

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Penelitian tentang pompa hidram sudah dilakukan baik dengan metode eksperimen maupun dengan metode simulasi menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Penelitian tentang pompa hidram sudah dilakukan oleh Marbun & Hazwi. (2013), Shende dkk. (2015), Sofwan & Siregar (2015), Fajri, dkk. (2015), Harith, dkk (2017), Harith, dkk (2018), Suarda & Wirawan (2008), Setyawan & Siregar (2015), Akhmadi & Qurohman (2017), Saragih (2013).

Marbun & Hazwi. (2013) melakukan penelitian tentang simulasi CFD aliran fluida pada pompa hidram dengan tinggi air jatuh 2,3 m. Simulasi yang digunakan untuk aliran *steady*, inkompresible, turbulen dan tiga dimensi. Simulasi diatur dengan sembilan rangkaian yaitu tiga bukaan panjang langkah katup limbah, tiga bukaan katup penghantar dan tiga perbedaan volume tabung udara. Panjang langkah dari katup buang yang digunakan pada penelitian tersebut yaitu 25 mm, 20 mm dan 15 mm. Volume tabung yang digunakan yaitu 0,0061 m<sup>3</sup>, 0,0082 m<sup>3</sup>, 0,0102 m<sup>3</sup>. Hasil penelitian didapat dengan membandingkan hasil simulasi dengan hasil pengujian, penyimpangan terendah sebesar 0,78 % dan penyimpangan tertinggi sebesar 9,19 %.

Shende, dkk. (2015) meneliti tentang analisis kinerja pompa hidram menggunakan CFD. Tujuan dari penelitian untuk menganalisis aliran fluida, vektor kecepatan, vektor tekanan untuk head yang berbeda yaitu 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, dan 5 m. Geometri pompa hidram yang digunakan dalam penelitian tersebut menggunakan geometri 3 dimensi. Analisis dilakukan dengan cara mengubah desain pada katup limbah pompa hidram dan prosedur yang sama digunakan untuk analisis pompa hidram, aliran yang terjadi pada pompa hidram turbulen.

Sofwan & Siregar. (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh ketinggian terjunan dan volume tabung terhadap kinerja pompa hidram.

Penelitian tersebut dilakukan dengan metode eksperimen, pada penelitian tersebut pompa hidram yang digunakan memiliki diameter pipa masuk (*input*) sebesar 1 inch dan pipa keluaran (*output*) sebesar 0,5 inch. Variasi terjunan yang dilakukan ada 3 variasi yaitu: 1,5 m, 1,75 m, dan 2 m. Variasi untuk volume tabung yang dilakukan yaitu: 0,0024 m<sup>3</sup>, 0,0028 m<sup>3</sup>, 0,0032 m<sup>3</sup> dan variasi ketinggian *discharge* adalah 2,5 m, 3 m, 3,5 m. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa yang paling optimal adalah pada ketinggian terjunan 1,75 m dengan variasi volume tabung udara 0,0028 m<sup>3</sup> dan ketinggian discharge 3,5 m di dapatkan hasil kapasitas *discharge* sebesar 5,74 liter/menit, efisiensi *volumetris* sebesar 45% dan efisiensi pompa hidram sebesar 40%. Hasil simulasi menunjukkan semakin tinggi terjunan maka semakin tinggi juga energi yang masuk, keseimbangan antara tekanan yang masuk dengan tekanan yang ada didalam tabung menyebabkan katup hantar terbuka semakin cepat sehingga kapasitas *discharge* meningkat. Peningkatan tersebut sebanding dengan peningkatan efisiensi *volumetris* dan efisiensi pompa.

Akhmadi dan Qurohman. (2017) meneliti tentang optimasi desain rancang bangun pompa hidram. Perencanaan pompa hidram perlu memperhatikan perbandingan tinggi air masuk dengan air keluar. Hasilnya pada ratio ketinggian air masuk dan keluar sebesar 0,5 efisiensi aliran dapat mencapai 50%-60%. efisiensi menurun sampai dengan 20% untuk menghasilkan debit air 1-5 liter/menit.

