

# PROPELAN PADAT KOMPOSIT

Dwi Setyaningsih  
Peneliti Pusat Teknologi Wahana Dirgantara. LAPAN

## RINGKASAN

Propelan padat komposit terdiri dari komponen utama dan komponen aditif yang dilambangkan untuk mendapatkan karakteristik propelan tertentu dan meningkatkan performa propelan. Komponen penyusun utama adalah *fuel-binder* dengan pasangannya *curing agent* yang akan bereaksi membentuk rantai tiga dimensi dan oksidator. Sedangkan yang termasuk aditif berdasarkan fungsinya adalah *metal fuel*, *bonding agent*, *plasticizer*, dan *burning rate modifier*.

## 1 PENDAHULUAN

Propelan adalah bahan bakar atau sumber tenaga suatu mesin roket. Bahan bakar tersebut terdiri dari bahan-bahan utama (*fuel* dan oksidator) serta bahan aditif, yang mengubah tenaga potensial yang dimiliki menjadi tenaga kinetik saat terjadinya reaksi pembakaran di dalam tabung roket. Tenaga kinetik ini berupa gaya dorong yang menggerakkan roket ke depan. Besarnya gaya dorong dipengaruhi oleh komposisi komponen-komponen penyusun propelan.

Berdasarkan bentuknya, propelan terdiri dari dua macam, yaitu propelan padat dan propelan cair. Propelan padat terdiri dari propelan homogen dan propelan heterogen. Propelan homogen adalah propelan dimana tiap molekulnya sudah mengandung *fuel* dan oksidator yang cukup untuk terjadinya reaksi pembakaran. Sedangkan propelan heterogen yaitu propelan dengan *fuel* dan oksidator berada dalam keadaan terpisah dan baru bercampur dalam ruang pembakaran. Yang termasuk dalam propelan homogen adalah propelan *double base*. Salah satu contoh dari propelan heterogen adalah propelan padat komposit. Tulisan ini akan memaparkan tentang komponen-komponen penyusun propelan padat komposit.

## 2. KOMPONEN UTAMA PENYUSUN PROPELAN PADAT KOMPOSIT

Komponen utama penyusun propelan padat komposit adalah *fuel* dan oksidator.

### 2.1 *Fuel*

Propelan padat komposit terdiri dari komponen cair (*fuel*) dan komponen padat (oksidator dan aditif). Agar *fuel* ini bisa memadat dan mengikat oksidator serta aditif, perlu ditambahkan suatu komponen cair lainnya yang dinamakan *curing agent*. Pada dasarnya, perubahan *fuel* dari cair menjadi padat adalah suatu reaksi kimia, dimana molekul-molekulnya membentuk jaringan tiga dimensi. Reaksi pemadatan ini memerlukan waktu yang cukup lama sehingga komponen padat masih leluasa dicampurkan ke dalam *fuel* tersebut. *Fuel* yang digunakan biasanya dari jenis plastik, resin, atau elastomer. *Fuel* sering disebut sebagai *wel-binder* karena mampu mengikat komponen padat. Sifat atau karakteristik dari hasil reaksi antara *fuel-binder* dengan *curing agent* ditentukan oleh perbandingan atau rasio antara *fuel-binder* dengan *curing agent* dan nantinya akan sangat mempengaruhi sifat mekanik propelan yang dihasilkan. Masing-masing pasangan *fuel-binder* dengan *curing agent* mempunyai rasio optimal yang berbeda. Bahan-bahan yang sering digunakan sebagai *fuel-binder* pada pembuatan propelan padat komposit adalah senyawa polybutadiene, polyether, polyester, dan polypropylene. *Curing agent* yang banyak digunakan adalah IPDI (*Iso Phorone Di hocyanate*), TDI (*Toluene Di Isocyanate*), MAPO, dan Epon.

### 2.2 Oksidator

Oksidator berfungsi sebagai sumber oksigen. Syarat dari oksidator adalah senyawa yang stabil serta mempunyai kandungan oksigen

yang mencukupi untuk terjadinya reaksi pembakaran dengan panas pembakaran yang maksimum. Beberapa contoh oksidator adalah :

- Natrium dan Kalium Nitrat

Kedua bahan ini bersifat higroskopis dan menghasilkan asap yang tebal saat pembakaran propelan sehingga tidak banyak digunakan

- Amonium Nitrat

Amonium Nitrat termasuk bahan yang mudah diperoleh dan cukup murah. Pada saat pembakaran propelan, asap yang ditimbulkan tidak banyak dan tidak beracun. Namun karena potensi pengoksidasinya rendah sehingga impuls spesifik yang dihasilkan rendah, maka bahan ini juga tidak banyak digunakan. Kelemahan lainnya, bahan ini mempunyai 5 bentuk kristal dengan suhu transisi tertentu. Ada satu suhu transisi yang berada pada kisaran suhu kamar, yaitu 32,1 °C. Pada suhu transisi tersebut, kristal Amonium Nitrat akan berubah bentuk dengan melakukan ekspansi yang cukup besar dan akibatnya batang propelan akan retak,

- Kalium dan Natrium Perklorat

Kedua bahan ini merupakan oksidator yang dipakai pertama kali untuk pembuatan propelan padat komposit karena potensi pengoksidasinya tinggi serta hanya memiliki satu bentuk kristal. Namun saat ini sudah tidak banyak dipakai karena pada pembakarannya menghasilkan asap yang tebal dan selalu menghasilkan HCl dan senyawa klorida lainnya yang bersifat sangat korosif dan beracun.

