

MATERIAL EKSPLOSIF DAN PENGGUNAANNYA

Heri Budi Wibowo

Peneliti Bidang Teknologi Antariksa, LAPAN

e-mail: heribw@gmail.com

RINGKASAN

Peneliti yang bekerja dengan bahan eksplosif kebanyakan masih konservatif dalam penggunaan senyawa energetik baru. Banyak senyawa eksplosif tradisional seperti *blackpowder*, nitroselulosa (NC) atau trinitrotoluen (TNT) masih digunakan sampai saat ini. Namun demikian, material energetik baru telah dikembangkan dan mulai digunakan untuk aplikasi lebih modern. Penggunaan senyawa eksplosif tinggi, material dengan densitas yang tinggi dan berenergi tinggi telah tersedia. Tetapi terobosan diperoleh untuk kecepatan detonasi yang aman digunakan. Kimia nitirasi senyawa organik menjadi dasar sintesis molekul energetik baru masih tetap berlaku. Perkembangan baru memungkinkan potensi peningkatan kinerja senyawa nitrogen dengan teknologi nano. Suatu tahapan besar telah dibuat untuk senyawa eksplosif kurang sensitif, yaitu molekul energi tinggi yang kurang bertenaga. Material energi baru tersebut berperan penting dalam meningkatkan keamanan dalam penggunaannya. Dalam pengembangan propelan, khususnya untuk senjata, nitroselulosa masih berperan penting. Telah didiskusikan pengembangan polimer berenergi yang baru, tetapi masih perlu dipertimbangkan nilai ekonomisnya. Dalam pengembangan propelan roket padat telah dikembangkan sistem binder energetik baru dan bahan bakar baru berperforma tinggi, khususnya AND, HNIW, dan GAP. Pengembangan piroteknik untuk penanda (*flare*) seperti sensor misil modern, asap yang berwarna atau cahaya yang dihasilkan pada daerah gelombang infra merah memiliki nilai yang cukup tinggi. Aplikasi teknologi nano untuk pengembangan piroteknik akan segera tampak.

Kata kunci: *Eksplosif, Propelan, Piroteknik, Reaksi, Flare*

1 PENDAHULUAN

Senyawa eksplosif didefinisikan sebagai suatu senyawa atau campuran senyawa yang memiliki kapabilitas menghasilkan gas pada suhu dan tekanan tertentu akibat suatu reaksi kimia yang dapat menyebabkan kerusakan di sekelilingnya. Senyawa eksplosif adalah senyawa yang memiliki kapabilitas melepaskan sejumlah besar gas panas pada periode yang sangat singkat ketika reaksi kimia spontan berlangsung. Semua reaksi kimia pada senyawa eksplosif berlangsung secara eksotermal. Itu berarti senyawa eksplosif harus memiliki gugus kimia yang mampu meningkatkan panas pembentukan dan menghasilkan gas (gugus eksplosifosforis). Gugus eksplosifosforik biasanya mengandung atom

nitrogen dan oksigen seperti senyawa nitro, nitrat, nitrat ester, nitramin, azida, dan gugus azido. Termasuk didalamnya senyawa perklorat dan klorat.

Nitrogen dalam gugus eksplosifosforis sangat besar peranannya mendukung kecepatan pembentukan gas, seperti gas klorin pada senyawa klorat dan perklorat. Selain itu, persentase oksigen yang terikat dalam molekul untuk teroksidasi secara sempurna sama penting perannya dengan nitrogen dalam identifikasi senyawa eksplosif. Senyawa yang cukup terkenal dengan kadar nitrogen tinggi yang memiliki energi besar adalah gliseril trinitrat (NG), nitroselulosa (NC), dinitrotoluen (DNT). Molekul organik yang memiliki densitas besar dan kandungan energi sangat besar telah dikembangkan.

Demikian pula bahan plastisizer berenergi besar dan polimer sintesis sebagai binder. Senyawa tersebut adalah senyawa yang memiliki kandungan nitrogen tinggi untuk propulsi. Perkembangan baru dalam pengembangan material eksplosif adalah penggunaan nano partikel dan aplikasi kimia sol-gel. Tulisan ini memberikan gambaran bagaimana senyawa eksplosif diaplikasikan berbeda dan secara detail akan dipaparkan perbedaan tipe reaksi dan inisiasi peledakan yang terjadi.

