

Meningkatkan Kecepatan Pembakaran Propelan HTPB/TDI Beraluminium Dengan Penambahan Oksida Logam, Fe_2O_3

Atwirman Syarkawi, Siti Prangili*)

*) Peneliti Pusat Teknologi Wahana Dirganta

ABSTRACT

The addition of aluminum powder, Al as the metallic fuel in HTPB/TDI's solid propellant actually is intended to increase the specific impulse, I_{SP} , however, as the side effect it's could also increasing the burning rate significantly. Unfortunately, the effectiveness of addition is up to around 10~11% only. More than that amounts, the addition of Al will the burning rate of propellant decrease. The prediction of the reasons are because of the propellant become lack of oxidation ability and precipitation/ agglomeration of Al's particles on the surface of propellant grain occurred. So that an experimentation through the simultaneously addition of 1~2% ferric oxide, Fe_2O_3 and variation of Al have been done and got a good enough results.

ABSTRAK

Propelan HTPB/TDI dengan penambahan serbuk aluminium, Al sebagai fuel metalik yang dimaksudkan untuk meningkatkan impuls spesifik I_{SP} , secara signifikan ternyata juga mampu menaikkan laju/kecepatan pembakaran propelan tersebut. Sayangnya, penambahan ini hanya efektif sampai pada tingkat sekitar 10~11%. Di atas harga tersebut, justru akan terjadi hal sebaliknya atau kecepatan pembakaran turun. Hal ini diperkirakan disebabkan akibat penurunan daya oksidasi serta penumpukan partikel-partikel/aglomerasi Al pada permukaan batang propelan. Untuk itu dilakukan penelitian melalui penambahan secara simultan 1~2% oksida logam Fe_2O_3 menyertai variasi-Al sebagai alternatif untuk mengatasinya, dan ternyata hasilnya cukup memadai.

1. PENDAHULUAN

Telah dilakukan beberapa penelitian pembuatan propelan dengan menambahkan aditif yang bertujuan meningkatkan karakteristik produk yang dihasilkan. Seperti diketahui pada pembakaran propelan normal yang hanya mengandalkan stoikiometri fuel dan oksidiser akan menghasilkan kinerja atau impuls spesifik, I_{SP} yang rendah. Untuk mengatasi hal tersebut modifikasi komposisi propelan dilakukan yaitu dengan menambahkan fuel metalik aluminium, Al yang dapat meningkat-

kan entalpi pembakaran sehingga kinerja propelan dapat semakin tinggi.. Disamping itu ternyata Al juga dapat meningkatkan kecepatan pembakaran, r. karena dapat memacu terjadinya mobilitas molekul-molekul sehingga dapat memperluas area permukaan pembakaran ((Fatchan, C, 1977; Saeri, 2000 & Wu Ru-Jau, 1986). Propelan ini lebih dikenal dengan "aluminized propellants".

Sayangnya, dengan penambahan Al ini pada level tertentu akan dapat mengakibatkan turunnya kecepatan pembakaran propelan tersebut. Hal ini

diperkirakan disebabkan oleh adanya pengurangan daya oksidasi serta terjadinya penumpukan partikel-partikel Al di permukaan batang propelan (*propellant grain*). Hal ini terlihat dari hasil penelitian seperti tercantum pada Tabel 4-1 dan Tabel 4-2. Mengacu pada hasil tersebut dilakukan penelitian lanjutan terhadap propelan beralumini-um yang disertai peningkatan penambahan oksida logam Fe_2O_3 , yaitu sebesar 1 dan 2%. Dan propelan ini dikenal dengan *metalized propellants*

Peningkatan penambahan oksida logam Fe_2O_3 menjadi 1 dan 2% serta variasi pengukuran yang dilakukan masing masing pada tekanan 50 dan 60 atm dimaksudkan untuk memaksimalkan hasil yang diperoleh.

2. TEORI

Ada dua aspek penting yang mempengaruhi kecepatan pembakaran propelan yaitu: sifat internal balistik dan konduktivitas termal. dari komposisi bahan yang diformulasikan, khususnya bahan yang bersifat logam atau oksida logam.

2.1. Sifat Internal Balistik

Kecepatan pembakaran propelan, r merupakan salah satu dari sifat internal balistik yang penting dalam sistem propulsi roket. Walaupun sensitivitas kecepatan pembakaran, r adalah terhadap perubahan tekanan, P dan temperatur, T dari ruang bakar motor roket, namun mengingat dominannya perubahan tekanan pengabaian terhadap temperatur dapat dilakukan. Dan, r berdasarkan rumus Saint-Robert/Veille ditetapkan sebagai:

$$r = a(P/1000)^n$$

dengan:

r = laju pembakaran propelan, in/det;

a = konstanta yang bergantung pada jenis/ komposisi

propelan;

n = indeks pembakaran;

p = tekanan motor roket, psia
(1000 psia \approx 70 kg/cm²)

Jenis/komposisi bahan sangat menentukan perubahan kecepatan pembakaran suatu propelan. Hal ini disebabkan oleh:

1. Adanya perbedaan pada tingkat energi aktivasi untuk setiap jenis oksider tertentu yang dipakai;
2. Adanya perbedaan laju dekomposisi termal dari setiap *fuel-binder*;
3. Kesesuaian antara aktivasi termal dari suatu oksidiser bagi terjadinya proses dekomposisi termal pada *fuel-binder*.

