

SIFAT MEKANIK PROPELAN PADAT POLIBUTADIEN-HTPB DENGAN BERBAGAI ADITIF

Oleh : Sutrisno*

ABSTRAK

Propelan padat tersusun atas dua komponen utama yaitu : senyawa organik (fuel) dan garam-garam perklorat (oksidator). Bahan-bahan lain (aditif) sering ditambahkan untuk memperoleh sifat-sifat yang dikehendaki. Adanya aditif akan merubah sifat-sifat propelan, antara lain adalah sifat mekaniknya.

Empat sampel propelan dengan berbagai aditif dan satu sampel tanpa aditif dibuat kemudian sifat mekaniknya diuji. Aditif yang digunakan berupa serbuk aluminium (Al), magnesium (Mg), besi (Fe) dan zink (Zn) sedangkan pengujian yang dilakukan berupa uji kuat tarik dan kekerasan. Hasil uji menunjukkan bahwa sifat mekanik propelan memungkat dengan adanya aditif.

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan fuel/binder propelan, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) telah berhasil mengembangkan tiga macam propelan padat yaitu: polisulfid, poliuretan dan polibutadien-HTPB. Jenis yang terakhir merupakan propelan yang banyak dikembangkan oleh LAPAN saat ini karena lebih energetik dibanding dua jenis yang lain^[1]. Komponen utama dari propelan polibutadien-HTPB adalah: senyawa HTPB dan TDI (sebagai fuel) dan ammonium perklorat (sebagai oksidator). Propelan ini membentuk suatu sistem komposit karena oksidator yang berupa butiran partikel padat terikat dalam suatu matriks/binder yang berfungsi sebagai fuel. Selain komponen utama tersebut sering ditambahkan bahan-bahan lain (aditif) untuk mendapatkan sifat-sifat yang dikehendaki seperti: sifat mekanik, laju pembakaran, impuls spesifik (Isp) dan lain-lain.

Sifat mekanik propelan merupakan salah satu sifat yang harus diketahui pada setiap propelan padat yang telah dihasilkan. Di dalam operasinya suatu propelan padat akan mengalami berbagai beban lingkungan, di antaranya adalah: vibrasi, tekanan pembakaran dan percepatan. Apabila suatu propelan memiliki sifat mekanik yang lemah, misalnya mengalami gagal atau patah akibat beban-beban tersebut, maka pembakarannya tidak akan terkontrol lagi. Hal ini akan menyebabkan timbulnya tekanan dari gas hasil pembakaran yang mendadak di luar perencanaan sehingga roket bisa meledak. Selain itu, sebelum diluncurkan propelan mengalami proses penanganan (*handling*) seperti transportasi dan perakitan (*assembling*) yang mungkin bisa merusakkan propelan tersebut. Oleh karena itu suatu propelan dikehendaki memiliki sifat mekanik yang cukup memadai.

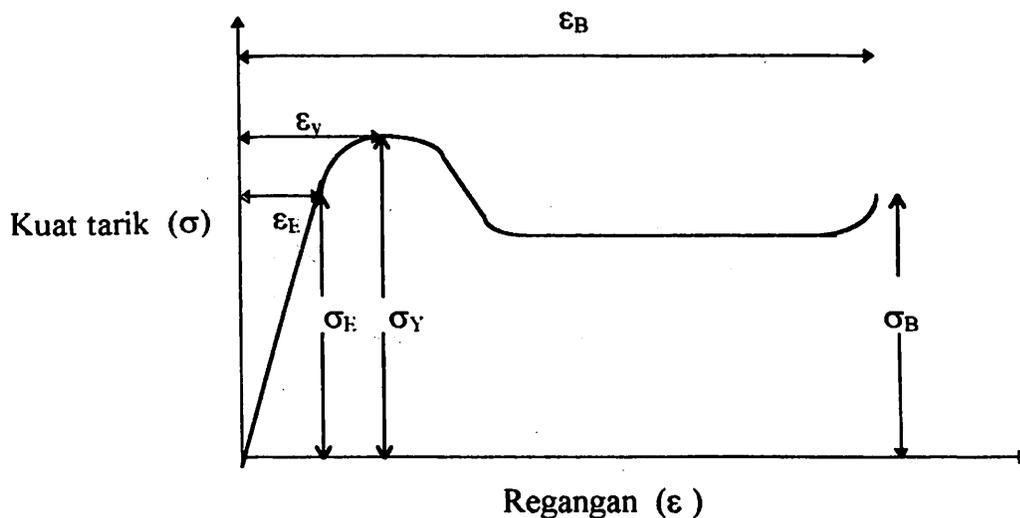
Pada tulisan ini akan disajikan hasil penelitian pengaruh penambahan logam-logam aditif, yang berupa: serbuk aluminium (Al), magnesium (Mg), besi (Fe) dan zink (Zn), terhadap sifat-sifat mekanik propelan. Pengujian yang dilakukan berupa uji tarik dan kekerasan.

