

Uji Coba Peluncuran Motor Roket Tahun 2000

Sutrisno

Bidang Propelan - Puspropen - DETEKGAN - LAPAN

PENDAHULUAN

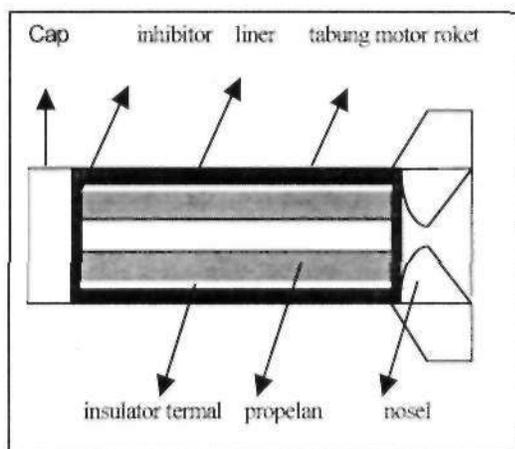
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) telah berulang kali meluncurkan roket berbahan bakar padat. Sebagian besar dari roket-roket tersebut berhasil diluncurkan dengan membawa berbagai muatan. Muatan yang dibawa oleh roket tersebut meliputi sensor pengindera dinamik untuk mengetahui karakteristik roket, misi navigasi maupun komunikasi. Tiga buah roket telah berhasil diluncurkan pada tanggal 30 Oktober 2000 di Stasiun Peluncuran Roket (Staspro) Pameungpeuk - Garut - Jawa Barat. Ketiga roket tersebut adalah roket dengan bahan bakar (propelan) berkonfigurasi tunggal (*star 7*) yaitu RX 150 /KT/MPD-P-LPN dan dua buah roket dengan propelan berkonfigurasi ganda (*wagon wheel - cylinder*) masing-masing adalah RX 250/KG/MMK-B1-LPN dan RX 250/KG/MMK-B2-LPN. Roket pertama membawa muatan MPD (Muatan Pengindera Dinamik) dan komunikasi JASIPAKTA. Dua roket yang terakhir membawa muatan DCP (*Digital Concentrator Platform*), GPS (*Global Positioning System*) dan MPD.

Peluncuran roket selalu direncanakan untuk mencapai target ketinggian tertentu sesuai dengan misi yang diinginkan. Target ini biasanya sudah dapat diperkirakan berdasarkan data fisik roket dan kinerja motor roketnya. Oleh karena itu data fisik dan kinerja motor roket sangat penting untuk diketahui. Kinerja motor roket sangat ditentukan oleh besarnya impuls spesifik (I_{sp}) dan fraksi massa yang menyatakan besarnya rasio antara massa propelan terhadap massa roket keseluruhan. Fraksi massa ini dapat memberi gambaran tentang efisiensi dari suatu roket dimana makin besar fraksi massa yang dimiliki berarti roket tersebut makin efisien. Pada tulisan ini akan dipaparkan data serta pembahasan mengenai efisiensi motor roket dari ketiga buah roket yang telah diluncurkan seperti tersebut di atas. Pembahasan roket yang dimaksud pada tulisan ini adalah roket yang menggunakan bahan bakar (propelan) padat. Tinjauan kinerja motor roket hanya didasarkan pada fraksi motor roket, yaitu perbandingan massa propelan terhadap massa motor roket secara keseluruhan. Massa motor roket terdiri dari penjumlahan massa tabung motor roket, grain propelan, nosel, cap dan pelindung panas (*liner/ inhibitor*).

MOTOR ROKET

Motor roket adalah suatu sistem yang dapat menghasilkan gas dengan tekanan tinggi hasil dari pembakaran propelan. Gas tersebut segera diekspansikan dan dipercepat keluar melalui nosel untuk diubah menjadi gaya dorong yang dapat menggerakkan roket tersebut ke depan. Kinerja motor roket dipengaruhi oleh besarnya gaya dorong, tekanan pembakaran, waktu pembakaran dan kemampuan dari material penyusun motor roket untuk menahan beban gaya yang dihasilkan oleh motor roket tersebut. Selain itu kinerja motor roket juga dipengaruhi oleh berat struktur motor roket itu sendiri di mana makin ringan akan makin efisien.

Secara garis besar sistem motor roket terdiri dari 5 (lima) komponen utama yaitu tabung motor roket, grain propelan, nosel dan cap, pelindung panas (*liner / inhibitor*) serta penyala mula (*igniter*). Komponen utama motor roket padat dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



a. Tabung Motor Roket.