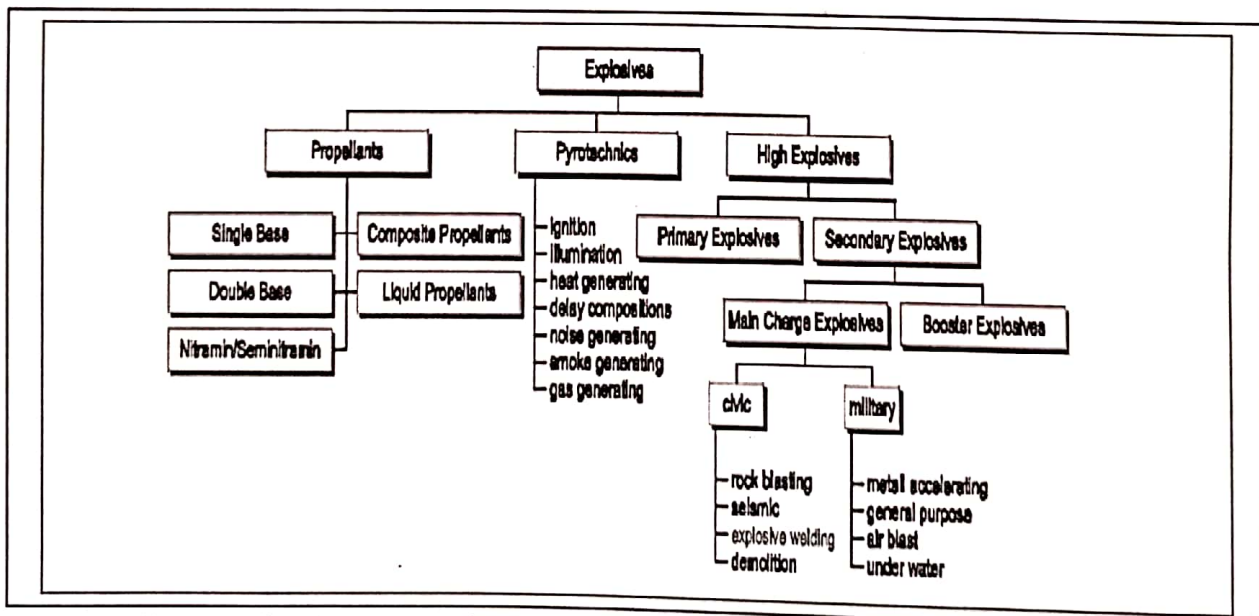
2 KIMIA DAN APLIKASI EKSPLOSIF

Berdasarkan tujuannya, bahan eksplosif digolongkan menjadi tiga tipe: eksplosif tinggi, piroteknik, dan propelan (Gambar 2-1). Keluaran dari eksplosif tinggi adalah detonasi, propelan menyediakan/mempercepat gerak proyektil atau misil, dan piroteknik menghasilkan api dalam waktu pendek. Api dihasilkan oleh reaksi redoks antara pereduksi anorganik dengan oksidator.

Propelan berdasarkan senyawa kimianya dapat dibedakan menjadi tiga golongan. Golongan pertama berbasis nitroselulosa yang secara luas digunakan sebagai senjata. Termasuk dalam golongan ini adalah propelan SB (*single base*), DB (*double base*), dan SN (*semi nitramin*).

Propelan DB biasa ditambahkan sekitar 40% gliserin trinitrat. Propelan SN biasa ditambahkan senyawa kristal nitramin seperti RDX (*cyclo-1,3,5-trimethylene-2,4,6-trinitramine*) ke dalam matriks nitroselulosa. Kelompok propelan lebih maju didasarkan pada sistem binder polimer sintetik. Penamaan propelan biasa disesuaikan dengan basis binder atau oksidatornya. Jika senyawa nitramin organik ditambahkan ke dalam polimer maka disebut propelan nitramin. Jika padatan garam anorganik sebagai oksidator ditambahkan maka disebut sebagai propelan komposit. Propelan komposit secara luas digunakan untuk propulsi roket.

