

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

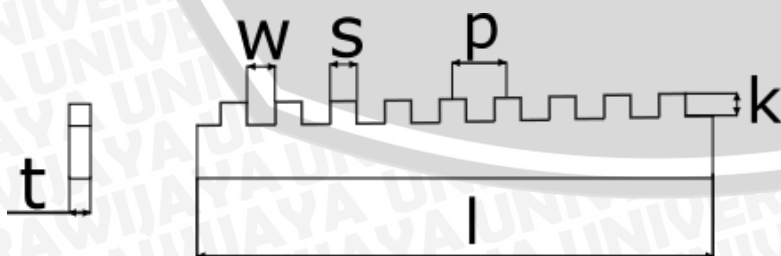
2.1 Penelitian Sebelumnya

Rahmat (2015) meneliti tentang perbandingan solar water heater pelat ganda dengan turbulator jenis *square ribs* dan tanpa turbulator dan menyimpulkan bahwa yang menggunakan turbulator pada pelatnya memiliki efektivitas yang lebih baik pada pemanasannya.

Okamoto (1992) meneliti tentang pengaruh bentuk *rib* terhadap turbulent shear flow yang melewati *rib* dua dimensi. Penelitian ini membandingkan beberapa bentuk *rib* dalam dua dimensi. Beberapa bentuk *rib* yang digunakan adalah semi elips, setengah lingkaran, segitiga. Dari eksperimen tersebut didapatkan bahwa pada *pitch ratio optimum*, *square rib* (*rib* persegi) memberikan hasil turbulensi yang paling besar pada *rib* dua dimensi (two dimensional *ribs*).

2.2 Square Rib Turbulator

Square ribs turbulator adalah alat atau penghalang berbentuk persegi yang berfungsi untuk meningkatkan turbulensi suatu aliran fluida dan membuatnya menjadi berputar (*vortex*). Turbulator akan mengubah orientasi dari aliran fluida sehingga terjadi aliran sekunder yang lebih tinggi, lalu dengan adanya aliran sekunder dalam aliran utama maka akan terjadi peningkatan *vortex* yang merupakan awal dari terjadinya turbulensi dalam aliran tersebut. Peningkatan *vortex* dalam aliran akan meningkatkan luasan bidang kontak antara fluida bertemperatur tinggi ke temperature rendah sehingga akan meningkatkan laju transfer energi dan massa antara fluida.



Gambar 2.1. skema umum *square rib turbulator*

Keterangan:

w = *gap* atau celah antar turbulator

$p = \text{pitch}$

$l = \text{panjang turbulator}$

$t = \text{tebal turbulator}$

$k = \text{tinggi turbulator}$

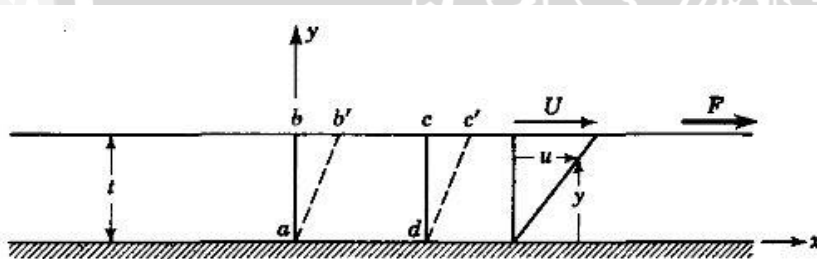
$s = \text{panjang rib}$

$w/k = \text{gap to height}$

2.3 Fluida

2.3.1 Definisi Fluida

Fluida adalah zat yang dapat berubah bentuk secara terus menerus apabila terkena tegangan geser. Jika dikatakan fluida dapat berubah bentuk apabila terkena tegangan geser, tegangan geser ini timbul akibat adanya gaya geser. Gaya geser yang terjadi adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan, kemudian gaya geser ini dibagi dengan luas permukaan tersebut adalah tegangan geser rata-rata pada permukaan itu. *Gambar* berikut menjelaskan perubahan bentuk akibat penerapan gaya geser yang konstan.



Gambar 2.2 Perubahan bentuk akibat penerapan gaya geser yang konstan.
Sumber : Streeter, 1996:4

Pada *Gambar 2.2* di atas dapat dilihat bahwa zat ditempatkan di antara dua plat paralel berjarak dekat, begitu besar sehingga kondisi di ujung-ujungnya dapat diabaikan. Pelat bagian bawah dalam keadaan diam dan bagian atas bergerak dengan kecepatan U dan karena adanya gaya F terhadap suatu luasan A dari pelat yang bergerak.

