

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Aliran Pada Kendaraan

Secara umum fenomena aliran pada kendaraan terbagi menjadi dua yaitu, aliran eksternal dan aliran internal. Aliran eksternal merupakan aliran udara di sekitar kendaraan dan aliran yang mengalir melalui *grille bumper* pada kendaraan. Sedangkan aliran internal merupakan aliran yang terdapat didalam permesinan seperti ruang bakar, aliran fluida di transmisi dan aliran di pendingin mobil.

Aliran udara di sekitar bodi kendaraan yang menyebabkan gaya dan momen aerodinamika yang berpengaruh terhadap gaya hambat.

### 2.2 Gaya Hambat (*Drag Force*) Aerodinamik

Gaya hambat (*Drag Force*) adalah gaya udara yang berlawanan arah gerak maju mobil bekerja dalam arah horisontal atau paralel dengan arah aliran dan berlawanan arah dengan arah gerak maju kendaraan. Secara umum gaya hambat (*drag force*) dikenal melalui angka *Coeffisien of Drag* ( $C_d$ ). Semakin kecil nilai  $C_d$  maka aerodinamika bodi kendaraan semakin baik, karena gaya hambat yang timbul semakin rendah.

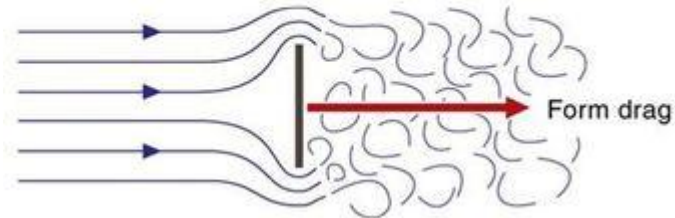
Tabel 2.1 Tabel *Coeffisien of Drag* ( $C_d$ )

No	Jenis Mobil	Koefisien Hambat ( $C_d$ )
1	Mobil penumpang	0,3 - 0,6
2	Mobil convertible	0,4 - 0,65
3	Mobil balap	0,25 - 0,3
4	Bus	0,7 - 0,9
5	Truck	0,8 - 1,4
6	Tractor - Tailer	0,8 - 1,3
7	Sepeda motor & pengendara	1,8

Sumber: (Sutantra & Sampurno, 2010)

Gaya hambat total terdiri dari beberapa jenis gaya hambat yaitu :

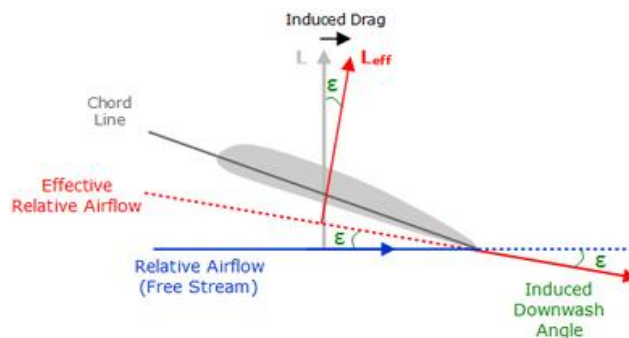
### 2.2.1 Form Drag



Gambar 2.1 Form Drag  
Sumber: (Smith-CFI, 2017)

Gaya hambat yang disebabkan oleh *pressure drag* dan *friction drag*. Terbentuknya gaya ini akibat bentuk bodi kendaraan yang kompleks yang menjadikan terjadinya distribusi tekanan disepanjang permukaan kendaraan tersebut. Aliran udara juga bersifat *viscous* sehingga timbul *friction drag* disepanjang permukaan kendaraan. Dengan adanya perbedaan bagian depan kendaraan dan belakang kendaraan, dimana tekanan positif bekerja pada bagian depan kendaraan dan tekanan negatif pada bagian belakang kendaraan sehingga timbul gaya drag yang berkerja berlawanan dengan arah gerak kendaraan.

### 2.2.2 Induced Drag



Gambar 2.2 Induced Drag  
Sumber: (Johnwalton, 2015)

*Induced drag* merupakan gaya drag yang terjadi karena adanya perbedaan tekanan antara bagian atas dan bagian bawah kendaraan sehingga menimbulkan aliran udara dari permukaan bawah menuju ke permukaan atas kendaraan yang berupa pusaran atau *vortex*. Pengaruh ini menyebabkan laju kendaraan terganggu akibat adanya pengaruh gaya angkat vertical pada kendaraan yang bergerak secara horisontal.

### 2.2.3 Internal Flow Drag

Gaya hambat yang terjadi oleh aliran udara yang mengalir melalui sistem pendingin mesin seperti radiator.

## 2.3 Koefisien Drag

Koefisien hambatan (*Drag Coefficient*) adalah besaran dimensi yang digunakan untuk mengukur drag atau hambatan dari obyek dalam lingkungan fluida seperti udara atau air. Hal ini digunakan dalam persamaan *drag*, di mana koefisien drag yang lebih rendah menunjukkan objek memiliki hambatan aerodinamis atau hidrodinamik lebih kecil. Koefisien hambatan selalu dikaitkan dengan luas permukaan tertentu.

Shape	Drag Coefficient
Sphere	0.47
Half-sphere	0.42
Cone	0.50
Cube	1.05
Angled Cube	0.80
Long Cylinder	0.82
Short Cylinder	1.15
Streamlined Body	0.04
Streamlined Half-body	0.09

Gambar 2.3 Koefisien *drag* dari berbagai bentuk  
Sumber: (Wikipedia, 2018)

J.Y Wong dalam bukunya *Theory Of Ground Vehicle* yang diterjemahkan oleh Djoeli Satrijo bahwa tahanan aerodinamika dari kendaraan ditentukan dari tiga sumber:

1. Bentuk drag yang disebabkan oleh turbulensi bagian belakang kendaraan merupakan suatu fungsi bentuk dari badan kendaraan, khususnya bentuk dari bagian belakang. Komponen tersebut selalu merupakan bagian yang paling bermakna dari tahanan aerodinamik.
2. Gesekan kulit yang disebabkan oleh gaya geser yang timbul pada permukaan-permukaan luar kendaraan melalui aliran udara. Untuk permukaan akhir yang lazim pada mobil penumpang, komponen ini mendekati 10 % dari tahanan aerodinamik total.
3. Tahanan akibat udara melalui sistem radiator atau interior dari kendaraan untuk tujuan pendinginan atau ventilasi. Hal ini bergantung pada rencana saluran.