Harith, dkk. (2017) melakukan penelitian tentang simulasi CFD aliran fluida pada pompa hidram. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengembangkan desain baru dari pompa hidram dan melakukan simulasi untuk validasi dari desain pompa hidram. Simulasi dilakukan dengan cara memvariasikan antara katup limbah dengan katup penghantar pompa hidram. Penelitian dilakukan menggunakan geometri pompa hidram 3 dimensi untuk menghasilkan data dalam bentuk kontur kecepatan dan tekanan yang dapat digunakan untuk menganalisa aliran fluida pada pompa hidram. Tekanan diilustrasikan dalam 3 kondisi berbeda

dalam pompa yang sama. Simulasi dalam kondisi terbuka mencatat nilai tekanan statis masing-masing sebesar 4,42 kPa dan 15,15 kPa sedangkan kondisi ditutup menghasilkan tekanan 128 kPa dan 97,8 kPa. Hasil tekanan pada bagian bawah katup limbah juga berkurang dan bersamaan dengan itu katup limbah terbuka secara otomatis. Penutupan pada katup buang secara tiba-tiba menciptakan tekanan tinggi pada pompa hidram dan katup pengantar, hasilnya 15,44 kPa dalam kondisi terbuka dan 115,89 kPa dalam kondisi tertutup.

Harith, dkk. (2018) meneliti tentang pompa hidram menggunakan metode simulasi menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Penelitian dilakukan dengan cara memodifikasi antara katup limbah dengan katup pengantar untuk mengetahui kinerja dari pompa hidram tersebut. Katup pompa hidram dilakukan analisis pada aliran internal menggunakan CFD. Penelitian dilakukan dengan 4 variasi, melibatkan pembukaan dan penutupan kedua katup. Pada penelitian dengan ukuran tinggi bukaan katup limbah 0,265 m menunjukkan siklus operasi penutupan dan pembukaan katup limbah pengantar hingga celah 0,164 m. Hasil simulasi menunjukkan karakteristik aliran berkontribusi terhadap pengurangan air limbah 10-20% dan peningkatan tinggi laju aliran hingga 80 m.

Fajri, dkk. (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh diameter katup limbah dan jarak antara katup limbah dengan katup pengantar terhadap efisiensi pompa hidram. Penelitian dilakukan untuk mengetahui efisiensi pompa hidram dengan perubahan diameter katup limbah dan jarak katup limbah. Metode yang digunakan pada penelitian menggunakan metode eksperimen dengan demensi pompa yang digunakan berdiameter 2 *inch*, diameter pipa *inlet* 2 *inch* dan diameter *outlet* 1 *inch*. Hasil simulasi didapatkan efisiensi tertinggi pada katup limbah 0,04 m dan jarak katup 0,13 m didapat efisiensi 79,7535%. Perubahan diameter katup limbah sangat berpengaruh terhadap debit hasil pemompaan dan debit air limbah, karena semakin besar diameter katup limbah debit air hasil pemompaan semakin besar dan debit air limbah semakin sedikit. Perubahan jarak

antara katup tidak mengalami perubahan yang besar pada efisiensi pompa hidram karena laju aliran dan tekanan yang dihasilkan tidak mengalami perubahan yang besar.

Suarda & Wirawan. (2008) meneliti tentang pengaruh tabung udara terhadap head tekanan pompa hidram. Metode yang digunakan metode eksperimen, penelitian dilakukan dengan cara melakukan variasi pada instalasi pompa hidram dengan menggunakan tabung udara dan tanpa tabung udara. Parameter yang diamati pada penelitian adalah besarnya peningkatan tekanan pada pipa pengantar, badan pompa, leher pompa, pipa penyalur serta debit yang dihasilkan pada bak penampungan. Hasil penelitian didapatkan bahwa head tekan balik didalam pipa pengantar menurun dari 103, 87 m tanpa menggunakan tabung udara menjadi 37,85 m dengan tabung udara. Pada pipa penyalur head tekanan akibat *water hammer* meningkat dari 0,29 m tanpa menggunakan tabung udara menjadi 2,9 m dengan menggunakan tabung udara. Pemasangan tabung udara dapat meningkatkan efisiensi pada pompa hidram dari 0,72% tanpa tabung menjadi 19,45% dengan tabung.

