

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Sutikno dkk (2013) melakukan studi secara numerik desain dan simulasi turbin air kontra-rotasi untuk aplikasi head sangat rendah. Penelitian ini menggunakan metode CFD dengan proses simulasi menggunakan *Ansys Fluent*. Sudu rotor turbin di desain untuk kondisi operasi dengan debit 128 kg/s atau 128 liter/s dengan head 0,3 meter dan putaran 90 rpm. Diameter hub dan tip adalah 0,36 meter dan 0,6 meter. Jumlah sudu pengarah 24 buah dengan sudu rotor depan dan belakang adalah 8 dan 7 buah. Hasil yang diperoleh dari simulasi memperlihatkan bahwa turbin kontra-rotasi dapat diterapkan dalam desain turbin untuk head sangat rendah. Efisiensi total yang didapatkan cukup tinggi dalam interval 84% hingga 88% didapat dari potensi energi aliran air dibagi energi turbin. Jika dibandingkan dengan rotor tunggal efisiensi turbin kontra-rotasi lebih rendah namun dalam pemanfaatannya memiliki keunggulan dalam peningkatan kecepatan putaran yang dapat dimanfaatkan untuk menekan dimensi generator.

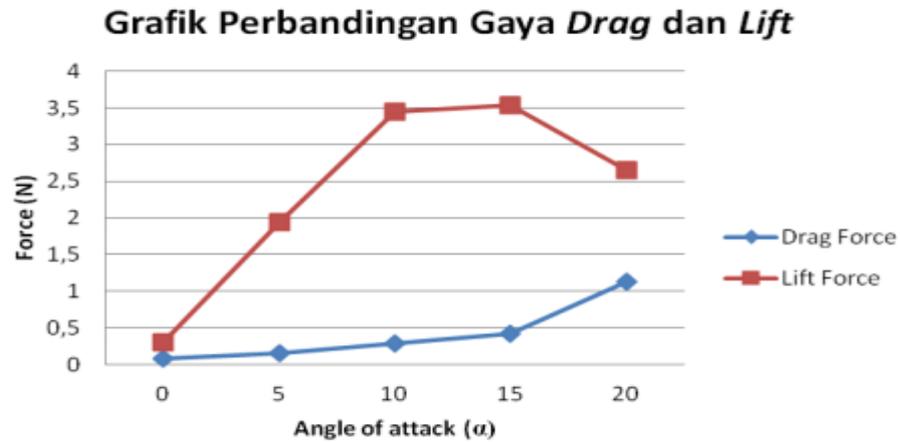
Rafli dan Hazwi (2014) melakukan penelitian simulasi numerik penggunaan pompa sebagai turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Penelitian ini menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dengan proses simulasi menggunakan *software SolidWorks Premium 2010*. Pompa sentrifugal yang digunakan berukuran 4 *inch*, menggunakan 2 *head* (H) yang berbeda yaitu 9,29 m dan 5,18 m. Hasil dari simulasi untuk head 9,29 m inlet velocity 13,5 m/s adalah kecepatan air rata-rata 5,85 m/s dengan luas penampang 0,00081  $m^3$  menghasilkan debit sebesar 4,7 liter sedangkan head 5,81 m inlet velocity 9,81 m/s kecepatan air rata-rata 4,7 m/s dengan luas penampang 0,00081  $m^3$  menghasilkan debit sebesar 3,8 liter.

Syarief dan Isworo (2015) melakukan penelitian simulasi numerik turbin air Kaplan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Penelitian ini

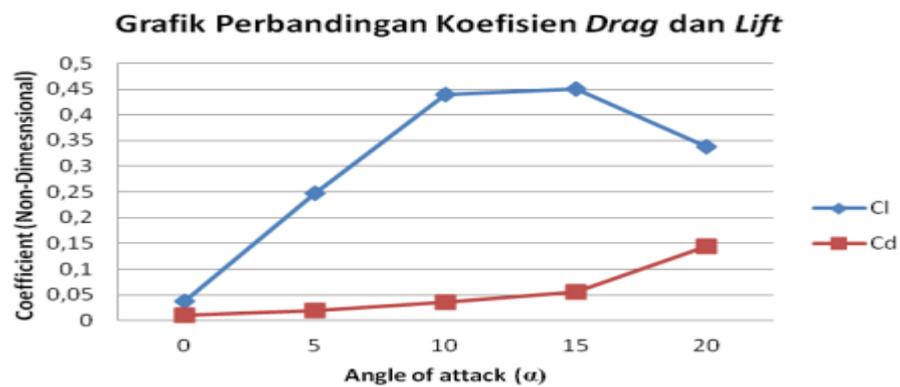
menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dengan proses simulasi menggunakan *software Ansys Fluent*. Dari pengamatan diperoleh bahwa aliran sungai, debit rata-rata yang mengalir  $Q = 1,89 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $V = 2,556 \text{ m/s}$ , suhu air rata-rata  $25^\circ\text{C}$  dan nilai  $\rho = 998,2 \text{ kg/m}^3$ . Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan Turbin Kaplan yang telah direncanakan memanfaatkan arus sungai tersebut dapat bekerja dari debit  $1,79 \text{ m}^3/\text{detik}$  hingga  $1,86 \text{ m}^3/\text{detik}$  dengan daya turbin yang dibangkitkan sekitar  $52,52 \text{ kW}$  hingga  $55,54 \text{ kW}$

Gusriwandi (2015) melakukan penelitian secara numerik perbandingan kinerja terhadap tiga buah model runner turbin francis. Pada penelitian ini menggunakan metode CFD dengan proses desain menggunakan CAD. Pada penelitian ini yang dikaji adalah kinerja yaitu hubungan antara debit aliran dengan daya output dan efisiensi dari tiga buah runner turbin francis yang dirancang pada bilangan spesifik sama,  $n_s$  yaitu dengan head sebesar  $60 \text{ m}$  dan debit  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kondisi simulasi adalah steady state yaitu pada  $105 \text{ rad/s}$ , dengan tipe *moving reference frame* (MRF), model turbulensi adalah k-epsilon dengan *mass flow inlet* dan *pressure outlet* sebagai kondisi batas. Dari hasil penelitian perbedaan daya keluaran ketiga runner tidak berbeda secara signifikan. Sedangkan efisiensi ketiga runner terdapat perbedaan yang signifikan untuk variasi debit aliran dibawah debit perancangan. Hal tersebut terjadi karena laju penurunan torsi runner lebih tinggi dari pada pressure drop pada debit yang rendah.

Muvariz dan Russbandrio (2015) melakukan studi gaya *drag* dan lift pada *blade profile* NACA 0018 turbin arus laut sumbu vertikal. Penelitian dilakukan dengan pendekatan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) menggunakan aplikasi *Solidworks-Flow Simulation* 2013. Dari hasil flow simulation solidwork didapatkan berupa harga gaya *drag* dan gaya *lift*. Dari grafik di dapatkan bahwa semakin besar  $\alpha$  maka semakin besar gaya yang terjadi pada blade. Untuk gaya lift, terjadi penurunan nilai pada saat  $\alpha = 20^\circ$ . Hal yang sama terjadi pada masing-masing koefisien terhadap kenaikan nilai  $\alpha$ .



Gambar 2.1 Grafik perbandingan gaya *drag* dan gaya *lift*  
(Muvariz dan Russbandrio 2015)



Gambar 2.2 Grafik perbandingan koefisien *drag* dan koefisien *lift*  
(Muvariz dan Russbandrio 2015)

## **2.2 Energi**

### **2.2.1 Pengertian Energi**

Pengertian energi dalam fisika adalah kemampuan untuk melakukan usaha atau kerja. Satuan energi dalam SI dinyatakan dalam *Joule* (J). Selain *Joule*, satuan lain energi adalah *kalori* (kal). Energi bersifat kekal. Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, akan tetapi dapat dikonversi dari bentuk energi yang satu ke bentuk energi yang lain. Sumber energi yang dapat diperbaharui adalah energi yang berasal dari alam yang berkelanjutan, contoh: energi matahari, energi panas bumi, energi angin, energi air dan energi biomassa. Sumber energi yang tidak dapat diperbaharui walaupun ada yang bisa diperbarui tetapi memerlukan waktu yang lama, contoh: sumber energi yang berasal dari fosil dan sumber energi yang berasal dari mineral alam.

Keberadaan energi dapat diketahui apabila terjadi perubahan/pergantian sifat suatu objek atau sistem. Air yang jatuh dari ketinggian tertentu memiliki kemampuan untuk menggerakkan benda lain. Kemampuan air untuk menggerakkan benda menunjukkan bahwa air tersebut memiliki energi.

### **2.2.2 Energi Air**

Sumber tenaga dengan memanfaatkan potensi energi air yang mengalir telah lama digunakan. Diantaranya adalah pemanfaatan air sebagai pembangkit listrik. Karena tenaga air merupakan sumber energi terbarukan yang menyumbangkan produksi energi listrik terbesar di dunia. Pembangkit listrik tenaga air dapat dimanfaatkan dengan mengkonversi energi potensial dan energi kinetik air menjadi daya angular oleh turbin air.

