

# **PENYEMPURNAAN PROSES PEMBUATAN PROPELAN KOMPOSIT LAPAN BERDASAR HASIL PENELITIAN DARI INDIA (PROCESS IMPROVEMENT OF LAPAN'S COMPOSITE PROPELLANT PREPARATION BASED ON RESEARCH RESULT FROM INDIA)**

**Kendra Hartaya**

**Pusat Teknologi Roket**

**Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional**

**Jl. Raya LAPAN No. 2, Mekar Sari, Rumpin, Bogor 16350 Indonesia**

**e-mail: kendra19838@yahoo.co.id**

**Diterima 27 Mei 2015; Direvisi 20 Oktober 2015; Disetujui 30 Oktober 2015**

## **ABSTRACT**

Discussion on the process has been done in the manufacture of composite solid propellant. The discussion aims to obtain certainty about the sequence in the process from the raw material mixing until getting a propellant sample ready to test. Discussions to papers by researchers from India is made to obtain the sequence of mixing the raw materials with the viewpoint of the propellant main raw material that are easily obtained that consisted of a binder (HTPB), hardener (isocyanate), AP, Al powder. The method in this research is the literature study and experiments. Experiments done as a form of technology adoption process of the research literature. Results from this study, obtained propellant samples made by mixing sequence initiated by HTPB and Al powder, after a homogenous dough is added the finer AP, moderate AP, rough AP, finalised the addition of hardener (isocyanate). After homogeneous, casted with desired dimensions, dried at 60°C for 20 hours. By releasing a mandrel, we get propellant sample ready to test both the static test and physical test. The time from initial mixing until the sample ready to test is 125 minutes while in India technology for 290 minutes. Thus there is reason to increase the processing time periode in order to get better results in homogeneity.

*Keywords: Propellant, Specific Impulse, Composite*

## ABSTRAK

Telah dilakukan pembahasan terhadap proses dalam pembuatan propelan padat komposit. Pembahasan bertujuan untuk mendapatkan kepastian mengenai urutan dalam proses pencampuran bahan baku hingga memperoleh sampel propelan yang siap uji. Pembahasan untuk mendapatkan urutan pencampuran bahan baku dilakukan terhadap makalah-makalah para peneliti dari India dengan sudut pandang bahan baku utama propelan yang yang mudah diperoleh yang terdiri dari binder (HTPB), hardener (isosianat), AP, Al powder. Metode dalam penelitian ini adalah penelitian terhadap kepustakaan dan eksperimen. Eksperimen dilakukan sebagai wujud adopsi teknologi proses dari hasil penelitian kepustakaan. Hasil dari penelitian ini, diperoleh sampel propelan yang dibuat dengan urutan pencampuran HTPB dengan Al powder, setelah campuran homogen ditambahkan AP halus, AP sedang, AP kasar, diakhiri penambahan Hardener. Setelah homogen dicetak dengan dimensi yang diinginkan, dioven pada suhu 60°C selama 20 jam. Setelah itu pelepasan mandril dan diperoleh propelan siap uji baik uji statik maupun uji fisik. Waktu dari awal pencampuran hingga menjadi sampel siap uji sebesar 125 menit sedang dari teknologi india sebesar 290 menit, sehingga dengan demikian ada alasan untuk menambah waktu proses guna mendapatkan hasil lebih baik dalam hal homogen campuran.

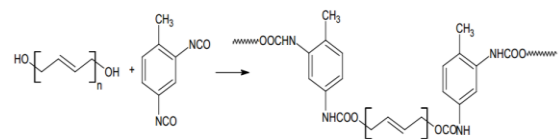
Kata Kunci: *Propelan, Impuls spesifik, Komposit*

### 1 PENDAHULUAN

Propelan sebagai bahan bakar roket padat tersusun atas komponen dasar berupa binder, oksidator, dan *fuel*. Binder yang digunakan untuk propelan LAPAN terdiri dari polimer *Hydroxyl Terminated Polybutadiene* (HTPB) dengan pematang (*curing agent*) Toluen diisosianat (TDI), oksidator berupa amonium perklorat (AP), serta *fuel* berupa *aluminium powder* (Al *powder*). Propelan dibuat dengan mencampur bahan-bahan tersebut dan setelah adonan homogen dilanjutkan dengan pencetakan dengan bentuk seperti yang diinginkan. Pasca pencetakan selanjutnya dilakukan pematangan pada kondisi (waktu dan suhu) tertentu, dan akhirnya dilakukan pengujian seperti uji kuat tarik, uji kekeroposan, uji laju bakar, uji statik untuk mendapatkan nilai *Impuls* spesifik (Isp).