* Staf Peneliti Bid. Propelan - Puspropen -LAPAN

2. SIFAT MEKANIK PROPELAN

Pengujian sifat mekanik dimaksudkan untuk memperkirakan kekuatan struktural di dalam batang propelan terhadap deformasi oleh gaya yang dikenakan. Salah satu uji sifat mekanik yang dilakukan adalah uji tarik uniaksial dengan metode sampel JANAF (Joint - Army - Navy - Air - Force). Pada uji ini batang uji dengan panjang L_0 dikenai gaya longitudinal sehingga panjang akhir menjadi L . Besarnya gaya persatuan luas penampang lintang spesimen disebut kuat tarik (σ). Sedangkan prosentase pertambahan panjang $(L-L_0)/L_0$ atau $\Delta L/L_0$ disebut regangan (ϵ). Bagi material yang elastis, homogen dan isotropik, hubungan antara kuat tarik dan regangan akan mengikuti hukum Hooke sesuai dengan persamaan $\sigma = E \epsilon$, dimana apabila dibuat kurva antara kuat tarik dan regangan akan diperoleh kemiringan (slope) sebesar E yang disebut Modulus Young.

Dalam uji kuat tarik propelan (polimer yang mengandung isian), bentuk kurva tersebut akan nampak seperti Gambar 2.1. di bawah ini. Daerah elastis dibatasi oleh koordinat (ϵ_E, σ_E) . Pada propelan (polimer dengan isian), titik tersebut menunjukkan terjadinya pemecahan ikatan antara permukaan binder dengan bahan padat (isian). Apabila regangan bertambah, kurva akan melewati titik kuat tarik maksimum (*yield point*, σ_Y) selanjutnya keadaan tidak elastis lagi. Pada titik ini akan terjadi aliran *viscous* dan regangan bertambah secara cepat dengan sedikit atau tanpa kenaikan kuat tarik dan akhirnya putus.



Gambar 2.1 Hubungan kuat tarik dan regangan pada propelan^[2].

Pada propelan komposit partikel-partikel oksidator dan logam-logam aditif terikat dalam suatu bahan pengikat organik yang fleksibel berfungsi sebagai fuel. Propelan padat merupakan material isotropik dalam arti sifat mekaniknya sama di setiap titik tidak tergantung pada orientasi beban gaya dan dianggap homogen. Kekuatan dari propelan merupakan perpaduan antara sifat mekanik fuel/binder dan fillernya (oksidator dan aditif). Selain uji tarik, sering dilakukan juga uji kekerasan propelan. Kekerasan propelan menunjukkan ketahanan permukaan material itu untuk melawan gaya deformasi plastis yang biasanya diukur dengan rubber hardness tester (dengan skala Shore).

3. PERCOBAAN

Percobaan pada penelitian ini terdiri dari dua bagian yaitu: pembuatan sampel serta uji kuat tarik dan kekerasan. Pembuatan sampel dilakukan dengan prosedur yang sudah ada (berdasarkan Dokumentasi Teknik Proses Pembuatan Propelan HTPB oleh Bidang Propelan - Pusat Propulsi dan Energetik - LAPAN).

