

## BAB II

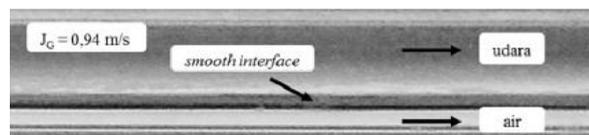
### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

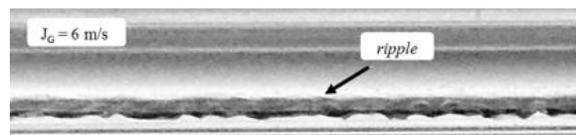
Penelitian mengenai *fluktuasi* tekanan dan tegangan geser antar muka pada aliran *stratified* air-udara pada pipa horisontal pernah dilakukan oleh Gunawan, dkk (2015). Metodologi penelitian visualisasi dengan pengukuran beda tekanan dan kondisi *adiabatic*. Variabel pada penelitian ini meliputi kecepatan superfisial air ( $J_L$ ) dari 0,025 m/s sampai 0,1 m/s dan kecepatan superfisial udara ( $J_G$ ) 0,94 m/s sampai 12 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola aliran *stratified* yang meliputi *stratified smooth*, *stratified wavy + ripple*, *stratified wavy + roll* dan *pseudo-slug* telah berhasil diidentifikasi baik secara visual dan sinyal tekanan.

Berikut adalah hasil dari penelitian Gunawan dkk (2015)

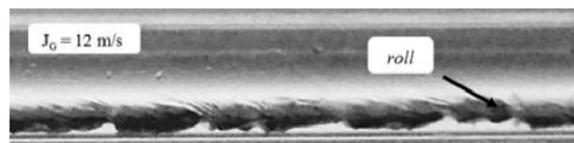
- a. Hasil pola aliran *Stratified Smooth* dengan  $J_G = 0,94$  m/s dan  $J_L = 0,025$  m/s



- b. Hasil pola aliran dengan *Stratified Ripple*  $J_G = 6$  m/s dan  $J_L = 0,025$  m/s



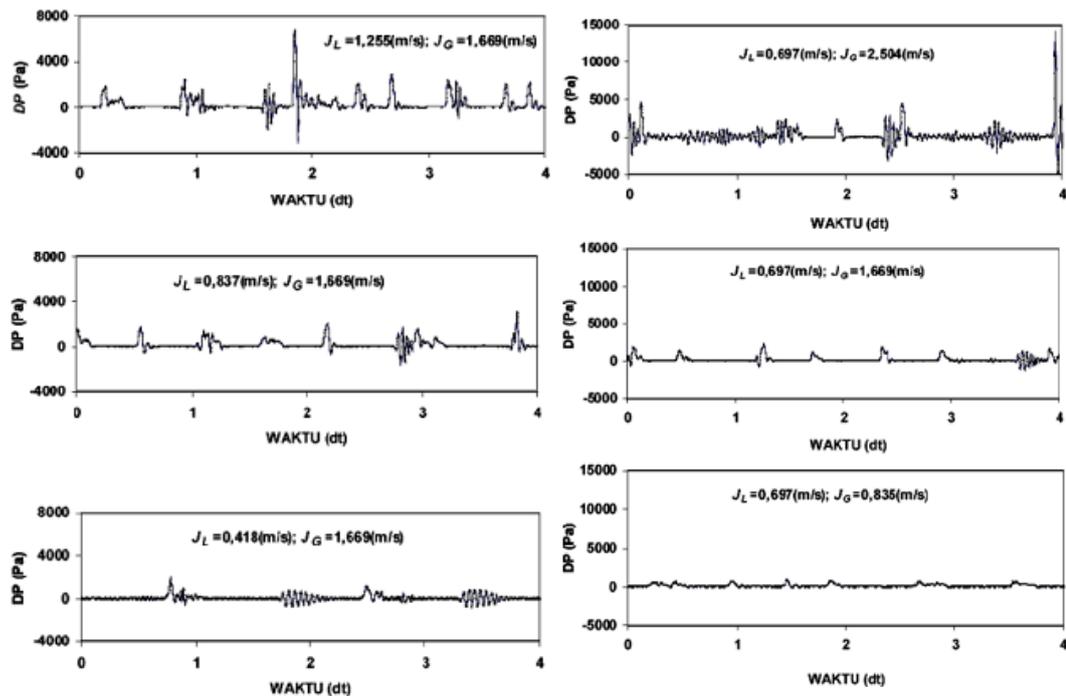
- c. Hasil pola aliran dengan *Stratified Ripple*  $J_G = 12$  m/s dan  $J_L = 0,025$  m/s



Gambar 2.1. Hasil visualisasi pola aliran ( Gunawan dkk, 2015)

Santoso, dkk (2012) juga pernah meneliti fluktuasi beda tekanan dari aliran *slug* air-udara pada aliran dua fase searah pipa horisontal dengan panjang pipa 10 m dan diameter dalam 24 mm. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi karakteristik dari fluktuasi beda tekanan pola aliran *slug* menggunakan analisis statistik, *probability density function* (pdf), autokorelasi dan *power spectral density* (psd). Perubahan kecepatan superfisial udara dan kecepatan superfisial air dapat dibedakan dengan jelas menggunakan analisis statistik, PDF, autokorelasi dan PSD.

Berikut adalah hasil dari penelitian Santoso dkk (2012)

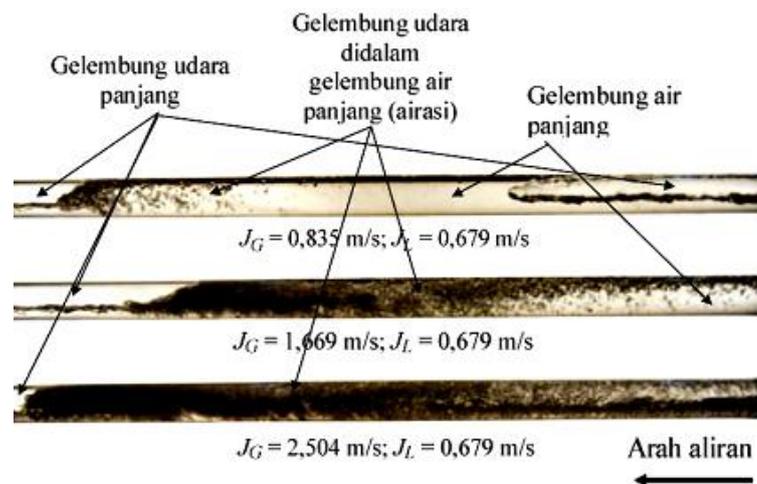


(a) Kecepatan superfisial udara konstan      (b) Kecepatan superfisial air konstan

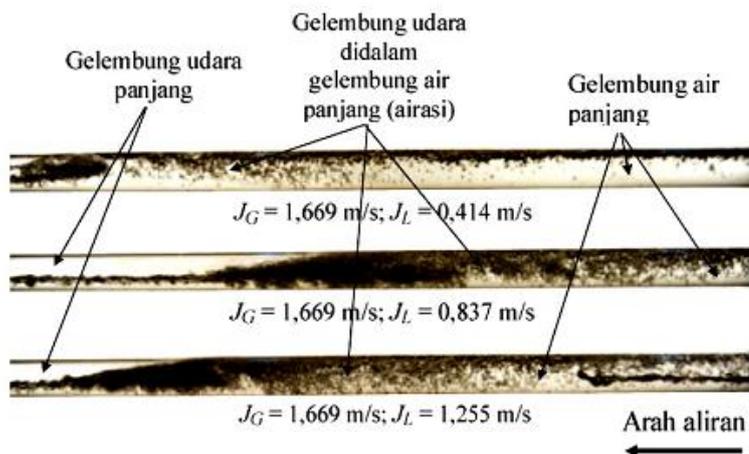
Gambar 2.2. Tekanan diferensial dalam rangkaian waktu (Santoso dkk, 2012)

Penelitian aliran dua fase dengan metode visualisasi sudah pernah dilakukan oleh Santoso, dkk (2011). Namun pola aliran yang diteliti adalah pola aliran kantung (*plug*) dan sumbat likuid (*slug*). Dalam penelitian ini pipa yang digunakan adalah pipa yang terbuat dari *acrylic* yang mempunyai diameter dalam

24 mm dengan panjang 10 m. Fluida yang digunakan adalah air dan udara. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengkaji pola aliran *slug* air-udara beserta kecepatan gelembung. Hasilnya pola aliran slug dan kecepatan gelembung dapat diamati secara visualisasi dengan jelas.