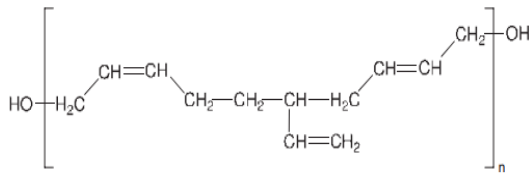
Di dalam campuran komponen propelan berlangsung reaksi antara HTPB dan TDI sebagaimana disajikan pada Gambar 1-1 [Mahanta *et al.*, 2010]. Karena TDI yang digunakan dalam jumlah tidak sebanding dengan HTPB maka di dalam campuran masih terkandung HTPB sisa selain poliuretan

sebagai hasil reaksi. HTPB dan Poliuretan ini tersebar di sela-sela ruang antara Al *powder* dan AP, sehingga propelan disebut propelan komposit dengan matrik bahan cair, dan bahan padatnya disebut isian (*filler*).



Gambar 1-1: Reaksi diidosianat dengan HTPB

Dalam reaksi pada Gambar 1-1, struktur HTPB dituliskan sebagai bentuk sederhana saja. Sesungguhnya struktur tersebut seperti Gambar 1-2 [Mahanta *et al.*, 2010]. Pada gambar nampak bahwa ada isomer *cis* yaitu dua CH<sub>2</sub> yang mengapit ikatan rangkap di sebelah kiri. Ada juga struktur isomer *trans* yaitu dua CH<sub>2</sub> yang mengapit ikatan rangkap di sebelah kanan dengan posisi keduanya saling berseberangan. Ikatan rangkap di tengah merupakan bentuk isomer *vinil* [Rosita, 2011]. Ketiga isomer ini komposisinya berbeda-beda pada HTPB yang dibuat dengan cara berbeda, dan ini bisa saja memberikan pengaruh pada propelan yang dihasilkan.



Gambar 1-2: Struktur HTPB

Variasi komponen dilakukan dalam upaya pencapaian sifat-sifat yang diinginkan seperti nilai laju bakar, nilai Isp, viskositas adonan, homogenitas, dan lain lain. Variasi tersebut misalnya bentuk dan ukuran komponen penyusun, kemurnian, rasio diantara komponen. Selain variasi komponen juga dilakukan variasi periode (lama waktu) proses secara keseluruhan atau periode tahap proses.

Melakukan variasi komponen dan periode proses dalam pelaksanaan kegiatan perlu waktu lama. Langkah strategis dalam percepatan pencapaian tujuan adalah dengan perbandingan hasil perkembangan teknologi yang ada yang dikembangkan oleh peneliti lain terutama peneliti India yang tersedia banyak melalui jurnal hasil penelitian.

Makalah ini membahas hasil-hasil penelitian yang dikembangkan oleh para peneliti India dalam bidang teknologi propelan. Ini dilakukan karena hasil-hasil penelitian pengembangan propelan dari India yang diterbitkan melalui jurnal tersedia dan mudah diakses melalui internet. Pembahasan mengarah pada terwujudnya kondisi sedemikian rupa sehingga melalui kondisi tersebut kita bisa mengevaluasi hasil pengembangan teknologi propelan. Dengan perbandingan ini kita bisa mengambil manfaat untuk memperbaiki proses dalam pembuatan propelan.

## 2 TINJAUAN PUSTAKA

Kinerja propelan diukur dengan *impuls* spesifik (Isp). *Impulse* spesifik didefinisikan sebagai integral kecepatan (*thrust*) per satuan berat material terhadap waktu pembakaran [Olah dan Squire, 1991]. Mengenai Isp, Jain (2002)

juga menguraikan bahwa kekuatan propelan sering dinyatakan dalam istilah impuls spesifik (Isp) yang didefinisikan sebagai impuls (kecepatan x waktu) per satuan berat propelan. Persamaan yang menghubungkan antara Isp dengan parameter disajikan pada persamaan 2-1.

$$\begin{aligned} \text{Isp} &= (F \times T)/W; \\ \text{Isp} &\propto (\Delta H)^{1/2}; \\ \text{Isp} &\propto (T_c/M_c)^{1/2} \end{aligned} \quad (2-1)$$

Dengan

F = gaya dorong,

T = waktu,

W = berat,

$\Delta H$  = panas yang dibebaskan (panas pembakaran) per berat propelan,

$T_c$  = suhu ruang bakar,  $M_c$  = berat molekul rata-rata hasil pembakaran.

