

Pembangunan Bahan Dorong Ammonium Nitrat Untuk Roket Pepejal

Mohamad Nazri Mohd Jaafar*, Wan Khairuddin Wan Ali, Shah Rizal Ruslan

Jabatan Kejuruteraan Aeronautik, Automotif dan Samudera
Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia
81310 UTM Skudai, Johor

* Penulis yang dihubungi: nazri@mail.fkm.utm.my

ABSTRAK

Penyelidikan yang dijalankan adalah bertujuan untuk membangunkan bahan ammonium nitrat untuk digunakan sebagai bahan pengoksida bagi bahan dorong roket pepejal. Ini meliputi proses penghasilan propelan dan menguji propelan tersebut. Segala kajian mengenai sifat ammonium nitrat telah dikenalpasti dan direkodkan. Kajian turut dilakukan terhadap bahan bakar (fuel) dan bahan pengikatnya (binder). Bahan bakar yang digunakan ialah sulfur dan aluminium. Manakala beberapa bahan pengikat yang telah dicuba termasuk glyco dan resin. Propelan yang dibangunkan ini dihasilkan dengan menggunakan kaedah acuan termampat. Melalui kaedah ini, propelan yang dihasilkan didapati lebih stabil dan seragam. Ujian kadar pembakaran pada tekanan atmosfera dilakukan dengan menggunakan propelan yang mempunyai nisbah kandungan bahan pengoksida-bahan api yang berbeza-beza. Melaluinya, nisbah campuran yang optimum dapat diperolehi. Analisis ke atas daya tujah statik dilakukan dengan menggunakan perisian Propep. Berdasarkan data prestasi yang diperolehi, didapati bahawa propelan yang dibangunkan berpotensi untuk dimajukan sebagai bahan dorong roket pepejal.

Katakunci: Ammonium nitrat, roket pepejal, daya tujah statik, propelan

ABSTRACT

The research focuses on the development of ammonium nitrate for use as oxidizer for solid rocket propellant. The development includes the production of propellant and its tests. All studies on the characteristics of ammonium nitrate were identified and recorded. Studies were also done on the fuel and binder materials. The fuel used is sulfur and aluminum. While some binders have been tested including glycol and resin. The developed propellant is produced using mold compression technique. Through this method, the produced propellant is more stable and uniform. The burning rate tests were performed at atmospheric pressure using propellant ingredient with varying oxidizer-fuel ratios. Through this, the optimum mixture ratio can be obtained. An analysis of static thrust was done using Propep software. Based on performance data obtained, it was found that the propellant has the potential to be further developed as solid rocket propellant.

Keywords: Ammonium nitrate, solid rocket, static thrust, propellant

1.0 Pendahuluan

Apabila kita menyebut perkataan roket, pasti kebanyakan dari kita akan terbayangkan pesawat *Space Shuttle* yang besar dan boleh membawa manusia meneroka lepas ke angkasa raya ataupun pun roket *Apollo* yang telah berulang kali terbang lepas ke luar atmosfera, menghantar satelit-satelit pelbagai saiz, mengorbit bumi bagi memenuhi tujuan dan matlamat yang pelbagai.

Aplikasi roket adalah pelbagai. Dari sebesar-besar *booster* roket ke angkasa lepas sehinggalah kepada sekecil-kecil roket peluru berpandu (Braun dan Orday, 1976). Boleh dikatakan hampir kesemua roket ini diperolehi dari negara luar terutama negara barat dan kos untuk memperolehnya boleh mencecah jutaan ringgit setiap satu. Oleh kerana setiap propelan roket ini terutama sekali propelan pepejal mempunyai jangka hayatnya yang tersendiri, adalah sangat merugikan sekiranya peluru-peluru berpandu yang berharga jutaan ringgit ini terbiar dan tidak dapat digunakan akibat propelan yang sudah tamat tempoh.

Penggunaan roket juga tidak hanya tertumpu kepada sektor ketenteraan dan aeroangkasa sahaja. Ianya juga boleh diaplikasikan secara meluas ke sektor komersial seperti alat bantuan kecemasan/keselamatan seperti penunjuk isyarat (flare), roket pembenihan awan dan tidak kurang juga dijadikan sebagai permainan hobi dan pertandingan yang mana sekali gus dapat mengembangkan daya kreativiti dan kemahiran sains individu (Davenas, 1993).