Pemanfaatan pembangkit listrik tenaga air di klasifikasikan berdasarkan output yang dihasilkan seperti table 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Klasifikasi Pembangkit	Daya
Large Hydro	> 100 MW
Medium Hydro	15 MW - 100 MW
Small Hydro	1 MW - 15 MW
Mini Hydro	100 KW - 1000 KW
Micro Hydro	5 KW - 100 KW
Pico Hydro	< 5 KW

### 2.3 Turbin Air

Turbin air merupakan mesin fluida yang berfungsi mengubah energi potensial menjadi energi mekanis. Mesin turbin yang paling sederhana terdiri dari rotor sebagai bagian yang berputar, yang terdiri dari poros/*shaft* dengan sudu-sudu atau *blade*. Rotor tersebut berputar disebabkan oleh tumbukan aliran fluida atau berputar sebagai reaksi dari aliran fluida tersebut. Stator adalah bagian yang tidak bergerak atau rumah turbin. turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

#### 2.3.1 Prinsip Kerja Turbin Air

Mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Aliran air diarahkan langsung ke sudu-sudu melalui saluran inlet, menghasilkan daya pada sirip. Selama sudu berputar, gaya bekerja melalui suatu jarak, sehingga menghasilkan kerja. Turbin air kebanyakan berbentuk seperti kincir angin, dengan menggantikan fungsi angin menjadi air untuk memutar turbin.

#### 2.3.2 Jenis-Jenis Turbin

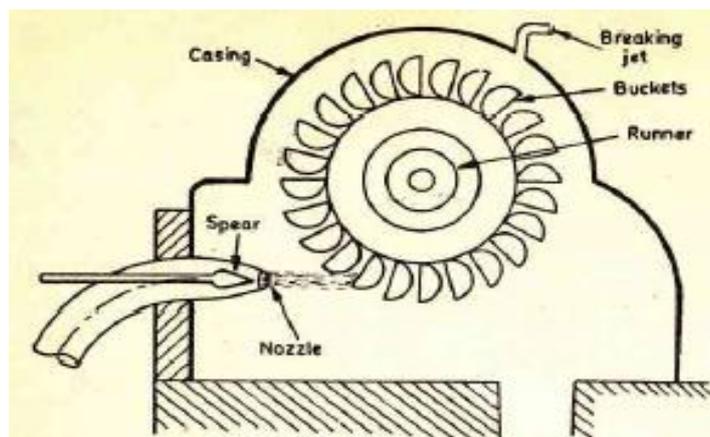
Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

### a. Turbin impuls

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerja mengubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial + tekanan + kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi kinetik. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada *nozle*. Air keluar *nozle* yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impulse*). Akibatnya roda turbin akan berputar. Semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin diubah menjadi energi kecepatan. Contoh turbin impuls adalah turbin Pelton, turbin Turgo dan turbin *Cross-Flow*.

- **Turbin Pelton**

Turbin pelton tergolong ke dalam jenis turbin *impuls* (tekanan sama). Karena pada saat mengalir di sepanjang sudu-sudu turbin tidak terjadi penurunan tekanan, sedangkan perubahan seluruhnya terjadi pada bagian *nozle*. Turbin pelton dapat dioperasikan pada *head* 50 s/d 1000 m. Bentuk turbin pelton dapat dilihat pada gambar 2.3.

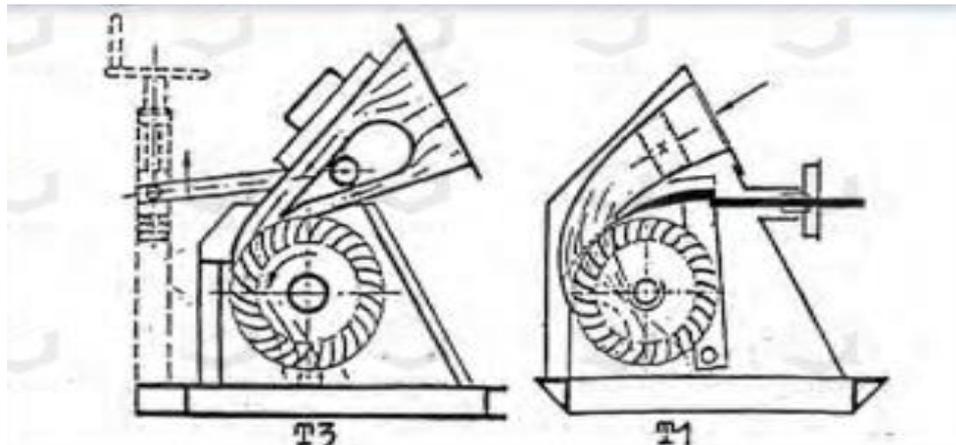


Gambar 2.3 Turbin Pelton (Khurmi, 1977)

- **Turbin *Cross-flow***

Turbin *Cross-Flow* merupakan turbin air jenis turbin impuls (*impulse turbine*). Pemakaian jenis Turbin *Cross-Flow* lebih menguntungkan

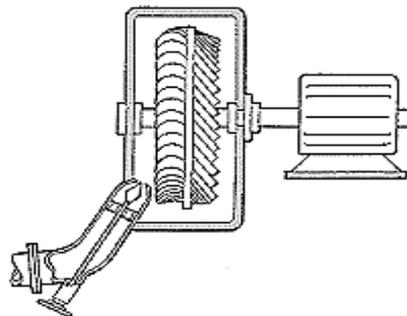
dibanding dengan penggunaan kincir air atau jenis turbin *micro hidro* lainnya. Ukuran Turbin *Cross-Flow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air. Turbin *Cross-Flow* dapat dioperasikan pada debit 20 liter/sec hingga 10 m<sup>3</sup>/sec dan head antara 6 s/d 100 m. Bentuk turbin *Cross-Flow* dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Turbin *Crossflow* (Haimerl, 1960)

- **Turbin Turgo**

Turbin turgo sama seperti turbin pelton yang merupakan turbin impulse, tetapi sudunya berbeda namun untuk keuntungan dan kerugiannya sama. Turbin turgo dapat beroperasi pada head 50 s/d 250 m. Bentuk turbin turgo dapat dilihat pada gambar 2.5.



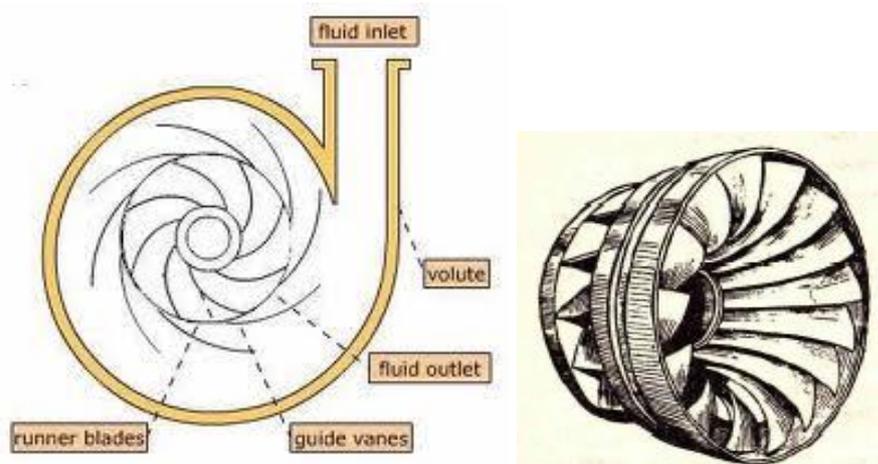
Gambar 2.5 Turbin Turgo (Khurmi, 1977)

## b. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang mengubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik. Sudu pada turbin reaksi mempunyai *profile* khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga *runner* dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. *Runner* turbin reaksi sepenuhnya tercelup didalam air dan berada dalam rumah turbin.