Dari persamaan (2-1), ada hubungan linier antara nilai Isp dengan suhu ruang bakar atau energi yang dibebaskan saat terjadi pembakaran. Juga ada hubungan terbalik antara Isp dengan berat molekul gas hasil pembakaran. Makin kecil berat molekul gas hasil pembakaran makin tinggi nilai Isp.

Rodic dan Petric membuat propelan dengan bahan HTPB, AP bimodal ukuran 200 $\mu$  dan 5 $\mu$  (rasio 7/3), Al powder bimodal 15 $\mu$  dan 30 $\mu$  (1/1), curing agent divariasi jenisnya yaitu DDI, TDI, IPDI Adonan propelan dimatangkan pada suhu 70C selama 120 jam [Rodric dan Petric, 2005]. Mereka tidak menguraikan langkah-langkah (urutan cara kerja) dan lama waktu proses dan tahap proses pembuatan propelan.

Nair *et al.* (2013) membuat propelan dengan bahan baku binder HTPB 10,27%, BM 2800 gr/mol, plasticizer DOA 3%, Al powder (16 $\mu$ ) 18%, AP Halus (40 $\mu$ ) dan AP kasar (340 $\mu$ ) 68%, TDI 0,73%. Proses pencampuran diawali dengan semua bahan cair (selain TDI) dicampurkan,

diakhiri TDI dimasukkan dan dicampur selama waktu tertentu. Mereka mempelajari pengaruh parameter proses terhadap viskositas.

Behera (2009) membuat propelan menggunakan 59-83% AP (Kasar/ Halus=60/40), 1% Al powder, 14% binder HTPB/DOA=77/23), dan 1-25% RDX. Semua bahan dicampur dan dicetak dengan teknik vakum. Hasil cetakan dimatangkan pada suhu 60C selama 5-7 hari dalam oven. Behera hanya mempelajari pengaruh RDX terhadap sifat *elongation*.

Ramesh *et al.* (2012) membuat propelan dengan memasukkan ke dalam *planetary mixer* 504 gr HTPB BM 2560 gr/mol, 195 gr DOA, 2,5 gr Nonox-D, 6 gr (TMP+n-BD) dicampur selama 30 menit, dilanjutkan 30 menit lagi secara vakum untuk menghilangkan udara. Kemudian 850 gr Al dimasukkan dan dicampur selama 20 menit. Kemudian dimasukkan APK 1506 gr, APS 1150 gr, 850 gr APH dicampur lagi pada suhu 50°C. Setelah selesai semua bahan padat dimasukkan, dilanjutkan pencampuran pada vakum selama 30 menit. Kemudian suhu diturunkan hingga 40°C, dan ditambahkan TDI 33,5 gr dan dicampur 40 menit. Akhirnya adonan dicetak dengan bertekanan secara mekanis. Ruangan tabung tempat propelan divakum untuk menghilangkan udara. Hasil propelan dimatangkan (*cure*) pada suhu 50°C selama 5 hari.

Mehilal *et al.* (2012) membuat propelan dengan memasukkan ke dalam *mixer* (keduali TDI) 560 gr HTPB BM 2560 gr/mol, 165 gr DOA, 5 gr Nonox-D, 6 gr (TMP+n-BD), 30 gr modifier. Dicampur selama 1,5 jam dilanjutkan pencampuran pada vakum. Kemudian dimasukkan Al *powder* 15μ dan dicampur lagi selama 20 menit lalu dimasukkan TATB 10-15μ dicampur lagi 10 menit. Kemudian dimasukkan 3220 gr AP tetramodal 300μ, 200μ, 37μ, 6μ dicampur lagi sampai homogen. Suhu pencampuran 50°C. Setelah habis bahan padat, dicampur lagi pada vakum selama 1,5 jam. Di akhir waktu, suhu diturunkan hingga 40°C lalu TDI dimasukkan dan dicampur lagi selama 40 menit, dan akhirnya dimatangkan pada suhu 50°C selama 5 hari. Mehilal mempelajari laju bakar dengan supresan index tekanan TATB sebagai variabel 0,5 hingga 5%. Tabel formulasi propelan disajikan pada Tabel 2-1.

Singh dan Pandey (2005) membuat propelan dengan menggunakan AP (100-200 mesh), HTPB, IPDI, DOA (25% dari binder). BEMP (200-400 mesh) 2%. Rasio AP:HTPB=3:1. Komponen padat setelah dicampur lebih dulu kemudian dimasukkan ke dalam *mixer* vertikal yang sudah berisi bahan cair pada suhu pencampuran 50°C selama 1 jam. Adonan dicetak secara vakum dan hasil cetakan dimatangkan dalam inkubator selama 8 hari pada suhu 60°C.

