

# MENGAMATI PENELITIAN SISTEM PROPULSI PADAT DI LAPAN \*

Wasi Djaka Rachmanta \*\*  
Sri Rukmini Dewi \*\*\*

## INTISARI

Kinerja suatu sistem propulsi/motor roket merupakan fungsi dari berbagai besaran yang saling berkaitan satu sama lain.

Jenis bahan propelan yang baik akan mampu menghasilkan Spesifik Impuls (Isp) yang besar bila ditunjang oleh perhitungan/perancangan dimensi sistem propulsi yang tepat. Hasil uji statik menunjukkan bahwa propelan CTPB / HTPB dengan oksidator Amonium Perkhlorat menghasilkan Isp yang cukup tinggi untuk ukuran propelan padat.

Bahan baku propelan merupakan bahan strategis yang sulit didapatkan di pasaran, maka untuk mengatasinya perlu dilakukan penelitian mengenai pembuatan bahan tersebut.

Konfigurasi *grain* akan mempengaruhi bentuk kurva gaya dorong sebagai fungsi waktu. Hal ini erat hubungannya dengan misi dari roket atau wahana antariksa, maka dibutuhkan penelitian lebih lanjut baik secara simulasi maupun dengan uji statik dan uji terbang.

Semua hasil studi tentang sistem propulsi padat telah disusun dalam Dokumentasi Teknik Pusat Propulsi dan Energetik LAPAN, di samping penelitian / studi tentang sistem propulsi yang lain.

## ABSTRACT

The performance of propulsion system or rocket motor is the function of numerous variable which connect each other.

Good propellant materials will be able to generate high Impulse Specific (Isp) if it's supported by accurate calculation design of propulsion system dimension. The static test result showed that CTPB/HTPB propellant combined with Ammonium Perchlorate oxidizer yielded high enough Isp for solid propellant.

Propellant raw materials are the strategic product that could hardly be found in the free market, as the anticipation, it will need research on processing.

Grain configuration will influence the thrust curve as the function of time; this is tightly engage with the rocket or spacecraft mission. It's need some future research by simulation followed with static and flight test.

All the study of solid propulsion system has arranged on Dokumentasi Teknis Pusat Propulsi dan Energetik LAPAN, besides the study of other propulsion systems.

- 
- \* Dipresentasikan pada Seminar Antariksa Nasional 1995,  
Jakarta, 26 Oktober 1995  
\*\* Kabid. Propulsi Maju, Pusropan, LAPAN  
\*\*\* Peneliti, Pusat Propulsi dan Energetik, LAPAN

## I. PENDAHULUAN

Meskipun dengan peralatan dan fasilitas yang sangat terbatas / kurang memadai, sejak tahun 1978 LAPAN telah mengawali penelitian dalam bidang propelan Padat.

Pada dasarnya pemilihan bahan bakar suatu motor roket akan menyangkut dua hal penting yaitu :

1. Teknologi pembuatan
2. Misi yang diemban / sasaran yang akan dicapai.

Mengingat penanganan / *handling* propelan padat lebih mudah dibandingkan dengan bahan bakar yang lain; konstruksi motor yang sederhana; dana tersedia serta jumlah dan kemampuan sumber daya manusia yang ada maka dipilih Motor Roket Padat sebagai langkah awal penelitian sistem propulsi di LAPAN.

Hal ini dipandang masih cukup relevan guna menunjang kegiatan penelitian / monitor cuaca atau iklim.

Dengan berjalannya waktu telah banyak pengalaman-pengalaman dan kemajuan dalam peningkatan mutu propelan disamping perancangan struktur motor roket yang optimal sehingga dapat menaikkan kinerjanya.

## II. SEKILAS TENTANG PROPELAN PADAT

Propelan padat merupakan bahan plastis dengan komponen penyusun yang terdiri dari oksidator dan reduktor (*fuel*) yang mudah terbakar (tetapi stabil dalam temperatur kamar) dan menghasilkan energi dengan membentuk gas pada temperatur tinggi. Propelan padat dibedakan dalam dua jenis, yaitu :

- Propelan padat HOMOGEN
- Propelan padat KOMPOSIT

### II.1. Propelan Padat Homogen

Propelan padat Homogen adalah propelan padat dengan komponen oksidator dan reduktor yang berada dalam satu molekul. Pada propelan padat homogen *Single base* hanya terdiri dari satu komponen penyusun, misalnya Nitroselulose (Selulosenitrat) ; sedangkan pada propelan padat *Double base* komponen penyusun merupakan campuran, misalnya Nitroselulose dengan Nitrogliserin.

