BAB VI

TEROWONGAN ANGIN

1. TINJAUAN UMUM

Dalam menyelesaikan suatu problema mekanika fluida, sering dipergunakan perhitungan dan rumusan kinematis dengan mengambil asumsi-asumsi yang sering dipertanyakan sejauh mana pengaruhnya terhadap ketepatan hasil perhitungan. Dalam beberapa permasalahan yang cukup kompleks jarang sekali problem aliran nyata dapat dipecahkan dengan hanya memakai metoda analitis sehingga penyelesaian dengan cara demikian kurang memadai.

Oleh karena itu didalam membantu pemecahan masalah perlu dilakukan eksperimen pengukuran secara langsung terhadap obyek masalah yang bersangkutan. Dengan demikian diharapkan metoda gabungan antara analitis dan ekperimen dapat memberikan hasil yang lebih memuaskan.

Tetapi di sisi lain, pekerjaan ekperimen di laboratorium memerlukan waktu yang panjang dan biaya yang relatip mahal. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat digunakan analisa dimensi sehingga dapat dilakukan eksperimen dalam waktu yang tidak begitu panjang dan mendapatkan hasil yang memadai.

2. ANALISA DIMENSI : TEORI BUCKINGHAM PI

Didalam melaksanakan percobaan, agar didapatkan keakuratan hasil maka perlu dilibatkan beberapa parameter yang terkait. Tetapi dilain pihak jika semua parameter yang terkait diikutsertakan maka dibutuhkan pelaksanaan percobaan yang sangat banyak, sehingga memakan waktu dan biaya yang besar.

Masalah tersebut dapat diatasi dengan jalan menggunakan metoda analisa dimensi, sehingga penggunaan parameter yang terkait dapat dibatasi tetapi tidak mengurangi keakuratan hasil.

Bila dalam suatu problem fisik sebuah parameter tidak bebas sebagai fungsi dari (n-1) parameter bebas, maka didapat hubungan antara variabel itu dalam bentuk fungsi sebagai :

$$q1 = f(q2, q3, ..., qn)$$

yaitu q1 sebagai parameter tidak bebas dengan q2, q3, ... qn sebagai parameter bebas sejumlah (n-1). Secara matematis hubungan fungsi tersebut dapat dinyatakan sebagai :

$$g(q1, q2, q3, ..., qn)$$

dimana g adalah fungsi sembarang yang berbeda dengan f. Teori Buckingham Pi menyatakan bahwa bila terdapat hubungan antara sejumlah n parameter dalam bentuk fungsi seperti diatas maka n parameter itu dapat dikelompokkan

ke dalan (n-m) grup perbandingan tanpa dimensi bebas atau disebut sebagai parameter π, yang ditunjukkan dalam bentuk fungsional sebagai :

$$G (n1, n2, ... nn-m) = 0$$

atau $\pi 1 = G1 (\pi 2, n3, ... nn-m)$

Banyaknya m pada umumnya, tetapi tidak selalu, sama dengan jumlah minimum dimensi bebas yang diperlukan untuk menspesifikasikan seluruh dimensi dari parameter q1,q2, ...qn.

Teori ini tidak memperkirakan bentuk fungsional dari g atau G1, melainkan hubungan antara parameter bebas, n , didapat dengan percobaan.

Suatu parameter tidak bebas jika ia dapat dibentuk dari suatu pembagian, perkalian dari parameter lain. sebagai contoh :

$$n5 = 2\pi 1/(n2.n3)$$

yaitu π5 adalah parameter tidak bebas.

Analisa dimensi dari suatu permasalahan dilakukan dalam tiga tahapan :

1. Memilih parameter-parameter secara memadai
2. Parameter-parameter tanpa dimensi diperoleh dengan teori Buckinham Pi.
3. Hubungan fungsional antara parameter didapat secara eksperimen

3. PROSEDUR TEORI BUCKINGHAM

Ada enam langkah yang diperlukan untuk menentukan parameter yaitu :

langkah 1 : Catat seluruh parameter yang terlibat (mis n). Bila ada parameter yang seharusnya terlibat tetapi tidak diikutsertakan maka akan diperoleh group-group yang tidak memberikan hasil yang utuh. Tetapi bila parameter yang tidak mempunyai pengaruh diikutsertakan maka analisa dimensi dan eksperimen akan menunjukkan bahwa parameter tersebut tidak ada kaitannya.

Langkah 2 : Pilih salah satu set dimensi primer (MLT atau FLT)

Langkah 3 : Parameter-parameter yang terlibat dinyatakan dalam bentuk dimensi primer yang dipilih. Jumlah dimensi primer dinyatakan dengan r.

