

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang aliran dua fasa sudah banyak dilakukan dan terus berkembang, baik dengan cara eksperimental maupun dengan metode komputasi. salah satunya penelitian tentang pola aliran. Beberapa penelitian tentang pola aliran pada aliran dua-fase adalah Fukano dkk. (1992), Santos dan Kawaji (2010), Sukamta dkk. (2010), Matsubara (2011), Irsyad (2012), Santoso dkk. (2012), Wibowo dkk. (2015), Korawan (2015), Deendarlianto dkk. (2016).

Fukano & Kariyasaki (1993) melakukan penelitian tentang karakteristik udara-air aliran dua fase pada pipa kapiler dengan diameter dalam 1 mm, 2.4 mm, 4.9 mm dan 9 mm. Arah aliran adalah vertikal ke atas, horizontal dan vertikal ke bawah. Hasil dari penelitian tersebut 1) gaya kapiler menjadi penting dalam kasus diameter kurang dari 5 mm – 9 mm. 2) pola aliran tidak berubah banyak sesuai arah aliran. 3) aliran terpisah tidak terlihat dalam aliran yang diuji. 4) bahkan dalam aliran horizontal pola aliran menjadi *axisymmetrical* dan ketebalan film air seragam menjadi *circumferential*. 5) gelembung kecil biasanya tidak ada dalam aliran *slug* dan cairan film. 6) kecepatan meluncur sekitar tidak terlepas dari aliran dan kecepatan gelembung mendekati dengan total *volumetric fluks*. 7) gesekan menjadi besar berkali-kali lipat dibandingkan dengan prediksi Chisholm korelasi di dalam aliran intermiten. Dalam kasus kehilangan tekanan yang disebabkan oleh gelembung panjang akibat ekspansi mendadak pada bidang aliran dari aliran cairan menjadi penting.

Santos & Kawaji (2010) melakukan penelitian tentang modeling numerik dan investigasi eksperimental *gas-liquid* pembentukan *slug* pada *T-junction microchannel* yang berdiameter hidrolis 113  $\mu\text{m}$ . Dengan kecepatan superfisial air dan udara 0.042-0.757 m/s dan 0.018-0.791 m/s. modeling menggunakan *CFD* dengan *software Fluent*. Dari penelitian tersebut teramati dua pola aliran : pola aliran *slug* dan pola aliran *annular*. Perbandingan numerik dengan eksperimental yaitu pola aliran *slug* teramati lebih pendek 400  $\mu\text{m}$ , perbedaan ini mungkin karena

osilasi cairan yang dihasilkan dari perubahan tekanan, yang tidak tertangkap di model numerik.

Sukamta dkk. (2010) melakukan penelitian tentang identifikasi pola aliran dua fase uap-kondensat berdasarkan pengukuran beda tekanan pada pipa horizontal. Pada penelitian ini digunakan pipa annulus dari tembaga dengan diameter 17 mm dan panjang 1.6 m, sedangkan bagian luar digunakan pipa annulus dari besi berdiameter 4 inchi dan panjang 1.6 m. pipa kaca berdiameter 17 mm dengan panjang 1.2 m digunakan untuk visualisasi pola aliran. Dari penelitian tersebut teridentifikasi pola aliran yang terjadi pada aliran dua fasa air-uap air (kondensat) dari hasil kondensasi uap pada pipa horizontal ini meliputi pola aliran *stratified*, *wavy*, *plug*, *pre-slug*, *slug*.

Matsubara & Naito (2011) meneliti tentang pengaruh dari viskositas cairan pada pola aliran *gas-liquid* aliran dua fase pada pipa horizontal. Penelitian dilakukan pada pipa horizontal *transparent* dengan diameter 20 mm dan panjang 19 m. larutan polisakarida sebagai fase cair dan udara sebagai fase gas. Variasi viskositas terendah adalah 100 mPa s dan tertinggi adalah 11.000 mPa s. Hasilnya adalah pola aliran *wavy* dan *stratified* diganti dengan aliran *annular* dan aliran *intermittent* untuk meningkatkan kecepatan cairan. Ketika cairan viskositas lebih tinggi dari 100 mPa, Matsubara tidak setuju dengan hasil percobaan Weisman et al. (1979) yang melaporkan bahwa viskositas cairan sedikit mempengaruhi pola aliran, dan model Taitel-Dukler umum digunakan untuk aliran transisi. Oleh karena itu, pendekatan lain yang berbeda harus dikembangkan untuk masalah prediksi pola aliran dalam kasus viskositas tinggi.