Jenis roket dapat diklasifikasikan berdasarkan kepada jenis propelan yang digunakan. Perbezaan jenis propelan ini sangat bergantung kepada jenis kegunaan dan matlamat yang ingin dicapai sama ada untuk tujuan penerokaan angkasa ataupun untuk tujuan pemulihan alam sekitar seperti pembenihan awan dan sebagainya. Roket yang lazim digunakan pada masa kini adalah roket bahan api kimia yang mana ianya terbahagi kepada tiga kategori utama iaitu propelan pepejal, cecair dan hibrid.

2.0 Roket Berasaskan Bahan Dorong Pepejal

Propelan pepejal merupakan sistem dorongan roket yang paling awal digunakan di mana serbuk hitam telah digunakan sejak kurun ke 13 yang lalu di China (Nik Mohd Rodzan, 2004). Bahan api roket pepejal hanya tunggal di mana bahan api dan bahan pengoksida telah dicampurkan bersama terlebih dahulu sebelum dibentuk di dalam acuan ke bentuk pepejal.

Ramuan asas bagi sesebuah propelan pepejal terdiri daripada tiga bahan utama iaitu:

1. Bahan api
2. Bahan pengoksida
3. Bahan pengikat

Roket pepejal adalah sejenis roket yang ringkas berbanding jenis-jenis roket yang lain. Ia tidak mempunyai alat-alat tambahan seperti pam, pencampur, injap dan juga pengawal campuran. Umumnya, bahan pengoksida dan bahan bakar diikat bersama dalam bentuk pepejal dengan menggunakan bahan pengikat.

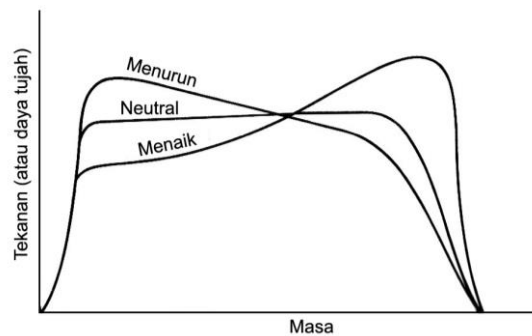
Rekod-rekod bertulis menunjukkan bahawa roket pernah digunakan oleh orang-orang cina sebagai senjata mereka pada tahun 1232. Mereka menghasilkan roket untuk mendorong anak panah mereka di dalam peperangan. Mereka menggunakan kayu arang, belerang dan *saltpeter* sebagai bahan dorong roket mereka.

Campuran di antara bahan pengoksida dan bahan bakar adalah dalam bentuk serbuk kering. Untuk menjadi satu bahan dorong pepejal, campuran ini perlu ditambah dengan bahan pengikat (*binder*). Pemilihan bahan pengikat yang sesuai adalah penting untuk menghasilkan bahan dorong yang baik sama ada dari segi pembakaran dan juga ketahanannya. Bahan pengikat yang baik dapat memanjangkan jangka hayat sesebuah propelan. Sifat-sifat bahan pengikat yang baik dinyatakan di bawah (Davenas, 1993):

- a) Bahan pengikat hendaklah berada dalam keadaan cecair semasa proses pencampurannya dengan bahan pengoksida dan bahan bakar. Ia haruslah mempunyai sifat pengewapan yang rendah.
- b) Secara kimianya, bahan pengikat itu haruslah sesuai dengan bahan pengoksida. Ini bermaksud bahan pengikat itu tidak akan menyebabkan kenaikan suhu semasa pencampuran bahan-bahan tersebut.

