

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Mesin Fluida**

Mesin fluida adalah mesin yang berfungsi untuk mengubah energi mekanis poros menjadi energi potensial atau sebaliknya mengubah energi fluida (energi kinetik dan energi potensial) menjadi energi mekanis poros. Dalam hal ini fluida yang dimaksud berupa cair, gas dan uap (laskarteknik, 2011).

Secara umum mesin - mesin fluida dapat dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu:

1. Mesin Tenaga, yaitu mesin fluida yang berfungsi mengubah energi fluida (energi potensial dan energi kinetik) menjadi energi mekanis poros.
2. Mesin kerja, yaitu mesin yang berfungsi mengubah energi mekanis poros menjadi energi fluida (energi potensial dan energi kinetik).

#### **2.2 Fan**

*Fan* adalah suatu mesin untuk memindahkan udara yang memanfaatkan daya dari *impeller* yang berputar. (Air Movement and Control Association International, Inc., 2007). *Fan* biasanya dideskripsikan sebagai mesin yang mampu menaikkan tekanan hingga 2 psig. Mesin dengan tekanan antara 2 psig sampai sekitar 10 psig disebut *blower*. Untuk tekanan yang lebih tinggi dari 10 psig, istilah yang digunakan adalah kompresor.

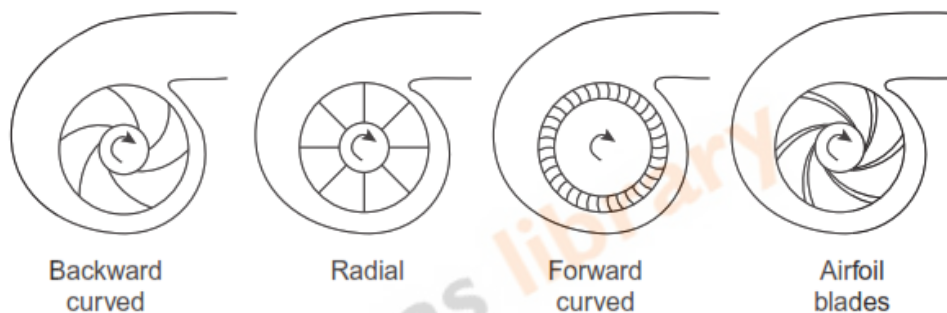
#### **2.3 Klasifikasi Fan**

*Fan* biasanya diklasifikasikan menjadi 2, yaitu *fan* aksial dan *fan* sentrifugal. Pada *fan* aksial udara atau gas mengalir sejajar dengan sumbu putar, sedangkan pada *fan* sentrifugal udara atau gas mengalir tegak lurus dengan sumbu putar. *Fan* aksial biasanya digunakan untuk aplikasi dengan tahanan rendah karena kemampuannya untuk memindahkan udara dengan jumlah yang besar pada tekanan yang rendah. Sedangkan *fan* sentrifugal biasa digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan *head* yang besar, di mana udara yang mengalir mengalami tahanan gesek yang besar.

### 2.3.1 Fan Sentrifugal

*Fan* sentrifugal meningkatkan kecepatan aliran udara dengan *impeller* yang berputar. Kecepatan meningkat sampai mencapai ujung *blade* dan kemudian diubah ke tekanan. *Fan* ini mampu menghasilkan tekanan tinggi sehingga cocok untuk kondisi operasi yang kasar, seperti sistim dengan suhu tinggi, aliran udara kotor atau lembab, dan handling bahan (Artikel Teknologi, 2016).

Karakteristik performansi dari *fan* sentrifugal tergantung pada jenis dari bentuk sudu *fan* yang digunakan. Berdasarkan bentuk sudunya sentrifugal terbagi menjadi beberapa jenis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Tipe sudu *fan* sentrifugal