Rumus untuk menghitung besarnya gaya drag pada kendaraan menggunakan persamaan (Clancy):

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_f \cdot C_d$$

Dimana:

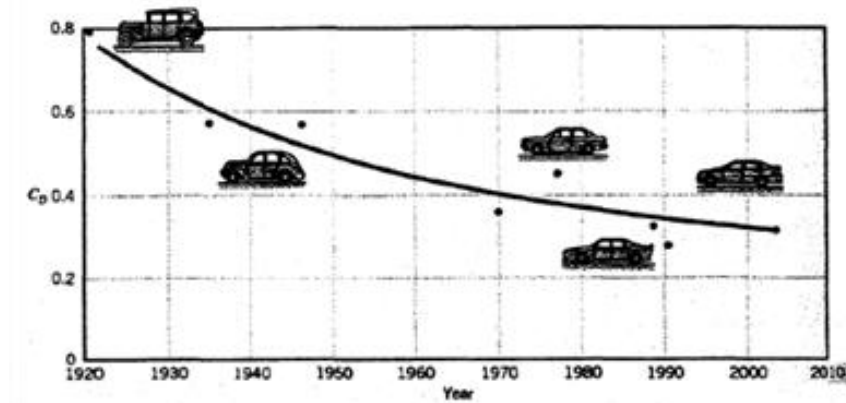
$F_d$  : merupakan Gaya Hambat / Drag (N)

$\rho$  : massa jenis udara ( $1,12 \text{ Kg/m}^3$ )

$V$  : Kecepatan Kendaraan (m/s)

$A_f$  : Frontal Area ( $\text{m}^2$ )

$C_d$  : Koefisien Drag



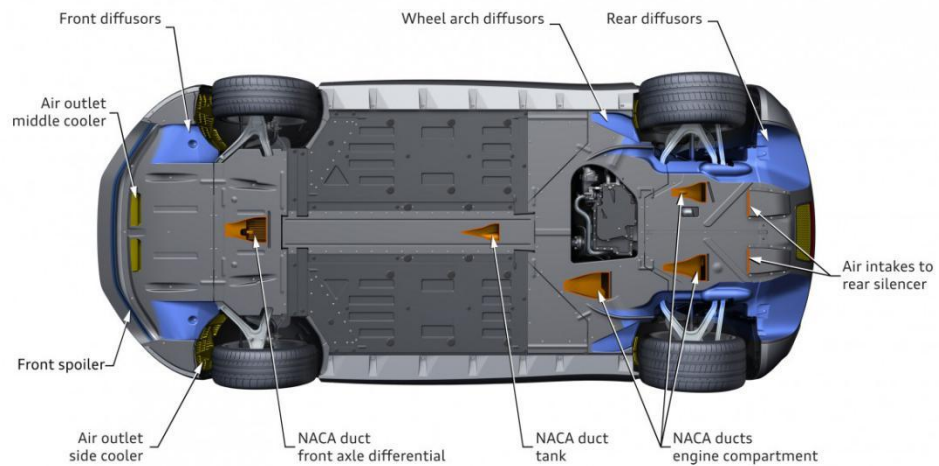
Gambar 2.4 Perkembangan koefisien drag dari tahun 1920-2010  
 Sumber: (Chegg, 2018)

Pada awal tahun 1920 an kendaraan memiliki koefisien drag sekitar 0,8. Pada tahun 1970-an turun menjadi 0,7 dan 0,45 pada tahun 1980-an, dan terakhir tahun 1990-an menjadi 0,3 dengan desain bodi *streamlines*. Untuk truk dan *trailer* pengurangan koefisien drag dapan dilakukan dengan desain bentuk depan dan belakang bodi. Untuk bus, desain ini sudah mulai dilakukan oleh karoseri akan tetapi masih belum diuji oleh karoseri-karoseri Indonesia. Contohnya penambahan deflekta pada atap bus.

## 2.4 Gaya Angkat

Perbedaan bentuk antara permukaan atas dan bagian bawah kendaraan menyebabkan aliran udara pada permukaan atas lebih cepat daripada aliran udara pada permukaan bawah sehingga tekanan permukaan bawah kendaraan lebih tinggi daripada permukaan atas kendaraan.

Beberapa kendala disebabkan oleh bagian profil bawah kendaraan yang mengganggu laju aliran udara yang melewati permukaa bawah kendaraan. Beberapa kendala ini dapat diatasi dengan penambahan *diffuser* dan menutup *underbody* sehingga aliran menjadi lebih *smooth*.



Gambar 2.5 *Underbody* mobil audi  
 Sumber: (Audi, 2016)

## 2.5 Bilangan Reynold

Bilangan reynold merupakan rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Suatu bilangan tak berdimensi yang paling penting dalam dinamika fluida. Bilangan reynold menyatakan suatu kriteria persamaan dinamika aliran. Yang dimaksud adalah jika ada dua aliran fluida yang berbeda dengan debit yang berbeda yang mengalir di sekitar dua benda yang serupa dan berbeda ukuran maka kedua aliran tersebut memiliki kemiripan dinamis. Persamaan bilangan reynold yang dipakai:

$$R_e = \frac{\rho \cdot \bar{V} \cdot L}{\mu} = \frac{\bar{V}L}{\nu} = \frac{\text{Gaya Inersia}}{\text{Gaya Viskos}}$$

Dimana:

$\rho$ = densitas fluida

$\bar{V}$ = kecepatan fluida

$L$ = panjang lintasan aliran

$\mu$  = viskositas absolut fluida dinamis

$\nu$  = viskositas kinematika fluida ( $\nu = \mu/\rho$ )