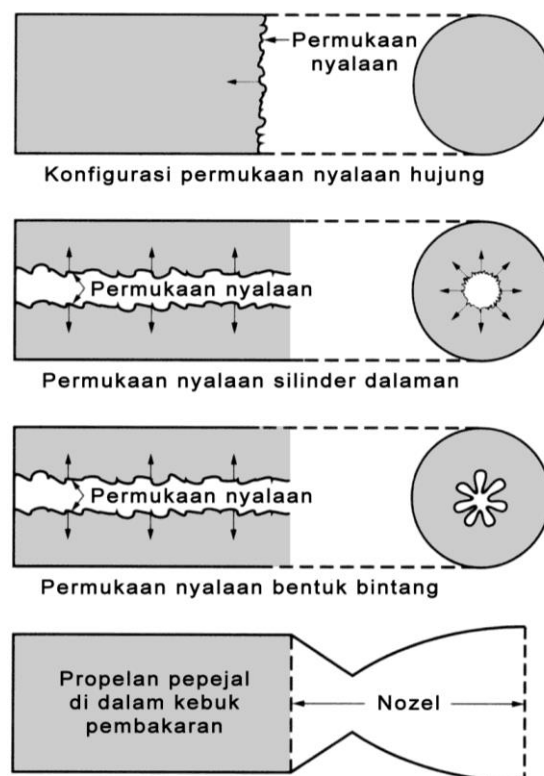
- c) Bahan pengikat haruslah berupaya untuk menanggung beban yang tinggi semasa dalam keadaan pepejal.

Namun begitu, keperluan daya tujah bagi sesebuah roket juga berkait rapat dengan konfigurasi bijian propelan itu sendiri di mana secara ringkasnya boleh dipecahkan kepada tiga jenis iaitu yang memberikan hasil tekanan atau tujahan menaik, neutral dan menurun.



Rajah 1 Graf tekanan melawan masa

Konfigurasi propelan ini ditentukan oleh nyalaan propelan (lihat Rajah.2) di mana ianya dimulakan oleh pencucuh pada permukaan bijian propelan dan serentak dengan itu propelan akan mula terus menyala. Sesetengah propelan direka untuk nyalaan hujung dan ada juga yang direka bentuk supaya terbakar dari arah dalam propelan bagi mendapatkan luas permukaan terbakar yang lebih besar dan sekali gus meningkatkan kadar pembakaran propelan tersebut.



Rajah 2 Beberapa contoh konfigurasi nyalaan propelan pepejal (Sutton, 2001)

Bahan dorong yang dihasilkan akan disimpan di dalam kebuk pembakaran motor roket. Ia mampu disimpan dalam jangka masa yang lama iaitu 5 hingga 20 tahun bergantung kepada jenis bahan yang digunakan dan juga cara penyimpanannya. Bahan dorong pepejal dihasilkan dalam pelbagai saiz dan bentuk mengikut kepada operasi yang ingin dijalankan. Roket bahan dorong pepejal tidak memerlukan penyelenggaraan yang kerap kerana penggunaannya biasanya untuk sekali.

Kebaikan roket bahan dorong pepejal:

- Kos yang rendah
- Ketumpatan denyut tentu yang tinggi
- Boleh disimpan dalam jangka waktu yang agak lama.
- Keboleharapan kerana secara mekanikalnya ia lebih mudah, tiada melibatkan peralatan tambahan.

Kelemahan roket bahan dorong pepejal:

- Denyut tentu lebih rendah
- Tiada kawalan daya tujah semasa beroperasi
- Kepekaan terhadap suhu
- Digunakan untuk sekali sahaja

3.0 Prinsip Dan Perkaitan Asas Prestasi Propelan

Berikut disenaraikan beberapa parameter penting yang perlu diketahui sepanjang kajian terhadap prestasi propelan.

a) Kadar pembakaran propelan, r

$$r = \frac{L}{t_b} \quad (1)$$

dengan r = kadar pembakaran
 L = panjang jalur propelan
 t_b = masa pembakaran

b) Kadar alir jisim, $\dot{m}$

$$\dot{m} = \rho_p A r \quad (2)$$

dengan A = luas permukaan pembakaran propelan
 ρ_p = ketumpatan propelan
 r = kadar pembakaran

c) Denyut tentu, I_{sp}

$$I_{sp} = \frac{F}{\dot{m}g} = \frac{C}{g} \quad (3)$$

dengan C = halaju berkesan ekzos
 g = daya graviti
 $\dot{m}$ = kadar alir jisim

d) Tujah maksimum, F

$$F = \dot{m}v_e \quad (4)$$

dengan $\dot{m}$ = kadar alir jisim

v_e = halaju ekzos

e) Halaju ekzos, v_e

$$v_e = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left(\frac{RT_c}{M} \right) \left[1 - \left(\frac{P_e}{P_c} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (5)$$