- **Turbin Francis**

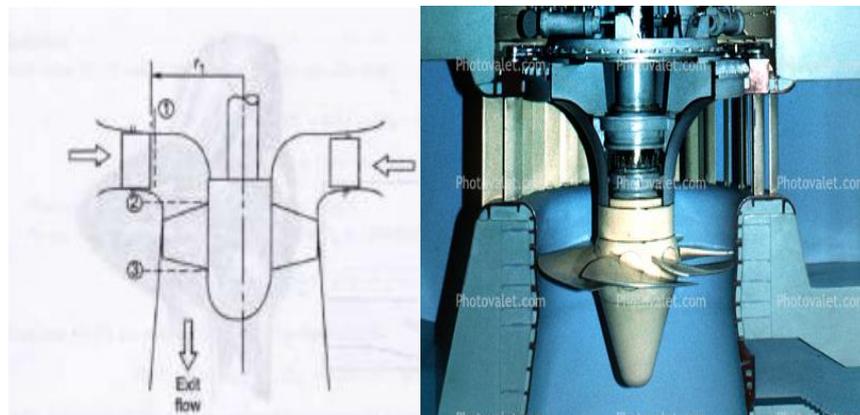
Turbin *Francis* merupakan salah satu turbin reaksi yang menggabungkan konsep aliran aksial dan aliran radial. Turbin dipasang antara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Turbin francis adalah turbin hidrolis digunakan pada PLTA dengan tinggi terjun sedang yaitu antara 10-350 meter. Bentuk turbin *Francis* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Turbin Francis (Khurmi, 1977)

- **Turbin Kaplan**

Turbin Kaplan termasuk kelompok turbin air reaksi jenis baling-baling (*propeller*). Sudut sudu geraknya (*runner*) bisa diatur (*adjustable blade*) agar dapat disesuaikan dengan kondisi aliran saat itu yaitu perubahan debit air. Pada pemilihan turbin didasarkan pada kecepatan spesifiknya. Turbin Kaplan ini memiliki kecepatan spesifik tinggi. Turbin kaplan bekerja pada kondisi *head* rendah dengan debit besar. Turbin Kaplan ini dirancang untuk kondisi *head* 2 m sampai *head* 20 meter. Bentuk turbin kaplan dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Turbin kaplan (Dixson. S. L., 2010)

## 2.2 Tabel Variasi Head Turbin

Jenis Turbin	Variasi Head
Kaplan / Propeller	$2 < H < 20$
Crossflow	$6 < H < 100$
Francis	$10 < H < 350$
Turgo	$50 < H < 250$
Pelton	$50 < H < 1000$

### 2.3.3 Performasi Turbin Air

Secara umum diasumsikan turbin akan beroperasi pada *head*, kecepatan putar dan daya keluaran yang konstan. Namun secara aktual asumsi ini jarang berlangsung. Sehingga perlu meninjau ulang sifat dari variasi parameter berikut:

- **Karakteristik Turbin**

Perbandingan performansi turbin yang daya keluaran dan kecepatan putar yang beroperasi pada head yang berbeda ini akan tepat dengan cara menghitung daya keluaran turbin dengan *head* air yang diset sama dengan 1 meter (*head* satuan). Ada 3 karakteristik suatu turbin pada suatu *head* satuan, yaitu

1. Daya Satuan

Daya yang dihasilkan oleh suatu turbin yang bekerja pada head 1 meter dikenal sebagai Unit Power (Daya Satuan), dapat dicari dengan persamaan 2.1.

$$Pu \frac{p}{H^2} = \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

$Pu$  = Daya turbin pada suatu *head* satuan (Watt)

$H$  = *head* air dimana turbin beroperasi (m)

$P$  = Daya yang dihasilkan turbin (watt)

2. Kecepatan Satuan

Kecepatan putar turbin yang bekerja pada head 1 meter dikenal sebagai kecepatan putar satuan (unit speed) dapat dihitung dengan persamaan 2.2.

$$Nu = \frac{N}{\sqrt{H}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

$Nu$  = Kecepatan putar turbin pada suatu *head* satuan (rpm)

$H$  = *Head* air dimana turbin beroperasi (m)

$N$  = Kecepatan putar turbin pada head air (rpm)

### 3. Debit Satuan

Debit suatu turbin yang bekerja pada head 1 meter dikenal sebagai Debit Satuan (Unit Discharge), didapat dari persamaan 2.3.

$$Qu = \frac{Q}{\sqrt{H}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

- $Qu$  = Debit turbin pada suatu *head* satuan ( $m^3/s$ )
- $H$  = *Head* air dimana turbin beroperasi (m)
- $Q$  = Debit yang melalui turbin pada suatu *head* air ( $m^3/s$ )

- **Kecepatan Spesifik untuk Turbin**

Kecepatan putar spesifik suatu turbin didefinisikan sebagai kecepatan putar dari suatu turbin imajiner yang identik dengan turbin yang diberikan yang akan menghasilkan daya 1 HP pada suatu *head* satuan (1 meter). Kecepatan putar suatu turbin dapat dihitung dari persamaan 2.4.

$$Ns = \frac{N\sqrt{P}}{H^{\frac{5}{4}}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

- $Ns$  = Kecepatan putar spesifik turbin (rpm)
- $N$  = Kecepatan putar *runner* (rpm)
- $H$  = *Head* air dimana turbin bekerja (m)
- $P$  = Daya yang dihasilkan turbin Watt)

### 4. Torsi

Torsi adalah tenaga untuk menggerakkan, menarik atau menjalankan sesuatu (pulling power). Torsi dapat dicari dengan persamaan 2.5

$$T = r \times F \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

- $T$  = Torsi (N.m)
- $r$  = jari – jari (m)
- $F$  = Gaya (N)

## 5. Daya Hidrolik

Daya hidrolik adalah daya yang dimiliki oleh air yang mengalir dan tempat yang tinggi ke tempat yang rendah. Dapat dicari dengan persamaan 2.6

$$P_{ht} = \rho \times g \times Q \times H \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

- $P_{ht}$  = daya hidrolik (Watt)
- $\rho$  = Densitas air ( $kg/m^3$ )
- $g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
- $Q$  = debit air ( $m^3/s$ )
- $H$  = tinggi jatuh air (m)

## 6. Daya mekanik

Adalah daya yang dihasilkan pada poros turbin didapat dengan persamaan 2.7.

$$P_t = \frac{2 \times \pi \times n}{60} T \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

- $P_t$  = Daya mekanik (Watt)
- $T$  = Torsi (N.m)
- $\pi$  = 3,14
- $n$  = kecepatan putar (rpm)

## 7. Efisiensi turbin

Efisiensi turbin merupakan perbandingan daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin dengan daya hidrolik yang digunakan untuk menggerakkan turbin, dapat dihitung dengan persamaan 2.8.

$$\eta_t = \frac{P_m}{P_{ht}} \times 100 \% = \dots\dots\dots (2.8)$$

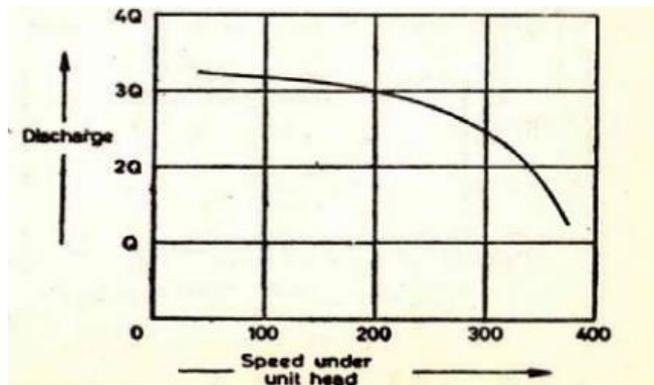
Dimana:

- $\eta_t$  = Efisiensi turbin (%)
- $P_m$  = Daya mekanik
- $P_{ht}$  = Daya hidrolik air

- **Kurva karakteristik dari Turbin**

Unjuk kerja dalam mesin fluida ditunjukkan dalam debit, daya turbin dan efisiensi. Karakteristik kurva ditunjukkan dari data kajian eksperimental. Untuk turbin air yang diuji pada kecepatan aliran yang berbeda ditunjukkan pada gambar berikut:

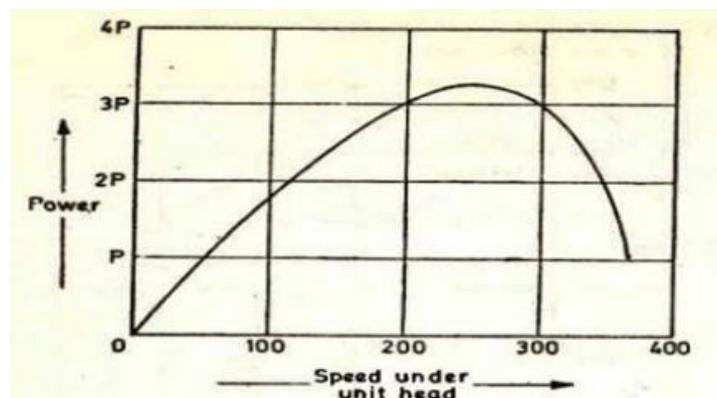
a. Grafik kecepatan putar (pada head satuan) – Debit



Gambar 2.8 Grafik perbandingan kecepatan putar dengan debit  
(Khurmi, 1977)

Pada gambar 2.8 kurva menunjukkan performansi turbin Francis (turbin Reaksi). Bentuk kurva parabolik menunjukkan semakin cepat kecepatan putar maka debit yang dihasilkan akan semakin kecil.