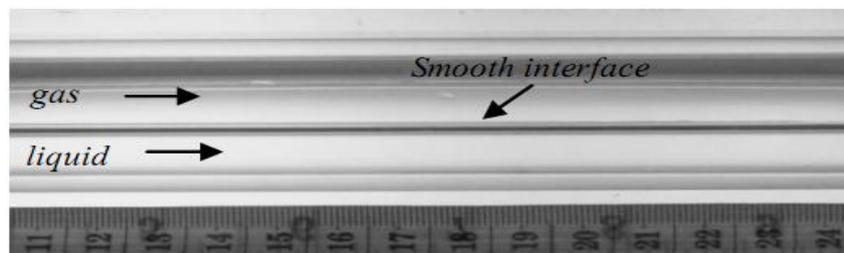


Gambar 2.3. Tipe pola aliran slug hasil observasi penelitian pada kecepatan superfisial air tetap (Santoso dkk, 2012)

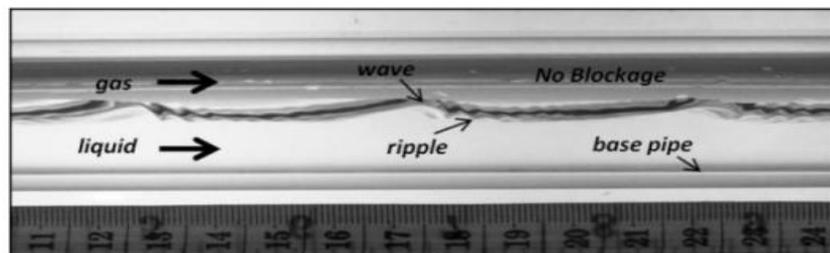


Gambar 2.4. Tipe pola aliran slug hasil observasi penelitian pada kecepatan superfisial udara tetap (Santoso dkk, 2012)

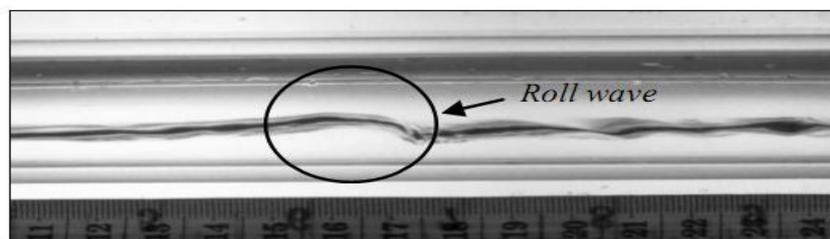
Hudaya, dkk (2013), melakukan penelitian penentuan sub-sub daerah aliran *stratified* udara-air pada pipa horisontal (dia. dalam pipa 26,0 mm dan total panjang seksi uji 9,5 m) menggunakan *Constant Electric Current Method (CECM)*. Dalam penelitian ini digunakan sensor *CECM* sebanyak 3 buah dengan jarak aksial antar sensor 215 mm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik gelombang antar muka yang dihasilkan dari pemrosesan sinyal *CECM* dan studi visual dapat digunakan untuk menentukan sub-sub daerah aliran *stratified*.



Gambar 2.5. Visualisasi Aliran *Stratified Smooth* dengan  $JL = 0,016$  m/s dan  $JG = 1,02$  m/s (Hudaya dkk, 2013)

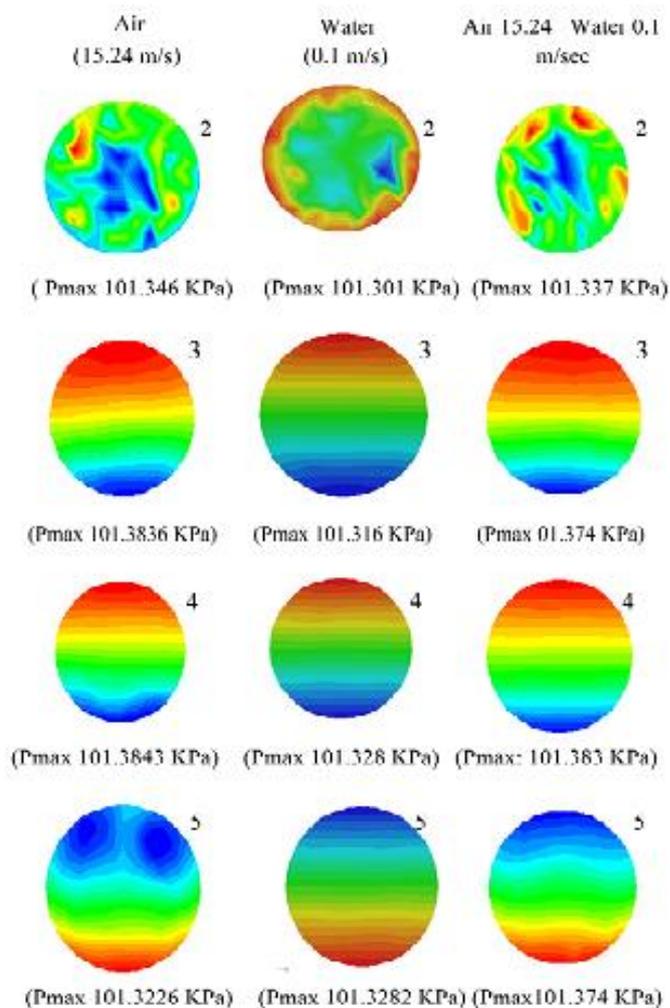


Gambar 2.6. Visualisasi Aliran *Stratified Wavy + Ripple* dengan  $JL = 0,092$  m/s dan  $JG = 1,02$  m/s (Hudaya dkk, 2013)



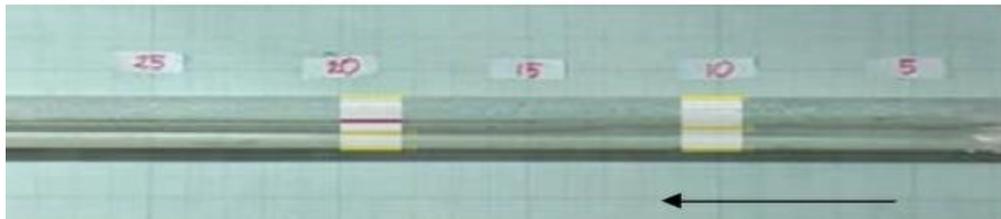
Gambar 2.7. Visualisasi Aliran *Stratified Wavy + Roll* dengan  $JL = 0,047$  m/s dan  $JG = 3,77$  m/s (Hudaya dkk, 2013)

Penelitian terkait pola aliran fluida tipe *single* dan *multiphase* terus berkembang. Mazumder, Q, H, (2012) melakukan analisa aliran *single* dan *multiphase* pada pipa tipe elbow. Pola karakteristik aliran yang diamati ada pada 6 titik berbeda dengan memberikan variasi 3 jenis kecepatan udara dan 3 jenis kecepatan air. Hasilnya 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*. Pola penurunan tekanan yang diamati akan serupa untuk aliran *singlephase* dan *multiphase*.



. Gambar 2.8. Pola penurunan tekanan aliran *singlephase* dan *multiphase*.  
(Mazumder, Q, H, 2012)

Pola aliran dua fasa uap-kondensat berdasarkan pengukuran beda tekanan pada pipa horisontal juga pernah diteliti oleh Sukamta, dkk (2010). Tujuan penelitian untuk mengetahui pola aliran berdasarkan pengukuran beda tekanan. Bahan yang digunakan pipa anulus bagian dalam dari bahan tembaga berdiameter 17 mm dengan panjang 1,6 m, sedangkan pipa anulus bagian luar adalah pipa besi berdiameter 4 inchi. Hasilnya Pola aliran yang teridentifikasi pada aliran dua fasa air-uap air (kondensat) dari hasil kondensasi uap pada pipa horisontal ini meliputi pola aliran *stratified*, *wavy*, *plug*, *pre-slug*, dan *slug*.



Gambar 2.9. Fenomena gradien tekanan dengan  $Q_{uap} = 0,00211361 \text{ m}^3/\text{s}$  pada detik ke-34 (*stratified*) (Sukamta dkk, 2010)



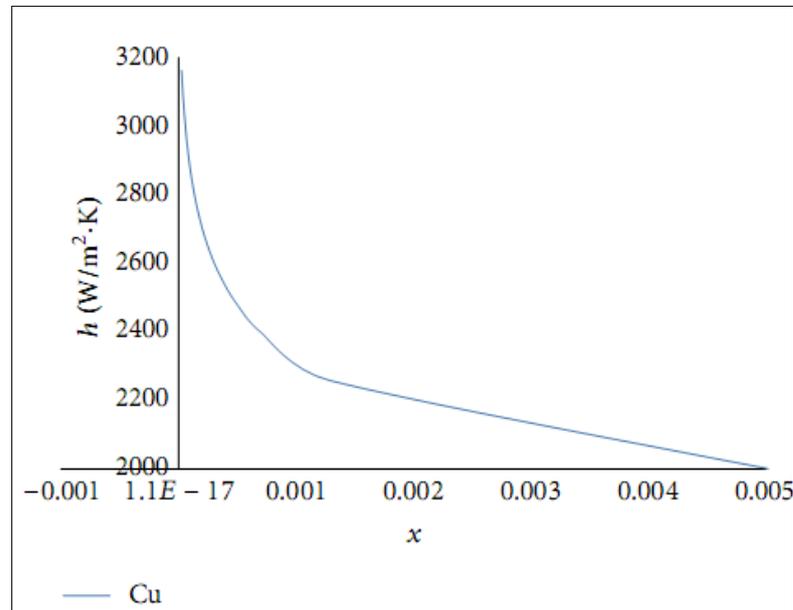
Gambar 2.10. Fenomena gradien tekanan untuk  $Q_{uap} = 0,005456701 \text{ m}^3/\text{s}$  pada detik ke-2,75 (*pre-slug*) (Sukamta dkk, 2010)