dengan

R = pemalar gas universal

M = berat molekul gas ekzos

T_c = suhu kebuk pembakaran

k = nisbah haba tentu

P_e = tekanan ekzos

P_c = tekanan genangan dalam kebuk pembakaran

f) Pekali kadar alir jisim, C_m

$$C_m = \frac{\dot{m}}{P_c A_t} \quad (6)$$

dengan

P_c = tekanan genangan dalam kebuk pembakaran

$\dot{m}$ = kadar alir jisim

A_t = luas kerongkong nozel

g) Pekali daya tujah, C_F

$$C_F = \frac{F}{P_c A_t} \quad (7)$$

h) Halaju ciri, C^*

$$C^* = \frac{C}{C_F} = \frac{1}{C_m} = \frac{F}{\dot{m} C_F} = \frac{P_c A_t}{\dot{m}} \quad (8)$$

4.0 Proses Penyediaan Propelan

Propelan dihasilkan dengan campuran bahan pengoksida, bahan bakar dan juga bahan pengikat. Terdapat juga bahan-bahan tambahan lain yang digunakan seperti *curing agent* (Davenas, 1993). Namun untuk uji kaji peringkat awalan ini tiada sebarang bahan tambahan lain yang digunakan. Proses penyediaan propelan memerlukan ketelitian yang tinggi bagi mendapat satu keputusan yang baik. Ia merupakan satu peringkat yang rumit dan berbahaya kerana propelan yang dihasilkan berkemungkinan meletup secara tiba-tiba.

4.1 Bahan Pengoksida

Untuk kajian ini, ammonium nitrat digunakan sebagai bahan pengoksida. Ammonium nitrat banyak digunakan dalam industri baja dan juga sebagai komponen bom asap. Ammonium nitrat adalah sejenis bahan kimia berwarna putih dan tidak berbau. Persamaan kimianya ialah NH_4NO_3 . Diperhatikan sebatian ammonium nitrat adalah gabungan nitrogen, hidrogen dan oksigen. Ammonium nitrat dihasilkan melalui tindakbalas antara ammonium hidroksida dengan asid nitrik. Ia perlu disimpan di tempat yang jauh daripada bahan-bahan organik yang mudah teroksida disebabkan sifatnya yang mudah menyebabkan kebakaran dan letupan. Sekiranya

berlaku kebakaran yang berpunca daripada ammonium nitrat, kuantiti air yang banyak diperlukan untuk memadamkan kebakaran tersebut. Sekiranya termakan pula, ia akan menyebabkan *methemoglobinemia* iaitu satu simptom yang mengakibatkan muntah-muntah dan juga pening kepala.

Ammonium nitrat banyak digunakan dalam penghasilan *smokeless powder* dan juga bahan dorong roket. Sebagai bahan pengoksida, ia tidak memberikan denyut tentu yang tinggi seperti *ammonium perklorat*. Namun, ia adalah bahan yang murah, mudah diperolehi serta tidak menghasilkan gas-gas toksik semasa pembakarannya.

4.2 Bahan Bakar

Aluminium merupakan salah satu logam metaloid di dalam jadual berkala unsur iaitu logam yang menunjukkan ciri-ciri bukan logam. Ianya berwarna keperakan dan diperolehi dari bijih bauksit. Aluminium terkenal dengan sifatnya yang ringan, mudah dibentuk dan tahan kakisan. Mempunyai ketumpatan jisim sebanyak 2.70 g/cm^3 dan lebur pada suhu 933.47 K (Vargel, 2004).

Sulfur dalam bentuk asalnya adalah berbentuk pepejal kristal kuning. Juga dikenali sebagai belerang, sulfur secara semulajadinya boleh dijumpai dalam bentuk mineral sulfat dan sulfida. Ianya merupakan satu elemen yang penting dalam kehidupan. Dari segi komersial, sulfur digunakan sebagai baja (Komanirsky et al., 2003) dan ianya juga digunakan secara meluas sebagai serbuk peledak (Yinon, 2000), mancis, racun serangga dan racun kulat (Garthwaite dan Thomas, 2004). Ianya juga merupakan salah satu ramuan penting dalam penghasilan serbuk hitam.