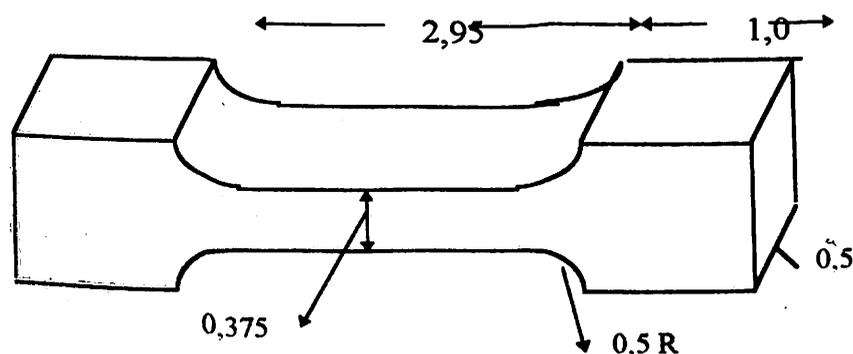
3.1 Pembuatan Sampel Propelan

Sampel propelan sebanyak 3000 gram dibuat dengan komposisi:

- Fuel : HTPB (BM: 2800 gram/mol) = 19 % (bagian berat)
TDI (BM: 174 gram/mol) = 1 %
- Oksidator : AP (NH_4ClO_4) yang terdiri dari:
- AP kasar (diayak lolos 60 mesh dan tertahan 80 mesh) : 45,60 %
- AP halus (diayak lolos 100 mesh dan tertahan 200 mesh): 30,40 %
- Aditif : serbuk metal produksi Merck yang berupa : Al, Mg, Fe dan Zn masing-masing aditif digunakan sebanyak 4 % dengan ukuran partikel sebagai berikut:
- Al : 0,04 - 0,12 mm - Fe : $\pm 0,15$ mm
- Mg: 0,16 - 0,30 mm - Zn : < 0,06 mm