Setyawan & Siregar (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh katup limbah dan ketinggian *discharge* terhadap kinerja pompa hidram. Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi katup limbah dan ketinggian *discharge* terhadap efisiensi pada pompa hidram. Variasi berat katup limbah yang digunakan dalam penelitian 200 gram, 250 gram, 300 gram, 350 gram, 400 gram, dan 450 gram yang di variasikan pada pipa *inlet* 1,25 inch dan panjang 400 cm, diameter pipa *discharge* 0,5 inch dengan ketinggian 300 cm, 350 cm, dan 400 cm kemudian diameter rumah pompa 1,25 inch. Hasil yang didapatkan berupa data kuantitatif dari variasi dengan hasil yang terbaik. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas berat katup limbah 200 gram dengan nilai 7,75 l/m pada *discharge* 3 m. Hasil efisiensi *volumetris* berat katup limbah 200 gram dengan nilai 52,961% pada *discharge* 3 m dengan efisiensi 60,623 %.

Saragih. (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi diameter katup limbah terhadap unjuk kerja pompa hidram. Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimen dengan cara mengalirkan air dari *reservoir* sebagai sumber air dengan kapasitas 500 liter dan ketinggian 3,5 m. Diameter pipa *inlet* sebesar 1 *inch* dengan variasi katup limbah 0,5 *inch*, 0,75 *inch*, 1 *inch*, 1,5 *inch* dan 1,75 *inch*. Hasil penelitian menunjukkan diameter katup limbah berpengaruh besar terhadap kinerja pompa hidram. Hasil penelitian tersebut menunjukkan diameter katup limbah 1 *inch* memiliki unjuk kerja yang terbaik dengan hasil pemompaan, kecepatan aliran dan efisiensi pompa hidram yang tertinggi.

## 2.2 Aliran Fluida

Aliran fluida merupakan salah satu fenomena yang dapat ditemui dalam kehidupan sehari-hari. Aliran air di sungai, aliran gas pada turbin hingga aliran darah pada pembuluh darah merupakan beberapa contoh dari fenomena aliran fluida.

Berdasarkan kondisi terhadap waktu, secara garis besar jenis aliran dapat dibedakan sebagai berikut (olson, 1990):

a. Aliran *Steady*

Aliran *steady* adalah aliran dimana kecepatannya tidak terpengaruh terhadap waktu sehingga kecepatannya konstan pada setiap waktu.

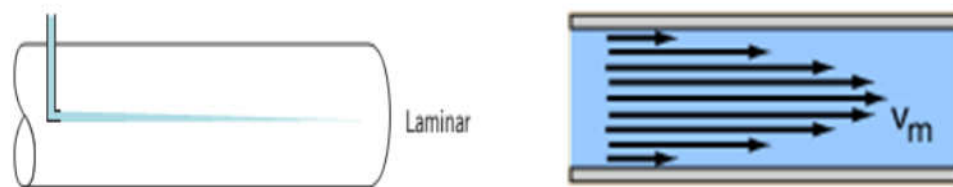
b. Aliran *Transient*

Aliran *transient* merupakan kebalikan dari aliran *steady*. Aliran *transient* adalah suatu aliran yang mengalami perubahan kecepatan terhadap waktu.

Berdasarkan bentuk alirannya fluida dibedakan menjadi aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen.

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.



