

## **BAB II**

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

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

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

Suarda dan Wirawan (2008) meneliti tentang pengaruh tabung udara terhadap head tekanan pompa hidram. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen, penelitian dilaksanakan dengan cara mengubah variasi pada desain pompa hidram dengan tabung udara dan tanpa tabung udara. Parameter yang diamati adalah besarnya peningkatan tekanan pada pipa pengantar, badan pompa, leher pompa, pipa penyalur serta debit yang dihasilkan pada bak penampungan. Hasil dari penelitian tersebut 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. Sehingga pemasangan tabung udara dapat meningkatkan efisiensi pada pomp hidram dari 0,72% tanpa tabung menjadi 19,45% dengan tabung.

Saragih (2013) meneliti tentang pengaruh variasi diameter katup limbah terhadap unjuk kerja pompa hidram. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, penelitian dilakukan dengan cara mengalirkan dari reservoir sebagai sumber air dengan kapasitas 500 liter dan ketinggian 3,5 m. Diameter pipa inlet 1 inch, kemudian variasi katup limbah 0,5 inch, 0,75 inch, 1 inch, 1,5 inch dan 1,75 inch. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa diameter katup limbah berpengaruh besar terhadap kinerja dari pompa hidram. Semakin besar diameter katup limbah maka debit limbah dan jumlah ketukan katup limbah semakin besar tetapi pada

debit pemompaannya mengalami penurunan. Pada penelitian tersebut diameter katup limbah 1 inch memiliki unjuk kerja yang terbaik dengan hasil pemompaan, kecepatan aliran dan efisiensi pompa hidram yang tertinggi.

Sofwan & Siregar (2015) meneliti tentang pengaruh ketinggian pipa miring 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. Untuk variasi ketinggian pipa miring yang dilakukan ada 3 variasi yaitu: 1,5 m, 1,75 m, dan 2 m. Sedangkan 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 sisi *discharge* adalah 2,5 m, 3 m, 3,5 m. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa hasil yang paling optimal adalah pada ketinggian pipa miring 1,75 m dengan variasi volume tabung udara 0,0028 m<sup>3</sup> dan ketinggian sisi *discharge* 3,5 m didapatkan hasil kapasitas sisi *discharge* sebesar 5,74 liter/menit, efisiensi volumetris sebesar 45% dan efisiensi pompa hidram sebesar 40% . Dari hasil data tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi pipa miring maka semakin tinggi juga energi yang masuk, keseimbangan antar tekanan yang masuk dengan tekanan terdapat pada dalam tabung menyebabkan katup terbuka semakin cepat sehingga tekanan *discharge* msemakin tinggi. Peningkatan tersebut sebanding dengan peningkatan efisiensi volumetris dan efisiensi pompa.

Fajri, dkk (2015) meneliti tentang pengaruh diameter katup buang dan jarak antara katup buang dengan katup pengantar terhadap efisiensi pompa hidram. Penelitian tersebut dilaksanakan untuk mengetahui efisiensi pompa hidram dengan perubahan diameter katup buang dan jarak antar katup buang. Metode yang digunakan pada penelitian menggunakan metode eksperimen dengan demensi pompa yang digunakan adalah 2 inch, diameter pipa inlet 2 inch dan diameter outlet 1 inch. Hasil dari penelitian tersebut efisiensi tertinggi didapat pada katup limbah 0,04 m dan jarak antara katup 0,13 m mendapatkan efisiensi sebesar 79,75%. Perubahan jarak antar katup tidak mengalami perubahan yang besar pada efisiensi pompa hidram karena laju aliran dan tekanan yang dihasilkan tidak mengalami perubahan yang besar. Perubahan diameter katup buang sangat

berpengaruh besar terhadap debit air yang dipompakan dan debit air limbah, karena semakin besar diameter katup limbah debit air yang dipompakan semakin besar dan debit air yang di keluarkan katup buang semakin sedikit.