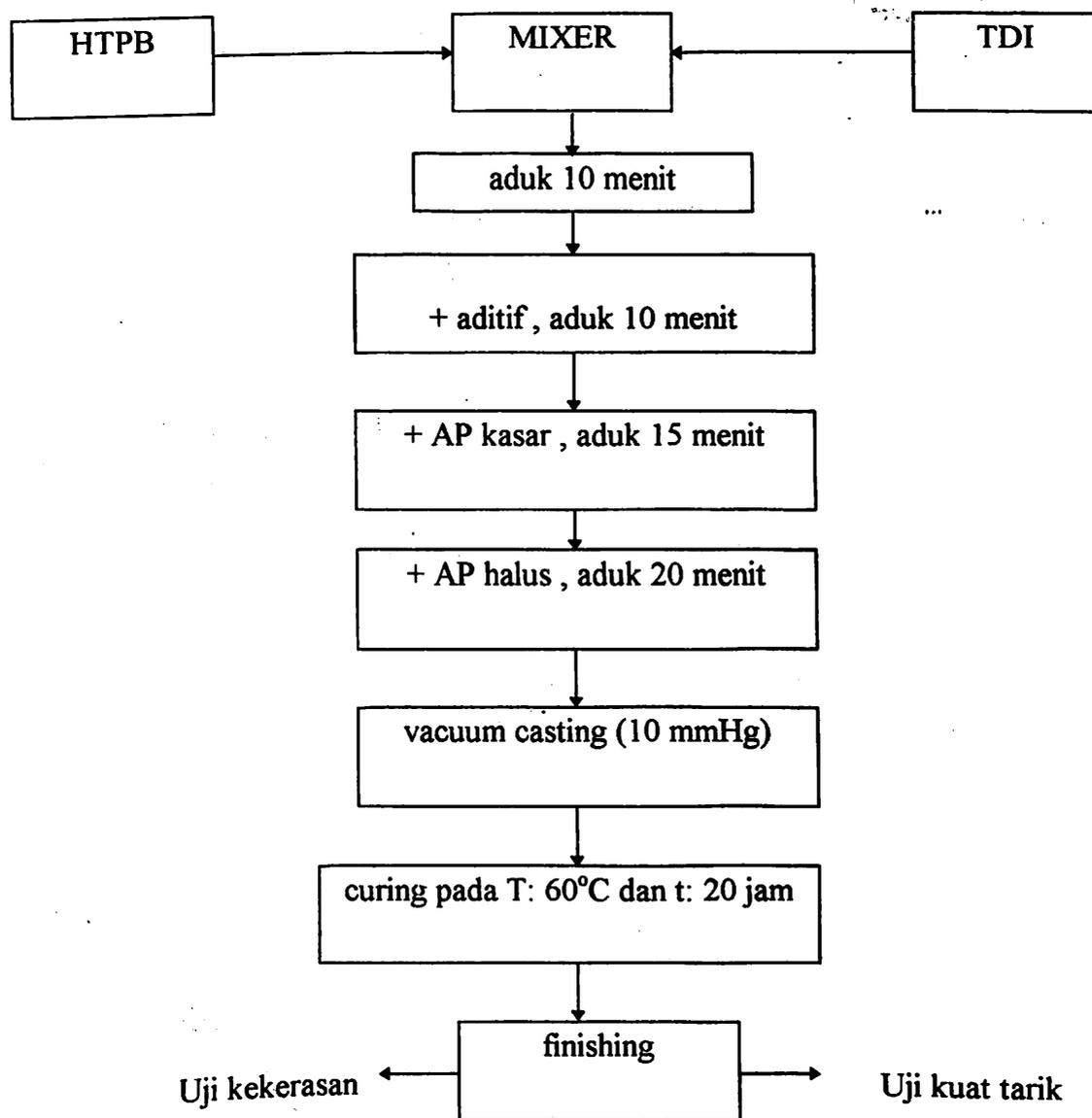
3.2 Uji Kuat Tarik dan Kekerasan Propelan

Kuat tarik diuji secara uniaksial dengan model sampel JANAF. Bentuk sampel uji adalah seperti digambarkan pada Gambar 3.1. Pengujian dilakukan dengan mesin uji TENSILON /UTM-III-100 dengan beban tarik: 20 kg, kecepatan tarik: 20 mm/menit, dan kecepatan kertas grafik: 500 mm/menit. Kekerasan diukur dengan Durotometer Type A dengan skala Shore (ASTM D 2240). Pada uji ini permukaan sampel ditekan dengan alat tersebut pada posisi mendatar. Angka pada posisi jarum penunjukan pada alat tersebut merupakan kekerasan sampel.



Gambar 3.1 Sampel uji kuat tarik propelan^[3].

Diagram blok percobaan dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini:



Gambar 3.2. Proses pembuatan sampel propelan.

4. HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

Pada percobaan ini dibuat lima buah sampel propelan seperti terlihat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tbel 4.1 Jenis sampel propelan

No.	Jenis sampel	Keterangan
1.	A	Propelan tanpa aditif
2.	B	Propelan dengan aditif Al
3.	C	Propelan dengan aditif Mg
4.	D	Propelan dengan aditif Fe
5.	E	Propelan dengan aditif Zn

4.1. Hasil Percobaan

Hasil uji kuat tarik dan kekerasan propelan berturut-turut disajikan pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.2. Kuat tarik, regangan dan modulus propelan.

No.	Kode Sampel	Kuat Tarik (kg/cm ²)	Regangan (%)	Modulus (kg/cm ²)
1.	A	2,01 (± 4,73 %)	12,26 (± 6,52 %)	532,50 (± 1,15 %)
2.	B	3,51 (± 4,85 %)	17,83 (± 8,14 %)	616,70 (± 5,4 %)
3.	C	3,10 (± 6,74 %)	17,51 (± 5,65 %)	641,70 (± 1,49 %)
4.	D	3,62 (± 5,76 %)	17,96 (± 8,30 %)	525,00 (± 2,55 %)
5.	E	3,98 (± 6,65 %)	21,17 (± 8,49 %)	687,50 (± 3,47 %)

Tabel 4.3. Kekerasan propelan.