**Gambar 2.1** Aliran laminar (Munson dkk, 2012)

b. Aliran Transisi

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



**Gambar 2.2** Aliran transisi (Munson dkk, 2012)

c. Aliran Turbulen

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



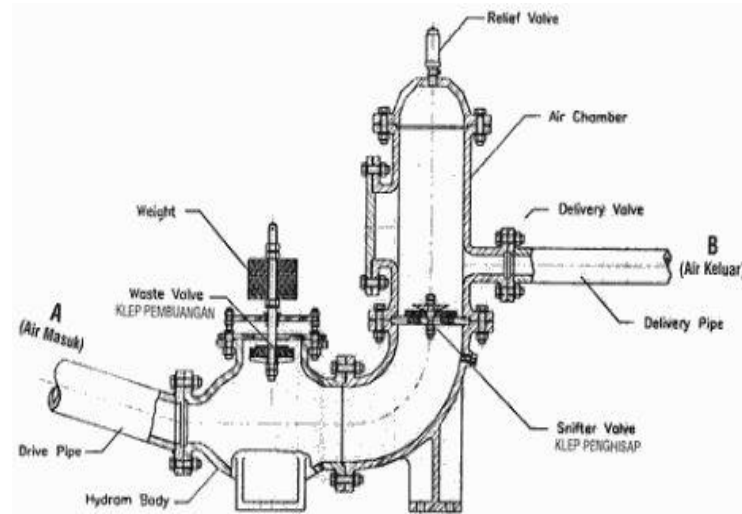
**Gambar 2.3** Aliran turbulen (Munson dkk, 2012)

### 2.3 Pompa Hidram

Pompa hidram adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan air dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi secara perlahan (kontinyu) dengan menggunakan energi potensial dari air itu sendiri yang masuk ke dalam pompa melalui pipa miring atau *penstock* yang digunakan sebagai penggerak. Pompa hidram tidak membutuhkan sumber energi dari luar seperti pompa pada umumnya yang menggunakan motor listrik sebagai penggerak.

Pompa hidraulik ram atau hidram adalah pompa yang memanfaatkan energi tumbukan atau momentum dari air secara terus-menerus. Energi tumbukan tersebut digunakan untuk memompa sebagian air ke tempat yang ketinggiannya yang jauh lebih tinggi dari sumber airnya. Pompa hidram tidak membutuhkan energi dari luar yang diperlukan adalah pasokan air yang konstan sehingga pompa akan tetap berfungsi terus menerus secara otomatis.

Prinsip kerja pompa hidram adalah perubahan energi kinetik dari aliran air menjadi energi dinamik sehingga menimbulkan efek palu air atau *water hammer* sehingga terjadi tekanan tinggi secara perlahan di dalam pompa. Dalam pemanfaatannya pompa hidram memerlukan gaya gravitasi untuk menciptakan energi dari hantaman air tersebut, untuk mendapatkan energi potensial dari hantaman air diperlukan syarat utama yaitu beda elevasi antara terjunan air dengan pompa hidram minimal 1 m (Widarto, 2000).



**Gambar 2.4** Pompa hidram (Herlambang dan Wahjono, 2006)

Bagian-bagian utama dari pompa hidram sebagai berikut :

a. Katup buang atau *Waste Valve*

Katup buang atau *Waste Valve* merupakan salah satu komponen terpenting pada pompa hidram. Katup buang berfungsi untuk mengubah energi yang akan menaikkan air sebagai fluida kerja menuju tabung udara (Hanafie, 1979). Katup buang merupakan tempat keluarnya air yang berfungsi untuk meningkatkan kecepatan aliran air yang berasal dari *reservoir* melalui pipa pelesat, sehingga dapat menimbulkan tekanan dari aliran air yang bekerja sebagai sumber tenaga pompa hidram.

b. Katup Pengantar atau *Delivery Valve*

Katup pengantar atau *Delivery Valve* berfungsi untuk menghantar air dari rumah pompa ke tabung udara, serta menahan air yang telah masuk ke tabung udara agar tidak kembali ke badan pompa. Katup pengantar terdapat di tabung udara pada pompa hidram. Katup pengantar atau *delivery valve* mempunyai lubang yang besar agar air yang dipompa dapat mengalir ke



tabung udara. Katup ini dibuat dengan bentuk yang sederhana yaitu katup searah.