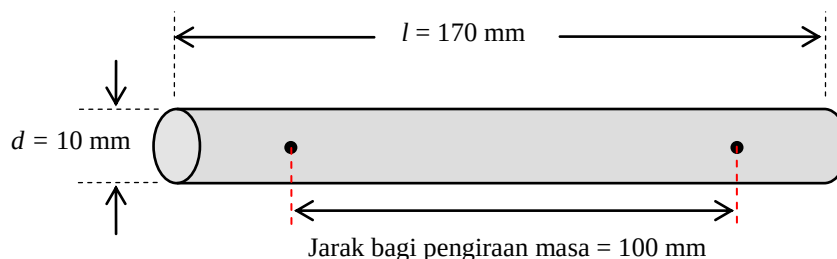
Pada suhu bilik, sulfur mempunyai ketumpatan jisim sebanyak 2.08 g/cm^3 dan mula melebur pada suhu 388.36 K (Scholar Chemistry, 2009; Matter-Antimatter, 2009). Walaupun sulfur dioksida secara sedikit adalah selamat digunakan sebagai bahan tambahan makanan, tetapi pada kepekatan yang tinggi, ia bertindak balas dengan lembapan dan membentuk asid silfurik yang mana dalam kuantiti yang tertentu boleh menjejaskan paru-paru, mata dan tisu badan yang lain (<http://en.wikipedia.org>).

4.3 Bahan Pengikat

Bahan pengikat yang digunakan adalah campuran bahan-bahan kimia, cellulose nitrate, resin, plastisizer, solvent dan diluent. Bahan pengikat ini pada keadaan suhu bilik adalah dalam bentuk cecair yang likat dan ia tidak memerlukan sebarang cross-linker untuk mengeras. Bahan pengikat ini dikelaskan dalam kategori bahan mudah terbakar dan memberikan kesan sampingan yang hampir sama jika terdedah dalam jangka masa yang lama. Oleh sebab itu bahan pengikat ini harus disimpan di tempat yang jauh dari sumber api dan haba.

5.0 Penyediaan Jalur Propelan

Sebelum ujian kadar pembakaran dapat dilakukan, jalur propelan haruslah disediakan terlebih dahulu. Ini adalah penting dalam menentukan hasil pembakaran yang akan dilakukan kelak adalah seragam dan berterusan. Penentuan dimensi propelan juga penting dalam usaha mendapatkan isi padu serta ketumpatan propelan yang mana akan digunakan dalam persamaan mencari kadar alir jisim pembakaran. Oleh itu dimensi propelan ditentukan terlebih dahulu bagi memudahkan pengiraan kadar pembakaran. Rajah 3 di bawah menunjukkan dimensi jalur propelan yang dihasilkan.



Rajah 3 Dimensi jalur propelan

Pada jalur propelan ini telah ditetapkan jarak pengiraan masa sepanjang 100 mm di mana pada titik mula dan tamat tersebut akan ditanda bagi menempatkan suis fius signal pemasa.

6.0 Kaedah Membentuk Propelan

Secara umumnya, terdapat dua kaedah membentuk propelan iaitu kaedah acuan termampat dan kaedah pembentukan. Namun, daripada uji kaji awalan yang telah dilakukan telah membuktikan bahawa propelan yang dihasilkan melalui kaedah acuan termampat adalah lebih tumpat. Ini disebabkan semua liang udara yang wujud antara bijian telah dikeluarkan dari propelan semasa proses mampatan. Hal ini seterusnya menyebabkan kadar pembakaran menjadi lebih rendah. Justeru, hanya kaedah acuan termampat sahaja yang akan dipraktikkan dalam uji kaji ini. Namun begitu langkah-langkah keselamatan yang lebih tinggi haruslah dipraktikkan bagi mengurangkan risiko kemalangan yang tidak diingini kerana ianya melibatkan geseran antara omboh pemampat dengan dinding acuan.

Acuan yang digunakan adalah dari tiub aluminium berdiameter dalam 10 mm dengan ketebalan 1 mm. Bahagian dalam tiub ini kemudiannya akan dibalut dengan gulungan kertas sebagai pelapik antara propelan dengan dinding acuan bagi mengurangkan kesan geseran logam antara omboh dengan dinding acuan selain untuk memudahkan propelan dikeluarkan dari acuan.