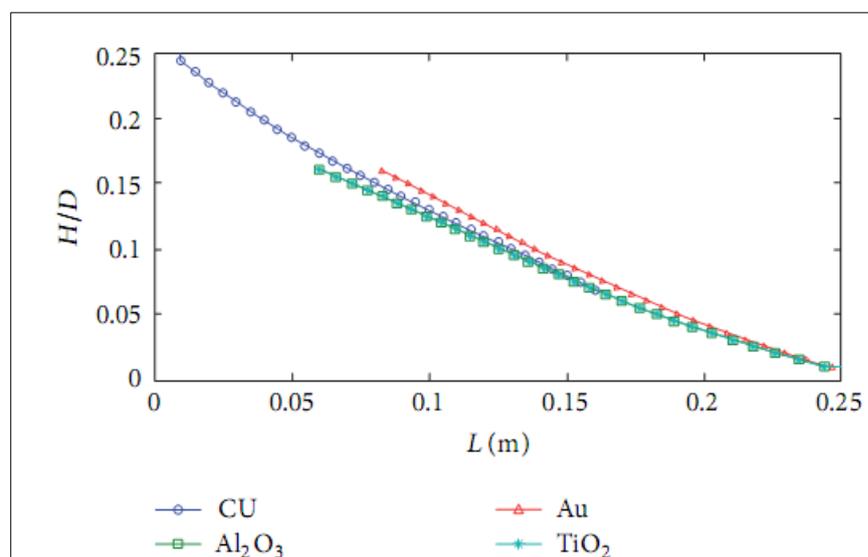
Gambar 2.11. Fenomena gradien tekanan untuk  $Q_{uap} = 0,005456701 \text{ m}^3/\text{s}$  pada detik ke-6 (*wavy*) (Sukamta dkk, 2010)

Abbasi, dkk (2014) pernah melakukan simulasi aliran dan transfer panas dari nano fluid 2 fase (aliran *stratified regime*). Bahan nanopartikel tembaga, emas, titanium oxide, digunakan pada penelitian ini untuk menghasilkan *nanofluid* dengan *waterasthebaseluid* dalam pipa panjang 1 m berdiameter

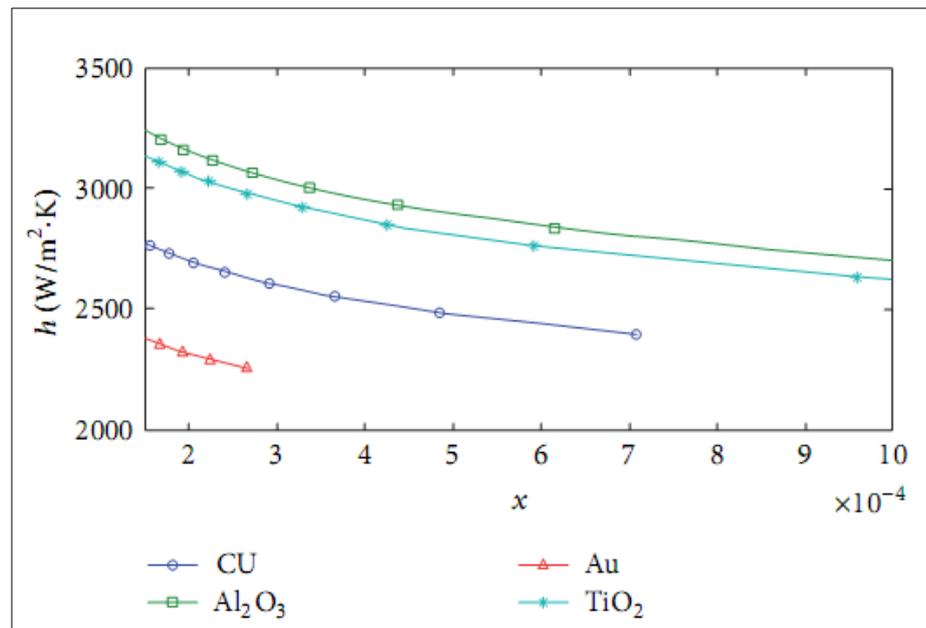
0.0512 m. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan variasi cairan terhadap panjang pipa. Hasil dari penelitian dua fase perpindahan posisi terendah panas menurun sepanjang kualitas uap meningkat.



Gambar 2.12 Grafik transfer panas *nanofluid* dengan material *copper nanopartikel* (Abbasi dkk, 2014)

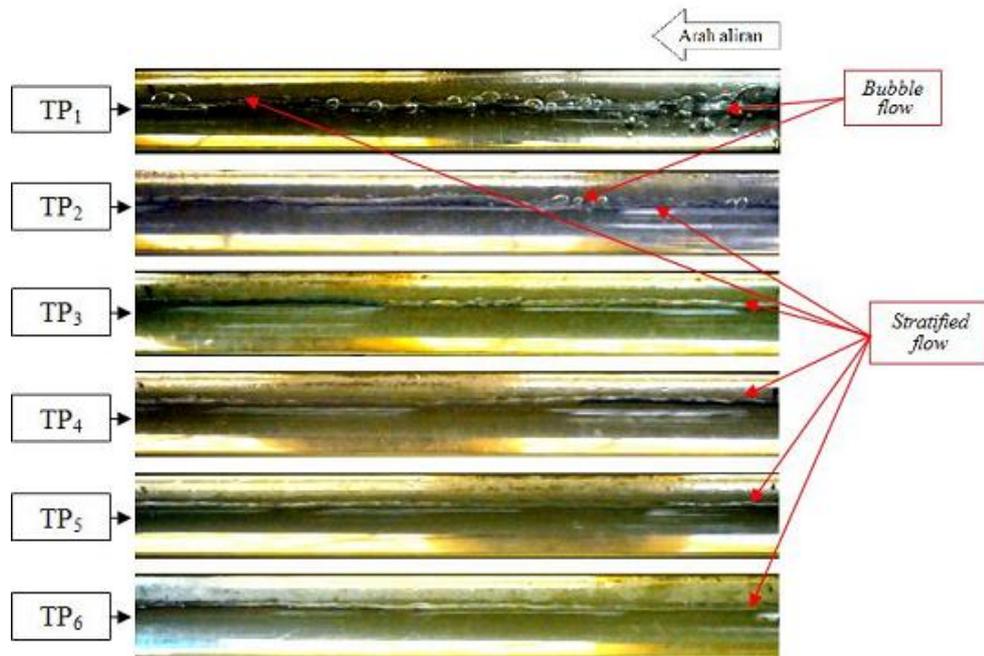


Gambar 2.13. Grafik variasi *liquid film* panjang pipa dari *nanofluid* dengan material *copper nanopartikel* (Abbasi dkk, 2014)

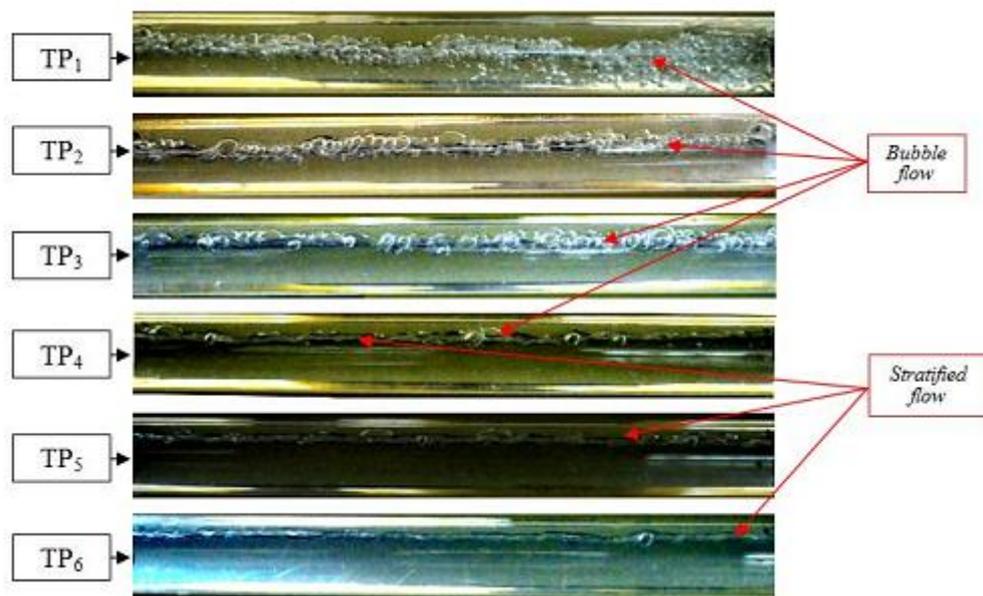


Gambar 2.14. Grafik variasi transfer panas dari semua *nanopartikel*  
(Abbasi dkk, 2014)