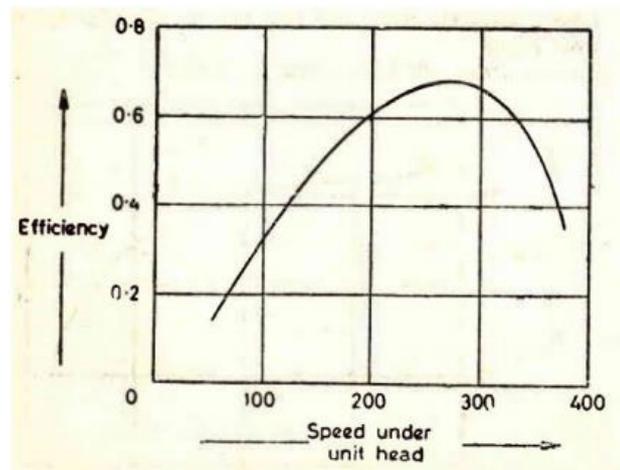
b. Grafik kecepatan putar (pada head satuan) – Daya



Gambar 2.9 Grafik perbandingan kecepatan putar dengan daya.  
(Khurmi, 1977)

Pada gambar 2.9 kurva karakteristik turbin Francis menunjukkan bahwa semakin cepat putaran turbin maka daya yang dihasilkan meningkat hingga mencapai nilai optimum dan kemudian turun dengan semakin besarnya putaran poros.

c. Grafik kecepatan putar (pada head satuan) – Efisiensi



Gambar 2.10 Grafik perbandingan kecepatan putar dengan efisiensi (Khurmi, 1977)

Pada gambar 2.10 kurva karakteristik turbin Francis menunjukkan bahwa semakin cepat putaran poros turbin maka efisiensi meningkat hingga mencapai nilai optimum dan kemudian turun dengan semakin besarnya putaran poros.

## 2.4 Blower

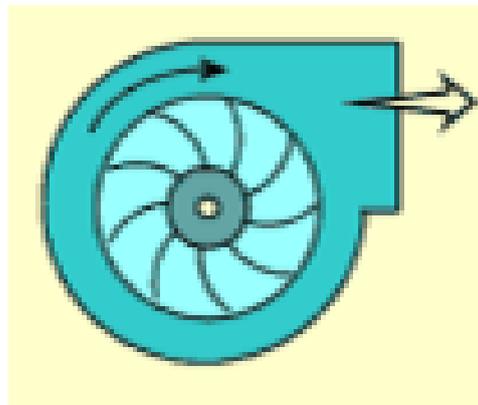
Blower berfungsi menghasilkan udara bertekanan (penghembus) dengan memanfaatkan putaran *impeller* dengan sudu - sudu tertentu dan *body* blower yang berbentuk rumah keong (*volute*). Sehingga dalam pengaplikasian selain digunakan untuk penghembus juga digunakan untuk menghisap udara. Blower, pompa dan *fan* memiliki prinsip kerja yang sama Bedanya, bila pompa untuk mengalirkan cairan, blower dan *fan* mengalirkan gas atau udara. Secara umum blower dapat diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu:

### a. Sentrifugal Blower

Blower sentrifugal pada dasarnya terdiri dari satu *impeller* atau lebih yang dilengkapi dengan sudu – sudu yang dipasang pada poros yang berputar yang diselubungi oleh sebuah rumah (*casing*). Udara memasuki menuju casing secara horizontal akibat perputaran poros, maka ruang pipa masuk menjadi *vacum* lalu udara dihembuskan keluar. Dari bentuk sudut *blade impeller* ada 3 jenis yaitu:

- *Backward Curved Blade*

*Backward Curved Blade* mempunyai susunan *blade* secara paralel (*multi blade*) keliling *shroud*, hanya arah dan sudut *blade* akan mempunyai sudut yang optimum dan merubah energi kinetik ke energi potensial (tekanan secara langsung). Blower ini didasarkan pada kecepatan sedang, akan tetapi memiliki *range* tekanan dan volume yang lebar sehingga membuat jenis ini sangat efisien untuk *ventilator*. Bentuk blower sentrifugal jenis *Backward Curved Blade* dapat dilihat pada gambar 2.11.

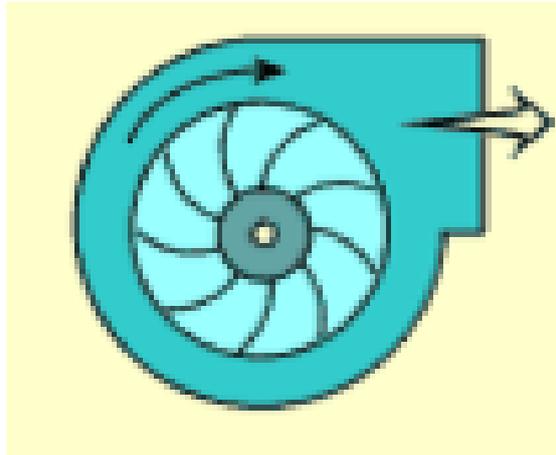


Gambar 2.11 Blower *Backward Curved Blade*  
([www.reitznorthamerica.com](http://www.reitznorthamerica.com))

- *Forward Curved Blade*

*Forward Curved Blade* adalah bentuk *blade* yang arah lengkungannya bagian ujung terpasang di atas searah dengan putaran roda. Pada *forward curved* terdapat susunan *blade* secara paralel (*multi blade*) keliling *shroud*. Karena bentuknya, maka pada jenis ini udara atau gas meninggalkan *blade* dengan kecepatan yang tinggi sehingga mempunyai *discharge velocity* yang

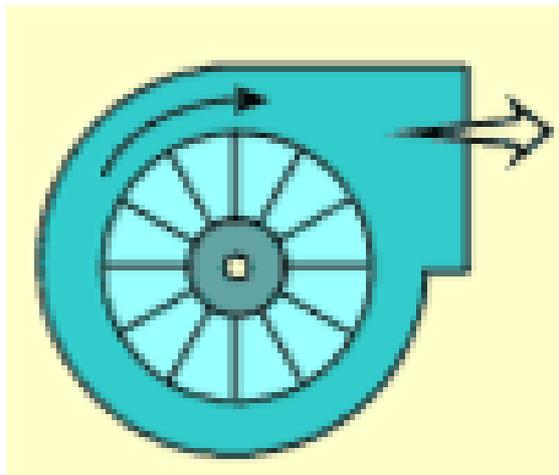
tinggi dan setelah melalui housing *scroll* sehingga diperoleh energi potensial yang besar. Bentuk blower sentrifugal jenis *Forward Curved Blade* dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Blower *forward Curved Blade*  
([www.reitznorthamerica.com](http://www.reitznorthamerica.com))

- *Radial Blade*

Didalam pemakaiannya *Radial Blade* dirancang untuk tekanan statis yang tinggi pada kapasitas yang kecil. Namun demikian perkembangan saat ini jenis bentuk *radial blade* dibuat pelayanan tekanan dan kecepatan putaran tinggi. Bentuk blower sentrifugal jenis *Radial Blade* dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Blower *Radial Blade*  
([www.reitznorthamerica.com](http://www.reitznorthamerica.com))

### **b. Positive Displacement Blower**

Pada jenis ini gas atau udara dipindahkan volume per volume dalam ruangan yang disebabkan adanya pergerakan elemen *impeller* yang berputar karena adanya penambahan massa gas atau udara yang dipindahkan. Jenis *positive displacement blower* yang sering digunakan adalah *rotary blower* yaitu:

#### ➤ **Vane Blower**

Digunakan untuk kapasitas yang kecil dengan fluida yang bersih. Ditinjau dari bentuk dan cara kerja elemen *impeller vane blower* dibagi menjadi dua *type* yaitu: *Slanding vane* dan *Fleksibel vane*.

- *Slanding vane*

*Impeller* yang berputar terdapat suatu mekanisme yang dapat bergerak *slading* (keluar masuk) didalamnya disebut *vane*. Karena gerakan *impeller* eksentrik terhadap *casing* maka terjadilah perubahan ruang dimana udara atau gas dialirkan oleh *vane* tersebut. Jumlah *vane* untuk satu blower bervariasi tergantung besarnya kapasitas dan tekanan discharger yang diinginkan.

- *Flexible vane*

Pada bagian luar *impeller* terdapat sirip – sirip yang *flexible* dan karena gerakan *impeller* eksentrik terhadap *casing* maka *vane* akan diperoleh tekanan udara yang ada diruang *casing* lalu tekanan udara atau gas itu dipindahkan keluar.

## **2.5 Head Loss**

Head loss terbagi menjadi dua macam, yaitu *head loss mayor* dan *head loss minor*. *Head loss total* merupakan penjumlahan dari *head loss mayor* dan *head loss minor*.

### **2.5.1 Head Loss Mayor**

*Head loss mayor* dapat terjadi karena adanya gesekan antara aliran fluida yang mengalir dengan suatu dinding permukaan atau dengan fluida itu sendiri dalam pipa. Pada umumnya *head loss* dipengaruhi oleh panjang pipa. Untuk dapat

menghitung *head loss mayor*, perlu diketahui lebih jelas awal jenis aliran fluida yang mengalir. Jenis aliran tersebut dapat diketahui melalui turunan dari persamaan bilangan *Reynold*.