Irsyad (2012) melakukan penelitian tentang pengaruh aliran dua fasa gas-cair terhadap fluktuasi gaya pada dinding pipa horizontal. Fluida yang digunakan pada penelitian ini adalah air-udara, variasi dari aliran airnya yaitu 5, 10, 15, 20, 25, 30, dan 35 lpm, sedangkan variasi dari aliran udaranya 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 lpm. Hasil penelitian yang dilakukan yaitu gaya terbesar terjadi pada saat pola aliran gelembung (*bubble*) yaitu sebesar 0.143 N yang nilainya relatif stabil, sedangkan pada pola aliran sumbat *liquid* lebih menunjukkan gaya yang ditimbulkan lebih berfluktuasi disbanding dengan pola aliran yang lain.

Santoso dkk. (2012) meneliti tentang fluktuasi beda tekanan dari pola aliran *slug* air-udara pada aliran dua fase searah pipa horizontal dengan diameter pipa 24 mm dan panjang 10 m. Kecepatan pengambilan data adalah 400 Hz selama 50 dt dan menggunakan kamera berkecepatan tinggi untuk visualisasi pola aliran. Hasilnya karakteristik fluktuasi beda tekanan aliran *slug* dua fase udara-air sangat dipengaruhi oleh kecepatan superfisial fluida. Perubahan kecepatan superfisial udara dan kecepatan superfisial air dapat dibedakan dengan analisis statistik, *probably density function (PDF)*, auto korelasi dan *power spectral density (PSD)*.

Wibowo dkk. (2015) melakukan eksperimen mengenai sub-sub pola aliran *stratified* pada aliran dua fase searah berdasar fluktuasi beda tekanan pada pipa horizontal. Penelitian dilakukan menggunakan pipa acrylic transparan dengan diameter dalam 26 mm dan panjang 10 m, dan digunakan kamera berkecepatan tinggi untuk visualisasi aliran. Hasilnya pola aliran yang berhasil diamati secara visual dibagi menjadi sub-sub daerah yang meliputi *stratified smooth*, *two dimensional wave*, *roll wave* dan *atomization*. Visualisasi sub-sub pola aliran *stratified* yang diamati masih cukup sulit dideteksi jika hanya menggunakan fluktuasi beda tekanan saja. Hal ini disebabkan karena sinyal beda tekanan tidak langsung menggambarkan morfologi pola aliran.

Korawan (2015) melakukan penelitian tentang pola aliran dua-fase (air+udara) pada pipa horizontal berdiameter 36 mm dengan variasi kecepatan superfisial air 0.4; 0.55; 0.7; 0.85; dan 1.0 m/s dan rasio *volumetric* 0.05. Hasil dari penelitian yang dilakukan yaitu (1) pola aliran yang teramati adalah *bubble flow*, *slug flow* dan *stratified flow*. (2) semakin besar nilai  $U_{sl}$  mengakibatkan semakin panjang *bubble region* yang terjadi. (3) semakin besar nilai  $U_{sl}$  mengakibatkan terjadinya pergeseran perubahan pola aliran, dimana pada  $U_{sl}$  rendah terjadi perubahan *bubble flow* menjadi *stratified* dan pada  $U_{sl}$  tinggi terjadi perubahan dari *bubble flow* menjadi *slug flow*.

Deendarlianto dkk. (2016) melakukan studi menggunakan *CFD* pada plug aliran dua fase *gas-liquid* pada pipa horizontal menggunakan model pipa 3 dimensi dengan diameter pipa 26 mm dan panjang 1000 mm pada kondisi transient dengan

model *multiphase VOF (Volume Of Fluid)* aliran disimulasikan pada kecepatan superfisial udara ( $J_G$ ) = 0.12-1.88 m/s dan kecepatan superfisial air ( $J_L$ ) = 0.16-1.13 m/s pada temperatur 25° C. Hasil yang didapatkan adalah kecepatan superfisial gas secara signifikan mempengaruhi variasi waktu dari cairan yang tertahan pada aliran plug yang sangat berfluktuasi terpengaruh karena munculnya gelembung kecil dalam fase gas.

Sebagaimana uraian tinjauan pustaka di atas penelitian yang dilakukan masih banyak yang menggunakan metode eksperimental dan masih sedikit yang menggunakan metode komputasi dan masih menggunakan air-udara untuk mengetahui pola aliran yang terjadi pada sistem. Maka dari itu pada penelitian ini melakukan simulasi komputasi dinamika fluida aliran dua fase udara-air dan gliserin (0-30%) pada pipa kapiler horizontal.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Definisi Fluida**

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

### **2.2.2 Aliran Fluida**

Jenis aliran fluida dipengaruhi bilangan Reynolds (*Reynolds number*). Bilangan Reynolds adalah bilangan tidak berdimensi yang digunakan untuk penelitian aliran fluida pada pipa.

Berdasarkan kondisi terhadap waktu, aliran fluida dapat dibedakan :

a. Aliran *steady*

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

b. Aliran *transient*

Suatu aliran dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.