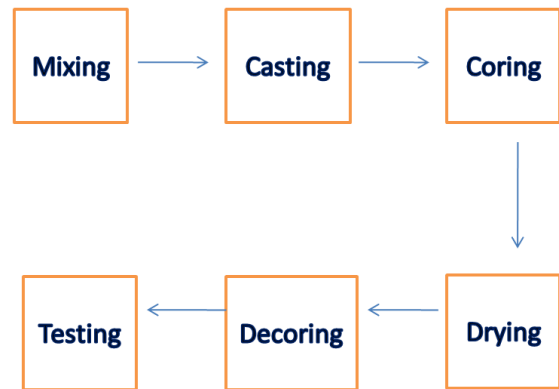
Tabel 2-1: FORMULASI PROPELAN (Mehilal *et al.*, 2012)

Sl. No.	Ingredients	Standard composition	Developed composition					
			TATB - 0.5%	TATB - 1.0%	TATB - 1.5%	TATB - 2.0%	TATB - 3.0%	TATB - 5.0%
1	HTPB + TDI	11.98	11.98	11.98	11.98	11.98	11.98	11.98
2	DOA + ADDUCT + Antioxidant	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52
3	AP	65.90	65.4	64.9	64.40	63.9	62.90	60.90
4	Al(P)	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
5	Ballistic modifier	0.60	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.60
6	TATB	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0

Mahanta *et al* (2010) membuat adonan propelan dengan menggunakan bahan HTPB dengan angka hidroksil 41 mg KOH/gr, AP bimodal (4/1) ukuran 300 $\mu$ , dan 51 $\mu$ , plasticizer DOA, curator TDI, *fuel Al powder* 32 $\mu$ , *chain extender* n-BD, crosslinker TMP. Proses pembuatan adonan propelan diawali mencampur bahan cair kecuali TDI ke dalam *mixer* selama 30 menit. Pencampuran dilanjutkan 2,5 jam setelah penambahan bahan padat dengan 68% AP dan 18% Al dimasukkan ke dalam mixer. Suhu dalam *mixer* konstan 32°C. Selanjutnya dimasukkan TDI dengan rasio TDI/HTPB=0,8, dan dilanjutkan pengadukan selama 40 menit. Mereka mempelajari analisis rekinetik adonan propelan. Lama waktu proses adalah 3 jam 40 menit.

**3 METODOLOGI**

Pembuatan propelan ukuran *K-Round* LAPAN yang dilakukan dengan langkah sebagaimana disajikan pada Gambar 3-1. Teknologi yang digunakan di India dalam pembuatan propelan dicirikan dengan penambahan TDI (pematang, *curing agent*) dilakukan pada urutan terakhir. Hal ini dimaksudkan agar sebelum homogen campuran, belum akan terjadi pematangan, yaitu reaksi antara TDI dan HTPB yang akan membentuk poliuretan yang akan menaikkan kekentalan dengan cepat. Urutan pembuatan propelan di LAPAN mengikuti urutan demikian yaitu diawali dengan mencampur antara HTPB dan Al *powder* (AlLpn) selama 10 menit, diikuti penambahan AP halus, AP sedang, AP kasar yang masing masing diaduk selama 10 menit, dan diakhiri dengan penambahan TDI diaduk selama 10 menit. Proses ini disebut proses *mixing* yang sebelum ditambahkan bahan berikutnya dilakukan pengukuran viskositas adonan. Proses berikutnya adalah pencetakan (*casting*) ke dalam bentuk sampel propelan kecil silinder (Disebut ukuran *K-Round*).



Gambar 3-1: Pembuatan Propelan ukuran *K-round* [Hartaya, 2013]

Tahap berikutnya *Coring*, yaitu penusukan mandril agar diperoleh bentuk silinder *hollow grain*. Tahap berikutnya Pemanasan (*drying*) agar sampel propelan matang dalam arti reaksi kimia antara HTPB dan TDI sempurna. Ini dilakukan dalam oven selama 20 jam pada suhu 60°C. Tahap selanjutnya adalah *decoring* yaitu pencopotan mandril. Tahap akhir adalah propelan siap uji (*testing*) termasuk uji kualitas (kekroposan) uji statik untuk mendapatkan nilai impuls spesifik (Isp).