No.	Kode Sampel	Kekerasan (Shore A)	Keterangan
1.	A	64 (± 3,1 %)	Tanpa aditif
2.	B	68 (± 3,2 %)	Aditif: Al
3.	C	67 (± 2,8 %)	Aditif: Mg
4.	D	69 (± 2,9 %)	Aditif: Fe
5.	E	72 (± 5,4 %)	Aditif: Zn

4.2 pembahasan

Data kuat tarik , regangan (elongasi) dan modulus propelan disajikan pada Tabel 4.2. Dari data tersebut terlihat bahwa adanya aditif akan meningkatkan kuat tarik dan regangan propelan antara 1,5 hingga 2 kali dibanding tanpa aditif, sedangkan modulusnya bervariasi.

Secara teori kuat tarik propelan akan meningkat dengan meningkatnya kuat tarik aditif. Selain itu makin kecil ukuran partikel aditif juga akan meningkatkan kuat tarik propelan tersebut. Hal ini dikarenakan makin kecil ukuran partikel akan menyebabkan luas permukaan bidang kontak antar partikel semakin besar, sehingga jika ditarik sulit untuk bergeser. Pada penelitian ini aditif yang digunakan diperoleh dari pasaran dan memiliki ukuran partikel yang berlainan sehingga pengaruh berbagai aditif terhadap kuat tarik propelan tidak menunjukkan kecenderungan tersebut. Pengaruh aditif terhadap kuat tarik propelan dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini.

Kekerasan propelan diukur dengan alat Durotometer Type A (ASTM 2240). Data kekerasan propelan disajikan dengan Tabel 4.3 pada hasil percobaan dan mempunyai

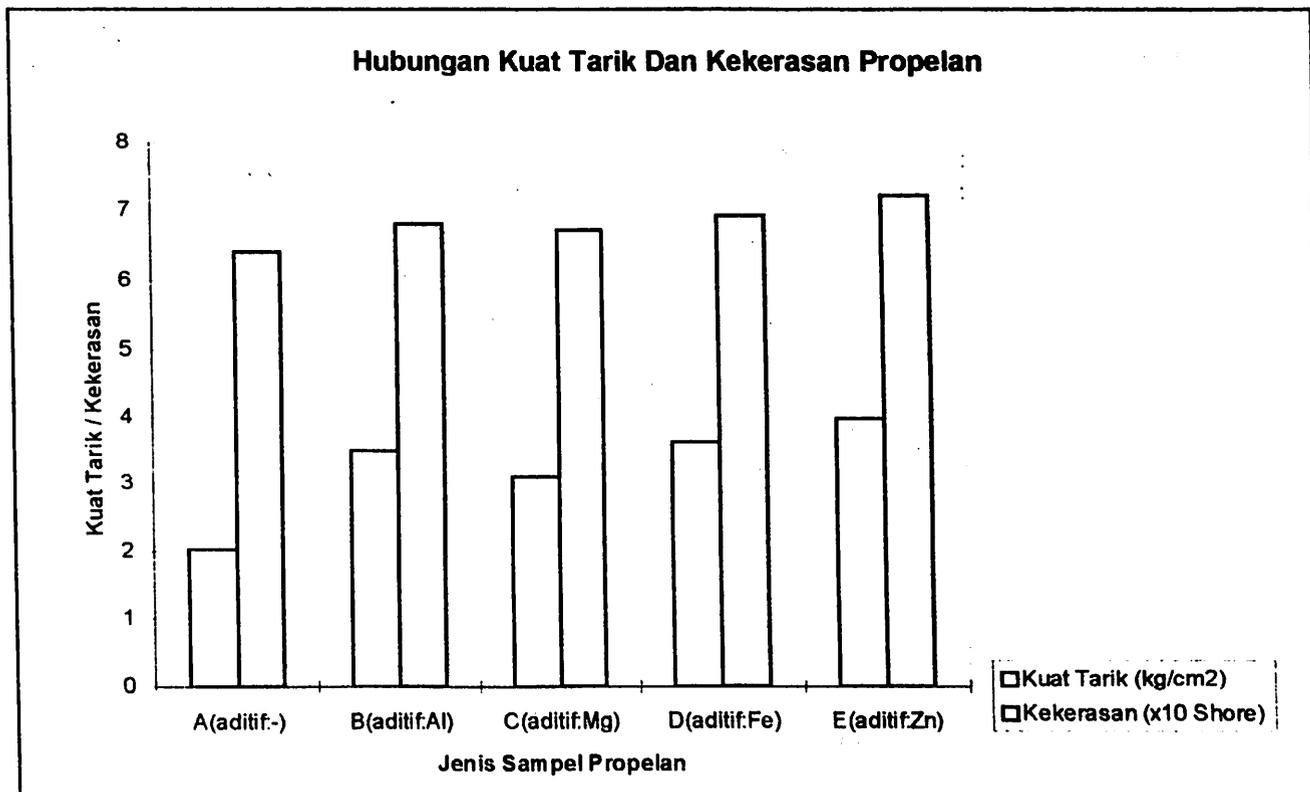
kecenderungan yang mirip dengan kuat tariknya. Hubungan kuat tarik dengan kekerasan propelan dapat dilihat pada Grafik 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.4 Pengaruh aditif terhadap kuat tarik propelan

