sangat luas cakupannya. Banyak ilmu yang masih bisa digali untuk menjelaskan fenomena pola aliran dua fasa yang beragam (*slug*, *plug*, *stratified*, dan *bubble*), baik dari sisi geometri, orientasi atau posisi pipa, maupun proses yang terjadi didalam pipa (*boiling*, kondensasi, campuran cair-gas, dan sebagainya). Untuk mengetahui perubahan pola aliran yang terjadi pada kondisi dan parameter tertentu.

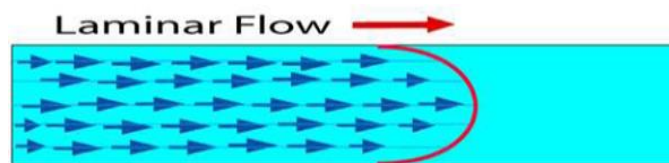


Gambar 2.6. Pola Aliran Gas-Cair Pada Pipa Horizontal (Guo, 2015)

1. Aliran strata licin (*stratified flow*), dimana permukaan bidang sentuh liquid-gas sangat halus. Tetapi pola aliran seperti ini biasanya tidak terjadi, batas fase hampir selalu bergelombang.
2. Aliran strata gelombang (*stratified wavy flow*), dimana amplitude gelombang meningkat karena kenaikan kecepatan gas.
3. Aliran sumbat liquid (*slug flow*), dimana amplitudo gelombang sangat besar hingga menyentuh bagian atas pipa.
4. Aliran cincin (*annular flow*), sama dengan pipa vertikal hanya liquid film lebih tebal didasar pipa dibandingkan dibagian atas.
5. Aliran gelembung yang tersebar (*dispersed bubbly flow*), dimana gelembung gas cenderung untuk mengalir pada bagian atas pipa.

2.2.2. Aliran laminar

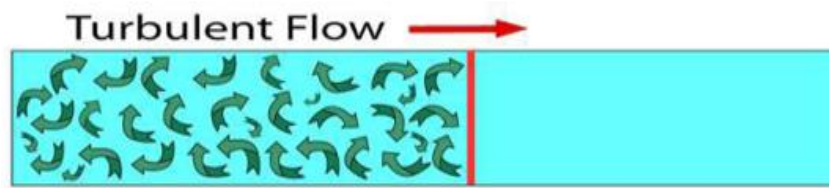
Aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan yang membentuk garis-garis alir dan tidak berpotongan satu sama lain. Alirannya relatif mempunyai kecepatan rendah dan fluidanya bergerak sejajar (laminae) & mempunyai batasan-batasan yang berisi aliran fluida. Aliran laminar adalah aliran fluida tanpa arus turbulents (Pusaran air). Partikel fluida mengalir atau bergerak dengan bentuk garis lurus dan sejajar. Laminar adalah ciri dari arus yang berkecepatan rendah, dan partikel sedimen dalam zona aliran berpindah dengan menggelinding (*rolling*) ataupun terangkat (*saltation*). Pada laju aliran rendah, aliran laminar tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir sepanjang aliran. Aliran laminar mempunyai bilangan *Reynold* lebih kecil dari 2300.



Gambar 2.6 Aliran Laminar

2.2.3. Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal tersebut garis alir antar partikel fluidanya saling berpotongan. Turbulen mentransport partikel-partikel dengan dua cara; dengan penambahan gaya fluida dan penurunan tekanan lokal ketika pusaran turbulen bekerja padanya. Keduanya adalah penyebab terjadinya transportasi pasir sepanjang bawah permukaan. Aliran turbulen mempunyai bilangan *reynold* yang lebih besar dari 4000.



Gambar 2.7 Aliran Turbulen

Osborne Reynolds yang pertama kali menemukan dan mengklasifikasikan jenis aliran pada fluida. Untuk menentukan aliran itu *turbulence* atau laminar harus dicari terlebih dahulu *Reynolds* numbernya dengan persamaan:

