

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

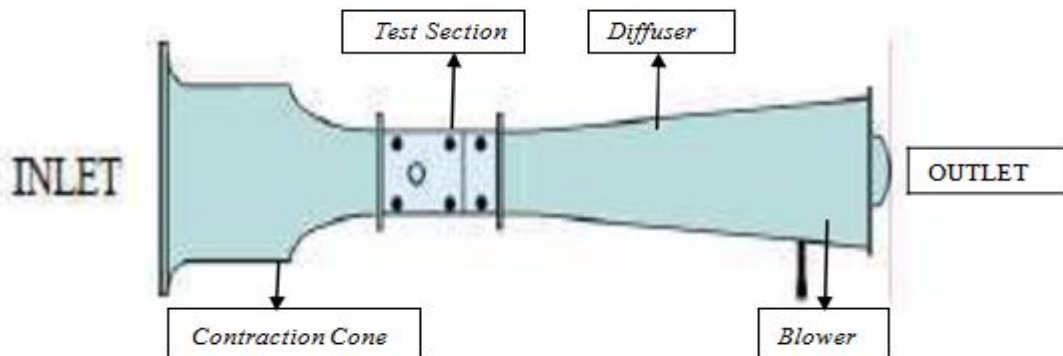
#### 2.1. Pengertian *Wind Tunnel*

Menurut Riyadi (2010) *wind tunnel* atau terowongan angin adalah suatu alat percobaan yang dikembangkan untuk pembelajaran mengenai pengaruh aliran udara disekeliling benda padat. Ada dua jenis terowongan angin, yaitu terowongan angin sistem terbuka dan sistem tertutup. Pada terowongan angin sistem terbuka, udara yang dihisap akan kembali dilepas ke lingkungan secara langsung, dan terowongan angin jenis ini umumnya hanya digunakan untuk percobaan dan ukurannya relatif kecil. Sedang untuk sistem tertutup biasanya berukuran besar dan dipakai dalam berbagai perancangan. Pada sistem ini udara yang dihisap akan disirkulasikan kembali secara terus menerus dengan atau tanpa terjadi pencampuran dengan udara luar. Pemilihan jenis terowongan angin yang digunakan bergantung pada tujuan pemakaian dan juga besar dana yang tersedia. Masing – masing jenis tersebut memiliki beberapa keuntungan dan kerugian.

##### A. Terowongan angin sistem terbuka

Tabel 2.1 Keuntungan dan Kerugian Terowongan Angin Sistem Terbuka [9]

<b>Keuntungan</b>	<b>Kerugian</b>
Biaya konstruksi lebih rendah	Perlu dilakukan proses <i>screening</i> yang besar untuk mendapatkan aliran udara yang baik
Jika dilakukan visualisasi aliran dengan menggunakan asap, maka pembersihannya akan mudah karena udara yang dialirkan dilepas kembali ke lingkungan	Untuk laju pemakaian yang tinggi, maka jumlah energi yang diperlukan lebih besar
Tidak memerlukan tempat yang luas	Tingkat kebisingan tinggi

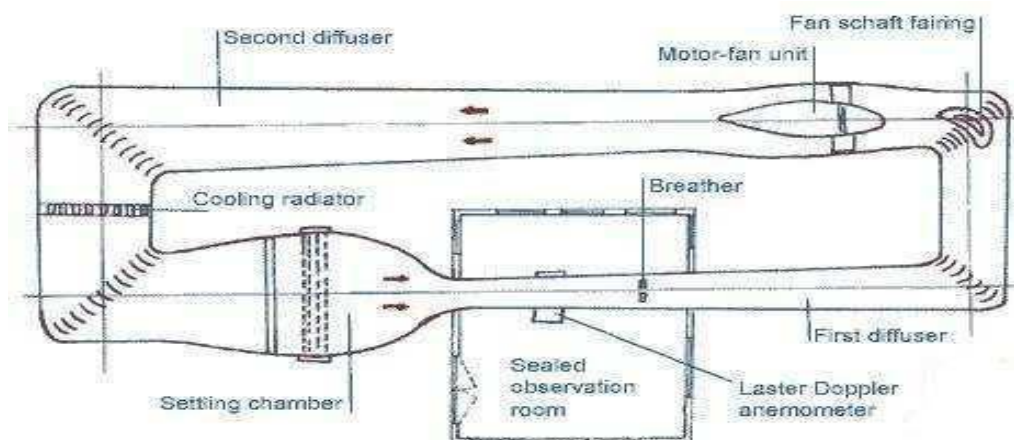


Gambar 2. 1 . Terowongan angin sistem terbuka [6]

### B. Terowongan angin sistem tertutup

Tabel 2.2 Keuntungan dan Kerugian Terowongan Angin Sistem Tertutup [9]

Keuntungan	Kerugian
Kualitas aliran dapat dikendalikan dengan baik dan tidak dipengaruhi oleh kondisi udara sekitar.	Biaya awal yang diperlukan lebih besar
Pada laju pemakaian yang tinggi, jumlah energi yang dibutuhkan lebih kecil	Jika dilakukan visualisasi aliran dengan menggunakan asap, maka perlu dilakukan pembersihan terowongan
Tingkat kebisingannya lebih rendah	Diperlukan alat penukar udara pada laju penggunaan yang tinggi



Gambar 2. 2 Terowongan angin sistem tertutup [6]

## 2.2. Klasifikasi Wind Tunnel

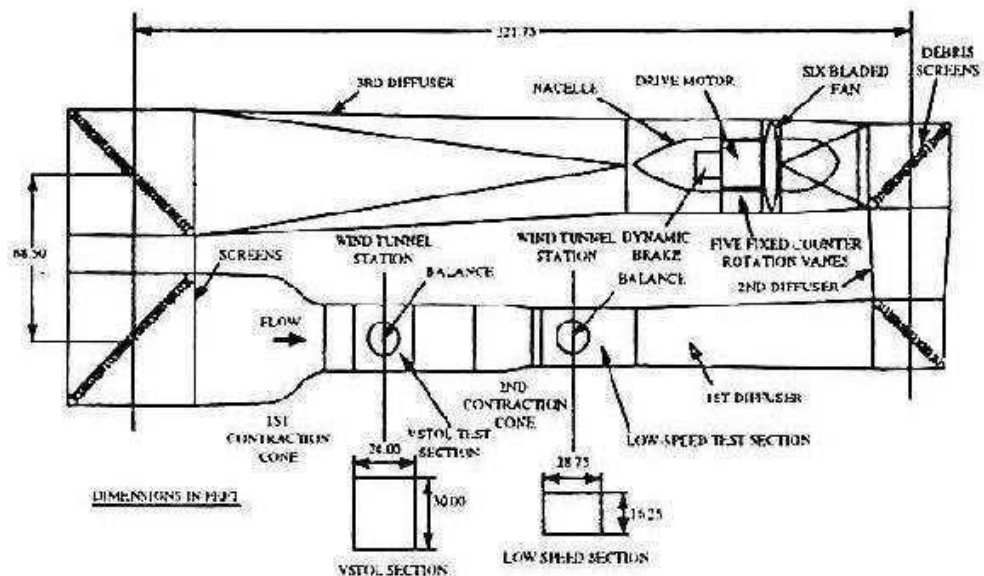
Berdasarkan kegunaannya terowongan angin dapat dibagi menjadi beberapa macam diantaranya:

### 1. Terowongan Angin *Aeronautical*

Terowongan angin jenis ini dirancang dan digunakan untuk tujuan penerbangan, yang memiliki kecepatan tinggi ataupun kecepatan sonic. Terowongan angin jenis ini dapat dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut.