Setyawan dan Siregar (2015) meneliti tentang pengaruh beban yang terdapat pada katup buang dan ketinggian pipa miring terhadap kinerja pompa hidram. Penelitian tersebut yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi katup buang dan ketinggian pipa miring terhadap efisiensi pada pompa hidram. Variasi beban pada katup buang 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 miring 0,5 inch dengan ketinggian 300 cm, 350 cm, dan 400 cm kemudian diameter badan pompa 1,25 inch. Hasil dari penelitian tersebut berupa data kuantitatif pada variasi yang mendapatkan hasil yang paling baik, penelitian yang dilakukan menunjukkan hasil kapasitas berat katup buang 200 gram dengan nilai 7,75 l/m pada ketinggian pipa miring 300 cm. Hasil efisiensi volumetrisnya terdapat pada berat katup buang 200 gram dengan nilai 52,961% pada ketinggian pipa miring 300 cm dan efisiensinya 60,623 %.

Akhmadi dan Qurohman (2017) meneliti tentang optimalisasi desain rancang bangun pompa hidram. Pada perencanaan pompa hidram yang perlu diperhatikan adalah perbandingan tinggi air masuk dengan air keluar. Hasilnya pada ratio ketinggian air masuk dan keluar 0,5 maka efisiensi aliran dapat mencapai 50%-60%, efisiensi akan menurun sampai dengan 20% untuk menghasilkan debit air 1-5 liter/menit.

Marbun & Hazwi. (2013) meneliti tentang simulasi CFD aliran fluida pada pompa hidram dengan tinggi pipa miring 2,3 m dengan menggunakan perangkat lunak CFD. Simulasi yang telah dilakukan menggunakan aliran *steady*, inkompresible, turbulen dan tiga dimensi. Pada penelitian tersebut simulasi diatur dengan sembilan rangkaian yaitu tiga bukaan (panjang langkah) katup limbah, tiga bukaan katup penghantar dan tiga perbedaan volume tabung udara. Pada penelitian tersebut menggunakan panjang langkah dari katup buang dengan ukuran sebesar 25 mm, 20 mm, dan 15 mm. Kemudian menggunakan volume

tabung dengan ukuran sebesar  $0,0061 \text{ m}^3$ ,  $0,0082 \text{ m}^3$ ,  $0,0102 \text{ m}^3$ . Hasil simulasi didapat dengan membandingkan hasil simulasi dengan hasil pengujian. Sehingga didapatkan hasil penyimpangan terendah sebesar 0,78 % dan penyimpangan tertinggi sebesar 9,19 %.

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

Shende, dkk. (2015) meneliti tentang analisis kinerja pompa hidrolik ram (Hidram) menggunakan CFD. Penelitian tersebut dilakukan bertujuan untuk menganalisis aliran fluida, vector kecepatan, vector tekanan untuk head yang berbeda yaitu sebesar 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, dan 5 m. Pada penelitiannya tersebut pompa hidram menggunakan geometri 3 dimensi, alirannya terjadi turbulen karena alirannya sangat tidak stabil. Analisis yang dilakukan dengan cara mengubah desain pada katup limbah pompa hidram dan prosedur yang sama digunakan untuk analisis pompa hidram.

Harith, dkk (2017) meneliti tentang simulasi CFD aliran fluida pada pompa hidram. Tujuan dilakukannya penelitian tersebut adalah untuk mengembangkan desain yang lebih baik dari pompa hidram dan melakukan simulasi untuk validasi dari desain pompa hidram. Pergerakan katup limbah dan katup pengantar pompa hidram digerakan menggunakan *profile* untuk melakukan simulasi pada CFD. 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 yang

diilustrasikan dalam 3 kondisi berbeda dalam pompa yang sama dalam percobaan dalam kondisi terbuka mencatat nilai dinamika dan tekanan statis masing-masing sebesar 4,42 kPa dan 15.15 kPa sedangkan dengan ditutup menghasilkan tekanan 128.00 kPa dan 97.8 kPa, perbedaan luar biasa yang membenarkan operasi katup bolak-balik dalam kondisi buka dan tutup. Hasilnya tekanan pada bagian bawah katup limbah juga berkurang dan bersamaan dengan itu katup limbah terbuka secara otomatis. Air dalam pipa penggerak kembali ke pasokan statis tekanan seperti sebelumnya dan siklusnya berulang-ulang. Penutupan yang tiba-tiba juga menciptakan tekanan tinggi pada pompa hidram dan pada katup penghantar yang hasilnya 15.44 kPa (kondisi terbuka) dan 115.89 kPa (tutup kondisi).