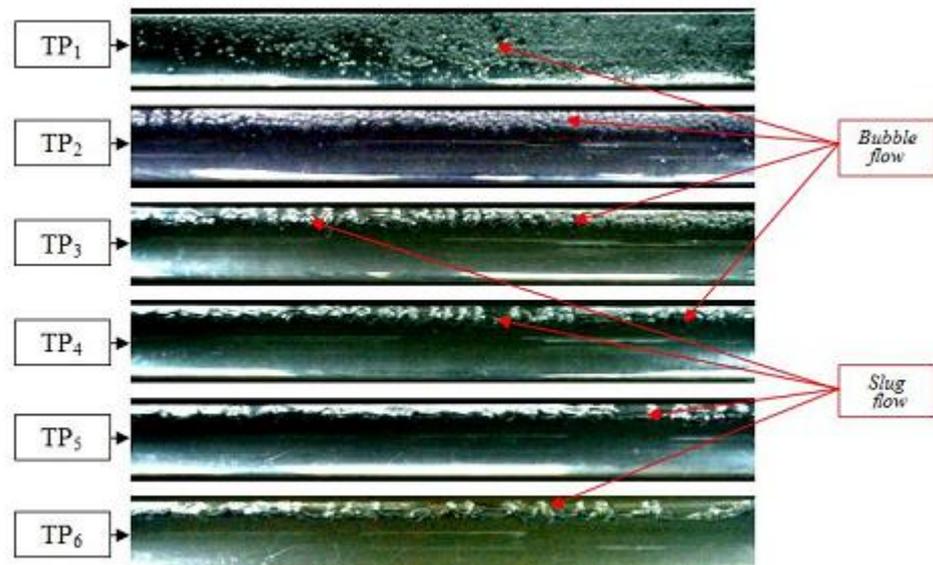
Korawan, (2015) meneliti pola aliran dua fase (air-udara) pada pipa horisontal dengan variasi kecepatan *superfisial* air. Bahan penelitian menggunakan pipa acrylic dengan diameter dalam 36 mm dan panjang 2000 mm. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah visualisasi dengan variasi kecepatan *superfisial* air. Air digunakan sebagai fluida cair dan udara sebagai fluida gas. Pola aliran yang teramati adalah *bubble flow*, *slug flow* dan *stratified flow*. Semakin besar nilai  $U_{sl}$  mengakibatkan semakin panjang *bubble region* yang terjadi.



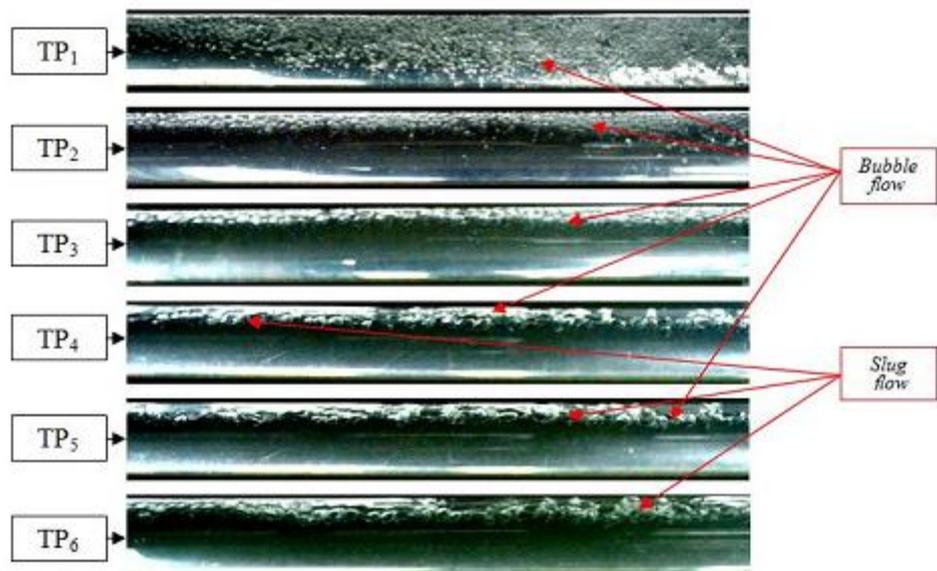
Gambar 2.15. Visualisasi pola aliran pada kecepatan  $U_{sl} = 0,4 \text{ m/s}$   
(Korawan dkk, 2015)



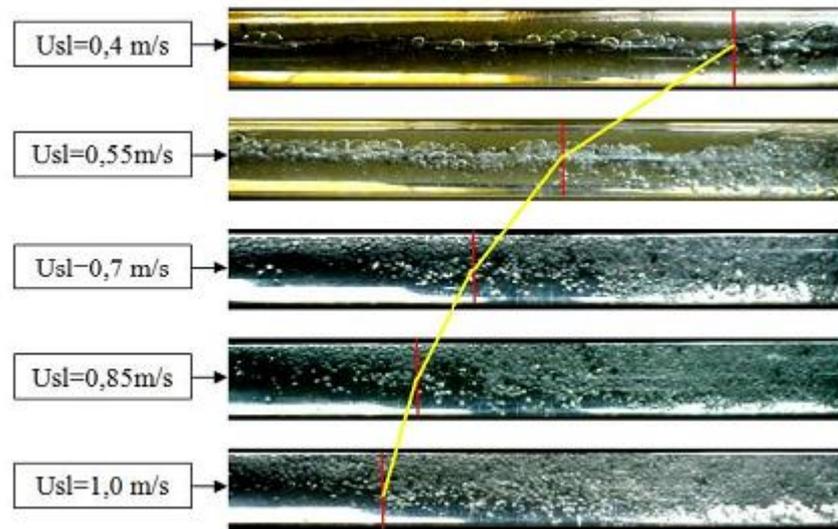
Gambar 2.16. Visualisasi pola aliran pada kecepatan  $U_{sl} = 0,55 \text{ m/s}$   
(Korawan dkk, 2015)



Gambar 2.17. Visualisasi pola aliran pada  $U_{sl} = 0,85 \text{ m/s}$   
(Korawan dkk, 2015)



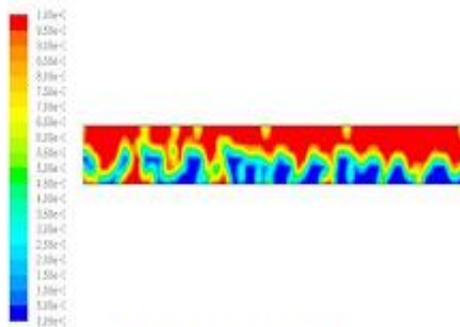
Gambar 2.18. Visualisasi pola aliran  $U_{sl} = 1,0 \text{ m/s}$   
(Korawan dkk, 2015)



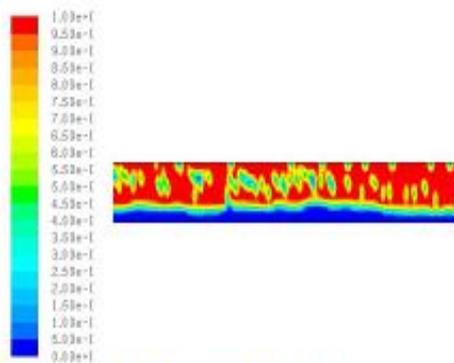
Gambar 2.19. Visualisasi bubble flow pada TP1 dengan variasi  $U_{sl}$  (Korawan dkk, 2015)

Terzuoli, dkk (2008) melakukan penelitian kode validasi data eksperimen *CFD* terhadap aliran *stratified* air-udara. Pada aliran inlet menggunakan variasi kecepatan *superficial* air dan udara. Penelitian dilakukan menggunakan aplikasi *Ansys CFX* dan *Fluent 10.0*. Dengan penampang persegi panjang dengan tinggi 0.1 m, lebar 0.2 m dan panjang 13 m. Hasilnya adalah data eksperimen dan simulasi telah dilakukan oleh kode *CFD* dengan aplikasi *NEPTUNE CFD V1.0.6*, *FLUENT 6.1*, dan *CFX 10,0* dimodelkan dengan *Gambit 1.0* dan *ANSYS ICEM 10,0* softwares.

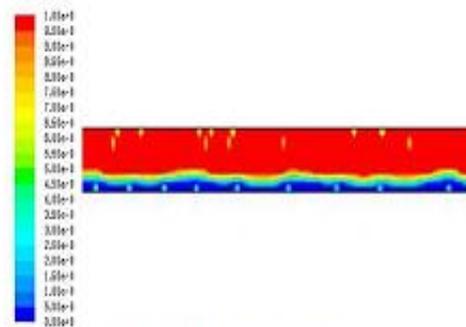
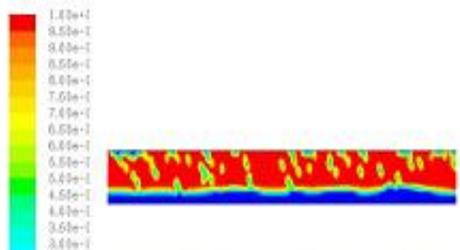
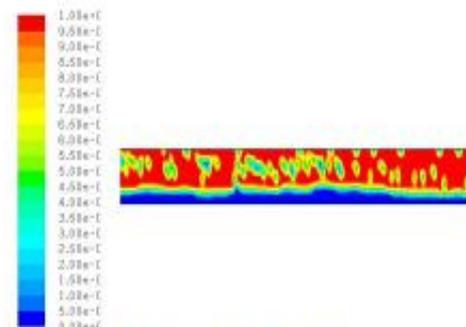
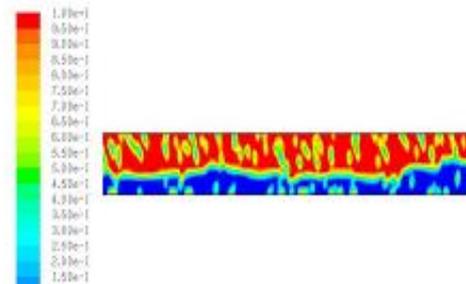
Desamala, dkk (2013) pernah meneliti Simulasi *CFD* dan validasi pola aliran *bounderies* transisi aliran dua fasa air-minyak melalui pipa horisontal. Pipa yang digunakan pipa horisontal dengan diameter dan panjang masing-masing 0,025 m dan 7,16 m . Metode *VOF* digunakan dalam penelitian ini, pengaruh tegangan permukaan digunakan untuk memprediksi terjadinya pola aliran. Aplikasi yang digunakan *Ansys CFD* dan *Fluent*. Hasil penelitian untuk memprediksi pola aliran pada sistem 47.037 sel didapatkan untuk simulasi transisi gelombang dikelompokkan ke aliran campuran bertingkat.