Jenis ini biasanya dipergunakan sebagai bahan bakar roket senjata, roket artileri atau senjata dari darat ke darat. Sejauh ini LAPAN belum pernah membuatnya, karena selain memberikan kecepatan tinggi yang kurang sesuai untuk misi roket penelitian ilmiah, juga mempunyai resiko yang sangat besar dalam pabrikasinya karena merupakan jenis bahan-bahan eksplosif.

## II.2. Propelan Padat Komposit

Propelan padat komposit merupakan komponen yang terdiri dari garam kristal anorganik sebagai oksidator, bahan organik sebagai *fuel binder* dan ditambah unsur logam ( misalnya Aluminium ) sebagai bahan aditif untuk menaikkan nilai kalor.

Bahan oksidator yang banyak dipakai antara lain Amonium Perkhlorat, Nitroselulose. Oksidator harus mempunyai kandungan oksigen yang banyak, enthalpi pembentukan yang tinggi, densitas yang besar, tidak higroskopis serta mempunyai karakteristik pembakaran yang *smooth* pada selang harga tekanan yang luas. Beberapa bahan *fuel* yang sering digunakan adalah Polisulfida, Poliuretan, HTPB, CTPB dengan syarat harus mempunyai sifat mekanik yang baik, elastik, mempunyai kandungan energi yang tinggi dan karakteristik pembakaran yang baik pula.

Propelan jenis komposit inilah yang diteliti, dikembangkan dan dipakai sebagai bahan isian motor roket padat eksperimen di LAPAN saat ini.

## III. BEBERAPA PROPELAN PADAT YANG TELAH DIBUAT LAPAN

Sebenarnya ada beberapa jenis bahan polimer yang dapat dipakai sebagai *fuel binder* untuk propelan padat, namun tidak semuanya pernah dicoba untuk dibuat di LAPAN. Hal ini berkaitan dengan penyediaan bahan baku yang umumnya tidak mudah diperoleh di pasaran.

Beberapa jenis propelan yang telah dibuat di LAPAN ( yang semuanya dengan menggunakan oksidator Amonium Perkhlorat ) adalah :

### III.1. Polisulfida

Polisulfida adalah jenis propelan yang pertama kali dibuat LAPAN dengan bahan baku yang diperoleh dari Thiokol. Bahan ini mempunyai sifat fisis (elastisitas) cukup bagus. Sifat elastis berkaitan erat dengan ketahanan terhadap keretakan dan kemampuan meredam getaran yang ditimbulkan oleh tekanan gas hasil pembakaran. Namun dari segi proses / pabrikan jenis propelan ini memerlukan penanganan yang sangat hati-hati karena sifat bahan bakunya yang beracun. Selain itu gas hasil pembakarannya juga merupakan gas yang berbahaya.

### III.2. Poliurethan

Dalam usaha meningkatkan sifat balistik dari propelan, LAPAN mencoba membuat propelan jenis poliurethan dari bahan Polioliol dan Isosianat . Namun demikian propelan jenis ini mempunyai beberapa sifat fisis yang kurang menguntungkan sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut.

Penggunaan poliurethan umumnya hanya pada misil dari udara ke udara, udara ke darat seperti halnya Exocet buatan Perancis.

### III.3. Polibutadien

Pada saat ini jenis propelan yang sedang dikembangkan baik di LAPAN maupun di beberapa negara spesialis motor roket padat adalah polibutadien. Aplikasi jenis propelan ini terutama pada roket-roket berdiameter besar maupun wahana ruang angkasa yang lain. Propelan jenis polibutadien mempunyai beberapa keunggulan baik ditinjau dari sifat balistik maupun sifat fisisnya diantaranya adalah kemampuan menghasilkan spesifik impuls yang paling tinggi (saat ini) untuk jenis propelan padat.