Jadual 1 dan 2 menunjukkan keputusan yang diperolehi. Uji kaji kadar pembakaran dilakukan dalam dua sesi iaitu tanpa kehadiran bahan penambah dan dengan bahan penambah. Bahan penambah yang digunakan ialah potassium nitrat. Ia bertujuan untuk membantu pembakaran. Daripada uji kaji ini kita akan dapat menilai tahap pembakaran propelan yang dihasilkan.

Jadual 1: Keputusan ujian kadar pembakaran tanpa bahan penambah

Bil.	Komposisi (AN/S/Al)%	Masa (saat)				r
		t_1	t_2	t_3	t_d	
1.	50/24/26	60.3	75.2	58.4	64.63	0.1547
2.	55.4/22.2/22.4	44.7	38.6	63.4	48.90	0.2045
3.	60/19/21	56.4	78.8	66.4	67.20	0.1488

Jadual 2: Keputusan ujian kadar pembakaran dengan bahan penambah

Bil.	Komposisi (AN/KN/S/Al)%	Masa (saat)				r
		t_1	t_2	t_3	t_d	

1.	40/10/24/26	54.6	58.1	59.8	57.5	0.1739
2.	45/10/22/23	55.3	69.4	65.4	63.367	0.1578
3.	50/10/19/21	62.7	64.2	67.9	64.933	0.1540



Rajah 4: Pembakaran jalur propelan tanpa bahan penambah



Rajah 5 Pembakaran jalur propelan dengan bahan penambah

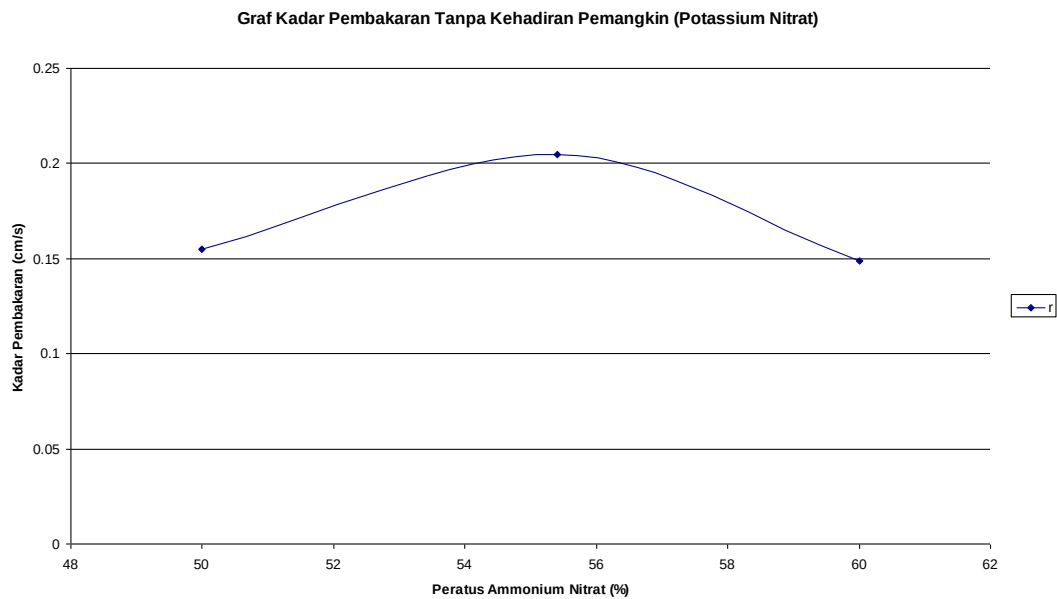
7.0 Keputusan dan Perbincangan

Data-data pembakaran yang telah diperolehi dari ujian kadar pembakaran dapat menentukan prestasi pembakaran. Ujian kadar pembakaran ini penting kerana banyak lagi parameter-parameter prestasi yang boleh diperolehi seperti kadar alir jisim, daya tujah, denyut tentu dan sebagainya.

