

# BEBERAPA CARA MENGUBAH UBAH GAYA DORONG MOTOR ROKET \*

Drs. Sarmidi \*\*

## ABSTRACT

*On a jet motor using a system of "air breathy engine", the aroused impulse is caused by the difference of the incoming and outgoing gas, while on a motor rocket the impulse is aroused by the motor rocket itself. This paper deals with the impulse of a motor rocket using a source of energy of propellant combustion and changing the force by means of changing the quantity of flowing mass and the velocity of following gas.*

## RINGKASAN

*Dalam suatu motor roket, kadang-kadang diperlukan gaya dorong yang dapat dirubah-ubah misalnya dipergunakan pada motor roket yang dikendalikan.*

*Dewasa ini telah dikembangkan beberapa cara untuk merubah gaya dorong, misalnya dengan jalan memvariasi banyaknya aliran massa gas hasil pembakaran/satuan waktu ( $m$ ), merubah-ubah kecepatan aliran gas keluar nozzle ( $V_e$ ) dan dual thrust.*

## 1. PENDAHULUAN

Bila gas bertekanan didalam suatu tabung dilepaskan keudara bebas, maka akan timbul reaksi/gerak yang berlawanan arah dengan arah

memancarnya gas. Prinsip ini dikenal sebagai hukum ketiga Newton yang menyatakan bahwa aksi = reaksi, dan merupakan dasar dari pada motor pancar gas.

Dalam motor pancar gas sistem air breathing engine, gaya dorong yang timbul adalah karena perbedaan momentum udara yang masuk dan yang keluar dari motor tersebut, sedang pada motor roket, gaya dorong ditimbulkan oleh pancaran gas yang dihasilkan oleh motor roket itu sendiri.

Dalam tulisan ini, yang dibicarakan khususnya tentang gaya dorong motor roket yang menggunakan sumber energi dari reaksi kimia. Untuk menghasilkan gas dipergunakan propelan. Pembakaran propelan ini menghasilkan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jika gas yang dihasilkan dari pembakaran ini, memancar keluar melalui nosel, maka akan timbul gaya dorong.

## 2. GAYA DORONG (THRUST)

Gaya dorong motor roket disebut thrust yaitu suatu gaya reaksi yang timbul sebagai akibat adanya gaya aksi dari pancaran massa

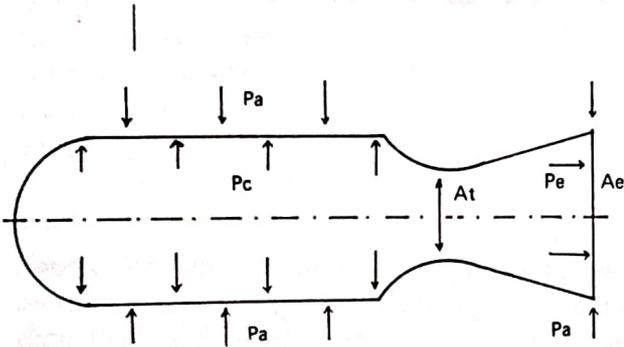
\* Majalah LAPAN No. 17 Tahun ke-V.

\*\* Staf Proyek ROMET - LAPAN.

gas kearah belakang. Jika pancaran ini mempunyai kecepatan, maka berdasarkan hukum Newton :

$$F_a = m V_e + f$$

dimana :  $F_a$  = gaya aksi, (2 - 1)  
 $m$  = laju massa gas,  
 $V_e$  = kecepatan pancar  
 $f$  = faktor koreksi atmosferis.



Gambar 2.1 Distribusi tekanan pada motor roket.

Gambar 2.1 Distribusi tekanan pada motor roket.

$P_a$  = tekanan diluar motor roket,

$P_e$  = tekanan pada tempat ujung nosel (exit).

$P_c$  = Tekanan didalam ruang bakar.

Dari gambar 2 - 1 diatas terlihat bahwa gaya aksi yang terjadi :

$$F_a = A_t P_c - A_t P_e + A_e P_e - A_e P_a$$

$$F_a = A_t (P_c - P_e) + A_e (P_e - P_a)$$

Persamaan momentum :

$$m V_e = A_t (P_c - p_e), \text{ jadi :}$$

$$F_a = m V_e + A_e (P_e - P_a) \quad (2 - 2)$$

Karena aksi = reaksi, maka gaya dorong :

$$F_r = F = m V_e + A_e (P_e - P_a) \quad (2 - 3)$$

Dari rumus (2 - 3) ini terdapat dua komponen utama gaya dorong yaitu momentum thrust dan pressure thrust.

Momentum thrust ( $m V_e$ ) : merupakan komponen utama gaya dorong yang ditimbulkan oleh sumber tenaga (propelan).