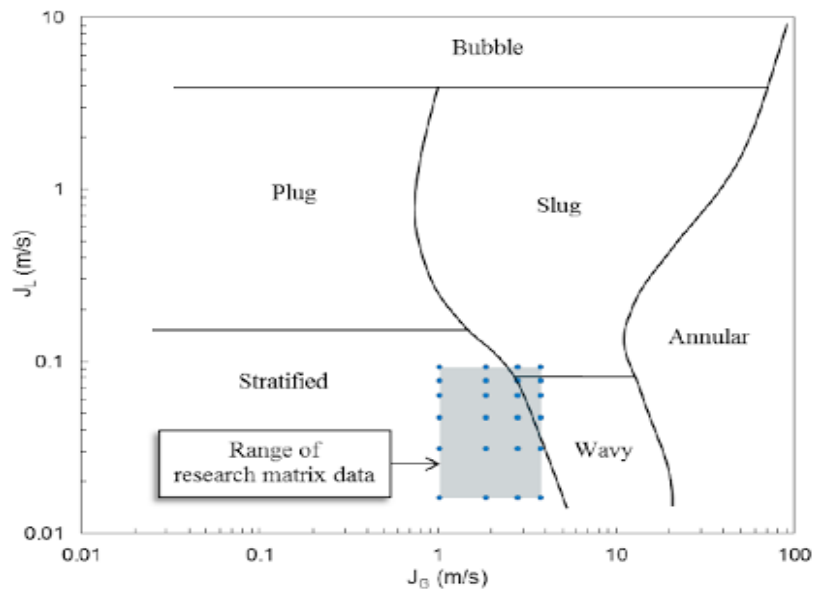
$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana terdapat variable massa jenis , kecepatan, diameter dan juga viskositas. Sehingga semakin kecil viskositas nya maka bilangan *Reynolds* nya akan semakin besar begitu pula sebaliknya. Jika kecepatan aliran semakin kecil maka bilangan *Reynolds* nya akan semakin kecil pula. Hubungan antara bilangan Reynolds dengan penentuan apakah aliran suatu fluida yang kita tinjau memiliki profil yang laminar, turbulence atau transisi dapat diketahui dengan:

- a. Apabila *Reynolds number* didapatkan hasil < 2000 maka aliran tersebut dinyatakan sebagai aliran Laminar
- b. Apabila *Reynolds number* didapatkan hasil $2000-x-4000$ maka aliran tersebut dinyatakan sebagai aliran transisi
- c. Apabila *Reynolds number* didapatkan hasil >4000 maka aliran tersebut dinyatakan sebagai aliran *Turbulence*

Untuk dapat mengetahui aliran ini *turbulence* atau laminar sangat mudah yaitu lihat fluida apa yang mengalir dan cari viskositasnya. Jika viskositasnya sangat kecil maka kemungkinan besar aliran ini merupakan aliran *turbulence*. Contoh saja udara sudah dipastikan *turbulence* karena memiliki viskositas lebih kecil dari $10e-5$ sehingga nilai *Reynolds* numbernya sudah pasti jauh diatas 4000.

Karena penelitian ini tidak menggunakan data eksperimen jadi untuk data kecepatan superfisial air dan kecepatan superfisial udaranya menggunakan peta pola aliran dari penelitian oleh Mandhane, dkk. Yang telah teruji dan dipatenkan serta menjadi acuan data untuk penelitian internasional. Pada gambar 2.2 berikut adalah peta pola aliran yang menjadi data acuan penelitian ini:



Gambar 2.8. Peta Pola Aliran (Mandhane dkk, 1974)

Perbedaan antar fasa yang mengalir didalam pipa akan membentuk banyak perubahan pola aliran, hal ini dikarenakan fasa fluida yang berbeda, orientasi dan geometri pipa dimana fluida-fluida yang mengalir, dan *flow rates* dari tiap fasa. Pengaruh *elbow* terhadap pola aliran pada pipa horizontal terlihat nyata untuk berbagai variasi *Superficial Liquid Velocity* serta variasi β , hal yang menarik untuk diketahui bahwa pada kasus kecepatan superfisial *liquid* yang tinggi, *bubbly flow* cenderung berubah menjadi *churn flow* sedangkan pada kecepatan *superficial liquid* yang rendah *bubbly flow* cenderung menjadi *stratified flow* (korawan, 2015).

Kata *superficial velocity* dari tiap fasa bisa digambarkan sebagai *volumetric flux*, yaitu *flow rate* dari tiap fasa dibagi area *pipe cross sectional* dengan asumsi bahwa fasa mengalir sendiri didalam pipa. Sehingga untuk

superficial gas velocity dan *superficial liquid velocity* bisa diperoleh sebagai berikut:

$$j_G = \frac{Q_G}{A} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$j_L = \frac{Q_L}{A} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

j_G = Kecepatan *superficial gas* (m/s)

Q_L = *Liquid flow rate* pada pipa (m^3/s)

j_L = Kecepatan *superficial liquid* (m/s)

A = Luas pipa pada area *cross sectional* (m^2)

Q_G = *Gas flow rate* pada pipa (m^3/s)

2.2.4. Aliran *bubble*

Dalam aliran gelembung fase gas atau uap disebarkan sebagai gelembung yang mempunyai ciri tersendiri dalam fase cairan secara kontiniu. Pada satu sisi gelembung bisa kecil dan berbentuk bulat dan disisi lain gelembung gelembung bisa besar dan berbentuk dengan bentuk bulat dan datar. Dalam kondisi ini ukuran gelembung tidak mendekati diameter pipa tetapi diperkirakan mempunyai ukuran yang sama. Aliran *bubble* dapat terbentuk jika besar kecepatan aliran udaranya rendah dari pada kecepatan aliran air.