Bilangan Reynolds adalah bilangan yang tidak berdimensi. Jika suatu aliran memiliki bilangan  $Re < 2300$  maka disebut aliran laminar, dan jika suatu aliran memiliki bilangan  $Re > 4000$  disebut aliran turbulen. Bilangan *Reynolds* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut pada rumus 2.9:

$$Re = \frac{v \times d \times \rho}{\mu} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

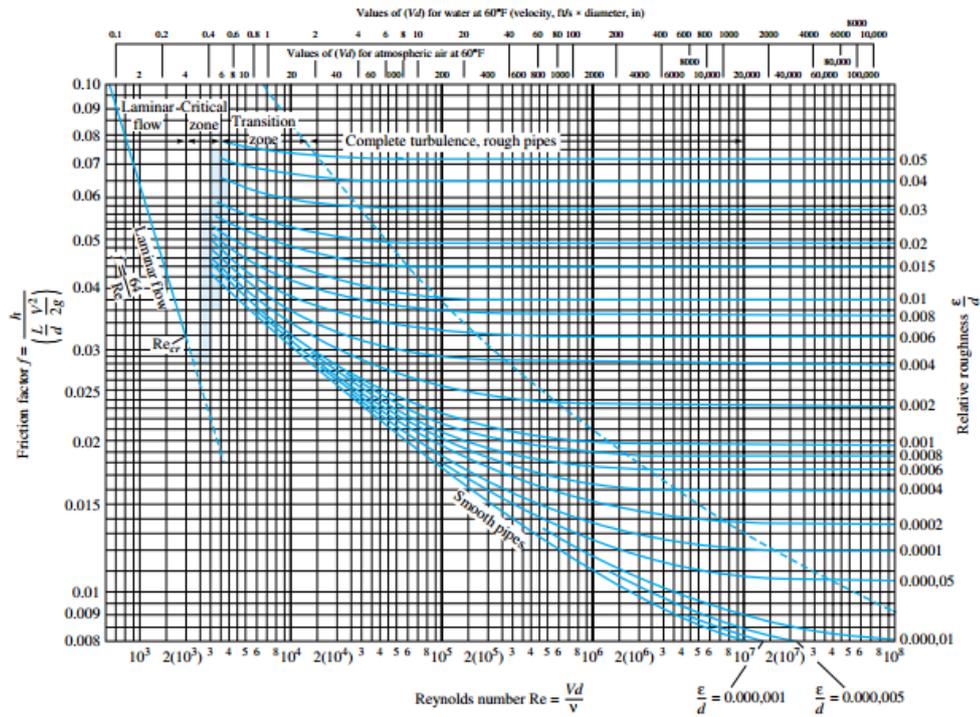
- v = Kecepatan ( $m/s$ )
- d = diameter (m)
- $\rho$  = Densitas ( $kg/m^3$ )
- $\mu$  = Viskositas fluida

Perhitungan *head loss mayor* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus 2.10:

$$H_{f\_panjang\ pipa} = f \frac{l}{D} \times \frac{v^2}{2.g} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

- V = kecepatan ( $m/s$ )
- f = Factor gesekan (diagram *moody* gambar 2.14)
- l = Panjang pipa (m)
- D = diameter dalam pipa (m)
- g = Precepatan Gravitasi



Gambar 2.14 Diagram *Moody* (White, 1988)

### 2.5.2 Head Loss Minor

*Head Loss minor* terjadi karena adanya sambungan pipa (*fitting*) seperti belokan (*elbow*), katup (*Valve*), percabangan (*tee*), pembesaran pipa (*expansion*), pengecilan pipa (*contraction*), dan *Flow meter*. *Head Loss minor* dapat dicari dengan rumus 2.11:

$$H_m = K \frac{v^2}{2xg} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

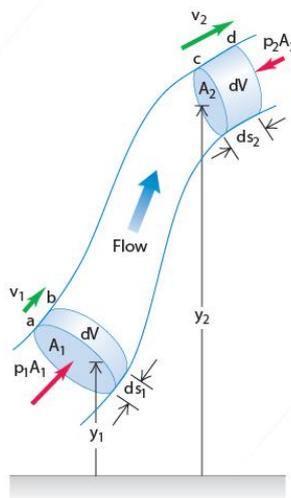
- K = koefisien tahanan (didapat dari table 2.3)
- v = Kecepatan (m/s)
- g = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

Tabel 2.3 Nilai K untuk tipe *valve*, *elbow* dan *tee* (White, 1988)

	Nominal diameter, in									
	Screwed				Flanged					
	$\frac{1}{2}$	1	2	4	1	2	4	8	20	
Valves (fully open):										
Globe	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5	
Gate	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03	
Swing check	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
Angle	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0	
Elbows:										
45° regular	0.39	0.32	0.30	0.29						
45° long radius					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14	
90° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21	
90° long radius	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10	
180° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20	
180° long radius					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10	
Tees:										
Line flow	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07	
Branch flow	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41	

## 2.6 Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli membahas mengenai hubungan antara kecepatan aliran fluida, ketinggian, dan tekanan dengan menggunakan konsep usaha dan energi. Daniel Bernoulli telah membuktikan bahwa semakin besar kecepatan fluida, maka semakin kecil tekanannya. Agar lebih memahami tentang persamaan Bernoulli, ilustrasi akan ditunjukkan gambar 2.15.



Gambar 2.15 Ilustrasi persamaan Bernoulli

Suatu fluida yang massa jenisnya  $\rho$  dialirkan ke dalam pipa dengan penampang yang berbeda. Tekanan  $P_1$  pada penampang  $A_1$  disebabkan oleh gaya  $F_1$  dan tekanan  $P_2$  disebabkan oleh gaya  $F_2$ . Gaya  $F_1$  melakukan usaha sebesar  $W_1 = F_1 s_1$  dan  $F_2$  melakukan usaha sebesar  $W_2 = -F_2 s_2$ . Tanda negatif menyatakan bahwa gaya yang bekerja ke arah kiri, sedangkan perpindahan ke arah kanan. Secara sistematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W_{\text{total}} &= W_1 + W_2 \dots\dots\dots(2.12) \\ &= F_1 s_1 + (- F_2 s_2) \\ &= P_1 A_1 s_1 - P_2 A_2 s_2 \\ &= P_1 V_1 - P_2 V_2 \end{aligned}$$

$$W_{\text{total}} = (P_1 - P_2) \frac{m}{\rho} \dots\dots\dots(2.13)$$

Besar usaha total ini sesuai dengan perubahan energi mekanik ( $E_p + E_k$ ) yang terjadi saat fluida berpindah dari bagian penampang  $A_1$  ke  $A_2$ .

$$\begin{aligned} W_{\text{total}} &= E_m = \Delta E_p + \Delta E_k \\ &= \left(\frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2\right) + (m g h_2 - m g h_1) \\ &= \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) + m g (h_2 - h_1) \\ W_{\text{total}} &= m \left\{ \frac{1}{2} (v_2^2 - v_1^2) + g(h_2 - h_1) \right\} \dots\dots\dots(2.14) \end{aligned}$$

Apabila persamaan 2.13 dan 2.14 digabungkan, maka diperoleh persamaan Sebagai berikut.

$$\begin{aligned} (P_1 - P_2) \frac{m}{\rho} &= m \left\{ \frac{1}{2} (v_2^2 - v_1^2) + g(h_2 - h_1) \right\} \\ P_1 - P_2 &= \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (h_2 - h_1) \\ P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 &= P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \\ P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 &= P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \\ P + \rho g h + \frac{1}{2} \rho V^2 &= [\text{Pa}] \dots\dots\dots(2.15) \end{aligned}$$

$$\frac{P}{\rho \cdot g} + h + \frac{V^2}{2 \cdot g} = H_{\text{Total}} [\text{m}] \text{ konstan} \dots\dots\dots(2.16)$$

### Keterangan

$$\frac{p}{\rho \cdot g} = \text{Pressure Head (m)}$$

$$h = \text{Elevation Head (m)}$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} = \text{Velocity Head (m)}$$

$$H_{Total} = \text{Energi Total (m)}$$

$$\text{Tekanan} = [\text{Energi} / \text{Volume}]$$

$$\text{Elevasi} = [\text{Energi} / \text{Berat}]$$

Pada rumus 2.15 dikenal persamaan bernoulli. Besaran  $pg h$  adalah energi potensial fluida per satuan volume ( $\frac{Ep}{V}$ ). Nilai  $\frac{1}{2} \rho v^2$  adalah energi kinetik fluida per satuan volume ( $\frac{Ek}{V}$ ) sebab ( $\frac{m}{V}$ ) =  $\rho$ . Pada rumus 2.16 dikenal sebagai modified Bernoulli. Nilai  $\frac{p}{\rho \cdot g}$  merupakan *head* tekanan,  $h$  merupakan *head* elevasi,  $\frac{v^2}{2 \cdot g}$  merupakan *head* kecepatan. Dimana rumus tersebut untuk menghitung head total dengan energi per satuan berat.