Langkah 4 : Dari daftar parameter yang ada dipilih sejumlah parameter yang diulang (m) yang jumlahnya sama dengan dimensi primer r.
Antara parameter yang diulang tidak boleh mempunyai dimensi dasar yang sama yang hanya dibedakan dengan suatu eksponen saja.
Parameter tidak bebas tidak boleh dipilih

sebagai parameter yang diulang.

Langkah 5 : Berdasarkan parameter-parameter yang dipilih dan parameter yang diulang dibentuk group-group tanpa dimensi, sehingga diperoleh (n-m) persamaan.

Langkah 6 : Untuk memastikan bahwa group-group yang didapat itu tidak berdimensi maka dilakukan pengecekan dengan set dimensi primer lain.

Didalam menyelesaikan permasalahan gaya drag pada kendaraan tidak akan terlepas dari ekperimen pengujian di laboratorium untuk memperoleh data-data gaya aerodinamis yang bekerja pada obyek model. Dengan demikian perlu digunakan teori Buckingham Pi sehingga jumlah pengujian yang dilaksanakan dapat dibatasi tanpa mengurangi keakuratan hasil.

Secara umum parameter-parameter yang terkait untuk menentukan gaya hambat yang terjadi pada kendaraan meliputi :

- luasan frontal kendaraan ,Af
- kecepatan relatif mobil dan udara, V
- density udara
- Viskositas udara

$$Fd = f\ (Af,\ V,\ \rho,\ \mu)$$

Sesuai urutan langkah yang telah dijelaskan di depan maka diselesaikan sebagai berikut :

1. Fd, AF, V, ρ, μ n = 5 parameter
2. Dipilih set dimensi primer : MLT
3. Pendefinisian dalam dimensi primer :

Fd	Af	v	ρ	μ	
$\frac{ML}{T^2}$	L^2	$\frac{L}{T}$	$\frac{M}{L^3}$	$\frac{M}{LT}$	r = 3

4. ρ,v,Af parameter yang diulang m = r = 3
5. n - m = 2

$$\pi 1 = (\rho^{a} \; v^{b} \; Af^{c} \; Fd)$$

$$= \left[\frac{M}{L^3}\right]^{a} \left[\frac{L}{T}\right]^{b} \left[L^2\right]^{c} \left[\frac{Ml}{T^2}\right] = M^{\circ}L^{\circ}T^{\circ}$$

M : $a + 1 = 0$ $\quad a = -1$

L : $-3a + b + 2c + 1 = 0$ $\quad c = -1$

T : $-b - 2 = 0$ $\quad b = -2$

$$\pi 1 = \frac{Fd}{\rho . v^2 . Af}$$

$$\pi 2 = (\rho^{a} \; v^{b} \; Af^{c} \; \mu)$$

$$= \left[\frac{M}{L^3}\right]^{a} \left[\frac{L}{T}\right]^{b} \left[L^2\right]^{c} \left[\frac{M}{LT}\right] = M^{\circ}L^{\circ}T^{\circ}$$

M : a + 1 = 0 a = -1

L : -3a + b + 2c - 1 = 0 c = -½

T : -b - 1 = 0 b = -1

$$n2 = \frac{\mu}{\rho . v . \sqrt{Af}}$$

6. Pengecekan dengan dimensi FLT

Fd	Af	v	ρ	μ
F	L^2	$\frac{L}{T}$	$\frac{FT^2}{L^4}$	$\frac{FT}{L^2}$

$$n1 = \frac{Fd}{\rho . v^2 . Af}$$

$$= F \cdot \frac{L^4}{FT^2} \cdot \frac{T^2}{L^2} \cdot \frac{1}{L^2} = 1$$

$$n2 = \frac{\mu}{\rho . v . \sqrt{Af}}$$

$$= \frac{FT}{L^2} \cdot \frac{L^4}{FT^2} \cdot \frac{T}{L} \cdot \frac{1}{L} = 1$$

Tanda 1 berarti dimensinya hilang

Hubungan fungsional

$$n1 = f\ (n2)$$

$$\left[\frac{Fd}{\rho . v^2 . Af}\right] = f\left[\frac{\mu}{\rho . v . \sqrt{Af}}\right]$$

Dari metoda analisa dimensi didapatkan hubungan fungsi dari 2 buah parameter yang baru sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa tidak perlu setiap parameter diubah, tetapi yang perlu diubah ialah harga perbandin-

gan dari parameter tersebut, misalnya dengan mengubah-ubah harga kecepatan.