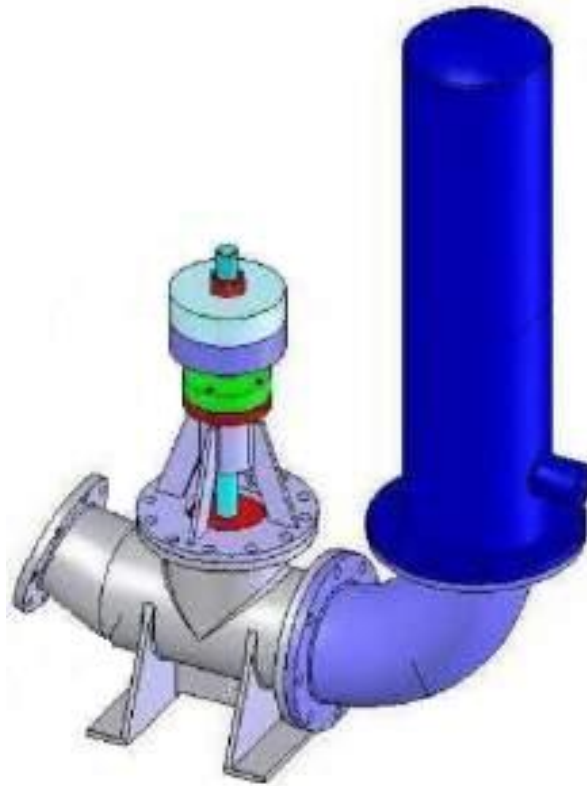
## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Pompa Hidram**

Pompa hidram adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan air dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi secara perlahan atau 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 yang 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. 1** Pompa Hidram (Muhmmad dkk, 2012)

Bagian-bagian utama dari pompa hidram sebagai berikut :

a. 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 rumah pompa. Katup penghantar 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.

b. Tabung Udara atau *Air Chamber*

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

c. Rumah Pompa

Rumah 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*.

d. Katup Limbah atau *Waste Valve*

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

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 ( $kg/m^3$ )

kecepatan aliran fluida pada pompa hidram dapat dihitung untuk dapat di analisis, menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$v_2 = \sqrt{v_1 + 2 \times g \times (h_1 - h_2)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana,  $v_1$  = Kecepatan aliran fluida pada inlet (0,741 m/s)

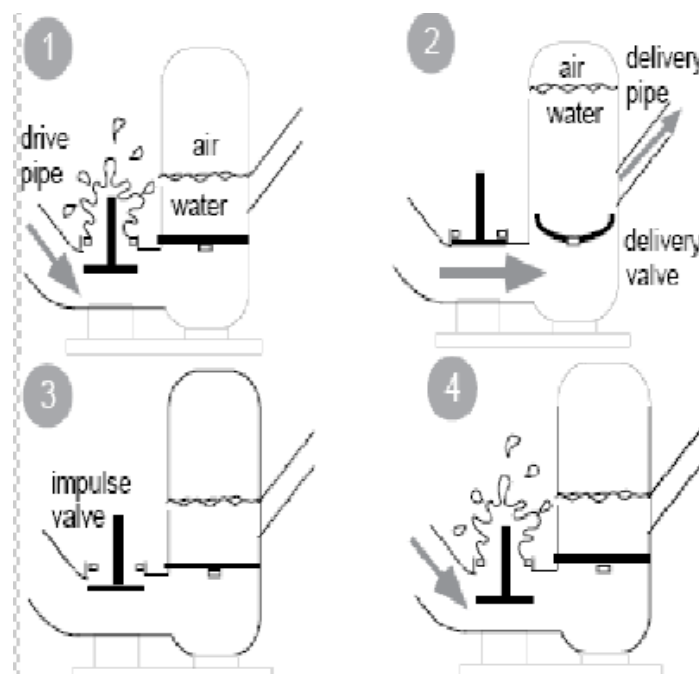
$g$  = Percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$h_1$  = Ketinggian aliran fluida pada pipa pelesat (4,789 m)