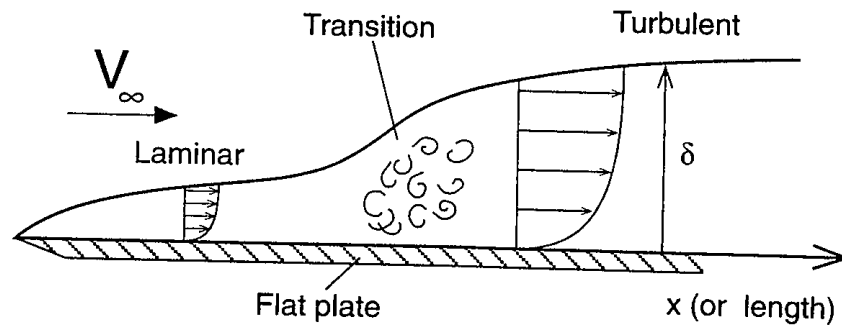
Bilangan reynold digunakan untuk menentukan bahwa suatu aliran merupakan aliran *laminar* atau *turbulen*. Untuk aliran eksternal, aliran *laminar* terjadi pada bilangan reynold  $Re < 3 \times 10^5$ . Aliran *laminar* adalah aliran fluida yang dapat bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan yang membentuk garis-garis alir yang tidak berpotongan satu sama lain. Sedangkan Aliran *turbulen* terjadi pada  $Re > 5 \times 10^5$ . Aliran *turbulen* adalah aliran fluida yang partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling berinteraksi. Akibat dari hal tersebut garis alir antara partikel fluidanya saling berpotongan. Sedangkan antara bilangan reynold  $3 \times 10^5 < Re < 5 \times 10^5$ , merupakan aliran transisi atau aliran yang mengalami proses perubahan dari *laminar* menjadi *turbulen* dan dapat disebut bilangan reynold kritis.

Pada *low speed wind tunnel* dapat ditentukan bilangan reynold yang dialami benda uji. Umumnya digunakan batas maksimum *Mach number* 0,3. Pada kondisi atmosfer standard, besar kecepatan angin maksimum adalah 330 ft/detik atau 100 m/s sehingga aliran udara dianggap *incompressible* dan diperoleh bilangan reynold sebesar  $2,13 \times 10^6 \text{ ft}^{-1}$  atau  $6,98 \text{ m}^{-1}$ . Dari angka tersebut dan panjang karakteristik benda uji, dapat diprediksi baik besarnya bilangan reynold yang dapat dicapai pada suatu *wind tunnel atmospheric*. Untuk kendaraan bermotor yang beroperasi di dalam atmosfer pada kecepatan *Mach number* kurang dari 0,3, bilangan reynold dapat dicapai pada *wind tunnel atmospheric* dengan model berskala.

## 2.6 Konsep Lapisan Batas (Boundary Layer)

*Boundary layer* (lapis batas) merupakan lapisan tipis pada *solid surface* yang terbatas daerah sangat sempit dekat permukaan kontur dengan kecepatan fluida tidak *uniform* dikarenakan tegangan geser yang muncul akibat viskositas. Ketika melewati suatu *solid surface*, aliran tersebut mengalami distribusi kecepatan yang berbeda sebagai pengaruh adanya tegangan geser pada permukaan padat. Distribusi kecepatan ini dimulai dari titik di permukaan padat tersebut, dimana aliran fluida mempunyai kecepatan nol. Kemudian menjadi semakin besar ketika menjauhi permukaan bodi. Semakin menjauhi dari titik mulainya permukaan pada

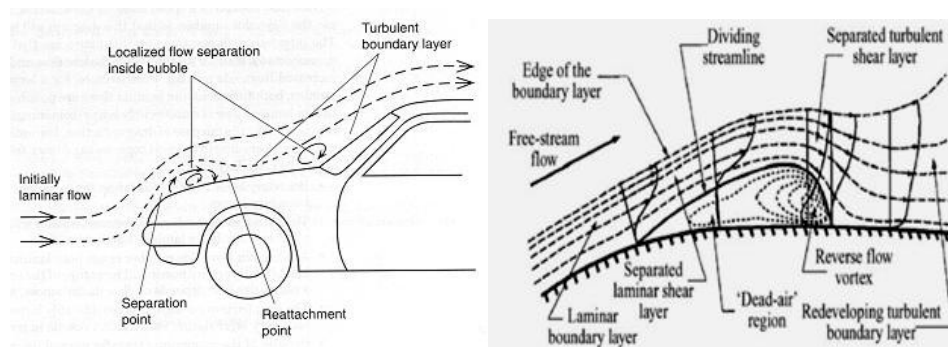
tersebut menyebabkan perubahan dari aliran laminar menjadi transisi dan akhirnya menjadi aliran turbulensi.



Gambar 2.6 Pola perubahan aliran saat melewati plat datar  
Sumber: (Aerospace Engineering, 2011)

Aliran laminar, viskositas berfungsi meredam kecenderungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan. Sedangkan aliran turbulen, terjadinya pergerakan partikel-partikel fluida yang tidak menentu karena bercampurnya putaran partikel antara lapisan. Maka aliran ini membangkitkan tegangan geser yang merata di seluruh fluida yang menghasilkan kerugian-kerugian. Peralihan dari aliran laminar menjadi aliran turbulen dapat disebut aliran transisi.