4. JENIS TEROWONGAN ANGIN

Untuk memperoleh fenomena aerodinamika pada mobil yang menjadi obyek penelitian perlu dilakukan pengujian model dari obyek di terowongan angin.

Ada suatu faktor yang perlu diperhatikan dalam pengujian model kendaraan dalam terowongan angin, yaitu perbedaan dengan model pesawat atau wing yang bergerak dalam udara bebas. Sedangkan secara real bergerak diatas jalan. Kenyataan lain bahwa kondisi real mobil bergerak relatif terhadap udara dan jalan, sedangkan di wind tunnel mobil dan jalan diam, udara yang bergerak relatif.

Secara garis besar terowongan angin dapat diklasifikasikan menurut kecepatan aliran udara yang dihasilkan dalam working section dan jalur pengembalian udara dari hilir ke hulunya.

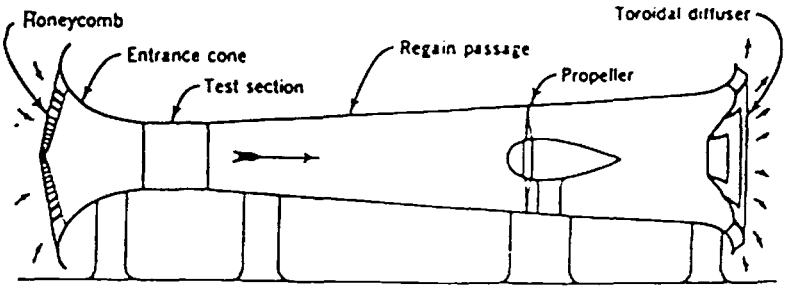
Berdasarkan jalur pengembalian udara dari hilir ke hulunya, terowongan angin dibedakan atas :

1. Open Circuit wind tunnel

Pada terowongan angin jenis ini tidak terjadi sirkulasi udara. Udara dari working section setelah

melalui diffuser tidak disirkulasikan kembali ke bagian intake.

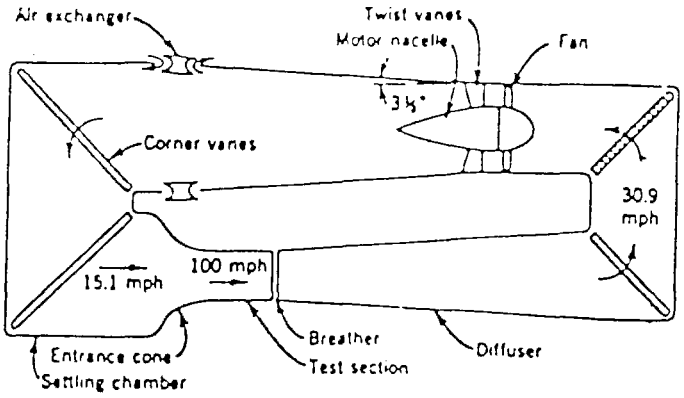
Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 6-1.



Gambar 6-1 Open circuit wind tunnel

2. Closed Circuit Wind Tunnel

Pada terowongan angin jenis ini terjadi sirkulasi udara. Udara dari working section setelah melalui diffuser dialirkan kembali ke working section. Keuntungannya adalah effisiensinya lebih besar dan udara lebih terkontrol, tidak ada kehilangan udara yang telah dikondisikan dan kebisingannya waktu beroperasi juga lebih rendah.



Gambar 6-2 Closed circuit wind tunnel

Berdasarkan kecepatan aliran udara dalam working section, terowongan angin dibagi atas :

1. Subsonic wind tunel

   Memiliki kecepatan aliran udara pada daerah subsonic atau Mach number < 0.9

2. Transonic wind tunel

   Memiliki kecepatan aliran udara mendekati kece - patan suara, yaitu Mach number antara 0.9 - 1.2

3. Supersonic wind tunel

   Memiliki kecepatan aliran udara diatas kecepatan suara yaitu Mach number anntara 1.2 - 5

4. Hypersonic wing tunel

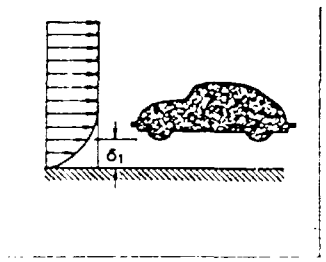
   Memiliki kecepatan aliran udara tertinggi yaitu mencapai M > 5

5. GROUND BOUNDARY LAYER

Pemakaian lantai dari terowongan angin untuk menggantikan jalan ternyata menimbulkan pengaruh ground boundary layer pada model kendaraan sehingga kondisi pengujian dan real berbeda. Untuk memecahkan permasalahan itu ada beberapa metoda yang dikemukakan oleh para ahli yaitu :

A. Metoda pengangkatan (lifting)

yaitu dengan mengangkat model setinggi ketebalan ground boundary layer maka tak akan terjadi pengaruh terhadap aliran yang mengalir disekitar model. Hal tersebut disimpulkan oleh Ohtani didalam percobaannya (hucho,1987 : 412).