c. Tabung Udara atau *Air Chamber*

Tabung udara atau *Air Chamber* berfungsi untuk memampatkan udara dan menahan tekanan dari siklus ram. Tabung udara juga berfungsi untuk memperkuat tekanan dinamik, sehingga dapat mendorong air ke pipa keluaran atau *output*.

d. Badan Pompa

Badan pompa merupakan ruang utama tempat terjadinya proses pemompaan. Rumah pompa juga merupakan bagian penghubung dari bagian-bagian pompa hidram yang lain seperti Katup Limbah atau *Waste valve*, Tabung Udara atau *Air chamber*, Pipa Miring atau *penstock*, Katup Penghantar atau *Delivery valve*.

e. Pipa Miring atau *penstock*

Pipa Miring atau *penstock* berfungsi meningkatkan kecepatan aliran air, untuk menciptakan energi dari hantaman air tersebut.

Tekanan pada pompa hidram dapat dihitung untuk dilakukan analisis, dengan menggunakan persamaan Bernoulli sebagai berikut:

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{1}{2} \times (V_2^2 - V_1^2) + g \times (h_2 - h_1) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana,  $\Delta P$  = Perbedaan tekanan (Pa)

$v_1$  = Kecepatan aliran fluida kondisi 1 (m/s)

$v_2$  = Kecepatan aliran fluida kondisi 2 (m/s)

$g$  = Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$h_1$  = Ketinggian aliran fluida kondisi 1 (m)

$h_2$  = Ketinggian aliran fluida kondisi 2 (m)

$\rho$  = Massa Jenis air ( $kg/m^3$ )

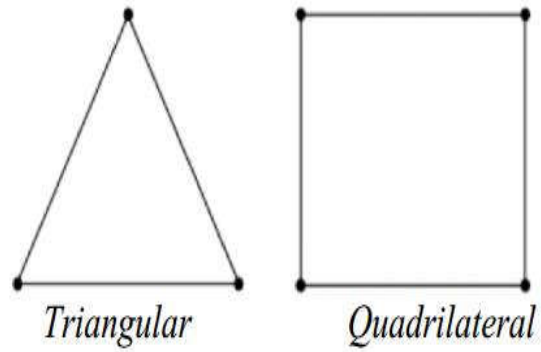
## 2.4 CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dibagi menjadi dua kata yaitu *Computational* dan *Fluid Dynamic*. *Computational* adalah segala sesuatu yang berhubungan dengan matematika dan metode *numeric* atau komputasi, *Fluid Dynamic* adalah dinamika dari segala sesuatu yang mengalir. CFD di defenisikan ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, interaksi fluida, reaksi kimia, sistem akustik, dan fenomena lainnya dengan cara menyelesaikan persamaan-persamaan matematika atau model matematika dengan pemodelan di komputer.

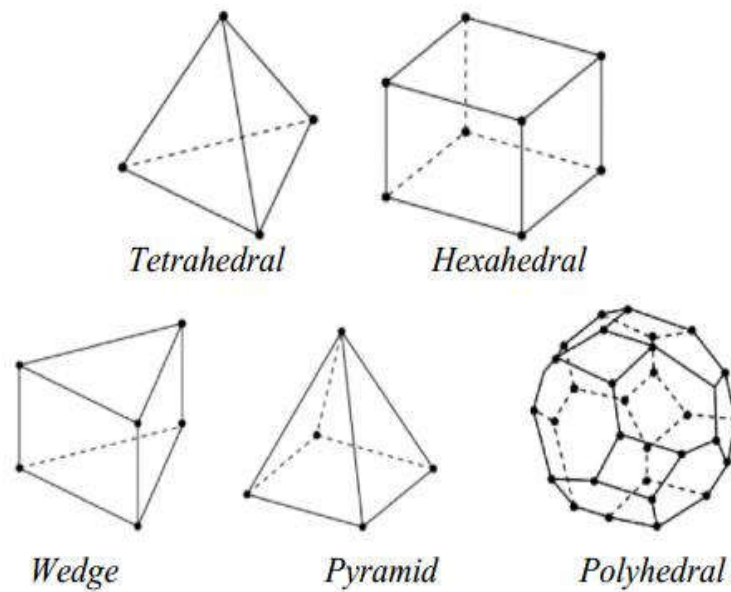
CFD dapat mensimulasikan dari sebuah sistem yang akan dianalisis. CFD dapat memberikan data berupa kontur, kurva, grafik, vektor dan animasi yang bisa menunjukkan prediksi performa dari sebuah sistem yang telah didesain. Hasil simulasi dari CFD bisa berupa data kualitatif ataupun data kuantitatif sesuai dari persoalan dan data yang di input. Pada umumnya dalam proses simulasi CFD terdapat tiga tahapan yaitu :