Pressure thrust  $A_e (P_e - P_a)$  :

- Komponen ini ditimbulkan oleh nosel. Apabila  $P_e = P_a$ , keadaan ekspansi yang optimum dapat dicapai. Dalam keadaan ini, seluruh tekanan statis gas telah berekspansi sehingga pada waktu gas sampai diujung nosel (exit), tekanannya sama dengan tekanan diluar.
- Jika  $P_e$  lebih kecil dari  $P_a$  disebut over expansion. Hal ini merupakan kerugian bagi gaya dorong. Keadaan ini terjadi jika nosel terlalu panjang sehingga gas berekspansi dengan berlebihan.

- Sebaliknya dari keadaan diatas, disebut under expansion. Keadaan ini terjadi jika  $P_e$  lebih besar dari  $P_a$ . Dalam hal ini, gas belum berekspansi dengan sempurna atau tekanan gas pada waktu keluar nosel belum sama dengan tekanan diluar karena nosel terlalu pendek. Karena  $P_a$  selalu berubah sesuai dengan perubahan ketinggian maka keadaan optimum dipermukaan laut akan menjadi tidak optimum lagi ditempat ketinggian tertentu.

Rumus ( 2 - 3) diturunkan berdasarkan anggapan bahwa pancaran gas keluar nosel selalu sejajar dengan sumbu motor roket. Pada hal kenyataannya memancar sehingga perhitungan menjadi kurang sesuai. Untuk membetulkannya digunakan faktor koreksi  $\lambda$ .

Rumus ke (2 - 3) menjadi :

$$F = \lambda m V_e + A_e (P_e - P_a) \quad (2 - 4)$$

Persamaan umum kekekalan energi untuk aliran yang adiabatik dan steady :

$$C_p T_c + \frac{V_c^2}{2} = C_p T_e + \frac{V_e^2}{2} \quad (2-5)$$

Karena  $V_c = 0$  maka :

$$C_p T_c = C_p T_e + \frac{V_e^2}{2}$$

$$V_e = \sqrt{2 C_p (T_c - T_e)} \text{ atau}$$

$$V_e = \sqrt{2 C_p T_c (1 - T_e/T_c)}$$

$$V_e = \sqrt{\frac{2 k R T_c (1 - T_e/T_c)}{k - 1}}$$

Proses adiabatik :

$$T_e/T_c = (P_e/P_c)^{\frac{k-1}{k}}$$

Jadi kecepatan aliran keluar nosel : (2-6)

$$V_e = \sqrt{\frac{2 k R T_c (1 - (P_e/P_c)^{\frac{k-1}{k}})}{k - 1}}$$

Dimana :  $R = R_0/m$  dan  $k = C_p/C_v$

$R_0$  = Universal gas constant

$m$  = Berat molekul gas.

Aliran massa/satuan waktu :

$$m = \sqrt{\frac{P_c A_t}{R T_c}} \quad (2-7)$$

Jika rumus (2-6) dan (2-7) dimasukkan kedalam persamaan (2-4)

diperoleh :  $F = P_c A_t C_f \lambda$  (2-8)

Dimana:

$$C_f = \sqrt{\frac{2 k (1 - \frac{P_e}{P_c})^{\frac{k-1}{k}}}{k-1}} \sqrt{3 A_e (P_e - P_a)}$$

$$\lambda = \frac{2}{(k+1)^{\frac{k+1}{2(k-1)}}} \sqrt{k}$$

### 3. USAHA MENGUBAH-UBAH GAYA DORONG

Dari rumus (2-4), jika dianggap bahwa  $P_e = P_a$ , diperoleh

$$F = \lambda m V_e \quad (3-1)$$

Dari rumus (2-8) dan (3-1) diatas, dapat diketahui bahwa untuk mengubah gaya dorong dapat dilakukan:

a. Mengubah banyaknya aliran massa/satuan waktu :

Dari rumus (2-7) dapat disimpulkan bahwa usaha yang dapat dilakukan untuk mengubah thrust yakni dengan jalan merubah tekanan pembakaran, diameter throat dan temperatur pembakaran.

Cara ini biasanya disebut propellant throattling yakni mengatur aliran massa propelan dengan menggunakan katup-katup atau dengan jalan mengatur putaran pompa.