## 2.7 Komputasi Dinamika Fluida

Komputasi Dinamika Fluida atau *Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi pola aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena lainnya.

Pada umumnya proses perhitungan untuk aliran fluida diselesaikan dengan menggunakan persamaan energi, momentum dan kontinuitas. Persamaan yang digunakan adalah persamaan Navier-Stokes, persamaan ini ditemukan oleh G.G. Stokes di Inggris dan M. Navier di Perancis sekitar tahun awal tahun 1800. Adapun persamaan-persamaannya menurut Versteeg (1995) adalah sebagai berikut:

- a. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \dots\dots\dots(2.17)$$

- b. Persamaan Momentum

Momentum kearah sumbu X

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re_r} \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \dots(2.18)$$

Momentum kearah sumbu Y

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} \left( \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \dots (2.19)$$

Momentum kearah sumbu Z

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = \frac{\partial \rho}{\partial z} + \frac{1}{Re_r} \left( \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \dots (2.20)$$

$$\begin{aligned} \text{c. } \frac{\partial(E_r)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_r)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_r)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_r)}{\partial z} &= -\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} - \\ &\frac{1}{Re_r Pr_r} \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + \frac{1}{Re_r} \left( \frac{\partial}{\partial x} \left( u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( u\tau_{xy} + \right. \right. \\ &\left. \left. v\tau_{yy} + w\tau_{yz} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz} \right) \dots \dots \dots (2.21) \end{aligned}$$

Dengan: X = Koordinat Sumbu X

Y = Koordinat Sumbu Y

Z = Koordinat sumbu Z

u = Komponen kecepatan U

v = Komponen kecepatan V

w = Komponen kecepatan W

t = Waktu (detik)

$\rho$  = Densitas ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$E_t$  = Energi Total

P = Tekanan ( $\text{N}/\text{m}^2 = \text{Pascal}$ )

q = *Head Flux*

$Re$  = Bilangan Reynold

$Pr$  = Bilangan Prandtl

Ada tiga teknik solusi numerik aliran yang berbeda, yaitu *finite difference*, *finite element* dan *finite volume methods*. Beberapa metode diskritisasi yang digunakan untuk memecahkan persamaan-persamaan diferensial parsial menurut Versteeg (1995) adalah:

a) Metode Beda Hingga (*finite difference method*)

Dalam metode ini area aliran dipisahkan menjadi satu set poin *grid* dan fungsi kontinu (kecepatan, tekanan, dan lainnya) didekati dengan nilai-nilai diskrit dan fungsi-fungsi ini dihitung pada titik-titik *grid*. Turunan dari fungsi didekati dengan menggunakan perbedaan antara nilai fungsi pada titik lokal *grid* dibagi dengan jarak *grid*.

b) Metode Elemen Hingga (*finite element method*)

Metode adalah teknik numerik untuk mendapatkan solusi perkiraan ke batas nilai masalah untuk persamaan diferensial parsial. Metode ini dapat membagi masalah besar menjadi lebih kecil dan sederhana yang disebut elemen hingga.

Persamaan sederhana yang dapat memodelkan seluruh kasus kemudian disusun menjadi sebuah sistem persamaan yang lebih luas. Persamaan konservasi kekekalan massa, momentum, dan energi ditulis dalam bentuk yang tepat untuk setiap elemen, dan hasil dari set persamaan aljabar untuk bidang aliran dapat diselesaikan secara numerik.

c) Metode Volume Hingga (*finite volume method*)

*Finite volume method* adalah metode untuk mewakili dan mengevaluasi persamaan diferensial parsial dalam bentuk aljabar. Metode ini sama seperti *finite difference method* dan *finite element method*, nilai-nilai dihitung di tempat terpisah pada geometri yang di *mesh*. Metode ini mengacu pada volume kecil disekitar *node* pada *mesh*. Dalam metode ini, volume integral dalam persamaan diferensial yang memiliki istilah divergensi diubah ke *surface integrals* menggunakan teori divergensi. Metode diskritisasi yang dipilih pada umumnya dapat menentukan kestabilan dari program numerik/CFD yang dibuat atau program software yang tersedia.

### 2.7.1 Proses CFD

Kode CFD menggunakan algoritma numerik yang dapat mengatasi masalah aliran fluida. Secara umum proses kerja pada *Fluent* dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *preprocessing*, *processing*, dan *post processing*.



Gambar 2.16 Flowchart process fluent

### 2.7.1.1 Preprocessing

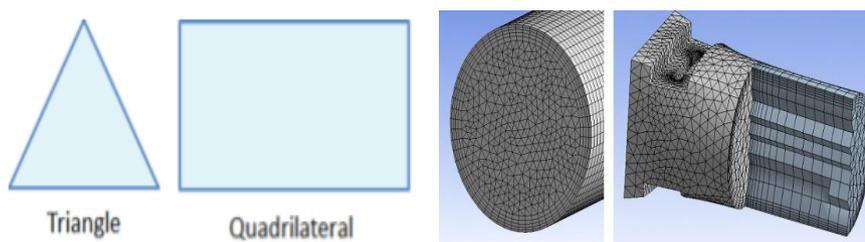
Tahap preprocessing merupakan tahap awal dalam dari proses CFD, pada tahap ini akan dilakukan beberapa proses sebagai berikut:

- a. Definisi geometri dari benda kerja

Pada proses ini akan dilakukan proses pemodelan dari benda kerja. Proses pemodelan bisa langsung menggunakan software CFD, tetapi untuk benda kerja yang lebih rumit bentuknya sebaiknya menggunakan *software assembly* seperti *SolidWork* untuk mempermudah membuat geometri.

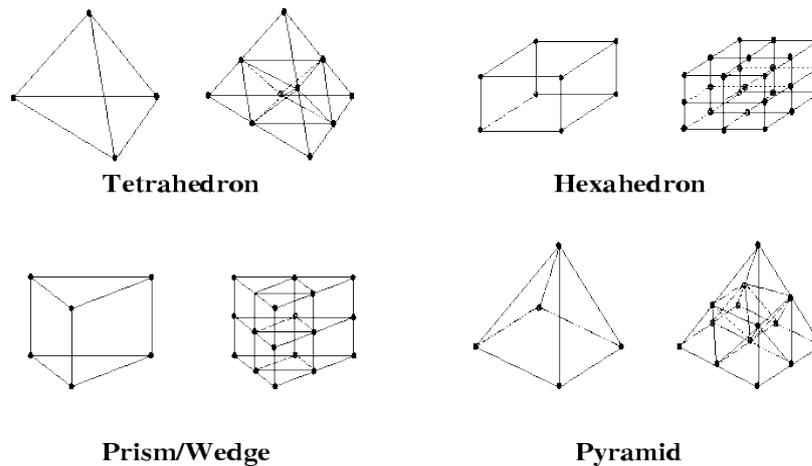
- b. Pembuatan *grid (mesh)* atau disebut sebagai *meshing*

*Meshing* adalah proses membagi komponen yang akan dianalisis menjadi elemen-elemen kecil atau diskrit. Semakin baik kualitas *mesh* maka untuk *konvergen* akan semakin tinggi. Secara umum bentuk sel dari proses meshing terbagi menjadi dua jenis, yaitu dua dimensi dan tiga dimensi. Untuk sel dua dimensi terdapat dua jenis bentuk sel yaitu *Triangle* dan *Quadrilateral*. Bentuk sel 2D dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Bentuk sel dua dimensi

Bentuk sel tiga dimensi terbagi kedalam empat jenis, yaitu *Tetrahedron*, *Pyramid*, *Triangular Prism*, *Hexahedron*. Bentuk sel 23 dapat dilihat pada gambar 2.18.