2.2. Konduktivitas Termal

Penambahan senyawa yang mengandung unsur logam atau oksida logam ternyata dapat berpengaruh terhadap kecepatan pembakaran propelan. Pengaruh tersebut disamping dapat bersifat memacu (*stimulator*) tapi juga ada yang dapat memperlambat (*suppressor*). Yang dapat memacu kecepatan pembakaran propelan misalnya: Al dan Si (untuk kategori logam), dan untuk oksida logam ialah: Fe_2O_3 , CuO , CC (*cuperchromic*), sementara yang dapat memperlambat kecepatan pembakaran adalah: C_aCO_3 .

Terjadinya percepatan pada laju pembakaran propelan dimungkinkan oleh adanya aksi pemindahan panas atau *trasfering heat* dan melalui efek '*inert heating*' serta '*heat sink*' partikel-partikel oksida logam atau aglomerasinya yang dapat membantu menyedot energi dari sumber nyala oksidiser/*fuel-binder*.

3. PENELITIAN

3.1. Metodologi

Seperti biasanya penelitian di laboratorium komposisi dasar propelan dilakukan terhadap propelan yang

dibuat dengan metoda K-Round yang di proses secara 'batch system'.

Untuk pengujian dilakukan di laboratorium uji kualitas/mutu propelan dengan menggunakan alat 'strand burner' dalam rangka mengetahui kecepatan pembakaran propelan tersebut.

3.2. Bahan dan Alat yang Digunakan

3.2.1. Bahan-bahan

Bahan dengan berat total 3 kg terdiri dari:

- Komponen cair: HTPB sebagai fuel basis dan TDI sebagai fuel kuratif;
- Komponen padat: Sebagai oksidiser adalah: AP_{kasar} (ukuran: -50+80mesh dan AP_{halus} (ukuran: -180+200mesh) dengan perbandingan 1 : 2. Sementara serbuk aluminium, Al dan oksida besi Fe₂O₃, masing masing dipakai sebagai fuel metalik dan additip pemacu kecepatan pembakaran propelan.

3.2.2. Alat

Adapun peralatan yang digunakan terdiri dari alat utama: mixer/pencampur yang dilengkapi sistem pemanas, dan vakum casting; alat penunjang: ayakan, serta alat-alat ukur: timbangan, termometer, *viscotester*, *hardness tester*, alat uji strand burner.

3.3. Pengerjaan

- 3.3.1. Cara kerja: dilakukan sesuai dengan prosedur dan standar kerja laboratorium komposisi dasar propelan.
- 3.3.2. Pengujian: dilakukan oleh tim uji mutu di laboratorium pengujian sifat-sifat fisik/ mekanik dan balistik propelan.

4. HASIL dan PEMBAHASAN

Seperti telah disebutkan bahwa, kecepatan pembakaran propelan, r berkaitan erat dengan aspek internal balistik dan aspek konduktivitas. Adanya unsur logam dan/atau oksida logam akan mempengaruhi kedua aspek diatas. Hal ini terlihat dari serangkaian hasil-hasil penelitian seperti ditunjukkan pada Tabel 4-1, 4-2, dan 4-3 dan selanjutnya dibahas seperti berikut ini.

Dari Tabel 4-1 dan Tabel 4-2 terlihat bahwa baik perubahan tekanan maupun variasi %Al dan %Fe₂O₃ dapat menstimulasi laju/ kecepatan pembakaran propelan. Namun dibandingkan dengan variasi %Al, variasi %Fe₂O₃ terlihat lebih efektif. Dengan sedikit perubahan %Fe₂O₃ yakni 0,11 sampai dengan 0,47 sudah dapat menaikkan kecepatan pembakaran propelan secara signifikan (dari 0,4300 menjadi 0,7200cm/det). Melihat kenyataan tersebut maka dilakukan maksimalisasi peningkatan penambahan terhadap persentase Fe₂O₃: 1~2%.

Disamping itu, pada Tabel 4-1 terlihat pula bahwa kecepatan pembakaran propelan maksimum adalah pada penambahan 11%Al. Dibandingkan dengan hasil pada Tabel 4-3 dimana kecepatan pembakaran maksimum adalah pada 12,5%Al untuk Fe₂O₃=1% dan 10%Al untuk Fe₂O₃=2%, hal ini merupakan gejala kontra indikatif yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan komposisi tersebut. Namun berdasarkan pertimbangan pemrosesan baik *mixing* maupun *casting* maka penambahan Al sebanyak 12,5%, terlihat sulit untuk dilaksanakan akibat campuran propelan yang semakin kental disamping faktor yang telah diuraikan di atas yakni terjadinya pengurangan daya oksidasi serta kecenderungan terjadinya penumpukan partikel partikel Al di permukaan propelan (*propellant grain*). Hal ini dimungkinkan karena Al yang ditambahkan adalah berupa serbuk yang bila dibandingkan dengan oksidiser secara

fisis lebih sukar terikat secara homogen oleh fuel binder.