#### a. Terowongan Angin *V/STOL*

Jenis ini memerlukan *test section* dengan ukuran yang jauh lebih besar dibandingkan terowongan lain dengan ukuran model yang sama, hal ini dikarenakan terowongan ini digunakan untuk pengujian pesawat terbang yang sedang mendarat (*landing*) atau mulai terbang (*take off*)

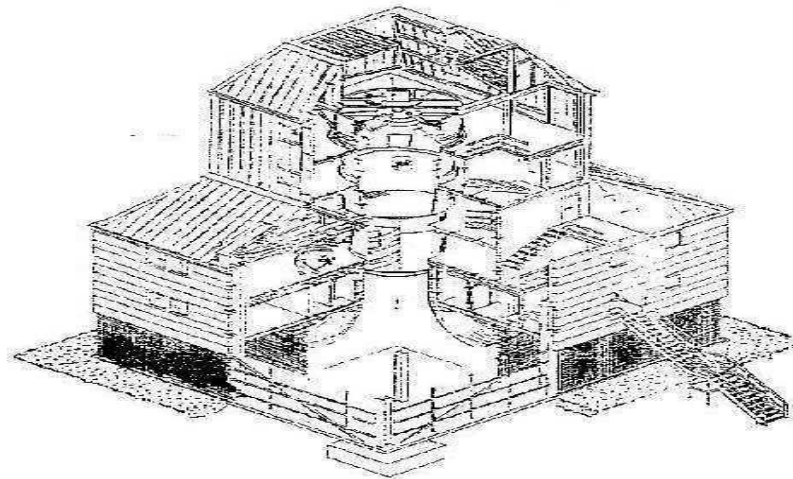


Gambar 2. 3 Terowongan angin jenis *V/STOL* [6]

#### b. Terowongan angin *vertical*

Terowongan ini berupa terowongan angin vertikal dimana baling-baling terletak di bagian atas dan udara dihisap ke atas. Dalam pengujiannya, kecepatan udara diatur sehingga

model dapat tertahan pada ketinggian konstan. Terowongan ini dilengkapi dengan 6 komponen penyeimbang *rotary* yang dapat mengukur semua gaya yang dapat mengakibatkan helikopter berputar.



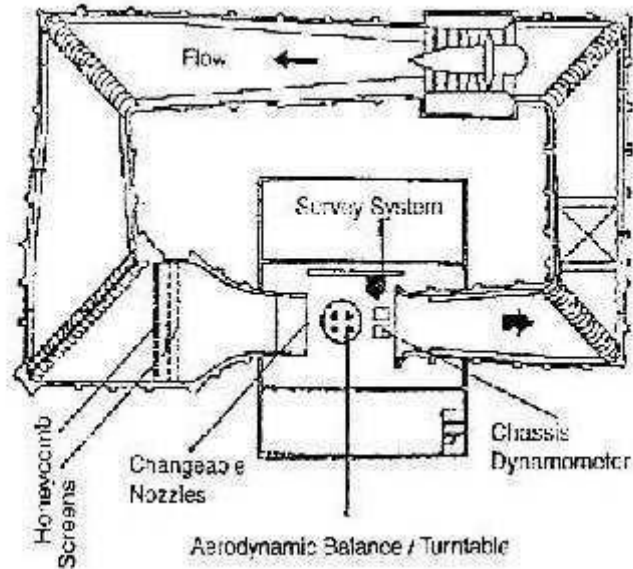
Gambar 2. 4 Terowongan angin *Vertical* [6]

## 2. Terowongan asap

Terowongan ini terutama digunakan untuk visualisasi gambar aliran. Umumnya dipakai pada terowongan angin sistem terbuka. Untuk pengambilan data, terowongan ini dilengkapi dengan kamera yang digunakan untuk memotret dan merekam bentuk aliran yang terjadi dalam *test section*.

## 3. Terowongan angin *automobile*

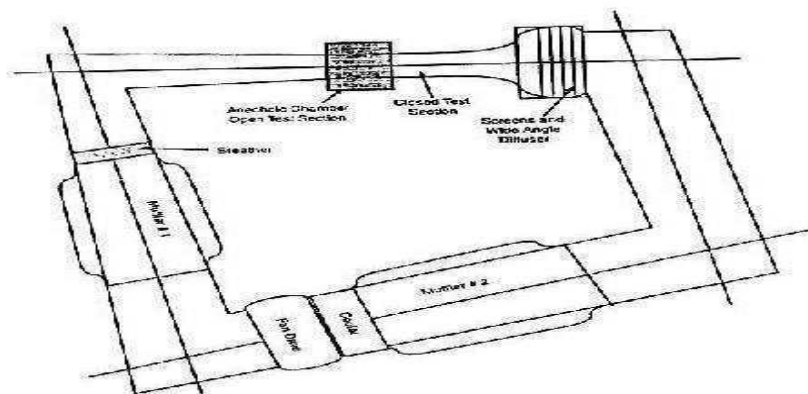
Terowongan ini berfungsi untuk menganalisa parameter-parameter aerodinamika yang berpengaruh terhadap *performance* kendaraan, pengendalian (*handling*), pendinginan mesin, pendinginan rem dan kebisingan angin yang ditimbulkan. Pengujian dilakukan baik dengan model berskala, maupun mobil yang sesungguhnya. Skala yang digunakan adalah 0,25-0,4 dengan bilangan Reynold yang sebenarnya.



Gambar 2. 5 Terowongan angin *Automobile* [6]

#### 4. Terowongan angin *Aerocoustic*

Terowongan ini digunakan untuk mempelajari aliran yang terbentuk akibat adanya kebisingan yang ditimbulkan oleh kapal, kapal selam dan kendaraan laut yang lainnya. Terowongan ini merupakan terowongan angin sistem tertutup.



Gambar 2. 6 Terowongan angin *Aerocoustic* [6]

#### 5. Terowongan Air

Secara umum prinsip dasar dari terowongan ini sama dengan terowongan angin. Bedanya pada terowongan air dilengkapi sistem

tambahan untuk mengamati fenomena kavitasi, yang tidak dapat dilakukan di terowongan angin. Terowongan air ini biasanya digunakan untuk pembelajaran visualisasi aliran air.

#### 6. *General-Purpose Wind tunnel*

Terowongan ini digunakan untuk mempelajari hal-hal umum, bentuk dan prinsip kerjanya hampir sama dengan terowongan angin yang digunakan untuk pengujian pesawat terbang. Terowongan ini biasanya digunakan untuk pengujian

##### a. Manusia

Untuk mempelajari besar gaya hambat (*drag*) yang dialami pembalap sepeda dan pemain ski. Hal ini dipelajari untuk menentukan posisi terbaik bagi mereka sehingga dapat meminimalisir gaya hambat yang mereka alami.