**4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Hasil Penelitian**

Tabel 4-1 ini menyajikan nilai Isp dari komposisi propelan yang dibuat dengan langkah kerja di atas dengan satu jenis komposisi bahan. Propelan dibuat dengan AP trimodal dengan rasio Apk/Aps/Aph=1/1/1 sebanyak 77,5%, Binder 15% dengan HTPB/TDI=14/1, Al *powder* tidak bulat 7,5%. Nilai Isp dari 3 *batch* komposisi ini disajikan sebagai berikut.

Tabel 4-1: Isp PROPELAN K-ROUND

No <i>Batch</i>	Isp, detik
<i>Batch 1</i>	165
	204
	190
<i>Batch 2</i>	195
	204
	205
<i>Batch 3</i>	200
	202
	203

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Pembahasan metodologi dan proses

Pembahasan metodologi meliputi tahap-tahap pencampuran bahan dalam pembuatan propelan sementara pembahasan proses meliputi bahan-bahan yang digunakan dan kuantitasnya. Hal ini dilakukan untuk mengukur sejauh mana kesesuaian langkah-langkah yang kita adopsi dalam pembuatan

propelan ukuran *K-Round* dengan langkah-langkah yang mereka lakukan. Pembahasan metodologi dan Proses dilakukan terhadap hasil hasil penelitian yang dilakukan beberapa peneliti dari India.

Dari semua komposisi propelan yang dibuat para peneliti dari India, bisa disarikan untuk mempermudah perbandingan sebagaimana disajikan pada Tabel 4-2a, 4-2b, 4-2c.

Tabel 4-2a: SPESIFIKASI BAHAN BAKU PROPELAN

Peneliti	HTPB BM	Diisosi anat	Al, $\mu$ (rasio)	AP, $\mu$ (rasio)	DOA	RDX	TMP	nBD	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Non ox-D	TAT B	BE MP
Rodic-Petric	√	variatif	30/15(1/1)	200/5 (7/3)	√	√	-	-	-	-	-	--	
Nair et al	2800	TDI	16	340/40	-	-	-	-	-	-	-	-	
Behera	√	X	√	60/40	--	-	-	-	-	-	-	-	
Ramesh et al	2560	TDI	15	300/50/6	√	-	√	√	√	√	√		
Mehilal et al	2560	TDI	15	300/200/37/6	√	-	√	√			√	√	
Sing, Pandey	√	IPDI	-	100-200mes	√	-	-	-	-	-	-	-	√
Mahanta et al	OH=41	TDI	32	300/51	√	-	√	√	-	-	-	-	-

Tabel 4-2b: KOMPOSISI PROPELAN

Peneliti	Prosentase komponen penyusun												
	HTP B%	Diisosi nat %	Al %	AP %	DOA %	RDX	Non ox-D	TMP	nB D	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	TAT B	BE MP
Rodic-Petric	√	√	√	√	√	√							
Urut Pencamp	0	0	0	0	0	0							
Nair et al	10,27	0,73	18	68	3	0							
Urut Pencamp	1	3	2	2	1	-							
Behera	HTP B	0	1gr	59-83%	0,3HTPB	1-25							
Urut Pencamp	0	0	0	0	0	0							
Ramesh et al	504	33,5	850	3506	195	0	2,5	3	3				
Urut pencamp	1	4	2	3	1	-	1	1	1				
Mehilal et al	560	Termasuk HTPB	18%	3220	165		5gr	3gr	3gr	0	0	0,5-5	
Urut Pencamp	1	5	2	4	1		1	1	1			3	
Sing, Pandey	√	√	0	√	√	0	0	0	0	0	0		2%
Urut Pencamp	1	1	-	2	1	-	-	-	-	-	-		2
Mahanta et al	√	0,8HTPB	18%	68%	√	0	0	√	√	0	0	0	0
Urut pencamp	1	3	2	2	1	-	-	1	1				

Tabel 4-2c: DISTRIBUSI LAMA WAKTU TAHAP PROSES DAN PEMATANGAN

Metode	Lama waktu (menit) pada urutan langkah nomor 1,2,3,4,5 menit, menit (vakum)					Pematangan °C, waktu	Waktu total sbmlm pematangan
	1	2	3	4	5		
Rodic-Petric	-	-	-	-	-	70 °C, 120 jam	Tidak disajikan
Nair et al	-	-	-	-	-	-	Tidak disajikan
Behera	-	-	-	-	-	60 °C, 5-7hari	Tidak disajikan
Ramesh et al	30 + 30	20	AP k,s,h 50°C, t+30	40°C, 40		50 °C, 5 hari	150 menit
Mehilal et al	90	20	10	50 °C + t + 90	40 + 40	50 °C, 5 hari	290 menit
Sing-Pandey	50 °C	60	-	-	-	60 °C, 8 hari	60 menit
Mahanta et al	30	32°C,150	40	-	-	-	220 menit