Pada propelan yang ditambahkan Fe_2O_3 (*ferric oxide*) yakni oksida besi bervalensi tinggi, dalam proses pembakaran propelan tersebut maka oksida besi ini akan mengalami reaksi redoks. Artinya terjadi pelepasan oksigen yang otomatis dapat membantu kelancaran kesempurnaan pembakaran fuel binder. Dengan demikian kasus berkurangnya daya oksidasi seperti pada penambahan variasi Al dapat dihindarkan. Sementara itu akan terbentuk pula partikel-partikel oksida besi bervalensi rendah yang berpotensi sebagai konduktivitas panas seperti telah diuraikan di atas. Berdasarkan kenyataan ini maka pemakaian oksida logam sebagai pemacu kecepatan pembakaran propelan lebih baik dibandingkan dengan hanya mengandalkan fuel metalik aluminium Al.

5. KESIMPULAN

1. Dalam rangka peningkatan kecepatan pembakaran propelan padat komposit HTPB/TDI maka melalui modifikasi komposisi dilakukan penambahan fuel metalik Al dengan batas maksimum sebesar 11%;
2. Untuk lebih meningkatkan lagi kecepatan pembakaran propelan tersebut dapat dilakukan penambahan oksida logam Fe_2O_3 ;
3. Signifikansi pengaruh maksimum penambahan Fe_2O_3 dalam menstimulasi kecepatan pembakaran propelan HTPB/TDI adalah pada komposisi: Al = 10% dan Fe_2O_3 = 2%; namun untuk memenuhi isian padat (*solid content adjustment*) 80% disarankan komposisi Al dan Fe_2O_3 masing-masing adalah 10 dan 1%.

DAFTAR RUJUKAN

- Fatchan, C., Siti Prangili, 1998,: Pengaruh perubahan kandungan aluminium pada kecepatan bakar propelan dasar polibutadien (HTPB), *Warta Lapan* thn.ke XXI, No.54.
- Fatchan, C., Atwirman S., Henny S., dan Siti Prangili, 1997: Pengaruh penambahan Fe_2O_3 terhadap kecepatan pembakaran propelan komposit poliuretan, *Proceeding Siptekgan, Lapan-Rumpin*.
- Kit, B., and Douglas, S.E., 1960: *Rocket Propellant Handbook*, The Macmillan Co., New York; Brett Macmillan Ltd., Galt, Ontario.
- Saeri, Dwi Wahyuni, 2000,: Pengaruh penanaman kawat logam pada propelan padat terhadap temperatur tabung roket, *Majalah Lapan*, vol.2, No.1, pp. 8-9.
- Syarkawi, A., Henny S., 2000,: Analisis kecepatan pembakaran propelan HTPB/IPDI dengan variasi penambahan persentase aluminium, *Majalah Lapan*, vol.2, No.1, pp.39-40.
- Wu Ru-Jau, and An-lu Leu, 1986,: *Formulation effects on burning rate of aluminized solid propellants*, Chung Cheng Institute of Technology, Tachi, Taiwan, China.

LAMPIRAN

Tabel 4-1: KECEPATAN PEMBAKARAN, R (CM/DET) DARI PROPELAN HTPB/TDI DENGAN VARIASI AL PADA BERBAGAI TEKANAN

No.	% Al	Kecepatan Pembakaran, r (cm/det)		
		P=1 atm	P=30 atm	P=50 atm
1.	9	0,1990	0,5397	0,7733
2.	11	0,2080	0,7563	1,1333
3.	13	0,2500	0,5547	0,7667
4.	15	0,2550	0,5440	0,7467

Tabel 4-2: KECEPATAN PEMBAKARAN, R (CM/DET) DARI PROPELAN POLIURETAN 4% AL DENGAN VARIASI Fe_2O_3 PADA BERBAGAI TEKANAN

No.	% Fe_2O_3	Tekanan (kg/cm ²)	Kecepatan Pembakaran r (cm/det)
1.	0,00	30,00	0,3200
2.	0,11	34,50	0,4300
3.	0,23	38,75	0,5400
4.	0,35	43,50	0,6300
5.	0,47	48,75	0,7200

Tabel 4-3: KECEPATAN PEMBAKARAN, R (CM/DET) PROPELAN HTPB/TDI BERALUMINIUM DENGAN 1% DAN 2% Fe_2O_3

No.	Tekanan (atm)	% Al ($Fe_2O_3=1%$)			No.	Tekanan (atm)	% Al ($Fe_2O_3=2%$)		
		7,5	10,0	12,5			7,5	10,0	12,5
1.	50	0,6600	0,8525	0,9125	1.	50	0,8150	0,9600	0,8385
2.	60	0,8230	1,0125	1,1712	2.	60	0,8570	1,3060	1,1500