2.3. Computation Fluid Dynamics (CFD)

Computation Fluid Dynamics (CFD) adalah analisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena terkait seperti reaksi

kimia dengan cara simulasi berbasis komputer. *Computation Fluid Dynamics* (CFD) memprediksi aliran berdasarkan:

1. Model matematika (persamaan diferensial parsial), khususnya memecahkan persamaan *Navier-Stokes*.
2. Metode numerik (teknik solusi dan diskritisasi).
3. *Tools* perangkat lunak (*solver, tools pre- dan postprocessing*).

2.3.1. Penggunaan CFD

CFD dapat dipergunakan bagi:

- a. Arsitek untuk mendesain ruang atau lingkungan yang aman dan nyaman.
- b. Desain kendaraan untuk meningkatkan karakter aerodinamiknya.
- c. Analisis kimia untuk memaksimalkan hasil dari reaksi kimia dalam peralatan mereka.
- d. Insinyur petrokimia untuk strategi optimal dari *oil recovery*.
- e. Ahli biomekanik untuk mencari rahasia dari gerakan burung sampai dengan lumba-lumba.
- f. Untuk memodelkan suatu aliran fluida yang mengalir baik di ruang terbuka maupun didalam suatu ruangan.
- g. Dokter atau ahli bedah untuk mengobati penyakit arterial (*computational hemodynamics*).
- h. Meteorologis (ahli cuaca) untuk meramalkan cuaca dan memperingatkan akan terjadinya bencana alam.
- i. Ahli safety untuk mengurangi risiko kesehatan akibat radiasi dan zat berbahaya lainnya.
- j. Analisis *failure* untuk mencari sumber-sumber kegagalan misalnya pada suatu sistem pembakaran atau aliran uap panas.
- k. Organisasi militer untuk mengembangkan senjata dan mengestimasi seberapa besar kerusakan yang diakibatkannya.

2.3.2. Proses Simulasi CFD

Terdapat tiga tahapan yang harus dilakukan ketika kita melakukan simulasi CFD, yaitu: *preprocessing*, *solving* dan *postprocessing*.

- a. *Preprocessing* merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisis sebuah model CFD. Teknisnya adalah membuat model dalam paket CAD (*computer aided design*), membuat *mesh* yang cocok atau sesuai, kemudian menerapkan kondisi batas dan sifat-sifat fluidanya.
- b. *Solving* (program inti pencari solusi) CFD menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat *preprocessing*.
- c. *Postprocessing* merupakan langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa gambar, kurva dan animasi.

2.4. FLUENT

Fluent dapat menyelesaikan suatu kasus aliran fluida dengan menggunakan *mesh (grid)* yang tidak terstruktur dengan cara yang mudah, karena menyediakan *mesh* yang tidak terstruktur. *Fluent* dapat juga memperhalus atau memperbesar *mesh* yang sudah ada.

Fluent didukung oleh jenis *mesh* tipe 2D *triangular-quadrilateral*, 3D *tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge*, dan *mesh* campuran (*hybrid*). *Fluent* juga dapat dijalankan sebagai proses terpisah secara simultan *klien desktop workstation* dan *computer server*. *Fluent* memiliki struktur data yang efisien dan lebih fleksibel, karena *fluent* ditulis dalam bahasa C.

Fluent sering digunakan karena memiliki kelebihan:

- a. *Fluent* mudah untuk digunakan
- b. Model yang realistic (tersedia berbagai pilihan solver)
- c. Diskritisasi atau meshing model yang efisien (dalam GAMBIT)
- d. Cepat dalam penyajian hasil (bisa dengan paralel komputer)
- e. Visualisasi yang mudah untuk dimengerti

Computational fluid Dynamics (CFD) sering digunakan untuk desain suatu sistem fluida dapat juga digunakan untuk mencari sumber atau analisis kegagalan suatu sistem fluida. Penggunaan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) di dunia industri banyak terdapat dalam bidang : Otomotif, *Biomedical*, *Equipment Manufacturing*, *Chemical Processing*, Semikonduktor, *Aerospace*.

1. Otomotif

Program CFD dipakai oleh banyak perusahaan otomotif. Sistem ini dipakai guna mengetahui performa pada komponen-komponen seperti pompa, rem, kompresor, *manifold*, ban, *headlamp* dll.

2. *Biomedical*

Computational Fluid Dynamic (CFD) dipakai untuk mengetahui bagaimana sistem yang ada di tubuh kita bekerja, seperti aliran darah nadi, masuknya udara pada hidung, pengembangan pompa jantung, dll.

3. *Equipment Manufacturing*

Didalam industri manufaktur CFD digunakan dalam pembuatan *impeller*, *turbin*, *fan*, *propeller*, *vanes*, *ducting*, *valve*, *piping*, *seal* bahkan dalam pembuatan sistem.