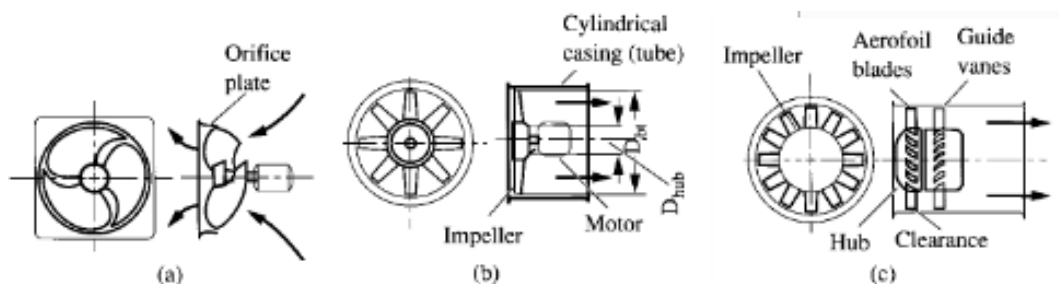
(Blake, 2017)

- a. *Radial-Blade*: Jenis *fan* sentrifugal paling sederhana dan memiliki efisiensi yang paling kecil, memiliki kekuatan mekanik tinggi dan *wheel* nya mudah diperbaiki. *Fan* ini membutuhkan kecepatan putar sedang untuk beroperasi.
- b. *Forward Curve*: Memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan dengan jenis *airfoil* dan *backward curved*. Biasanya dibuat dengan konstruksi dan biaya yang rendah.
- c. *Backward Curve*: Memiliki efisiensi lebih rendah dari tipe *airfoil*. Sudu-sudunya dibelokkan dari arah putarannya dengan alasan yang sama seperti jenis *airfoil*.
- d. *Airfoil*: Merupakan jenis *fan* sentrifugal dengan efisiensi paling besar. Sudu-sudu yang memiliki profil *airfoil* dibelokkan dari arah putaran. Hal tersebut bertujuan agar udara meninggalkan *wheel* pada kecepatan kurang dari kecepatan *tip*.

### 2.3.2 Fan Aksial

*Fan* aksial adalah *fan* yang aliran fluidanya masuk dan keluarnya segaris dengan porosnya secara aksial dengan fluidanya berfase gas. Cara kerja *fan* aksial adalah dengan memanfaatkan gaya *lift* yang dihasilkan oleh sudu *fan* sehingga dapat mengalirkan fluida (Tanjung, 2015). Berikut adalah *fan* aksial menurut *The National Association of Fan Manufacturers*:

- a. *Propeller Fan*: Terdiri dari *propeller* atau *disc-wheel* di dalam *mounting* cincin atau plat. Didesain untuk memindahkan udara dari suatu ruang tertutup menuju ruang lainnya atau dari dalam ruangan menuju luar ruangan atau sebaliknya dengan *range* volume yang besar pada tekanan rendah. Konstruksinya ditunjukkan pada Gambar 2.2 (a).
- b. *Tube Axial Fan*: Terdiri dari sebuah *axial flow-wheel* di dalam *housing* berbentuk silinder. Didesain untuk memindahkan udara atau gas dengan *range* volume yang besar pada tekanan sedang. Konstruksinya mirip seperti *vane axial fan* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 (b)
- c. *Vane Axial Fan*: Terdiri dari sebuah *axial flow-wheel* di dalam *housing* berbentuk silinder yang dikombinasikan dengan seperangkat *air guide vanes* yang terletak sebelum atau setelah *wheel*. Didesain untuk memindahkan udara atau gas dengan volume dan tekanan lebih besar. Konstruksinya ditunjukkan pada Gambar 2.2 (c).



Gambar 2.2 (a) *Propeller fan*, (b) *Tube axial fan*, (c) *Vane axial fan*

(Wang, 2001)