##### b. Burung dan serangga

Terowongan ini digunakan untuk mempelajari teknik terbang dari burung dan serangga, yang berguna untuk perancangan bentuk sayap.

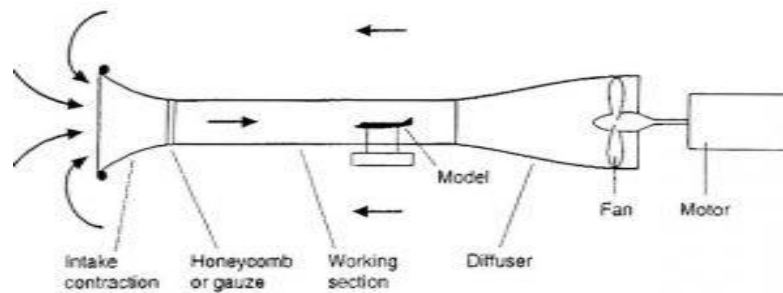
##### c. Jembatan

Angin sangat berpengaruh terhadap ukuran panjang dan pendeknya suatu jembatan. Untuk itu ada dua macam angin yang harus dipelajari, yaitu:

1. *Vortex shedding*, yang mengakibatkan pergerakan vertikal yang terbatas atau osilasi torsional pada kecepatan angin yang rendah.
2. *Flutter instability*, yang mengakibatkan pergerakan vertikal maupun osilasi torsional.

### 2.3. Bagian-Bagian *Wind Tunnel*

Bagian-bagian utama dari terowongan angin (*wind tunnel*) adalah sebagai berikut.



Gambar 2. 7 Bagian - bagian *Wind tunnel* [8]

1. *Intake*: Bagian ini adalah bagian masuknya udara luar menuju *test section* yang berfungsi untuk “mengatur” aliran udara agar tidak terjadi perubahan kecepatan yang mendadak. Pada bagian ini juga biasanya terdapat *honey comb* yaitu semacam *screen* berbentuk jaring-jaring dengan pola sarang lebah (*honey comb*) yang berfungsi untuk meluruskan aliran udara masuk, hal ini sangat mempengaruhi hasil pengukuran model dan sangat mempengaruhi hasil visualisasi aliran.
2. *Working section*: Bagian ini berfungsi untuk meletakkan model yang akan diuji sehingga biasanya tembus pandang. Pada bagian ini juga terdapat alat ukur *lift*, *drag*, *moment* dan lain-lain. Udara yang melalui *working section* harus se-“halus” mungkin atau se-homogen mungkin. Tingkat kehalusan aliran ini dapat dicapai dengan desain *intake* dan *diffuser* yang baik dan peran *honey comb* dominan disini.
3. *Diffuser*: Berfungsi untuk memperlambat aliran secara teratur dari *test section* menuju *fan*. Aliran masuk menuju *fan* haruslah serendah mungkin untuk memaksimalkan efisiensi *fan*. Perubahan kecepatan yang mendadak dari *test section* menuju *fan* dapat membuat aliran pada *test section* menjadi tidak bersih serta mengurangi homogenitas dan hal ini juga membuat daya yang dikeluarkan *fan* lebih besar.

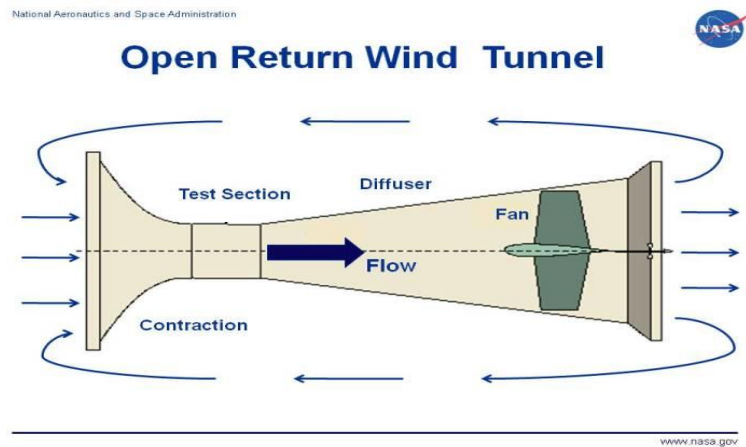
4. *Fan* dan Motor: Kedua bagian ini adalah sumber daya penggerak udara agar mengalir dari *intake* hingga ke *diffuser*. Terdapat dua jenis *wind tunnel* yaitu *open-cycle* dan *close-cycle*. Pada jenis *open-cycle fan* berfungsi untuk menghisap udara dari bagian belakang dan langsung dibuang ke lingkungan sekitar. sedangkan pada jenis *closed-cycle*, udara buangan *fan* “diputar” kembali masuk ke *intake*.

Berdasarkan kecepatannya, *wind tunnel* juga dibagi menjadi *low-speed wind tunnel*, *high-speed wind tunnel*, *sub-sonic* dan *transonic wind tunnel*, *supersonic wind tunnel* serta *hypersonic wind tunnel*

#### 2.4. Prinsip Kerja *Wind Tunnel*

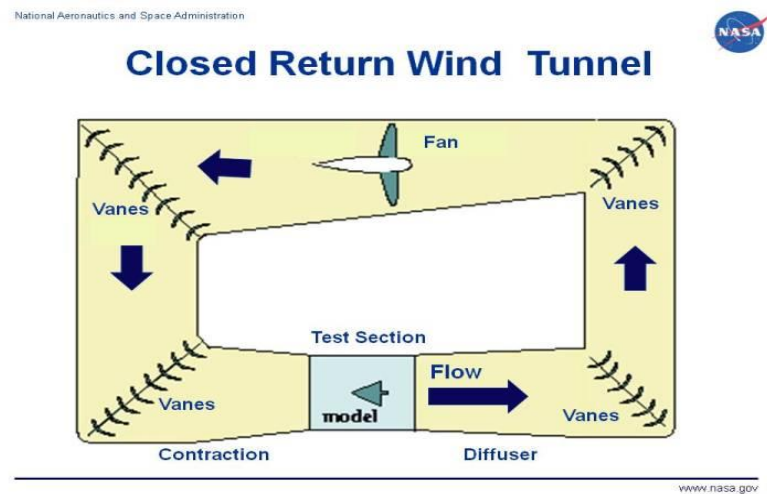
Menurut Haryanti (2019) prinsip kerja *wind tunnel* dilihat dari rangkaianannya ada dua jenis, yakni *wind tunnel* rangkaian terbuka dan rangkaian tertutup. Pada rangkaian terbuka motor penggerak menghasilkan energy mekanik dalam bentuk putaran poros. *Fan* terhubung dengan poros penggerak, dan ketika poros penggerak berputar maka *fan* ikut berputar. Putaran udara menyebabkan aliran udara dengan kecepatan tertentu. Aliran udara yang dihasilkan *fan* belum laminar. Kemudian aliran udara tersebut masuk dalam sisi *inlet wind tunnel*. Setelah aliran udara masuk sisi *inlet wind tunnel*, aliran udara tersebut masuk kedalam tiap lubang *honeycomb*. Setelah melalui *honeycomb* aliran udara menjadi laminar. Kemudian aliran tersebut masuk kedalam *diffuser*, dan setelah melewati *diffuser* maka kecepatan aliran udara menurun. Setelah melewati *diffuser* maka aliran udara tersebut masuk kedalam *contraction*, dan setelah melewati *contraction* maka kecepatan aliran udara meningkat. Setelah melewati *contraction*, aliran udara masuk kedalam *test section*, dan setelah melewati *test section* aliran udara terbuang keluar lingkungan.