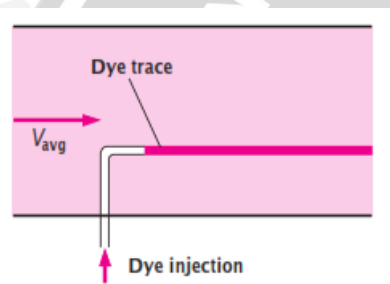
2.3.2 Fluida Mampu Mampat dan Fluida Tak Mampu Mampat

Fluida dibagi menjadi 2 jenis yaitu fluida mampu mampat dan fluida tidak mampu mampat (Daugherty, 1986:4). Fluida tak mampu mampat atau incompressible adalah fluida yang mempunyai massa jenis konstan atau tidak terpengaruh perubahan tekanan. Sedangkan

fluida mampu mampat atau compressible adalah fluida yang massa jenisnya bisa berubah karena tekanan. Contoh fluida tak mampu mampat adalah fluida cair dan fluida gas.

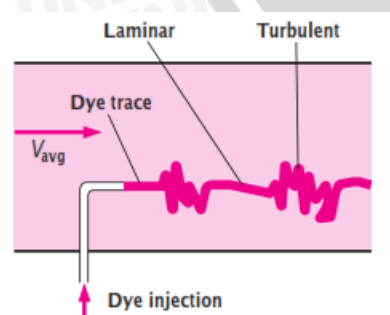
2.4 Jenis Aliran

Aliran fluida dapat dibedakan atas 3 jenis yaitu aliran laminar, aliran transisi, dan aliran turbulen. Jenis aliran ini didapat dari hasil eksperimen yang dilakukan oleh Osborne Reynold tahun 1883 yang mengklasifikasikan aliran menjadi 3 jenis. Aliran dikatakan laminar jika tiap partikel fluidanya teratur dan tidak saling berpotongan satu dengan yang lainnya. Pada aliran laminar kecenderungan untuk turbulensi diredam oleh gaya viskos yang memberikan tahanan terhadap gaya relative lapisan fluida yang berdekatan, hal ini ditunjukkan juga oleh percobaan yang dilakukan Osborne Reynold. Bisa dikatakan aliran ini terjadi apabila kecepatan kecil dan atau kekentalan besar.



Gambar 2.3 Aliran laminar
Sumber: Cengel, 2006,323

Aliran disebut turbulen jika tiap partikel fluida bergerak secara acak ke segala arah dengan saling tukar momentum dan partikel antar lapisan fluida yang berdekatan dalam skala besar. Karena terjadi pertukaran partikel dalam skala besar maka fluida bergerak ke segala arah dan terjadi pembauran aliran fluida. Sedangkan Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen.



Gambar 2.4 Aliran turbulen
Sumber: Cengel, 2006:325

2.5 Bilangan Reynolds

Bilangan reynolds merupakan suatu parameter yang menyatakan suatu perbandingan kecepatan aliran dan ukuran yang mewakili diameter penampang yang dilewati aliran fluida terhadap viskositas kinematik fluida. Besar bilangan Reynolds membedakan jenis alirannya, laminar, transisi ataupun turbulen.

Suatu aliran dapat dikatakan laminar, transisi ataupun turbulen adalah dengan mengetahui bilangan reynold-nya di dalam pipa seperti yang bisa dilihat pada persamaan

$$Re = \frac{\rho.V.D}{\mu} = \frac{V.D}{\nu} \dots\dots\dots(2-1)$$

Keterangan :

Re = bilangan Reynolds

ρ = Densitas [Kg/m^3]

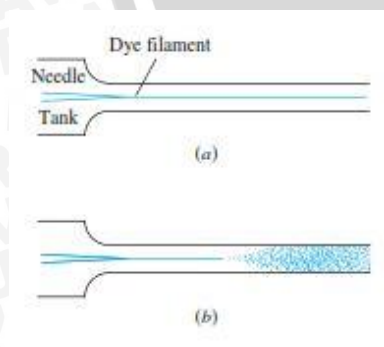
D = Diameter pipa [m]

V = Kecepatan rata-rata aliran dalam pipa [m/s]

ν = viskositas kinematik [m^2/s]

μ = viskositas dinamik [N.s/m^2]