Tabung motor roket dapat dibuat dari material logam maupun komposit. Tabung ini harus mampu menahan tekanan internal selama roket beroperasi yakni antara 3 - 3.5 MPa (28,66 - 238,835 kg/cm²) (Davenas, 1993). Baja dapat digunakan sebagai tabung motor roket karena kuat mekaniknya yang cukup besar (lebih dari 1000 MPa) dan mudah dibentuk. Material komposit memiliki keuntungan untuk digunakan sebagai tabung motor roket karena ringan sehingga dapat meningkatkan efisiensi motor roket.

Material komposit yang digunakan dapat berupa resin termosetting seperti poliester, epoksi

dan poliamida (sebagai matriks) dengan penguat berupa gelas, kevlar atau karbon.

b. Propelan

Propelan merupakan sumbu pada roket dimana hasil pembakarannya menghasilkan gas dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Gas ini dipercepat keluar melalui nosel sehingga menimbulkan gaya dorong. Propelan yang banyak dikembangkan saat ini adalah propelan jenis komposit dimana oksidator yang berupa partikel padat terikat dalam suatu *fuel/binder* dan dimatangkan (*curing*) pada temperatur tertentu.

Berdasarkan arah asal pembakarannya, propelan dapat digolongkan menjadi pembakaran ujung (*cigarette burning*) dan pembakaran radial (*radial burning*). Propelan jenis terakhir mengalami pembakaran dari arah rongga bagian dalam propelan menuju dinding tabung motor roket. Besarnya gaya dorong yang dihasilkan tergantung pada luas permukaan pembakaran propelan yang ditentukan oleh konfigurasi propelan tersebut. Berbagai jenis konfigurasi propelan ini di antaranya adalah silinder (*hollow*), *wagon wheel* dan bintang (*star*).

c. Nosel

Nosel merupakan bagian dari motor roket yang berfungsi untuk mempercepat gas hasil pembakaran propelan keluar sehingga menghasilkan gaya dorong yang dapat menggerakkan roket ke depan. Profil nosel terdiri dari 3 (tiga) bagian penting yaitu bagian konvergen, kerongkongan (*throat*) dan bagian divergen (*exit cone*). Penyusun struktur nosel dapat terdiri dari bermacam-macam material, seperti baja, aluminium, *ablative materials* (karbon, grafit, silika dan fenolik) serta keramik.

d. *Liner / Inhibitor*.

Temperatur gas yang dihasilkan dari pembakaran propelan pada roket padat dapat mencapai 2000 - 4000 K (Davenas, 1993) sehingga ruang bakarnya perlu dilapisi dengan material penahan panas (*insulating materials*) yang memadai. Pada roket padat, *insulating materials* dapat digolongkan menjadi tiga bagian, yaitu *liner*, *inhibitor* dan *insulator termal*. *Liner* merupakan material yang dibuat dari polimer dan berfungsi sebagai pengikat propelan dengan dinding tabung motor roket. *Inhibitor* dibuat dari material yang sama dengan *liner* tetapi terletak di bagian ujung propelan yang membatasi permukaan pembakaran propelan agar terbakar sesuai dengan yang direncanakan. *Protektor termal* dibuat dari material tahan panas yang berupa *fibre cloth* (serat gelas atau serat karbon) yang terletak di bagian permukaan luar propelan.

e. Igniter

Igniter merupakan komponen motor roket yang berfungsi sebagai pemicu pada pembakaran propelan yang terdiri dari langkai, selongsong (*case*) dan isian. Isian *igniter* terdiri dari 3 (tiga) jenis yaitu inisiator, *booster charge* dan isian utama. Inisiator adalah elemen piroteknik yang dapat mentransmisikan sinyal pembakaran, seperti *shock*, listrik atau cahaya. *Booster charge* merupakan suatu material bubuk, pellet atau propelan mikro yang dapat terbakar menyebarkan nyala ke arah propelan. Isian utama adalah suatu muatan yang berupa bubuk logam, karbon atau oksidator. Penyalaan *igniter* ini berlangsung sangat cepat dalam orde persepuluh detik.

Impuls spesifik (*Isp*) dan rasio massa merupakan parameter yang menentukan kinerja dari suatu roket. Roket dengan rasio massa yang makin besar berarti memuat jumlah propelan yang lebih besar dan struktur roket lebih ringan sehingga dapat meningkatkan kecepatan dan jangkauan tembaknya. Hal ini berarti pula bahwa roket dengan rasio massa yang makin besar akan makin efisien. Guna mendapatkan roket dengan rasio massa yang besar dapat dilakukan dengan mengoptimalkan desain struktur motor roket yang ringan atau menggunakan propelan yang memiliki kerapatan tinggi.