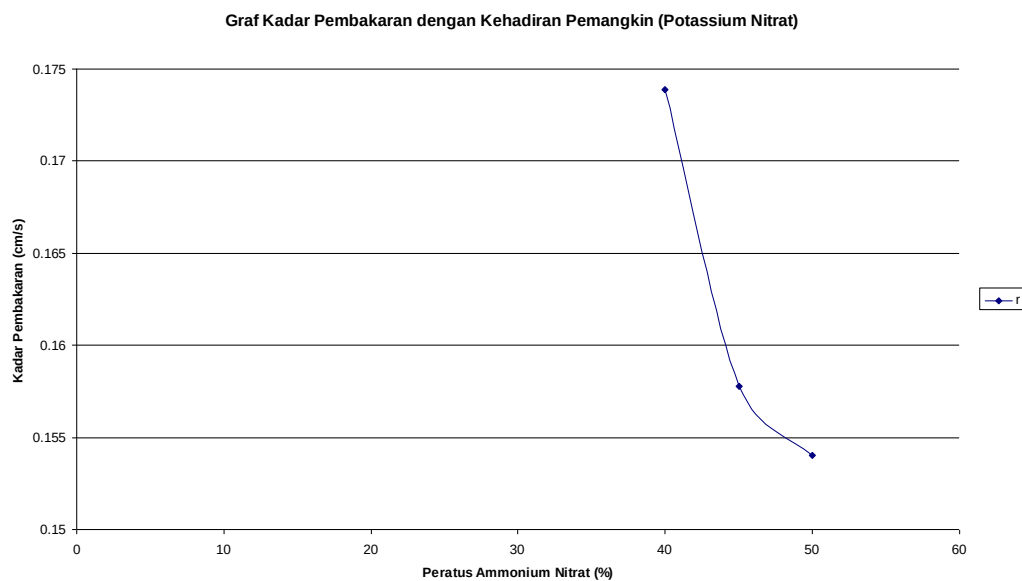
Daripada keputusan kadar pembakaran yang telah diperolehi dapat dinyatakan bahawa kadar pembakaran propelan yang dibangunkan menjadi lebih baik dengan mencampurkan dua jenis bahan pengoksida yang berlainan iaitu ammonium nitrat dan potassium nitrat.

Pada komposisi stoikiometri propelan yang dihasilkan iaitu 55.4% ammonium nitrat, 22.2% sulfur dan 22.4% aluminium didapati propelan dapat terbakar dengan baik tetapi pembakarannya tidak berterusan di samping agak lambat untuk mula terbakar. Tetapi setelah sedikit bahan pengoksida lain dicampurkan (potassium nitrat), propelan dapat terbakar dengan baik sekali. Hal ini menunjukkan potassium nitrat dapat meningkatkan kadar pembakaran propelan.

Potassium nitrat merupakan satu bahan pengoksida yang baik. Daripada ujikaji yang telah dijalankan oleh individu-individu yang lepas telah berjaya membuktikan tahap prestasi potassium nitrat sebagai bahan pengoksida bagi roket pepejal. Tetapi untuk ujikaji ini, fungsi potassium nitrat hanyalah sebagai pemangkin proses pembakaran sahaja.



Rajah 6 Graf kadar pembakaran tanpa bahan penambah



Rajah 7 Graf kadar pembakaran dengan bahan penambah

Daripada persamaan (3) kita telah ketahui bahawa:

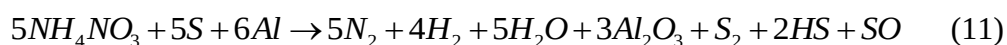
$$\rho_p \propto \frac{1}{r} \quad (9)$$

Ini bermakna semakin tumpat propelan tersebut, maka kadar pembakaran akan semakin berkurang. Dengan menggunakan persamaan ketumpatan ideal propelan;

$$\frac{1}{\rho_p} = \frac{f_{AN}}{\rho_{AN}} + \frac{f_S}{\rho_S} + \frac{f_{Al}}{\rho_{Al}} \quad (10)$$

dengan	f_{AN}	= pecahan jisim Kalium Nitrat
	f_S	= pecahan jisim Sulfur
	f_{Al}	= pecahan jisim Aluminium
	ρ_{AN}	= ketumpatan Ammonium Nitrat
	ρ_S	= ketumpatan Sulfur
	ρ_{Al}	= ketumpatan Aluminium
	ρ_p	= ketumpatan propelan