- Amonium Perklorat

Berbeda dengan Kalium dan Natrium perklorat, bahan ini lebih stabil tidak menghasilkan asap yang tebal saat pembakaran propelan. Walaupun potensi pengoksidasinya lebih kecil daripada Kalium dan Natrium Perklorat, namun karena hampir tidak ada partikel padat dan sebagian besar berupa oksigen pada gas hasil pembakarannya maka

oksidator ini banyak digunakan untuk pembuatan propelan padat komposit.

### 3 BAHAN ADITIF

Bahan aditif ditambahkan untuk meningkatkan kualitas propelan atau untuk memperoleh sifat dan karakteristik propelan yang sesuai tujuan penggunaannya. Berdasarkan fungsinya, bahan aditif dikelompokkan menjadi beberapa macam, yaitu:

- *Metal fuel*

Adanya *metal fuel* seperti Aluminium, Boron, Magnesium, dan Zirconium akan meningkatkan performa pembakaran propelan. *Metal fuel* ini berbentuk bubuk yang halus dengan rasio luas permukaan terhadap volume yang sangat besar.

- *Bonding agent/adhesive agent*

*Bonding agent* dapat meningkatkan ikatan dan adhesivitas antara *fuel-binder* dengan oksidator serta bahan padat lainnya sehingga homogenitas campuran meningkat serta dapat memperbaiki sifat fisis dan balistik propelan. Contoh dari *bonding agent* adalah MAPO, methyl-BAPO, TEA (*Tern Ethanol Amine*), TMP (*Tri Methylol Propane*), Tepanol, dan Tepan.

- *Plasticizer*

Dengan penambahan *plasticizer*, viskositas campuran propelan akan menurun dan waktu elastisitas propelan semakin lama sehingga mempermudah proses pencampuran bahan-bahan penyusun propelan dan proses pencetakan propelan. Namun, kelemahan *plasticizer* adalah kecenderungan molekul *plasticizer* untuk bermigrasi ke permukaan propelan yang dapat menurunkan adhesivitas antara propelan dengan inhibitor. Bahan-bahan yang digunakan sebagai *plasticizer* antara lain DOP (*DiOctyl Phthalate*), DOA (*DiOctyl Adipate*), DOS (*DiOctyl Sebacate*), DOZ (*DiOctyl Azelate*), dan DBP (*DiButyl Phthalate*).

- *Burning rate modifier*

*Burning rate modifier* ada dua macam, yaitu *burning rate suppressant* (menurunkan

kecepatan pembakaran) yang terdiri dari oxamide dan nitroguanidine serta *burning rate accelerator* (menaikkan kecepatan pembakaran) yang terdiri dari ferrocene, dan senyawa ferrocene seperti catocene dan butacene.

#### 4 PEMBUATAN PROPELAN DI LAPAN

Bahan bakar roket yang digunakan di LAPAN adalah propelan padat komposit. Propelan tersebut tersusun atas komponen cair (*fuel-binder* dan *curing agent*) serta komponen padat (oksidator dan *metal fuel*) dengan perbandingan berat antara komponen cair dan padat sebesar 17,5% : 82,5%.

- *Fuel binder*

*Fuel binder* yang digunakan adalah HTPB (*Hidroxy Termination Poly Butadiene*) yang berbentuk cair, kental, dan tidak berwarna/bening. Tangki penyimpan HTPB harus dihubungkan dengan gas inert (Nitrogen murni) untuk mencegah kerusakan HTPB akibat kontak dengan udara.

- *Curing agent*

Untuk mematangkan HTPB sehingga menjadi padat ditambahkan suatu agen pematang/*curing agent* yaitu TDI (*Toluene Di Isocyanate*). TDI ini berbentuk cair, encer, tidak berwarna/bening. TDI berbau sangat tajam dan bersifat sangat beracun sehingga saat penanganan TDI harus menggunakan alat keselamatan yang lengkap. Selain itu, TDI sangat mudah rusak jika terkena udara. Oleh karena itu, tangki penyimpan TDI harus selalu dihubungkan dengan gas inert (Nitrogen murni) untuk mencegah terjadinya reaksi antara TDI dengan udara yang akan menurunkan kadar dan kualitas TDI.