## 2.7 Separasi



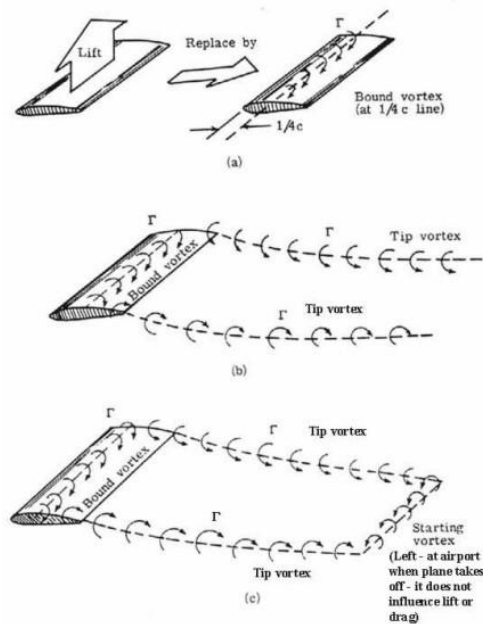
Gambar 2.7 Separasi pada bagian depan mobil  
Sumber: (Kasravi, 2015)

Di dalam *boundary layer* ditemukan suatu fenomena yang disebut sebagai separasi. Separasi ini menimbulkan aliran yang terbalik arahnya dari aliran utama. Separasi merupakan peristiwa dimana aliran fluida terpisah dari permukaan benda. Proses separasi diawali dengan adanya aliran fluida yang terus menerus mengalami

perubahan karena adanya gaya gesek. Sedangkan Separasi *Bubble* adalah separasi yang dilanjutkan dengan penyentuhan kembali fluida yang telah terseparasi ke *solid body*.

## 2.8 Vortex

*Vortex* disebabkan oleh adanya perbedaan tekanan antara bagian atas dan bagian bawah dari kendaraan. Dengan adanya *gradient* tekanan ini menyebabkan adanya aliran dari permukaan bawah ke permukaan atas yang berupa pusaran. *Vortex* dapat terjadi pada daerah *wake*. Daerah *wake* merupakan daerah pada bagian belakang kendaraan akibat daerah turbulen yang besar dan daerah *wake* mengalami tekanan yang sangat rendah. Hal ini disebabkan aliran udara yang mengalir disepanjang *bodi* kendaraan akan lepas dari *bodi* kendaraan pada bagian ujung belakang kendaraan.



Gambar 2.8 *Vortex* pada *airfoil*  
Sumber: (Friend, 2015)

## 2.9 Hukum Bernoulli

Prinsip *Bernoulli* adalah sebuah istilah di dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida, peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Hukum *Bernoulli*

bermanfaat bagi kehidupan manusia, beberapa aplikasi penerapan hukum bernoulli adalah sebagai berikut:

- *Torriceli/Tangki Air*
- *Venturimeter*
- *Manometer*
- *Gaya Angkat Pesawat*
- *Tabung Pitot*

Dalam persamaan *Bernoulli*, terdapat dua persamaan yaitu *incompressible flow* atau aliran tidak termampatkan dan *compressible flow* atau aliran termampatkan.

Untuk *incompressible flow*, dimana  $p$  sebagai tekanan fluida,  $\rho$  sebagai massa jenis fluida,  $h$  merupakan ketinggian relatif,  $g$  sebagai gravitasi bumi dan  $v$  merupakan kecepatan fluida maka didapatkan persamaan *Bernoulli* sebagai berikut

$$p + \rho \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{konstan}$$

Dengan asumsi aliran bersifat *steady state* dan *inviscid*

Persamaan diatas dapat diturunkan menjadi:

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Untuk *compressible flow*,  $\phi$  merupakan gravitasi per satuan massa dimana  $\phi = g \cdot h$  dan  $\omega$  merupakan entalpi fluida per satuan massa,  $\omega = \epsilon + \frac{p}{\rho}$  dimana  $\epsilon$  merupakan energi internal spesifik atau energi termodinamika per satuan massa, maka dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\frac{v^2}{2} + \phi + \omega = \text{Konstan}$$

Proses *Adiabatik* adalah suatu proses dimana tidak ada kalor yang dibiarkan mengalir kedalam atau keluar system;  $Q = W = 0$ . Situasi ini bisa terjadi jika system

terisolasi dengan baik, atau proses terjadi dengan sangat cepat sehingga kalor mengalir sangat lambat, tidak memiliki waktu mengalir kedalam atau keluar. Pemuai gas yang sangat cepat pada mesin pembakaran dalam merupakan salah satu contoh proses yang hamper adiabatic.

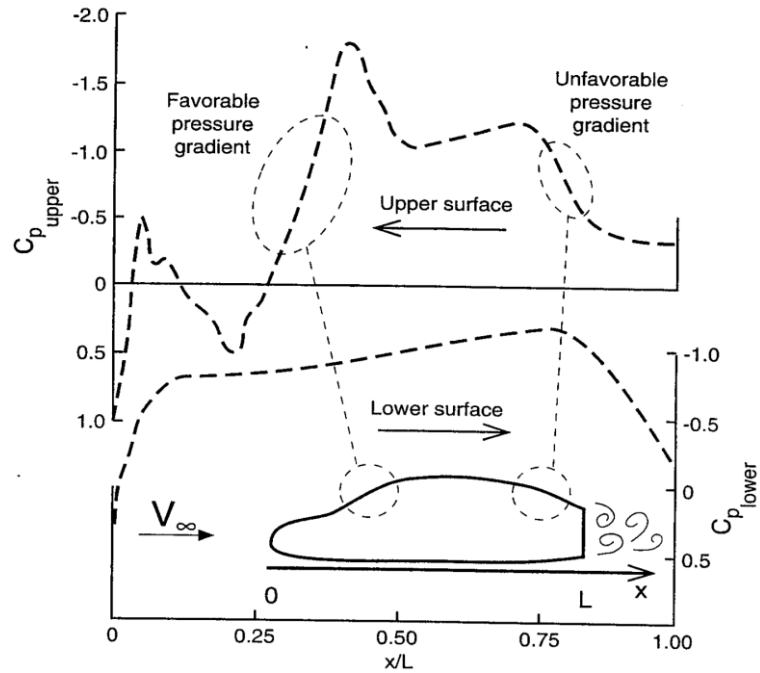
## 2.10 Tekanan

Udara yang bergerak dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah atau *favourable pressure gradient* akan dipercepat alirannya oleh karena perbedaan tekanan tersebut, dan sebaliknya akan diperlambat jika dari tekanan rendah ke tekanan tinggi atau *adverse pressure gradient*.