Bilangan Reynolds dapat digunakan untuk mengetahui aliran laminar atau aliran turbulen yang terjadi pada pipa. Aliran yang terjadi dalam pipa bisa dikatakan bersifat laminar jika $Re < 2300$ dan aliran dalam pipa bisa dikatakan bersifat aliran turbulen jika $Re > 4000$. Sedangkan aliran transisi terjadi pada kondisi diantara aliran laminar dan turbulen



Gambar 2.5 Sketsa aliran dalam pipa, (a) kecepatan rendah, aliran laminar; (b) kecepatan tinggi, aliran turbulen

Sumber: White, 1994:330

Untuk aliran yang melewati pipa tidak bulat, bilangan Reynolds dihitung berdasarkan diameter hidrolik yang didefinisikan sebagai berikut:

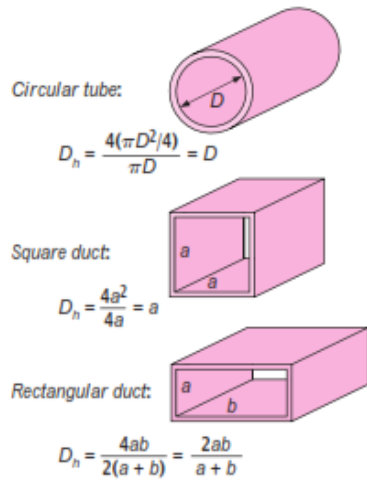
$$D_h = \frac{2A_c}{P} \dots\dots\dots(2-2)$$

Keterangan:

Dh =diameter hidrolik

Ac =luas penampang melintang aliran [m2]

P =keliling terbasahi (*wetted perimeter*) [m]



Gambar 2.6 Diameter Hidrolic pada tiap penampang
 Sumber: Cengel, 2006:324

2.6 Viskositas

Viskositas adalah ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan perubahan bentuk. Viskositas zat cair cenderung menurun dengan seiring bertambahnya kenaikan temperatur, hal ini disebabkan gaya-gaya kohesi pada zat cair bila dipanaskan akan mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya temperatur pada zat cair yang menyebabkan berturunnya viskositas dari zat cair tersebut.

1. Viskositas kinematik

Viskositas kinematik adalah perbandingan antara viskositas dinamik dengan kerapatan fluida.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots \dots \dots (2-3)$$

Keterangan :

ν = viskositas kinematic [m2/s]

μ = viskositas dinamik [N.s/m²]

ρ = densitas [Kg/m³]



2. Viskositas dinamik

Viskositas dinamik adalah sifat fluida yang menghubungkan tegangan geser dengan gerakan fluida. Viskositas dinamik tampaknya sama dengan ratio tegangan geser terhadap gradien kecepatan.

$$F = \mu \cdot \frac{A \cdot U}{t} \dots \dots \dots (2-4)$$

Keterangan :