4. *Chemical Processing*

Computational Fluid Dynamic (CFD) dipakai dalam proses kimia untuk membuat pemodelan yang melibatkan beberapa fasa berbeda, seperti cair, gas dan padat. Proses kimia yang sering dimodelkan adalah *mixing*, *separation*, *reaction*, *combustion*, *filtration* dan *drying*.

5. Semikonduktor

Pemodelan di industri ini sangat berperan aktif dalam memodelkan *clean clean room ventilation, air handling, wafer processing, optimisasi furnace*. Pemodelan CFD di bidang ini sudah mencapai teknologi plasma.

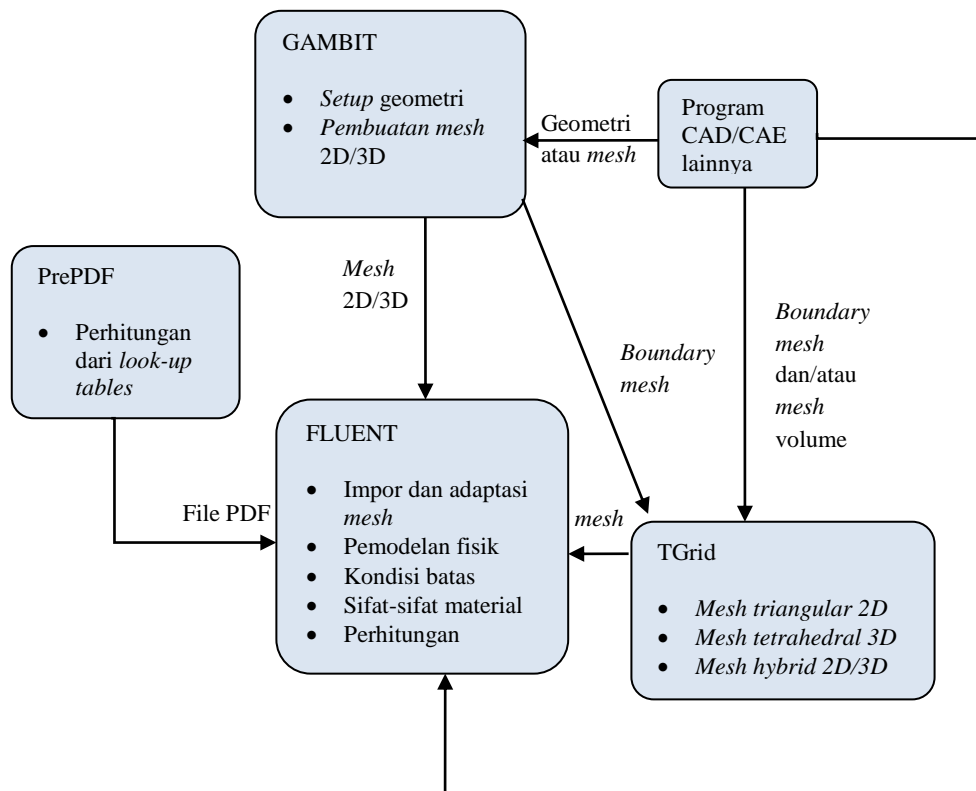
6. *Aerospace*

Program CFD dipakai untuk menganalisis *external aerodynamics, avionics cooling, fire suppression, the icing, engine performance, life support, etc*. Di dunia industri program *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dipakai oleh produsen pesawat militer, penumpang, dan pesawat luar angkasa.

2.4.1. Struktur Program

Dalam satu paket program *Fluent* terdapat beberapa produk, yaitu:

- a. *Fluent*
- b. PrePDF, merupakan *preprocessor* untuk memodelkan *non premised* pada *Fluent*.
- c. GAMBIT, merupakan *preprocessor* tambahan yang dapat membuat *volume mesh* dari *boundary mesh* yang sudah ada.
- d. *FILTER* untuk mengimpor *mesh* permukaan atau *volume* dari program CAD/CAE, seperti *ANSYS, CGNC, I-DEAS, NASTRAN, PATRAN*, dll



Gambar 2.9. Struktur Komponen Program *fluent*

2.4.2. Gambaran Penggunaan *Fluent*

1. Merencanakan Analisis CFD

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan ketika akan menyelesaikan suatu kasus dengan menggunakan *Fluent*, yaitu:

- a. Menentukan tujuan permodelan
- b. Pemilihan model komputasional
- c. Pemilihan model fisik
- d. Penentuan prosedur

2. Kondisi Batas dan Parameter pada Kondisi Batas

Untuk mendefinisikan suatu kasus, harus dimasukkan informasi pada variabel aliran pada domain kasus tersebut, antara lain fluks massa momentum, energi dll.

Data yang diperlukan pada batas tergantung dari tipe kondisi batas dan model fisik yang dipakai (turbulensi, persamaan energi, multifasa, dll). Data yang diperlukan pada kondisi batas merupakan data yang sudah diketahui atau data yang dapat diasumsikan. Tetapi asumsi data yang dipakai harus diperkirakan mendekati yang sebenarnya. Input data yang salah pada kondisi batas akan sangat berpengaruh dengan hasil simulasi.