Gambar 2. 8 Skema *Open Circuit Wind tunnel* [5]

Pada *wind tunnel* rangkaian tertutup, motor penggerak menghasilkan energi mekanik dalam bentuk putaran poros. *Fan* terhubung dengan poros motor penggerak, dan ketika poros penggerak berputar maka *fan* ikut berputar. Putaran *fan* menyebabkan aliran udara dengan kecepatan tertentu. Kemudian aliran udara tersebut belok dan diarahkan oleh sudu pengarah (*vane*), lalu setelah beberapa jarak melewati terowongan, aliran udara tersebut kembali belok dan diarahkan oleh sudu pengarah. Kemudian aliran udara tersebut masuk ke dalam *contraction*, dan setelah melewati *contraction* maka kecepatan aliran udara akan meningkat. Setelah melewati *contraction*, aliran udara tersebut masuk ke dalam ruang *test section*. Setelah melalui ruang *test section*, aliran udara tersebut masuk ke dalam *diffuser*, dan setelah melewati *diffuser* maka kecepatan aliran udara akan turun. Setelah melewati *diffuser*, aliran udara tersebut belok dan diarahkan oleh sudu pengarah, lalu setelah beberapa jarak melewati terowongan, aliran udara tersebut kembali belok dan diarahkan oleh sudu pengarah, dan aliran udara tersebut tidak terbuang keluar, melainkan dihisap kembali oleh *fan*.



Gambar 2. 9 Skema *Closed Circuit Wind tunnel* [5]

## 2.5. Aliran Fluida

Fluida adalah zat yang berubah bentuk secara kontinu (terus menerus) bila terkena tegangan geser, berapapun kecilnya tegangan geser itu. Gaya geser adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan, dan gaya ini yang dibagi oleh luas permukaan tersebut adalah tegangan geser rata-rata permukaan tersebut. Berdasarkan wujudnya, fluida dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

- Fluida gas, merupakan fluida dengan partikel yang renggang dimana gaya tarik antara molekul sejenis relatif lemah dan sangat ringan sehingga dapat melayang dengan bebas serta volumenya tidak menentu.
- Fluida cair, merupakan fluida dengan partikel yang rapat dimana gaya tarik antara molekul sejenisnya sangat kuat dan mempunyai permukaan bebas serta cenderung untuk mempertahankan volumenya.

Salah satu cara untuk menjelaskan gerak suatu fluida adalah dengan membagi-bagi fluida tersebut menjadi elemen volume yang sangat kecil yang dapat dinamakan partikel fluida dan mengikuti gerak masing-masing partikel ini. Kecepatan aliran didalam tabung aliran adalah sejajar dengan tabung dan mempunyai besar berbanding terbalik dengan luas penampangnya. Selama perubahan bentuk tersebut, terdapat tegangan geser (*shear stress*), yang besarnya bergantung pada viskositas fluida dan laju alir

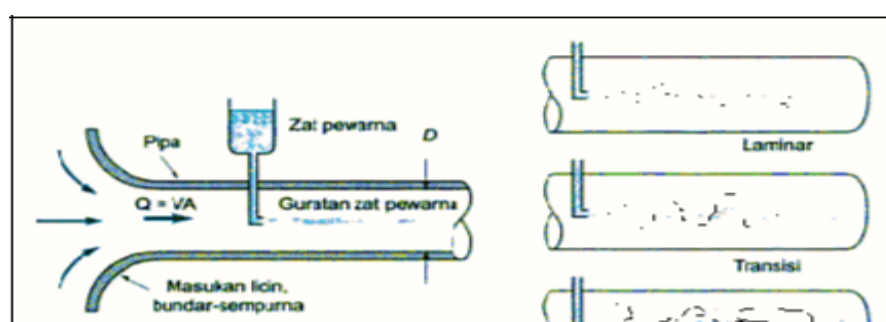
fluida relatif terhadap arah tertentu. Bila fluida telah mendapatkan bentuk akhirnya, semua tegangan geser tersebut akan hilang sehingga fluida berada dalam keadaan kesetimbangan. Pada temperatur dan tekanan tertentu, setiap fluida mempunyai densitas tertentu. Jika densitas hanya sedikit terpengaruh oleh perubahan yang suhu dan tekanan yang relatif besar, fluida tersebut bersifat *incompressible*. Tetapi jika densitasnya peka terhadap perubahan variabel temperatur dan tekanan, fluida tersebut digolongkan *compressible*. Zat cair biasanya dianggap zat yang *incompressible*, sedangkan gas umumnya dikenal sebagai zat yang *compressible*.

## 2.6. Karakteristik Aliran Fluida

Fluida yang bergerak dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori. Apakah alirannya *steady* atau tak *steady*, apakah fluidanya *kompresibel* (dapat mampat) atau *inkompresibel* (tak dapat mampat), apakah fluidanya viskos atau non-viskos, atau apakah aliran fluidanya laminar atau turbulen. Jika fluidanya *steady*, kecepatan partikel fluida pada setiap titik tetap terhadap waktu. Fluida pada berbagai bagian dapat mengalir dengan laju atau kecepatan yang berbeda, tetapi fluida pada satu lokasi selalu mengalir dengan laju atau kecepatan yang tetap.

Fluida *inkompresibel* adalah suatu fluida yang tak dapat dimampatkan. Sebagian besar cairan dapat dikatakan sebagai *inkompresibel*. Dengan mudah anda dapat mengatakan bahwa fluida gas adalah fluida kompresibel, karena dapat dimampatkan. Sedangkan fluida viskos adalah fluida yang tidak mengalir dengan mudah, seperti madu dan aspal. Sementara itu, fluida tak-viskos adalah fluida yang mengalir dengan mudah, seperti air.