Tabel 4-2a menyajikan spesifikasi dan jenis bahan baku yang digunakan para peneliti di India. Diantara mereka ada yang menggunakan berbagai bahan untuk berbagai fungsi seperti Ramesh *et al* dan Mehilal *et al*. Sementara yang digunakan di Lapan (propelan K-Round) hanya sebatas komposisi dasar, yaitu *Fuel* (HTPB, TDI, Al *powder*) dan Oksidator AP. Pengembangan dengan menggunakan bahan yang berfungsi lain seperti DOA yang digunakan untuk plastisizer, belum banyak digunakan karena hasil Isp yang berbeda-beda mengulitkan evaluasi kinerja propelan dengan DOA. Selain jenis bahan, Tabel 4-2a juga menyajikan spesifikasi bahan seperti ukuran bahan padat, nilai Berat molekul HTPB, dan lain-lain.

Tabel 4-2b menyajikan urutan pencampuran di antara bahan baku yang digunakan. Umumnya para peneliti mengawali dengan mencampur bahan cair (kecuali TDI) dilanjutkan dengan penambahan bahan padat, dan diakhiri dengan penambahan TDI. Diantara peneliti seperti Rodic-Petric dan Behera tidak mencantumkan urutan ini. Mungkin bisa saja disebabkan sampel yang dibuat berukuran kecil sehingga pencampuran mudah mencapai kondisi homogen. Pada umumnya, ada kesamaan diantara para peneliti, yaitu TDI ditambahkan pada akhir pencampuran. Hal ini mengingat jika ditambahkan lebih dulu, akan terjadi reaksi pembentukan poliuretan (PU) dengan HTPB sebagaimana Gambar 1-1. Terjadinya reaksi pembentukan PU akan membuat adonan semakin kental dan sulit tercapai kondisi homogen dan lebih lanjut tidak memungkinkan penambahan bahan padatan berikutnya.

Tabel 4-2c menyajikan lama waktu (periode) pengadukan suatu campuran bahan sebelum bahan baku berikutnya ditambahkan. Dari periode ini bisa dilihat waktu total yang digunakan untuk pembuatan propelan dan waktu

yang digunakan setiap tahap penambahan bahan. Mengetahui waktu ini penting bagi pengembangan propelan bila hendak mendapatkan kondisi yang lebih homogen. Waktu paling lama yang diperlukan proses sebelum pematangan, adalah proses Mehilal *et al*, yaitu 290 menit. Waktu 290 menit ini masih lebih rendah dibanding dengan waktu pot-life TDI yaitu 4-5 jam (300 menit) [Agrawal, 2010]. Lebih dari waktu ini sudah terjadi pembekuan (karena reaksi pembentukan PU maksimal) sehingga sulit dilakukan pengadukan. Atas dasar ini sangat dimungkinkan bagi proses pembuatan di LAPAN untuk memperpanjang lama pengadukan agar kondisi homogenitas maksimal. Berdasar cara kerja di atas, lama waktu proses pembuatan propelan ukuran K-round membutuhkan waktu 125 menit dengan asumsi menggunakan AP trimodal.

#### **a. Pembahasan Hasil Propelan K-Round**

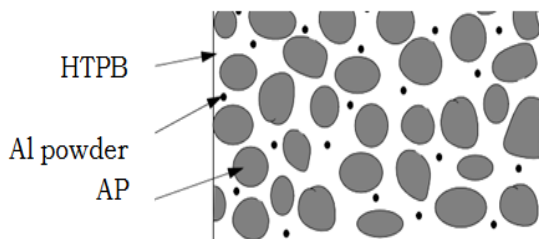
Setelah membahas penelitian yang dilakukan oleh para peneliti di India, pada prinsipnya, cara pembuatan propelan LAPAN ukuran K-round tidak berbeda dengan propelan yang dibuat para peneliti dari India, yaitu diawali dengan pencampuran bahan cair (kecuali TDI). Dalam hal ini, bahan cair hanya HTPB. Kemudian ditambahkan dengan bahan padat (AP dan Al *powder*), dan diakhiri dengan penambahan TDI. Namun hasil yang diperoleh, propelan Lapan memiliki nilai Isp yang berbeda-beda jauh pada *batch* yang berbeda, atau dalam satu *batch*, untuk satu komposisi (Tabel 4-2a, 4-2b, 4-2c). Ini menunjukkan kandungan energi tiap silinder propelan yang diuji statik adalah berbeda satu sama lain. Energi berbanding lurus dengan Isp seperti disajikan pada persamaan antara Isp dan energi di atas.