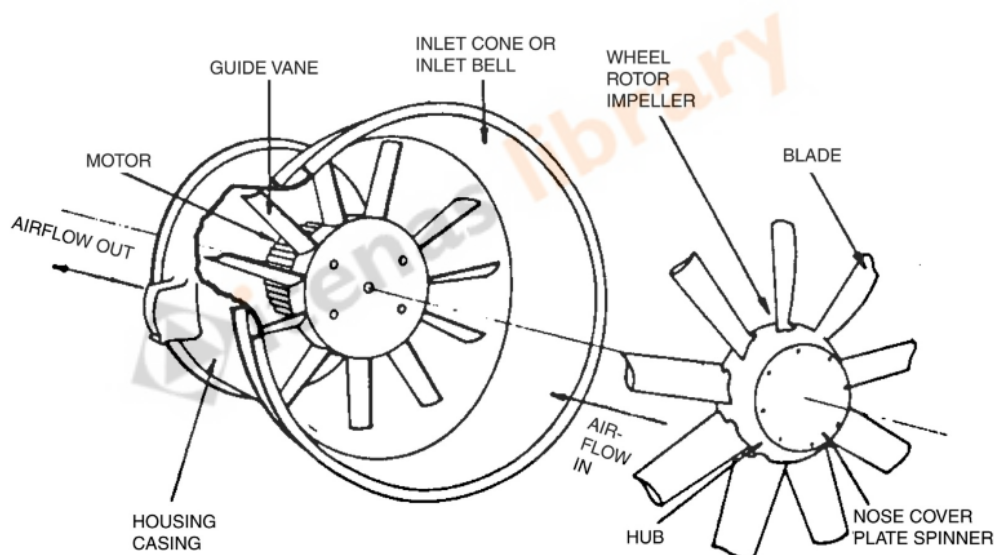
### 2.4 Konstruksi Fan Aksial

Secara umum *fan* aksial terdiri dari beberapa komponen, yaitu:

- a. *Wheel*: Umumnya terdiri dari sudu-sudu yang dirivet atau dilas di hub.

- b. *Housing/Casing*: Memiliki desain yang efisien agar menghasilkan karakteristik aliran udara yang baik. Umumnya terbuat dari lembaran baja yang dirivet, dilas atau dibaut.
- c. *Bell inlet*: Dapat disusun dalam berbagai cara atau dipasang dengan metode yang bermacam-macam, tapi biasanya dipasang dengan cara *die-formed* pada permukaan yang mengarahkan udara menuju sisi *inlet* dari *wheel*.
- d. *Evasé discharge*: Merupakan *diffuser* yang dipasang pada sisi *outlet* yang secara bertahap mengalami kenaikan luas yang bertujuan untuk mengurangi kecepatan dan mengubah energi kinetik menjadi tekanan statik untuk menghasilkan performa yang lebih optimum.

konstruksi *axial fan* ditunjukkan pada Gambar 2.3



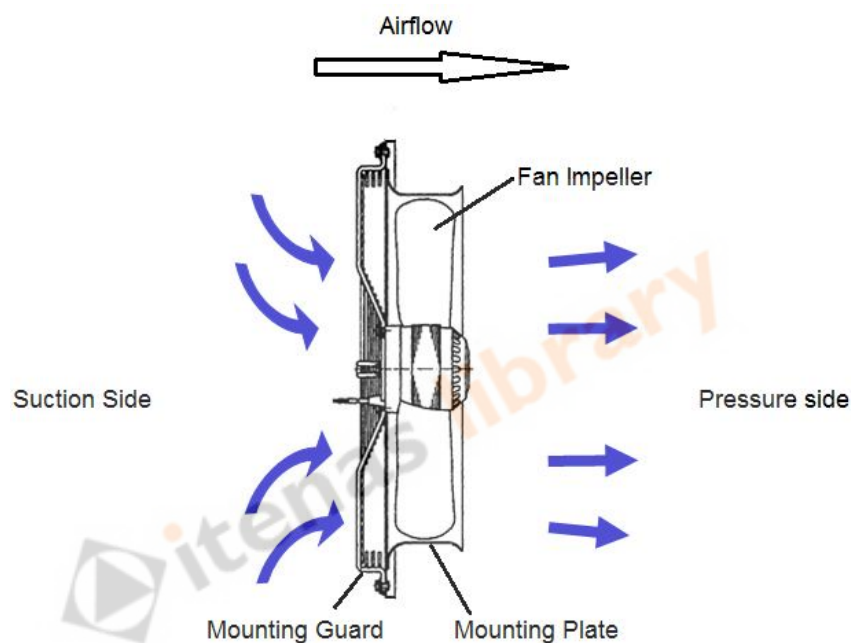
**Gambar 2.3** Komponen *Axial fan*

(Coker, 2013)