### a. *Pre Processing*

*Pre processing* merupakan langkah pertama dalam menganalisis dan membangun sebuah model CFD. Pada tahap *pre processing* yang dilakukan adalah membuat geometri dalam bentuk 2 dimensi atau 3 dimensi dan pembuatan *mesh* atau *meshing*. Pembuatan geometri dapat dilakukan di *software* CFD itu sendiri atau menggunakan *software* CAD seperti *inventor* dan *solidwork*. Setelah pembuatan geometri yang dilakukan pada tahap *pre processing* adalah pembuatan *mesh* atau *meshing*. *Mesh* yang digunakan untuk geometri 2 dimensi dan 3 dimensi mempunyai jenis *mesh* yang berbeda, geometri 2 dimensi menggunakan *mesh* berbentuk *quadrilateral* dan *triangular* sedangkan geometri 3 dimensi menggunakan *mesh* berbentuk *hexahedral*, *pyramid*, *wedge*, *tetrahedral* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5 dan gambar 2.6



**Gambar 2.5** Bentuk *mesh* geometri 2 dimensi (*ANSYS FLUENT User's Guide*, 2013)



**Gambar 2.6** Bentuk *mesh* geometri 3 dimensi (*ANSYS FLUENT User's Guide*, 2013)

## b. *Processing*

*Processing* adalah tahap perhitungan dari simulasi, pada tahap ini dilakukan proses perhitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya perhitungan dilakukan hingga hasil menuju *error* terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Perhitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit. Perhitungan akan selesai apabila hasil perhitungan telah mencapai tingkat ketelitian yang telah ditentukan ataupun telah mencapai batas jumlah iterasi yang telah ditentukan. Pada *processing* terdapat berbagai tahapan yaitu:

### 1) *General*

#### a) *Pressure-Based*

Medan kecepatan diperoleh dari persamaan momentum, konversi massa dicapai dengan memecahkan persamaan tekanan, energi diselesaikan secara berurutan dalam metode terpisah. *Solver* ini digunakan untuk simulasi dibawah kecepatan supersonik.

#### b) *Density-Based*

Persamaan yang mengatur kontinuitas, momentum yang diselesaikan secara bersamaan. Persamaan *scalar* diselesaikan secara terpisah diselesaikan berdasarkan *implisit* dan *eksplisit*. *Solver* ini digunakan untuk simulasi diatas kecepatan supersonik.

#### c) *Steady*

Menentukan bahwa solusi tidak berubah terhadap waktu.

#### d) *Transient*

Menentukan bahwa solusi berubah terhadap waktu.

### 2) *Models Viscous*

Menentukan *models viscous* harus ditentukan terlebih dahulu jenis aliran yang akan disimulasikan termasuk dalam *inviscid*, laminar atau turbulen.