(a) System with 14,732 Cells



(b) System with 47,037 Cells

(a)  $U_{sw} = 0.1$  m/s,  $U_{so} = 0.275$  m/s(b)  $U_{sw} = 0.23$  m/s,  $U_{so} = 0.29$  m/s

Gambar 2.20. Oil *volume fraction* dengan  
 $U_{sw} = 0.23$  m/s,  $U_{so} = 0.29$  m/s  
 (Desamala dkk, 2013)

Gambar 2.21. Simulasi pola aliran  
*stratified mixed*  
 (Desamala dkk, 2013)

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Aliran Fluida

Aliran dua fase merupakan aliran yang terdiri dari 2 jenis zat yang berbeda fase dan mengalir secara bersamaan dalam suatu penampang. Aliran dua fase ini dapat berupa fase cair-gas, cair-padat ataupun padat-gas.

Campuran dua fluida dalam pipa sering ditemui. Ketika campuran gas-cair mengalir disepanjang pipa, dapat menimbulkan terjadinya pola aliran yang berbeda disepanjang saluran. Ada beberapa faktor penting dalam menentukan pola aliran diantaranya adalah tegangan permukaan, gravitasi, rapat massa, kecepatan aliran dan diameter atau geometri pipa.

Aliran fluida dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu berdasarkan waktu dan berdasarkan bentuk aliran. Aliran fluida berdasarkan waktu yaitu:

a. Aliran *Steady*

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

b. Aliran *Transient*

Suatu aliran dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.

Pada dasarnya aliran dua fase di dalam pipa dapat dikategorikan sebagai berikut:

a. Aliran Laminar

Aliran fluida yang bergerak secara paralel (tidak saling memotong), atau aliran berlapis. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan relatif antar lapisan. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan Reynoldnya kurang dari 2100 ( $Re < 2100$ ).



Gambar 2.22 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. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran. Dimana nilai bilangan Reynoldnya lebih besar dari 4000 ( $Re > 4000$ ).



Gambar 2.23 Aliran Turbulen (Munson dkk, 2012)

#### c. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Nilai bilangan Reynoldnya antara 2100 sampai dengan 4000 ( $2100 < Re < 4000$ ).

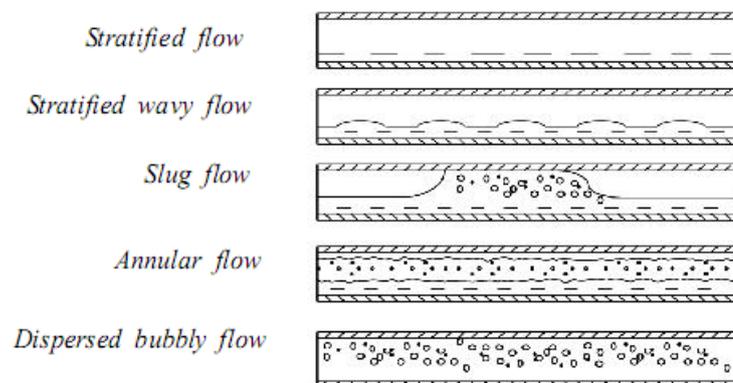


Gambar 2.24 Aliran Transisi (Munson dkk, 2012)

### 2.2.2 Pola Aliran Fluida Pada Pipa Horisontal

Dalam aliran dua fase pengetahuan tentang pola aliran sangatlah penting. 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. Pada saluran horisontal dengan aliran cair dan gas searah, pola aliran yang umumnya dijumpai adalah aliran *bubble*, aliran *stratified*, aliran *stratified wavy*, aliran *plug*, aliran *slug* dan aliran *annular*.

Ada beberapa pola aliran dalam pipa horisontal sebagaimana terlihat pada gambar 2.25, yaitu:



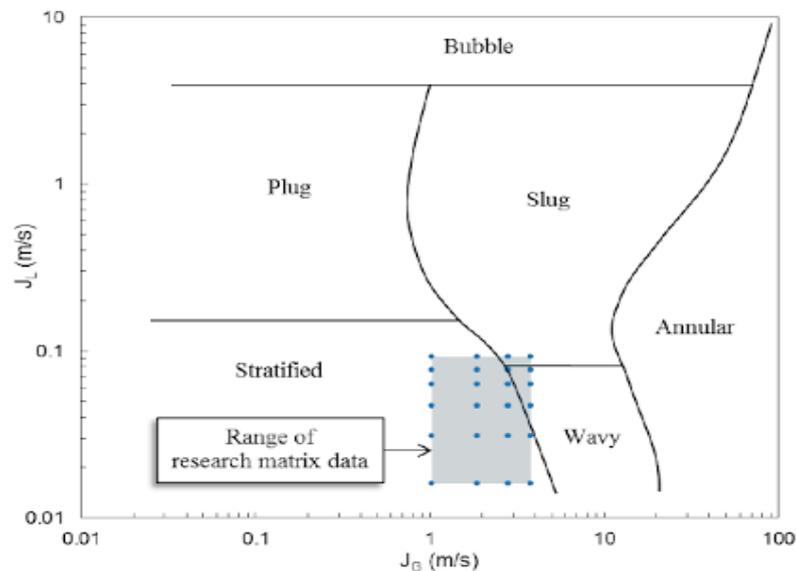
Gambar 2.25 Pola aliran pada pipa horisontal

- a. *Stratified flow*, pola ini hanya terjadi pada kecepatan liquid dan uap yang rendah. *Liquid* dan uap mengalir terpisah dengan garis batas yang halus.
- b. *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.
- c. *Slug flow*, pola ini terjadi ketika kecepatan uap terus meningkat dan mengakibatkan gelombang yang signifikan pada garis batas uap-*liquid* sehingga meruncing dan memunculkan busa (*foamy slug*).
- d. *Annular flow*, pola ini terjadi masih pada kecepatan uap yang tinggi dan polanya sama dengan *annular flow* terjadi dimana uap berada di tengah-tengah pipa dan *liquid* berada pada permukaan pipa.
- e. *Bubbly flow*, pola aliran ini sama dengan yang terjadi pada pipa aliran vertikal hanya perbedaannya di sini gelembung uap akan mengalir di setengah bagian atas pipa.
- f. *Plug flow*, sama dengan *slug flow* pada pipa vertikal, hanya saja gelembung uap mengalir di bagian atas.

Peta pola aliran yang dipakai untuk bahan referensi adalah peta pola aliran Mandhane (1974) karena peta pola aliran ini sering dipakai untuk acuan dalam penelitian aliran dua fase.

Tabel 2.1. Batasan penggunaan peta pola aliran (Mandhane dkk, 1974)

Parameter	Range
Pipe diameter	12,7 – 165, 1 mm
Liquid density	705 – 1009 kg/m <sup>3</sup>
Gas density	0,80 – 50,5 kg/m <sup>3</sup>
Liquid viscosity	0,3 x 10 <sup>-3</sup> - 9 x 10 <sup>-3</sup> Pa.s
Gas viscosity	1 x 10 <sup>-5</sup> – 2,2 x 10 <sup>-5</sup> Pa.s
Surface Tension	24 – 103 mN/m
Liquid Superficial velocity	0,09 – 7,31 m/s
Gas Superficial velocity	0,04 – 171 m/s



Gambar 2.26 Peta Pola Aliran (Mandhane dkk, 1974)

### 2.2.3 Pengaruh Aliran *Stratified*

Pola aliran *stratified* terjadi ketika kecepatan rendah pemisahan dari fase cairan dan gas terjadi secara jelas.

Pola aliran *stratified* termasuk salah satu jenis aliran dua fasa yang mempunyai ciri khas yaitu, udara dan air terpisah. Udara akan mengalir dibagian atas pipa, diameter dalam pipa sedangkan air mengalir di bagian bawah diameter dalam pipa.

Batas antara air dan udara ini sangat terlihat jelas secara kasat mata pada aliran, karena air dan udara bergerak dengan kecepatan yang lambat. Pada aliran *stratified*, air mengalir di bawah disebabkan massa jenis air lebih besar dari pada udara.