Gambar 2.9 Hubungan antara kecepatan dan tekanan  
Sumber: (Rijeka, 2014)

Tekanan stagnasi (tekanan total) adalah tekanan yang diukur pada suatu titik dimana aliran fluida diperlambat mendekati nol dengan proses tanpa gesekan dan arah tumbukan fluida adalah tegak lurus dengan bidang tumbukan.



Gambar 2.10 Distribusi  $C_p$  pada kontur 2 dimensi  
 Sumber: (Barnard, 2009)

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_\infty^2} = 1 - \frac{v^2}{v_\infty^2}$$

Dimana  $p$  : Tekanan statik lokal atau tekanan pada kontur

$p_\infty$  : tekanan statik *free stream*

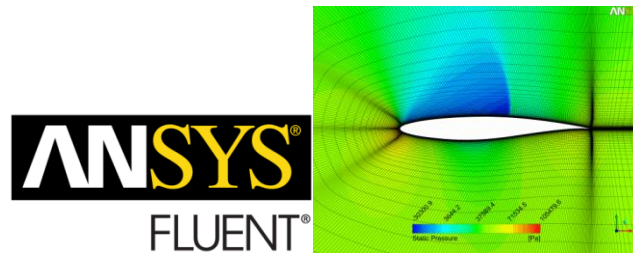
$v$  : kecepatan lokal aliran

$v_\infty$ : kecepatan *free stream*

Timbul atau tidaknya gaya angkat dapat dilihat secara langsung dari distribusi tekanan atau  $C_p$  pada permukaan atas dan bawah. Jika selisih distribusi tekanan pada permukaan atas dan bawah bernilai positif maka lift yang timbul akan menyebabkan profil terangkat, sedangkan bila yang terjadi adalah sebaliknya maka gaya angkat negatif akan menyebabkan profil tertekan kebawah. Selisih distribusi tekanan, besar kecilnya gaya angkat maupun gaya hambat juga ditentukan oleh gaya gesek dalam bentuk *skin friction coefficient* ( $C_f$ ).

## 2.11 CFD

CFD (*Computational Fluid Dynamics*) merupakan *engineering tools* analisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait lainnya seperti reaksi kimia dengan menggunakan model matematis yang valid secara simultan dengan bantuan komputer. Pengembangan berawal dari metode penyelesaian aliran potensial 2D secara linearisasi pada sebuah silinder.



Gambar 2.11 Ansys Fluent salah satu software CFD  
Sumber: (ANSYS, 2009)

Proses CFD sebagai berikut:

- Identifikasi Permasalahan (*Preprocessing*)
  - a. Definisikan permasalahan menjadi sebuah model
  - b. Identifikasi permasalahan yang akan dimodelkan.
  - c. Desain dan membuat sebuah meshing.
- Eksekusi penyelesaian (*Solver*)
  - a. Pemilihan model numerik.
  - b. Komputasi dan monitoring solusi tersebut.
- Proses display (*Post processing*)
  - a. Tampilkan display solusi penyelesaian.
  - b. Pertimbangkan revisi pada model

### **PreProcessing**

Dalam proses persiapan simulasi dibutuhkan software GAMBIT (*Geometry And Meshing Building Intelligent Toolkit*). Gambit merupakan pembuatan model dan proses meshing dengan menggunakan grafikcal user interface (GUI) untuk penerimaan input. Mengakomodir berbagai macam aplikasi model dari berbagai format (ACIS, STEP, Parasolid, IGES .dll) Mampu melakukan proses meshing

berbagai bentuk yang beraturan maupun yang tidak beraturan. Dapat di ekspor ke semua solver FIDAP, POLYFLOW, FLUENT dan CFX.

Meshing terdiri dari heksahedral terstruktur dan tidak terstruktur, tetrahedral, piramid dan prisma. Gambit dapat dilakukan pengecekan kualitas meshing sesuai dengan standart yang diinginkan. Gambit dapat dilakukan pembuatan boundary meshing khusus didaerah kritis secara costum.

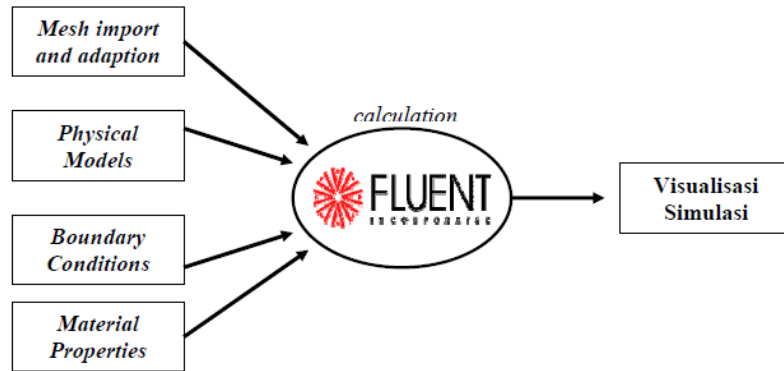
Boundary Layer Mesh (CFD) adalah suatu perangkat untuk membuat sebuah alur (cetakan) untuk proses meshing. Keuntungan menggunakan boundary layer mesh:

- Menghasilkan kualitas mesh atau cell yang lebih baik didekat dinding.
- Menyediakan resolusi tertentu untuk aliran dekat dengan kondisi batas.

Boundary Conditions adalah informasi secara spesifik terhadap variabel kecepatan dan termal pada sebuah model kasus.

Boundary Conditions diklasifikasikan:

- Batas Flow In dan Exit: Pressure inlet, velocity inlet, mass flow inlet dan inlet-vent; intake fan, pressure outletm pressure far-field, outflow, outlet vent dan exhaust fan.
- Wall, repeating dan pole boundary: wall, periodic dan axis.
- Internal cell zones : fluid dan solid
- Internal face boundaries: fan, radioatorm porous jump, wall, dan interior.