Daripada keseimbangan kimia yang telah diperoleh, diketahui 5 mol ammonium nitrat akan bertindak balas dengan 5 mol sulfur dan 6 mol aluminium untuk menghasilkan satu tindak balas optimum atau secara ringkasnya seperti di bawah:



Nilai ini menunjukkan bahawa pembakaran yang optimum boleh dicapai pada keadaan keseimbangan iaitu pada nilai stoikiometri. Ini bermakna sebarang penambahan bahan api melebihi tahap keseimbangan hanyalah sia-sia kerana berdasarkan persamaan kimia (11), sebarang pertambahan bilangan mol pada bahan api tidak akan memberikan sebarang kesan positif kerana bilangan mol bahan pengoksida telah habis digunakan. Akan tetapi secara realitinya lebihan mol bahan api ini masih lagi boleh terbakar dan sekali gus membantu mempertingkatkan prestasi propelan kesan dari kehadiran udara persekitaran.

8.0 Kesimpulan

Propelan ammonium nitrat-sulfur-aluminium boleh dihasilkan melalui kaedah acuan termampat. Melaluinya, propelan yang dihasilkan mempunyai sifat mekanikal dan kimia yang baik. Propelan lebih keras, tumpat serta menunjukkan pembakaran yang tetap dan stabil. Propelan yang dihasilkan berwarna 'silver', keras tetapi rapuh, berketumpatan 1.9547 g/cm^3 dan mudah menyerap lembapan. Bahan pengikat yang digunakan ialah laker. Didapati laker mampu membantu proses pembakaran berbanding glycol dan resin. Propelan kurang reaktif. Ia perlu didedahkan kepada sumber api dalam masa yang lama bagi memulakan pembakaran. Tetapi, apabila propelan mula terbakar, pembakarannya baik dan memuaskan. Bahan penambah (additive) digunakan bagi membantu pembakaran. Potassium nitrat, KNO_3 digunakan dalam kuantiti yang kecil bagi tujuan ini. Dengan penggunaan potassium nitrat sebagai bahan penambah, pembakaran propelan menjadi bertambah baik serta menjadi sangat reaktif. Kadar pembakaran bagi propelan yang dihasilkan melalui kaedah acuan termampat adalah bergantung kepada nisbah campuran bahan pengoksida-bahan api dan juga tekanan mampatan yang dikenakan semasa proses menghasilkan propelan tersebut. Semakin besar nilai tekanan yang dikenakan, semakin rendah kadar pembakaran propelan. Kadar pembakaran maksimum tanpa penggunaan bahan penambah ialah 0.2045 cm/s . Kadar pembakaran maksimum selepas dicampurkan dengan bahan penambah ialah 0.1739 cm/s .

RUJUKAN

- Braun, W.V & Orday, F.I (1976), *The Rocket's Red Glare*, Anchor Press, New York.
 Davenas, A. (1993). *Solid Rocket Propulsion Technology*, Pergamon Press Ltd, New York.
 Garthwaite, D. G. dan M. R. Thomas. 2004. *Pesticide Usage Survey Report 204*. Department for Environment, Food & Rural Affairs, York.

- Komanirsky, L. A., R. J. Christopherson, dan T. K. Basu. 2003. Sulfur: Its Clinical and Toxicologic Aspects. *Nutrition*. 19(1): 54-61.
- Matter-AntiMatter.com. 2009. Sulfur-AntiSulfur. Retrieved August 2009, from <http://www.matter-antimatter.com/sulfur-antisulfur.htm>
- Nik Mohd Rodzan Bin Nik Mohamed, (2004), Merekabentuk Dan Menguji Sebuah Motor Roket Berbeban Dorong Pepejal, Universiti Teknologi Malaysia, Tesis Sarjana Muda.
- Scholar Chemistry. 2009. Sulfur. Retrieved August 2009, from <http://noshadow.cnc.net/table/S.shtmlwww>.
- Sutton, G. P.. (1992). *Rocket Propulsion Elements*, Sixth Edition, John Willy & Sons, Inc.
- Vargel, C., M. Jacques, dan M. P. Schmidt. 2004. *Corrosion of Aluminium*. Elsevier Ltd. P. 19-20.
- Yinon, J. 2000. Explosives. *Handbook of Analytical Separations*. Elsevier Science. p. 603-616.