Propelan cair merupakan teknologi yang menjadi andalan dalam teknologi dan eksplorasi ruang angkasa. Propelan cair digolongkan menjadi mono dan bipropelan. Monopropelan berbahan bakar senyawa tunggal seperti hidrazin dimana akan terbakar tanpa membutuhkan oksigen eksternal (sudah memiliki oksigen cukup dari senyawa tersebut). Bahan bakar dan oksidator dalam sistem bipropelan ditempatkan dalam tangki yang terpisah. Kerosin atau dimetilhidrasin asimetris sering digunakan sebagai bahan bakar dan oksidator yang digunakan adalah asam nitrat atau dinitrogen tetraoksida.



Gambar 2-1:Skema pembagian jenis-jenis bahan eksplosif (Meyer, 2002)

2.1 Bahan Eksplosif Tinggi

Seperti terlihat pada Gambar 2-1, bahan eksplosif tinggi terdiri dari eksplosif primer dan sekunder. Eksplosif primer biasanya terdiri dari garam-garam logam berat. Sebagian besar eksplosif primer digunakan dalam jumlah kecil untuk detonator yang akan mengubah sejumlah kecil rangsangan seperti api, gesekan, listrik atau ketukan untuk terjadi detonasi. Detonasi tersebut dilanjutkan dengan booster eksplosif dimana detonasi diperkuat dan ditransmit menuju muatan utama (*main charge*).

Bahan booster yang biasa digunakan adalah tetryl, TNT, atau PTEN. Material yang lebih modern menggunakan RDX. Muatan utama memiliki komposisi yang sangat berbeda tergantung penggunaannya. Logam performa tinggi sebagai pemercepat pembakaran digunakan untuk sistem HMX (*cyclotetramethylene tetranitramine*) dan bindernya. Jumlah binder dapat mencapai 5% dari total berat muatan utama. Di sisi lain, eksplosif yang memiliki efek ledakan (*blasting*) dapat bersifat sangat heterogen seperti amonium nitrat (AN) sebagai oksidator dengan bahan bakar minyak. Kombinasi dari keduanya sering digunakan untuk mendapatkan komposisi yang lebih baik.

Bahan yang sering digunakan sebagai eksplosif primer adalah timbal azida, timbal trinitroresorsinat, dan tetrasen (*tetrazolyl guanyltetrazene hydrate*). Beberapa dekade sebelumnya digunakan merkuri fulminat. Timbal azida memiliki kapabilitas sangat bagus untuk menginisiasi booster eksplosif dengan jumlah cukup kecil sekitar 0,1 gram. Bahan tersebut sangat sensitif terhadap gesekan. Timbal trinitro bersifat sensitif terhadap muatan listrik dan tetrasen sensitif terhadap ketukan (*impact*). Untuk mendapatkan hasil yang baik dan sesuai yang diinginkan maka bahan-bahan tersebut sering dikombinasikan. Salah satu senyawa yang relatif baru adalah 1,3,5-triazida 2,4,6- trinitrobensen (TATNB) sebagai pengganti timbal azida, namun

sayangnya bahan tersebut memiliki kekuatan inisiasi menurun selama dekomposisi. Upaya mengganti bahan timbal azida masih menjadi bahan penelitian yang menarik.

2.2 Propelan

Bahan nitroselulosa merupakan bahan utama propelan baik untuk SB, DB maupun SN. Beberapa penambahan platisizer baru, agen pemercepat pembakaran dan senyawa kristal nitramin baru sering ditambahkan untuk meningkatkan performa propelan. Aspek lingkungan sekarang menjadi bahan pertimbangan dalam pengembangan propelan. DNT yang dapat berfungsi menurunkan suhu nyala harus diganti karena dilarang oleh beberapa negara dengan alasan lingkungan. Demikian pula timbal-tin. Beberapa polimer baru yang lebih menjanjikan telah ditemukan seperti polimer berenergi tinggi yaitu poliuretan dan polibutadien.

2.2.1 Propelan padat untuk senjata

Propelan *single base* mengandung sekitar 90% atau lebih nitroselulosa yang dibuat bentuk gel dengan penambahan platisizer. Dibutil ptalat (DBTL) dapat berfungsi sebagai agen pemercepat pembakaran (*surface moderant burning*) dan pendingin nyala.