F = Gaya geser pada fluida

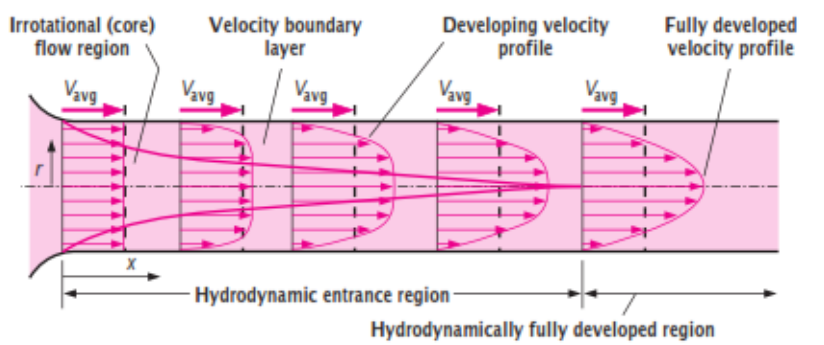
μ = Viskositas Absolut

U/t = laju deformasi fluida dan dapat ditulis du/dy

2.7 Aliran Dalam Pipa

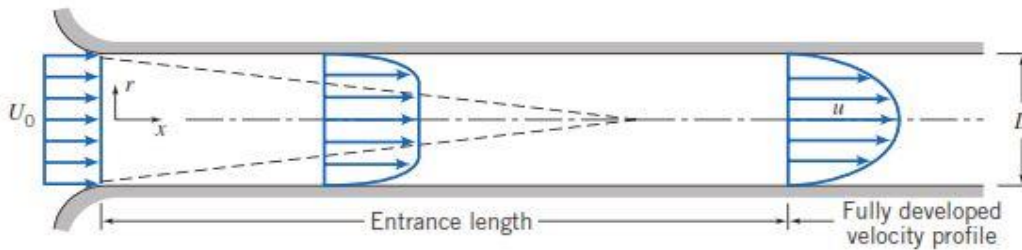
2.7.1 Fully Developed Flow

Awalnya aliran dalam pipa memiliki kecepatan seragam namun setelah melewati pipa dengan jarak tertentu kecepatan aliran pada dinding pipa mulai mendekati nol dan akan nol jika fluida mengalir pada jarak yang lebih jauh lagi. Penurunan kecepatan pada dinding pipa dikarenakan adanya gaya dinding pipa sehingga terbentuk gradien kecepatan yang ditunjukkan oleh terbentuknya lapisan batas. Semakin jauh jarak tempuh fluida semakin besar gradien kecepatan yang terjadi.



Gambar 2.7 Perkembangan lapisan batas pada pipa
 Sumber : Cengel, 2006:325

Setelah mencapai jarak tertentu lapisan batas akan mengembang dan mencapai garis pusat pipa. Aliran akan seluruhnya kental dan bentuk dari profil kecepatan berubah. Namun ada saat dimana profil kecepatan tidak lagi berubah dengan bertambahnya jarak tempuh fluida terhadap pipa maka aliran itu bisa disebut berkembang penuh atau *fully developed*.



Gambar 2.8 Entrance length
 Sumber : Fox, 2011:331

Seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.8 Bahwa bisa disimpulkan jika *entrance length* adalah jarak dari mulut pipa sampai aliran tersebut berkembang sepenuhnya. *Entrance length* sendiri merupakan suatu fungsi dari bilangan reynold, rumusnya sebagai berikut:

$$L_h = 0,06 Re D \dots\dots\dots(2-5)$$

Keterangan:

L_h = *entrance length* [m]

D = diameter pipa [m]

Re = bilangan Reynolds

2.7.2 Persamaan Kontinuitas

Fluida yang mengalir melalui suatu penampang saluran akan selalu memenuhi hukum kontinuitas yaitu laju massa fluida yang masuk \dot{m}_1 akan selalu sama dengan laju massa fluida yang keluar \dot{m}_2 , persamaan kontinuitas adalah sebagai berikut :

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \text{konstan} \dots\dots\dots(2-6)$$

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2$$

Persamaan kontinuitas diatas digunakan jika fluida yang mengalir adalah fluida compressible, sedangkan untuk incompressible $\rho_1 = \rho_2$ sehingga persamaannya sebagai berikut:

$$Q_1 = A_1 \cdot V_1 = Q_2 = A_2 \cdot V_2 \dots\dots\dots(2-7)$$

Keterangan:

Q = debit aliran fluida [m³/s]

A = luas penampang pipa [m²]

V = kecepatan aliran fluida dalam pipa [m/s]



2.7.3 Persamaan Bernoulli untuk Fluida Ideal

Dalam mendapatkan persamaan Bernoulli terdapat asumsi yang harus diperhatikan yaitu aliran tidak mengalami perubahan kecepatan atau steady, tidak ada gesekan antara fluida dengan permukaan pipa, tidak mampu mampat atau incompressible, dan massa jenis konstan.

$$W = m \cdot g \cdot Z + m \frac{p}{\rho} + m \frac{v^2}{2} = \text{konstan} \dots \dots \dots (2-8)$$

Bila pada aliran tersebut diambil suatu jumlah fluida untuk tiap 1 Kg, maka persamaannya dinamakan persamaan energi persatuan berat fluida. Oleh karena itu dibagi massa (m) maka didapatkan energi spesifik yaitu:

$$W = g \cdot Z + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \text{konstan} \dots \dots \dots (2-9)$$

Apabila persamaan tersebut dibagi lagi dengan percepatan gravitasi, maka akan didapatkan salah satu rumus Bernoulli yang memiliki arti head (ketinggian). Persamaannya yaitu:

$$H = Z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} = \text{konstan} \dots \dots \dots (2-10)$$

2.8 Visualisasi Aliran Fluida

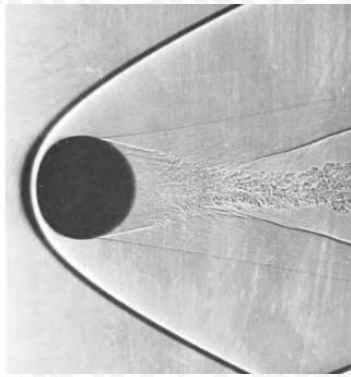
Visualisasi aliran adalah suatu cara paling efektif untuk mendapatkan bentuk atau pola aliran. Visualisasi aliran dapat dilakukan dengan berbagai metode visualisasi.