1. *Velocity Inlet*

Kondisi batas *velocity inlet* digunakan untuk mendefinisikan kecepatan aliran dan besaran skalar lainnya pada sisi masuk aliran. Kondisi batas ini hanya digunakan untuk aliran *incompressible*.

2. *Mass Flow Inlet*

Nilai tekanan *gauge* digunakan sebagai tebakan awal oleh FLUENT, selanjutnya akan dikoreksi sendiri sejalan dengan proses iterasi. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulen sama dengan kondisi batas *velocity inlet*.

3. *Pressure Inlet*

Data tekanan total (*absolute*), tekanan *gauge*, temperatur, arah aliran dan dari nilai tekanan operasi dan tekanan *gauge*. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulensi sama dengan kondisi batas *velocity inlet*.

4. *Pressure Outlet*

Pola aliran ini harus dimasukkan nilai tekanan statik, temperatur aliran balik (*backflow*) dan besaran turbulen aliran balik kondisi batas yang dipakai pada sisi keluar fluida dan data tekanan pada sisi keluar dapat di ketahui nilai sebenarnya.

5. *Outflow*

Kondisi batas ini digunakan apabila data keluar pada sisi keluar tidak diketahui sama sekali pada sisi keluar di ekstrapolasi dari data yang ada pada aliran sebelum mencapai sisi keluar.

6. *Pressure Far-Field*

Kondisi batas ini untuk memodelkan aliran kompresibel *free-stream* yang mempunyai dimensi yang sangat panjang jarak antara *inlet* dan *outlet*

jauh. Besaran yang dimasukkan adalah tekanan *gauge* bilangan *Mach*, temperatur aliran arah aliran dan besarnya turbulensi pada sisi keluar.

7. Inlet Vent dan Outlet Vent

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

8. Intake Fan dan Exhaust Fan

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

9. 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.

10. Symmetry dan Axis

Pada panel kondisi batas untuk kedua kondisi batas ini tidak ada *input* data yang diperlukan. 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*.

11. Periodic

Kondisi batas ini hanya dapat digunakan pada kasus yang mempunyai medan aliran dan geometri yang *periodic*, baik secara translasi atau rotasi.

12. *Cell Zone : Fluid*

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

13. *Cell Zone : Solid*

Data yang dimasukkan hanya material padatan didefinisikan *heat generation rate* pada kontinum *solid* . sedangkan kondisi batas ini digunakan pada kontinum model yang didefinisikan sebagai padatan.

14. *Porous Media*

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

15. **Kondisi Batas**

Terdapat beberapa kondisi batas yang dapat dikelompokkan menjadi kelompok kondisi batas internal. Kondisi batas ini digunakan di bidang yang berbeda ditengah medan aliran yang tidak memiliki ketebalan.

2.5. Persamaan Umum FLUENT

2.5.1. Persamaan Kekekalan Massa

Langkah pertama dalam penurunan persamaan kekekalan massa adalah menuliskan kesetimbangan massa untuk elemen fluida.

Kelajuan penungkatan massa = Neto kelajuan aliran massa

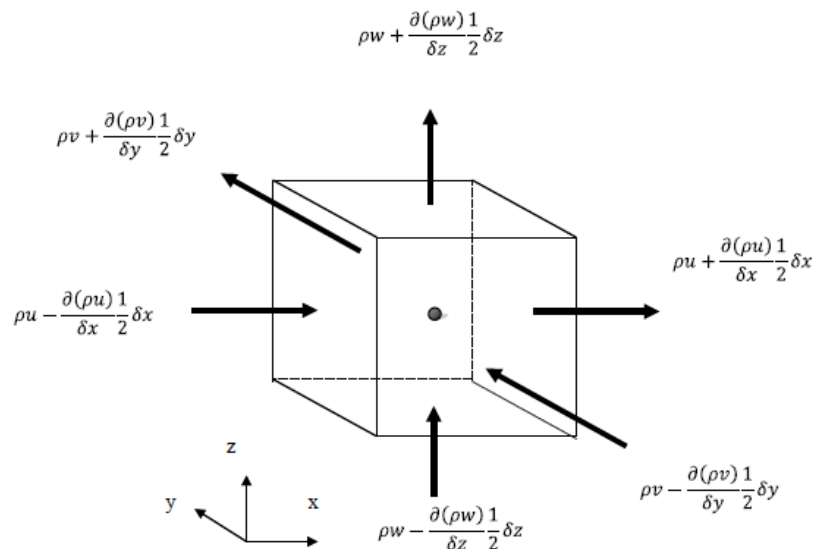
Kelajuan peningkatan massa dalam elemen fluida adalah :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \delta \times \delta y \delta z) = \frac{\delta \rho}{\delta t} \delta x \delta y \delta z \dots \dots \dots (2.4)$$