### 2.2.4 Kecepatan Superfisial

Beberapa jenis aliran sangat terpengaruh oleh bilangan Reynold. Bilangan Reynold adalah bilangan tidak berdimensi yang penting digunakan untuk penelitian aliran fluida didalam pipa. Adapun persamaan bilangan Reynold menurut Munson (2009) adalah sebagai berikut:

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

Dengan:

V = Kecepatan Fluida (m/s)

D = Diameter Dalam Pipa (m)

$\rho$  = Massa Jenis Fluida (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = Viskositas Dinamik Fluida (kg/m.s) atau (N.s/m<sup>2</sup>)

Pada aliran fluida terdapat kecepatan superfisial yang merupakan kecepatan fluida pada kolom kosong. Terdapat dua jenis kecepatan kecepatan superfisial, yaitu kecepatan superfisial gas ( $J_G$ ) dan kecepatan superfisial cairan ( $J_L$ ). Kata superfisial *velocity* dari tiap fase bisa di gambarkan *sebagai volumetric flux*, yaitu *flow rate* dari tiap fase dibagi dengan area *pipe cross sectional* dengan asumsi bahwa fase mengalir sendiri di dalam pipa. Sehingga untuk kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial air bisa diperoleh sebagai berikut:

$$J_G = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$J_L = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

$J_G$  = Kecepatan superfisial gas (m/s)

$J_L$  = Kecepatan superfisial air (m/s)

$Q_G$  = Debit gas (m<sup>3</sup>/s)

$Q_L$  = Debit fluida (m<sup>3</sup>/s)

A = Luas pipa (m<sup>2</sup>)

### 2.2.5 Komputasi Dinamika Fluida

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

Ada tiga tahapan yang harus dilakukan ketika melakukan simulasi *CFD*, yaitu: Preprocessor, Processor dan Postprocessor.

1. **Preprocessor** (*meshing*)

*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.

2. **Processor** (perhitungan data-data input)

*Solvers* (program inti pencari solusi) CFD menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat *preprocessing*.

3. **Postprocessor** (simulasi grafik dan animasi)

*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.

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) dirubah menjadi model diskrit (jumlah sel terhingga).

### 2.3 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 tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. Setelah menggunakan program ini, maka akan didapat hasil-hasil yang mendekati dengan kasus yang akan dijumpai di lapangan.

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.

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:

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

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

1. *Aerospace*

Di Industri ini penerapan aplikasi *CFD* dipakai oleh para produsen/manufaktur pesawat militer, penumpang dan pesawat luar angkasa. Kemampuan *CFD* saat ini hingga mampu memodelkan hingga tingkat keakuratan tinggi. Penggunaan *CFD* dipakai untuk menganalisis *external aerodynamics, avionics cooling, fire suppression, the icing, engine performance, life support, etc.*

2. Otomotif

Di bidang otomotif, aplikasi *CFD* dipakai oleh banyak perusahaan otomotif terkemuka di dunia. Aplikasi *CFD* dipakai guna melihat fenomena external, *cooling, heating, engine performance* dan pada dunia balap. Sistem ini dipakai guna mengetahui performa pada komponen-komponen seperti pompa, rem, kompresor, *manifold*, ban, headlamp dll.

### 3. Biomedical

Biomedis merupakan salah satu bidang yang cukup menantang bagi *CFD*. Aplikasi ini dipakai pada alat-alat medis dan anatomi tubuh manusia. Aplikasi *CFD* dipakai untuk mengetahui bagaimana sistem yang ada di tubuh kita bekerja, seperti aliran darah nadi, masuknya udara pada hidung, pengembangan pompa jantung, dll.

### 4. *Chemical Processing*

Dalam industri proses kimia hampir semua aliran bereaksi satu dengan yang lain. Kompleksnya pemodelan di industri ini seperti pada mixing tank, dan aliran multifase yang kadang melibatkan beberapa fase berbeda (cair, gas dan padat) saling bereaksi satu sama lain membuat pemodelan di bidang ini harus dilakukan oleh engineer berpengalaman dalam bidang ini. Proses kimia yang sering dimodelkan adalah *mixing, separation, reaction, combuston, filtration* dan *drying*.

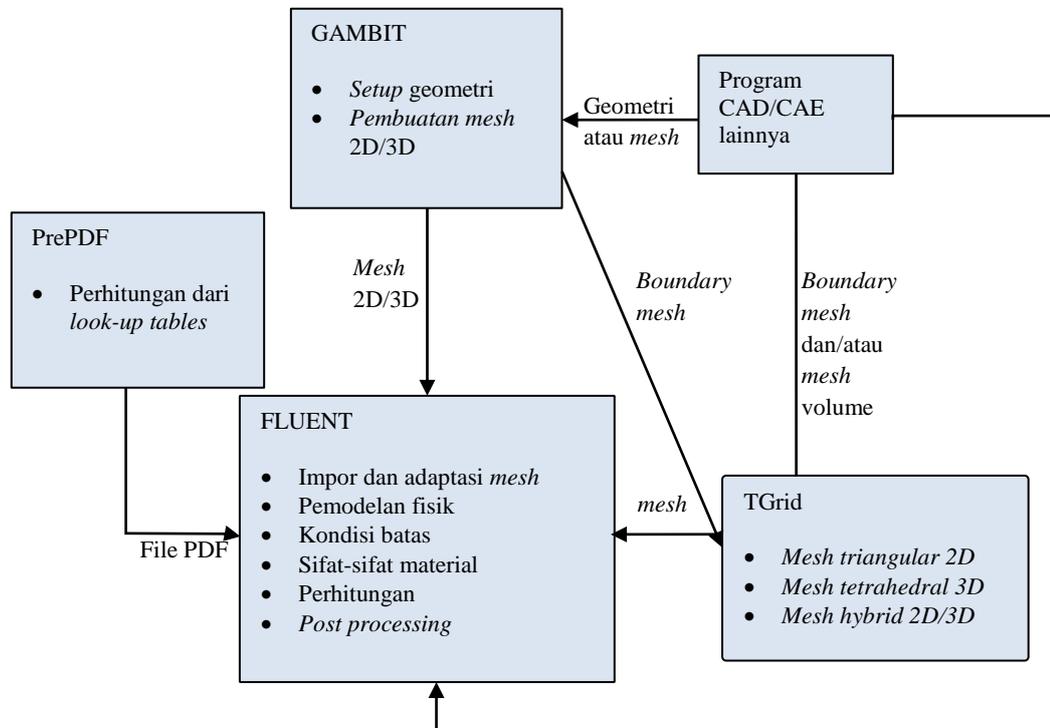
### 5. *Equipment Manufacturing*

Kebutuhan pemodelan dalam industri manufaktur produk pada umumnya berupa optimasi design dari produk baru yang akan dibuat atau troubleshooting. Dalam bidang ini *CFD* digunakan dalam pembuatan impeller, turbin, fan, propeller, vanes, ducting, valve, piping, seal bahkan dalam pembuatan sistem.

### 6. *Semikonduktor*

Pemodelan di industri ini sangat berperan aktif dalam memodelkan clean clean room ventilation, air handling, wafer processing, optimisasi furnace. Di industri ini efisiensi dan optimisasi sangat diperlukan karena proses dengan teknologi tinggi sangat menelan biaya jika tidak dilakukan dengan efisien. Pemodelan *CFD* di bidang ini sudah mencapai teknologi plasma.

### 2.3.1 Struktur Program



Gambar 2.27 Struktur Komponen Program FLUENT

### 2.3.2 Gambaran Penggunaan FLUENT

### 2.3.3 Merencanakan Analisis CFD

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

- Menentukan tujuan pemodelan
- Pemilihan model komputasional
- Pemilihan model fisik
- Penentuan prosedur

### 2.3.4 Langkah Penyelesaian Masalah

Setelah merencanakan analisis CFD pada model, langkah-langkah umum penyelesaian analisis CFD pada FLUENT sebagai berikut:

- a. Membuat geometri dan *mesh* pada model
- b. Memilih *solver* yang tepat untuk model tersebut (2D atau 3D)
- c. Mengimpor *mesh* model
- d. Melakukan pemeriksaan pada *mesh* model
- e. Memilih formulasi *solver*
- f. Memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisis
- g. Menentukan sifat material yang akan dipakai
- h. Menentukan kondisi batas
- i. Mengatur parameter control solusi
- j. *Initialize the flow field*
- k. Melakukan perhitungan/iterasi
- l. Memeriksa hasil iterasi
- m. Menyimpan hasil iterasi
- n. Jika perlu, memperhalus *grid* kemudian dilakukan iterasi ulang untuk mendapatkan hasil yang lebih baik

### 2.3.5 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 terhadap hasil simulasi.

### **2.3.6 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 inkompresibel.

### **2.3.7 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. Nilai tekanan *gauge* tersebut hanya akan digunakan sebagai tebakan awal oleh FLUENT dan akan dikoreksi sendiri sejalan dengan proses iterasi. Tetapi apabila nilai tekanan tersebut berbeda jauh dari keadaan sebenarnya maka akan memperlambat proses iterasi. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulensi sama dengan kondisi batas *velocity inlet*.

### **2.3.8 Pressure Inlet**

Pada kondisi batas ini harus dimasukkan data tekanan total (absolute), tekanan *gauge*, temperatur, arah aliran, dan besaran turbulen. Tekanan total yang dimaksud di sini merupakan penjumlahan dari nilai tekanan operasi dan tekanan *gauge*. Sedangkan nilai temperatur masukan tersebut akan digunakan sebagai temperatur static pada aliran inkompresibel. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulensi sama dengan kondisi batas *velocity inlet*.