Salah satu ukuran yang menggambarkan rasio massa dari suatu roket adalah fraksi massa (M_f) yang didefinisikan sebagai rasio dari massa propelan terhadap massa total roket (Sarnur, 1966). Massa total dari roket (m_t) adalah jumlah massa dari propelan (m_p), struktur (m_s) dan muatan (m_m). Massa total roket dan fraksi massa dapat dinyatakan dengan persamaan di bawah ini.

$$M_t = m_p + m_s + m_m \dots \dots \dots (1)$$

$$M_f = m_p / M_t = m_p / (m_p + m_s + m_m) \dots \dots \dots (2)$$

Motor roket padat dapat dikelompokkan menjadi dua bagian penting yaitu propelan dan struktur motor roket. Selanjutnya massa struktur motor roket merupakan jumlah dari massa nosel, cap dan *liner / inhibitor*. Berdasarkan hal ini fraksi massa motor roket padat dapat dinyatakan dengan Persamaan 3 seperti di bawah ini.

$$M_{fMR} = m_p / (m_{nb} + m_A + m_n + m_e + m_i) \dots \dots \dots (3)$$

dimana M_{fMR} : fraksi motor roket, m_{nb} : massa tabung, m_n : massa nosel, m_e : massa cap dan m_i : massa *liner/inhibitor*. Besarnya fraksi massa pada roket padat umumnya berkisar antara 0,75 hingga 0,90 (Sutton, 1976).

- 0,529

PERBEDAAN KETIGA MOTOR ROKET YANG DILUNCURKAN

Pada tulisan ini di dalam motor roket yang dilampirkan berupa jenis, bentuk, berat dan dimensi. Tiga komponen motor roket. Komponen tersebut meliputi propelan, tabung motor roket, cap, nosel dan *liner / inhibitor*. Data motor roket RX 150/KT/MPD-P-LPN dapat dilihat pada Tabel 1 sedangkan RX 250/KG/MMK-LPN disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tiga buah roket dengan propelan padat yang telah berhasil diluncurkan oleh LAPAN adalah satu roket RX 150/KT/MPD-P-LPN dan dua roket masing-masing RX 250/KG/MMK-BI-LPN dan RX 250/KG/MMK-B2-LPN. Salah satu prestasi terbang yang berupa jangkauan tempak dari suatu roket akan tergantung dari kinerja motor roket yang dimilikinya. Motor roket yang dapat manual sejumlah besar propelan dan berat struktur yang ringan akan efisien dan dapat meningkatkan kinerjanya. Salah satu besaran yang dapat menggambarkan efisiensi dari suatu motor roket adalah fraksi massa motor roket (MF_{MR}) yang dinyatakan dengan Persamaan 3.

Dua motor roket dari RX 250/KG/MMK-BI-LPN dan RX 250/KG/MMK-B2-LPN dirancang dengan dimensi sama dan tentu saja akan memiliki kinerja yang sama pula. Data motor roket dari ketiga roket yang telah diluncurkan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3. Berdasarkan data pada Tabel 2 dan Tabel 3 diperoleh bahwa pada dua roket jenis RX 250/KG/MMK-LPN terdapat perbedaan dimensi dan berat pada beberapa komponen motor roket. Perbedaan ini terjadi pada data panjang, berat dan diameter luar propelan, diameter dalam dan berat tabung motor roket serta tebal dan berat *liner / inhibitor*. Adanya perbedaan ini tentu saja akan menyebabkan perbedaan besarnya fraksi massa yang pada akhirnya akan menyebabkan efisiensi motor roket yang berbeda pula. Faktor-faktor dominan sebagai penyebab terjadinya perbedaan efisiensi motor roket tersebut yaitu peralatan manufaktur dan cara pengukuran yang berupa kondisi peralatan dan keakuratan pengukuran.

Besarnya efisiensi motor roket yang dinyatakan dengan fraksi massa dapat dihitung menggunakan Persamaan 3. Berdasarkan persamaan tersebut diperoleh hasil sebagai berikut:

- Motor Roket RX 150/KT/MPD-P-LPN
$$MF_{S1R} = \frac{19,6 \text{ kg}}{(19,6 + 13 + 6,1 + 3 + 2,89) \text{ kg}}$$
$$= \frac{19,6 \text{ kg}}{44,59 \text{ kg}}$$
$$= 0,439$$
- Motor Roket RX 250/KG/MMK-BI-LPN
$$MP_{MB} = \frac{168,1 \text{ kg}}{(168,1 + 92 + 27,5 + 19,42) \text{ kg}}$$
$$= \frac{168,1 \text{ kg}}{318,02 \text{ kg}}$$

- Motor Roket RX 250/KG/MMK-B2-LPN
$$MF_{MR} = \frac{168,4 \text{ kg}}{(168,4 + 89,1 + 27,5 + 11 + 18,55) \text{ kg}}$$
$$= \frac{168,4 \text{ kg}}{314,55 \text{ kg}}$$
$$= 0,535$$

Berdasarkan dari perhitungan di atas diperoleh bahwa ketiga motor roket tersebut masih memiliki fraksi massa yang rendah dan belum memenuhi standar roket internasional sesuai dengan literatur yaitu antara 0,75 - 0,90 (Sutton, 1976). Terlihat bahwa motor roket dengan diameter lebih besar lebih efisien ($MF_{MR} = 0,529 - 0,535$) dari pada motor roket dengan diameter kecil ($MF_{MR} = 0,439$). Selain itu terlihat pula bahwa motor roket RX 250/KG/MMK-B2-LPN lebih efisien dari pada RX 250/KG/MMK-BI-LPN.