$h_2$  = Ketinggian aliran fluida pada katup buang (0 m)

### 2.2.1.1 Cara Kerja Pompa Hidram

Pompa hidraulik ram dipasang di lokasi yang lebih rendah dari sumber mata air. Air dialirkan ke pompa melalui pipa pelesat dan keluar melalui *delivery pipe*. Pada dasarnya pompa hidram digerakkan oleh tekanan aliran air. Untuk mendapatkan tekanan aliran air yang cukup, diperlukan beda tinggi yang cukup pula. Kemiringan pipa pemasukan juga menentukan besarnya tenaga desak tersebut, demikian pula diameter pipa pemasukannya. Makin besar diameter pipa makin besar pula jumlah air yang mengalir setiap detik.



**Gambar 2. 2** Cara Kerja pompa Hidram (Muhmmad dkk, 2012)



Saat kondisi katup buang terbuka, air mulai mengalir ke bawah melewati pipa pelesat, sebagian air keluar melalui celah di katup limbah dan sebagian lagi masuk melewati bagian bawah katup limbah. Saat aliran air mencapai kecepatan tertentu, aliran tersebut akan mendorong katup limbah naik sehingga katup akan tertutup. Momentum dari air yang melewati katup limbah yang tertutup, memaksa katup pengantar terbuka dan mendorong air masuk ke dalam tabung pompa. Air yang masuk ke dalam tabung menyebabkan udara dalam tabung termampatkan sehingga tekanan dalam tabung naik. Tekanan itu menyebabkan air terdorong keluar melalui katup pengantar dan menutup katup pengantar. Pada saat yang bersamaan, tertutupnya katup pengantar membuat aliran air yang masuk dari pipa pelesat melambat dan timbul aliran balik. Perlambatan aliran sampai kondisi tidak ada aliran sesaat atau kecepatan aliran sama dengan nol, mengakibatkan katup limbah turun. Maka siklus akan dimulai kembali.

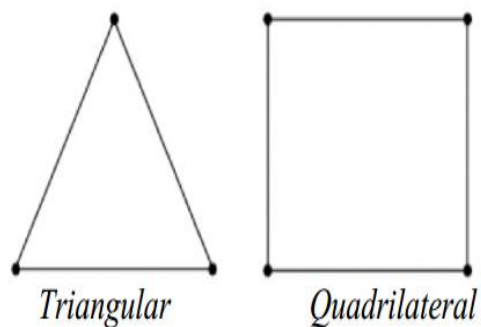
### **2.2.2 CFD (*Computational Fluid Dynamics*)**

CFD (*Computational Fluid Dynamics*) berasal dari dua kata yang berbeda yaitu *Computational* dan *Fluid Dynamic*. *Computational* merupakan segala sesuatu yang berhubungan dengan matematika dan metode *numeric* atau komputasi, sedangkan *Fluid Dynamic* merupakan pergerakan dari segala sesuatu yang mengalir. Sehingga CFD (*Computational Fluid Dynamics*) di defenisikan ilmu yang mempelajari cara memperkirakan 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.