Aliran fluida dalam sebuah pipa mungkin merupakan aliran laminar atau turbulen. Osborne Reunolds (1842-1912), ilmuwan dan ahli matematika Inggris, adalah orang yang pertama kali membedakan dua aliran tersebut seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2. 9 Eksperimen untuk mengilustrasikan jenis aliran [2]

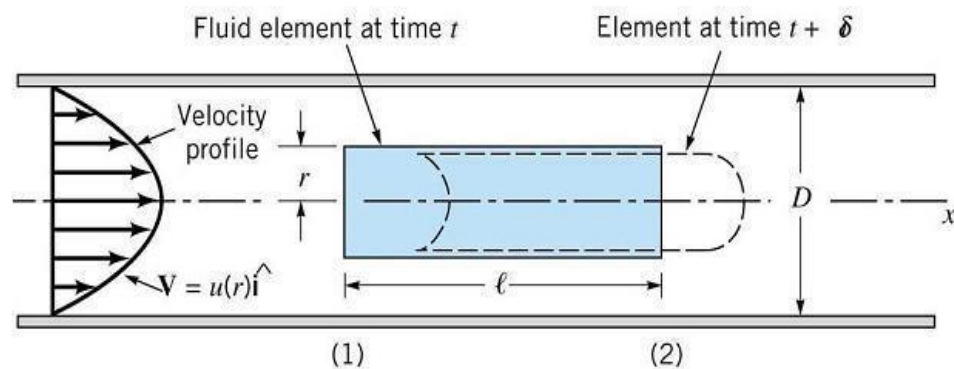
Jika air mengalir melalui sebuah pipa berdiameter  $D$  dengan kecepatan rata-rata  $V$ , sifat-sifat berikut ini dapat diamati dengan menginjeksikan zat pewarna yang mengambang seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas. Untuk “laju aliran yang cukup kecil” guratan zat pewarna akan berupa garis yang terlihat jelas selama mengalir, dengan hanya sedikit saja menjadi kabur karena difusi molekuler dari zat pewarna ke air disekelilingnya. Untuk suatu “laju aliran sedang” yang lebih besar guratan zat pewarna berfluktuasi menurut waktu dan ruang, dan olakan putus-putus dengan perilaku tak beraturan muncul disepanjang guratan. Sementara itu, untuk “laju aliran yang cukup besar” guratan zat pewarna dengan sangat segera menjadi kanir dan menyebar diseluruh pipa dengan pola yang acak. Ketiga karakteristik ini disebut sebagai aliran laminar, transisi, dan turbulen.

### 2.6.1. Aliran Laminar

Jika aliran dari seluruh partikel fluida bergerak sepanjang garis yang sejajar dengah arah aliran (atau sejajar dengan garis tengah pipa, jika fluida mengalir di dalam pipa), fluida yang seperti ini dikatakan laminar. Fluida laminar kadang-kadang disebut dengan fluida *viskos* atau fluida garis alir (*streamline*). Kata laminar berasal dari bahasa latin laminar, yang berarti lapisan atau plat tipis. Sehingga, aliran laminar berarti aliran yang berlapis-lapis.

Profil kecepatan aliran laminar dalam pipa dianalisa dengan mempertimbangkan elemen fluida pada waktu  $t$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Ini adalah silinder bundar fluida

dengan panjang  $l$  dan jari-jari  $r$  berpusat pada sumbu pipa horizontal dengan diameter  $D$ . Aliran diasumsikan berkembang penuh dan *steady*. Setiap bagian fluida hanya mengalir sepanjang garis jejak paralel terhadap dinding pipa dengan kecepatan konstan meskipun partikel tetangga memiliki kecepatan yang sedikit berbeda. Kecepatan bervariasi dari satu garis-jejak ke yang berikutnya dan ini dikombinasikan dengan viskositas fluida, sehingga menghasilkan tegangan geser.



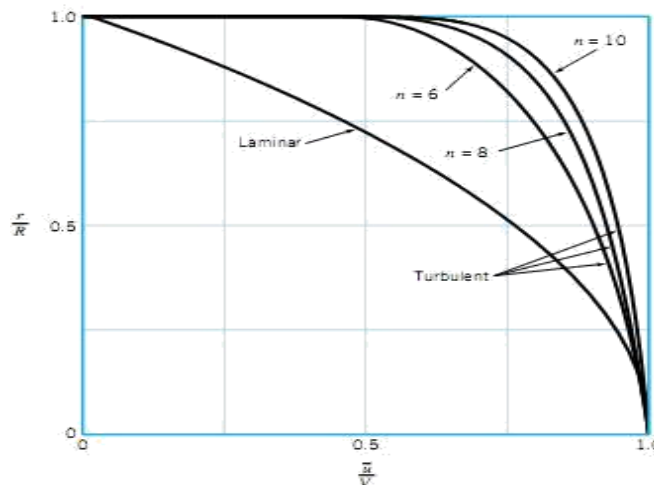
Gambar 2. 10 Gerakan sebuah elemen fluida dalam sebuah pipa silindris [2]

### 2.6.2. Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal tersebut garis alir antar partikel fluidanya saling berpotongan. Oleh Osborne Reynold digambarkan sebagai bentuk yang tidak stabil yang bercampur dalam waktu yang cepat yang selanjutnya memecah dan menjadi tak terlihat. Jika gerakan partikel fluida tidak lagi sejajar, mulai saling bersilang satu sama lain sehingga terbentuk pusaran di dalam fluida, aliran yang seperti ini disebut dengan aliran turbulen. Pengaruh kekentalan sangat besar sehingga dapat meredam gangguan yang dapat menyebabkan aliran menjadi turbulen.

Dengan berkurangnya kekentalan dan bertambahnya kecepatan aliran maka daya redam terhadap gangguan akan berkurang, yang sampai pada batas tertentu akan menyebabkan terjadinya perubahan aliran dari laminar menjadi turbulen

Dalam pernyataan ini, nilai  $n$  adalah fungsi dari bilangan Reynolds, dengan nilai-nilai tertentu antara  $n = 6$  dan  $n = 10$ . Karakteristik profil kecepatan turbulen yang didasarkan pada pernyataan *power-law* ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 11 Profil kecepatan aliran laminar dan turbulen [2]

**2.7. Rumus Perancangan Terowongan Udara Sirkuit Terbuka**

*1. Test section*

*Test section* merupakan bagian *wind tunnel* yang pertama kali dihitung. Dalam menentukan dimensi *test section* dicari nilai diameter hidrolik penampang itu sendiri. Diameter hidrolik diumpakan penampang yang bukan lingkaran menjadi seperti lingkaran. Dengan menggunakan sebagai berikut;

$$D_H = \frac{4A}{P} \dots\dots\dots(2.1, \text{Lit. 6})$$

- Dengan:
- A = luas penampang
  - P = keliling ruang
  - $D_H$  = Diameter hidrolik

$$L_{test\ section} = 1.5 \times D_H \dots\dots\dots(2.2, Lit. 6)$$

Dengan:  $L_{test\ section} = \text{Panjang Test section}$

## 2. Intake

*Intake* merupakan bagian dari *wind tunnel* yang dihitung setelah adanya perhitungan dari *test section*. Dalam menentukan dimensi area *intake*, berada diantara rasio luas area penampang besar dan kecil dimensi 6 sampai 10 . Rasio yang disarankan untuk desain untuk skala kecil adalah 7, namun dapat disesuaikan dengan ukuran *test section*. Untuk mencari perbandingan luas penampang besar dan kecil dari *intake* dapat menggunakan rumus berikut;