## 2.5 Prinsip Kerja *Fan Aksial*

Prinsip kerja *fan* aksial sama seperti sayap pesawat terbang yang menghasilkan gaya angkat (*lift force*). Sayap pesawat terbang memiliki bentuk *airfoil* yang memiliki perbedaan kecepatan antara sisi atas dan sisi bawah. Kecepatan udara sisi atas sayap lebih besar dari sisi bawah. Hal ini menyebabkan sisi bawah sayap menghasilkan tekanan statis lebih tinggi dibandingkan sisi atas. Perbedaan tekanan ini menyebabkan timbulnya gaya angkat. (FanManDan, 2017)

Pada *fan* aksial yang memiliki sudu berbentuk seperti *airfoil* tidak menghasilkan gaya angkat melainkan tetap mempertahankan sudu-sudu berputar stabil pada sumbunya dan menghasilkan aliran udara. Hal ini mengikuti hukum ketiga Newton bahwa untuk setiap aksi ada reaksi yang sama dan berlawanan. Udara di sisi atas sudu ditarik ke dalam *fan* dengan pengurangan tekanan statis dan didorong keluar melalui *fan* dan menghasilkan tekanan yang lebih besar.

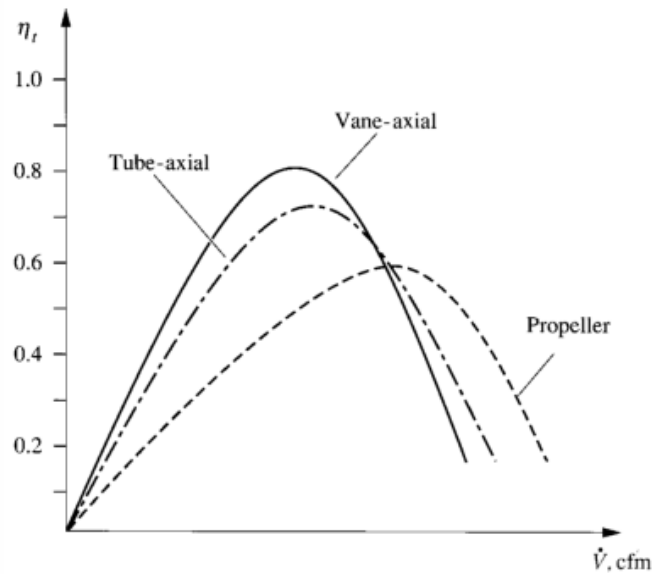


Gambar 2.4 Aliran udara melalui *fan* aksial

(FanManDan, 2017)

## 2.5 Karakteristik *Fan*

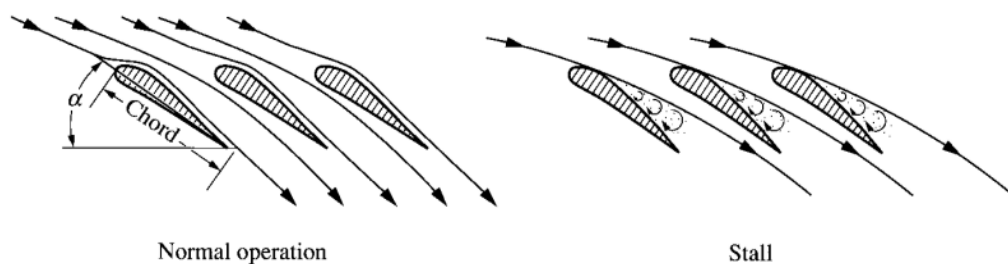
Karakteristik fan dapat dinyatakan dalam bentuk kurva *fan*. Kurva *fan* merupakan kurva kinerja untuk *fan* tertentu pada sekumpulan kondisi yang spesifik. Kurva *fan* merupakan penggambaran grafik dari sejumlah parameter yang saling terkait (Tanjung, 2015). Biasanya sebuah kurva akan dikembangkan untuk sekumpulan kondisi yang diberikan termasuk: volume *fan*, tekanan statis sistem, kecepatan *fan*, dan tenaga yang diperlukan untuk menggerakkan *fan* pada kondisi yang diketahui. Gambar 2.5 merupakan grafik efisiensi terhadap *flow rate*, terlihat efisiensi akan naik dan mencapai titik puncak pada *flow rate* tertentu. Setelah melewati titik puncak, maka efisiensi akan turun.