Selanjutnya kita perlu menerangkan kelajuan massa aliran melintasi sebuah bidang elemen yang diberikan oleh hasil dari densitas, luas dan komponen kecepatan normal terhadap bidang dari gambar 2.4 dapat dilihat bahwa neto kelajuan aliran massa kedalam elemen bidang melewati boundarynya diberikan oleh :

$$\begin{aligned} & \left(\rho u - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z - \left(\rho u + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z \\ & + \left(\rho v - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z - \left(\rho v + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z \\ & + \left(\rho w - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y - \left(\rho w + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y \dots \dots \dots (2.5) \end{aligned}$$

Aliran-aliran yang sejajar kedalam elemen menghasilkan sebuah peningkatan massa dalam elemen dan mempunyai sebuah tanda positif dan aliran yang meninggalkan elemen diberi tanda negatif.



Gambar 2.10 massa mengalir kedalam dan keluar elemen fluida

(Verteeg, dkk, 1995)

Kelajuan peningkatan massa ke dalam sebuah elemen sama halnya dengan neto kelajuan aliran massa kedalam elemen fluida melintasi bidangnya. Semua hasil akhir kesetimbangan massa disusun pada sisi sebelah kiri dengan tanda yang sama menghasilkan:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (2.6)$$

Kekekalan massa ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho u) = 0 \dots\dots\dots (2.7)$$

Persamaan (2.6) adalah *unsteady*, kekekalan massa atau persamaan kontinuitas tiga dimensi pada sebuah titik fluida kompresibel. Pertama pada sisi sebelah kiri kelajuan perubahan waktu dari densitas (massa persatuan volume). Kedua menjelaskan neto aliran massa keluar melintasi boundarynya disebut suku konvektif.

Untuk fluida inkompresibel (*liquid*) densitas adalah konstan dan persamaan pada (2.6) menjadi :

$$\text{div}(\rho u) = 0 \dots\dots\dots (2.8)$$

Atau dalam penjabarannya:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (2.9)$$

2.5.2. Persamaan Kekekalan Momentum

Hukum newton kedua menyatakan bahwa laju perubahan momentum partikel fluida sama dengan jumlah gaya partikel.

Tingkat kenaikan momentum partikel fluida = jumlah gaya pada partikel

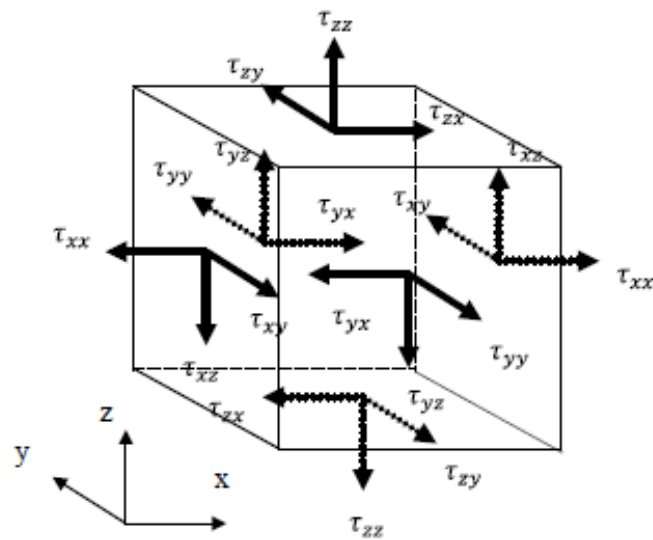
Kelajuan peningkatan momentum x, y dan z persatuan volume partikel fluida diberikan :

$$\begin{aligned}\rho \frac{Du}{Dt} &= \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \mathbf{u}) \\ \rho \frac{Dv}{Dt} &= \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \mathbf{u}) \\ \rho \frac{Dw}{Dt} &= \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \mathbf{u}) \dots \dots \dots (2.10)\end{aligned}$$

Untuk membedakan dua tipe gaya partikel fluida :

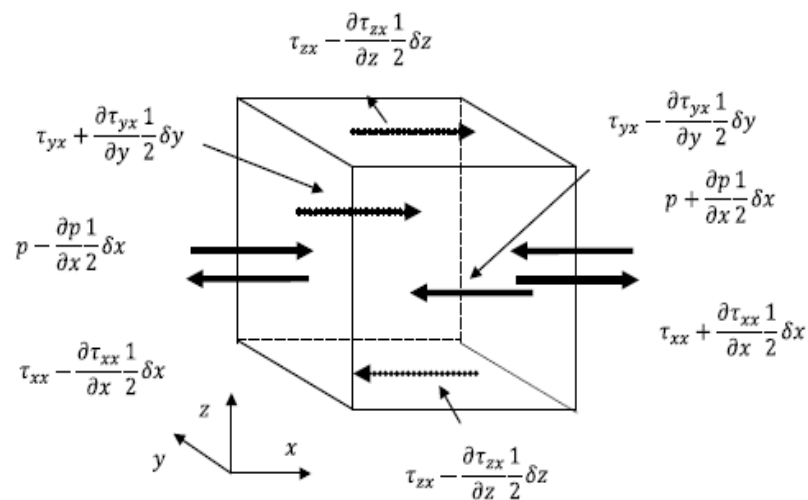
- a. Gaya-gaya permukaan :
 - Gaya tekanan
 - Gaya Viskos
- b. Gaya-gaya badan :
 - Gaya Gravitasi
 - Gaya *Sentrifugal*
 - Gaya *Coriolis*