Berdasarkan gugus-gugus fungsional (*functional groups*) yang diikat pada rantai polimernya, propelan polibutadien dibedakan dalam dua jenis, yaitu:

- CTPB (*Carboxy Terminated Polybutadiene*) yang merupakan rantai polimer dengan gugus fungsi - COOH, dan
- HTPB (*Hydroxy Terminated Polybutadiene*) yang merupakan rantai polimer dengan gugus fungsi - OH.

Sejak tahun 1995 ini LAPAN menitik beratkan penggunaan HTPB pada motor roket padat dan ternyata menunjukkan adanya peningkatan impuls spesifik yang cukup berarti. Impuls spesifik merupakan perbandingan antara gaya dorong dan laju alir massa propelan. Jadi semakin bagus bahan propelan bila ditunjang dengan perancangan motor roket / sistem propulsi yang optimum akan mampu menghasilkan gaya dorong yang besar dengan debit massa yang sekecil-kecilnya. (Tabel III-1 : Data Hasil Uji Statik Motor Roket Tahun 1991-1995).

## IV. TEKNOLOGI PROSES PEMBUATAN PROPELAN PADAT

Methoda pembuatan propelan padat sampai dengan pencetakannya dapat dilakukan dengan dua macam cara, yaitu :

1. *CaseBonded*
2. *Free Standing*

Mengingat fasilitas yang dimiliki saat ini, maka LAPAN memilih cara kedua untuk proses pembuatan propelan padat.

Secara garis besar, tahap-tahap proses pembuatan propelan padat sampai siap untuk dimasukkan kedalam tabung motor roket adalah sebagai berikut :

- Persiapan bahan baku
- Pencampuran (*Mixing*)
- Pencetakan (*Casting*)
- *Coring*
- *Curing*
- *Decorating*
- *Finishin*

## V. USAHA LAPAN UNTUK MEMPELAJARI KEMUNGKINAN PEMBUATAN BAHAN BAKU PROPELAN PADAT

Mengingat roket merupakan salah satu komoditi strategis dari negara-negara maju, tentunya bahan-bahan pendukung untuk industri tersebut akan diawasi secara ketat sehingga semakin sulit mendapatkannya.

Untuk mengantisipasi keadaan tersebut, LAPAN telah membentuk suatu kelompok penelitian yang bekerja sama dengan pihak industri / perguruan tinggi, untuk mempelajari sintesis bahan-bahan yang dapat dipakai sebagai bahan baku propelan padat.

Kerjasama LAPAN dengan PT. Trisaka Klor Alkali Surabaya (1991 sampai dengan 1993) adalah melakukan studi kelayakan / kemungkinan diproduksinya Amonium Perkhlorat (Oksidator Propelan padat) di Indonesia.

Adapun penelitian mengenai *fuel binder* HTPB telah pula dilakukan LAPAN bekerja sama dengan Universitas Gadjah Mada dan Institut Teknologi Indonesia

Sementara itu di Laboratorium LAPAN sendiri juga dilakukan penelitian mengenai bahan-bahan tersebut, sehingga diharapkan pada akhir pelita VI minimal dapat memenuhi kebutuhan bahan baku untuk penelitian propulsi padat di LAPAN.

## VI. KONFIGURASI GRAIN PADA ROKET PADAT

Bentuk geometri dari propelan padat dikenal dengan istilah *grain*. Berbeda dengan sistem propulsi cair, pemilihan *grain* dalam motor roket padat sangatlah penting karena mempengaruhi bentuk kurva gaya dorong sebagai fungsi waktu yang dapat disesuaikan dengan misi roket tersebut.