Motor roket yang menggunakan cara ini misalnya V-2, BMW 109-448, BMW 109-510. Cara lain yakni yang disebut engine throattling. Metode ini ada bermacam-macam misalnya dengan jalan mengubah-ubah luas bidang injeksi, mengubah-ubah luas throat, menggabungkan kedua cara diatas dan merubah ubah luas bidang ujung nosel (exit). Dari keempat cara ini ternyata yang tidak berhasil dilakukan yaitu cara mengubah-ubah luas bidang ujung nosel (exit). Beberapa contoh roket yang menggunakan cara :

- Memvariasi luas bidang injeksi:

Walter 109-509 NARTS (1956)

- Memvariasi luas bidang throat :  
BMW 109- 558 NARTS (1954)
- Kombinasi variasi At dan bidang injeksi :  
NARTS (1956-1959)

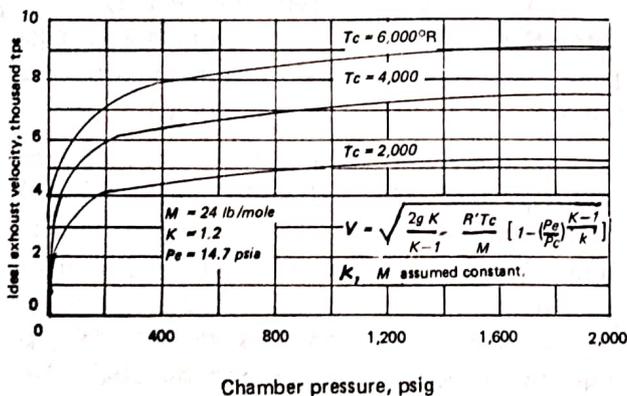
**b. Mengubah kecepatan aliran gas keluar nosel (Ve)**

Dari rumus (2-6) dapat disimpulkan bahwa:

i. Ve dapat diperbesar dengan jalan mempertinggi Tc. Yang ideal, untuk memperbesar Ve adalah dengan menggunakan propelan yang dapat menghasilkan Tc yang setinggi-tingginya. Tetapi kenyataannya hal tersebut tidak bisa dilakukan karena terbatas pada hal-hal sebagai berikut :

- Kemampuan ruang bakar terhadap temperatur yang tinggi.
- Terjadi proses desosiasi pada temperatur yang tinggi. Hal ini merupakan kerugian pada proses pembakaran.

Pengaruh Tc dan PC terhadap Ve dapat dilihat dalam grafik dibawah ini (gambar 3-1).



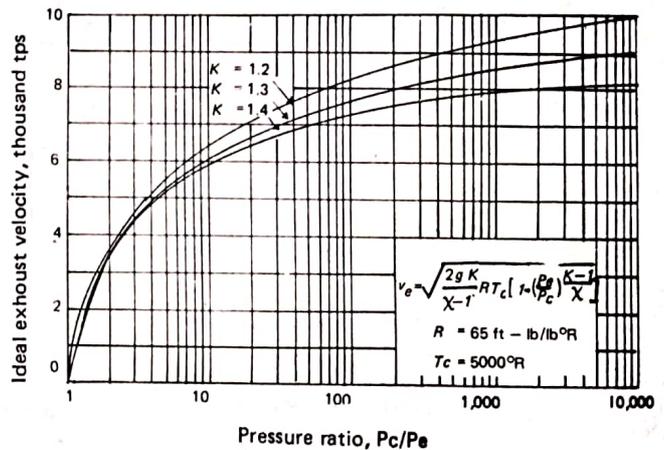
Gambar 3.1. Pengaruh Tekanan dan Temperatur terhadap kecepatan aliran gas keluar nosel.

ii. Ve dapat diperbesar dengan mempertinggi Pc/Pe. Perbandingan tekanan yang terlampau tinggi juga tidak menguntungkan karena :

- Diperlukan dinding ruang bakar yang lebih tebal, sehingga merupakan suatu kerugian karena berat yang bertambah.
- Didaerah perbandingan tekanan yang tinggi (lihat Gambar 3), kenaikan Pc/Pe kurang menguntungkan karena Ve tidak sebanding dengan penambahan berat.

iii. Ve dapat diperbesar dengan memperkecil k.

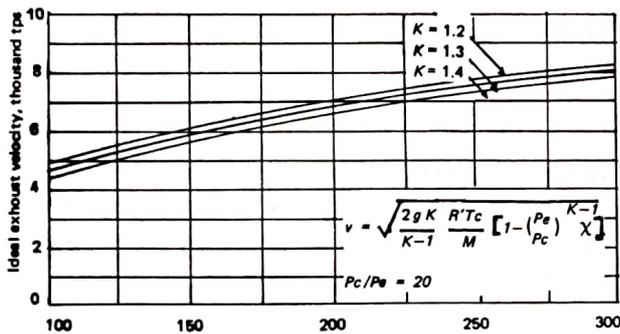
Ve dapat diperbesar dengan jalan memperkecil harga k, tetapi ternyata bahwa usaha ini tidak menghasilkan perbedaan yang menyolok (lihat gambar 3-2). Oleh sebab itu, dalam membuat propelan yang mempunyai harga ka serendah-rendahnya harus dipertimbangkan pula besarnya usaha yang dilakukan dengan keuntungan yang diperoleh.