2.8.1 Metode Visualisasi Aliran

Aliran fluida dapat divisualisasikan dengan tiga metode, yaitu :

1. Metode optik

Metode optik menggunakan prinsip perbedaan pembiasan cahaya saat melewati objek. Metode optik dibagi menjadi dua yaitu *shadowgraph technique* dan *schlieren image* (Settles, 2001). metode optik berguna untuk aliran yang densitasnya berubah seperti aliran fluida gas. Metode ini tidak memerlukan injeksi tracer seperti pewarna asap dll. Melainkan hanya membutuhkan perbedaan densitas dan sifat pembiasan cahaya.



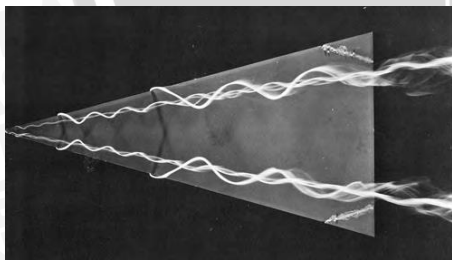
Gambar 2.9 Metode optik
Sumber : Cengel, 2006:138

2. *Surface flow visualization*

Surface flow visualization merupakan metode untuk melihat aliran streamline pada batas saat mendekati permukaan padat (solid surface). Contohnya pada model uji yang berada pada wind tunnel yang dilapisi minyak berwarna yang dapat mengGambarkan aliran disekitarnya.

3. *Particle tracer methods*

Particle tracer methods merupakan metode visualisasi yang menggunakan partikel seperti asap ,pewarna atau microsphere untuk menampilkan aliran fluida secara visual. Untuk lebih memperjelas visualisasi aliran dapat digunakan *sheet laser light* untuk menampilkan visualisasi yang lebih jelas pada potongan dari objek yang rumit.



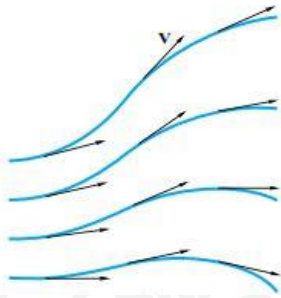
Gambar 2.10 *Particle tracer methods*
Sumber : Cengel, 2006:

2.8.2 Pola Pada Aliran Fluida

Pola aliran adalah suatu karakteristik dari garis-garis di dalam batas alirannya yang disebut garis-garis arus. Terdapat 4 jenis pola aliran dalam fluida :

1. *Streamline*

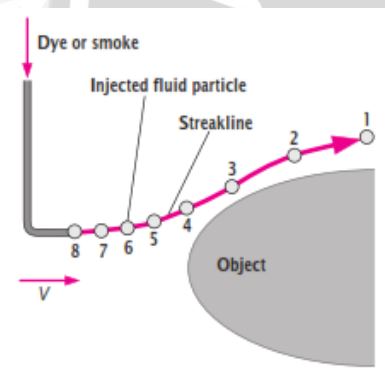
Streamline adalah garis yang tangensial pada setiap titik pada kecepatan dan pada waktu tertentu dengan syarat tidak berpotongan satu sama lain.



Gambar 2.11 Steamline
Sumber: White, 2011:38

2. Streakline

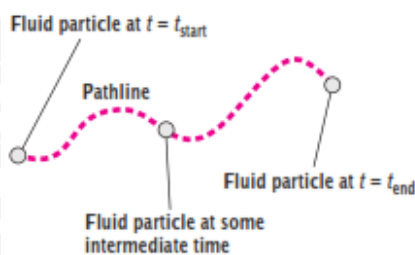
Streakline adalah adalah garis yang menghubungkan semua partikel yang telah melewati posisi euler yang benar dan tepat, dimana partikel dari elemen fluida tersebut semua melalui satu titik yang sama. Streakline dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 2.12 Streakline
Sumber : Cengel, 2006:132

3. Pathline

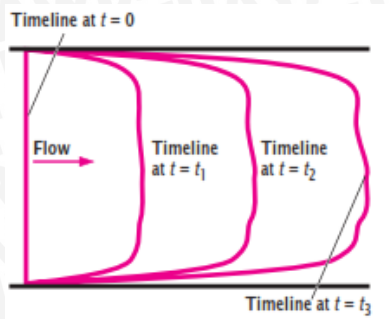
Pathline adalah garis jejak/jejak partikel sebagai fungsi waktu. Pathline juga dapat dikatakan garis yang dilalui partikel tertentu dalam suatu periode.