Gambar 2.12 Struktur dasar program fluent  
Sumber: (FIDAP User Manual, 1999)

## Solver

Persamaan Navier-Stokes adalah serangkaian persamaan yang menjelaskan pergerakan dari suatu fluida seperti cairan dan gas. Persamaan-persamaan ini menyatakan bahwa perubahan dalam momentum (percepatan) partikel-partikel fluida hanya bergantung kepada gaya viskos internal (mirip dengan gaya friksi) dan gaya viskos tekanan eksternal yang bekerja pada fluida. Oleh karena itu, persamaan Navier-Stokes menjelaskan keseimbangan gaya-gaya yang bekerja pada fluida. Persamaan Navier-Stokes memiliki bentuk persamaan diferensial yang menerangkan pergerakan dari suatu fluida. Untuk mendapatkan hasil dari suatu permasalahan fisika menggunakan persamaan Navier-Stokes, perlu digunakan ilmu kalkulus. Secara praktis, hanya kasus-kasus aliran sederhana yang dapat dipecahkan dengan cara ini. Kasus-kasus ini biasanya melibatkan aliran non-turbulen dan tunak (aliran yang tidak berubah terhadap waktu) yang memiliki nilai bilangan Reynold kecil.

## PostProcessing

Postprocessing adalah langkah akhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa gambar, kurva, dan animasi. Hasil yang diperoleh dari proses yang berada dalam pre-processor dan solver akan ditampilkan dalam post-processor. Tampilan tersebut dapat berupa:

- Tampilan geometri domain dan grid

- Plot vector
- Plot permukaan 2 dan 3 dimensi
- Pergerakan partikel
- Manipulasi pandangan
- Output warna.

## 2.12 Wind Tunnel atau Terowongan Angin

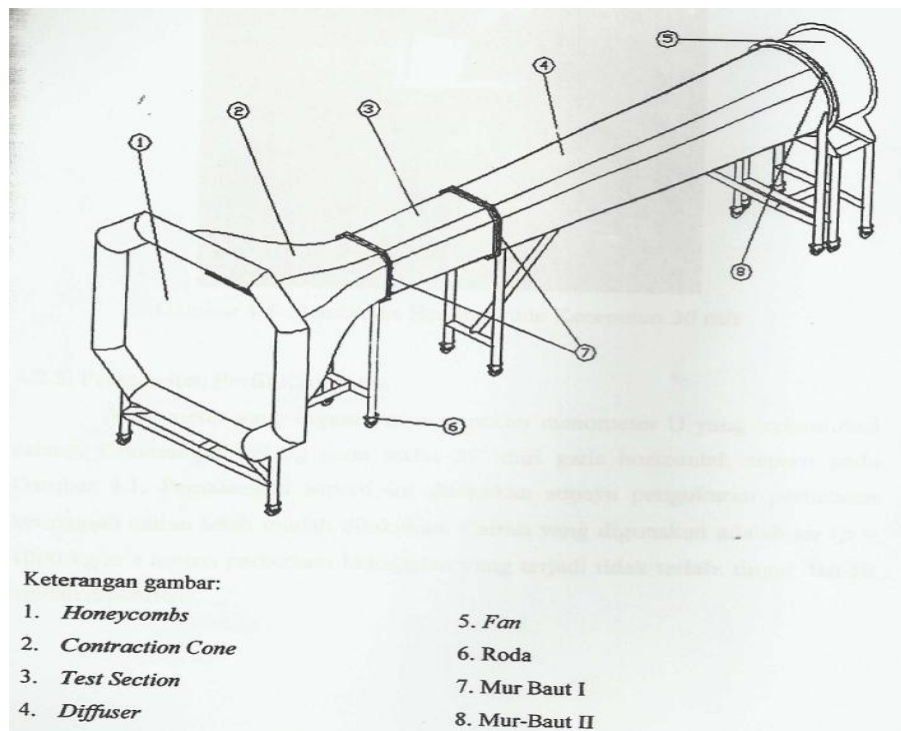
Terowongan angin atau *wind tunnel* adalah alat yang digunakan dalam penelitian aerodinamis untuk mempelajari efek dari udara yang bergerak melewati benda padat. Sebuah terowongan angin terdiri dari bagian tubular tertutup dengan objek yang diuji dipasang di tengah. Sebuah sistem *fan* yang kuat menggerakkan udara melewati objek; kipas harus meluruskan baling-baling untuk kelancaran aliran udara.



Gambar 2.13 *Wind tunnel open circuit* pada laboratorium fluida Petra  
Sumber: (Wind Tunnel Petra, 2015)

Fungsi *wind tunnel* ini yaitu sebagai alat bantu pengujian sifat aerodinamika suatu model benda seperti pesawat terbang, kapal, bangunan dan lain sebagainya. Teknik pengerjaan uji coba aerodinamika tersebut adalah dengan menempatkan sebuah *model* (yang biasanya jauh lebih kecil dari ukuran asli) di dalam sebuah terowongan yang dialiri udara bergerak yang mengalir searah. Dari situ akan diketahui *performa* aerodinamika pada titik-titik tertentu dari *model* tersebut yang pada akhirnya melahirkan sebuah kesimpulan layak atau tidaknya suatu proyek yang akan dibangun. Kecepatan angin dapat diatur mulai dari kecepatan rendah hingga kecepatan tinggi. Arah angin bisa pula diasumsikan berubah-ubah dengan

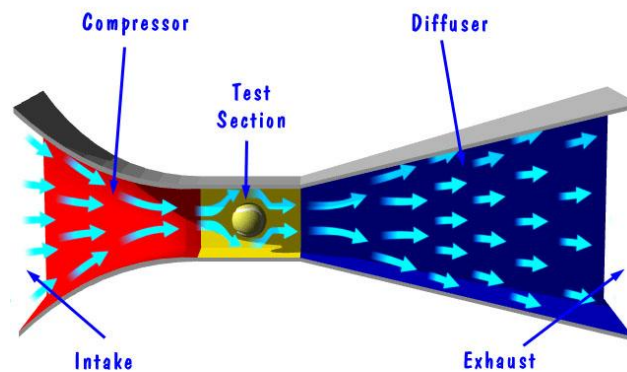
cara mengubah posisi kedudukan model di dalam terowongan angin tersebut. Kelemahan uji aerodinamika dengan wind tunnel adalah membutuhkan biaya yang lebih mahal serta waktu yang relatif lama. Ini dikarenakan pihak penguji harus membuat *model* yang sama persis seperti *model* aslinya, serta harus membuat ulang *modelnya* apabila pengujian sebelumnya membuktikan bahwa *model* tersebut tak layak secara aerodinamika.