Keadaan tegangan dari sebuah elemen fluida didefinisikan dalam suku-suku tekanan dan sembilan komponen tegangan viskos ditunjuk dalam gambar 2.5 tekanan normal di tandai oleh p . Tegangan viskos ditandai oleh τ . τ_{ij} digunakan untuk menandakan arah tegangan viskos. Akhiran i dan j dalam τ_{ij} menandakan bahwa komponen ategangan bekerja dalam arah j pada sebuah permukaan normal ke arah i .



Gambar 2.11 komponen tegangan pada tiga bidang elemen fluida
(versteeg, dkk, 1995)

Mempertimbangkan arah komponen x dari gaya yang disebabkan komponen tegangan τ_{xx} , τ_{zx} , tekanan. Hasil dari gaya sebuah tegangan permukaan adalah hasil tegangan dan luas. Gaya yang sejajar dari arah sebuah *axis* koordinat menjadi sebuah tanda positif dan dalam arah yang berlawanan sebuah tanda negatif. Neto gaya dalam arah x adalah jumlah komponen gaya yang bekerja pada elemen fluida tersebut.



Gambar 2.12 komponen tegangan arah x (Verteeg, dkk, 1995)

Pada pasangan sisi (timur, barat) :

$$\left[\left(p - \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) - \left(\tau_{xx} - \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z + \left[- \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) + \left(\tau_{xx} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z = \left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \right) \delta x \delta y \delta z \dots\dots\dots(2.11)$$

Gaya total dalam arah x pada pasangan sisi (utara, selatan) :

$$- \left(\tau_{yx} - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z + \left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \delta x \delta y \delta z \dots\dots\dots(2.12)$$

Gaya total dalam arah x pada sisi bawah dan atas:

$$- \left(\tau_{zx} - \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y + \left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \delta x \delta y \delta z \dots\dots\dots(2.12)$$

Gaya total persatuan volume pada fluida yang disebabkan tegangan permukaan ini sama dengan jumlah dari (2.10), (2.11), (2.12) dibagi oleh volume :

$$\frac{\partial (-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \dots\dots\dots (2.13)$$

Tanpa pertimbangan gaya badan dalam lebih detail lagi pengaruh secara menyeluruh dapat dimasukan dengan mendefinisikan sebuah *source* S_{MX} dai momentum x persatuan volume persatuan waktu.

Komponen x persamaan momentum ditentukan dengan menetapkan perubahan momentum x dari partikel fluida sama dengan total gaya arah x pada elemen yang disebabkan tegangan permukaan ditambah peningkatan momentum x disebabkan *source* :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial (-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{MX} \dots\dots\dots (2.14)$$

Untuk membuktikan bahwa komponen y persamaan momentum :

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial (-p + \partial \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{MX} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dan juga komponen z persamaan momentum :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \frac{\partial (-p + \partial \tau_{zz})}{\partial z} + S_{MX} \dots \dots \dots (2.16)$$

2.6. General

2.6.1. Solver

a. Pressure-based

Medan kecepatan diperoleh dari persamaan momentum, konversi massa (kontinuitas) dicapai dengan memecahkan persamaan tekanan, energi diselesaikan secara berurutan dalam metode terpisah.

b. Density-based

Persamaan yang mengatur kontinuitas, momentum jika perlu energi dan pengangkutan diselesaikan bersama. Persamaan skalar diselesaikan secara terpisah berat jenis dapat dijalankan berdasarkan implisit dan eksplisit.

2.7. Permodelan K- epsilon

2.7.1. Standart

Merupakan model turbulensi semi empiris yang lengkap. Walaupun masih sederhana, memungkinkan untuk dua persamaan yaitu kecepatan turbulen (*turbulent Velocity*) dan skala panjang ditentukan secara bebas. Model ini dikembangkan oleh jones dan lauder. Kesetabilan , ekonomis dari segi komputasi dan akurasi yang cukup memadai membuat model ini sering digunakan dalam simulasi fluida dan perpindahan panas.

2.7.2 *Renormalization-group (RNG)*

Model ini di turunkan dengan menggunakan metode statis yang diteliti. Model ini merupakan perbaikan metode *K-E Standart*, bentuk yang digunakan sama. Perbaikan meliputi :

- Model *RNG* memiliki besaran tambahan pada persamaan laju disipasi (Epsilon), mampu meningkatkan akurasi untuk aliran yang terhalang secara tiba-tiba.
- Efek putaran pada turbulen juga telah disediakan dan meningkatkan akurasi pada aliran berputar.