**Gambar 2.5** Kurva karakteristik *fan* aksial

(Wang, 2001)

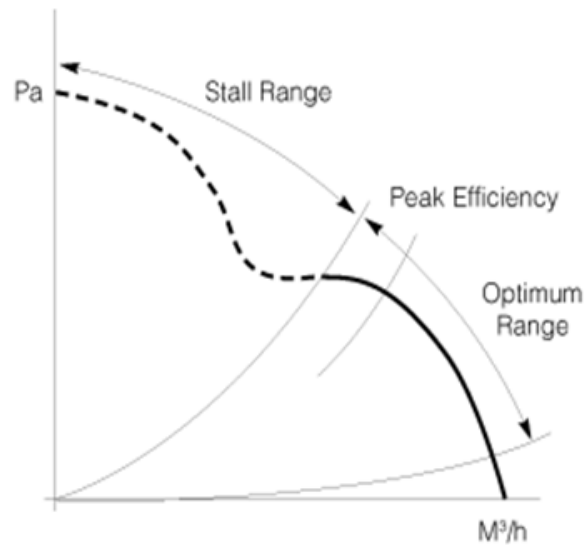
Pada operasi *fan* aksial terjadi fenomena *stall*, pada operasi normal aliran udara di sekitar *blade* efisien menyebabkan perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah sehingga menghasilkan gaya angkat. *Stall* terjadi ketika sudut serang terlalu besar sehingga aliran udara halus tiba-tiba rusak dan perbedaan tekanan di *blade* menurun dan menyebabkan *fan* aksial kehilangan kemampuan menaikkan tekanan secara drastis (Wang, 2001). Fenomena *stall* dapat dilihat pada gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Kondisi *stall*

(Wang, 2001)

Daerah operasi optimal pada karakteristik *fan* aksial berada di bawah *stall dip*. *Fan* aksial bekerja paling baik ketika aliran dengan volume yang relatif tinggi diperlukan terhadap tekanan sistem yang relatif rendah. Gambar 2.7 menunjukkan daerah kerja optimal *fan* aksial.

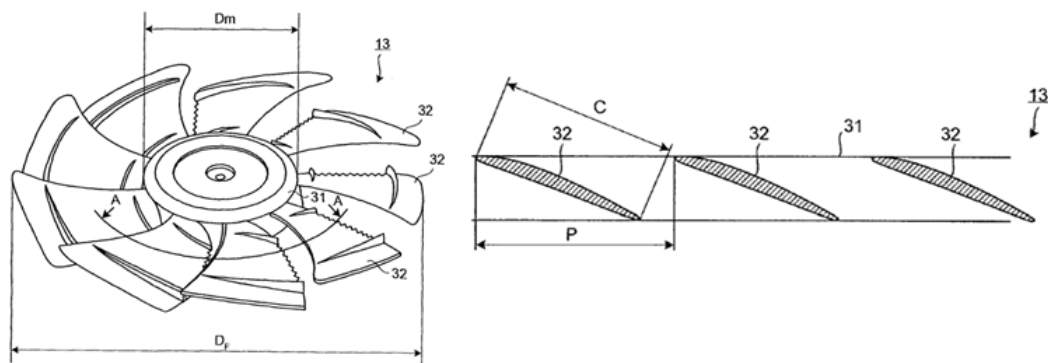


**Gambar 2.7** Daerah kerja optimal *fan* aksial

(FanManDan, 2017)

Sumbu x menunjukkan laju aliran volume dan sumbu y menunjukkan tekanan sistem. Ketika tidak ada tekanan di dalam sistem, *fan* aksial akan menghasilkan laju aliran volume terbesar. Efisiensi paling tinggi adalah pada titik yang disebut lutut kurva karakteristik *fan* aksial. Pada titik ini, rasio antara daya output *fan* terhadap daya input listrik adalah yang terbesar dan menghasilkan kebisingan suara yang rendah. (FanManDan, 2017)