### VI.1. Grain Silinder Pejal (*Cigarette Burning Grain*)

Pada bentuk ini propelan akan terbakar ke arah horisontal atau yang dikenal dengan *cigarette burning*. Di sini secara teoritis luas permukaan pembakaran konstan (Gaya dorong relatif konstan) dan pada umumnya pembakaran berjalan lambat. Untuk mempercepat pembakaran dapat disisipkan kawat logam pada propelan tersebut karena logam mempunyai daya hantar panas yang tinggi. Penelitian ini juga telah dilakukan di LAPAN dengan menyisipkan kawat perak pada propelan silinder pejal. Jenis grain ini banyak dipergunakan pada roket SOB (*Strap on booster*)

### VI.2. Grain/Silinder Berongga Sederhana (*Tubular Grain*)

Grain ini berbentuk silinder dengan rongga berupa silinder yang konsentris. Pembakaran merambat ke arah radial dengan luas pembakaran yang semakin besar, maka

gaya dorong juga akan bertambah besar dengan waktu. Gaya dorong maksimum akan terjadi justru pada saat akhir waktu pembakaran (Gambar VI-1.1)

### VI.3. Grain Rod Shell

Konfigurasi ini terdiri dari silinder besar berongga yang di dalamnya terdapat silinder pejal dengan diameter yang lebih kecil dari diameter rongga. Pembakaran akan merambat secara radial ke dua arah yang berlawanan, yaitu ke dalam dan ke luar. Luas permukaan pembakaran silinder dalam semakin berkurang, sedang silinder luar akan bertambah luas sehingga jumlah luas permukaan pembakaran hampir konstan, hanya di sini waktu pembakaran (*burning time*) lebih singkat bila dibandingkan grain *Cigarette burning*. Bentuk kurva gaya dorong ditunjukkan pada gambar VI-1.2.

### VI.4. Grain bintang (Star)

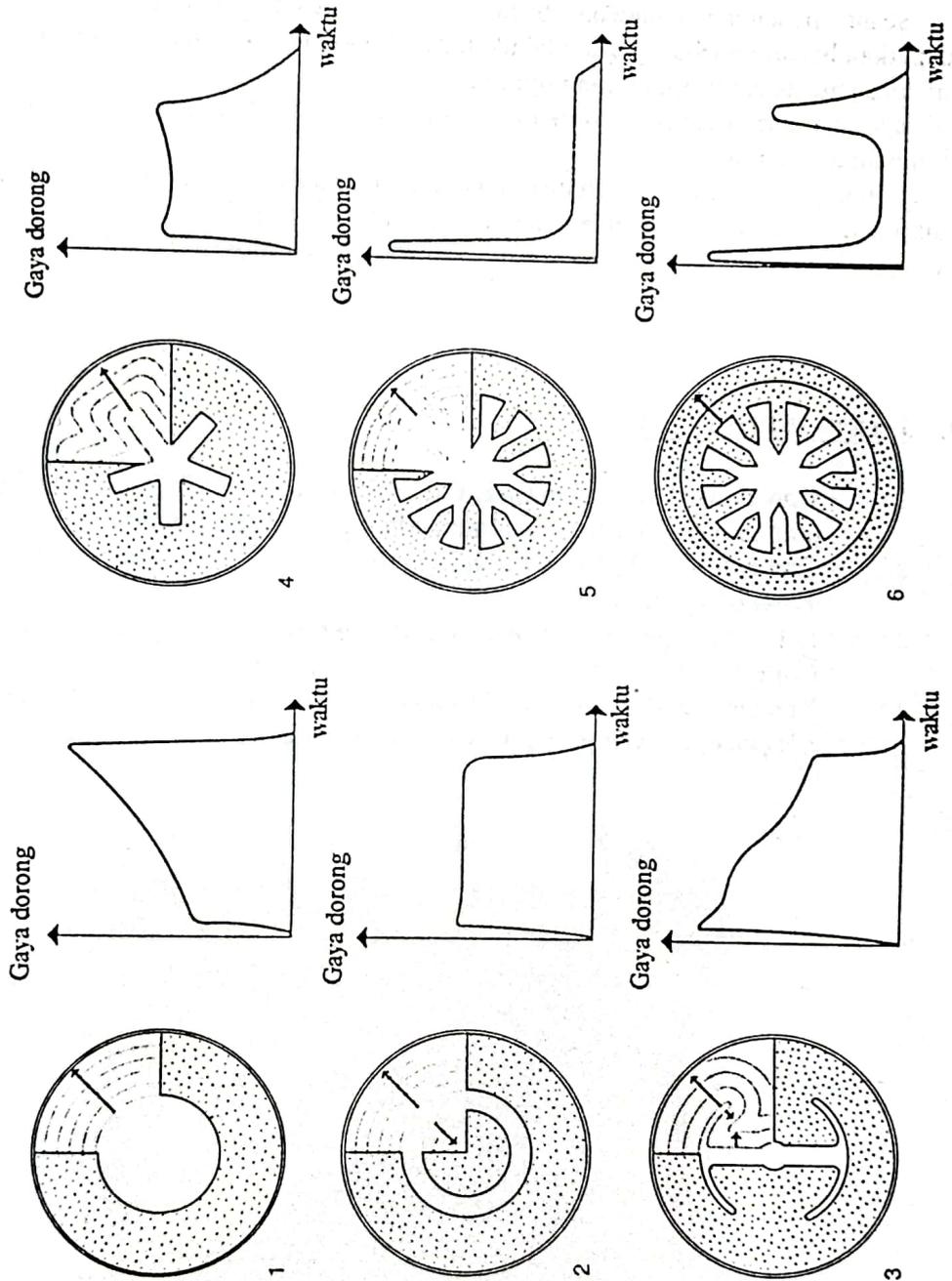
Bentuk inilah yang paling banyak dipakai dalam motor roket. Luas permukaan pembakaran lebih besar dari pada *Tubular grain*. Pembakaran ke arah radial dengan penampang luas permukaan pembakaran mengikuti lekuk bentuk bintangnya. Pada saat awal pembakaran dihasilkan gaya dorong yang sedikit lebih tinggi, demikian juga pada akhir pembakaran karena adanya *grain collapse*. Selama ini motor roket padat LAPAN mempergunakan grain dengan jumlah bintang tujuh. Beberapa studi simulasi / perancangan juga telah dilakukan di LAPAN tentang grain bintang ini, mulai diameter 150 mm, 250 mm sampai 750mm. Kurva gaya dorong sebagai fungsi waktu untuk bentuk konfigurasi ini dapat dilihat pada gambar VI-1.4.