Menyediakan dormulasi analisis untuk bilangan turbulen, sedangkan model *K-E standart* menggunakan bilangan yang ditentukan pengguna (konstan).

2.7.3. *Realizable*

Merupakan model penggabungan yang relatif baru berbeda dengan model *K-E standart* dalam dua hal yaitu:

- Terdapat formulasi baru untuk memodelkan viscositas turbulen.
- Sebuah persamaan untuk dissipasi, E , digunakan untuk menghitung fluktuasi virtisitas rata-rata.

Istilah *realizable* memiliki arti bahwa model tersebut memenuhi beberapa batasan matematis pada bilangan Reynold, konsisten dengan bentuk fisik aliran turbulen. Kelebihannya adalah lebih akurat untuk memprediksi laju aliran fluida dari pancaran jet/nosel. Model ini memberikan performa yang baik untuk aliran yang melibatkan putaran, lapisan batas gradien tekanan yang besar, separasi, dan sirkulasi.

2.8. Solution Methods

2.8.1 Scheme

Berikut adalah beberapa pilihan skema yang dapat digunakan dalam pemilihan metode perhitungan dalam *Solution Methods*:

- *Semi Impincit Method For Presure Linked Equation (SIMPLE)*
Simple digunakan pada skema kasar. Dan masih sederhana.
- *SIMPLE Consistent (SIMPLEC)*
Dapat mempercepat konvergen untuk kasus yang sederhana, misalnya aliran laminar dengan bentuk geometri yang tidak terlalu kompleks.
- *Presure Impincit With Splitting of Operators (PISO)*
Untuk aliran transien atau kasus dengan mesh yang mengandung *skewness* tinggi.
- *Coupled*
Berdasarkan hasil gabungan tekanan solver (konvergensi lebih cepat dari *segregated*).

2.8.1. Gradient

- *Least Squared Cell Based*
Digunakan untuk persamaan konvesi massa, momentum, energi, serta besaran sekalar lainnya seperti turbulen dan reaksi kimia.
- *Green-Gauss Cell Based*
Untuk menghitung jumlah sel sehingga simulasi tidak memerlukan waktu yang terlalu lama, tetapi hasil simulasi kurang akurat.
- *Green-Gauss Note Based*
Digunakan untuk perhitungan berdasarkan jumlah note dengan menggunakan rata-rata dalam sel yang mendefinisikan simpul tersebut.

2.8.2. Pressure

- *Presto*

Digunakan untuk aliran dengan pusaran yang tinggi, aliran yang melibatkan media berpori, aliran dalam saluran tertutup.

- *Body force wighted*

Digunakan ketika gaya badan (body force) tinggi, misalnya pada kasus konveksi bebas dengan bilangan Raleigh yang besar, aliran dengan pusaran yang tinggi.

2.8.3. Momentum, Turbulent Kinetic Energy, Turbulent Dissipation rate

- *First-Order Upwind Scheme*

Skema interpolasi yang paling ringan dan cepat mencapai konvergen, tetapi ketelitian orde satu.

- *Second-Order Upwind Scheme*

Menggunakan persamaan yang lebih teliti sampai orde dua, sangat baik digunakan mesh tri/tet diana arah aliran tidak sejajar dengan mesh. Metode interpolasi yang digunakan rumit dan lebih lambat mencapai konvergen.

- *Power Law Scheme*

Lebih akurat dari *first-order* ketika bilangan Reynold pada aliran <5 untuk aliran yang lambat.

- *Monotone Upstream – Centered Scheme for Concervation Law (MUSCLE)*

Menggunakan konveksi diskritisasi sampai orde 3 untuk mesh yang tidak terstruktur lebih akurat memprediksi aliran, vortisitas dan kekuatan.

- *Quadratic Upwind Interpolation (QUICK)*

Aplikasi untuk mesh quad/hex dan *hybrid*, jangan digunakan untuk elemen mesh tri, dengan aliran fluida yang berputar. Ketelitiannya mencapai orde 3 dengan mesh yang seragam.

2.9. Solution Initialization

2.9.1. Initialization methods

- *Hybrid initialization*

Metode ini memberikan perhitungan yang cepat dari suatu aliran dengan metode yang ada. Menyelesaikan persamaan laplace untuk menentukan bidang kecepatan dan tekanan. Seluruh variabel lainnya seperti suhu, turbulensi, jenis fraksi, volume fraksi akan dihitung secara otomatis berdasarkan nilai rata-rata atau menggunakan metode interpolasi tertentu.

- *Standard initialization*

Umumnya memilih berdasarkan batas inlet “compute from” agar secara otomatis mengisi nilai inisialisasi dengan nilai-nilai yang ditentukan pada batas inlet.