- Oksidator

Oksidator berfungsi sebagai sumber oksigen saat terjadinya reaksi pembakaran propelan. Oksidator yang digunakan adalah Amonium Perklorat (AP) yang terdiri dari dua ukuran (*bimodal*) yaitu Amonium Perklorat kasar (ukuran butir 425 um) dan amonium

perklorat halus (ukuran butir 250 um). Butir dengan ukuran lebih kecil akan mengisi rongga antara butir besar sehingga terbentuk campuran yang homogen. Oksidator mempunyai persentase berat yang paling besar dalam campuran propelan. Karena jika oksidator kurang, pembakaran yang terjadi tidak akan sempurna.

Amonium perklorat bersifat sangat higroskopis, sehingga akan mudah menggumpal pada kondisi udara yang lembab. Kecenderungan untuk menggumpal pada butiran kecil lebih tinggi daripada butiran besar. Adanya gumpalan ini akan mempersulit proses pembuatan propelan dan homogenitas campuran yang diperoleh akan berkurang, akibatnya kualitas propelan yang dihasilkan juga akan menurun.

Untuk menghindari terbentuknya gumpalan, Amonium Perklorat harus dikeringkan terlebih dahulu sebelum digunakan pada pembuatan propelan. Pengeringan ini dimaksudkan untuk menguapkan air yang terserap maupun yang terjepit dalam butiran Amonium Perklorat.

- *Metal fuel*

*Metal fuel* yang digunakan adalah bubuk Aluminium dengan ukuran butir yang lebih halus dibandingkan Amonium Perklorat halus. Dengan adanya *metal fuel*, propelan yang dihasilkan akan lebih bertenaga.

Propelan dibuat dengan cara mencampurkan keempat bahan tersebut secara bertahap dan berurutan. HTPB dicampurkan terlebih dahulu dengan TDI, kemudian ditambahkan bubuk Aluminium, Amonium Perklorat kasar, dan Amonium Perklorat halus berturut-turut dengan waktu pencampuran tertentu. Pencampuran dilakukan di dalam tangki pencampur yang dilengkapi mantel pemanas untuk menjaga suhu selama pencampuran tetap. Selanjutnya campuran tersebut dicetak menggunakan sistem vakum dan kemudian dipanaskan dalam oven untuk menyempurnakan pematangan propelan.

Sampai saat ini, propelan yang dibuat di LAPAN masih menggunakan bahan, komposisi, dan cara pembuatan yang sama. Komposisi tersebut terbukti menghasilkan propelan yang

sesuai standar, namun dari segi kemudahan proses masih menemui berbagai masalah. Masalah utama yang timbul saat proses pembuatan propelan adalah tingginya viskositas campuran propelan sehingga mempersulit pencetakan propelan. Oleh karena itu, dilakukan berbagai penelitian tentang penggunaan aditif yang berhingsi untuk menurunkan viskositas campuran propelan sehingga akan mempermudah proses pembuatan propelan dan meningkatkan homogenitas propelan. Dengan peningkatan homogenitas tersebut diharapkan sifat mekanik dan balistik propelan juga lebih baik. Bahan-bahan aditif tersebut adalah *plasticizer* dan *adhesive agent*. Saat ini bahan aditif yang digunakan dalam penelitian di LAPAN adalah *plasticizer* (DOP,DOA,DOS) dan *adhesive agent/bonding agent* (MAPO,TEA,TMP).

Penelitian-penelitian tersebut sampai saat ini masih terus berjalan untuk mencari jenis bahan dan komposisi yang dapat memberikan hasil paling optimal.

## 5 KESIMPULAN

Propelan padat komposit terdiri dari komponen utama (*fuel binder* dan oksidator)

serta komponen aditif (*metal fuel, bonding agent/adhesive agent, plasticizer, burning rate modifier*),

Propelan yang dibuat di LAPAN tersusun atas HTPB sebagai *fuel binder*, TDI sebagai *curing agent*, bubuk Aluminium sebagai *metal fuel*, dan Amonium Perklorat sebagai oksidator.

Penelitian yang sedang dilakukan di LAPAN untuk menurunkan viskositas campuran propelan serta memperbaiki sifat mekanik dan balistik propelan adalah penggunaan bahan aditif *plasticizer* dan *adhesive agent*,

## DAFTAR RUJUKAN

- Davenas, A., 1993. *Solid Rocket Propulsion Technology*. Pergamon Press Ltd.
- Folly, P.; and Mader, 2004. *Propellant Chemistry*, CHIMIA 2004, 58, No 6, page 374-382.
- Kuo,K.K.,1984. *Fundamentals of Solid Propellant Combustion*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. New York.
- Putrandono,I. dan Susanto, I.R., *Diktat Kuliah Propelan*, Pasca Sarjana Teknologi Roket, Institut Teknologi Bandung.