Perbedaan nilai Isp antara satu silinder dengan silinder propelan lainnya,

bisa disebabkan kandungan komponen pada silinder satu berbeda dengan kandungan komponen silinder lainnya. Hal ini menyangkut homogenitas campuran. Oleh karena pot-life TDI bisa mencapai 4-5 jam sementara lama waktu proses propelan LAPAN hanya 125 menit, maka untuk meningkatkan homogenitas propelan Lapan perlu menaikkan lama waktu proses agar homogenitas campuran lebih baik, dengan cara

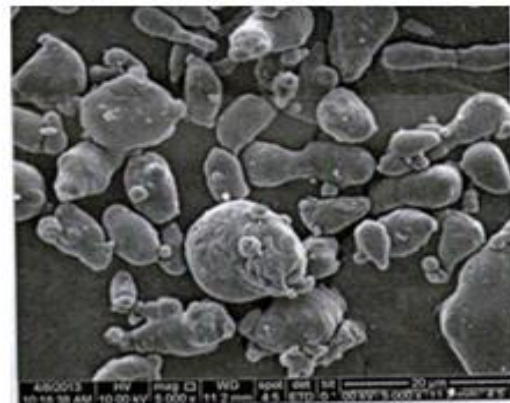
- Menaikkan waktu pencampuran antara HTPB, dengan Al powder
- Menaikkan waktu pencampuran antara HTPB, dengan Al powder, AP halus
- Menaikkan waktu pencampuran antara HTPB, dengan Al powder, AP halus, AP kasar
- Menaikkan waktu pencampuran antara HTPB, dengan Al powder, AP, TDI.

Kondisi homogen bisa dicapai jika di berbagai tempat dalam sampel propelan memiliki komposisi yang sama sebagaimana komposisi propelan. Hal ini dilukiskan dalam Gambar 4-1.



Gambar 4-1: Sebaran komponen propelan [Teasdale, 2000]

Selain lama waktu proses pembuatan yang menjadi dugaan rendahnya homogenitas, bisa juga homogenitas rendah disebabkan spesifikasi bahan baku seperti Al powder tidak bulat (Gambar 4-2) [Hartaya dkk, 2013], HTPB memiliki BM tinggi [Hartaya, 2014] sebagaimana hasil pengujian dari spesifikasi HTPB yang ada di pasaran. Pada pengujian BM diperoleh 9027 (bukan 3500-4500) untuk spesifikasi IV, 6190 (bukan 2800-3500) untuk spesifikasi III, dan 5857 (bukan 2300-2800) untuk spesifikasi II.



Gambar 4-2: Bentuk Al powder

Tabel 4-3: SPESIFIKASI HTPB [Hartaya, 2014]

Spesifikasi	I	II	III	IV
Kenampakan	Cairan tidak berwarna atau kuning tipis			
Angka OH mmol/gr	≥ 1,00	0,80-1,00	0,65-0,80	0,55-0,65
Berat Molekul, gr/mol	≤ 2300	2300-2800	2800-3500	3500-4500
Viskositas (40°C, Pa.s)	≤ 3,0	≤ 5,0	≤ 6,0	≤ 9,0
%Air (m/m)	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10
%peroksida(m/m)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05

Pada umumnya peneliti India menggunakan HTPB dengan Mn kurang dari 3000 gr/mol. Ini artinya bahwa mereka menggunakan HTPB grade II menurut Tabel 4-3. Sementara LAPAN menurut hasil penentuan Mn HTPB antara 5857gr/mol hingga 9027 gr/mol. Yang bisa dipetik dari kenyataan ini, bahwa peneliti India jauh lebih mudah mencapai kondisi homogen karena HTPB yang mereka gunakan memiliki Mn jauh lebih rendah yang digunakan oleh LAPAN. Efek dari BM yang lebih besar daripada BM HTPB peneliti India kurang memberi kesempatan untuk pencampuran lebih lama lagi. Namun begitu waktu pencampuran masih bisa ditambah lagi karena yang selama ini dilakukan lama waktu total hanya 125 menit jauh lebih kecil daripada pot-life TDI 4-5jam.

## 5 KESIMPULAN

Dari pembahasan penelitian yang telah diuraikan di depan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Proses yang dilakukan LAPAN dalam pembuatan propelan K-round memiliki kesamaan dengan proses yang



dilakukan peneliti India yaitu TDI (curing agent) adalah bahan propelan yang dicampur pada urutan terakhir.