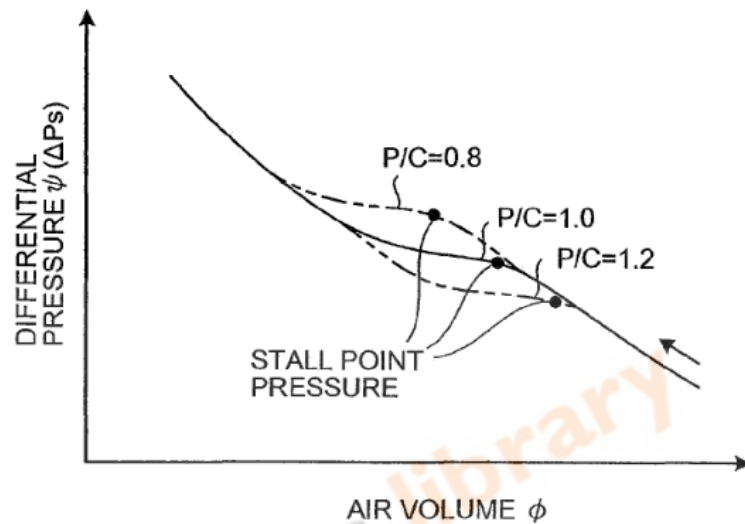
Kurva karakteristik *fan* aksial dapat dimodifikasi dengan cara mengatur *pitch chord ratio*. *Pitch chord ratio* didefinisikan sebagai rasio antara keliling *pitch* (P) terhadap panjang *chord* (C) pada bagian sudu yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.8** Potongan A-A sudu *fan* aksial

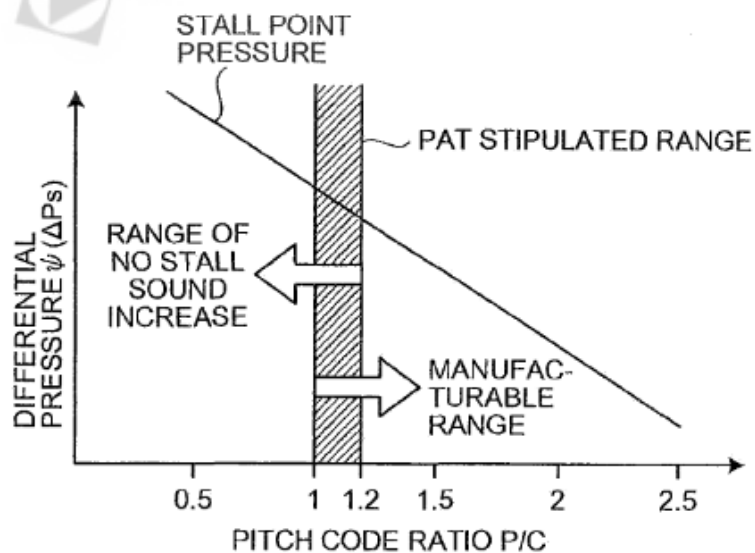
(USA Patent No. US 2011 0008170A1, 2010)

Ketika *pitch chord ratio* dari bagian sudu menjadi lebih kecil, titik *stall* tekanan dari sudu akan meningkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Jika *pitch chord ratio* lebih kecil dari 1 ( $P/C < 1$ ), maka proses pembuatan sudu blade akan menjadi lebih sulit (USA Patent No. US 2011 0008170A1, 2010) seperti yang ditunjukkan di Gambar 2.10.



**Gambar 2.9** Pengaruh *pitch chord ratio* terhadap titik *stall*

(USA Patent No. US 2011 0008170A1, 2010)



**Gambar 2.10** *Pitch chord ratio* yang dapat dimanufaktur

(USA Patent No. US 2011 0008170A1, 2010)



## 2.6 Fan Laws

Secara umum, *fan laws* digunakan untuk menghitung perubahan debit, tekanan, dan daya suatu *fan* ketika ukuran, kecepatan putar, atau massa jenis fluida kerjanya berubah. Hukum ini hanya berlaku untuk *fan* yang serupa secara geometrinya dan memiliki titik *rating* yang sama pada kurva kinerja (McLoone, 2019). *Fan laws* dapat digunakan untuk *blowers*, *exhauster*, *fan* sentrifugal dan *fan* aksial. Gambar 2. menunjukkan rumus-rumus yang digunakan pada *fan laws* untuk mempermudah perhitungan kinerja dari suatu *fan*.