### **2.3.9 Pressure Outlet**

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.

### **2.3.10 Outflow**

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

### **2.3.11 Pressure Far-Field**

Kondisi batas ini digunakan untuk memodelkan aliran kompresibel *free-stream* yang mempunyai dimensi yang sangat panjang (jarak antara *inlet* dan *outlet* jauh sekali). Kondisi batas ini ada pada sisi keluar aliran. Besaran yang harus dimasukkan adalah tekanan *gauge*, bilangan *Mach*, temperatur aliran, arah aliran dan besaran turbulensi pada sisi keluar.

### **2.3.12 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.

### **2.3.13 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)*.

### **2.3.14 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.

### 2.3.15 *Symmetry dan Axis*

Kedua kondisi batas ini digunakan untuk mengurangi daya komputasi yang dibutuhkan pada suatu kasus. 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*.

### 2.3.16 *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.

### 2.3.17 *Cell Zone : Fluid*

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

### 2.2.18 *Cell Zone: Solid*

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

### 2.3.19 *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*.

### 2.3.20 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.

## 2.4 Persamaan Umum FLUENT

### 2.4.1 Persamaan Kekekalan Massa

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

Kelajuan peningkatan massa = Neto kelajuan aliran massa dalam elemen fluida                      dalam elemen fluida
---

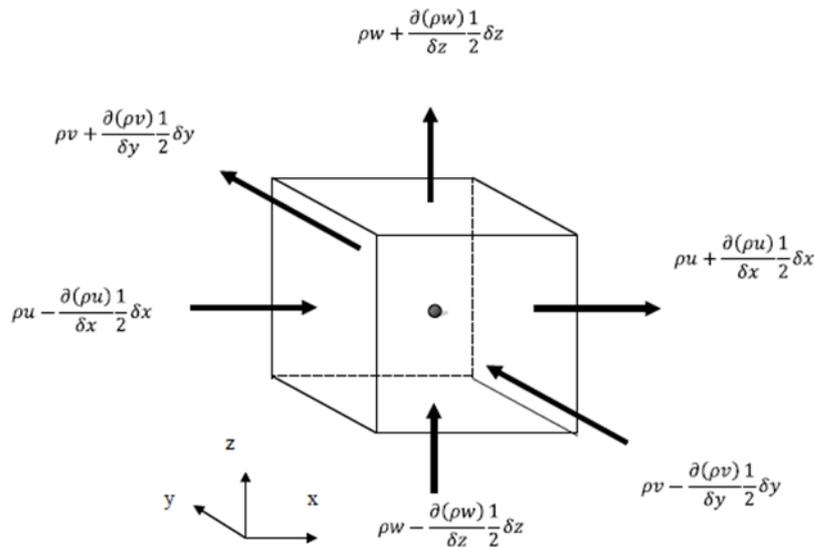
Kelajuan peningkatan massa dalam elemen fluida adalah

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

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 2.28 dapat dilihat bahwa neto kelajuan aliran massa kedalam elemen melewati *boundarinya* 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-aliran yang meninggalkan elemen diberikan sebuah tanda negatif.



Gambar 2.28 Massa Mengalir Kedalam dan Keluar Elemen Fluida (Versteeg dkk, 1995)

Kelajuan peningkatan massa kedalam elemen sama dengan neto kelajuan aliran massa kedalam elemen fluida melintasi bidangnya. Semua suku-suku hasil akhir kesetimbangan massa disusun pada sisi sebelah kiri dengan tanda yang sama dan pernyataan dibagi dengan  $\delta x \delta y \delta z$ .

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 boleh ditulis sebagai berikut:

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

Persamaan (2.7) adalah *unsteady*, kekekalan massa atau persamaan kontinuitas tiga dimensi pada sebuah titik dalam sebuah fluida kompresibel. Suku pertama pada sisi sebelah kiri kelajuan perubahan dalam waktu dari densitas (massa persatuan volume). Suku kedua menjelaskan neto aliran massa keluar dari elemen melintasi boundarynya dan disebut suku konvektif.

Untuk fluida inkompresibel (misalnya liquid) densitas adalah konstan dan persamaan pada (2.8) menjadi :

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

Atau dalam penjabarannya:

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

#### 2.4.2 Persamaan Kekekalan Momentum

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

Tingkat kenaikan momentum partikel fluida = jumlah gaya pada partikel

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

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

Ada dua tipe gaya pada partikel fluida :

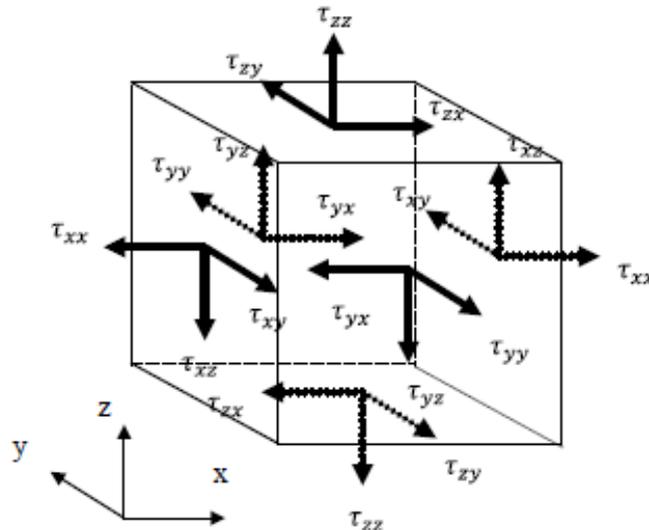
a. Gaya- gaya permukaan:

- 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 ditunjukkan dalam Gambar 2.8. tekanan normal ditandai oleh  $p$ . tegangan-tegangan viskos ditandai oleh  $\tau$ . Notasi akhiran yang biasa  $\tau_{ij}$  digunakan untuk menandakan arah tegangan viskos. Akhiran  $i$  dan  $j$  dalam  $\tau_{ij}$  menandakan bahwa komponen tegangan bekerja dalam arah  $j$  pada sebuah permukaan normal kearah  $i$ .

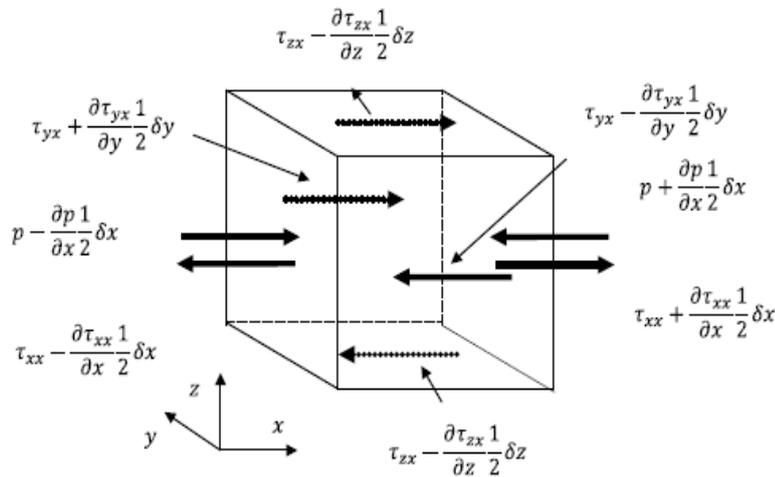


Gambar 2.29 Komponen Tegangan Pada Tiga Bidang Elemen Fluida

(Versteeg dkk, 1995)

Pertama kita mempertimbangkan komponen-komponen arah  $x$  dari gaya-gaya yang disebabkan komponen tegangan  $\tau_{xx}$ ,  $\tau_{yx}$ ,  $\tau_{zx}$  dan tekanan  $p$ . besarnya hasil akhir gaya dari sebuah tegangan permukaan adalah hasil dari tegangan dan luas. Gaya yang sejajar dengan arah dari sebuah  $axis$  koordinat menjadi sebuah tanda

positif dan dalam arah yang berlawanan dengan sebuah tanda negatif. Neto gaya dalam arah  $x$  adalah jumlah komponen-komponen gaya yang bekerja alam pada elemen fluida tersebut.



Gambar 2.30 Komponen Tegangan Dalam Arah  $x$  (Versteeg 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) :

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

Gaya total dalam arah  $x$  pada sisi bawah dan atas :

$$-\left( \tau_{zx} - \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y + \left( \tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \delta x \delta y \delta z \dots\dots(2.13)$$

Gaya total persamaan volume pada fluida yang disebabkan tegangan-tegangan permukaan ini sama dengan jumlah dari (2.11), (2.12), (2.13) dibagi oleh volume  $\delta x \delta y \delta z$  :

$$\frac{\partial (-p + \tau_{zx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \dots\dots\dots(2.14)$$

Tanpa mempertimbangkan gaya badan dalam lebih detail lagi pengaruhnya secara menyeluruh dapat dimasukkan dengan mendefinisikan sebuah *source*  $S_{MX}$  dari momentum  $x$  persatuan volume persatuan waktu.