- Pencampuran bahan baku diawali dengan pencampuran bahan cair selain TDI, dilanjutkan dengan penambahan komponen padat lainnya, dan diakhiri dengan penambahan TDI.
- Agar propelan pada komposisi yang sama memiliki nilai Isp sama perlu meningkatkan homogenitas adonan dengan cara menaikkan lama waktu proses. Oleh peneliti India, lama waktu proses mencapai 290 menit sedangkan lama waktu proses propelan K-round baru 125 menit.

### SARAN

- Lama waktu proses perlu dinaikkan melalui kenaikan lama waktu pencampuran masing-masing komponen bahan baku propelan agar homogenitas campuran lebih baik, sehingga menghasilkan nilai Isp yang relatif sama pada komposisi yang sama.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada Kabid Bidang Teknologi propelan, Kapus Teknologi Roket, Laboratorium Pengujian, Laboratorium Komposisi dasar, teman-teman Teknisi Litkayasa, dan para peneliti yang terkait dengan aktivitas penulis. Semoga jerih payah mereka bermanfaat bagi penulis, dan harapan penulis semoga tulisan ini bisa bermanfaat bagi pengembangan bahan bakar roket padat.

### DAFTAR RUJUKAN

Agrawal, Jay Prakash., 2010. *High Energy Materials*, Wiley VCH, New Delhi, hal 247-248.

Behera, Sitakanta, 2009. *Effect of RDX on Elongation Properties of AP/HTPB Based Case Bonded Composite Propellants*, DRDO Science Spectrum March, 31-36.

Hartaya, Kendra, dkk, 2013. *Pengaruh Bentuk dan Kemurnian Al powder Tidak Bulat Terhadap Kinerja Propelan*, Jurnal Teknologi Dirgantara Vol. 11, No 2.

Hartaya, Kendra, dkk, 2014. *Penentuan Kandungan Oksidator Berdasar Reaksi Stoikiometri dan Struktur Kristal dalam Rangka Adopsi Formulasi Propelan HLP*, Jurnal Teknologi Dirgantara Vol. 12, No 2.

Jain, S. R., 2002. *Solid Propellant Binders*, Journal of Scientific and Industrial Research Vol. 61, hal 899-911.

Mahanta, Abhay K., Monika Goyal, Devebdra D Pathak, 2010. *Empirical Modeling of Chemoviscosity of Hydroxyl Terminated Polybutadiene Based Composite Propellant Slurry*, Malaysian Polymer Journal Vol 5, No 1, 1-16.

Mahanta, Abhay K., Monika Goyal, Devendra D. Pathak, 2010. *Rheokinetic Analysis of Hydroxyl Termination Polybutadiene Based Solid Propellant Slurry*, E-Journal of Chemistry, 7(1), 171-179.

Mehilal et al., 2012. *Studies on High Burning Rate Composite Propellant Formulation using TATB as Pressure Index Suppressant*, Central European Journal of Energetics Material 9(3), 237-249.

Nair, C.P.R., et al., 2013. *Effect of Process Parameters on the Viscosity of AP/Al/HTPB Based Solid Propellant Slurry*, Journal of Energy and Chemical Engineering Vol. 1 Issue 1, 1-9.

Olah, George A., dan David R., Squire, 1991. *Chemistry of Energetic Materials*, printed Acid Free Paper.

Ramesh, Kurva, et al., 2012. *Development of a Composite Propellant Formulation with a High Performance Index Using a Pressure Casting Technique*, Central European Journal of Energetics Material 9(1), 49-58.

Rosita, Geni, 2011. *Pengaruh Jumlah Katalisator Waktu Reaksi, dan Waktu Alir Gas Butadien terhadap Pembentukan Hydroxyl Terminated Polybutadiene*, Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara Vol. 6, No. 2, LAPAN.

Singh, Gurdip, dan Durgest Kumar Pandey, 2005. *Studies on Energetic Compounds Part 43; Effect of Some BEMP Complexes on The Combustion and Condensed Phase Thermolysis of HTPB-AP Composite Solid Propellant*, Indian Journal of Chemical Technology Vol. 12, March, 175-180.

Teasdale, Dana, 2000. *Solid Propellant Microrocket*, Research Project.

Vesna, Rodic, dan Mirjana Petric, 2005. *The Effect of Curing Agens on Solid Composite Rocket Propellant Characteristics*, Scientific-Technical Review Vol. 4, No. 1.