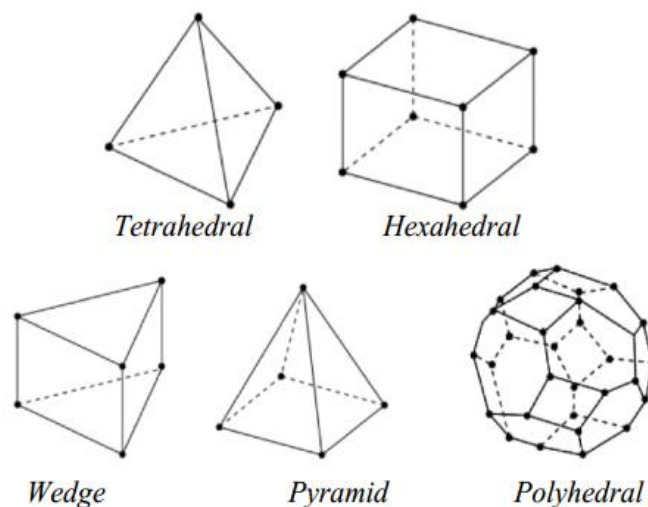
Menggunakan CFD dapat melakukan simulasi dari sebuah sistem yang akan dianalisis. CFD dapat menghasilkan data yang berupa gambar, kurva, grafik, vector, kontur dan bahkan animasi yang bisa menunjukkan prediksi performa dari sebuah sistem yang telah didesain. Hasil simulasi dari CFD bisa berupa data kualitatif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

### 2.2.2.1 Pre Processing

*Pre processing* adalah langkah awal dalam memulai analisis dan membentuk sebuah model CFD. Pada tahap *pre processing* yang dilakukan adalah membuat geometri berupa Gambar *Computer Aided Design* (CAD) dalam bentuk 2 dimensi atau 3 dimensi yang dapat dilakukan di *software* CFD itu sendiri atau menggunakan *software* CAD seperti *inventor* dan *solidwork*. Tahapan selanjutnya yang perlu dilakukan pada tahap *pre processing* adalah pembuatan *mesh* atau *meshing*. *Mesh* yang digunakan pada geometri 2 dimensi dan 3 dimensi mempunyai jenis *mesh* yang berbeda, untuk geometri 2 dimensi menggunakan *mesh* dengan bentuk *quadrilateral* dan *triangular* sedangkan untuk geometri 3 dimensi menggunakan *mesh* dengan bentuk *hexahedral*, *pyramid*, *wedge*, *tetrahedral*, *polyhedral*.



**Gambar 2. 3** Bentuk *mesh* geometri 2 dimensi (ANSYS Theory Guide 2016)



**Gambar 2. 4** Bentuk *mesh* geometri 3 dimensi (ANSYS Theory Guide 2016)

### 2.2.2.2 Processing

*Processing* merupakan tahap perhitungan dalam sebuah simulasi. Tahap ini melakukan 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 :

#### 2.2.2.2.1 General

##### a. Pressure-Based

Medan kecepatan yang didapat dari persamaan momentum, konversi massa (kontinuitas) didapat dengan cara memecahkan persamaan tekanan, energi diselesaikan secara berurutan dengan mode terpisah. *Solver* ini diaplikasikan untuk simulasi aliran fluida dengan kecepatan dibawah supersonik.

##### 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. *Solver* ini diaplikasikan untuk simulasi aliran fluida dengan kecepatan diatas supersonik.

##### c. Steady

Menentukan bahwa solusi tidak berubah terhadap waktu.

##### d. Transient

Menentukan bahwa solusi berubah terhadap waktu.

#### 2.2.2.2.2 Models Viscous

Penentuan *models viscous* harus mengetahui terlebih dahulu jenis aliran apa yang akan disumulasikan termasuk dalam bentuk aliran *inviscid*, *laminar* atau *turbulen*. Untuk aliran turbulen terdapat berbagai jenis aliran turbulen contohnya:

*a. Spalart-Allmaras*

Model spalart-allmaras merupakan model aliran turbulen dengan satu persamaan yang menyelesaikan model persamaan transport untuk viskositas kinematic 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 spalar-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 independen. 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 standar dan model k-omega SST. Model k-omega standar merupakan model yang memasukan beberapa modifikasi untuk menghitung aliran pada bilangan Reynolds rendah, kompresibilitas dan penyebaran aliran geser atau *shear flow*. Model ini diaplikasikan pada aliran dalam saluran maupun aliran bebas geseran atau *free shear flow*. Model k-omega SST hampir sama dengan model k-omega standar tetapi dengan beberapa perbaikan seperti penggabungan kedua model antara model k-omega standar 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 standar.

*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 local pada dinding tersebut. Model dibutuhkan untuk memprediksi karakteristik aliran di dekat dinding, terutama pada aliran yang sangat dipengaruhi oleh dinding (*wall-bounded flow*).