$$A_d : A_K \dots\dots\dots(2.3, Lit. 6)$$

Dengan:  $A_d = \text{Luas daerah bagian depan intake}$

$A_K = \text{Luas daerah bagian belakang intake}$

Untuk menentukan panjang dari *contraction* dapat menggunakan rumus berikut;

$$\frac{L_{intake}}{y_0} \approx 1 \dots\dots\dots(2.4, Lit. 6)$$

## 3. Diffuser

Menentukan panjang *diffuser* dengan cara menentukan sudut yang terbentuk dari perbedaan luas penampang namun berada pada posisi garis tengah yang sama. Besar sudut yang terbentuk yang disarankan sebesar  $4^\circ$  agar panjang yang didapatkan ideal. Kemudian ratio dari *diffuser* berukuran  $\pm \frac{1}{2}$  ratio dari *intake*. Dengan menggunakan rumus sebagai berikut;

$$A_b : A_k \dots\dots\dots(2.5, Lit. 6)$$

Dengan:  $A_b = \text{Luas daerah bagian depan diffuser}$

$A_k = \text{Luas daerah bagian belakang diffuser}$

Menentukan panjang *diffuser* dengan cara menentukan sudut yang terbentuk dari perbedaan luas penampang namun berada pada posisi garis

tengah yang sama. Besar sudut yang terbentuk yang disarankan sebesar 4 derajat agar panjang yang didapatkan ideal.

#### 4. Massa Akrilik

Menentukan massa akrilik ini menggunakan persamaan atau rumus volume terlebih dahulu dari tiap lembar akrilik tersebut kemudian dikalikan dengan massa jenis akriliknya yang dilakukan sebagai berikut:

$$V = P \times L \times T \dots\dots\dots(2.6, \text{Lit. } 6)$$

Dengan: V = Volume

P = Panjang

L = Lebar

T = Tinggi

$$m = \rho \times V \dots\dots\dots(2.7, \text{Lit. } 6)$$

Dengan: m = massa

$\rho$  = massa jenis akrilik

V = Volume

## 2.8. Perawatan

Menurut Sofyan (2008) dalam Firmansyah (2019) Perawatan adalah suatu kegiatan yang tujuan untuk menjaga peralatan/mesin agar dapat berfungsi seperti yang direncanakan. Adapun cara menjaga alat adalah dengan merawat alat tersebut secara kontinu atau secara periodik yang teratur, sesuai waktu yang dijadwalkan.

### 2.8.1. Jenis Perawatan

Pada umumnya kegiatan perawatan dibagi menjadi dua yaitu perawatan terencana (*planned maintenance*) dan perawatan tidak terencana (*unplanned maintenance*). Perawatan terencana merupakan kegiatan perawatan yang pada dasarnya memiliki perencanaan dalam hal ini perawatan yang dilakukan dengan pertimbangan untuk jangka panjang, terkontrol dan tercatat. Sedangkan perawatan tidak terencana merupakan kegiatan perawatan yang dilaksanakan secara tiba-tiba atau tanpa diduga sebelumnya



### 2.8.2. Perawatan Terencana (*Planned Maintenance*)

*Planned Maintenance* (perawatan Terencana) adalah perawatan yang diorganisasi dan dilakukan dengan pemikiran ke masa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya. Perawatan terencana (*planned maintenance*) terdiri dari 3 macam yaitu sebagai berikut.

#### 1. Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

*Preventive maintenance* adalah perawatan yang dilakukan pada selang waktu yang diuraikan dan dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan bagian-bagian lain tidak memenuhi kondisi yang bisa diterima. Ruang lingkup pekerjaan *preventive* termasuk inspeksi, perbaikan kecil, pelumasan dan penyetelan, sehingga peralatan atau mesin-mesin selama beroperasi terhindar dari kerusakan. Secara umum tujuan dari *preventive maintenance* adalah sebagai berikut.

- a. Meminimumkan *downtime* serta meningkatkan efektifitas mesin/peralatan dan menjaga agar mesin dapat berfungsi tanpa ada gangguan.
- b. Meningkatkan efisiensi dan untuk ekonomis mesin/peralatan.

#### 2. *Corrective Maintenance*

*Corrective maintenance* (perawatan perbaikan) adalah perawatan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian termasuk penyetelan dan reparasi yang telah terhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima. Dalam perbaikan dapat dilakukan peningkatan-peningkatan sedemikian rupa, seperti melakukan perubahan atau modifikasi rancangan agar peralatan menjadi lebih baik. Perawatan ini bertujuan untuk mengubah mesin sehingga operator yang menggunakan mesin tersebut menjadi lebih

mudah dan dapat memperkecil kerusakan mesin.

### 3. Perawatan Perbaikan (*Predictive Maintenance*)

*Predictive maintenance* adalah perawatan pencegahan yang diarahkan untuk mencegah kegagalan (*failure*) suatu sarana, dan dilaksanakan dengan memeriksa mesin-mesin tersebut pada selang waktu yang teratur dan ditentukan sebelumnya, pelaksanaan tingkat reparasi selanjutnya tergantung pada apa yang ditemukan selama pemeriksaan. Bentuk perawatan terencana yang paling maju ini disebut perawatan *predictive*, dan merupakan teknik penggantian komponen pada waktu yang sudah ditentukan sebelum terjadi kerusakan, baik berupa kerusakan total ataupun titik dimana pengurangan mutu telah menyebabkan mesin bekerja dibawah standar yang ditetapkan oleh pemakaian. Bagaimanapun baiknya suatu mesin dirancang, tidak bisa dihindari lagi pasti terjadi sejumlah keausan dan memburuknya kualitas mesin. Sesudah mengoptimumkan desain untuk mesin dengan metode perancangan pengurangan perawatan, tetap saja kita masih mengetahui bahwa bagian-bagian mesin akan aus, berkurang kualitasnya dan akhirnya rusak dengan tingkat yang dapat diramalkan jika dipakai pada kondisi penggunaan normal konstan.

#### 2.8.3. Perawatan Tak Terencana (*Unplanned Maintenance*)

Pada *unplanned maintenance* hanya ada satu jenis perawatan yang dapat dilakukan yaitu *emergency maintenance*. *Emergency maintenance* adalah perawatan yang dilakukan seketika mesin mengalami kerusakan yang tidak terdeteksi sebelumnya. *Emergency maintenance* dilakukan untuk mencegah akibat serius yang akan terjadi jika tidak dilakukan penanganan segera. Adanya berbagai jenis perawatan di atas diharapkan dapat menjadi *alternative* untuk melakukan pemeliharaan sesuai dengan kondisi

yang dialami di perusahaan. Sebaiknya perawatan yang baik adalah perawatan yang tidak mengganggu jadwal produksi atau dijadwalkan sebelum kerusakan mesin terjadi sehingga tidak mengganggu produktivitas mesin.

Adanya berbagai jenis perawatan diatas diharapkan dapat menjadi alternatif untuk melakukan perawatan sesuai dengan kondisi yang dialami di perusahaan. Sebaiknya perawatan yang baik adalah perawatan yang tidak mengganggu jadwal produksi atau dijadwalkan sebelum kerusakan mesin terjadi sehingga tidak mengganggu produktivitas mesin.