No.	Sampel	Jenis Aditif	Kuat Tarik Aditif (kg/cm ² *)	Ukuran Partikel Aditif (mm)	Kuat Tarik Propelan (kg/cm ²)
1.	A	-	-	-	2,01
2.	B	Al	493,80	0,04 - 0,012	3,51
3.	C	Mg	1590,91	0,06 - 0,30	3,10
4.	D	Fe	2231,41	± 0,15	3,62
5.	E	Zn	11157,05	< 0,06	3,98

*) Kuat tarik yang dianil ^[3].

Dari Grafik 4.1 dapat dilihat bahwa kekerasan propelan meningkat dengan bertambahnya kuat tarik. Hal ini dapat diterangkan bahwa pada dasarnya kuat tarik merupakan tegangan maksimum yang dialami oleh material pada deformasi plastis, sedangkan kekerasan merupakan ketahanan dari lapisan permukaan material untuk melawan deformasi plastis sehingga kedua sifat tersebut mempunyai kecenderungan yang sama.



Grafik 4.1. Hubungan kuat tarik dan kekerasan propelan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang dilakukan di atas dapat disimpulkan bahwa:

1. Dibandingkan dengan propelan tanpa aditif, adanya aditif yang berupa serbuk logam: Al, Mg, Fe dan Zn, akan meningkatkan kuat tarik dan kekerasan propelan
2. Makin besar kuat tarik bahan aditif, akan memperbesar kuat tarik propelan. Selain itu kuat tarik propelan juga meningkat dengan menurunnya ukuran partikel aditif.
3. Kekerasan propelan meningkat sejalan dengan naiknya kuat tarik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kirk-Othmer, 1980, *Propellant, Encyclopaedia of Chemicals Technology*, 3rd ed, John Wiley & Sons, New York.
2. Stanley F. Sarner, 1966, *Propellant Chemistry*, Reinhold Publishing Corporation, New York.
3. Sukh Dev Sehgal, 1975, *Materials-Their Nature Properties and Fabrication*, 2nd ed, S.Chand & Co, New Delhi.
4. George P. Sutton and Donald M. Ross, 1976, *Rocket Propulsion Elements*, Fourth edition, John Wiley & Sons, New York.
5. Robert M. Jones, 1975, *Mechanics of Composite Materials*, Mc Graw Hill - Kogakusha, Ltd, Tokyo.