Untuk aliran turbulen terdapat berbagai jenis aliran turbulen yaitu:

a) *Spalart-Allmaras*

Model *spalart-allmaras* merupakan model aliran turbulen dengan satu persamaan yang menyelesaikan model persamaan transport untuk viskositas kinematik turbulen. Model ini di desain secara khusus untuk aplikasi dunia penerbangan atau *aerospace* yang melibatkan aliran *wall-bounded* dan telah menunjukkan hasil yang baik. Bentuk dasar model *spalart-allmaras* hanya efektif pada model dengan bilangan Reynolds yang kecil. Model ini digunakan untuk simulasi yang relatif kasar dengan ukuran *mesh* yang besar.

b) *Model K-epsilon*

*Model K-epsilon* merupakan model aliran turbulen yang cukup lengkap dengan dua persamaan yang memungkinkan kecepatan turbulen dan skala panjang ditentukan secara bersamaan. Model ini mempunyai kestabilan pada alirannya, ekonomis dari sisi komputasi, dan akurasi yang memadai untuk berbagai jenis aliran turbulen.

c) *Model K-omega*

*Model k-omega* terdapat dua model, model *k-omega standart* dan model *k-omega SST*. Model *k-omega standart* merupakan model yang memasukan beberapa modifikasi untuk menghitung aliran pada bilangan *Reynolds* rendah, kompresibilitas dan penyebaran aliran geser.

Model *k-omega SST* hampir sama dengan model *k-omega* standar dengan beberapa perbaikan seperti penggabungan kedua model antara model *k-omega standart* dan model *k-epsilon* yang telah diubah dengan satu pencampuran sehingga lebih akurat untuk daerah di dekat dinding maupun aliran yang jauh dari dinding, konstanta model berbeda dengan model *k-omega standart*.

d) *Model Reynold stress*

Model *reynold stress* (RSM) merupakan model turbulensi yang paling teliti tetapi membutuhkan waktu komputasi yang lebih lama.

RSM menghitung efek dari kurva *streamline*, pusaran atau *swirl*, putaran dan perubahan tiba-tiba pada aliran dengan lebih teliti dibandingkan model dengan satu dan dua persamaan, sehingga RSM memberikan prediksi yang lebih akurat untuk aliran kompleks.

e) Model *Large Eddy Simulation* (LES)

Model ini tidak dapat digunakan untuk seluruh masalah teknik, karena membutuhkan daya komputasi yang besar. Ukuran *mesh* yang digunakan harus kecil, lebih kecil dari  $Re^{9/4}$  untuk model 3 dimensi sehingga tidak praktis untuk aplikasi teknik secara umum.

f) Model *Near Wall Treatment*

Pemodelan yang akurat di dekat dinding merupakan hal yang penting untuk kebanyakan aplikasi teknik karena perkiraan penurunan tekanan, separasi aliran, lapisan batas tergantung kepada kebenaran prediksi gaya geser aliran lokal pada dinding tersebut. Model dibutuhkan untuk memprediksi karakteristik aliran di dekat dinding, terutama pada aliran yang sangat dipengaruhi oleh dinding (*wall-bonded flow*).

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 *viscous*. Kondisi batas *axis* digunakan sebagai garis tengah (*centerline*) untuk kasus 2D *axisymmetry*.

b) *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 atau keluar dimana terdapat ventilasi di sisi keluar saluran masuk atau keluar yang dapat menimbulkan kerugian tekanan pada aliran.

c) *Velocity Inlet*

Kondisi batas *velocity inlet* digunakan untuk mendefinisikan kecepatan aliran besaran skalar lainnya pada sisi masuk aliran. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulensi sama dengan kondisi batas *velocity inlet*. aliran dan besaran skalar pada sisi masuk aliran.

d) *Pressure Inlet*

Data tekanan total, 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*.

e) *Pressure Outlet*

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

f) *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*.

g) *Wall* atau dinding

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.

h) *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.

i) Kondisi Batas Internal

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

4) *Dynamic Mesh*

*Dynamic mesh* digunakan untuk menentukan semua parameter pemodelan model *mesh* dinamis atau bergerak. Parameter yang terdapat pada pemodelan mesh dinamis seperti *smoothing*, *layering*, *remeshing*.