Berdasarkan bentuk alirannya, aliran fluida dibedakan.

a. Aliran Laminar

Aliran laminar adalah aliran yang terdiri dari lapisan-lapisan membentuk garis satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran laminar mempunyai bilangan Reynold kurang dari 2100.

b. Aliran Transisi

Aliran transisi adalah aliran peralihan dari aliran laminar ke turbulen, aliran transisi mempunyai bilangan Reynold 2100-4000.

c. Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran yang partikelnya berubag secara tidak menentu dan tidak stabil, aliran turbulen mempunyai bilangan Reynold lebih dari 4000.

### 2.2.3 Pola Aliran Fluida

Pola aliran terbentuk dari dua-fase mengalir di dalam pipa, perbedaan fase yang mengalir di dalam pipa membentuk banyak pola aliran. Klasifikasi pola aliran sangat berubah-ubah tergantung dari individual dan kondisi dari fluida yang mengalir, untuk situasi aliran tertentu, mungkin tiap orang mempunyai definisi masing-masing.

Pola aliran yang diperlihatkan pada gambar secara umum adalah sebagai berikut :

- a. 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.
- b. Aliran strata gelombang (*stratified wavy flow*), dimana amplitude gelombang meningkat karena kenaikan kecepatan gas.
- c. Aliran sumbat *liquid* (*slug flow*), dimana *amplitude* gelombang sangat besar hingga menyentuh bagian atas pipa.
- d. Aliran cincin (*annular flow*), sama dengan pipa vertikal hanya *liquid film* lebih tebal didasar pipa dibanding dibagian atas.

- e. Aliran gelembung yang tersebar (*dispersed bubbly flow*), dimana gelembung gas cenderung untuk mengalir pada bagian atas pipa.

#### **2.2.4 Komputasi Dinamika Fluida**

Komputasi dinamika fluida atau yang biasa disebut *Computational Fluid Dynamics (CFD)* adalah metodologi yang menggunakan komputer untuk menganalisa aliran fluida, perpindahan kalor, reaksi kimia, dan fenomena aliran fluida lainnya.

Komputasi dinamika fluida sering digunakan untuk menganalisa suatu sistem yang berkaitan dengan fluida. Penggunaan *CFD* di dunia industri diaplikasikan dalam berbagai bidang contohnya : Otomotif, *Biomedical*, *Chemical Processing*, Semikonduktor, *Aerospace*.

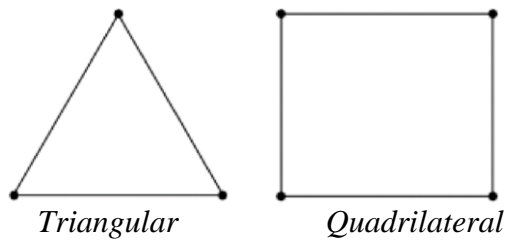
#### **2.2.5 Proses Komputasi Dinamika Fluida**

Pada umumnya dalam proses komputasi dinamika fluida terdapat tiga tahapan yang harus dilakukan untuk simulasi *CFD*, yaitu :

##### **a. *Pre Processing***

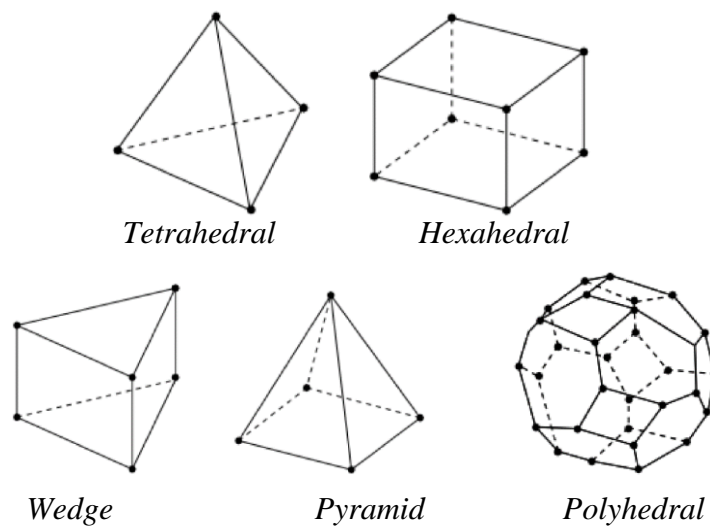
*Pre processing* merupakan tahapan awal sebelum menganalisis sebuah sistem menggunakan *CFD*. Pada tahap *pre processing* akan dilakukan pembuatan geometri dalam bentuk 2 dimensi atau 3 dimensi. Pembuatan geometri dapat dilakukan pada *software CFD* itu sendiri atau menggunakan *software CAD* seperti *Inventor* dan *Solidworks*.