Gambar 2.13 Pathline
Sumber : Cengel, 2006: 131

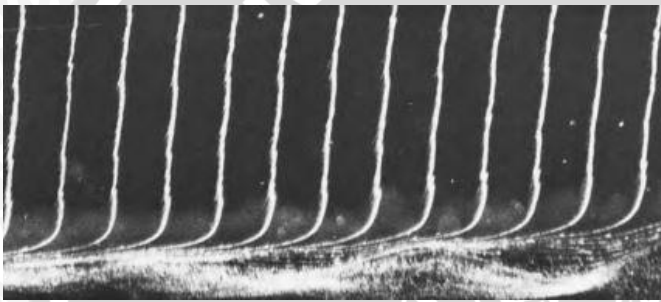
4. Garis Waktu (*Timeline*)

Garis waktu adalah himpunan suatu fluida yang suatu saat tertentu akan membentuk suatu garis



Gambar 2.14 *Timeline*

Sumber : Cengel, 2006:135

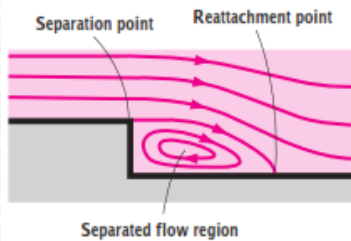


Gambar 2.15 Visualisasi *timeline*

Sumber : Cengel, 2006:135

2.8.3 Pemisahan Aliran (*Flow Separation*)

Pemisahan aliran adalah fenomena terpisahnya aliran dari aliran utama yang terjadi akibat aliran tersebut mengalir pada kecepatan yang cukup tinggi. (Cengel, 2006). Suatu aliran fluida dapat terpisah dari permukaan benda bahkan jika terendam penuh pada cairan atau gas. Titik terjadinya pemisahan aliran (*separation point*) bergantung pada beberapa faktor misalnya bilangan reynold, kekasaran permukaan dan tingkat fluktuasi pada aliran bebas dan pada umumnya akan sulit untuk memprediksi secara tepat dimana titik terjadinya pemisahan aliran akan terjadi kecuali jika terdapat sudut tajam atau perubahan bentuk yang mendadak pada permukaan benda yang dialiri oleh aliran fluida.



Gambar 2.16 Flow separation yang terjadi pada aliran fluida melewati suatu penghalang

Sumber : Cengel, 2006 : 569

2.9 Vortex

Vortex didefinisikan sebagai massa fluida cairan atau gas yang partikel-partikelnya bergerak berputar. Berputarnya partikel fluida disebabkan oleh adanya perbedaan kecepatan antar lapisan-lapisan yang bersebelahan dengan jarak tertentu menimbulkan gaya-gaya yang akhirnya akan menyebabkan puntiran (Potter,1997). Torsi ini menyebabkan terjadinya *vortex* pada fluida tersebut.

Menurut proses pembentukannya *vortex* dibagi menjadi 2 jenis yaitu *vortex* bebas dan *vortex* paksa. *Vortex* bebas terjadi jika mekanisme pembentukan *vortex* tidak melibatkan energy dari luar sumber. Fluida berputar karena gerakan internalnya, sebagai contoh yaitu pusaran air di sungai. *Vortex* paksa terjadi jika mekanisme pembentukannya melibatkan energy dari luar, contohnya fluida diberi torsi atau puntiran dari luar atau bisa digambarkan seperti fluida dalam sebuah wadah diputar dengan tongkat.

2.12 Hipotesa

Sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, ukuran *pitch* mempengaruhi bentuk *vortex* yang divisualisasi. Semakin lebar ukuran *pitch* membuat bentuk *vortex* menjadi semakin lebar karena kemungkinan *vortex* mengisi seluruh permukaan *gap*, begitu juga sebaliknya. Lalu semakin tinggi debit semakin sedikit pula *vortex* yang dapat dilihat, begitupun sebaliknya dan juga sudut berpengaruh pada persentase jumlah *vortex* yang dapat dilihat. Semakin tinggi sudut semakin sedikit pula *vortex* yang divisualisasi begitupun sebaliknya.