#### **2.8.4. Tujuan Perawatan**

Definisi Tujuan Perawatan, adalah sebagai berikut.

1. Memperpanjang usia kegunaan *asset* yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan serta isinya.
2. Untuk menjamin kesiapan operasional dari keseluruhan peralatan/mesin.
3. Untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan peralatan itu.

#### **2.8.5. Aktivitas Perawatan**

Aktivitas-aktivitas utama dalam perawatan dan perbaikan adalah sebagai berikut.

1. Perencanaan dan Penjadwalan

Hal ini mengenai tentang apa yang dipelihara, bagaimana memelihara dan kapan dipelihara, sehingga seluruh kegiatannya berjalan dengan lancar.

2. Pembersihan

Pembersihan bagian-bagian mesin dan perlengkapan adalah salah satu kegiatan pemeliharaan yang terpenting dan suatu tugas yang harus dikerjakan oleh operator. Kegiatan pembersihan sebaiknya dilakukan sebelum dan sesudah melakukan kegiatan, baik pada saat operasi maupun pada

saat melakukan perawatan.

### 3. Pelumasan

Pelumasan harus dianggap sama pentingnya seperti pemeliharaan *preventive* misalnya ketidaktepatan pelumasan, tingkat pelumasan. Penyebab utama kegagalan mesin-mesin adalah terlalu sedikit pelumasan atau tidak ada pelumasan.

### 4. Inspeksi

Dalam inspeksi ada dua macam tes yaitu tes ketelitian dan penampilan. Tes ketelitian merupakan keperluan utama untuk alat-alat mesin dan dilaksanakan pada saat sebelum atau sesudah pemakaian. Sedangkan tes penampilan adalah penilaian terhadap sebuah komponen mesin secara keseluruhan.

### 5. *Check up*

Aktivitas ini meliputi seluruh ukuran-ukuran pemeliharaan *preventive* lainnya seperti *check up* yang teratur, pemeriksaan dan perbaikan yang sebelumnya direncanakan. Aktivitas ini termasuk juga pengontrolan, dimana meliputi jadwal-jadwal waktu perawatan, pekerjaan perawatan dan perbaikan, dan ketelitian.

## **2.8.6. Hal-Hal Penting Dalam Perawatan**

Ada beberapa hal penting yang harus diperhatikan dalam perawatan, antara lain.

1. Aktivitas perawatan merupakan suatu hal yang penting dan harus dilakukan dengan sebaik-baiknya. Maka dalam melaksanakan aktivitas perawatan perlu diperhatikan petunjuk dan pengalaman, serta jadwal yang telah ditentukan.

2. Perlu diperhatikan pula pada proses perawatan, hendaknya biaya ditetapkan serendah-rendahnya, tanpa mengurangi arti dari perawatan itu sendiri.
3. Untuk kelancaran aktivitas perawatan diperlukan adanya organisasi, perencanaan, penjadwalan dan pengendalian biaya sebaik-baiknya.
4. Kerja sama yang baik antara pemakai mesin dengan bagian perawatan, sehingga proses perawatan dapat berjalan dengan lancar dan dapat mencapai target dan sasarannya.
5. Perawatan alat/mesin sifatnya adalah kontinyu dan harus dapat terbaca tentang riwayat yang menyangkut perawatannya.
6. Untuk menghindari hal-hal yang dapat menimbulkan kesalahan atau kerugian perlu ditegaskan bahwa pemakai mesin tidak diperbolehkan melakukan perbaikan, penyetelan dan penggantian sendiri, tanpa sepengetahuan bagian perawatan. Kualitas perawatan alat/mesin dapat dicapai apabila fasilitas perawatan cukup memadai.

## **2.9. Produksi**

Produksi adalah suatu aktivitas yang dilakukan untuk mengubah input menjadi output atau dapat dipahami dengan kegiatan untuk menambah nilai pada suatu barang atau jasa dengan melibatkan faktor produksi sebagai inputnya. Kegiatan ini merupakan mata rantai dari kegiatan ekonomi sehingga sangatlah penting bagi kelangsungan hidup masyarakat dan sebaiknya tetap dijalankan dengan baik oleh pihak swasta maupun pemerintah. Hubungan antara jumlah input dengan outputnya dalam kurun waktu tertentu disebut faktor produksi. Dalam teori ini terdapat penjelasan tentang *producer behavior* atau perilaku produsen yang memaksimalkan keuntungan hasil produksi namun dengan penggunaan kombinasi antara faktor produksi dengan fungsi produksi yang seefektif mungkin.

### 2.9.1. Pengertian Produksi

Produksi adalah salah satu aktivitas ekonomi yang menghasilkan hasil akhir atau output dari suatu proses yang membutuhkan beberapa masukan atau input. Sehingga kegiatan produksi merupakan kombinasi antara beberapa masukan atau input yang bisa disebut faktor-faktor produksi yang akan menghasilkan keluaran atau output agar nilai guna barang atau jasa tersebut bertambah.

### 2.9.2. Faktor Produksi

Dalam suatu proses produksi dibutuhkan input yang berupa faktor-faktor produksi yaitu alat atau sarana agar kegiatan berjalan dengan lancar. Sehingga, jika faktor produksi tidak ada, maka proses produksi juga tidak akan berlangsung. Faktor-faktor produksi antara lain adalah *Capital* atau modal, *Labour* atau tenaga kerja, *Skill* atau keahlian atau kemampuan, dan *Land* atau tanah.

*Capital* atau modal yang sering terlintas dipikiran biasanya dalam bentuk uang. Namun, modal juga bisa berupa alat-alat seperti mesin untuk membuat barang atau jasa, ataupun juga dapat berupa bangunan atau gedung yang akan digunakan untuk kegiatan operasional usaha tersebut. *Labour* atau tenaga kerja dibutuhkan untuk menjalankan operasional alat-alat yang tersedia agar proses produksi berlangsung dengan semestinya, para tenaga kerja bekerja dengan menggunakan *skill* atau keahlian atau kemampuan yang dimilikinya. Sedangkan *Land* atau tanah merupakan lahan yang mengandung sumber daya alam atau bahan baku yang nantinya akan diolah dalam proses produksi.

### 2.9.3. Fungsi Produksi

Fungsi produksi merupakan suatu hubungan teknis yang menghubungkan faktor produksi atau input dengan hasil produksinya atau output. Hubungan antara input dan output pada proses produksi dapat dituliskan secara sistematis sebagai berikut.

$$Q = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \dots\dots\dots(2.8, \text{Lit. 1})$$

Dalam persamaan tersebut,  $Q$  mewakili *output* atau jumlah hasil produksi pada periode tertentu, dan  $X$  mewakili faktor-faktor produksi atau input dalam proses produksi tersebut.