Gambar 2.14 Bagian-bagian *wind tunnel*  
 Sumber: (Raharjo, 2005)

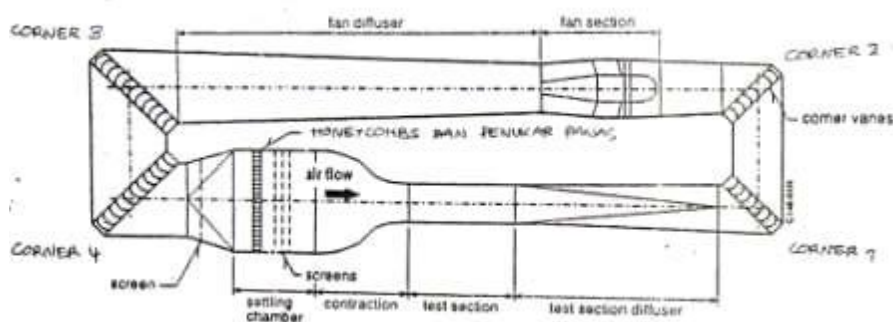
### 2.12.1 Jenis-Jenis Wind Tunnel

Wind tunnel secara umum terbagi menjadi dua jenis yaitu *open circuit tunnel* dan *closed circuit*. Pada *open circuit*, udara tidak dialirkan kembali melalui pengarah. Jadi setelah udara meninggalkan *diffuser* akan kembali masuk ke bagian *intake* dengan lintasan yang tidak terarah atau tidak tersirkulasikan kembali ke bagian *intake*.



Gambar 2.15 *Wind tunnel open circuit*  
 Sumber: (Ske Engineering Corporation-Hydraulic lab equipment, n.d.)

Pada *closed circuit tunnel*, lintasan udara mengalir secara kontinu dan sebagian besar tipe ini adalah *single return*.



Gambar 2.16 *Wind tunnel closed circuit*  
 Sumber: (Rijeka, 2014)

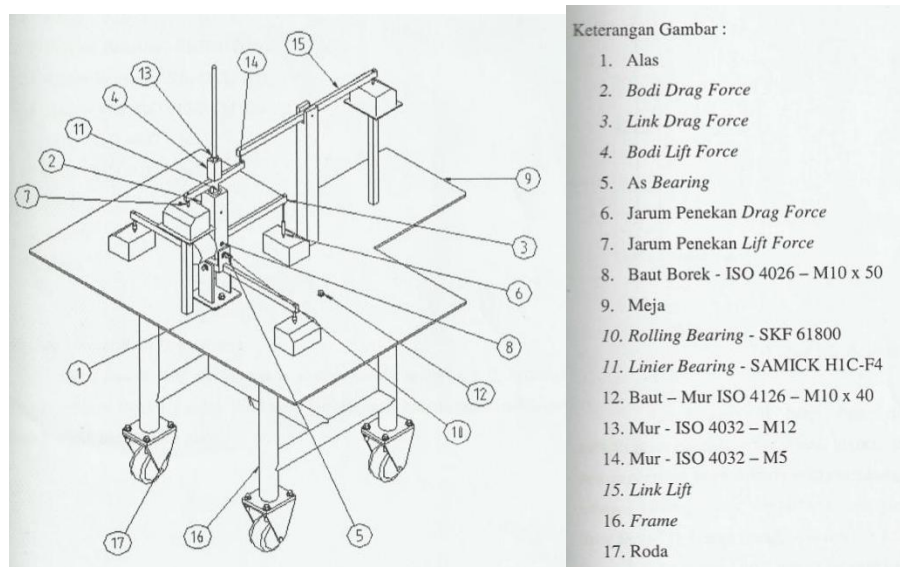
Berdasarkan kecepatan aliran udara dalam *working section*, *wind tunnel* terbagi atas:

- *Sonic*, dimana *Mach number* = 1
- *Subsonic*, dimana *Mach number* < 0,9 dan memiliki kecepatan aliran udara pada daerah *subsonic*
- *Transonic*, dimana *Mach number* 0,9 – 1,2 dan mendekati kecepatan suara

- *Supersonic*, dimana *Mach number* 1,2 – 5 dan diatas kecepatan suara
- *Hypersonic*, memiliki kecepatan aliran udara tertinggi dengan *Mach number* > 5

### 2.13 Wind Tunnel Balance

Wind tunnel balance merupakan alat bantu pengukuran pada wind tunnel yang digunakan untuk mengukur gaya aerodinamika suatu benda uji. Sistem ini terdiri dari sepasang batang berskala dengan arah parallel dan normal garis sumbu wind tunnel, yang ditumpu pada base dengan sepasang knife edges pada sumbu silang yang saling tegak lurus. Bila model menerima gaya aerodinamis karena adanya aliran udara maka lengan balance akan bergeser dari posisi garis nol.



Gambar 2.17 *Wind tunnel balance*  
Sumber: (Hartanto, 2005)

### 2.14 Bus

Cikal bakal bus muncul ketika kendaraan bermotor menggantikan kuda sebagai alat transportasi pada sekitar 1905. Saat itu, *omnibus* bermotor disebut *autobus*. Hingga saat ini, Prancis dan Inggris masih menggunakan istilah tersebut. Omnibus pertama dioperasikan di Amerika Serikat. Dimulai dengan pelintasan Jalan *Broadway* di kota New York pada 1827. Seseorang bernama Abraham

Brower, merupakan pemilik pertama bisnis tersebut. Saat ini, bus di Indonesia dibagi ke dalam berbagai kategori, berdasarkan ukuran, kelas, jenis, dan jarak. Ada tiga jenis bus berdasarkan ukuran, bus besar, bus sedang, dan bus kecil. Sedangkan berdasarkan kelas ada kelas ekonomi, bisnis rs, bisnis ac, *executive*, dan *super executive*. Pembagian berdasarkan kelas ini ditentukan oleh fasilitas-fasilitas yang disediakan oleh bus.