Material yang digunakan sebagai penyusun motor roket hasil rekayasa LAPAN yang berupa tabung motor roket, cap dan nosel masih terlalu berat sehingga memperkecil efisiensi. Beberapa alternatif yang mungkin dapat dilakukan untuk mengatasi hal ini adalah penggunaan material komposit dan optimalisasi desain motor roket.

PENUTUP

Dibandingkan dengan standar internasional, efisiensi motor roket hasil rekayasa LAPAN masih rendah. Dari ketiga roket yang telah diluncurkan, efisiensi motor roket dengan diameter kecil (RX 150) lebih rendah dari pada motor roket dengan diameter besar (RX 250). Selain itu diperoleh adanya perbedaan efisiensi pada dua motor roket jenis RX 250 dimana RX 250/KG/MMK-B2-LPN lebih efisien dari pada RX 250/KG/MMK-BI-LPN yang disebabkan oleh faktor peralatan manufaktur dan cara pengukuran.

DAFTAR RUJUKAN

- Davenas, Alain, 1993, *"Solid Rocket Propulsion Technology"*. 1st edition, Pergamon Press, Oxford.
- Lubin, George, 1982, *"Epoxy Resins-Handbook of Composites"*, Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Sarner, Stanley F, 1966, *"Propellant Chemistry"*. Reinhold Publishing Corporation, New York.
- Sutton, George P and Ross, Donald M, 1976, *"Rocket Propulsion Elements, An Introduction to The Engineering of Rockets"*, 4th ed, John Wiley and Sons, New York.

Tabel I: DATA MOTOR ROKET RX 150 /KT/MPD-P-LPN

Jenis Data	Komponen Motor Roket				
	Propelan	Tabung Motor Roket	Cap	Nosel	Liner / Inhibitor
Jenis	HTPB	Aluminium paduan	Baja (steel)	Baja / grafit	Epoksi / serat gelas
Konfigurasi Grain	Star 7	-	-	-	-
Jumlah sambungan	Tanpa sambungan	-	-	-	-
Panjang	1198 mm	1368 mm	-	-	-
Diameter dalam	-	141 mm	-	-	-
Diameter luar	139 mm	-	-	-	-
Diameter kerongkongan	-	-	-	50 mm	-
Berat	19,6 kg	13 kg	3 kg	6,1 kg	2,89 kg
Tebal liner / inhibitor	-	-	-	-	11 mm / 15 mm

Tabel 2: DATA MOTOR ROKET RX 250 /KC/MMK-BI-LPN

Jenis Data	Komponen Motor Roket				
	Propelan	Tabung Motor Roket	Cap	Nosel	Liner / Inhibitor
Jenis	HTPB	Aluminium paduan	Baja (steel)	Baja / grafit	Epoksi / serat gelas
Konfigurasi Grain	Konfigurasi Ganda (wagon wheel-cylinder)	-	-	-	-
Jumlah sambungan	2 (duay)	-	-	-	-
Panjang	2790 mm	3000 mm	-	-	-
Diameter dalam	-	260 mm	-	-	-
Diameter luar	244 mm	-	-	-	-
Diameter kerongkongan	-	-	-	102 mm	-
Berat	168,1 kg	92 kg	11 kg	27,5 kg	19,42 kg
Tebal liner / inhibitor	-	-	-	-	14 mm / 20 mm

Tabcl3: DATA MOTOR ROKET RX 250/KG/MMK-B2-LPN

Komponen Motor Roket					
Jenis Data	Propclan	tabung Motor Roket	Cap	Nosel	<i>Liner /Inhibitor</i>
Jenis	HTPB	Aluminium paduan	Ilaja (steel)	Baja / grafit	Epoksi / serat gel as
Konllgurasi Grain	Konllgurasi Ganda (wagon wheel-cylinder)				
Jumlah sambungan	2 (dua)	*	. .	.	"
Panjang	2778 mm	3000 mm	-	.	-
Diameter dalam	-	269 mm	-	-	-
Diamter luar	246 mm	-	-	-	-
Diameter kerongkongan	-	.	.	102 mm	-
Berat	168,4 kg	89,1 kg	11 kg	27,5 kg	18,55 kg
Tebal liner / inhibitor	-	*	.	•	10 mm / 20 mm