### VI.5. Konfigurasi Wagon Wheel

Untuk suatu misi yang memerlukan gaya dorong besar saat awal seperti pada *booster* dapat dipakai konfigurasi *Wagon Wheel*. Penampang lintang bentuk ini menyerupai roda berjeruji sehingga luas permukaan pada saat awal sangat besar. (Gambar VI-1.5.)

### VI.6. Kombinasi antara Wagon Wheel dengan Tubular Grain

Bentuk ini merupakan kombinasi antara dua macam propelan dengan kecepatan pembakaran yang berbeda. Bentuk *Tubular grain* mempunyai kecepatan pembakaran yang lebih tinggi dari pada bentuk *Wagon Wheel* sehingga pada saat *Tubular Grain* mulai terbakar akan timbul gaya dorong yang besar lagi. Gambar VI-1.6 menunjukkan bentuk kurva gaya dorongnya.



Gambar VI-1: Berbagai Macam *Grain* dan Bentuk Kurva Gaya Dorongnya

## VII. KESIMPULAN

Selain penelitian mengenai bahan baku propelan untuk mengatasi kesulitan mendapatkan bahan tersebut, perlu dilakukan penelitian-penelitian penunjang lain sehingga dihasilkan suatu sistem propulsi yang optimal.

Bila suatu misi telah ditentukan, perlu dipelajari bentuk grain yang paling tepat untuk tujuan tersebut.

Semua penelitian yang telah dilakukan dihimpun dalam suatu dokumen untuk dapat dipelajari agar dapat menentukan langkah lebih lanjut yang terbaik.

## VIII. DAFTAR PUSTAKA

1. Cornelisse, J.W., Schoyer, H.F.R., Wakker, K.F. 1979, *Rocket Propulsion and Spaceflight Dynamic*, Pitman Publishing Ltd., London.
2. Gowariker, V.A, 1977, *Rocket Propellant and Other Chemical for Space Technology*, India.
3. Lubin, George, 1982, *Handbook of Composites*, Van Nostrand Reinhold Company, New York.
4. Villetarte, J.M., 1987. *Les Propulseur a Poudre - Le Grand Atlas de L'espace*, Encyclopaedia Universalis, France.