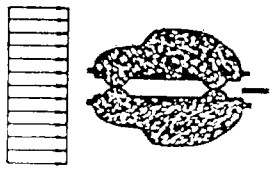


Gambar 6-3 Metoda pengangkatan

B. Metoda bayangan (mirror).

Cara ini membutuhkan 2 model yang identik yang dipa-

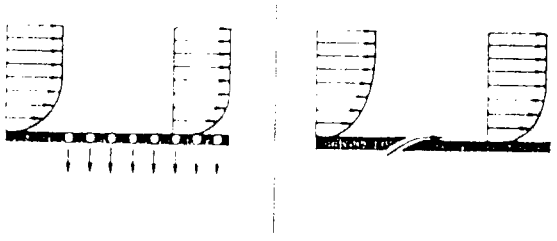
sang terbalik satu sama lain. Pada metode ini aliran dianggap simetris terhadap bidang imajiner yang terbentuk diantara kedua model itu, bidang imajiner inilah yang dianggap mewakili jalan. Kelemahan cara ini adalah dibutuhkan luasan penampang wind tunnel dua kali lebih besar.



Gambar 6-4 Metoda bayangan

C. Metoda pengisapan (suction).

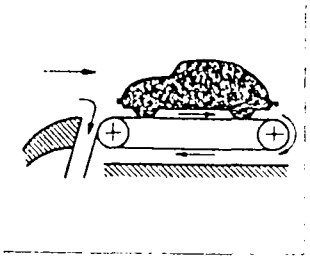
Metoda ini dilakukan oleh Arnold. Cara ini mengguna-kan suction/penghisap pada permukaan jalan untuk mengurangi ketebalan boundary layer.



Gambar 6-5 Metoda pengisapan

D. Metoda ban berjalan.

Metode ini dinyatakan oleh Rose dan Carr. Metode ini paling ideal dengan menggunakan running belt dimana model diletakkan diatas running belt yang bergerak dengan kecepatan sama dengan kecepatan angin pada wind tunnel. Pada bagian depan terdapat lubang suction. Tetapi cara ini paling rumit instalasi dan pemasangannya terutama untuk model yang besar dan berat.

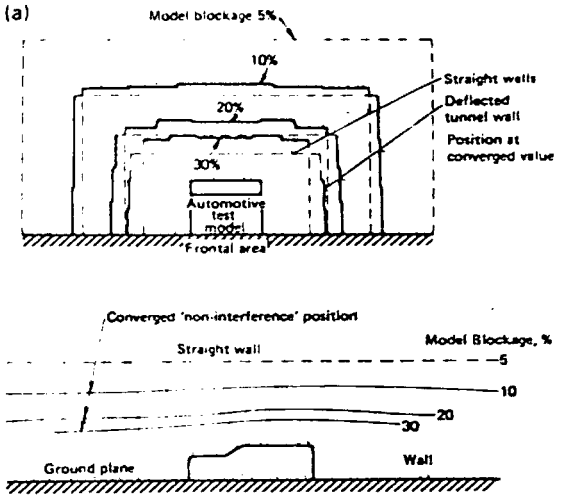


gambar 6.6 Metoda ban berjalan

6. BLOCKAGE RATIO

Dimensi yang diperlukan dalam terowongan angin terutama adalah pada testing section. Kita sebut parameter luas melintang test section At yang merupakan nozzle dari terowongan angin dan luas frontal kendaraan adalah A. Ratio dari luas frontal kendaraan terhadap luas melintang test section At dinamakan blockage ratio (Q). Blockage ratio pada keadaan yang sebenarnya di jalan

bernilai nol. Agar aliran udara yang mengenai model tidak terpengaruh oleh boundary layer yang terbentuk pada dinding wind tunnel maka luasan penampang model melintang terhadap arah aliran tak boleh melebihi 10% luas penampang working section.



Gambar 6-4 Blockage ratio