Gambar 3.2. Pengaruh perbandingan tekanan dan perbandingan specific heat terhadap kecepatan gas keluar nosel.

iv. Ve dapat diperbesar dengan jalan memperkecil m. Dari gambar 3-3 terlihat bahwa dengan m yang kecil (Tc/m) Ve akan naik, tetapi kenaikannya tidak terlalu menyolok. Karena itu, dalam membuat propelan hal ini perlu diperhatikan pula.

Dewasa ini dalam motor roket padat, ada usaha untuk merubah gaya dorong dengan jalan membuat motor roket yang disebut *dual thrust*. Dual thrust mula-mula timbul karena orang ingin mengatasi kesulitan-kesulitan dalam hal staging. Dapat diketahui bahwa staging motor roket membutuhkan teknik tersendiri dalam peyambungan antara staging maupun dalam pelepasannya.



Gambar 3.3.

Pengaruh  $T_c/m$  terhadap kecepatan gas keluar nosel.

Dalam motor roket ini, sebuah motor roket terdapat dua macam thrust. Usaha yang dilakukan:

- Dalam satu motor terdapat dua macam propelan, tetapi konfigurasi menjadi satu. Propelan pertama biasanya progresif karena berfungsi sebagai booster, propelan kedua berfungsi sebagai sustainer.
- Dalam satu motor terdapat satu macam propelan tetapi konfigurasi ada dua macam.
- Dua macam konfigurasi dan jenis propelan yang berbeda.
- Membuat seolah-olah ada dua motor yang dijadikan satu.

Keuntungan yang dapat diperoleh dari dual thrust:

- Tidak perlu memikirkan masalah staging.
- Dengan kondisi yang sama, beratnya lebih ringan dari pada motor roket yang mempunyai staging.

#### 4. KESIMPULAN

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa untuk merubah gaya dorong ada 3 macam:

- Mengubah banyaknya aliran massa gas hasil pembakaran/satuan waktu ( $m$ ), dengan jalan:
  - memvariasi luas bidang injeksi ( $A_i$ ).
  - memvariasi luas bidang throat ( $A_t$ ).
  - Kombinasi variasi  $A_t$  dan  $A_i$ .

Cara-cara di atas biasanya dipergunakan pada motor roket cair.

- Mengubah kecepatan aliran gas keluar nosel ( $V_e$ ), dengan jalan:
  - Mempergunakan propelan yang mempunyai  $T_c$  yang tinggi.
  - Merubah perbandingan tekanan  $P_c/P_e$ .
  - Mempergunakan propelan yang mempunyai  $k$  dan  $m$  yang lebih kecil.
- Motor roket padat dual thrust.

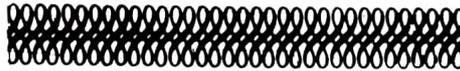
Dari ketiga macam tipe tersebut, yang mana yang dipilih tergantung pada:

- Tipe propelan yang digunakan, padat atau cair.
- Kemampuan material terhadap suhu dan tekanan.

## DAFTAR PUSTAKA

- c. Besarnya gaya dorong dan waktu pembakaran yang dipergunakan.
- d. Faktor loading density motor yang direncanakan. Loading density motor yakni perbandingan antara berat propelan dan berat motor total.

1. Barrere. M, Jaumotte. A, Fraeijs de Veubeke. B, Vandenberckhove. J, *Rocket Propulsion*, Elsevier Publishing Co, Amsterdam, 1960.
2. Summerfield. M, (ed), *Solid Propellant Rocket Research*, Academic Press, 1960.



### TENAGA MATAHARI UNTUK KONSUMSI KEHIDUPAN PEDESAAN

*Jet Propulsion Laboratory telah bekerja sama dengan General Electric Company (Space Division) guna merancang serta membuat unit prototype yang memungkinkan penggunaan tenaga matahari untuk sumber listrik bagi kelompok-kelompok kecil didaerah pedesaan dimasa depan. Kerja sama ini diduga akan membutuhkan biaya 1.2 juta dollar dan akan selesai dalam 16 bulan.*

### DEBU BULAN YANG TAHAN KARAT

*Ilmiawan Soviet telah menemukan bahwa debu bulan yang lajim disebut dengan lunar egolith ternyata mengandung unsur non oxidized iron yang tahan karat. Penemuan ini kemudian diperkuat pula oleh hasil aboratorium lainnya baik yang terdapat di Uni Soviet maupun di Amerika Serikat. Debu bulan itu ternyata pula mengandung silicon dan titanium.*