### 2.14.1 Jenis Jenis Bus

- *Coach* Bus



Gambar 2.18 PO. Blue Star Coach Bus

Sumber: (<http://ajitoursemarang.com/article/125139/armada-bus.html>)

Kendaraan yang dirancang untuk bepergian jarak jauh dari bus biasa, fleksibel yang dapat digunakan untuk pariwisata, perjalanan liburan atau perjalanan antar-kota. Di Indonesia bus jenis ini dikenal dengan sebutan Bus Antar Kota.

- Bus tingkat



Gambar 2.19 Bus *Double-Decker* Werkudara Solo

Sumber: (<http://www.surakarta.go.id/konten/bus-tingkat-werkudara>)

Dirancang dengan dua lantai agar dapat memuat lebih banyak penumpang. Dikenal sebagai bagian dari transportasi publik di Jakarta dan juga di beberapa kota besar lain seperti London, Bombay, Hong Kong, Singapura, Dublin, Berlin, Davis, California, dan Victoria, British Columbia.

- Bus Sekolah



Gambar 2.20 Bus sekolah di Jakarta

Sumber: (<http://kanalsatu.com/id/post/23620/kota-malang-segera-operasikan-bis-sekolah-gratis>)

Digunakan untuk mengangkut anak-anak sekolah antara rumah mereka ke sekolah apabila tempat tinggal mereka terlalu jauh untuk ditempuh dengan berjalan kaki. Di Amerika Serikat bus sekolah biasanya memiliki warna khusus yaitu kuning dan dilengkapi dengan lampu peringatan lalu lintas serta perlengkapan pengaman lainnya yang digunakan ketika para penumpang naik atau turun dari bus. Bus sekolah biasanya dioperasikan oleh distrik sekolah atau oleh penyedia jasa bus sekolah yang dikontrak. *First Student* memperkenalkan bus-bus kuning di Britania Raya. Namun kebanyakan pelayanan bus sekolah dilakukan dengan menggunakan bus-bus biasa. Di negara-negara lain, bus sekolah tidak selalu berwarna kuning. Buenos Aires, dan kemungkinan juga bus-bus sekolah lainnya di Argentina diberi warna oranye dan ditulisi "*escolares*." Di Jakarta pernah dicoba diperkenalkan bus sekolah oleh pemerintah Jakarta, namun proyek ini tidak berhasil karena seringkali penumpang yang bukan murid sekolah juga ikut menggunakannya.

Beberapa sekolah swasta di beberapa tempat di Indonesia memberikan pelayanan bus sekolah bagi siswa-siswanya.

#### 2.14.2 Perkembangan Bus



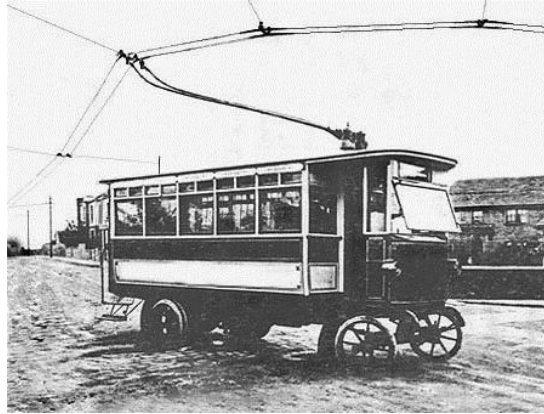
Gambar 2.21 *Omnibus* dengan penggerak kuda  
Sumber: (<http://nightraintodetroit.com/2013/12/09/beep-beep-bus-tours-are-back/>)

Bus pertama kali ditarik kuda dimana pada saat itu dibutuhkannya transportasi massal pada tahun 1824. Istilah *omnibus* dalam bahasa latin yang berarti kereta untuk semua. Setelah itu kuda pada bus digantikan dengan motor uap sebagai penggeraknya sehingga pada saat itu bus yang bermotor disebut *steambus*.



Gambar 2.22 *Steam Omnibus*  
Sumber: (<http://www.bus-and-coach-photos.com/picture/number3469.asp>)

Gambar 2.22 merupakan motor uap yang dioperasikan pada tahun 1830-an dan lebih populer karena lebih cepat daripada penggerak kuda.



Gambar 2.23 *Trolley Bus*

Sumber: (<http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/2378968>)

Selanjutnya perkembangan bus terus meningkat berkat gagasan Sir William dan Ernst Werner atau disebut Siemens Brother mengajukan sebuah gagasan bus listrik dengan tiang-tiangnya sebagai penyalur tenaga listriknya gambar 2.23. Dipublikasikan ke masyarakat pada tahun 1882 hingga tahun 1904. Bus tenaga listrik ini disebut *TrolleyBus*.



Gambar 2.24 LGOC B-type Bus

Sumber:

(<https://www.flickr.com/photos/richard64pics/15033214570>)

Pada tahun 1898, Perusahaan Daimler menghasilkan model *MotorBus* dan menjual bus model *double-decker* untuk *Motor Traction Company*. Dengan atap terbuka, bus ini dapat melaju 18 kilometer per jam dengan kapasitas 20 orang seperti pada gambar 2.24. Hal inilah yang mendasari perusahaan Daimler terus mengembangkan dan memperluas

produksi hingga London, Stockholm, Speyer. Dan pada tahun 1902 perusahaan Daimler menandatangani dengan *British Milnes Company* dalam gagasan bus *double-decker* LGOC-B type yang dirancang oleh Frank Searle. Sejak tahun 1950 hingga abad ke -20, desain bus terus meningkat dengan adanya aluminium ringan, suspensi depan *independen*, *power steering*, *power-hydraulic brake*, dan *gearbox automatic*.