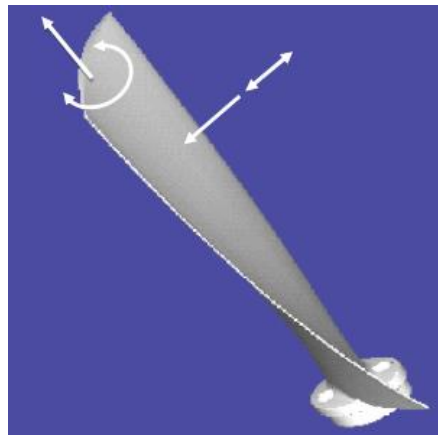
Fixed Condition	Variable	Fan Laws	Equation
Impeller (D)	Speed (n)	Flow rate varies directly as the speed ratio.	$Q_2 = Q_1 (n_2/n_1)$
System		Pressure varies as the square of the speed ratio.	$P_2 = P_1 (n_2/n_1)^2$
Density ( $\rho$ )		Power required varies as the cube of the speed ratio.	$Pr_2 = Pr_1 (n_2/n_1)^3$
Speed (n)	Impeller Diameter (D)	Flow rate varies as the cube of the fan diameter ratio.	$Q_2 = Q_1 (D_2/D_1)^3$
Density ( $\rho$ )		Pressure varies as the square of the fan diameter ratio.	$P_2 = P_1 (D_2/D_1)^2$
Point of Rating		Power required varies as the fifth power of the fan diameter ratio.	$Pr_2 = Pr_1 (D_2/D_1)^5$
Flow Rate	Density ( $\rho$ )	Power required varies as the fifth power of the fan diameter ratio.	$P_2 = P_1 (\rho_2/ \rho_1)$
Speed			$Pr_2 = Pr_1 (\rho_2/ \rho_1)$

**Gambar 2.11** Rumus-rumus pada *fan laws*

(McLoone, 2019)

## 2.7 Pembebanan pada Aksial Fan Blade

*Blade* mengalami berbagai pembebanan, umumnya beban mekanik dan beban aerodinamik. Gambar 2.11 menunjukkan pembebanan yang terjadi di *fan blade*.

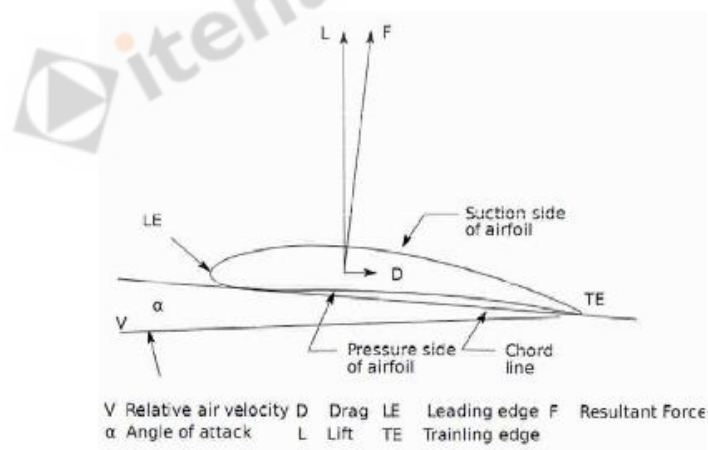


**Gambar 2.12** Pembebanan pada *blade fan*

(T. Neff, 2014)

### 2.7.1 Beban Aerodinamik

Gaya aerodinamik diakibatkan adanya distribusi tekanan di *airfoil*. *Airfoil* mempunyai peranan penting terhadap performa dari *blade* seperti yang ditunjukkan di Gambar 2.12, *airfoil* tersebut dapat menambah efisiensi dari *blade* dan mengurangi aliran turbulen (Zare, 2013).



**Gambar 2.13** Bentuk *airfoil*

(Zare, 2013)

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 akibad adanya *airfoil* menyebabkan adanya *lift force* dan *drag force*.

*Lift force* adalah gaya aerodinamik yang arahnya tegak lurus terhadap arah aliran udara yang diakibatkan adanya perbedaan tekanan pada sisi *suction* dan sisi

*discharge*. Sedangkan *drag force* adalah gaya hambatan yang dihasilkan oleh udara yang mengalir terhadap *airfoil*.

### 2.7.2 Beban Mekanik

Beban mekanik yang dialami *blade* adalah gaya sentrifugal dan torsi. Gaya sentrifugal bergantung pada distribusi massa dari *blade* sedangkan torsi bergantung pada distribusi massa *blade*, distribusi massa *chord* dan lengkungannya dari *blade* (Amoo, 2013).