#### 2.9.4. Teori Produksi

Dalam suatu proses produksi, terdapat proses produksi yang terjadi dalam kurun waktu tertentu yang terbagi menjadi dua yaitu:

##### 1. Produksi Dalam Jangka Pendek

Jangka pendek merupakan kurun waktu yang terjadi ketika salah satu atau lebih faktor produksi yang tidak bisa diubah atau tetap. Faktor-faktor yang tidak dapat diubah disebut juga *fixed input* atau masukan tetap. *Fixed input* dalam jangka waktu ini umumnya adalah *capital* atau modal. Modal bersifat tetap karena jumlahnya tetap dan tidak akan berpengaruh terhadap banyaknya hasil produksi. Sedangkan tenaga kerja bersifat variabel karena penggunaannya berubah sesuai dengan banyaknya hasil produksi. Misalnya saat produsen A ingin meningkatkan banyaknya hasil produksi perusahaannya dalam jangka pendek, maka yang bisa ia lakukan adalah menambah jumlah tenaganya. Ia tidak bisa menambah alat-alat seperti mesin, karena ini hanya dalam jangka pendek atau tidak akan selamanya.

##### 2. Produksi Dalam Jangka Panjang

Jangka Panjang suatu proses produksi tidak dapat diperkirakan akan berjalan 10 tahun, 25 tahun, atau bahkan sampai 50 tahun. Sehingga dalam kurun waktu ini semua faktor produksi yang digunakan bersifat variabel atau tidak ada faktor produksi tetap.

##### a. Garis Perluasan Produksi

Garis perluasan produksi merupakan isocline atau kurva yang menghubungkan titik-titik yang besar tingkat batas pengantiannya secara teknis sama yang

menunjukkan output yang dihasilkan jika harga produksi tetap. Jadi garis ini menunjukkan bagaimana faktor produksi (input) tersebut berubah jika besarnya biaya dari proses produksi (output) tidak berubah dan harga produksinya tetap.

Sehingga, jika ada produsen yang melakukan kegiatan produksinya dalam rangka untuk mencapai tujuan akhirnya yaitu memaksimalkan keuntungan yang di dapat maka ia harus mengkoordinasikan produksinya seefektif mungkin dengan menentukan beberapa keputusan yaitu menentukan berapa jumlah output yang harus ia produksi dan menentukan berapa jumlah dan kombinasi seperti apa input ini digunakan.

## 2.10. Dasar Mekanika Fluida

Disini diuraikan tentang sifat-sifat fluida yang mempengaruhi dinamika dari fluida. Sifat-sifat fluida diasumsikan pada keadaan *steady*, ada gesekan aliran dan alirannya *incompressible*.

### 1. Persamaan Kontinuitas (Reuben, 1993)

Prinsip dasarnya yaitu massa tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, dimana massa dalam suatu sistem yang konstan yang merupakan persamaan kontinuitas aliran dalam kondisi *steady*. Dan jika alirannya *incompressible* dan *steady flow*, maka persamaannya menjadi:

$$Q = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \dots \dots \dots (2.9, \text{Lit. 6})$$

### 2. Persamaan Bernoulli (Reuben, 1993)

$$\frac{p}{\rho^2} + v^2 + g \cdot z = \text{konstan} \dots \dots \dots (2.10, \text{Lit. 6})$$

Dari persamaan itu menyatakan bahwa energi per satuan massa fluida konstan di sepanjang sebuah garis arus untuk aliran fluida yang tidak *viscous*, *incompressible*, dan *steady*.

### 3. Bilangan Reynold



Tahun 1880, Osborne Reynold, seorang insinyur berkebangsaan Inggris, mempelajari transisi antara aliran laminar dan aliran turbulen di dalam pipa. Selanjutnya dia menentukan sebuah parameter yang dinamai bilangan Reynold atau  $Re$ . Bilangan Reynold merupakan suatu bilangan tak berdimensi yang paling penting dalam dinamika fluida. Bilangan Reynold juga merupakan perbandingan antara gaya inersia dan gaya geser (*viscous force*)

$$Re = \frac{\rho \cdot L^2 \cdot v_2}{\mu \cdot v \cdot l} \dots\dots\dots(2.11, \text{Lit. 6})$$

Bilangan Reynold digunakan untuk menunjukkan bahwa suatu aliran merupakan aliran laminar atau turbulen. Aliran laminar terjadi pada bilangan Reynold yang rendah, dimana gaya *viscous* mendominasi dan karakteristik alirannya adalah *smooth* dan memiliki pergerakan fluida yang konstan. Aliran turbulen terjadi pada bilangan Reynold yang tinggi dan didominasi oleh gaya inersia. Karakteristik alirannya adalah menghasilkan pusaran secara acak, *vortices*, dan alirannya berfluktuasi. Untuk aliran laminar ditentukan  $Re \leq 2100$ , untuk aliran turbulen  $Re \geq 3000$  dan untuk aliran transisi  $2100 < Re < 3000$

#### 4. Bilangan Mach

Bilangan Mach ( $M$ ) dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara suatu kecepatan terhadap kecepatan suara dalam suatu medium. Bilangan Mach ini pada umumnya digunakan dalam dua kasus, yaitu suatu benda yang bergerak dengan kecepatan tinggi di dalam fluida dan fluida berkecepatan tinggi yang mengalir di dalam suatu saluran, seperti *nozzle*, *diffuser* dan terowongan angin. Karena merupakan perbandingan antara dua kecepatan, maka bilangan Mach tidak berdimensi. Besar kecepatan suara dalam suatu medium sangat bergantung pada jenis medium tersebut dan

besar temperatur medium tersebut. Kecepatan suara dapat dihitung dengan rumus berikut

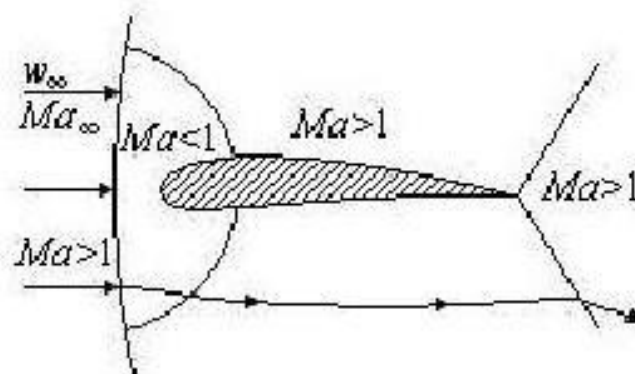
$$c = \sqrt{k \cdot R \cdot \bar{T}} \dots \dots \dots (2.12, \text{Lit. 6})$$

Angka Mach dapat ditulis:

$$M = \frac{v}{c} \dots \dots \dots (2.13, \text{Lit. 6})$$

Dimana  $v$  adalah kecepatan aliran dan  $c$  adalah kecepatan suara. Penerbangan kecepatan tinggi dapat dikelompokkan menjadi 6 kategori yaitu:

- a. *Incompressible*, dimana  $M < 0.3$
- b. *Subsonic*, dimana  $0.3 < M < 1$
- c. *Sonic*, dimana  $M = 1$
- d. *Supersonic*, dimana  $M > 1$
- e. *Transonic*, dimana  $0.8 < M < 1.3$
- f. *Hypersonic*, dimana  $M > 5$



Gambar 2. 12 Bilangan Mach pada Aliran Transonic di sekitar airfoil;  
 $M < 1$  [3]