Setelah pembuatan geometri, selanjutnya pembuatan *mesh* atau *meshing*. *Meshing* adalah proses pembagian komponen yang akan dihitung menjadi bagian-bagian kecil. Ukuran dan bentuk *mesh* mempengaruhi proses perhitungan dan hasil dari simulasi. Semakin kecil ukuran *mesh* maka semakin banyak perhitungan yang dilakukan sehingga perhitungan semakin akurat dan semakin lama proses simulasi. Untuk 2 dimensi jenis *mesh* menggunakan *quadrilateral* dan *triangular*, sedangkan untuk 3 dimensi menggunakan jenis *mesh hexahedral*, *tetrahedral*, *pyramid*, *wedge*, dan *polyhedral*.



Gambar 2.1 Bentuk *Mesh* Untuk 2 Dimensi

(ANSYS Theory Guide 2016)



Gambar 2.2 Bentuk *Mesh* Untuk 3 Dimensi

(ANSYS Theory Guide 2016)

**b. Processing**

*Processing* adalah tahap perhitungan dari simulasi. Pada tahap ini pemilihan persamaan perhitungan, pemilihan model, dan penggunaan *solver* akan dikalkulasi untuk mencari solusi dari permasalahan sebuah sistem dengan cara menghitung kondisi batas yang sudah ditentukan pada tahap *pre processing*. Perhitungan selesai apabila telah mencapai batas iterasi yang telah ditentukan. Bagian-bagian didalam *processing* yaitu :

1) *General*

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 *scalar* diselesaikan secara terpisah berat jenis dapat dijalankan berdasarkan implisit dan eksplisit.

c) *Steady*

Menentukan bahwa solusi tidak berubah terhadap waktu.

d) *Transient*

Menentukan bahwa solusi berubah terhadap waktu.

2) *Models*

a) *Volume Of Fluid*

Model *VOF* dapat memodelkan dua atau lebih fluida dengan memecahkan satu set persamaan momentum dan mencatat setiap fraksi volume dari domain fluida.

b) *Mixture*

Model mixture adalah model multiphase yang disederhanakan yang dapat digunakan dengan cara yang berbeda. Hal ini dapat digunakan untuk model multiphase dimana fase bergerak dengan kecepatan yang berbeda. Model mixture digunakan untuk mengkalkulasi viskositas non-newton.

c) *Eulerian*

Model eulerian di *ANSYS Fluent* memungkinkan untuk memodelkan banyak aliran terpisah. Fase-fase itu dapat berupa cairan, gas, dan solid hampir dalam setiap kombinasi.

3) *Boundary Conditions*

a) *Axis dan Symmetry*

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*.

b) *Intake Fan* dan *Exhaust Fan*

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

c) *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 keluar saluran masuk/keluar yang dapat menimbulkan kerugian tekanan pada aliran.

d) *Velocity Inlet*

Kondisi batas *velocity inlet* digunakan untuk mendefinisikan kecepatan aliran besaran scalar lainnya pada sisi masuk aliran.

e) *Pressure Inlet*

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

f) *Pressure Outlet*

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

g) *Mass Flow Inlet*

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

h) *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.

i) *Outflow*

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

4) *Solution Methods*

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

Simple digunakan pada skema kasar dan masih sederhana.

b) *SIMPLE Consistent (SIMPLEC)*

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

c) *Pressure Implicit With Splitting of Operators (PISO)*

Untuk aliran transien atau kasus dengan *mesh* yang mengandung *skewness* tinggi.

d) *Coupled*

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

e) *Least Squared Cell Based*

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

f) *Green-Gauss Cell Based*

Untuk menghitung jumlah cell sehingga tidak memerlukan waktu yang terlalu lama, tetapi hasil simulasi kurang akurat.

g) *Green-Gauss Node Based*

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

h) *PRESTO!*

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

i) *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.

j) *First Order Upwind*

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

k) *Second Order Upwind*

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

l) *Quadratic Upwind Interpolation (QUICK)*

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

5) *Solution Initialization*

a) *Hybrid*

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

b) *Standard*

Pada umumnya penggunaan memilih berdasar kondisi batas “*compute from*” agar secara otomatis mengisi nilai inisialisasi dengan nilai-nilai yang ditentukan pada batas *inlet* dan *outlet*.

**c. *Post Processing***

Tahap terakhir dalam *CFD* adalah *post processing*. Hal yang dilakukan pada tahap ini adalah pengolahan data berupa nilai untuk variabel-variabel tertentu, grafik, serta visualisasi dalam bentuk *contour* dan animasi. Pada tahap ini dapat dilakukan menggunakan *software CFD* itu sendiri ataupun menggunakan *software* lain khusus untuk *post processing*.