Gliserin trinitrat berfungsi sebagai sumber energi tambahan dan platisizer dalam propelan *double base*. Sejumlah kecil DBTL atau champor tidak dapat digunakan sebagai *surface moderant* untuk propelan *double base* karena karakter platisizer NG yang bergerak terlalu cepat dalam propelan grain dan efek pendinginan permukaan menjadi hilang. Beberapa polimer atau oligomer telah dikembangkan untuk kepentingan tersebut. Propelan *double base* secara kimia kurang stabil daripada SB. Umur propelan DB lebih pendek daripada SB, walaupun kandungan energi lebih tinggi dan suhu pembakaran lebih tinggi.

2.2.2 Propelan roket padat

Propelan roket padat yang dikenal saat ini adalah tipe DB, EMDB atau CMDB. Propelan komposit menggunakan binder yang berfungsi sebagai bahan bakar, oksidator berbentuk padatan, dan beberapa aditif seperti perekat, katalis mempercepat nyala dan sebagainya. Oksidator klasik yang terkenal adalah AP dan AN. Selama proses pembakaran, AP banyak menghasilkan HCl sebagai sumber polusi udara serta menghasilkan asap putih, sehingga trayektori dan posisi awal misil dapat dengan mudah diamati. Beberapa bahan seperti Mg dan Al atau sodium nitrat ditambahkan untuk mereduksinya. Pembakaran AN tidak menghasilkan HCl, tetapi AN menghasilkan suhu pembakaran yang rendah. AN dapat distabilkan dengan adanya KN (kalium nitrat).

3 PIROTEKNIK

Piroteknik dapat diaplikasikan untuk menghasilkan panas, partikel panas atau suatu nyala, gas atau asap, nyala dengan beberapa warna, bunyi seperti suara ledakan atau tembakan. Hasil partikel panas dapat digunakan untuk penyala propelan. Sudah sejak lama *black powder* digunakan sebagai penyala awal (Akhavan, 1998). Boron atau potasium nitrat sering digunakan sebagai bahan penyala awal propulsi roket. Hasil panas dan cahaya digunakan untuk penanda (*flare*), yang dapat digunakan sebagai perlindungan pesawat dari serangan misil. Flare tradisional menggunakan bahan Magnesium Teflon dan Viton (MTV) (Agrawal, 1998). Pengembangan teknologi sensor yang baru telah dirancang komposisi penanda (*flare*) yang meniru spektrum emisi dari aliran jet (Zukas, 1997). Flare dapat pula digunakan untuk modifikasi cuaca dan SOARR (Adam, 2002).

Banyak komposisi piroteknik penghasil asap tidak hanya beraksi dalam daerah spektrum yang kelihatan, tetapi juga dalam daerah spektrum infra merah.

Penghasil asap yang sudah biasa digunakan adalah posfor merah dan oksidator yang sesuai seperti zink, heksakloroetan, alumunium, dan sebagainya (Urbanski, 1987).

Komposisi piroteknik penghasil cahaya sering digunakan sebagai pencari (*tracer*) dan kepentingan pertunjukan (*artwork*). Beberapa piroteknik menggunakan nitrat dan perklorat sebagai oksidator dan logam alkali tanah (litium, natrium), magnesium, alumunium, zirkonium, dan titanium sebagai bahan bakar. Untuk menghasilkan cahaya dengan berbagai warna, biasa digunakan senyawa logam yang menghasilkan emisi spektra dengan frekuensi karakteristik (Frovatas, 2000). Sebagai contoh, warna merah dihasilkan oleh garam strontium, sodium perklorat akan menghasilkan nyala berwarna kuning, garam barium menghasilkan warna hijau, garam tembaga menghasilkan warna biru. Dalam reaksi-reaksi tersebut, dekomposisi perklorat dan pembentukan kation logam klorida yang tereksitasi berperan penting dalam emisi cahaya yang dihasilkan (Kubota, 2000).