*Blade* umumnya dibentuk melengkung untuk meningkatkan efisiensi, sehingga massanya tidak terpusat pada satu bidang atau sumbu. *Offset* dari massa tersebut dapat menyebabkan berkurangnya gaya inersia yang dapat menyebabkan bertambahnya tegangan yang terjadi (T. Neff, 2014).

### 2.8 Perangkat Lunak *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

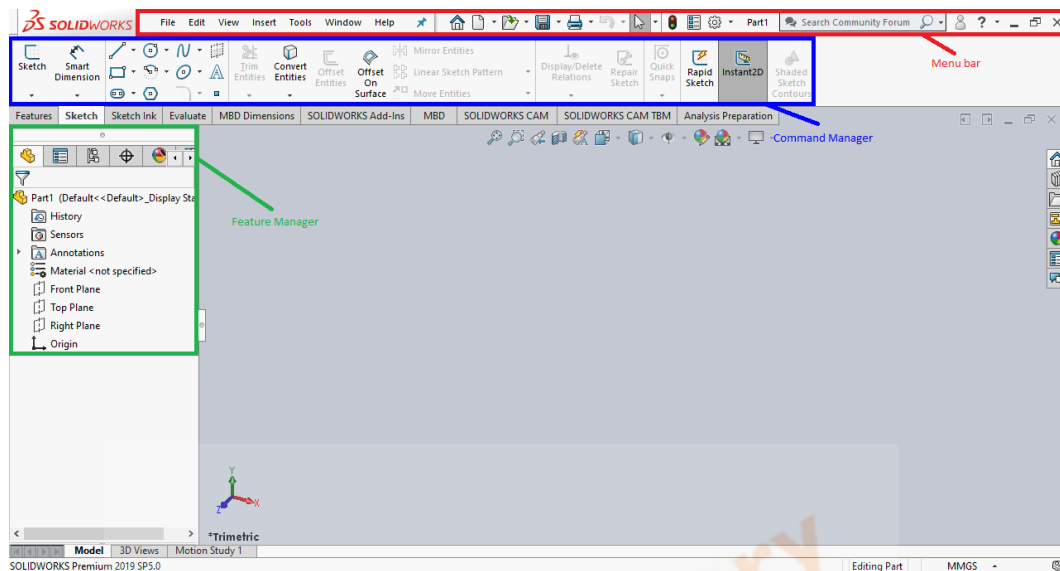
*Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah metode perhitungan dengan sebuah control dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan meshing. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi (Raihan, 2018).

### 2.9 Perangkat Lunak *SolidWorks*

*SolidWorks* adalah perangkat lunak pendukung untuk membantu proses desain suatu rancangan. Perangkat lunak ini juga merupakan sebuah program CAD (*Computer Aided Design*) yang memiliki kemampuan membuat model 2 dimensi maupun 3 dimensi yang berguna untuk membantu proses pembuatan desain *prototype* 2 dimensi maupun 3 dimensi secara visual.

Banyak fitur penting yang ada di dalam perangkat lunak *SolidWorks* ini diantaranya visualisasi 2 dimensi dan 3 dimensi pada desain, fitur simulasi pembebanan, simulasi aliran fluida pada desain, dan lain-lain. Dalam perangkat lunak ini seorang desainer dapat membuat sketsa 2 dimensi kemudian memodelkannya menjadi 3 dimensi untuk dilanjutkan proses pembuatan *prototype*

visual. Adapun perangkat lunak *SolidWorks* serta bagian-bagian utamanya ditunjukkan pada gambar 2.14.



**Gambar 2.14** Perangkat Lunak *SolidWorks* 2019

- Menu bar, pada bagian terdapat beberapa menu seperti file, edit, view dan tools yang merupakan menu utama pada *software SolidWorks*.
- Command Manager, pada bagian ini terdapat beberapa command yang berfungsi untuk membuat sketch, mengatur simulasi, dan melakukan analisis lainnya.
- Feature Manager, proses yang telah dibuat/dilalui terdapat pada bagian ini, pada bagian ini proses yang telah dibuat dapat diedit atau dihapus.