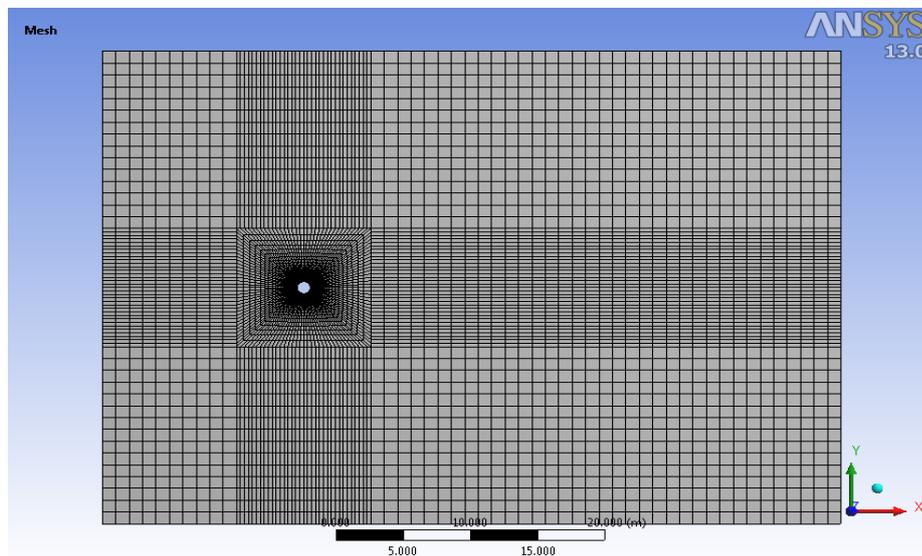


Gambar 2.18 Bentuk sel tiga dimensi

Dalam proses meshing dibagi menjadi 3 jenis, yaitu

a. *Structured mesh*

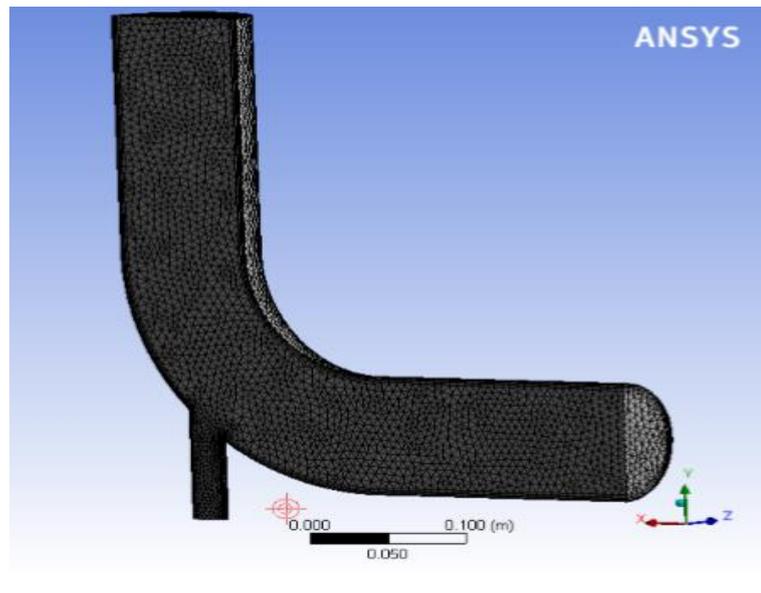
*Structured mesh* adalah meshing terstruktur, dapat diketahui dari konektivitas mesh yang teratur dan rapi. Adapun mesh yang biasa menggunakan *structured mesh* adalah *Quadrilateral* di 2D dan *Hexahedra* di 3D. Bentuk *Structured mesh* dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 *Structured Mesh* (ANSYS Fluent Tutorial Guide, 2013)

b. *Unstructured mesh*

*Unstructured mesh* adalah mesh yang konektivitas *mesh*-nya tidak beraturan. *Mesh* ini biasanya menggunakan triangle pada 2D dan *tetrahedra* pada 3D. Bentuk *Unstructured mesh* dapat dilihat pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 *Unstructured Mesh* (ANSYS Fluent Tutorial Guide, 2013)

c. *Hybrid mesh*

*Hybrid mesh* merupakan gabungan dari *Unstructured mesh* dan *Structured mesh*.

### 2.7.1.2 Processing

*Processing* merupakan proses kedua dari CFD, didalam tahap ini akan dilakukan penentuan kondisi batas (*boundary condition*) dan pemilihan metode inisiasi. Dalam penentuan kondisi batas akan dimasukkan nilai dari parameter-parameter yang diperlukan, adapun parameter yang termasuk kondisi batas adalah:

a. *Velocity Inlet*

Digunakan untuk mendefinisikan kecepatan aliran dan besaran skalar lainnya pada sisi masuk aliran. Kondisi batas ini hanya dapat digunakan untuk aliran inkompresibel.

b. *Mass Flow Inlet*

Pada kondisi batas ini harus memasukkan data laju aliran massa atau *fluks* massa, temperature fluida (apabila menggunakan persamaan energi), tekanan gauge pada sisi masuk, arah aliran, dan besaran turbulensi.

c. *Pressure Inlet*

Pada *pressure inlet* akan dimasukkan data tekanan total (*absolute*), tekanan *gauge*, temperatur, arah aliran, dan besaran turbulen.

d. *Pressure outlet*

Pada Kondisi batas ini menggunakan 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.

e. *Outflow*

Kondisi batas ini jika data aliran pada sisi keluar tidak diketahui. Data pada sisi keluar diekstrapolasi dari data yang ada pada aliran sebelum mencapai sisi keluar.

f. *Pressure far-field*

Kondisi batas ini digunakan untuk memodelkan aliran kompresibel, besaran yang harus dimasukkan nilainya adalah tekanan *gauge*, bilangan March, temperatur aliran, arah aliran dan besaran turbulensi pada sisi keluar.

g. *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 harus sama dengan data pada kondisi batas *pressure inlet/pressure outlet*, hanya ada tambahan data untuk kerugian tekanan.

h. *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)*.

i. *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.

j. *Symmetry dan axis*

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*.

k. *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.

l. *Cell zone fluid*

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

m. *Cell zone solid*

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

n. *Porous Zone*

*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*.

o. 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.

Proses selanjutnya adalah pemilihan metode inisiasi, dalam metode inisiasi terdapat beberapa metode solusi, metode solusi ini terbagi menjadi beberapa jenis:

a) SIMPLE

SIMPLE (*Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equation*) 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 digunakan untuk menghitung satu set 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-Implicit Metode*".

#### b) SIMPLEC

SIMPLEC (*Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equation Consistent*). Metode ini pada dasarnya merupakan modifikasi dari metode SIMPLE, metode ini merupakan prosedur numerik yang biasa digunakan dalam CFD untuk menyelesaikan persamaan Navier Stokes.

Pada metode SIMPLEC metode SIMPLE sedikit dilakukan variasi dimana persamaan momentum dimanipulasi untuk memungkinkan koreksi kecepatan SIMPLEC dihilangkan untuk menghilangkan nilai yang kurang penting, pada dasarnya SIMPLEC mencoba untuk mencegah efek *dropping velocity* dan faktor koreksi lainnya.

#### c) PISO

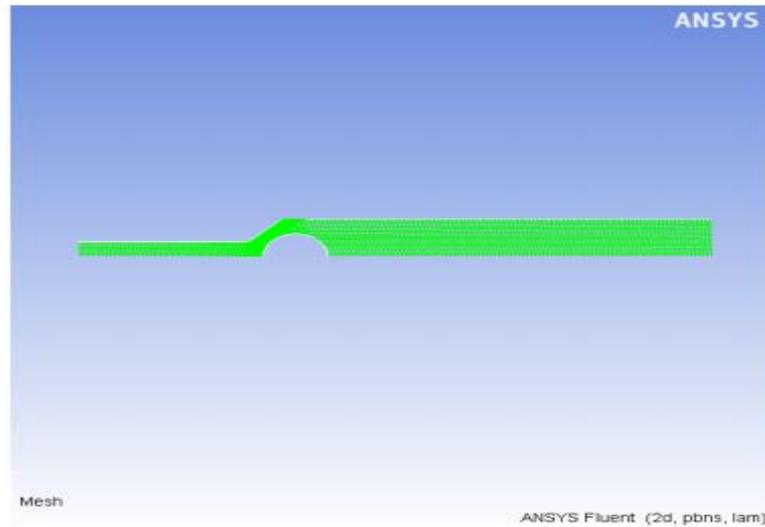
PISO (*The Pressure-Implicit with Splitting of Operators*), merupakan persamaan yang digunakan untuk aliran *transient* atau untuk *mesh* yang mengandung *cells* dengan *skewness* yang lebih tinggi dari rata-rata. Metode berdasarkan pada tingkatan yang lebih tinggi dari hubungan pendekatan antara faktor koreksi tekanan dan kecepatan. Untuk meningkatkan efisiensi perhitungan, metode piso menggunakan dua faktor koreksi tambahan, yaitu *neighbor correction* dan *skewness correction*.

*Neighbor correction* adalah proses iterasi yang disebut sebagai koreksi momentum atau *neighbor correction*. Dengan adanya 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 dapat mencapai konvergensi. *Skewness correction* adalah proses penghitungan ulang untuk gradien koreksi tekanan yang digunakan untuk memperbarui koreksi fluks massa.

### 2.7.1.3 Post Processing

*Post processing* merupakan tahapan terakhir dari proses CFD, pada tahapan ini akan dapat menampilkan hasil proses perhitungan dari kondisi batas dan metode *solver* yang digunakan. Dalam *post processing* dapat memberikan tampilan grafis yang menunjukkan mesh, kontur, vektor dan *pathline*.