**2.2.2.2.3** *Boundary Conditions*

*a. Axis dan Symmetry*

Panel 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. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulensi sama dengan kondisi batas *velocity inlet*. aliran dan besaran skalar pada sisi masuk aliran. Kondisi batas ini hanya digunakan untuk aliran inkompresibel.

*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 parameter awal oleh *Fluent*, selanjutnya akan dikoreksi sendiri sejalan dengan proses iterasi. Metode spesifikasi arah aliran sama dengan kondis batas *velocity inlet*.

*h. 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.*

*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.*

*j. Kondisi Batas Internal*

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.

**2.2.2.2.4** *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*.

*a. Smoothing*

Smoothing digunakan untuk menyesuaikan mesh suatu zona dengan batas bergerak dan / atau *deformasi*, node *interior* mesh bergerak, tetapi jumlah node dan konektifitasnya tidak berubah. Dengan cara ini, simpul interior menyerap pergerakan batas.

### *b. Layering*

*Layering* dalam zona 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 sel yang berdekatan dengan batas bergerak dibagi atau digabung dengan lapisan sel di sebelahnya berdasarkan ketinggian dari sel dalam lapisan .

#### **2.2.2.2.5** *Solution Methods*

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

*Simple* digunakan pada skema kasar dan masih sederhana.

##### *b. SIMPLE Consistent (SIMPLEC)*

Metode ini 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)*

Metode ini berguna untuk aliran transien 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. Untuk meningkatkan efisiensi perhitungan, metode piso menggunakan dua faktor koreksi tambahan, yaitu *neighbor correction* dan *skewness correction*. *Skewness correction* adalah proses penghitungan ulang untuk gradien koreksi tekanan yang digunakan untuk memperbarui koreksi *fluks massa*.

*Neighbor correction* adalah proses iterasi yang disebut sebagai koreksi momentum. Dengan tambahan *neighbor correction* maka *Control Processing Unit* (CPU) pada computer mengalami penambahan waktu untuk melakukan proses *solver* iterasi, akan



tetapi akan menurunkan nomor iterasi yang dibutuhkan untuk mencapai konvergensi. Untuk aliran transien atau kasus dengan *mesh* yang mengandung *skewness* tinggi.

d. *Coupled*

Metode *Coupled* ini berdasarkan hasil gabungan tekanan *solver* (konvergensi lebih cepat dari *segregated*).

e. *Least Squared Cell Based*

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

f. *Green-Gauss Cell Based*

Metode *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*

Metode *green-gauss note based* digunakan untuk perhitungan berdasarkan jumlah note dengan menggunakan rata-rata dalam sel yang mendefinisikan simpul tersebut.

h. *PRESTO!*

*PRESTO!* digunakan untuk aliran dengan pusaran yang tinggi, aliran yang melibatkan media berpori, aliran dalam saluran tertutup.

i. *Body Force Weighted*

Metode ini 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*

Metode *first order upwind* merupakan skema interpolasi yang paling ringan dan cepat mencapai konvergen tetapi ketelitian orde satu.

k. *Second Order Upwind*

Metode ini 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.

#### 1. *Quadratic Upwind Interpolation (QUICK)*

Metode ini 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.

#### 2.2.2.2.6 *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*.

#### 2.2.2.3 *Post Processing*

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

### 2.2.3 *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* (grid) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. *Ansys Fluent* memiliki beberapa jenis mesh yaitu pada 2 dimensi terdapat *triangular* dan *quadrilateral*, sedangkan pada 3D terdapat *tetrahedral*, *hexahedral*, *pyramid*, *wedge* dan *mesh*

campuran (*hybrid*). Menggunakan Ansys Fluent memungkinkan untuk memperhalus atau memperbesar ukuran *mesh*. Fluent sering digunakan karena memiliki kelebihan:

- a. Mudah untuk digunakan.
- b. Model yang nyata.
- c. Model *meshing* yang efisien.
- d. Penyajian hasil cepat.
- e. Akurasi data yang mendekati kondisi nyata.