Suara tembakan atau ledakan dihasilkan oleh campuran piroteknik yang menghasilkan gas yang diisikan dalam tabung tertutup. Setelah pembakaran sejumlah gas yang mendesak tabung yang meledak menghasilkan suara ledakan atau tembakan. *Black powder* biasanya digunakan untuk keperluan tersebut (Dolan, 1997). Generator gas lain digunakan untuk pembuatan kantong udara (*airbag*) dalam sistem pengamanan berkendara. Sodium azida akan menghasilkan gas nitrogen dalam jumlah besar jika dipanaskan dengan suatu penyala awal yang dikontrol (Pagoria, 2002).

Piroteknik ke depan akan menjadi penting dengan adanya perkembangan teknologi nano. Sejumlah bubuk metal dalam skala nano telah dapat diperoleh dan memiliki karakteristik piroposporik yang sangat tinggi. Demikian pula oksidator dapat diproduksi dalam bentuk bubuk ukuran nano. Dengan berkembangnya

teori sol-gel maka bahan bakar dan oksidator dapat diformulasikan dalam bentuk lebih homogen dari sebelumnya dan memiliki kinerja yang lebih tinggi dari sebelumnya (Anderson, 1993).

4 PENUTUP

Seseorang yang bekerja dengan bahan eksplosif kebanyakan masih konservatif dalam penggunaan senyawa energetik baru. Banyak senyawa eksplosif tradisional seperti *blackpowder*, nitroselulosa (NC) atau trinitrotoluen (TNT) masih digunakan sampai saat ini. Namun demikian, material energetik baru telah dikembangkan dan mulai digunakan untuk aplikasi lebih modern.

Penggunaan senyawa eksplosif tinggi, material dengan densitas yang tinggi dan berenergi tinggi telah tersedia. Dan terobosan diperoleh untuk kecepatan detonasi yang aman digunakan. Kimia nitirasi senyawa organik menjadi dasar sintesis molekul energetik baru masih tetap berlaku. Perkembangan baru memungkinkan potensi peningkatan kinerja senyawa nitrogen dengan teknologi nano.

Suatu tahapan besar telah dibuat untuk senyawa eksplosif kurang sensitif, yaitu molekul energi tinggi yang kurang bertenaga. Material energi baru tersebut berperan penting meningkatkan keamanan dalam penggunaannya.

Dalam pengembangan propelan, khususnya untuk senjata, nitroselulosa masih berperan penting. Telah didiskusikan pengembangan polimer berenergi yang baru, tetapi masih perlu dipertimbangkan nilai ekonomisnya. Dalam pengembangan propelan roket padat telah dikembangkan sistem binder energetik baru dan bahan bakar baru berperforma tinggi, khususnya AND, HNIW, dan GAP.

Aplikasi senyawa baru tersebut diharapkan mampu menyelesaikan masalah performa propulsi roket padat secara signifikan.

Pengembangan piroteknik untuk penanda (*flare*) seperti sensor misil modern, asap yang berwarna atau cahaya yang dihasilkan pada daerah gelombang infra merah memiliki nilai yang cukup tinggi. Aplikasi teknologi nano untuk pengembangan piroteknik akan segera tampak.

DAFTAR RUJUKAN

- Adam, K. Karaghiosoff, M. Klapötke G. Holl, M. Kaiser, 2002. *Propellants, Explos. Pyrotech.* 27, 7.
- Agrawal, 1998. *Prog. Energy Combust. Sci.*, 24, 1
- Akhavan, 1998. *The Chemistry of Explosives*, RSC Paperbacks, Cambridge.
- Anderson, 1993. *Prog. Astronaut. Aeronaut.*, 155, 81.
- Dolan, S.S. Langer, 1997. *Paul in Explosives in the Service of Man*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Kubota, J., 2000. *Pyrotechnics*, 11, 25
- Meyer, J. Köhler, A. Homburg, 2002. *Explosives*, Wiley-VCH, Weinheim.
- Pagoria, G.S. Lee, A.R. Mitchell, R.D. Schmidt, 2002. *Thermochim. Acta*, 384,
- Provatas, 2000. *Energetic Polymers and Plasticisers for Explosive Formulations – A review of recent advances*, DSTO Technical Report Nr. TR-0966.
- Urbański, 1987. *Chemistry and Technology of Explosives*, Pergamon Press, Oxford.
- Zukas, W.P. Walters, 1997. *Oxley in Explosive Effects and Applications*, Springer-Verlag, New York, p. 137.