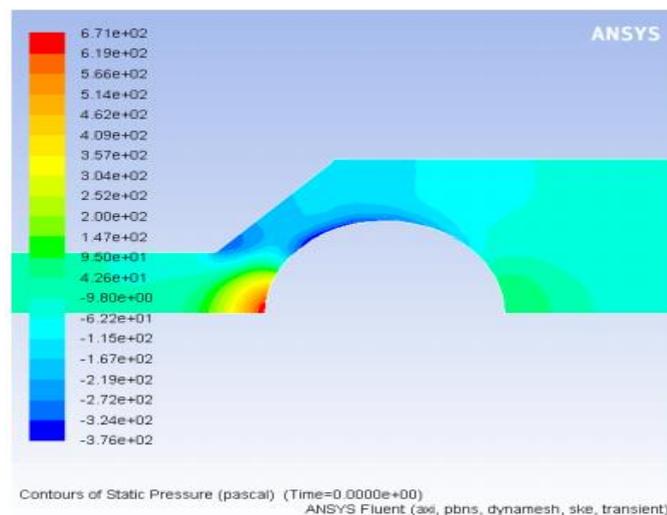
a. *Displaying Mesh*



Gambar 2.21 Contoh *Displaying Mesh* (ANSYS Fluent Tutorial Guide,2013)

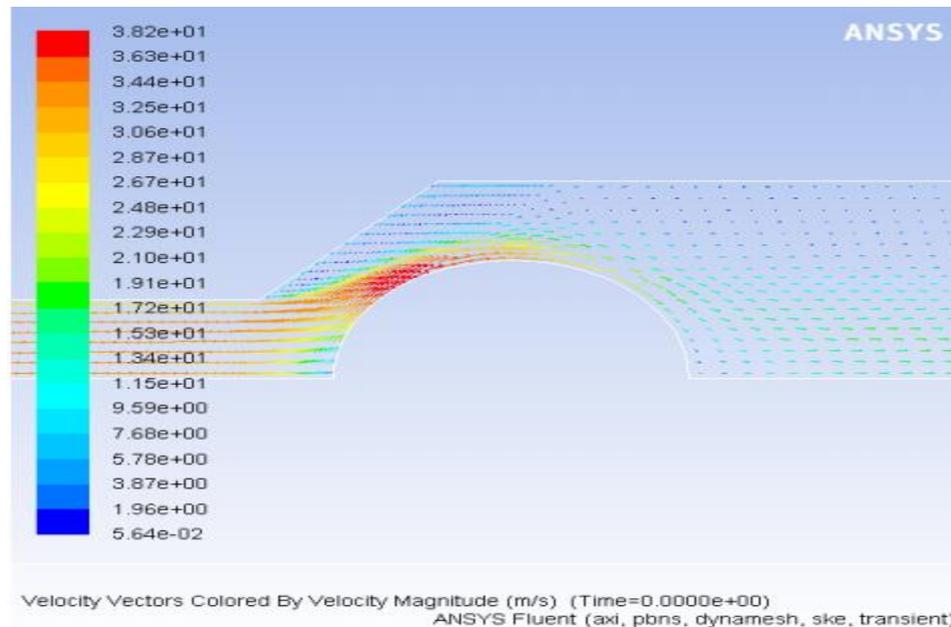
b. *Displaying Countur and Profiles*

Pada menu *display* ini akan menampilkan bentuk kontur dan profil dari model yang sedang diteliti. Kontur dan profil yang ditampilkan dapat berupa tekanan, temperatur ataupun kecepatan.



Gambar 2.22 Contoh tampilan kontur tekanan statik (ANSYS Fluent Tutorial Guide,2013)

Pada menu *display* ini akan ditampilkan bentuk vektor dari model yang sedang diteliti. vektor ini menampilkan dapat berupa tekanan, temperatur ataupun kecepatan:



Gambar 2.23 Contoh tampilan vektor kecepatan (*ANSYS Fluent Tutorial Guide*,2013)

## 2.8 Fluent

*Fluent* adalah salah satu dari jenis program *CFD* yang menggunakan metode volume hingga. *Fluent* dapat mempermudah menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh* (*grid*) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif lebih 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* dibagi menjadi 3 jenis *mesh* tipe *2D triangular-quadrilateral*, *3D tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge*, dan *mesh* campuran (*hybrid*). *Fluent* juga dapat untuk memperhalus atau memperbesar *mesh* yang sudah ada.

*Fluent* memiliki struktur data yang efisien dan lebih fleksibel. *Fluent* juga dapat dijalankan sebagai proses terpisah secara simultan ada klien *desktop workstation* dan *computer server*.

*Fluent* sering digunakan karena memiliki kelebihan:

- *Fluent* mudah untuk digunakan
- Model yang realistic (tersedia berbagai pilihan *solver*)
- Diskritisasi atau *meshing* model yang lebih efisien
- Cepat dalam penyajian hasil (bias dengan parallel *computer*)
- Visualisasi yang mudah untuk dimengerti dan dipelajari

Dalam dunia industri, CFD biasanya digunakan untuk desain suatu sistem fluida, juga untuk mencari sumber atau analisis kegagalan suatu sistem fluida. CFD dipakai oleh *Engineer* maupun ilmuwan dalam berbagai bidang seperti *Aerospace*, *Otomotif*, *Biomedical*, Proses kimia, *Semikonduktor*, Pertambangan, *Petrokimia*, *Polimer*, Pembangkit tenaga, *Turbomachinery*, sebagai berikut:

### 1. *Aerospace*

Diindustri 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*

Dibidang *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, combustion, 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 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.

### **2.8.1 Gambaran Penggunaan *FLUENT***

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

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

### 2.8.2 Langkah Penyelesaian Masalah

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

- a. Membuat atau mengimpor geometri
- b. Memilih *solver* yang tepat untuk model tersebut (2D atau 3D)
- c. Mengatur *sizing Mesh*
- d. Melakukan pengecekan pada mesh model
- e. Memilih formulasi *solver*
- f. Memilih persamaan dasar yang akan digunakan dalam analisis
- g. Menentukan sifat material yang akan digunakan
- h. Memasukkan kondisi batas yang akan digunakan
- i. Mengatur parameter control solusi
- j. Menentukan *initialize* yang akan digunakan
- k. Melakukan perhitungan/iterasi
- l. Memeriksa hasil iterasi
- m. Menyimpan hasil iterasi

## 2.9 General

- **Solver**

- a. *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.

- b. *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 *implicit* atau *eksplisit*.

## 2.10 Models

### 2.10.1 Multifasa

a. *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.

b. *Mixture*

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

c. *Eulerien*

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

### 2.10.2 Viskositas

a. *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.

b. *Laminar*

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

c. *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.

### 2.10.3 Model k-Epsilon ( $\epsilon$ )

#### a. *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.

#### b. *Renormalization-group (RNG)*

Model ini diturunkan dengan menggunakan metode statis yang diteliti (teori renormalisasi kelompok). Model ini merupakan perbaikan dari metode *K- $\epsilon$  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 dapat meningkatkan akurasi untuk jenis aliran yang berputar (*swirl flow*). Menyediakan formulasi analisis untuk bilangan prandtl turbulen, sedangkan model *K- $\epsilon$  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.

#### c. *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 disipasi,  $\varepsilon$ , 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 performa yang bagus untuk aliran yang melibatkan putaran, lapisan batas yang memiliki gradien tekanan yang besar, separasi, dan sirkulasi.

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

##### a. *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*).

##### b. *Shear - Stress Transport (SST)*

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

#### 2.10.5 *Reynold Stress*

*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 disipasi. 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 pada aliran yang disebabkan aliran sekunder dalam saluran.

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

*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 pada pilihan *viscous* khusus solver 3D.

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

*Large Eddy Simulation* (LES) model ini membutuhkan resolusi *mesh* yang lebih besar, membutuhkan daya komputasi yang jauh lebih tinggi dan tidak praktis untuk aplikasi teknis secara umum.

### **2.11 Solution**

#### **2.11.1 Solution Methods**

##### **2.11.1.1 Gradient**

###### a. *Least Squares Cell Based*

*Least Squares Cell Based* digunakan untuk persamaan konversi massa, momentum, energi, serta besaran skalar lainnya seperti turbulen dan reaksi kimia.

###### b. *Green-Gauss Cell Based*

*Green-Gauss Cell Based* digunakan untuk perhitungan berdasarkan jumlah sel sehingga simulasi tidak memerlukan waktu yang lama, namun hasil simulasi menjadi kurang akurat.

###### c. *Green-Gauss Note Based*

*Green-Gauss Note Based* digunakan untuk perhitungan berdasarkan jumlah node dengan menggunakan rata-rata dari dalam sel yang mendefinisikan simpul tersebut.

### 2.11.1.2 *Pressure*

#### a. *Presto!*

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

#### b. *Body Force Weighted*

*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.

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

#### a. *First-Order Upwind Scheme*

*First-Order Upwind Scheme* merupakan skema interpolasi yang paling ringan dan cepat mencapai konvergen, tetapi ketelitiannya orde satu.

#### b. *Second-Order Upwind Scheme*

*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.

#### c. *Power Law Scheme*

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

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

*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.

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

*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.

### 2.11.2 *Solition Initialization*

#### a. *Hybrid initialization*

*Hybrid initialization* merupakan 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. *Standart initialization*

*Standart Initialization* pada umumnya pengguna memilih berdasarkan kondisi batas "*compute from*" agar secara otomatis bisa mengisi nilai inisialisasi dengan nilai-nilai yang ditentukan pada batas inlet dan outlet.