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

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial (-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{MX} \dots\dots\dots(2.15)$$

Untuk membuktikan bahwa komponen  $y$  persamaan momentum:

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial (-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{MY} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dan juga komponen  $z$  persamaan momentum:

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial (-p + \tau_{zz})}{\partial z} + S_{MZ} \dots\dots\dots(2.17)$$

## 2.5 General

### 2.5.1 Solver

#### ➤ *Pressure-based*

Medan kecepatan diperoleh dari persamaan momentum, konversi massa (kontinuitas) dicapai dengan memecahkan persamaan tekanan, persamaan energi (jika perlu) diselesaikan secara berurutan dan persamaan skalar tambahan juga diselesaikan dalam mode terpisah.

➤ ***Density-based***

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

## 2.6 Models

### 2.6.1 Multifasa

➤ ***Volume Of Fluid (VOF)***

Digunakan untuk dua atau lebih fluida yang memiliki hubungan antar muka. Persamaan momentum digunakan untuk setiap fasa fluida dan fraksi volume digunakan untuk setiap fluida pada perhitungan yang diamati melalui seluruh bidang asal.

➤ ***Mixture***

Digunakan untuk aliran yang berbentuk gelembung atau butiran, dimana kedua fasa tercampur sempurna atau fraksi volume fasa diskrit melebihi 10%, untuk aliran yang homogen.

➤ ***Eulerian***

Digunakan untuk aliran granular dan juga digunakan untuk aliran yang *hydrotransport*.

### 2.6.2 Viskositas

➤ ***Inviscid***

Model ini digunakan pada aliran yang tidak mengalami perubahan viskositas. Nilai viskositasnya tetap dan gesekan antar partikelnya relatif kecil. Apabila fluida mengalir pada suatu pipa maka *tangensial stress* fluida sama dengan nol, sehingga tidak ada energi dan fluida mengalir bebas tanpa adanya hambatan.

➤ **Laminar**

Model ini dapat digunakan pada aliran yang fluidanya bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina–lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar.

➤ **Spalart-Allmaras**

Model ini dapat digunakan untuk simulasi yang sedikit ‘kasar’ dengan ukuran *mesh* yang besar sehingga perhitungan aliran turbulen yang akurat bukan hal yang bersifat kritis. Model ini juga dapat digunakan untuk memprediksi perubahan turbulensi isotropic yang homogeny dan model ini tidak mampu untuk perubahan *length scale* secara cepat.

### 2.6.3 Model *k-Epsilon* ( $\epsilon$ )

➤ **Standart**

Model ini merupakan model turbulensi semi empiris yang lengkap. Walaupun masih sederhana, memungkinkan untuk dua persamaan yaitu kecepatan turbulen (*turbulent velocity*) dan skala panjang (*length scale*) ditentukan secara bebas. Model ini dikembangkan oleh Jones dan Launder. Kestabilan, ekonomis (dari segi komputasi) dan akurasi yang cukup memadai membuat model ini sering digunakan dalam simulasi fluida dan perpindahan panas.

➤ **Renormalization-group (RNG)**

Model ini diturunkan dengan menggunakan metode statis yang diteliti (teori renormalisasi kelompok). Model ini merupakan perbaikan dari metode *K-ε standart*, jadi bentuk persamaan yang digunakan sama. Perbaikan yang dimaksud meliputi :

- Model *RNG* memiliki besaran tambahan pada persamaan laju disipasi (*epsilon*), sehingga mampu meningkatkan akurasi untuk aliran yang terhalang secara tiba-tiba.
- Efek putaran pada turbulensi juga telah disediakan, sehingga meningkatkan akurasi untuk jenis aliran yang berputar (*swirl flow*). Menyediakan formulasi analisis untuk bilangan prandtl turbulen, sedangkan model *K-ε standart* menggunakan nilai bilangan prandtl yang ditentukan pengguna

(konstan). Model *RNG* menyediakan formulasi untuk bilangan Reynold rendah, sedangkan model *K- $\epsilon$  standart* untuk bilangan Reynold tinggi.

➤ ***Realizable***

*Realizable* Merupakan model pengembangan yang relatif baru dan berbeda dengan model *K- $\epsilon$  standart* dalam dua hal, yaitu:

- Terdapat formulasi baru untuk memodelkan viskositas turbulen. Sebuah persamaan untuk dissipasi,  $\epsilon$ , telah diturunkan dari persamaan yang digunakan untuk menghitung fluktuasi vortisitas 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 penyebaran fluida dari pancaran jet/nosel. Model ini memberikan permorma yang bagus untuk aliran yang melibatkan putaran, lapisan batas yang memiliki gardien tekanan yang besar, separasi, dan sirkulasi.

#### 2.6.4 Model *k-Omega ( $\omega$ )*

➤ ***Standart***

Model *k-omega standart* ini dapat diaplikasikan pada aliran dalam saluran maupun aliran bebas gesekan (*free shear flow*). Model ini digunakan untuk menghitung efek aliran pada bilangan reynold rendah, kompresibilitas dan penyebaran aliran geser (*shear flow*).

➤ ***Shear - Stress Trransport (SST)***

Model SST digunakan untuk menghitung transport dari tegangan geser turbulen, melibatkan sebuah besaran dari penurunan *damped cross diffusion* pada persamaan omega.

#### 2.6.5 *Reynold Stress*

Merupakan model turbulensi yang paling teliti pada FLUENT. Model ini mendekati persamaan Navier-Stokes (*Reynolds-averaged*) dengan menyelesaikan

persamaan transport untuk tegangan reynold bersama-sama dengan persamaan laju disiasi. Model ini membutuhkan 4 persamaan transport tambahan pada aliran 2D dan 7 persamaan transport tambahan pada aliran 3D yang berarti proses komputasi yang terjadi lebih panjang dan berat.

Model ini harus digunakan ketika pada aliran terdapat anisotropi dari tegangan reynold, seperti aliran dalam siklon, aliran yang berpusar dalam *combustor*, aliran yang melewati lintasan yang berputar, tegangan paa aliran yang disebabkan aliran sekunder dalam saluran.

#### **2.6.6 *Detached Eddy Simulation (DES)***

Model ini digunakan untuk memprediksi aliran dengan bilangan reynold yang besar, model ini merupakan modifikasi dari model *Spalart-Allamars*, model ini otomatis akan muncul paa pilihan *viscous* khusus solver 3D.

#### **2.6.7 *Large Eddy Simulation (LES)***

Model ini membutuhkan reolusi *mesh* yang lebih besar , membutuhkan daya komputasi yang jauh lebih tinggi dan tidak praktis untuk aplikasi teknis secara umum.

### **2.7 *Solution Methods***

#### **2.7.1 *Scheme***

- ***Semi Implicit Method For Pressure Linked Equation (SIMPLE)***

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 satuset 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” *Simple* dipakai pada skema default, kasar (robust).

- ***SIMPLE Consistent (SIMPLEC)***

Dapat mempercepat konvergensi untuk kasus yang sederhana, misalnya aliran laminar dengan bentuk geometri yang tidak terlalu kompleks.

- ***Pressure Implicit with Splitting of Operators (PISO)***

Berguna untuk aliran *transient* atau kasus dengan *mesh* yang mengandung *skewness* yang tinggi. 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. 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*.

- ***Coupled***

Berdasarkan hasil gabungan tekanan *solver* (konvergensi lebih cepat dari *segregated*).

### 2.7.2 *Gradient*

- ***Least Squares Cell Based***

Digunakan untuk persamaan konversi massa, momentum, energi, serta besaran skalar lainnya seperti turbulen dan reaksi kimia.

- ***Green-Gauss Cell Based***

Digunakan untuk perhitungan berdasarkan jumlah sel sehingga simulasi tidak memerlukan waktu yang terlalu lama, akan tetapi hasil simulasi menjadi kurang akurat.

- ***Green-Gauss Note Based***

Digunakan untuk perhitungan berdasarkan jumlah *note* dengan menggunakan rata-rata dari dalam sel yang mendefinisikan simpul tersebut.

### 2.7.3 *Pressure*

- ***Presto!***

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

- ***Body Force Weighted***

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

### 2.7.4 *Momentum, Turbulent Kinetic Energy, Turbulent Dissipation Rate*

- ***First-Order Upwind Scheme***

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

- ***Second-Order Upwind Scheme***

Menggunakan persamaan yang lebih teliti sampai orde 2, sangat baik digunakan pada mesh tri/tet dimana arah aliran tidak sejajar dengan mesh. Karena metode interpolasi yang digunakan lebih rumit, maka lebih lambat mencapai konvergen.

- ***Power Law Scheme***

Lebih akurat dari *first-order* ketika bilangan Reynolds pada aliran  $< 5$  (untuk aliran yang sangat lambat).

- ***Monotone Upstream - Centered Schemes for Conservation Laws (MUSCLE)***

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

- ***Quadratic Upwind Interpolation (QUICK)***

Diaplikasikan untuk mesh quad/hex dan hybrid, tetapi jangan digunakan untuk elemen mesh tri, dengan aliran fluida yang berputar/swirl. Ketelitiannya mencapai orde 3 pada ukuran mesh yang seragam.

## 2.8 *Solution Initialization*

### 2.8.1 *Initialization methods*

- ***Hybrid initialization***

Metode inisialisasi bawaan, memberikan perhitungan yang cepat dari suatu aliran dengan metode yang ada dan 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 *domain* atau menggunakan metode interpolasi tertentu.

- ***Standard initialization***

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