a) *Smoothing*

*smoothing* digunakan untuk menyesuaikan mesh suatu zona dengan batas bergerak atau deformasi, *node interior mesh* bergerak, tetapi jumlah *node* dan konektivitasnya tidak berubah.

b) *Layering*

*Layering* adalah pemodelan *dynamic mesh* yang digunakan pada *mesh prismatic* seperti *hexahedral* dapat menggunakan *layering* dinamis untuk menambah atau menghapus lapisan sel yang berdekatan dengan batas bergerak, berdasarkan ketinggian lapisan yang berdekatan dengan permukaan bergerak. Model *layering* dalam *ANSYS Fluent* memungkinkan untuk menentukan ketinggian lapisan yang ideal pada



setiap batas bergerak. Lapisan *cell* yang berdekatan dengan batas bergerak dibagi atau digabung dengan lapisan *cell* di sebelahnya berdasarkan ketinggian dari sel dalam lapisan .

c) *Remeshing*

*Remeshing* adalah pemodelan *dynamic mesh* yang digunakan pada *mesh* segitiga atau *tetrahedral*. Metode *remeshing* pergerakannya *mesh* seperti pegas.

5) *Solution Methods*

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

*SIMPLE* digunakan pada skema kasar dan masih sederhana.

b) *SIMPLEC (SIMPLE Consistent)*

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

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

Berguna untuk aliran *transient* atau kasus dengan *mesh* yang mengandung *skewness* yang tinggi. Metode ini didasarkan pada tingkatan yang lebih tinggi dari hubungan pendekatan antara faktor koreksi tekanan dan kecepatan.

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 Note Based*

Digunakan untuk perhitungan berdasarkan jumlah note 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*

*Second Order Upwind* menggunakan persamaan yang lebih teliti sampai 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) *QUICK (Quadratic Upwind Interpolation)*

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.

6) *Solution Initialization*a) *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.

b) *Standard Initialization*

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*

*Post Processing* adalah tahap akhir dari simulasi CFD. Pada tahap ini akan dilakukan pengambilan dan pengolahan data berupa gambar, kurva, dan animasi. Tahap *processing* ini dapat dilakukan menggunakan *software* CFD itu sendiri ataupun menggunakan *software* lain khusus untuk *post processing*. Tahap ini dapat dilakukan menggunakan *software* CFD itu sendiri ataupun menggunakan *software* lain khusus untuk *post processing*.

## 2.5 *Fluent*

*Fluent* merupakan salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode elemen hingga dan *Fluent* juga menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh* yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. *Fluent* memiliki beberapa jenis *mesh* yaitu pada 2 dimensi terdapat *triangular* dan *quadrilateral*, sedangkan pada 3 dimensi terdapat *tetrahedral*, *hexahedral*, *pyramid*, *wedge* dan *mesh* campuran (*hybrid*). Menggunakan *Fluent* memungkinkan untuk memperhalus atau memperbesar ukuran *mesh*.

Dalam dunia industri, sering digunakan untuk desain dari suatu sistem fluida dan juga untuk mencari sumber atau analisis kegagalan suatu sistem fluida. Penggunaan *Fluent* dalam dunia industri secara umum seperti pada aerospace, otomotif, biomedical, polimer, proses kimia, dan semikonduktor. Program *Fluent* mempunyai kemampuan pemodelan dengan karakteristik sebagai berikut:

- a. Aliran tunak (*steady state*) dan aliran *transient*
- b. Aliran inkompresible dan kompresible untuk semua daerah kecepatan seperti aliran subsonik, transonik, supersonik dan hipersonik.
- c. Aliran viskos, laminar dan turbulen.
- d. Perpindahan kalor meliputi perpindahan kalor konveksi dan perpindahan kalor radiasi.
- e. Model permukaan bebas atau *free surface* dan multifasa untuk aliran gas-cair, gas-padat dan cair-padat.
- f. Pemodelan fenomena kavitasi.
- g. Perubahan fasa untuk peleburan atau solidifikasi.